



EMIE

NIL

Smeltlassen en hardsolderen van nikkel en nikkellegeringen

vm 21



De inhoud is samengesteld en herzien door een commissie van het Nederlands Instituut voor Lastechniek, in samenwerking met de Vereniging FME.

WERKPROGRAMMA

De taak van de voorlichtingscommissie is het geven van voorlichting over het smeltlassen en hardsolderen van nikkel en nikkellegeringen.

De volgende onderwerpen worden behandeld :

- de meest gebruikte soorten en hun bijzonderheden;
- procédés voor het smeltlassen en hardsolderen;
- toevoegmetalen;
- voorbereiding en uitvoering;
- nabehandeling;
- constructieve aanwijzingen;
- controle en keuring.

SAMENSTELLING COMMISSIE

F.F. Ates (voorzitter)	Arcos Electrolasch B.V., Amsterdam
J. Boesjes	Stork-Werkspoor Diesel B.V., Amsterdam
ir. A.A.H. Gaster (secretaris)	ex Nederlands Instituut voor Lastechniek, 's-Gravenhage
Jhr. ir. M.R.F. Groeninx van Zoelen	Gerard de Bruyn B.V., Rotterdam
J. van 't Hoff	Nederlands Instituut voor Lastechniek, 's-Gravenhage
J.N. Leupe	Nederlandsche Electrolasch Maatschappij B.V., Leiden
A. de Visser	Smit Weld B.V., Nijmegen
ir. C. Volders†	ex De Rotterdamsche Droogdok Maatschappij B.V., Rotterdam

ALGEMENE INLICHTINGEN

Vereniging FME
Boerhaavelaan 40
Postbus 190, 2700 AD ZOETERMEER
telefoon 079 - 531100
telefax 079 - 531365

TECHNISCHE ONDERWERPEN

Nederlands Instituut voor Lastechniek
Krimkade 20, 2251 KA VOORSCHOTEN
telefoon 071 - 611211
telefax 071 - 611426

BESTELLINGEN

Vereniging FME
Boerhaavelaan 40
Postbus 190, 2700 AD ZOETERMEER
telefoon 079 - 531100
telefax 079 - 531365



Anney-Plantyn
Birmingham-Stam
Culemborg-Educaboek
Deurne/Antwerpen-Plantyn
Lausanne-Delta
Porz am Rhein-Stam

© 1976 Stam Technische Boeken B.V.
ISBN 90 11 93830 5 Educaboek B.V.,
Industrieweg 1, Culemborg, The Netherlands
First published : 1970

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

No part of this book may be reproduced in any form, by print, photoprint, microfilm or any other means without written permission from the publisher.

Druk : Grafikon, Brugge
Bindwerk : Boekbinderij J.A. v.d. Sanden B.V., Culemborg

Hoofdstuk 1	Nikkel en nikkellegeringen	5
1.1	Inleiding	5
1.2	Typenoverzicht	5
1.2.1	Indeling	5
1.2.2	Corrosievastheid – Toepassingen	5
1.2.3	Veredelbare soorten	7
1.2.4	Materiaalkeuze	7
Hoofdstuk 2	Eigenschappen van materiaal en verbinding	11
2.1	Fysische eigenschappen van het materiaal	11
2.1.1	Oplosbaarheid van gassen	11
2.1.2	Smeltpunt nikkeloxyde	11
2.1.3	Verontreinigingen	11
2.1.4	Warmtegeleidingsvermogen	11
2.1.5	Uitzettingscoëfficiënt	11
2.2	Mechanische eigenschappen van het materiaal	11
2.2.1	Koud- en warmvervormen	11
2.2.2	Veredelen	11
2.2.3	Zachtgloeien	13
2.2.4	Spanningsverlagend gloeien	13
2.3	Mechanische eigenschappen van de verbinding	13
2.4	Corrosievastheid	13
2.4.1	Natte corrosie	13
2.4.2	Droge corrosie	18
2.4.3	Invloed van het lassen	18
Hoofdstuk 3	Voorbehandeling en verbindingsprocédés	19
3.1	Materiaaltoestand	19
3.2	Voorzorgen	19
3.3	Keuze van het verbindingsprocédé	20
Hoofdstuk 4	Smeltlassen	21
4.1	Algemeen	21
4.2	Verbindingsprocédés en naadvormen	21
4.2.1	Autogeen lassen	21
4.2.2	Booglassen met beklede elektroden	22
4.2.3	MIG-booglassen	23
4.2.4	TIG-booglassen	25
4.3	Toevoegmetalen	26
Hoofdstuk 5	Hardsolderen	30
5.1	Algemeen	30
5.1.1	Materiaaltoestand	30
5.1.2	Verbindingsvormen	30
5.1.3	Vloeimiddelen	30
5.2	Soldeermethoden	31
5.2.1	Autogeen solderen	31
5.2.2	Inductief solderen	31
5.2.3	Weerstandssolderen	31
5.2.4	Ovensolderen	32

5.3	Soldeersoorten	32
5.3.1	Keuze van de soldeersoort	32
5.3.2	Zilveroldeer	33
5.3.3	Kopersoldeer	33
5.3.4	Speciaal soldeer	34
5.4	Nabehandeling	35
5.5	Hardsolderen van ongelijksoortige materialen	35

Hoofdstuk 6 Bijzondere lasuitvoeringen 36

6.1	Lassen van ongelijksoortige materialen	36
6.1.1	Werkomstandigheden	36
6.1.2	Keuze toevoegmetaal	36
6.1.3	Samenstelling neersmelt	36
6.2	Lassen van geplateerd staal	38
6.2.1	Algemeen	38
6.2.2	Lasprocédés	38
6.2.3	Grondregels	38
6.2.4	Vorbewerking	38
6.2.5	Naadvormen en lasvolgorde	38
6.3	Oplassen	41

Hoofdstuk 7 Nabehandelingen 42

7.1	Inleiding	42
7.2	Warmtebehandeling	42
7.2.1	Spanningsverlagend gloeien	42
7.2.2	Homogeniserend gloeien	42
7.2.3	Veredelend gloeien	42
7.2.4	Zachtgloeien	42
7.2.5	Aanwijzingen	42
7.3	Mechanische bewerking	42
7.4	Beitsen	43
7.4.1	Beitsmiddelen voor niet-hastelloysoorten	43
7.4.2	Beitsmiddelen voor hastelloysoorten	44

Hoofdstuk 8 Controle en keuring 45

8.1	Aard en omvang van de controle	45
8.1.1	Vorbereiding	45
8.1.2	Toezicht tijdens de uitvoering	45
8.1.3	Keuring	45
8.2	Niet-destructief onderzoek	45
8.2.1	Controle op uitwendige gebreken	45
8.2.2	Controle op inwendige gebreken	45
8.3	Destructief onderzoek	46
8.3.1	Mechanisch onderzoek	46
8.3.2	Metallografisch onderzoek	46
8.3.3	Chemisch onderzoek	46

Literatuur 47

Trefwoordenregister 50

Nikkel en nikkellegeringen

1.1 Inleiding

Nikkel en nikkellegeringen behoren tot de zware metalen. Ondanks de hoge prijs worden zij gebruikt wegens het fraaie uiterlijk, de corrosievastheid, de hittevastheid, de kruipvastheid en de taaiheid. Zij bezitten een hoge elektrische weerstand en zijn ferromagnetisch. Enkele legeringen hebben een zeer kleine lineaire uitzettingscoëfficiënt.

Bij de staalbereiding wordt nikkel gebruikt wegens de verbeterende invloed op de treksterkte, de corrosievastheid, de hittevastheid, en ter vermindering van de gevoeligheid voor brosse breuk. Nikkelhoudend staal kan daardoor bij lage temperatuur worden gebruikt.

Ook voor koperlegeringen wordt nikkel veel gebruikt ter verbetering van de corrosievastheid, het warmtegeleidingsvermogen en de treksterkte, alsmede ter verfraaiing van het uiterlijk.

Het vervormen en bewerken van nikkel en nikkellegeringen levert geen bijzondere moeilijkheden op. In dit opzicht gedragen zij zich als austenitisch chroomnikkelstaal.

Onder de verbindingstechnieken is het smeltlassen de belangrijkste voor het vervaardigen van corrosievaste, hittevaste en kruipvaste apparatuur.

Hiervoor wordt zowel kneed- als gietmateriaal gebruikt.

Indien het lassen wordt bemoeilijkt door de ontogankelijkheid van de las en wanneer men ernstige vervormingen verwacht gaat men meer en meer over tot hardsolderen.

1.2 Typenoverzicht

1.2.1 Indeling

De nikkellegeringen kunnen als volgt worden ingedeeld:

- zuiver en laaggelegeerd nikkel: groepen K.Ni en G.Ni;
- nikkelkoperlegeringen: groepen K.NiCu en G.NiCu;

- nikkelchroomlegeringen: groepen K.NiCr en G.NiCr;
- nikkelchroomijzerlegeringen: groepen K.NiCrFe en G.NiCrFe;
- nikkelmolybdeenlegeringen: groepen K.NiMo en G.NiMo.

K = kneedmateriaal

G = gietmateriaal

Voor de onderverdeling zie tabel 1.

1.2.2 Corrosievastheid – Toepassingen

Nikkel en nikkellegeringen, zowel kneed- als gietmateriaal, worden in hoofdzaak om hun corrosievastheid toegepast.

– Ni-groep

Daar nikkel geen waterstof vrijmaakt uit niet-oxyderende zuren, zijn nikkel en de laaggelegeerde nikkelsoorten goed bestand tegen dergelijke zuren. Dit geldt ook voor niet-oxyderende zouten en basen. Nikkel is na zilver het meest corrosievaste materiaal voor geconcentreerde, kokende loogoplossingen. Voor oxyderende reagentia is de corrosievastheid niet zo goed en in het algemeen wordt nikkel in oxyderende milieus dan ook snel aangetast.

Hierop zijn uitzonderingen: zie onder 2.4 Corrosievastheid.

– NiCu-groep

Door nikkel met koper te legeren verkrijgt men legeringen die edeler zijn dan nikkel. Daar zich op deze legeringen een passieve oxydehuid vormt, bezitten ze in reducerende milieus een grotere corrosievastheid dan koper.

– NiCr- en NiCrFe-groep

Deze legeringen verschillen onderling niet veel in corrosievastheid. Door het chroomgehalte zijn ze beter bestand tegen aantasting door oxyderende milieus dan nikkel.

Het hoge nikkelgehalte waarborgt een nog aanmerkelijke weerstand tegen aantasting in reducerende milieus.

Tabel 1 Overzicht en samenstelling van kneed- en gietsoorten van nikkel en nikkellegeringen

materiaal		codering door commissie VM 21	globaal gehalte aan kenmerkende elementen											normaanduiding		
groep	benaming		C	Si	Ni ¹⁾	Co	Cr	Cu	Al	Fe	Mn	Mo	andere	Duitsland	Engeland	Verenigde Staten
K-Ni	nikkel	K-Ni	0,15		≥ 99,9			0,25		0,4	0,35			Ni99,8		B39
	A-nikkel	K-Ni99	0,02	0,35	≥ 99,0			0,25		0,4	0,35			Ni99,2	NA11; NI	B160...163
	E-nikkel	K-Ni99LC	0,2	0,15	≥ 97,0			0,25		0,8	1,8...2,3			LC-Ni99	NA12	B160...163 LC
	D-nikkel	K-NiMn5	0,2		≥ 94,0			0,25		0,8	4,6...5,0			NiMn2		
	durannikkel	K-NiAl4Ti	0,3	1,0	≥ 94,0			0,25	4...5	0,6	0,5		Ti: 0,25...1,0	NiAl4Ti		
K-NiCu	monel	K-NiCu30	0,30	0,50	≥ 64,0			28,0...34,0		2,5	2,0			NiCu30Fe	NA13; NC1	B127; B163...165
	K-monel	K-NiCu30AlTi	0,25	1,0	≥ 64,0			27,0...33,0	2,0...4,0	2,0	1,5		Ti: 0,25...1,0	NiCu30Al	NC4	
	K-R-monel	K-NiCu30AlTiC	0,2...0,3	1,0	≥ 64,0			27,0...33,0	2,0...4,0	2,0			Ti: 0,25...1,0	NiCu30Al	NC4	
K-NiCr	nimonon 75	K-NiCr20Ti	0,08...0,15	1,0	rest			18,0...21,0	0,5	5,0	1,0		Ti: 0,2...0,6	NiCr8020		
	nimonon 80A	K-NiCr20TiAl	0,10	1,0	rest	2,0		18,0...21,0		0,5...1,8	5,0	1,0	Ti: 1,8...2,7			
	nimonon 90	K-NiCr20Co20TiAl	0,13	1,5	rest	15,0...21,0	18,0...21,0		0,8...2,0	5,0	1,0		Ti: 1,8...3,0			
	nimonon 105	K-NiCr15Co20MoAlTi	0,20	1,0	rest	18,0...22,0	13,5...16,0	0,5	4,2...4,8	1,0	1,0	4,5...5,5	Ti: 0,9...1,5			
	nimonon 115	K-NiCr15Co15AlMoTi	0,15		rest	~15,0			~0,5			~3,5	Ti: ~4,0			
	inconel	K-NiCr15Fe7	0,15	0,5	≥ 72,0			14,0...17,0	0,5	6,0...10,0	1,0			NiCr15Fe	NA14	B163; B166...168
	inconel W	K-NiCr15Fe7AlTi	0,08	0,7	≥ 72,0			14,0...17,0	0,5	0,4...1,0	5,0...9,0	1,0	Ti: 2,0...2,8			
	inconel X	K-NiCr15Fe7AlTiNb	0,08	0,5	≥ 72,0			14,0...16,0	0,2	0,4...1,0	5,0...9,0	0,3...1,0	Ti: 2,3...2,8; Nb: 0,7...1,2			
K-NiCrFe	hastelloy X	K-NiCr22Fe18Mo9	0,15	1,0	rest	0,5...2,5	20,5...23,5			17,0...20,0	1,0	8,0...10,0	W: 0,2...1,0	NiCr22Mo		B436, 443, 599
	hastelloy F	K-NiCr22Fe15MoNb	0,05	1,0	44,0...47,0	0,5...2,5	21,0...23,0			13,5...17,0	1,0...2,0	5,5...7,5	W ≤ 1,0; Nb + Ta: 1,8...2,5			B436, 443
	hastelloy G	K-NiCr22Fe20MoCuNb	0,03	0,4	rest	1	22,5	2,0		19,5	1,3	6,5	W: 0,5; Nb + Ta: 2,1			B423...425
	inconloy 825	K-NiCr20Fe30MoCu	0,05	0,5	38,0...42,0			20,0...23,0	1,5...3,0	rest	0,8	2,5...3,5				B511, 512, 535, 536
	nimonon DS	K-NiCr20Fe40Si	0,15	2,0...2,5	36,0...39,0			17,0...19,0	0,25	rest	1,5					B407...409
inconloy	K-NiCr20Fe45	0,1	1,0	30,0...34,0			19,0...22,0	0,25	rest	1,5				NiMo30		B333, 335
K-NiMo	hastelloy B	K-NiMo30Fe5	0,05	1,0	rest	2,5	1,0			4,0...6,0	1,0	26,0...30,0	V: 0,2...0,4	NiMo16Cr		B334, 336
	hastelloy C ¹⁾	K-NiMo16Cr16FeW	0,08	1,0	rest	2,5	14,5...16,5			4,0...7,0	1,0	15,0...17,0	V ≤ 0,35; W: 3,0...4,5			B434, 435, 572, 573
	hastelloy N	K-NiMo16Cr7Fe	0,08	0,5	rest		6,0...8,0			5,0	0,8	15,0...18,0	Al + Ti ≤ 0,5			
G-Ni	gietnikkel	G-Ni96	0,8	1,5	≥ 95,5			0,5		0,5	0,9					
	G-nikkel	G-Ni94C2	1,5	1,5	≥ 94,0			0,5		0,5	0,8					
G-NiCu	gietmonel (lastwaliteit)	G-NiCu30	0,2	1,5	≥ 62,0			~31,5		2,0	0,8		Nb + Ta ≤ 1,4		NA1; NC2	ANC18A
G-NiCr	gietinconel (lastwaliteit)	G-NiCr16Fe9	0,2	1,6	≥ 68,5			~16,5	0,5	9,0	1,0		Nb + Ta ≤ 2,0			
	illium	G-NiCr22FeMoCu	0,2	0,6	≥ 56,5			~22,5	~6,5	~6,5	1,2	~6,5				
G-NiCrFe	legering HX	G-NiCr17Fe	0,4...0,8	2,5	64,0...68,0			15,0...19,0		rest	2,0	0,5				
	legering HW	G-NiCr12Fe	0,4...0,8	2,5	58,0...62,0			10,0...14,0		rest	2,0	0,5				
	legering HU	G-NiCr19Fe	0,4...0,8	2,5	37,0...41,0			17,0...21,0		rest	2,0	0,5				
	legering HT	G-NiCr15Fe	0,4...0,8	2,5	33,0...37,0			13,0...17,0		rest	2,0	0,5				
G-NiMo	hastelloy B	G-NiMo30Fe5	0,12	1,0	rest	2,5	1,0			4,0...6,0	1,0	26,0...30,0	V: 0,2...0,4		ANC15	B564
	hastelloy C ¹⁾	G-NiMo16Cr16FeW	0,12	1,0	rest	2,5	15,5...17,5			4,5...7,0	1,0	16,0...18,0	V: 0,2...0,4; W: 3,8...5,3		ANC16	B564

¹⁾ ook een verbeterde legering C 276: C ≤ 0,02 en Si < 0,05 %

²⁾ Co ≤ 0,5 % inbegrepen, uitgezonderd bij K-Ni

In sterk oxyderende milieus zijn de legeringen met het hoogste chroomgehalte het meest corrosievast; in sterk reducerende milieus bieden de nikkelrijkste soorten de grootste weerstand tegen aantasting.

– *NiMo-groep*

Door toevoeging van molybdeen komen de nikkelmolybdeenlegeringen met meer dan 30 % molybdeen in de elektrochemische spanningsreeks vóór waterstof te staan.

Deze legeringen zijn geschikt voor gebruik in milieus van sterke, niet-oxyderende zuren.

Door het molybdeen gedeeltelijk te vervangen door chroom krijgt men legeringen die in chloridehoudende en sterk oxyderende milieus een uitzonderlijk grote corrosievastheid bezitten.

1.2.3 Veredelbare soorten

Sommige soorten nikkel en nikkellegeringen kunnen worden veredeld, waardoor de sterkte en de hardheid toenemen. Met dit doel voegt men bij de kneedlegeringen aluminium (Al) en titaan (Ti) als

legeringsbestanddeel toe, en onderwerpt ze aan een warmtebehandeling (zie tabel 3).

Bij sommige gietsoorten worden genoemde technologische eigenschappen verbeterd door extra met silicium (Si) te legeren.

Van de veredelbare kneednikkelchroomlegeringen, welke als kruipvast materiaal worden toegepast, kan de kruipvastheid belangrijk worden verbeterd door toevoeging van cobalt (Co) en molybdeen (Mo).

1.2.4 Materiaalkeuze

Ten behoeven van de materiaalkeuze wordt in tabel 2 een overzicht gegeven van nikkellegeringen en hun toepassingsgebied. Tabel 3 geeft een overzicht van de leveringsvormen van het kneedmateriaal.

De normalisatie op het gebied van nikkel en nikkellegeringen is zeer beperkt.

Voor de aanduiding van soorten is men vrijwel geheel aangewezen op praktijk aanduidingen en handelsbenamingen, waarvan de meest bekende in tabel 4 zijn vermeld.

Tabel 2 Toepassingsgebieden van kneed- en gietmaterialen

groep	praktijkaanduiding		toepassingsgebied
	kneedmateriaal	gietmateriaal	
Ni	nikkel A-nikkel	gietnikkel G-nikkel	chemische industrie; hittevaste artikelen, bereiding van natronloog
	L-nikkel		voor gesmolten loog boven 300 °C
	E-nikkel D-nikkel		verbeterde bestandheid tegen zwavelhoudende verbindingen bij hoge temperaturen, zowel in oxyderend als reducerend milieu; vonkvast materiaal voor bougiedraad en voor onderdelen in elektronenbuizen en gloeilampen
	duranikkel		veredelbaar nikkel; speciaal voor grote werkstukken als pompstangen; assen, veren
NiCu	monel	gietmonel (laskwaliteit)	voor scheepsbouw, elektrische centrales, chemische, olie-, textiel- en papierindustrie als grote sterkte en corrosievastheid worden verlangd; geschikt voor zeewater, verdund zwavelzuur en sterke loogoplossing
	K-monel		veredelbare legering met grote treksterkte en corrosievastheid; speciaal voor grote werkstukken en niet-magnetische onderdelen; vliegtuigbouw; pomp- en klepstangen; assen; veren
	KR-monel		veredelbare legering met verbeterde machinale bewerkbaarheid; geschikt als automatenkwaliteit
NiCr	nimonic 80A nimonic 90 nimonic 105		veredelbare legeringen, kruipvast tot ca. 980 °C; voor onderdelen van gasturbines en straalmotoren; als verenmateriaal voor gebruik tot ca. 600 °C
	inconel nimonic 75	gietinconel (laskwaliteit)	niet-magnetisch; voor constructies waar goede treksterkte, corrosievastheid of oxydatiebestandheid tot 1200 °C worden verlangd
		illium	corrosievast voor zwavelzuur, salpeterzuur, fosforzuur en gemengde zuren; in het bijzonder bestand tegen zeewater en zouthoudende milieus
	inconel W inconel X		veredelbare variëteiten van inconel; kruipvast tot ca. 800 °C; geschikt als verenmateriaal voor gebruik tot ca. 600 °C; vliegtuigbouw
NiCrFe		legering HW legering HX	hittevaste legeringen; bestand tegen snelle en grote temperatuurswisselingen; ook bestand tegen hete oxyderende en reducerende milieus
	hastelloy X		goede kruipvastheid en oxydatiebestandheid; voor onderdelen van gasturbines en straalmotoren
	hastelloy F hastelloy G		corrosievast voor zure, basische, oxyderende of reducerende milieus; bestand spanningscorrosie in chloridehoudende milieus
	incoloy 825		corrosievaste legering voor verwerken van fosforzuur en van warm, geconcentreerd zwavelzuur, salpeterzuur en chloridehoudende milieus
	nimonic DS incoloy	legering HT legering HU	hittevaste legeringen; bestand tegen hete, matig zwavelhoudende milieus; ook tegen hete, afwisselend oxyderende en reducerende milieus
NiMo	hastelloy N		corrosievaste legering voor de reactorbouw in het bijzonder bestand tegen gesmolten haliden (vooral fluoriden); bestand tegen oxydatie tot ca. 985 °C
	hastelloy B	hastelloy B	corrosievast voor alle concentraties van kokend zoutzuur; ook voor fosforzuur en 60 %-ig zwavelzuur; kruipvast tot ca. 750 °C in oxyderende en tot ca. 870 °C in reducerende milieus
	hastelloy C en C 276	hastelloy C en C 276	corrosievast voor vochtig chloor, hypochlorieten en geconcentreerde anorganische zuren; hittevast tot ca. 1100 °C in oxyderende milieus

Tabel 3 Normale leveringsvormen van kneedmaterialen

werkstukmateriaal			leveringsvorm									
groep	codering door commissie v/M 21	soort	plaat		strip	buis		staaf	profiel	draad	smeedstukken	geplateerd
			<9 mm	>9 mm		N/E	L					
K-Ni	K-Ni	nikkel	x		x	x		x		x	x	
	K-Ni99	A-nikkel	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	K-Ni99LC	L-nikkel	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	K-NiMn2	E-nikkel			x			x	x	x		
	K-NiMn5	D-nikkel			x			x	x	x		
	K-NiAl4Ti	duranikkel			x			x		x	x	
K-NiCu	K-NiCu30	monel	x	x	x	x		x		x	x	x
	K-NiCu30AlTi	K-monel	x	x	x	x		x	x	x	x	
	K-NiCu30AlTiC	KR-monel						x		x		
K-NiCr	K-NiCr20Ti	nimonic 75	x	x	x	x		x		x	x	
	K-NiCr20TiAl	nimonic 80A	x	x	x	x		x		x	x	
	K-NiCr20Co20TiAl	nimonic 90	x	x	x	x		x		x	x	
	K-NiCr15Co20MoAlTi	nimonic 105						x		x	x	
	K-NiCr15Fe7	inconel	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	K-NiCr15Fe7AlTi	inconel W	x					x				
	K-NiCr15Fe7AlTiNb	inconel X	x	x	x	x		x		x	x	
K-NiCrFe	K-NiCr22Fe18Mo9	hastelloy X	x	x				x		x	x	
	K-NiCr22Fe15MoNb	hastelloy F	x	x	x	x		x		x	x	
	K-NiCr22Fe20MoCuNb	hastelloy G	x	x	x	x		x		x	x	
	K-NiCr20Fe30MoCu	incoloy 825	x	x	x	x	x	x		x	x	
	K-NiCr20Fe40Si	nimonic DS	x	x	x	x		x		x	x	
	K-NiCr20Fe45	incoloy	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
K-NiMo	K-NiMo30Fe5	hastelloy B	x	x	x			x		x	x	
	K-NiMo16Cr16FeW	hastelloy C en C276	x	x	x			x		x	x	
	K-NiMo16Cr7Fe	hastelloy N	x	x				x		x		

buis N/E : naadloos of geëxtrudeerd
buis L : gelast

Tabel 4 Overeenkomstige handelsbenamingen

werkstukmateriaal			enige overeenkomstige handelsaanduidingen
groep	codering door commissie VM 21	soort	
K-Ni	K-Ni K-Ni99 K-Ni99LC K-NiMn2 K-NiMn5 K-NiAl4Ti	nikkel A-nikkel L-nikkel E-nikkel D-nikkel duranikkel	Nickel 270; HPM en HTC Nickel; Reinstnickel Nickel 200; DDH Nickel; Rheinnickel 99,2; Nickel 1100(A) Nickel 201; Nickel 99 NC Nickel 212; Mangannickel NiMn2; Mangonic 2 (3) Nickel 211; Mangannickel NiMn5; Mangonic 4 (5) Duranickel 301; Aluminiumnickel NiAl4Ti
K-NiCu	K-NiCu30 K-NiCu30AlTi K-NiCu30AlTiC	monel K-monel KR-monel	Monel 400; Euzonit 70; Nicorros; Silverin Monel K-500 Monel 501
K-NiCr	K-NiCr20Ti K-NiCr20TiAl K-NiCr20Co20TiAl K-NiCr15Co20MoAlTi K-NiCr15Fe7 K-NiCr15Fe7AlTi K-NiCr15Fe7AlTiNb	nimonic75 nimonic 80A nimonic 90 nimonic 105 inconel inconel W inconel X	Nimonic 75 Nimonic 80A Nimonic 90 Nimonic 105 Inconel 600 Inconel 722 Inconel X-750
K-NiCrFe	K-NiCr22Fe18Mo9 K-NiCr22Fe15MoNb K-NiCr22Fe20MoCuNb K-NiCr20Fe30MoCu K-NiCr20Fe40Si K-NiCr20Fe45	hastelloy X hastelloy F hastelloy G incoloy 825 nimonic DS incoloy	Hastelloy alloy X Hastelloy alloy F; Remanit HF Hastelloy alloy G Incoloy 825 (oude naam Ni-o-nel) Incoloy DS Incoloy 800; Vachromium F
K-NiMo	K-NiMo30Fe5 K-NiMo16Cr16FeW	hastelloy B hastelloy C en C 276	Hastelloy alloy B; Euzonit; Bergit B; Darwins 655B; Remanit HB Hastelloy alloy C; Euzonit 60; Bergit C; Darwins 656C; Remanit HC Hastelloy alloy C276
G-Ni	G-Ni96 G-Ni94C2	gietnikkel G-nikkel	Nickel 210 Nickel 213
G-NiCu	G-NiCu30	gietmonel	Monel 411
G-NiCr	G-NiCr16Fe9 G-NiCr22FeMoCu	gietinconel illium	Inconel 611 Illium G; Contracid; Darwins 55
G-NiCrFe	G-NiCr17Fe G-NiCr12Fe G-NiCr19Fe G-NiCr15Fe	legering HX legering HW legering HU legering HT	Alloy HX Alloy HW; Pireks 60/13 Alloy HU Alloy HT; Pireks 35/15
G-NiMo	G-NiMo30Fe5 G-NiMo16Cr16FeW	hastelloy B hastelloy C en C276	Hastelloy alloy B; Chlorimet 2; Darwins 655B; Bergit B Hastelloy alloy C; Chlorimet 3; Darwins 656C; Bergit C Hastelloy alloy C276

Eigenschappen van materiaal en verbinding

2.1 Fysische eigenschappen van het materiaal

Nikkel en nikkellegeringen kunnen met de gebruikelijke lasprocédés in het algemeen zeer goed worden gelast.

In tabel 5 zijn de gemiddelde waarden vermeld voor de voornaamste fysische eigenschappen van nikkel en nikkellegeringen.

Men moet bij het lassen rekening houden met de volgende fysische eigenschappen.

2.1.1 Oplosbaarheid van gassen

In gesmolten toestand heeft nikkel een bijzonder groot vermogen om gassen op te nemen. Vooral zuurstof en waterstof worden gretig opgenomen, hetgeen tot het optreden van poreusheid kan leiden. Tijdens het lassen moet men dus het opnemen van gassen trachten te voorkomen.

2.1.2 Smeltpunt nikkeloxyde

Het smeltpunt van nikkeloxyde is ongeveer 600 °C hoger dan van nikkel en nikkellegeringen, waardoor de aanwezigheid van dit oxyde onvoldoende hechting of insluitsels veroorzaakt. Het is daarom nodig dat de op het werkstukmateriaal voorkomende oxydehuid zorgvuldig wordt verwijderd.

2.1.3 Verontreinigingen

Verontreinigingen in het werkstukmateriaal maken het bros en veroorzaken scheurgevoeligheid. Zij dienen zorgvuldig te worden verwijderd om te voorkomen dat zij tijdens het lassen door het gesmolten metaal worden opgenomen. Scheurgevoeligheid kan ook het gevolg zijn van spanningen in het materiaal, hetgeen vaak het geval is bij dunne plaat (als gevolg van veelvuldig walsen) of gehard materiaal. Het is dan gewenst om de spanningen in het werkstuk te verlagen. Teneinde de oorspronkelijke materiaal-eigenschappen te herstellen moet dan na het lassen weer worden gehard.

2.1.4 Warmtegeleidingsvermogen

Het warmtegeleidingsvermogen is van dezelfde orde van grootte als dat van ongelegeerd staal en ongeveer driemaal zo groot als dat van roestvast staal.

2.1.5 Uitzettingscoëfficiënt

De uitzettingscoëfficiënt is nagenoeg gelijk aan die van ongelegeerd staal, zodat men bij het lassen van nikkelmaterialen met dezelfde problemen van vervorming te maken krijgt als bij staal.

2.2 Mechanische eigenschappen van het materiaal

De mechanische eigenschappen van nikkel en nikkellegeringen zijn afhankelijk van de wijze van vervaardigen en van een eventuele warmtebehandeling. Daardoor zijn nikkel en nikkellegeringen in verschillende leveringstoestanden te verkrijgen.

Door koudvervormen neemt de treksterkte toe. Door gloeien neemt de treksterkte af en de spanningen in het materiaal worden minder. Zie tabel 6 voor de mechanische eigenschappen van de meest gangbare leveringstoestanden.

2.2.1 Koud- en warmvervormen

Afhankelijk van de mate van vervorming worden hardheidsgraden verkregen als kwarthard, halfhard enz.

Door verwarming kan de versteviging geheel of gedeeltelijk verloren gaan. Oordeelkundig warmvervormen heeft echter slechts weinig invloed op de treksterkte.

2.2.2 Veredelen

Nikkellegeringen die Al, Mn, Mo, Nb, Si en/of Ti bevatten kunnen worden veredeld.

Enkele daarvan zijn :

Duranikkel, K- en KR-monel, nimonic 80A, 90 en 105, inconel W en X.

Tabel 5 Fysische eigenschappen werkstukmateriaal (richtwaarden)

werkstukmateriaal		soortelijke massa g/cm ³	smeltpunt of -traject °C	soortelijke warmte kJ/kg.K ¹⁾	warmtegeleidings- coëfficiënt W/m.K ²⁾	uitzettings- coëfficiënt 1/°C × 10 ⁻⁶	soortelijke weerstand Ω.m × 10 ⁻⁶	slink vol. %
groep	soort							
K-Ni	nikkel	8,90	1455	0,503	58,7	13	0,07	voor alle kneed- soorten : ca. 2
	A-nikkel	8,89	1435 ... 1445	0,461	58,7	16	0,095	
	L-nikkel	8,89	1534 ... 1445	0,461	58,7	13	0,08	
	E-nikkel	8,86	1425	0,461	50,3	13	0,14	
	D-nikkel	8,78	1430	0,545	50,3	13	0,18	
	duranikkel	8,26	1435 ... 1445	0,419	16,8	15	0,47	
K-NiCu	monel	8,84	1300 ... 1350	0,545	25,1	17	0,48	
	K-monel	8,47	1315 ... 1350	0,545	21,0	16	0,58	
	KR-monel	8,47	1315 ... 1350	0,545	18,9	14	-	
K-NiCr	nimonic 75	8,35	1390 ... 1420	0,461	12,6	15	1,09	
	nimonic 80A	8,22	1360 ... 1390	0,419	12,6	14	1,23	
	nimonic 90	8,27	1360 ... 1390	0,461	12,6	14	1,15	
	nimonic 105	8,00	1340 ... 1380	0,461	12,6	12 ... 18	1,30	
	inconel	8,51	1360 ... 1385	0,461	16,8	15	0,98	
	inconel W	8,31	1395 ... 1425	0,461	16,8	14	1,25	
	inconel X	8,30	1395 ... 1425	0,461	16,8	13 ... 17	1,22	
K-NiCrFe	hastelloy X	8,23	1290	0,461	46,1	14 ... 17	1,18	
	hastelloy F en G	8,17	1290	0,419	16,8	14 ... 18	1,12	
	incoloy 825	8,14	1350	0,419	12,6	16	1,12	
	nimonic DS	7,97	1320 ... 1350	0,503	12,6	17	1,08	
	incoloy	8,01	1395 ... 1425	0,503	16,8	17	0,99	
K-NiMo	hastelloy N	8,79	1300 ... 1330	0,398	50,3	10 ... 15	1,39	
	hastelloy B	9,24	1320 ... 1350	0,381	50,3	10 ... 15	1,35	
	hastelloy C en C276	8,94	1270 ... 1305	0,385	46,1	11 ... 15	1,33	
G-Ni	gietnikkel	8,34	1395 ... 1425	0,461	58,7	13	0,21	voor alle giet- soorten : ca. 2
	G-nikkel	8,34	1315 ... 1425	0,461	-	16	0,21	
G-NiCu	gietmonel	8,63	1315 ... 1345	0,545	25,1	13	0,53	
G-NiCr	gietinconel	8,30	1370 ... 1400	-	16,8	12	1,16	
	illium	8,58	1300	0,461	12,6	14	1,22	
G-NiCrFe	legering HX	8,14	1290	0,461	-	14 ... 20	-	
	legering HW	8,14	1290	0,461	12,6	14 ... 18	1,12	
	legering HU	8,04	1345	0,461	16,8	16 ... 20	1,05	
	legering HT	7,92	1345	0,461	12,6	15 ... 21	1,00	
G-NiMo	hastelloy A	8,80	1300 ... 1330	0,377	16,8	11 ... 15	1,27	
	hastelloy B	9,24	1320 ... 1350	0,381	50,3	10 ... 15	1,35	
	hastelloy C en C 276	8,44	1270 ... 1305	0,385	46,1	11 ... 15	1,33	

¹⁾ 1 kJ/kg.K = 0,238 kcal/kg.°C

²⁾ 1 W/m.K = 2,38 × 10⁻³ cal/cm.s.°C

De veredeling ontstaat door :

- homogeniserend gloeien bij ongeveer 900 ... 1100 °C en afschrikken in water, gevolgd door
- verhitten tot ongeveer 600 ... 750 °C en op een bepaalde wijze afkoelen (dispersieharding).

Meestal wordt het materiaal door de fabrikant geleverd in de homogeniserend gegloeide (dit is tevens de zacht gegloeide) toestand. Het materiaal kan eveneens worden geleverd nadat het nog een koudvervorming heeft ondergaan of in geheel veredelde toestand. Zie voor het veredelen tabel 7.

2.2.3 Zachtgloeien

Onder zachtgloeien verstaat men een warmtebehandeling waardoor nikkel en nikkellegeringen in de taaiste toestand worden gebracht.

Om de invloed van koudvervormen of veredelen weg te nemen moet men boven 550 °C gloeien.

Bij gloeitemperaturen boven 800 °C, bij lange gloeitijden en bij een geringe koudvervorming bestaat gevaar voor korrelgroei. Dit is in sterke mate het geval bij nikkel en monel, in mindere mate bij inconel. Voor genoemde materiaalsoorten moet de gloeitijd kort zijn. Aanwijzingen zie tabel 8.

2.2.4 Spanningsverlagend gloeien

Indien eventuele bewerkingsspanningen moeten worden verminderd zonder dat het materiaal in zacht gegloeide toestand wordt gebracht, volstaat men met spanningsverlagend gloeien bij een lagere temperatuur dan voor zachtgloeien nodig is (zie tabel 8).

2.3 Mechanische eigenschappen van de verbinding

Bij het smeltlassen en hardsolderen wordt het werkstuk plaatselijk tot boven of tot dichtbij het smeltpunt van het materiaal verhit. Ter weerszijden van de naad ontstaat daardoor een warmteïnvloedszone, die op een temperatuur is geweest, die varieert van omgevingstemperatuur tot die boven het smeltpunt. De oorspronkelijke mechanische eigenschappen van het materiaal worden hierdoor sterk beïnvloed en de gunstige eigenschappen, die door vervorming, extrusie of veredeling zijn verkregen, worden geheel of gedeeltelijk teniet gedaan. Bij sommige materiaalsoorten (n.l. de veredeldbare) is het in bepaalde gevallen mogelijk de gunstige eigenschappen weer terug te krijgen.

Bij het smeltlassen komen de mechanische eigenschappen van het neergesmolten lasmetaal veelal overeen met die van het uitgegloeide werkstukmateriaal. Tengevolge van verschillen in de samenstelling van het lasmetaal kunnen de eigenschappen echter afwijken. Zo zal lasmetaal van nikkel of monel dat titaan of aluminium bevat, een grotere treksterkte hebben dan het werkstukmateriaal. Wil men bij het smeltlassen van veredeldbare soorten de oorspronkelijke mechanische eigenschappen kunnen herstellen, dan moet een zodanig toevoegmetaal worden gebruikt, dat het neergesmolten lasmetaal eveneens veredeldbaar is (zie tabel 18 hoofdstuk 4). Moet men veredeldbare legeringen hardsolderen en de werkstukken daarna veredelen, dan moet men een soldeersoort kiezen die bestand is tegen deze warmtebehandeling (zie onder 5.1.1).

2.4 Corrosievastheid

Corrosie is het verschijnsel dat optreedt wanneer een metaal chemisch wordt aangetast. Aangezien dit door een vloeistof of gas wordt veroorzaakt spreekt men van 'natte' en 'droge' corrosie.

Natte corrosie ontstaat door zuren, logen en zoutoplossingen in contact met het metaal; droge door dampen en gassen als zuurstof, zwaveldioxyde, koolzuur, zwavelwaterstof e.d. en treedt meestal pas bij hoge temperaturen op.

2.4.1 Natte corrosie

Natte corrosie is een elektrochemisch proces. Men onderscheidt een kathode, een anode en een elektrolyt. Dit zijn de drie elementen die tezamen een galvanische (corroderende) cel vormen. Een dergelijke cel kan in de praktijk bestaan uit twee verschillende metalen in een elektrolyt of door twee elektrolyten in contact met een metaal.

Bevinden zich twee metalen in een vloeistof dan wordt het minst edele metaal aangetast. Een legering kan zich ook gedragen als twee metalen n.l. als tengevolge van ongelijke samenstelling, structuur, spanningsverdeling, oppervlaksgesteldheid of anderszins potentiaalverschillen in die legering optreden. Er ontstaan dan plaatselijke aantastingen.

Ook een elektrolyt kan zich als twee elektrolyten gedragen. Een dergelijk tweeslachtig karakter ontstaat door kleine plaatselijke verschillen in concentratie, temperatuur, stroomsnelheid en kan dus aanleiding zijn tot aantasting van een metaal.

Tabel 6 Mechanische eigenschappen werkstukmateriaal (richtwaarden)

werkstukmateriaal		leverings- toestand	σ_B N/mm ²	$\sigma_{0.2}$ N/mm ²	rek 2"-staaf %	E	G	HB
groep	soort					kN/mm ²		
K-Ni	nikkel	Z	310	60	28	210	76	85
	A-nikkel	Z	480	135	40	210	76	100
		warm gewalst	520	175	40			110
		koud gewalst H	730	655	5			210
		koud getrokken	660	480	25			170
	L-nikkel	Z	410	110	50	210	76	90
	E-nikkel	Z	520	245	40	210	76	140
warm gewalst		620	345	35	150			
koud getrokken		690	550	25	190			
D-nikkel	Z	520	245	40	210	76	140	
	warm gewalst	620	345	35			150	
	koud getrokken	690	550	25			190	
duranikkel	warm gewalst	730	345	35	210	76	180	
	warm gewalst V	1170	890	15			320	
	koud getrokken	820	620	25			220	
	koud getrokken V	1450	1205	15			340	
K-NiCu	monel	Z	520	245	40	180	66	125
		warm gewalst	620	345	35			150
		koud gewalst H	760	685	5			240
		koud getrokken	690	550	25			190
	K-monel	warm gewalst	690	315	40	180	66	160
		warm gewalst V	1030	755	25			280
		koud getrokken	790	590	25			210
		koud getrokken V	1180	900	20			290
	KR-monel	warm gewalst	690	315	40	180	66	160
		warm gewalst V	960	685	25			250
koud getrokken		790	590	25	210			
koud getrokken V		1070	795	20	290			
nimonic 75	warm gewalst Z	800	355	44	190	-	205	
nimonic 80A	warm gewalst V	1070	610	39	190	83	300	
nimonic 90	warm gewalst V	1240	785	33	197	86	300	
nimonic 105	warm gewalst V	1260	835	18	218	-	360	
K-NiCr	inconel	Z	590	245	45	217	76	150
		warm gewalst	690	410	35			180
		koud gewalst H	930	755	5			260
		koud getrokken	790	620	20			200
	inconel W	Z	730	315	55	217	76	180
		ZV	1030	685	27			260
inconel X	Z	790	345	50	217	76	200	
warm gewalst V	1240	825	25	360				

Vervolg tabel 6

werkstukmateriaal		leverings- toestand	σ_B N/mm ²	$\sigma_{0,2}$ N/mm ²	rek 2"-staaf %	E	G	HB
groep	soort					kN/mm ²		
K-NiCrFe	hastelloy X	warm gewalst Z	790	390	44	200	–	177
	hastelloy F	warm gewalst Z	760	345	50	203	–	176
	hastelloy G	warm gewalst Z	710	375	50	203	–	170
	incoloy 825	warm gewalst Z koud gewalst Z	630 700	265 295	50 46	200	–	143 155
	nimonic DS	warm gewalst Z	730	360	38	190	–	185
	incoloy	Z warm gewalst koud gewalst	620 690 590	275 410 275	40 35 40	217	65	150 175 175 max
K-NiMo	hastelloy B	gewalst Z	930	410	50	216	–	201
	hastelloy C	gewalst Z	890	380	45	177	–	211
G-Ni	nikkel	als gegoten	390	175	25	151	–	100
	G-nikkel	als gegoten	390	205	20	154	–	107
G-NiCu	monel	als gegoten	550	245	35	133	–	135
G-NiCr	inconel	als gegoten	590	275	20	161	–	175
	illium G	als gegoten	470	345	32	168	–	200
G-NiCrFe	legering HX	als gegoten	450	245	9	175	–	176
	legering HW	als gegoten	470	245	9	175	–	185
	legering HU	als gegoten	480	275	4	189	–	170
	legering HT	als gegoten	480	275	19	189	–	180
G-NiMo	hastelloy B	als gegoten Z precisiegieting	550 590	400 420	8 14	186 200	– –	207 216
	hastelloy C	als gegoten Z precisiegieting	540 550	400 410	8 7	177	–	218 255

Z = zacht of homogeniserend gegloeid

H = hard

V = veredeld

E = elasticiteitsmodulus

G = glijdingsmodulus

Tabel 7 Richtlijnen voor het veredelen

materiaal		leverings- toestand	homogeniserend gloeien temperatuur °C/tijd/afkoelen	dispersieharden temperatuur °C/tijd/afkoelen					
groep	soort			16 h					
K-Ni en K-NiCu	duranikkel K-monel KR-monel	zacht	850 ... 890/ca. 1,5 min per mm dikte/afschrikken	585 ... 595	16 h				
		matig koud- vervormd			8 ... 16 h	korter naarmate hardheid groter			
					sterk koud- vervormd		6 ... 10 h		
K-NiCr	inonel W inonel X	zacht	voor gebruik bij temperaturen	voor gebruik bij temperaturen					
		matig koud- vervormd	beneden 600 °C	beneden 600 °C	boven 600 °C				
			sterk koud- vervormd	niet nodig	1130 ... 1170/2 ... 4 h/lucht	1) 880 ... 890/24 h/lucht en 2) 700 ... 710/20 h/lucht	1) 840 ... 850/24 h/lucht en 2) 700 ... 710/20 h/lucht		
	nimonic 80A nimonic 90 nimonic 105	gewoonlijk reeds veredeld	voor opnieuw veredelen			afhankelijk van gebruikseisen zijn andere warmte- behandelingen mogelijk			
			van plaat en strip : 1130 ... 1170/ca. 3 min/afschrikken van staf: 1060 ... 1100/8 h/lucht	van plaat en strip : 1) 915 ... 940/1 h/lucht en 2) 740 ... 760/4 h/lucht van staf: 690 ... 710/16 h/lucht					
				1130 ... 1170/4 h/lucht			1) 1050 ... 1065/16 h/lucht en 2) 840 ... 860/16 h/lucht		

Opm. raadpleeg ook leverancier.

- gloeien dient te geschieden in een zwavelvrije, niet oxyderende ovenatmosfeer;
- afschrikken geschiedt in water dat 2 vol. % ethyl- of propylalcohol bevat (alcohol kan door geconcentreerde ammonia worden vervangen als de dampen geen bezwaren opleveren).

Tabel 8 Richtlijnen voor het zacht- en spanningsverlagend gloeien

materiaal		zacht-(homogeniserend) gloeien				spanningsverlagend gloeien		
groep	soort	temperatuur °C	tijd		afkoelen	temperatuur °C	tijd	afkoelen
K-Ni	A-nikkel L-nikkel	850 ... 890	ca. 1,5 min per mm dikte		lucht of afschrikken	300 ... 350	ca. 1,5 h	lucht of afschrikken
	duranikkel				afschrikken			afschrikken
K-NiCu	monel	850 ... 890			lucht of afschrikken			lucht of afschrikken
	K-monel KR-monel				afschrikken			afschrikken
K-NiCr	nimonic 75	950 ... 1050	ca. 0,5 h		lucht	niet toegepast		
	nimonic 80A nimonic 90	1050 ... 1100	8 h					
	nimonic 105	1130 ... 1170	4 h					
	inconel W inconel X	1050 ... 1100	ca. 20 min		afschrikken	400 ... 440	ca. 1,5 h	lucht of afschrikken
	inconel	980 ... 1000			lucht of afschrikken	740 ... 780		
incoloy	850 ... 890							
K-NiCrFe	nimonic DS incoloy 825	1150 ... 1190	d (mm) 1 ... 2,5 2,5 ... 4,5 4,5 ... 6 6 ... 21 > 21		min 8 10 20 30 ... 60 60 ... 120	lucht	niet toegepast	
	hastelloy F hastelloy G hastelloy X					blaaslucht of afschrikken		
	K-NiMo					hastelloy B		
hastelloy N		blaaslucht of afschrikken						
hastelloy C		1150						

Opm. : raadpleeg ook leverancier.

- gloeien dient te geschieden in een zwavelvrije, niet oxyderende ovenatmosfeer;
- afschrikken geschiedt in water dat 2 vol. % ethyl- of propylalcohol bevat (alcohol kan door geconcentreerde ammonia worden vervangen als de dampen geen bezwaren opleveren).

De corrosie die als gevolg van bovengenoemde omstandigheden optreedt onderscheidt men in:

- algemene corrosie; deze geeft een gelijkmatige aantasting;
- putcorrosie; deze geeft plaatselijke, diep door-dringende aantasting;
- interkristallijne corrosie, deze geeft aantasting, die de kristalgrenzen volgt;
- spanningscorrosie; dit is aantasting veroorzaakt door trekspanningen, waardoor grillig verlopende scheuren ontstaan.

2.4.2 Droge corrosie

Corrosie door gassen treedt in principe reeds bij gewone temperatuur op, waardoor bij nikkel en nikkellegeringen een zeer dicht oxydehuidje ontstaat dat het onderliggende metaal tegen aantasting beschermt. Ook bij stijgende temperatuur en daardoor toenemende oxydatie blijft het hechte, niet afbladderende huidje het metaal afdoende beschermen. Dit is niet het geval als bij hoge temperatuur zwavelhoudende gassen op het nikkel kunnen inwerken zoals SO_2 en in het bijzonder H_2S . Nikkel verbindt zich namelijk zeer gretig met zwavel tot nikkelsulfide dat geen gesloten laag vormt en bovendien reeds bij ongeveer 600°C smelt. De aantasting verloopt meestal interkristallijn en verwoest het metaal onherstelbaar.

2.4.3 Invloed van het lassen

Het lassen heeft in het algemeen weinig invloed op de corrosievastheid van nikkel en nikkellegeringen. Men moet echter indien met beklede elektroden is gelast en wanneer vloeimiddelen zijn gebruikt de slak- en vloeimiddelresten grondig verwijderen om de kans op aantasting te verkleinen. Waar grondige reiniging niet mogelijk of moeilijk is – b.v. aan de binnenkant van pijpen – past men voor het aanbrengen van de grondlaag bij voorkeur het MIG- of TIG-booglassen toe.

Uit materiaaltechnisch oogpunt streeft men naar een lasmetaal dat gelijk is aan het werkstukmate-

riaal. Dit is in de praktijk zeer moeilijk te verwezenlijken omdat terwille van de lasbaarheid elementen als titaan, niobium, mangaan en andere zijn toegevoegd om een gave las zonder gas- of slakinsluitels te verkrijgen.

In sommige gevallen kunnen deze bijmengsels de corrosievastheid ongunstig beïnvloeden. Dit is onder andere het geval met mangaan dat de scheur-gevoeligheid tegengaat, maar bij een hoog gehalte de corrosievastheid in bepaalde milieus vermindert. Indien het lasmetaal om welke reden ook een andere samenstelling moet hebben dan het werkstukmateriaal verdient het aanbeveling een hoger gelegen toevoegmetaal te gebruiken. De las wordt dan in een corrosieve omgeving galvanisch beschermd door het werkstukmateriaal.

De hoge lastemperatuur kan bij sommige legeringen van de NiMo-groep een voor de corrosievastheid nadelige uitscheiding van carbiden of andere intermetallische verbindingen veroorzaken. Dit is b.v. het geval bij de hastelloy-soorten van het B- of C-type, die na het lassen een gloeibehandeling moeten ondergaan om de genoemde precipitaten weer in oplossing te brengen. Deze nabehandeling is niet nodig als men verbeterde legeringen gebruikt met verlaagd gehalte aan koolstof of silicium.

Ten gevolge van het lassen kunnen in het materiaal grote spanningen optreden. Hoewel de meeste nikkellegeringen tamelijk ongevoelig zijn voor spanningscorrosie moet men hierop toch letten bij het gebruik van inconel en A-nikkel in gesmolten loog bij hoge temperatuur. Men dient dan of de constructie spanningsverlagend te gloeien of b.v. L-nikkel te gebruiken.

Bij monel kan spanningscorrosie in fluorsilicaten en kwikzouten optreden. Dit kan alleen door spanningsverlagend gloeien worden voorkomen.

Voorts dient men bij het lassen op te passen voor verontreiniging door zwavel dat in vele stoffen aanwezig is. Niet alleen in allerlei oliën en vetten, maar ook in stofdeeltjes in de lucht.

Zwavel veroorzaakt scheurgevoeligheid en vergroot de kans op corrosie.

Voorbehandeling en verbindingsprocédés

3.1 Materiaaltoestand

Voor het smellassen en hardsolderen van nikkel en nikkellegeringen dient het materiaal bij voorkeur spanningsvrij te zijn. Daarom is het in de regel gewenst het materiaal in de homogeniserend (zacht) gegloeide toestand te betrekken.

Als door bewerkingen tijdens de fabricage koudvervorming is opgetreden, kan het noodzakelijk zijn het materiaal eerst spanningsverlagend te gloeien, voordat lassen of hardsolderen plaatsvindt, omdat anders scheurvorming in de verbinding kan optreden.

Het smellassen of hardsolderen van starre constructies dient te worden vermeden.

Wanneer een smeltlas- of hardsoldeerverbinding op de juiste wijze is tot stand gebracht, is voor de corrosievastheid ervan in de regel geen chemische nabehandeling nodig en evenmin een thermische nabehandeling. In bepaalde gevallen kan wel een warmtebehandeling nodig zijn, b.v. als de gehele constructie spanningsvrij moet zijn of als er veredebare legeringen zijn gebruikt waarvan de eigenschappen door het lassen of solderen ongunstig zijn beïnvloed.

Voor eventuele nabehandelingen zie hoofdstuk 7.

3.2 Voorzorgen

De grootst mogelijke reinheid moet worden betracht, omdat nikkel en nikkellegeringen bij het lassen zeer gemakkelijk verontreinigingen opnemen die poreusheid veroorzaken of waardoor scheurvorming kan optreden. Niet alleen moet het werkstuk goed schoon zijn, maar ook de werkruimte. In veel gevallen is het gewenst in een speciaal daarvoor ingerichte en afgesloten ruimte te lassen of te solderen.

Tot de schadelijke verontreinigingen behoren vooral:

– lood (Pb), fosfor (P) en zwavel (S), vaak afkom-

- stig van olie (ook snijolie), vet, merkkrijt of verf;
- gemakkelijk smeltende metaaldeeltjes van bijvoorbeeld bij het vervormen gebruikte mallen of verspreid door bewerking van andere werkstukken in dezelfde ruimte;
- sporen van chemicaliën, die in de nabijheid zijn gebruikt.

Verontreinigingen kunnen soms worden verwijderd door spoelen met heet water of door behandeling met 10 % zoutzuur (HCl) en naspoelen met water. Meestal is dit onvoldoende en moet mechanisch worden gereinigd door borstelen, stralen, schaven of slijpen.

Indien bij het reinigen borstels nodig zijn, moeten deze van roestvast staal zijn zodat geen sporen van ongelegeerd staal kunnen achterblijven.

Reinig niet alleen de las- en soldeervlakken maar ook ongeveer 25 mm aan weerskanten daarvan.

Van gegoten materiaal moet bij de naad de giethuid worden verwijderd omdat deze vaste verontreinigingen kan bevatten.

Oxyden kunnen door hun hoog smeltpunt grote moeilijkheden veroorzaken. Behalve dat ze een afstotende werking uitoefenen op de elektrische lasboog veroorzaken ze poreusheid of insluitsels.

Bij sterk geoxydeerd materiaal is vrijwel steeds een chemische behandeling met beitsmiddelen nodig (zie hoofdstuk 7).

Vet wordt verwijderd door behandeling met daarvoor geschikte oplosmiddelen.

Waarschuwing

Als voor het ontvetten trichlooretheen, perchlooretheen, tetrachloorkoolstof of soortgelijke organische chloorverbindingen worden gebruikt, wordt met nadruk aanbevolen in een aparte ruimte te ontvetten. De dampen van dergelijke middelen worden door de hoge boogtemperatuur ontleed, waarbij het zeer giftige fosgeen kan ontstaan.

Pleeg overleg met de arbeidsinspectie bij het inrichten van een ontvettingsinrichting.

3.3 Keuze van het verbindingsprocédé

Bij het *smeltlassen* van nikkel en nikkellegeringen worden de volgende lasprocessen het meest toegepast :

- autogeen lassen;
- booglassen met beklede elektroden;
- MIG-booglassen;
- TIG-booglassen.

Alleen het autogeen lassen is niet algemeen bruikbaar (zie onder 4.2.1).

Het *weerstandlassen* kan men bij materiaal met meer dan 50 % nikkel zonder bezwaar toepassen; zie verder VM 08.

Alle nikkelsoorten en nikkellegeringen kan men door *hardsolderen* aan elkaar verbinden.

Aangezien de samenstelling van het materiaal, behalve voor het autogeen lassen, geen beperkingen oplegt aan de toepassing van een bepaald verbindingsprocédé, wordt dit naast economische overwegingen bepaald door :

- de aard en de vorm van de constructie;
- de dikte van het materiaal;
- de naadvorm;
- de werkomstandigheden.

Daar de uitzettingscoëfficiënt van nikkel en nikkellegeringen ongeveer even groot is als van staal, is ook de mate van vervorming ongeveer gelijk. Wegens het geringe warmtegeleidingsvermogen is voorwarmen gewoonlijk niet nodig.

Tabel 9 geeft een overzicht van de toepassing van de verbindingsprocessen.

Bij gebruik van toevoegmetaal kan tijdens het afsmelten een deel van de legeringselementen verloren gaan.

Tabel 9 Toepassing van verbindingsprocédés

procédé	plaat		buis	
	dik	dun		gietwerk
autogeen lassen	—	+	○	—
booglassen met beklede elektroden	+	—	+	+
MIG-booglassen	+	—	○	+
TIG-booglassen	○	+	+	○
hardsolderen	—	+	+	○

+ = mogelijk

○ = mogelijk, niet aanbevolen

— = nalaten

Smeltlassen

4.1 Algemeen

Ongeacht het procédé dat bij het lassen van nikkel en nikkellegeringen wordt toegepast, moet steeds worden gezorgd voor een zo groot mogelijke reinheid. Dit geldt niet alleen voor het werkstuk zelf (in het bijzonder de naad en directe omgeving) maar ook voor het toevoegmetaal, de uitrusting en alle hulpmiddelen als opspanvoorzieningen, onderlegstrippen e.a. Zie ook onder 3.2 Voorzorgen.

De voorbereiding van de lasvlakken moet zeer zorgvuldig geschieden, zowel ter verkrijging van een goede oppervlaksgesteldheid, als voor de juiste maten.

Bij de voorbereiding is verspanen de geschiktste methode.

4.2 Verbindingsprocédés en naadvormen

4.2.1 Autogeen lassen

De toepassing van dit procédé is beperkt omdat de mechanische sterkte en de corrosievastheid van de verbinding niet aan hoge eisen kunnen voldoen.

Het autogeen lassen van :

- L-nikkel;
- nimonic 80A, 90 en 105;
- inconel W en X;
- incoloy 825;
- alle hastelloy-soorten;

wordt afgeraden omdat deze materialen erg gevoelig zijn voor opkoling.

Men moet lassen met een 'neutrale' vlam, welke zo is ingesteld, dat de vlamkegel uitloopt in een gelijg randje van 0,5 ... 1,5 mm, veroorzaakt door een geringe overmaat aan acetyleen. Dit geeft een op de kegel volgende vlamzone die bestaat uit een mengsel van koolmonoxyde en waterstof. Het smeltbad wordt daardoor beschermd tegen eventuele oxydatie.

Men moet geen te klein brandermondstuk gebruiken daar anders een scherpe en onrustige vlam ontstaat.

De gasdruk kan men het beste constant houden met

een gelijkdrukbrander, die automatisch zorgt voor een gelijkmatige gastoevoer.

Gebruik geen acetyleenontwikkelaar omdat het daarmee verkregen gas te veel verontreinigingen bevat. Men moet uitgaan van acetyleendisous.

De bij het autogeen lassen gebruikelijke gasstroom bedraagt 75 liter per uur per mm materiaaldikte.

NAADVORMEN

Het autogeen lassen wordt hoofdzakelijk toegepast bij dun materiaal tot ongeveer 8 mm en bij kleine werkstukken.

Aanbevolen naadvormen : zie tabel 10.

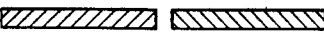
LASUITVOERING

Door de relatief geringe vloeibaarheid van het gesmolten materiaal is autogeen lassen in alle lasstanden mogelijk.

Gewoonlijk last men naar links, waarbij de lasstaaf in de lasrichting voorop gaat en de brander volgt. Bij materiaal dikker dan 3 mm geeft men de voorkeur aan het naar rechts lassen, omdat hierdoor de lasvlakken beter door de reducerende vlamzone worden omvat.

Het uiteinde van de lasstaaf moet men steeds in de reducerende vlamzone houden en het omroeren van het smeltbad vermijden.

Tabel 10 Naadvormen voor het autogeen lassen

dikte	naadvormen
≤ 1	 Randnaad
≤ 3	 I-naad
> 3	 V-naad

maten in mm

Tabel 11 Keuze van de lasstaaf afhankelijk van de materiaaldikte

lasstaaf		materiaaldikte
mm	inch	mm
1,6	1/16	0,5 ... 1,5
2,4	3/32	1,5 ... 2,5
3,2	1/8	2,5 ... 3,5
4,0	5/32	3,5 ... 5
4,8	3/16	5 en dikker

Men kiest de lasstaaf afhankelijk van de materiaaldikte, zie tabel 11.

VLOEIMIDDEL

In de meeste gevallen moet men bij het lassen een vloeimiddel gebruiken dat wordt aangemaakt tot een pasta. Het wordt aan beide zijden van de naad en op de lasstaaf aangebracht. De samenstelling van het vloeimiddel moet afgestemd zijn op de samenstelling van het te lassen materiaal. Sommige materiaalsoorten kunnen zonder vloeimiddel worden gelast. Tabel 12 geeft hiervoor aanwijzingen, waarbij tevens is aangegeven hoe de vloeimiddelresten na het lassen moeten worden verwijderd.

TOEVOEGMETAAL

Gebruik geen strippen die van het te lassen materiaal zijn afgeknipt of afgesneden.

Voor de keuze van het juiste toevoegmetaal zie tabel 18 onder 4.3.

Tabel 12 Verband tussen materiaal en vloeimiddelsoort; verwijderen van resten

materiaal	vloeimiddel	
	soort	reinigen
ongelegeerd Ni; A-nikkel	geen vloeimiddel	—
monel	monel-vloeimiddel	ongesmolten resten met heet water; gesmolten resten mechanisch (roestvast stalen borstel), nooit chemisch reinigen
K-monel	K-monel-vloeimiddel	
nimonc 75	boriumvrij	ongesmolten resten met heet water; gesmolten resten met salpeterzuur in water 1 : 1 vol. delen bij kamertemperatuur (15 ... 30 min.); nawassen met heet water
inconel	inconel-vloeimiddel	
nimonc DS		
incoloy		

4.2.2 Booglassen met beklede elektroden

Het booglassen met beklede elektroden wordt veel toegepast voor nikkel en nikkellegeringen met een materiaaldikte van meer dan 2 mm. De elektroden dienen droog te worden opgeslagen en bewaard. Zonodig direct voor het gebruik nadrogen.

NAADVORMEN

De meest gebruikte naadvormen zijn in tabel 13 gegeven.

Opmerkingen (bij tabel 13):

- bij het lassen van een gehechte naad moet de eerste laag worden aangebracht aan de niet-gehechte zijde;
- in geen geval mogen hechtlassen in de las worden opgenomen; ze dienen vóór het lassen te worden weggeslepen;
- moet een tegenlas worden aangebracht dan moet de keerzijde worden uitgeslepen; hakken wordt nadrukkelijk afgeraden;
- indien geen tegenlas kan worden aangebracht, verdient het de voorkeur de grondlaag aan te brengen met het TIG-booglasprocédé.

Tabel 13 Naadvormen voor het booglassen met beklede elektroden

dikte	naadvormen
2 ... 3	 I-naad, tweezijdig lassen
2,5 ... 12,5	 V-naad met staande kant
12,5 ... 19	 U-naad
12,5 ... 16	 X-naad, symmetrisch
> 19	 U-naad, tweezijdig, symmetrisch

maten in mm

LASUITVOERING

In horizontale stand lassen verdient de voorkeur, hoewel men met beklede elektroden in verschillende lasstanden kan lassen. In de regel last men met gelijkstroom, met de elektrode aan de positieve pool. Volg de aanwijzingen van de fabrikant ten aanzien van het gebruik van de elektrode.

De boog niet ontsteken aan het werkstuk, maar aan een ontsteekplaatje van gelijksoortig materiaal.

Om oxydatie tegen te gaan last men met een korte boog met de elektrode nagenoeg verticaal.

In het algemeen moet men zo weinig mogelijk zwaaien; het lassen in snoeren verdient de voorkeur.

Voor elke onderbreking van het lassen wordt de elektrode aan het einde van een rups naar de kant weggetrokken ter voorkoming van kraterscheuren. Treden deze toch op dan dienen ze te worden weggeslepen alvorens het lassen te hervatten.

De elektroden zijn ten hoogste 4 mm dik; zij mogen niet erg spatten.

Komt dit toch voor, dan wijst dit op :

- een te lange boog;
- een te hoge stroom;
- een onjuiste poolaansluiting;
- een vochtige elektrode.

De laswarmte heeft geen nadelige invloed op het werkstukmateriaal, behoudens een zeer geringe korrelvergroving, die in een smalle zone naast de rups de hardheid iets vermindert. Slak verwijderd men door borstelen (met een roestvast stalen borstel), hetzij met de hand, hetzij mechanisch. Als in meer lagen wordt gelast, moet men na elke laag alle slak verwijderen alvorens verder te lassen. Ook de slak van de sluitlaag moet grondig worden verwijderd.

TOEVOEGMETAAL

Raadpleeg tabel 18 onder 4.3 voor de keuze van het toevoegmetaal.

4.2.3 MIG-booglassen

Bij het 'Metal Inert Gas'-booglassen wordt de boog getrokken tussen een stroomgeleidende afsmeltende draadelektrode (het toevoegmetaal) en het werkstuk. Om de invloed van de atmosfeer uit te schakelen wordt de elektrode omhuld met beschermend gas, dat tevens het smeltbad en omgeving afsluit.

Bij dit lasprocédé onderscheidt men :

- het lassen met kortsluitboog;
- het lassen met sproei-boog;
- het lassen met pulserende stroom.

Het lassen met *kortsluitboog* vereist een nagenoeg vlakke stroom-spanningskarakteristiek, een relatief lage stroom en spanning.

Hierdoor ontstaat een vrij grove druppelovergang en het smeltbad blijft relatief koel. Deze wijze van lassen past men voornamelijk toe voor dunne plaat (tot 6 mm) en voor het leggen van grondlagen in dik materiaal. De lasmethode is voor alle lasstanden geschikt.

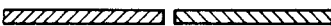
Bij het lassen met *sproei-boog* worden bij een eveneens vrijwel vlakke stroom-spanningskarakteristiek een hogere stroom en spanning toegepast, waardoor het ontstaan van kortsluiting tussen draadelektrode en smeltbad wordt vermeden. Er treedt een fijne druppelovergang op, terwijl het smeltbad vloeibaar is. Deze lasmethode is uitsluitend geschikt voor het lassen in horizontale stand en wordt hoofdzakelijk toegepast voor het lassen van dikke plaat (≥ 6 mm) en voor het leggen van staande hoeklassen.

Bij het lassen met *pulserende stroom* houdt men de boog in stand door een relatief hoge basisstroom, waarop men hoge stroomimpulsen superponeert, waardoor de draadelektrode afsmelt en tijdens de impulsduur een fijne druppelovergang wordt verkregen. Dit maakt deze methode door de relatief kleine hoeveelheid ingebrachte warmte en het geringe spatten bijzonder geschikt voor het in positie lassen, voor het verkrijgen van een goede doorlassing bij eenzijdig lassen en in het geval de opmenging gering moet zijn.

NAADVORMEN

Tabel 14 toont de meest toegepaste naadvormen.

Tabel 14 Naadvormen voor het MIG-booglassen

dikte	naadvormen
< 3	 T- of I-naad
3 ... 12	 V-naad met staande kant
> 10	 U-naad met staande kant
> 10	 X-naad, symmetrisch, met staande kant

maten in mm

BESCHERMEND GAS

Bij het MIG-booglassen van nikkel en nikkellegeringen gebruikt men zuiver argon (tenminste 99,97 %) of argon-waterstofmengsels (met 5...15 volumeprocent waterstof). Argon-zuurstofmengsels mogen niet worden gebruikt in verband met oxydatie en het optreden van poreusheid. Helium wordt in Europa vrijwel niet gebruikt wegens de hoge prijs. Bij het MIG-booglassen van open naden vindt de bescherming slechts aan één zijde plaats en dient, om oxydatie van de tegenzijde van de las te voorkomen, ook die zijde te worden beschermd. Daarvoor gebruikt men argon of 'formier'-gas. Dit laatste is een stikstof-waterstofmengsel, dat 5...20 volumeprocent waterstof bevat. Men beschouwt 10 volumeprocent als een veilig gehalte; daarboven ontstaat explosiegevaar.

De gasstroom varieert onder normale omstandigheden van 10...25 l/min, en hangt af van de grootte van het toortsmondstuk, de materiaaldikte, de naadvorm en de lasstand. In tochtige werkplaatsen is meer gas nodig. Bij toepassing van dit procédé in de buitenlucht zijn extra voorzieningen tegen verstoring van de gasstroom nodig.

UITRUSTING

De afdichtingen tussen de onderdelen van de las-toorts en van de aansluitingen op de slangen mogen niet lekken, daar anders lucht wordt meegezogen die het beschermende gas verontreinigt. De contactbuis moet goed schoon zijn. Aanbevolen wordt deze buis en het mondstuk aan de binnenzijde van een anti-spatmiddel te voorzien. Dit voorkomt het aan- kleven van metaaldeeltjes.

De afscherming van draadhaspel en draadaanvoer-mechanisme, waarmee sommige installaties zijn uitgerust, moet gesloten blijven omdat anders de

buigzame draadgeleider verontreinigd kan raken en storingen optreden in de aanvoer van de draad-elektrode.

Is geen afscherming aanwezig dan moeten haspel en mechanisme vaak worden gereinigd. Het verdient aanbeveling de draadgeleider regelmatig door te blazen, ook bij een afgeschermd installatie.

BOOGLENGTE EN DRAADTOEVOER

Bij een nagenoeg vlakke stroom-spanningskarakteristiek blijft de vooraf ingestelde boogspanning vrijwel constant, onafhankelijk van de stroom.

Is een hogere stroom nodig dan moet de aanvoersnelheid worden vergroot.

De lengte van het stroomgeleidende elektrodeëinde bepaalt mede de hoeveelheid ontwikkelde warmte per tijdseenheid.

LASUITVOERING

Het MIG-booglassen van nikkel en nikkellegeringen geschiedt met gelijkstroom, met de afsmeltende draadelektrode als + pool. Deze aansluiting bevordert een goede boogstabiliteit en een goede insmelting.

Het verdient aanbeveling de boog niet op het werkstuk te ontsteken maar op een aparte nikkelen strip. Het mondstuk van de toorts wordt bij het lassen onder een hoek van 80...90° op het werkstuk gehouden.

Tabel 15 geeft enig houvast voor de samenhang tussen materiaaldikte en lasvoorwaarden voor enige materiaalsoorten.

Eventuele hechtlassen moeten vóór het lassen grondig worden gereinigd; dit geldt ook voor het lasmetaal, als na een onderbreking het lassen wordt hervat. Aanbevolen wordt in dunne lagen te lassen; het zwaaiend en het pendelend lassen wordt afgeraden.

Tabel 15 Lasvoorwaarden voor het MIG-booglassen

werkstuk- materiaal	diameter draadelektrode mm	boogspanning V		lasstroom A	draadaanvoer- snelheid m/min	lasmethode
		piek	gemiddeld			
nikkel monel inconel	0,8	— — —	20...21 16...18 16...18	160 130...135 120...130	9,1 6,9...7,4 6,9...7,4	kortsluitboog
nikkel monel inconel	1,2	46 40 44	21...22 21...22 20...22	150 110 90...120	4,1 3,5...4,1 3,5	pulserende stroom
nikkel monel inconel	1,6	— — —	29...31 28...30 28...30	375 290 265	5,1...5,2	sproei-boog

Ter voorkoming van kraterscheuren wordt de toorts aan het einde van een rups en vóór elke onderbreking naar de kant weggetrokken.

TOEVOEGMETAAL

Men gebruikt lasdraad in verschillende dikten. De meest gebruikte zijn 0,8; 1,0; 1,2 en 1,6 mm.

Voor de keuze van het juiste toevoegmetaal zie tabel 18 onder 4.3.

4.2.4 TIG-booglassen

Bij het 'Tungsten Inert Gas'-booglassen wordt de boog getrokken tussen een nagenoeg niet afsmeltende wolframelektrode en het werkstuk. Om de invloed van de atmosfeer uit te schakelen wordt de elektrode omhuld met beschermend gas, dat tevens het smeltbad en omgeving afsluit. Er wordt dus geen slak gevormd. Het toevoegmetaal is een onbeklede draad, die met de hand of mechanisch wordt toegevoerd.

Men gebruikt bij voorkeur een 2 %-thoriumoxydehoudende W-elektrode ter wille van een lange standtijd.

Met dit procédé kan men in alle standen lassen. Men past het in het algemeen toe voor materiaal tot 3 mm dikte, hoewel met dit lasproces ook dikker materiaal met succes kan worden gelast. Bij dikker materiaal past men het echter hoofdzakelijk toe voor het leggen van de grondlaag.

Men verkiest dit lasproces boven andere als :

- een zuiver lasmetaal wordt verlangd;
- een goede doorlassing wordt vereist (zoals bij het lassen van pijp, waarbij gebruik kan worden gemaakt van geprofileerde inlegringen);
- de verwijdering van slak moeilijkheden oplevert.

Het TIG-booglassen is weinig geschikt voor uitvoering in de buitenlucht. Tocht en wind kunnen de beschermende gasmantel verstoren waardoor de kwaliteit van de las vermindert.

NAADVORMEN

Zie voor de meest toegepaste naadvormen tabel 16.

BESCHERMEND GAS

Bij het TIG-booglassen van nikkel en nikkellegeringen worden argon, argon-waterstofmengsels of helium gebruikt. Het argon moet zeer zuiver zijn (tenminste 99,97 %). Helium wordt in Europa vrijwel niet gebruikt wegens de hoge prijs.

In argon-waterstofmengsels bedraagt het gehalte aan waterstof 5...10 % van het totale volume. Met dergelijke mengsels kan men gemakkelijk een

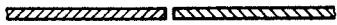
poriënvrije las verkrijgen, mits het juiste toevoegmetaal wordt gebruikt. Aangezien bij het TIG-booglassen het procédé slechts aan één zijde bescherming tegen oxydatie biedt, dient ook de tegenzijde van de las te worden beschermd. Daarvoor gebruikt men gewoonlijk argon of 'formier'-gas. Dit laatste is een stikstof-waterstofmengsel, dat 5...20 volumepercent waterstof bevat. Men beschouwt 10 % als een veilig gehalte; daarboven ontstaat gevaar voor explosie.

De gasstroom varieert onder normale omstandigheden van 5...10 l/min, en hangt af van de grootte van het toortsmondstuk, de materiaaldikte, de naadvorm en de lasstand. In een tochtige omgeving is meer gas nodig.

UITRUSTING

De afdichtingen tussen de onderdelen van de las-toorts en van de aansluitingen op de slangen mogen niet lekken, daar anders lucht wordt meegezogen die het beschermende gas verontreinigt. Dit heeft een ongunstige invloed op de kwaliteit van de las.

Tabel 16 Naadvormen voor het TIG-booglassen

dikte	naadvormen
≤ 2	 T-naad, éézijdig lassen; ook buis
≤ 3	 I-naad, tweezijdig lassen
2...6	 V-naad met staande kant; tegenlassen
	 U-naad, éézijdig lassen
> 6	 X-naad, symmetrisch; uitslijpen voor het tegenlassen
	 U-naad, éézijdig lassen; daarna tegenlassen

maten in mm

LASUITVOERING

Het TIG-booglassen van nikkel en nikkellegeringen geschiedt met gelijkstroom, waarbij de wolframelektrode wordt aangesloten als – pool (het werkstuk dus aan de + pool).

Voor het ontsteken van de boog moet een hoogfrequentapparaat worden gebruikt. Het verdient aanbeveling de boog op een aparte nikkelen strip te ontsteken. De boog moet kort zijn, daar een te lange boog de gasbescherming kan verstoren.

Bij het lassen wordt de wolframelektrode onder een hoek van 80 ... 90° op het werkstuk gehouden. De elektrode moet juist vrij zijn van het smeltbad ten einde insluiting van wolframdeeltjes te voorkomen. Eventueel toevoegmetaal (lasstaaf of lasdraad) wordt toegevoegd onder een hoek van ca. 15° met de lasrichting en moet in de buitenrand van het smeltbad, doch wel binnen de beschermende gasstroom regelmatig afsmelten.

Eventuele hechtlassen moeten vóór het lassen grondig worden gereinigd; dit geldt ook voor het lasmetaal, als na een onderbreking het lassen wordt hervat.

Er dient in dunne en getrokken lagen te worden gelast; aanbevolen wordt zo min mogelijk zwaaiend of pendelend te lassen.

Ter voorkoming van kraterscheuren wordt de wolframelektrode aan het einde van een las naar de kant weggetrokken, waarbij – als dit wordt gebruikt – men steeds toevoegmetaal moet blijven toevoegen. Bij beëindiging of bij onderbreking van het lassen moet het beschermende gas nog korte tijd (10 ... 15 s) doorstromen.

Bij elke andere lasstand dan de horizontale is meer gas nodig. Vergeleken met het lassen van roestvast staal verloopt het TIG-booglassen van nikkel en nikkellegeringen ongeveer 25 % langzamer.

Tabel 17 geeft richtlijnen voor enige samenhangende lasvoorwaarden.

Tabel 17 Lasvoorwaarden voor het TIG-booglassen

materiaal- dikte mm	diameter toevoeg- metaal mm	diameter W-elektrode mm inch	stroom A	gas l/min
1	1,6	1,6 1/16	55 ... 75	6
1,5		2,4 3/32	60 ... 70	
2,0	2,4		70 ... 100	8
2,5			100 ... 120	
3	2,4 ... 3,2	3,2 1/8	140 ... 180	10

TOEVOEGMETAAL

Het TIG-booglassen van nikkel en nikkellegeringen zonder toevoegmateriaal of het gebruik van een strip werkstukmateriaal als toevoegmetaal wordt met klem afgeraden. Het toevoegmetaal moet een aangepaste samenstelling hebben en desoxyderende bestanddelen bevatten voor het verkrijgen van een poriënvrije las.

Ook als dun materiaal (minder dan 1,5 mm) wordt gelast moet men bij voorkeur toevoegmetaal gebruiken omdat anders de kans groot is dat poreusheid optreedt.

Voor de keuze van het toevoegmetaal zie tabel 18 onder 4.3.

4.3 Toevoegmetalen

Tabel 18 vermeldt de toevoegmetalen die bij de verschillende lasprocédés worden gebruikt voor het lassen van gelijke verbindingen. De tabellen 19 ... 21 geven de samenstellingen en – voor zover aanwezig – de normaanduidingen van de toevoegmetalen.

Toelichting bij tabel 18

ad toevoegmetalen E: E2: geeft een lasmetaal dat veredeld kan worden, echter niet volledig. E3: voor gebruik als niet wordt veredeld. E8: heeft een hoog gehalte aan Mn; dit maakt het lasmetaal minder scheurgevoelig, maar is voor bepaalde corrosieve omstandigheden ongewenst.	ad toevoegmetalen D: D4: voor algemeen gebruik. D6: voor hoge dichtheidseisen. D7: lasmetaal veroudert bij hoge temperatuur; niet geschikt als Si-gehalte van de smelt > 1,5% wordt; is alleen bestemd voor het verbinden van ongelijksoortige materialen. D9: voor gebruik bij hoge temperatuur.	ad hastelloy-toevoegmetalen: voor zover niet onder een norm vallende, is de samenstelling ervan aangegeven met de nominale samenstelling van de hastelloy-soorten. E18 resp. D17 zijn bestemd voor het verbinden van ongelijksoortige materialen.
---	---	---

Tabel 18 Keuze van toevoegmetalen

werkstukmateriaal			lasprocédé		
groep	soort	codering vgl. VM 21	autogeen	beklede elektrode	MIG/TIG
K-Ni	nikkel A-nikkel	K-Ni K-Ni99	L1	E1	D1
	L-nikkel	K-Ni99LC	-		
	E-nikkel D-nikkel	K-NiMn2 K-NiMn5			
	duranikkel	K-NiAl4Ti	L1	-	D1
K-NiCu	monel	K-NiCu30	L2	E3	D2
	K-monel	K-NiCu30AlTi	L3	E2 of E3	D3
	KR-monel	K-NiCu30AlTiC	-	-	-
K-NiCr	nimonc 75	K-NiCr20Ti	L4	E5, E6, E7, E8 of E9	D9
	nimonc 80A nimonc 90	K-NiCr20TiAl K-NiCr20Co20TiAl	-	leverancier raadplegen	D8
	nimonc 105	K-NiCr15Co20MoAlTi			-
	inconel	K-NiCr15Fe7	L4 of L5	E7 of E8	D4, D6 of D9
	inconel W inconel X	K-NiCr15Fe7AlTi K-Cr15Fe7AlTiNb	-	-	D5
K-NiCrFe	hastelloy X hastelloy F hastelloy G incoloy 825	K-NiCr22Fe18Mo9 K-NiCr22Fe18MoNb K-NiCr22Fe20MoCuNb K-NiCr20Fe30MoCu	-	E14 E12 E13 E10	D13 D11 D12 D10
	nimonc DS incoloy	K-NiCr20Fe40Si K-NiCr20Fe45	L4 L4 of L5	E4, E5, E6 of E9 E8 of E9	D9 D4 of D6
	hastelloy B hastelloy C hastelloy N	K-NiMo30Fe5 K-NiMo16Cr16FeW K-NiMo16Cr7Fe	-	E15 E16 E17	D14 D15 D16
K-NiMo	hastelloy C276	-		gelijk aan werkstukmateriaal	
G-Ni	giet-nikkel G-nikkel	G-Ni96 G-Ni94C2	L1	E1	D1
G-NiCu	giet-monel	G-NiNiCu30	L2	E3	D2
G-NiCr	giet-inconel	G-NiCr16Fe9	L4 of L5	E8 of E9	D4 of D6
	illium	G-NiCr22FeMoCu	-	-	gelijk aan werk- stukmateriaal
G-NiCrFe	legering HX legering HW	G-NiCr17Fe G-NiCr12Fe	L5	E7 of E8	-
	legering HU legering HT	G-NiCr19Fe G-NiCr15Fe	L6	E11	
G-NiMo	hastelloy B hastelloy C	G-NiMo30Fe5 G-NiMo16Cr16FeW	-	E15 E16	D14 D15

Opm.: Zie voor de samenstelling der toevoegmetalen tabel 19 . . . 21.
Zie ook toelichting op bladzijde 26.

Tabel 19 Toevoegmetalen voor het autogeen lassen

type	normaanduiding		samenstelling lasstaaf										opmerkingen	
	Engeland ¹⁾	Duitsland ²⁾	Verenigde Staten ³⁾	andere ⁴⁾	Ni	Cu	Mn	Fe	Si	C	S	andere		
L1		R.Ni-2			≥97	0,25	0,35	0,4	1,0	0,15	0,01		zonder vloeimiddel	
L2		R.NiCu-5			63...70	rest	2,0	2,5	0,5	0,3	0,02		met monel-vloeimiddel	
L3			R.NiCuAl		≥64	27...33	1,5	2,0	1,0	0,25		Al: 2...4; Ti: 0,25...1,0	met K-monel-vloeimiddel	
L4	NA 34	S-NiCr20			rest	0,2	1,2	0,5	0,5	0,25	0,01	Cr: 18...21	met inconel-vloeimiddel	
L5		R.NiCrFe-4			≥72	0,5	1,0	6...10	0,5	0,1	0,018	Cr: 14...17	met inconel-vloeimiddel	
L6		ER.330			≥34		1,0...2,5	rest	0,6	0,15...0,25	0,03	Cr: 15...17; P: 0,04	zonder vloeimiddel	

¹⁾ BS 2901-1
= lasstaaf

²⁾ DIN 1736

³⁾ ASTM-B 304, A 371

⁴⁾ Federal Spec. QQ-R-571 A (Verenigde Staten).

Tabel 20 Toevoegmetalen voor het booglassen met beklede elektroden

type	normaanduiding		samenstelling neersmelt											andere
	Duitsland ¹⁾	Verenigde Staten ²⁾	Ni	Cu	Cr	Mn	Fe	Si	C	S	Mo			
E1	S-NiTi3 (NiTi1)	E.Ni-1	≥92	0,25		0,75	0,75	1,25	0,1	0,02		Al: 1,0; Ti: 1...4		
E2	S-NiCu28Al	E.NiCu-3	60...68	rest		4	2,5	1,25	0,45	0,025		Al: 1...4; Ti: 1,0		
E3	S-NiCu28Mn	E.NiCu-2	60...68	rest		4	2,5	1,0	0,15	0,015		Al: 0,75; Ti: 1,0		
E4			58		15		18		0,1			Nb + Ta: 1,8		
E5			78		18				0,1...0,28			Nb + Ta: 1,8		
E6			rest		18	1	3,5	0,6	0,15		3	Nb + Ta: 3; Ti; Al		
E7		E.NiCrFe-1	≥68	0,5	13...17	1,5	11	0,75	0,08	0,015		Nb + Ta: 1,5...4		
E8	S-NiCr15FeMn	E.NiCrFe-3	rest	0,5	13...17	5...9,5	6...10	1,0	0,1	0,015		Nb + Ta: 1...2,5; Ti: 1,0		
E9	S-NiCr15FeNb	E.NiCrFe-2	rest	0,5	13...17	1...3,5	6...12	0,75	0,1	0,02	0,5...2,5	Nb + Ta: 0,5...3		
E10			38...44	1,5...3	17...21	1	rest	0,75	0,08	0,03	4,5...7	Nb + Ta: 0,75...2		
E11		E.330	34...37		14...17	2,0		0,75...1,50	0,4...0,55	0,04		P: 0,04		
E12			47		22		17		0,05		6,5	Co: 2,5; W: 0,6		
E13			45		22		20		0,03		6,5	Co: 1; W: 0,3		
E14			47		22		18		0,10		9	Co: 1,5; W: 0,6		
E17	S-NiMo28	E.NiMo-1	rest		1,0	1,0	4...7	1,0	0,12	0,03	26...30	Co: 2,5; V: 0,6		
E16	S-NiMo15Cr	E.NiMo-2	rest		14,5...16,5	1,0	4...7	1,0	0,12	0,03	15...18	Co: 2,5; V: 0,35; W: 3...4,5		
E15			rest		7	0,8	5	0,5	0,09		12	Al + Ti: 0,5		
E18		E.NiMo-3	rest		2,5...5,5	1,0	4...7	1,0	0,12	0,03	23...27	Co: 2,5; V: 0,6		

¹⁾ DIN 1736²⁾ ASTM-B 298 en A 298

E = elektrode

Tabel 21 Toevoegmetalen voor het MIG- en TIG-booglassen

type	normaanduiding		samenstelling draadelektrode												
	Engeland ¹⁾	Duitsland ²⁾	Verenigde Staten ³⁾	Andere ⁴⁾	Ni	Cu	Co	Cr	Mn	Fe	S	Si	C	Mo	andere
D1	NA 32	S-NiTi4	ER.Ni-3		≥ 93	0,25			1,0	1,0	0,01	0,75	0,15		Al: 1,5; Ti: 2...3,5; event. Nb(+ Ta): 2
D2	NA 33	S-NiCu32Ti	ER.NiCu-7		62...69	rest			4	2,5	0,02	1,25	0,15		Al: 1,25; Ti: 1,5...3
D3		S-NiCu30Al	ER.NiCu-8		63...70	rest			1,5	2,0	0,01	1,0	0,25		Al: 2...4; Ti: 0,25...1,0
D4			ER.NiCrFe-5		≥ 70	0,5		14...17	1,0	6...10	0,015	0,35	0,08		Nb(+ Ta): 1,5...3
D5			ER.NiCrFe-7		≥ 70	0,5		14...17	1,0	5...9	0,01	0,5	0,08		Al: 0,4...1,0; Ti: 2...2,75; Nb(+ Ta): 0,7...1,2
D6		S-NiCr20Nb	ER.NiCr-3		≥ 67	0,5		18...22	2,5...3,5	3	0,015	0,5	0,1		Ti: 0,75; Nb(+ Ta): 2...3
D7		S-NiCr15FeTi	ER.NiCrFe-6		≥ 67	0,5		14...17	2...2,7	10	0,015	0,35	0,08		Ti: 2,5...3,5
D8					rest		15...21	18...21	1,0	3		1,5	0,13		Al: 0,8...2; Ti: 1,8...3
D9	NA 34	S-NiCr20			rest	0,2		18...21	1,2	0,5	0,01	0,5	0,25		
D10			E(R).N65	38...46	1,5...3		19,5...23,5	1,0	rest	0,03	0,5	0,05	2,5...3,4	Al: 0,2; Ti: 0,6...1,2	
D11				47		2,5	22		17			0,05	6,5	W: 0,6	
D12					45		1	22		20			0,03	6,5	W: 0,3
D13					47		1,5	22		18			0,10	9	W: 0,6
D14		S-NiMo30	ER.NiMo-4		rest		2,5	1,0	1,0	4...7		1,0	0,08	26...30	V: 0,2...0,6
D15		S-NiMo16Cr	ER.NiMo-5		rest		2,5	14,5...16,5	1,0	4...7		1,0	0,08	15...17	V: 0,35; W: 3...4,5
D16					rest			7	0,8	5		0,5	0,06	12	Al + Ti: 0,5
D17			ER.NiMo-6		rest		2,5	4...6	1,0	4...7		1,0	0,12	23...26	V: 0,6

¹⁾ BS 2901-I

D = draadelektrode

²⁾ DIN 1736

³⁾ ASTM-B 304

⁴⁾ Milit. Spec. E.21562 (Verenigde Staten)

Hard solderen

5.1 Algemeen

Men past nikkel en nikkellegeringen in het algemeen toe om hun corrosie- en hittevast eigenschappen. Daar bij een gelaste verbinding het lasmetaal vrijwel dezelfde eigenschappen bezit als het werkstukmateriaal zelf, verdient lassen in het algemeen de voorkeur boven solderen.

Niettemin zijn er gevallen waarin hardsolderen niet alleen toelaatbaar, maar zelfs gewenst is, meestal door de vorm van het werkstuk. Solderen levert dan een aanzienlijk voordeel op, omdat vele verbindingen tegelijkertijd tot stand kunnen worden gebracht. Voor meer gegevens betreffende het hardsolderen wordt verwezen naar VM 44 en 45 Hard- en zachtsolderen 1 en 2.

Onder *hardsolderen* verstaat men het verbinden van metalen met behulp van toevoegmetaal – het soldeer –, dat bij een temperatuur hoger dan 450 °C smelt zonder dat het werkstukmateriaal tot smelten komt. Men maakt hierbij gebruik van een vloeimiddel, een beschermend gas of vacuüm.

Voor een sterke verbinding zijn van belang:

- de vorm van het werkstuk (soldeerplaatsen, naadvorm, spleetbreedte);
- de keuze van het toevoegmetaal (de hardsoldeer-soort);
- de werkwijze (voorbewerking, soldeermethode, nabewerking).

Evenals bij het lassen moet ook bij het hardsolderen van nikkel en nikkellegeringen veel zorg worden besteed aan de reinheid (zie onder 3.2 Voorzorgen).

5.1.1 Materiaaltoestand

Het verdient aanbeveling om voor het hardsolderen uit te gaan van zachtgegloeid materiaal of van ten minste spanningsverlagend gegloeid materiaal.

Zijn namelijk spanningen aanwezig dan kan soldeerbroosheid optreden. Dat is een vorm van spanningscorrosie onder invloed van het gesmolten soldeer. Dit kan ook optreden als door b.v. verkeerd inspannen of ongelijkmatig verhitten spanningen

ontstaan tijdens het hardsolderen. Moet veredeld materiaal worden gesoldeerd dan moet men uitgaan van homogeniserend gegloeid materiaal. Voor dergelijk materiaal moet soldeer worden gebruikt, dat bij een hogere temperatuur smelt, dan die bij het veredelen (na het hardsolderen) optreedt.

5.1.2 Verbindingsvormen

De rechte verbinding (vergelijkbaar met de I-naad) wordt bij het hardsolderen van nikkel en nikkellegeringen zelden toegepast. Deze kan worden gebruikt in geval er weinig ruimte voor de verbinding beschikbaar is en deze niet of slechts gering wordt belast. Zie tabel 22.

Het gunstigst is de overlap met een breedte van ongeveer $3 \times$ de dikte van het dunste lid.

De spleetbreedte moet klein zijn, in het algemeen:

- 0,05 ... 0,2 mm voor zilversoldeer;
- ten hoogste 0,05 mm voor kopersoldeer (perspassing);
- 0,01 ... 0,15 mm voor speciaal soldeer.

Men kiest de breedte aan de hoge kant als met de hand wordt gesoldeerd. Geschiedt het solderen in een oven dan past men bij voorkeur zichzelf fixerende verbindingen toe met een zo nauw mogelijke passing. Het soldeer moet zo dicht mogelijk bij de naad worden gebracht zodat het door capillaire werking op de juiste plaats komt.

5.1.3 Vloeimiddelen

Deze dienen om eventueel aanwezige oxyden te verwijderen en het ontstaan van nieuwe tegen te gaan. Aangezien het vloeimiddel even eerder moet smelten dan het soldeer hangt de keuze af van de soldeertemperatuur. De keuze is ook afhankelijk van het werkstukmateriaal. Speciale vloeimiddelen zijn nodig voor legeringen die aluminium, titaan of chroom bevatten en in geval van lange soldeercycli. Het vloeimiddel wordt soms in poedervorm, doch meestal als pasta, zowel op de te verbinden werkstukanten als op het soldeer zelf aangebracht.

Men laat dit drogen waardoor bij het solderen minder verloren gaat door spatten. Na het solderen moet het werkstuk gelijkmatig worden afgekoeld, waarna de vloeimiddelresten grondig worden verwijderd. Dit geschiedt door wassen met heet water, speciale (zuur)baden of mechanisch, afhankelijk van de aard van de resten.

Heeft een werkstuk moeilijk bereikbare soldeerplaatsen dan kiest men zo mogelijk een soldeerwijze waarbij geen vloeimiddel nodig is. Dit kan meestal als in een reducerend gas wordt gesoldeerd en altijd als in vacuüm wordt gesoldeerd.

5.2 Soldeermethoden

Voor het hardsolderen van nikkel en nikkellegeringen komen in aanmerking:

- autogeen solderen;
- inductief solderen;
- weerstandsolderen;
- ovensolderen.

Bij de genoemde methoden moet vrijwel steeds een vloeimiddel worden gebruikt. De soldeermethode die de voorkeur verdient, vooral voor ingewikkelde werkstukken van enige omvang, is het ovensolderen. Autogeen solderen en ovensolderen bieden de meeste mogelijkheden.

5.2.1 Autogeen solderen

Dit geschiedt gewoonlijk met de acetyleenzuurstofbrander, met een grote, zachte en reducerend ingestelde vlam. Door gebruik te maken van een draaitafel of een lopende band en vast opgestelde brander(s) kan het solderen worden gemechaniseerd.

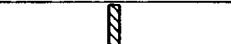
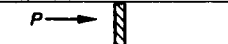
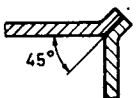
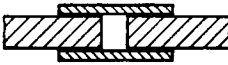
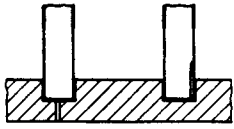
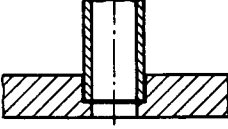
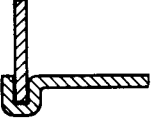
5.2.2 Inductief solderen

De verhitting geschiedt door een elektrische stroom in het werkstuk zelf. De stroom wordt hierin geïnduceerd door het werkstuk te plaatsen in een spoel waardoor een middel- of hoogfrequente stroom gaat. De spoel kan verschillende, aan de soldeerplaatsen aangepaste, vormen hebben. De methode wordt toegepast voor werkstukken van niet te grote omvang en voor klein seriewerk.

5.2.3 Weerstandsolderen

Hierbij wordt een elektrische stroom via elektroden door het werkstuk geleid. Door de grote overgangsweerstanden tussen deze beide wordt op die plaatsen veel warmte ontwikkeld. De methode wordt toegepast voor kleine werkstukken waarop druk kan worden uitgeoefend.

Tabel 22 Verbindingsvormen voor het hardsolderen

verbindingsvorm	voorbeelden		
recht	 a zwak	 ≤ 50° beter dan a	 b zwak
hoek	 b zwak	 P beter dan b	 45°
overlap	 minstens 3d	 minstens 3d	 minstens 3d
zich zelf fixerend	 kanaal- en spiegleuf-ontluchting	 kanaal- en spiegleuf-ontluchting	 kanaal- en spiegleuf-ontluchting

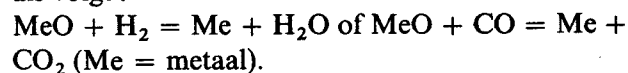
5.2.4 Ovensolderen

De verhitte van de oven geschiedt met elektriciteit, gas of olie. Wordt met gas of olie verhit dan verdient de indirecte verwarming van het werkstuk de voorkeur met het oog op het gevaar van aantasting door zwavel (vooral bij olie). Een gelijkmatige verdeling en een nauwkeurige regeling en controle van de temperatuur is vereist. Bij werktemperaturen beneden 700 °C verdient daarom veelal een oven met convectieverwarming de voorkeur.

Het ovensolderen kan geschieden :

- met vloeimiddel, al of niet ondersteund door een neutraal gas (b.v. stikstof);
- zonder vloeimiddel, maar met een reducerend gas;
- in vacuüm.

De in een *reducerend gas* optredende reacties zijn als volgt :



De reacties moeten naar rechts verlopen. Daarvoor is nodig dat het gas zo weinig mogelijk H₂O of CO₂ bevat. Het H₂O-gehalte bepaalt men het eenvoudigst met een dauwpuntsmelting.

Niet alle metaaloxiden laten zich gemakkelijk reduceren. Dit is wel het geval voor de oxiden van nikkel en koper; die van chroom, titaan of aluminium zijn echter zeer moeilijk te reduceren. Bij de keuze van het reducerende gas moet daarmee rekening worden gehouden, evenals met de samenstelling van het hardsoldeer.

Tabel 23 vermeldt enige reducerende gassen (die met daarvoor geschikte installaties moeten worden

verkregen) en geeft een richtlijn voor de toepassing.

Het ovensolderen in *vacuüm* is voor alle nikkelsoorten en nikkellegeringen geschikt. De reductie van oxiden wordt hier toegeschreven aan:

- een mechanisme waarbij de zuurstof in het werkstukmateriaal diffundeert en daar wordt gebonden door legeringselementen als Cr, Ti of Al;
- de reducerende werking van de in het materiaal aanwezige koolstof.

Voor de reductie is een vacuüm van ten minste $133,3 \times 10^{-3} \text{ N/m}^2$ ($= 10^{-3} \text{ mm Hg}$) vereist.

5.3 Soldeersoorten

5.3.1 Keuze van de soldeersoort

De keuze van het soldeer wordt bepaald door de gebruiksomstandigheden van het werkstuk. Van deze omstandigheden is in het algemeen de temperatuur het belangrijkste. Op grond hiervan onderscheidt men :

- zilversoldeer : voor gebruik tot ongeveer 250 °C;
- kopersoldeer :
 - a. ongelegeerd koper tot 500 °C;
 - b. gelegeerd koper tot 400 °C;
- speciaal soldeer : voor gebruik boven 500 °C en voor bijzondere doeleinden.

De keuze hangt ook af van de soldeerwijze. Als in vacuüm wordt gesoldeerd kunnen geen soorten worden gebruikt die legeringselementen bevatten met een lage dampspanning, zoals cadmium (Cd), lithium (Li) of zink (Zn).

Tabel 23 Gassen voor het ovensolderen

gastype		samenstelling vol. %				dauwpunt °V	geschikt voor :
		H ₂	CO	CO ₂	N ₂		
exogas ¹⁾	ongedroogd	16	11	5	rest	+30	Ni- en NiCu-groep, mits gehalte aan Cr, Ti of Al zeer laag is
	gedroogd	16	11	5	rest	-40	
gekraakte ammoniak		75	-	-	25	-30 ... -40	alle groepen; speciaal voor nikkellegeringen met veel Cr, maar zeer weinig Al of Ti
waterstof uit flessen of cellen	gedroogd	97 ... 100	-	-	-	-40	alle groepen; speciaal voor nikkellegeringen met Ti of Al ²⁾
	extra gezuiverd	100	-	-	-	-70	

¹⁾ zoals onvolledig verbrand aardgas ($\lambda = 0,6$; lucht/gas-verhouding ongeveer 4,8/1); de samenstelling hangt ook af van de herkomst van het gas.

²⁾ daar de oxiden van Ti en Al moeilijk zijn te reduceren, is extra gebruik van vloeimiddel aan te bevelen; voor deze legeringen is solderen in vacuüm beter.

Het gebruik van soldeer dat fosfor (P) bevat wordt afgeraden, omdat hierdoor een brosse verbinding ontstaat.

Het soldeer kan in verschillende vormen worden verkregen: als draad, korrels, plaatjes of ringen. Draad wordt gewoonlijk gebruikt bij het solderen met de hand, de andere vormen wanneer op andere wijze wordt gesoldeerd met zichzelf fixerende verbindingen.

5.3.2 Zilversoldeer

De sterkte van de hiermede verkregen verbinding komt ongeveer overeen met die van het zachtgegloeide werkstukmateriaal.

Voor de soorten zilversoldeer zie tabel 24.

Zilversoldeer wordt gebruikt bij het autogeen en inductief solderen, weerstand- en ovensolderen.

5.3.3 Kopersoldeer

Bij kopersoldeerverbindingen is de oppervlaktegesteldheid van het werkstuk van grote invloed op de kwaliteit van de verbinding. Een gepolijst oppervlak laat zich slecht bevochtigen door het soldeer. Dergelijke oppervlakken moeten eerst licht worden geruwd door etsen of staalstralen (niet schuren).

Voor de soorten kopersoldeer zie tabel 25.

Kopersoldeer is bijzonder geschikt voor het autogeen solderen en het ovensolderen. De laatste methode verdient de voorkeur, speciaal indien S-Cu wordt gebruikt.

Tabel 24 Zilverhardsoldeer

soort ¹⁾	samenstelling gew. %						smelttraject of -punt °C	soldeer- temperatuur °C	opmerkingen
	Ag	Cd	Cu	Mn	Ni	Zn			
S-Ag25	24 ... 25		rest			33 ... 37	730 ... 780	790 ... 890	geringe capillaire opzuiging; relatief hoge sterkte bij hoge temperatuur
S-Ag45	44 ... 46		rest			23 ... 27	675 ... 745	735 ... 835	dun vloeibaar
S-Ag30Cd	29 ... 31	20 ... 22	rest			20 ... 24	600 ... 690	680 ... 780	minder taai dan S-Ag40Cd
S-Ag40Cd	39 ... 41	18 ... 20	rest			18 ... 22	600 ... 630	630 ... 720	snel vloeiend, vrij goede capillaire opzuiging
S-Ag50Cd	49 ... 51	17 ... 19	rest			14 ... 18	627 ... 635	630 ... 720	snel vloeiend, goede capillaire opzuiging, zeer taai
S-Ag49CuMnNi	48 ... 50		16 ... 18	7 ... 8	4 ... 6	rest	640 ... 690	690 ... 780	goed bevochtigend en goed te vervormen
S-Ag72Cu	71 ... 73		rest				780	780 ... 840	dun vloeibaar
S-Ag85Mn	84 ... 86			rest			960 ... 970	970 ... 1070	grote sterkte bij hoge temperatuur, bestand tegen ammoniak

¹⁾ volgens NEN 1131; zie ASTM-B 260, BS 1845 en DIN 8513 voor andere soorten zilversoldeer; de corrosievastheid van de Cd-houdende soorten in zwak zuur of alkalisch milieu komt overeen met die van de niet-ijzermetalen

Tabel 25 Koperhardsoldeer

soort ¹⁾	samenstelling gew. %			smelttraject (of -punt) °C	soldeer- temperatuur °C	opmerkingen
	Cu	Ni	Zn			
S-Cu	≥ 99,9			1083	1100 ... 1160	zeer goed vloeibaar en zeer grote capillaire opzuiging
S-Cu60Zn	58 ... 62		42 ... 38	885 ... 900	910 ... 955	dun vloeibaar, matige sterkte
S-Cu42Zn	40 ... 44		60 ... 56	835 ... 845	850 ... 930	geringe sterkte, goed te vervormen
S-Cu48NiZn	46 ... 50	9 ... 11	rest	860 ... 920	940 ... 980	vrij hoge vermoeiingssterkte

¹⁾ volgens NEN 1131; zie ASTM-B 260, BS 1845 en DIN 8513 voor andere soorten kopersoldeer; de Zn-houdende soorten zijn niet geschikt voor solderen in vacuüm.

Aangezien Cr-, Al- of Ti-oxyden zich moeilijk laten reduceren verdient het aanbeveling werkstukmateriaal dat deze elementen bevat eerst galvanisch te bedekken met een ongeveer 0,008 mm dikke laag koper of nikkel.

Daar koper en nikkel in alle verhoudingen mengbaar zijn dient men een overmaat aan soldeer te vermijden omdat anders het werkstukmateriaal erodeert. Vooral bij dunne werkstukken moet men hiervoor oppassen. Bij gebruik van kopersoldeer wordt aangeraden met zo nauw mogelijke passingen te werken.

5.3.4 Speciaal soldeer

Hiertoe behoren goudsoldeer (zie ASTM-B-260 en BS 1845), nikkel-soldeer en palladiumsoldeer.

Goudsoldeer wordt voor bijzondere toepassingen gebruikt, de andere als aan hoge eisen van hittevastheid, corrosievastheid en dichtheid moet worden voldaan.

NIKKELSOLDEER

Voor nikkel-soldeer zie tabel 26.

Het werkstuk moet snel op de soldeertemperatuur worden gebracht omdat bij nikkel-soldeer ontmenging kan optreden, waardoor geen goede bevochtiging en geen goede verbinding ontstaat.

Ovensolderen in een reducerend gas (bij voorkeur waterstof) of in vacuüm verdient de voorkeur. Bij het in vacuüm solderen wordt soms de soldeerruimte na het solderen gevuld met gezuiverde en gedroogde argon om sneller te kunnen koelen.

Bij het hardsolderen van Cr-, Al- en Ti-houdend werkstukmateriaal is het gewenst het werkstuk vooraf galvanisch te bedekken met een 0,013... 0,04 mm dik nikkellaagje.

PALLADIUMSOLDEER

Voor palladiumsoldeer voor hoge gebruikstemperaturen zie tabel 27.

De palladiumsoldeerverbindingen zijn minder sterk dan de boriumhoudende nikkel-soldeerverbindingen. Het bevochtigend vermogen van palladium-

Tabel 26 Nikkelhardsoldeer

soort ¹⁾	samenstelling gew. %						smelttraject °C	soldeer- temperatuur °C	opmerkingen
	Ni	B	C	Cr	Fe	Si			
B.Ni-1	73	3,4	0,8	14	4,5	4	980 ... 1040	1070 ... 1200	grote sterkte en hittevastheid
B.Ni-2	82	3,2	0,15	7	3	4,5	970 ... 1020	1010 ... 1180	
B.Ni-3	90	3,2	0,06		1,5	4,5	985 ... 1040	1010 ... 1180	
B.Ni-4	93	1,6	0,06		1,5	3,5	985 ... 1065	1010 ... 1180	beter vloeiend dan de andere soorten
B.Ni-5	71		0,15	19		10	1080 ... 1135	1150 ... 1200	grotere taaiheid dan de andere soorten voor strenge dichtheidseisen

¹⁾ volgens ASTM-B 260; zie BS 1845 voor andere nikkel-solderen.

Nederland en Duitsland hebben geen normen voor de nikkel-solderen; ook zijn er vele niet-genormaliseerde soorten in de handel.

Tabel 27 Palladiumhardsoldeer

soort ¹⁾	samenstelling gew. %							smelttraject (of -punt) °C	soldeer- temperatuur °C	opmerkingen
	Pd	Ag	Cr	Cu	Mn	Ni	Si			
PD 8	18			82				1080 ... 1090	1100	gemakkelijk vloeiend; niet voor solderen in vacuüm
PD 9	20	75			5			1000 ... 1120	1120	
PD 10	33	64			3			1180 ... 1200	1220	
PD 11	21				31	48		1120	1130	
PD 12	20			55	10	15		1060 ... 1110	1120	
PD 13	30			35	15	20		1070 ... 1090	1100	goed bevochtigend vermogen op oxydehuiden
PD 14	60					40		1235	1250	
Amerika ²⁾	25		33			38	4		1180	

¹⁾ volgens BS-1849

²⁾ niet genormaliseerd

soldeer is echter beter. Ook bij palladiumsoldeer verdient het ovensolderen de voorkeur boven andere soldeermethoden. Voor Cr-, Al- en Ti-houdend werkstukmateriaal geldt hetzelfde als voor nikkel-soldeer (bedekken met nikkel).

5.4 Nabehandeling

Bij gebruik van kopersoldeer kan op het werkstuk een koperaanslag ontstaan, die kan worden verwijderd door dompelen in een mengsel van waterstofperoxyde en ammonia (1 op 20 vol. delen) of in een oplossing van zwavelzuur-chroomzuur-water (1 liter – ongeveer 8 kg – 15 liter) bij kamertemperatuur. Uitgegaan wordt van technisch zuivere chemicaliën.

Eventuele bij het hardsolderen ontstane oxydeaanlagen – het meest voorkomend bij niet in bescher-

mend gas of vacuüm gekoelde werkstukken – moeten door beitsen worden verwijderd (zie hoofdstuk 7).

5.5 Hardsolderen van ongelijksoortige materialen

Zowel voor verbindingen van nikkel en nikkellegeringen onderling als met andere metalen geldt dat het soldeer :

- een smelt(punt)traject moet hebben lager dan de laagste smelttemperatuur van de werkstukdelen;
- geschikt moet zijn voor beide materialen van de te verbinden werkstukdelen.

Er zijn soldeersoorten die zowel voor nikkel en nikkellegeringen als voor ongelegeerd of laaggelegeerd staal, roestvast staal en koperlegeringen geschikt zijn, zodat werkstukdelen van deze materialen door hardsolderen kunnen worden verbonden.

Bijzondere lasuitvoeringen

6.1 Lassen van ongelijksoortige materialen

Er worden steeds meer constructies vervaardigd, waarin verschillende materialen zijn verwerkt. Bij het lassen moet men er vooral voor zorgen dat de vermenging van het neergesmolten toevoegmetaal met beide omgesmolten werkstukmaterialen – die in chemisch opzicht sterk uiteen kunnen lopen – een betrouwbare las oplevert.

De keuze van een toevoegmetaal levert met het oog op de mechanische sterkte praktisch geen moeilijkheden op. Het verkrijgen van een scheurvrije lasverbinding vereist veel zorg.

De beste kans op een goede las verkrijgt men met de in tabel 28 aanbevolen toevoegmetalen en door de volgende punten in acht te nemen.

- c. een koolstofrijke neersmelt van het type monel, wanneer vermenging met ijzer of met meer dan 6 tot 8 % chroom kan worden verwacht;
- d. een neersmelt die door vermenging met nikkel, chroom en ijzer een samenstelling oplevert van ongeveer 35 % nikkel, 15 % chroom en 50 % ijzer.

Indien een samenstelling volgens d niet kan worden vermeden, moet men de lasbaarheid verbeteren door de verhouding van C en Si in de neersmelt zo te beïnvloeden dat deze in het gebied van de optimale taaiheid valt (zie fig. 1). De grafiek is ook bruikbaar voor verbindingen van gelijksoortige materialen. In het bijzonder geldt dit voor nimonic DS en de gietlegeringen HT en HU.

6.1.1 Werkomstandigheden

Bij elke lasuitvoering moet men rekening houden met de werkomstandigheden die een gevolg kunnen zijn van het lasontwerp, de krimpspanningen en de vermenging van toevoegmetaal en werkstukmateriaal.

6.1.2 Keuze toevoegmetaal

Bij het door lassen verbinden van nikkel en nikkellegeringen met weinig of geen nikkelhoudende legeringen moet men een toevoegmetaal kiezen dat zo goed mogelijk met de nikkelsoort of nikkellegering overeenkomt of dat speciaal geschikt is voor de combinatie van de te verbinden materialen.

6.1.3 Samenstelling neersmelt

Men moet vermijden dat een neersmelt met de volgende samenstelling ontstaat:

- a. een ferritische neersmelt, in geval van vermenging met nikkel, chroom of koper;
- b. een neersmelt van het type 18/8 chroomnikkelstaal, wanneer daarbij vermenging met meer dan 3 % koper kan worden verwacht;

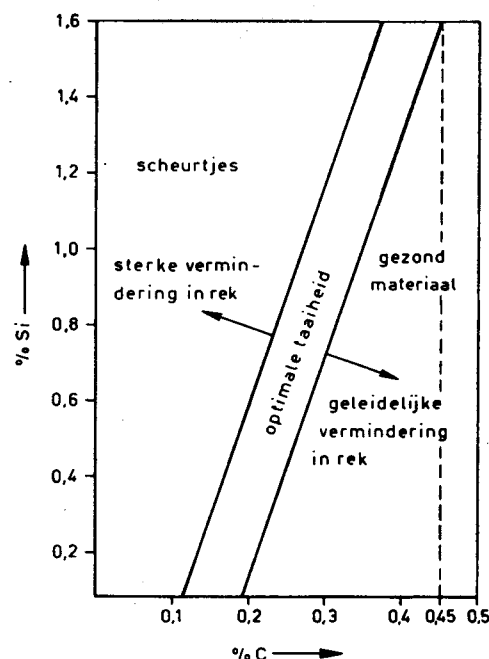


Fig. 1 Neersmeltpercentages van C en Si

Tabel 28 Toevoegmetaal voor het verbinden van ongelijksoortige werkstukmaterialen

verbingsprocdé		MIG- en TIG-booglassen												
werkstuk- materiaal	A-nikkel L-nikkel nikkel	monel	inconel	incoloy	incoloy 825	incoloy DS	nimonc 75	roestvast staal	koolstof- staal	hastelloy- soorten	gietlegering HX HT HW HU	koper- nikkel		
booglassen met beklede elektroden	A-nikkel	D 1	D 1	D 6	D 7	D 1 D 6	D 1 D 6 D 9	D 1 D 6 D 7	D 7	-	D 1 D 6	D 1		
	L-nikkel	D 2												
	monel	-			D 6 D 7	D 6	D 6	D 7	D 2*) D 6, D 7	het met de soort overeen- komende D-toevoeg- metaal of D 17		D 2		
	inconel	E 8	-			D 6 D 9	D 6, D 7 D 9	D 6	D 7					
	incoloy	E 9		-		D 6		D 6				D 6		
	incoloy 825	E 1, E 9 E 10			-		D 6		D 7					
	incoloy DS					-	D 6, D 9	D 6				D 7		
	nimonc 75	E 1	E 8	E 9			-	D 6	D 7					
	roestvast staal	E 8						D 6	D 7					
	koolstofstaal	E 9	E 3*) E 8, E 9		E 8	E 9					D 6			
hastelloy- soorten	het met de soort overeenkomende E-toevoegmetaal of E 18													
gietlegering HX HT HW HU	E 1	E 8	E 9					E 18 E 9	E 12...17 E 18	-	-			
	E 8													
kopernikkel	E 1	E 3	E 8	E 9				zie VM 18		-		-		

*) E 3 en D 2 voor ongelegeerd staal : E 8, E 9 en D 6, D 7 voor laaggelegeerd staal.

Opmerking : Wanneer hastelloysoorten worden verbonden met andere nikkellegeringen of andere metalen, gebruik dan het voor de hastelloysoort bestemde toevoegmetaal (zie tabel 18).
Zie voor de samenstelling van de toevoegmetalen : tabel 20 en 21.

6.2 Lassen van geplateerd staal

6.2.1 Algemeen

Geplateerd staal bestaat uit ongelegeerd of laaggelegeerd basismetaal met daarop een corrosievaste plateerlaag. De hechting van basismetaal en plateerlaag is zo sterk dat hoge trek- en afschuifbelastingen kunnen worden opgenomen. De samenstelling van de plateerlaag wordt bepaald door het corrosieve medium en kan bestaan uit nikkel of nikkellegeringen.

Monel en inconel worden het meest toegepast. De dikte van de plateerlaag is gewoonlijk 5...30 % van de totale plaatdikte, afhankelijk van het gebruiksdoel en bedraagt in de meeste gevallen 10 %. Uit lastechnische overwegingen moet een plateerlaag ten minste 1,5 mm dik zijn, terwijl de maximale dikte meestal 4...5 mm bedraagt.

Door gebruik te maken van geplateerd staal dat een gunstige combinatie bezit van goede mechanische eigenschappen (basismetaal) en corrosievastheid (plateerlaag) wordt in bepaalde gevallen een besparing op materiaalkosten verkregen.

6.2.2 Lasprocedures

Voor het lassen van geplateerd staal komen in aanmerking :

- booglassen met beklede elektroden;
- TIG-booglassen;
- MIG-booglassen, zowel met kortsluitboog, sproei-boog, als met pulserende stroom.

6.2.3 Grondregels

Bij het lassen van een verbinding van geplateerd staal moet de las in het basismetaal voor de mechanische sterkte zorgen. De las in de plateerlaag dient dezelfde corrosievaste eigenschappen te bezitten als de plateerlaag zelf. De lasverbinding als geheel moet voldoen aan de eisen die uit de sterkteberekeningen van de constructie volgen. Om hieraan te voldoen moeten de volgende voorwaarden in acht worden genomen:

- de te verbinden delen moeten nauwkeurig worden gesteld; er moet vooral op worden gelet dat de scheidingslijnen tussen plateerlaag en basismetaal samenvallen;
- hechtlassen mogen alleen in het basismetaal worden gelegd;
- bij het lassen van het basismetaal met het daarvoor bestemde toevoegmetaal mag de plateerlaag niet worden geraakt teneinde een harde en scheur-

Tabel 29 Toevoegmetaal voor het lassen van overgangslaag en plateerlaag

materiaal plateerlaag	toevoegmetalen bij booglassen	
	beklede elektroden	MIG en TIG
nikkel	E 1	D 1
monel	E 3	D 2
inconel	E 7 of E 8	D 4, D 6 of D 9

gevoelige laag te voorkomen;

- voor het lassen van de overgangslaag wordt geen 'buffertoevoegmetaal' gebruikt; dit in tegenstelling tot het lassen van met roestvast staal geplateerd staal;
- het lassen van de plateerlaag en van de overgangslaag geschiedt met hetzelfde toevoegmetaal.

Zie voor de keuze van het toevoegmetaal tabel 29 en tabel 20 en 21 voor de samenstelling (zie onder 4.3). Indien in verband met de samenstelling van het basismetaal een warmtebehandeling nodig is, moet men zich ervan overtuigen dat deze geen nadelige gevolgen heeft voor de plating. Een leidraad voor toe te laten temperaturen geeft tabel 8 (zie hoofdstuk 2).

6.2.4 Voorbewerking

Het afkorten van het materiaal en het aanbrengen van de naadvorm kan op verschillende manieren geschieden afhankelijk van de beschikbare bedrijfsuitrusting.

De volgende werkwijzen kunnen worden toegepast :

- *autogeen snijden*;
Dit geschiedt al of niet onder toevoeging van snijpoeders. Bij het snijden zonder poeder moet de staalzijde steeds boven liggen. Met poeder mag ook van de andere zijde worden gesneden. Na het snijden moet de hierdoor beïnvloede zone van de plateerlaag vóór het lassen door verspanen worden verwijderd.
- *plasma-snijden*;
Bij dit snijproces is in het algemeen geen verdere nabewerking nodig.
- *mechanisch bewerken*;
Dit omvat knippen, zagen, schaven of frezen.

6.2.5 Naadvormen en lasvolgorde

Men kiest de naadvorm afhankelijk van de toegankelijkheid van de las :

- plateerlaag en basismetaal zijn beide toegankelijk;

- plateerlaag is niet toegankelijk;
- basismetaal is niet toegankelijk.

PLATEERLAAG EN BASISMETAAL BEIDE TOEGANKELIJK

- Algemeen

- bij alle naadvormen volgens fig. 2...5 wordt eerst het basismetaal gelast en daarna de plateerlaag; het lassen van het basismetaal geschiedt met daarvoor geschikt toevoegmetaal; dat van de platering met een der toevoegmetalen van tabel 29.
- bij het lassen van het basismetaal van de zijde van de plateerlaag mag de platering niet worden geraakt en er mogen geen lasspatten op terecht komen;
- vóór het lassen van de plateerlaag mag, indien nodig, de las in het basismetaal worden uitgeslepen;
- bij het lassen van de plateerlaag wordt gezorgd dat deze voor het verkrijgen van een goede sluitlaag in tenminste twee lagen wordt gelast; om daarbij te grote verdunning van de eerste laag te voorkomen wordt die met een zo laag mogelijke stroom en dun toevoegmetaal gelast.

- V-naad (fig. 2a)

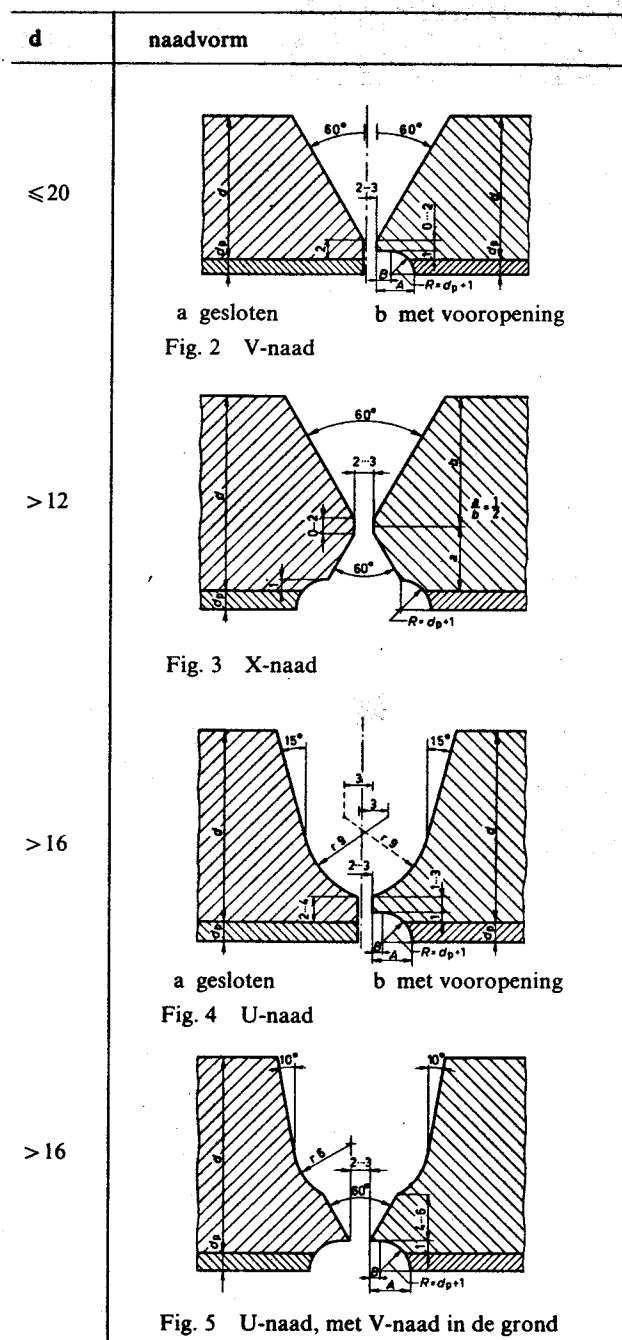
- Het basismetaal moet zo worden gelast, dat in de grond van de naad een goede insmelting wordt verkregen.
- Daarna aan de keerzijde een groef uitslijpen, die tot meer dan 3 mm onder de scheidingslijn in het basismetaal reikt.
- De groef tot ongeveer 1 à 2 mm onder de scheidingslijn vullen met het toevoegmetaal dat voor het basismetaal wordt gebruikt en eventueel uitslijpen.
- Tenslotte de platering in ten minste twee lagen aflassen met daarvoor bestemd toevoegmetaal, waarbij de eerste laag de platering moet hebben bereikt.

- V-naad (fig. 2b)

- Het basismetaal zo lassen dat aan de keerzijde een goede doorlassing ontstaat.
- Indien nodig de keerzijde uitslijpen en tegenlassen en eventueel glad slijpen.
- Dan de platering aflassen als bij de V-naad (fig. 2a).

- X-naad (fig. 3)

- Eerst het grote deel van de naad geheel of gedeeltelijk lassen, daarbij voor een goede doorlassing aan de keerzijde zorgend.
- Indien nodig de keerzijde uitslijpen.



maten in mm	d_p	R	A	B
Vorbewerken van de plateerlaag: de maten A, B en R zijn afhankelijk van de dikte d_p van de plateerlaag.	1	2	4	2
	2	3	4	1
	3	4	4	0
	4	5	5	0

Fig. 2...5 Naadvormen: basismetaal en plateerlaag beide toegankelijk

- Daarna het kleine deel van de naad vullen tot ten hoogste 1 mm onder de scheidingslijn.
- Tenslotte de platering aflassen als bij een V-naad.

- *U-naad (fig. 4a)*
Komt overeen met de V-naad (fig. 2a). Lassen op overeenkomstige wijze.
- *U-naad (fig. 4b)*
Komt overeen met de V-naad (fig. 2b). Lassen op overeenkomstige wijze.
- *U-naad (fig. 5)*
Deze naad is in het bijzonder geschikt voor het onder poeder lassen van het basismetaal nadat de grondlaag hierin is aangebracht met een beklede elektrode. Het lassen verloopt overigens op dezelfde wijze als bij de V-naad (fig. 2b).

PLATEERLAAG NIET TOEGANKELIJK

Dit doet zich voor bij het lassen van buis of kleine cilinders, die inwendig zijn geplaat. Men past de naadvormen toe volgens fig. 6.

Bij deze naadvormen wordt zoveel van het basismetaal weggenomen, dat de plateerlaag tot 2 à 3 mm ter weerszijden van de naad vrij komt. Het lassen van de plateerlaag geschiedt bij voorkeur met het TIG-booglasprocédé met een voor de plateerlaag geschikt toevoegmetaal. Men kan bij het lassen van buis ook gebruik maken van inlegingen (inserts) van dezelfde samenstelling als de plateerlaag. De niet-toegankelijke zijde van de plateerlaag wordt

beschermd met gas (b.v. argon).

Daarna wordt het basismetaal geheel afgelast met hetzelfde toevoegmetaal als voor de plateerlaag is gebruikt. Daarbij moet de niet toegankelijke zijde van de plateerlaag aanvankelijk nog met gas worden beschermd.

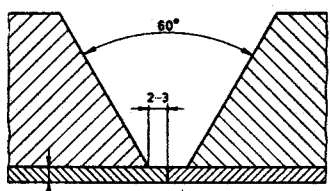
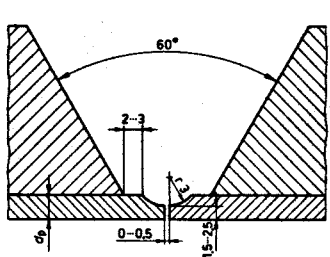
Daar in dit geval ook het basismetaal wordt gelast met voor de plateerlaag bestemd toevoegmetaal, dient men hiermede rekening te houden bij de sterkteberekening en deze dus te baseren op de mechanische sterkte van de werkelijke neersmelt.

BASISMETAAL NIET TOEGANKELIJK

In dit geval worden de naadvormen volgens fig. 7 toegepast.

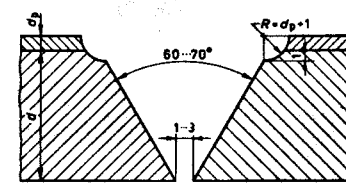
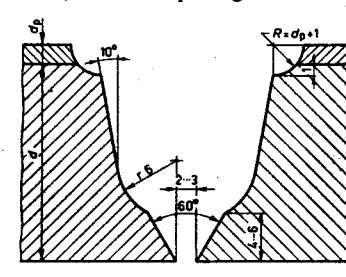
De grondlaag in het basismetaal moet zo worden gelegd met het daarvoor geschikte toevoegmetaal, dat een volkomen doorlassing is verzekerd. De naad wordt dan verder gevuld tot ten hoogste 1 mm onder de scheidingslijn. De platering mag hierbij niet door het toevoegmetaal worden geraakt of bespat.

Het aflassen van de plateerlaag geschiedt in ten minste twee lagen, met het daarvoor bestemde toevoegmetaal. De eerste laag wordt met een zo laag mogelijke stroom en dun toevoegmetaal zo gelast dat de platering wordt geraakt.

d_p	naadvorm
≤ 2	 a
> 2	 b

maten in mm

Fig. 6 Naadvormen : plateerlaag ontoegankelijk

d	naadvorm
< 20	 a V-naad, met vooropening
> 20	 b U-naad, met V-naad in de grond

maten in mm

Fig. 7 Naadvormen : basismetaal ontoegankelijk

6.3 Oplassen

Het komt voor dat een stalen constructiedeel met nikkel of nikkellegering moet worden bekleed. Dit kan geschieden door oplassen.

Men past hiervoor de volgende procédés toe :

- booglassen met beklede elektroden;
- MIG-booglassen;
- onder poeder lassen met draad- of bandelektrode.

De ervaring met deze methoden is echter nog te gering om op grond hiervan een verantwoorde voor-

lichting te kunnen geven. Men doet er verstandig aan, de leverancier van het nikkel of de nikkellegering te raadplegen en zich met proeflassen er van te overtuigen dat de resultaten aan de gestelde eisen voldoen.

In sommige gevallen bestaat het bekleeden uit het aanbrengen van een losse voering van nikkel of nikkellegering. Een dergelijke voering bestaat dan veelal uit betrekkelijk smalle strippen die met een der reeds besproken lasprocédés aan elkaar worden gelast.

Nabehandelingen

7.1 Inleiding

In het algemeen is na smeltlassen of hardsolderen geen nabehandeling nodig. In bepaalde gevallen echter, die verband houden met eisen die aan het materiaal worden gesteld, is wel een nabehandeling nodig. Deze kan bestaan uit :

- een warmtebehandeling;
- een mechanische bewerking;
- een chemische behandeling (beitsen).

Soms wordt een dezer genoemde behandelingen als een *voorbehandeling* toegepast om het materiaal in de voor het smeltlassen of hardsolderen gunstigste toestand te brengen (zie onder 3.1 en 3.2).

7.2 Warmtebehandeling

De volgende warmtebehandelingen kunnen worden toegepast.

7.2.1 Spanningsverlagend gloeien

Deze past men toe indien de gebruiksomstandigheden spanningscorrosie kunnen doen ontstaan (b.v. bij inconel) of als voorbehandeling voor het lassen om door koudvervormen ontstane plaatselijke spanningen te egaliseren.

7.2.2 Homogeniserend gloeien

Dit is nodig ter verbetering van de structuur (bij alle hastelloysoorten, behalve bij de soort C 276).

7.2.3 Veredeld gloeien

Dit gloeien geschiedt na het smeltlassen of hardsolderen van veredelbaar materiaal.

7.2.4 Zachtgloeien

Zachtgloeien wordt toegepast als voorbehandeling

bij reparatiewerk.

7.2.5 Aanwijzingen

Voor het behoud van het uiterlijk verdient een warmtebehandeling volgens de blankgloeimethode aanbeveling. Bij directe verhitting van de oven dient door ondermaat lucht voor een reducerende atmosfeer te worden gezorgd. Bij indirecte verhitting wordt het werkstuk in een gesloten ruimte geplaatst, die met het reducerende gas is gevuld of vacuüm is gezogen.

Voor de Ni- en NiCu-groep mag de reducerende omgeving zuurstof en zuurstofverbindingen bevatten. Voor de legeringen die chroom, aluminium of titaan bevatten is droge waterstof of een droog waterstofstikstofmengsel (uit gekraakte ammoniak) nodig.

Voor de gloeibehandelingen zijn richtlijnen gegeven in de tabellen 7 en 8 (hoofdstuk 2). Vooral voor de hastelloysoorten is het van belang dat het gloeien nauwkeurig binnen de temperatuurgrenzen geschiedt, daar anders korrelvergroving optreedt met brosheid als gevolg.

Raadpleeg voorts de leveranciers.

7.3 Mechanische bewerking

Deze dienen in hoofdzaak ter verfraaiing van het uiterlijk. Ze kunnen echter ook als een voorbehandeling nodig zijn om vervuild materiaal te reinigen voor het smeltlassen of hardsolderen of als voorbewerking voor het beitsen.

Tot het mechanisch bewerken behoren borstelen, stralen, schuren, slijpen en polijsten.

Voor het borstelen moeten roestvast stalen borstels worden gebruikt. Voor het stralen verdient het gebruik van staalgrit geen aanbeveling wegens het gevaar van in het materiaal achterblijvende ijzerdeeltjes die corrosiehaarden vormen. Aluminiumoxyde of zirkoonsilicaat is een beter straalmiddel. Raadpleeg ook de leverancier voor de juiste hulpmiddelen bij het mechanisch bewerken.

7.4 Beitsen

Het beitsen dient om aanslagen of oxyden te verwijderen; hetzij als voor- hetzij als nabehandeling. De te kiezen beitsmiddelen hangen af van de materiaalsoort, waarbij de hastelloysoorten een afzonderlijke groep vormen.

De agressiviteit van de beitsbaden en -pasta's eist speciale voorzieningen van de beitsruimte, zoals zuur- en loogvaste kuipen, doeltreffende afzuiging van dampen en beschermende kleding. Raadpleeg leveranciers en arbeidsinspectie.

7.4.1 Beitsmiddelen voor niet-hastelloysoorten

Beitspasta's worden gebruikt voor het beitsen van werkstukken die door hun omvang niet kunnen worden gedompeld.

Tabel 30 geeft de samenstelling van verschillende beitsbaden en -pasta's; tabel 31 het behandelingschema voor de Ni-, NiCu- en NiCr-groep.

Indien twee baden op elkaar volgen moet er tussenin worden gespoeld met heet water. De eindspoeling

geschiedt achtereenvolgens met heet water, 1...2 gew. % ammoniahoudend water en (bij voorkeur warm) water. Hierna wordt gedroogd.

Bij behandeling van sterk geoxydeerd materiaal van de Ni-groep met bad 5 moet langer worden gebeitst, nl. 60...120 min. Is het materiaal dan nog onvolgende blank dan volgt een nabeitsing met bad 3.

Tabel 31 Keuze van beitsbaden en -pasta's voor niet-hastelloysoorten

materiaal	verkleurd, met aanslag	geoxydeerd	
		zwak	sterk
Ni-groep	3 a	4 a	5 (+3) a
NiCu-groep	1 + 2 a	4 a	5 + 6 a
NiCr-groep		7 8 + 9 b + c	7 b + c

Tabel 30 Beitsmiddelen voor niet-hastelloysoorten

samenstelling	baden									pasta's		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c
	volume in ml											
water	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000			
HNO ₃ (1,36)	1000	1000	2250				1000			52		2330
H ₂ SO ₄ (1,84)			1500	95		100			63			
HCl (1,16)					500					2500	2500	175
HF 40 %							150					
	gewicht in g											
NaOH	60 ... 90			120 60		132		132		100 ... 200 200		
NaCl												
NaNO ₃												
CuCl ₂				30				132				
Na ₂ CO ₃												
Na ₂ CrO ₇												
KMnO ₄								52 ... 82				
CuSO ₄ of								12				
Cu(NO ₃)												
roet												
vollersaarde												
temp. °C	21 ... 38			ca. 85		21 ... 38		ca. 85		21 ... 38		
tijd	5	5	5 ... 20	30 ... 90	20 ... 40	5 ... 10	15 ... 90	120	60	Ni :		
	seconden					minuten				120 ... 240		
										NiCu :	60 ... 180	15 ... 60
										20 ... 60	minuten	

Bad 7 kan zowel voor zwak als sterk geoxydeerd materiaal van de NiCr-groep worden gebruikt. De behandeling in twee baden (8 en 9) wordt toegepast voor blank gegloeid materiaal.

Na de behandeling met pasta wordt steeds grondig gespoeld met heet water, zo nodig door borstelen ondersteund.

7.4.2 Beitsmiddelen voor hastelloysoorten

De samenstelling van de beitsbaden is gegeven in tabel 32. Aan een beitsbad gaat steeds een behandeling in een gesmolten loogbad vooraf. Hiervan zijn twee gepatenteerde samenstellingen in de handel.

Tabel 32 Beitsbaden voor hastelloysoorten

samenstelling in gew. %	baden			
	1	2	3	4
water	rest	rest	rest	rest
H ₂ SO ₄ sterk	15 ... 17			
HCl sterk	0,5 ... 1			
HNO ₃ sterk			7 ... 8	8 ... 12
HF sterk			3 ... 4	2 ... 3
KMnO ₄		4 ... 6		
NaOH		1 ... 2		
temperatuur °C	75	55 ... 68	50 ... 70	

Op grond van hun samenstelling vragen ze een verschillende behandelingstijd en ook een verschillende nabehandeling met de beitsbaden. In het behandelingschema (tabel 33) zijn deze loogbaden met Lb A en Lb B aangegeven.

Zowel bij het tussenspoelen als bij het eindspoelen wordt heet water gebruikt.

Tabel 33 Behandelingsschema voor hastelloysoorten

hastelloy-soort	voorbeitsen		nabeitsen	
B	bad tijd temp.	Lb A 1 ... 3 425	1 25 ... 40 zie tabel 32	
andere	bad tijd temp.	Lb A 1 ... 3 520	1 + 3 3 25 zie tabel 32	
B	bad tijd temp.	Lb B 15 ... 20 400 ... 430	1 + 2 + 1 elk 20 ... 30 zie tabel 32	4 1
andere	bad tijd temp.	Lb B 15 ... 20 400 ... 430	2 + 4 14 15 zie tabel 32	

tijden in minuten, temperatuur in °C

Controle en keuring

8.1 Aard en omvang van de controle

De aard en de omvang van de controle (zowel op las- als op soldeerwerk) hangen af van de aan de constructie gestelde eisen. De laatste worden bepaald door de gebruiksomstandigheden. Bij de controle heeft men te maken met :

- de voorbereiding vóór de uitvoering;
- het toezicht tijdens de uitvoering;
- de keuring van het werk.

Voor meer bijzonderheden betreffende controle en keuring zie VM 06 : Gelaste constructies; richtlijnen voor ontwerp, bestek en uitvoering.

8.1.1 Voorbereiding

Afhankelijk van de eisen waaraan de constructie moet voldoen krijgt de fabrikant voorschriften met betrekking tot :

- de materiaalsoorten;
- de toevoegmetalen;
- de werkstukvoorbereiding en de naadvormen;
- het lasprocédé, de lasmethode en de lasvolgorde;
- de eventuele nabehandeling;
- de bekwaamheid van de lasser.

8.1.2 Toezicht tijdens de uitvoering

Hieronder vallen de te treffen maatregelen voor de controle tijdens de uitvoering. Deze maatregelen zijn gericht op het bereiken en het handhaven van de geëiste kwaliteit. Aard en omvang van het toezicht hangen af van de belangrijkheid van de constructie en dienen vóóraf te worden vastgesteld in overleg tussen opdrachtgever en fabrikant.

8.1.3 Keuring

Dit omvat destructief en niet-destructief onderzoek, zowel bij het toezicht tijdens de uitvoering, als bij de eindkeuring. In het eerste geval vormen ze een controlemiddel voor het peil van de lasuitvoering (niveaukeuring), in het laatste dienen ze voor de beslissing over goed- of afkeuren (keuring bij

overneming). Ook bij de voorbereiding worden deze onderzoeksmethoden toegepast.

8.2 Niet-destructief onderzoek

8.2.1 Controle op uitwendige gebreken

Visueel onderzoek, eventueel met een loep of eenvoudige microscoop, wordt toegepast voor de controle op onvolkomenheden van het oppervlak, zoals vulling van de naad, inkarteling, onvolkomen doorlassing, warscheuren e.d.

Het gebruik van een penetrantmethode, al of niet met fluorescerende inkt, vergemakkelijkt de controle op haarscheurtjes. Als het materiaal magnetisch is kan ook een magnetische methode worden toegepast.

8.2.2 Controle op inwendige gebreken

- *radiografisch onderzoek*. Met röntgenstralen (tot ongeveer 60 mm werkstukdikte) of met behulp van radio-isotopen (tot ongeveer 120 mm dikte) kan men grondlaagfouten, bindings- en inbrandingsfouten, poreusheid, slakinsluitels en scheuren aantonen en ze fotografisch vastleggen.
- *ultrasoon onderzoek*. Dit kan alleen worden toegepast als het materiaal een fijne structuur heeft. Veelal is de structuur te grof, waardoor de hoogfrequente geluidsgolven teveel worden verstrooid en daardoor geen duidelijke beelden van de lasfouten vormen. De interpretatie van de meetresultaten vereist een langdurige ervaring.
- *onderzoek op gasdichtheid*. Dit geschiedt met behulp van :
 - luchtdruk onder lage spanning, welke met een U-buis wordt afgelezen, en waarbij een alkali-vrije schuimvormer wordt gebruikt;
 - waterdruk onder hoge spanning;
 - lekverklidders. Dit zijn apparaten die met een geluid- of lichtsignaal reageren op zeer geringe sporen van bepaalde aan lucht toegevoegde

stoffen. Zij zijn in staat lekken aan te tonen en deze te lokaliseren.

Tot deze lekverklikkers behoren :

- toestellen welke met een mengsel van lucht en halogeen of halogeenverbinding werken en als 'halogeensnuiver' bekend staan;
- toestellen welke met een mengsel van lucht en helium werken en als 'helitester' worden aangeduid.

In vergelijking met de andere methoden van onderzoek op gasdichtheid heeft de methode met de lekverklikker een uitzonderlijk grote gevoeligheid; de apparatuur (leakdetector, Lechsuchgerät) wordt met een uitvoerige beschrijving van constructie en werkwijze in de handel gebracht. Het gebruik vraagt veel praktische ervaring.

Een vergelijking van deze testmethoden is gegeven in VM 44 Hard- en zachtsolderen 1, hoofdstuk 6.

8.3 Destructief onderzoek

8.3.1 Mechanisch onderzoek

Men past dit toe op speciaal vervaardigde proeflassen of op meegelaste dan wel meebehandelde proefstukken.

Het onderzoek kan omvatten :

- *buigproeven* met proefstaven welke meestal dwars over de las uit het proefstuk worden genomen. Bij de beproeving kan de bovenkant, de onderkant of de zijkant van de las op trek worden belast. De proefstaaf wordt gebogen om een doorn, waarvan de middellijn afhangt van de dikte van de proefstaaf en tot een voorgeschreven buighoek zonder dat scheuren ontstaan.
- *trekproeven* met proefstaven welke dwars over de las uit het proefstuk worden genomen of welke geheel uit neergesmolten lasmetaal bestaan. In het eerste geval wordt alleen de treksterkte bij breuk bepaald en de plaats waar de breuk optreedt. In het tweede geval kunnen treksterkte, rekgrens, rek en insnoering worden bepaald. In beide gevallen kan het uiterlijk van de breuk be-

langrijke aanwijzingen geven.

- *kerfslagproeven* met gekerfde proefstaafjes van gestandaardiseerde afmetingen, welke dwars over de las uit het proefstuk worden genomen.

De kerf is naar vorm en afmetingen volgens verschillende type gestandaardiseerd en wordt in het midden van de las en haaks op het plaatoppervlak aangebracht.

- *hardheidsmetingen* volgens Brinell, Vickers of Rockwell, uitgevoerd op geprepareerde doorsneden van de las.

Hiermede kan het hardheidsverloop van werkstukmateriaal, overgangszone en neersmelt worden bepaald.

Welke proeven worden gedaan hangt af van de gestelde eisen.

8.3.2 Metallografisch onderzoek

Geprepareerde doorsneden van de las kunnen macroscopisch en microscopisch worden onderzocht. Uit het *macroscopisch* onderzoek kunnen het aantal laslagen en de mate van inbranding worden bepaald.

Het *microscopisch* onderzoek geeft een beeld van de microstructuur (kristalvorm en -grootte) van het werkstukmateriaal, de overgangszone en de neersmelt. Dit onderzoek wordt meestal gecombineerd met het niet-destructief onderzoek. De doorsneden worden dan genomen op plaatsen waar bij het niet-destructief onderzoek onvolkomenheden zijn geconstateerd.

8.3.3 Chemisch onderzoek

Door een chemische analyse kan geleverd of te leveren materiaal worden gecontroleerd op de juiste samenstelling. Dit geldt zowel voor werkstukmateriaal als toevoegmetaal.

Ook neergesmolten lasmetaal wordt op deze wijze onderzocht. Het geeft een controle op de juiste uitvoering van de las in verband met gestelde eisen. In het bijzonder is dit voor de corrosievastheid van de sluitlaag van belang.

Boeken

- 'Welding Handbook', deel 4: 'Metals and their weldability', American Welding Society, Cleaver-Hume Press Ltd., Londen.
- Gilde, W.: 'Das Schweißen der Nichteisenmetalle', VEB Verlag Technik, Berlin.
- West, E.G.: 'The welding of nonferrous metals', Chapman & Hall Ltd., Londen.
- 'Brazing manual', American Welding Society, Chapman & Hall Ltd., Londen.

Publikaties van fabrikanten van nikkel en nikkellegeringen*)

- 'Welding, brazing and soldering Wiggins nickel alloys', Henry Wiggin & Co Ltd., Hereford, Engeland.
- 'Joining the Huntington alloys', The International Nickel Co Inc., Huntington, West Virginia, USA.
- 'Hastelloy corrosion resistant alloys', Union Carbide Corporation, Kokomo, Indiana, USA.
- 'Welding materials', waarvan een uitgave van: Henry Wiggin & Co Ltd., Engeland: International Nickel Co Inc., USA.
- 'Welding dissimilar metals', Henry Wiggin & Co Ltd., Hereford, Engeland.
- 'The dissimilar metal joint', The International Nickel Co Inc., Huntington, USA.
- 'Brazing and soldering Huntington alloys', The International Nickel Co Inc., Huntington, West Virginia, USA.

Tijdschriftartikelen

Algemeen en eigenschappen (Hoofdstuk 1 en 2)

- Eijk, N. van: 'Monel', Smit-las 2 (1963) nr. 4, blz. 40 ... 43.
- 'Nickel and nickel alloys', Mat. Design and Engineering 60 (1964) nr. 1, blz. 97 ... 108.
- Warde, E.: 'Neue korrosionsbeständige Nickellegierungen', Schweißen und Schneiden 16 (1964) nr. 4, blz. 137 ... 138.
- McHenry, H.T. e.a.: 'Neue hochfeste Nickellegierungen für Schweißkonstruktionen', Schweißen und Schneiden 16 (1964) nr. 5, blz. 197.
- Barker, J.F. & McHenry, H.T.: 'Weldable superalloys', Mech. Engineering 86 (1964) nr. 11, blz. 62 ... 65.
- Gottlieb, T. & Shira, C.S.: 'Fabrication of iron-nickel alloys for cryogenic piping service', Welding Journal 44 (1965) nr. 3, blz. 116s ... 123s.
- Dinsdale, W.O.: 'High temperature properties of welded joints

- in heat resisting alloys', Brit. Welding Journal 12 (1965) nr. 7, blz. 344 ... 348.
- Savage, W.F.: 'An investigation of hot cracking in Hastelloy X', Welding Journal 45 (1966) nr. 1, blz. 13s ... 25s.
- Gilliland, R.G.: 'Elevated temperature mechanical properties of welds in a Ni-Mo-Cr-Fe alloy', Welding Journal 45 (1966) nr. 3, blz. 103s ... 110s.
- Owczarski, W.A. e.a.: 'A model for heat-affected zone cracking in nickel-base super-alloys', Welding Journal 45 (1966) nr. 4, blz. 145s ... 155s.
- Hinzpeter, H.: 'Werkstoffbeeinflussung beim Schweißen warmer fester Ausscheidungshärten der Nickel-Chrom-Legierungen', ZIS-Mitteilungen 10 (1968) nr. 1, blz. 124 ... 142.
- Prager, M.: 'Welding of precipitation-hardening nickel-base alloys', Weld. Res. Council Bulletin (1968) nr. 128, blz. 1 ... 55.
- Fletcher, C.W., Flens, F.J. & Glasier, L.F.: 'Hastelloy X for the Phoebus-2 nozzle, Welding of thick sections', Welding Journal 46 (1967) nr. 4, blz. 290 ... 303.
- Thompson, E.G., Nunez, S. & Prager, M.: 'Practical solutions of strain-age cracking of René 41', Welding Journal 47 (1968) nr. 7, blz. 299s ... 312s.
- Jackson C.E.: 'The weld heat-affected zone in nickel-base alloy 718', Welding Journal 49 (1970) nr. 2, blz. 46s ... 53s.
- Dix, A.W. & Savage, W.F.: 'Factors influencing strain-age cracking in Inconel X-750', Welding Journal 50 (1971) nr. 6, blz. 247s ... 252s.
- Savage, W.F. & Krantz, B.M.: 'Microsegregation in auto-genous Hastelloy X welds', Welding Journal 50 (1971) nr. 7, blz. 292s ... 303s.
- Ikawa, H., Shin, S. & Nakao, I.: 'Weldability of nickel-base heat resisting superalloy; Main cause of weld crackings in the heat-affected zone of Inconel 713', Technol. Rep. Osaka Univ. Japan 21 (1971) nr. 973 ... 994, blz. 101 ... 120.
- Ikawa, H., Shin, S. & Nakao, I.: 'Hot crackings in Ni-base superalloy Inconel 713C during welding', Symp. Cracking Fract. Welds Tokyo (1971), Jap. Welding Society.
- Lazarson, E.H.V., Kuz'nin, G.S. & Pinegin, E.G.: 'Behaviour of carbon when nickel and nickel-carbon alloys are welded', Welding Production 19 (1972) nr. 1, blz. 15 ... 19.
- Perfil'ev, A.N., Sidlin, Z.A. & Len'chin, Yu.T.: 'Investigation of the properties of the deposited metal in the welding of a nickel alloy, using the method of experiment planning', Welding Production 19 (1972) nr. 9, blz. 1 ... 6.
- Sorokin, L.I. & Erokhin, A.A.: 'Influence of carbon, silicon, manganese and magnesium on the properties of the deposited metal in welding of creep-resistant alloys', Welding Production 19 (1972) nr. 9, blz. 19 ... 21.
- Kuz'nin, G.S. & Karatysh, V.V.: 'The resistance to hot cracking of welded joints in nickel', Automated Welding 25 (1972) nr. 11, blz. 19 ... 21.
- Martyshin, G.V. & Khorosheva, V.B.: 'Some of the features of

*) De drie genoemde maatschappijen geven ieder nog publikaties uit over afzonderlijke onderwerpen. Men kan de lijst van beschikbare publikaties aanvragen.

- welding structures made of precipitation-hardening VZh101 nickel alloy sheet', *Automated Welding* 26 (1973) nr. 1, blz. 15 ... 19.
- Fontaine, P.I. & Penrice, P.J.: 'Development of a weldable, cast Ni-Cr alloy IN-643 for use in high temperature tube applications', *Journal Institute of Metals* 101 (1973) nr. 1, blz. 15 ... 23.
- Ikawa, H., Shin, S. & Oshige, H.: 'Quantitative analysis on grain growth of commercial purity nickel during various weld thermal cycles', *Trans. Jap. Welding Society* 4 (1973) nr. 2, blz. 35 ... 41.
- Shorshorov, M.K.H. & Chernishova, T.A.: 'On the migration of grain boundaries and intergranular slip in the weld metal of welded joints in nickel alloys', *Welding Production* 20 (1973) nr. 4, blz. 11 ... 14.
- Fiehn, H. & Grein, A.: 'Einfluss einer Kaltverarbeitung mit anschließender Schweissung auf des Ausscheidungsverhalten von Nickelbasislegierungen', *Werkstatt und Betrieb* 106 (1973) nr. 6, blz. 361 ... 363.
- Kuz'nin, G.S. & Bitinskaya, L.N.: 'Influence of alloying elements on the corrosion resistance of welded joints in Monel-alloy', *Welding Production* 19 (1973) nr. 8, blz. 57 ... 60.
- Anoshin, V.A. & Ilyushenko, V.M.: 'Effects of sulphur on the formation of cracks when Monel and Nickel are welded', *Automated Welding* 26 (1973) nr. 11, blz. 77, 78.
- Wolstenholme, D.A.: 'Weld crater cracking in Incoloy 800', *Welding and Metal Fabrication* 41 (1973) nr. 12, blz. 433 ... 439.
- Yushchenko, K.A. & Kabuzan, V.V.: 'High-nickel steels and alloys for welded structures in cryogenic engineering (a survey)', *Automated Welding* 27 (1974) nr. 3, blz. 38 ... 44.
- Abzalov, M.A. & Abdurakhmanov, R.U.: 'Effects of impurities on the special features of solidification of nickel under conditions of the thermal welding cycle', *Welding Production* 21 (1974) nr. 6, blz. 12 ... 15.
- Galan, P. & Potakovsky, L.: 'Einfluss des Schweissens, der Wärmebehandlung und Korrosion auf die Eigenschaften der Nimonic-Legierungen', *Schweisstechnik (Oesterr.)* 28 (1974) nr. 6, blz. 117 ... 121.
- Abzalov, M.A. & Abdurakhmanov, R.U.: 'Research into the special features on the structure of nickel with different purities and its susceptibility to ductility dip cracking when welded', *Automated Welding* 27 (1974) nr. 10, blz. 6 ... 9.
- Voorbehandeling en lasuitvoering (Hoofdstuk 3 en 4)*
- Hancock, P.: 'Mechanism and suppression of gas pore formation in tungsten-arc weld in nickel', *Brit. Welding Journal* 11 (1964) nr. 11, blz. 566 ... 571.
- Bellware, M.D.: 'How to weld Invar', *Weld Engineer* 49 (1964) nr. 11, blz. 41 ... 43.
- Pease, G.R. & Bishel, R.A.: 'Submerged-arc welding of high nickel alloys', *Welding Journal* 44 (1965) nr. 8, blz. 641 ... 646.
- Pease, G.R. e.a.: 'Plasma arc welding of nickel and high nickel alloys', *Welding Journal* 45 (1966) nr. 5, blz. 417 ... 422.
- Hitzpeter, H.: 'Einfluss der Schutzgaszusammensetzung auf Porenbildung und mechanische Eigenschaften einer geschweissten warmfesten Nickel-Chromlegierung', *Schweisstechnik* 16 (1966) nr. 1, blz. 20 ... 24.
- Weigel, K.: 'Niob, Mangan und Molybdän im NiCr15Fe-Schweissgut', *Werkstatt und Betrieb* 99 (1966) nr. 6, blz. 357 ... 359.
- Gilliland, R.G.: 'The welding of new solution-strengthened nickel-base alloys', *Welding Journal* 45 (1966) nr. 7, blz. 314s ... 320s.
- Arbellot, M.: 'Soudage du Monel, de l'Incoloy et du Nionel', *Techn. du Pétrol* (juli 1966) blz. 23 ... 30.
- Horn, V.: 'Schweissmetallurgie der korrosionsbeständigen Nickellegierungen NiMo30 und NiMo16Cr', *ZIS-Mitteilungen* 9 (1967) nr. 3, blz. 358 ... 364.
- Kieschke, M.: 'WIG-Schweissen der Nickellegierungen NiMo30 und NiMo16Cr', *ZIS-Mitteilungen* 9 (1967) nr. 3, blz. 365 ... 371.
- Doyle, J. e.a.: 'Comparison of electrobeam welded and inertia bonded joints in a nickelbase superalloy', *Welding Journal* 48 (1969) nr. 11, blz. 514s ... 520s.
- Mesick, J.H.: 'A report on new matrix-stiffened nickel-chromium welding products', *Welding Journal* 49 (1970) nr. 1, blz. 27s ... 32s.
- Visser, A. de: 'Het lassen van nikkel en nikkellegeringen', *Smit-Las* 9 (1970) nr. 4, blz. 90 ... 92.
- Holby, E.: 'Effect of surface resistivity on resistance welding of Inconel 718', *Welding Engineering* 55 (1970) nr. 9, blz. 52 ... 54.
- Moore, T.J. & Kolko, K.H.: 'Solid state welding of T.D. nickel bar', *Welding Journal* 49 (1970) nr. 9, blz. 395s ... 409s.
- Gordine, J.: 'Welding of Inconel 718', *Welding Journal* 49 (1970) nr. 11, blz. 531s ... 537s.
- Wunderlich, D.: 'Advanced welding techniques and the high nickel alloys', *Revue de la Soudure* 26 (1970) nr. 3, blz. 148 ... 156; idem in *Welding Research Abroad* 17 (1971) nr. 4, blz. 28 ... 36.
- Visser, A. de: 'Het lassen van nikkel en nikkellegeringen', *Smit-Las* 10 (1971) nr. 2, blz. 33 ... 36.
- Strassburg, F.V.: 'Mechanisieretes Schweissen von Nickel und seinen Legierungen', *Schweissen und Schneiden* 23 (1971) nr. 6, blz. 220 ... 223.
- Gordine, J.: 'Some problems in welding Inconel 718', *Welding Journal* 50 (1971) nr. 11, blz. 480s ... 484s.
- King, W.H. e.a.: 'Methods for diffusion welding superalloy Udimet 700', *Welding Journal* 51 (1972) nr. 2, blz. 41s ... 49s.
- Joshimura, H. & Winterton, K.: 'Solidification mode of weld metal in Inconel 718', *Welding Journal* 51 (1972) nr. 3, blz. 132s ... 138s.
- Moore, T.J.: 'Friction welding', *Welding Journal* 51 (1972) nr. 4, blz. 253 ... 262.
- Vehngzhin, Ya.: 'Coated electrodes for welding nickel (Review of published works)', *Automated Welding* 25 (1972) nr. 11, blz. 53 ... 57.
- Sorokin, L.I.: 'Comparitive assessment of the properties of nickel-chromium metal disposed by the argon arc methods with covered electrodes', *Welding Production* 20 (1973) nr. 3, blz. 44 ... 48.
- Makarov, V.N.: 'Influence of the frequency of magnetic field reversal during the welding of heat-resistant nickel alloys in small thicknesses', *Automated Welding* 27 (1974) nr. 7, blz. 64 ... 65.
- Adams, M.J.: 'Plasma, electron beam and laser welding of thin nickel-base alloys', *Metal Construction & Brit. Welding Journal* 6 (1974) nr. 8, blz. 247 ... 253.
- Friedman, E. & Glickstein, S.S.: 'Investigation of alloy 600 welding parameters', *Welding Journal* 54 (1975) nr. 4, blz. 113s ... 122s; Corrections in nr. 7, blz. 233s.
- Redfern, G.A., Kenyon, N. & Richardson, R.R.: 'Electroslag welding of high nickel alloys', *Welding Journal* 54 (1975) nr. 7, blz. 235s ... 239s.

Hardsolderen (Hoofdstuk 5)

- Zaremba, P.: 'Hartlöten hochwarmfester Legierungen auf Nickelbasis', *Der Praktiker* 18 (1966) nr. 3, blz. 64 ... 65.
- Marti-Balaguer, L.: 'Furnace brazing Inconel 718 for nuclear reactors', *Metal Progress* 91 (1967) nr. 5, blz. 113.
- Kirby, R.S. & Hauks, G.S.: 'Brazing of nickel-chromium alloy 718', *Welding Journal* 47 (1968) nr. 3, blz. 97s ... 105s.
- Lamb, S. & Miller, F.M.: 'The effects of aggression by brazing filler metals nickel-base', *Welding Journal* 48 (1969) nr. 7, blz. 283s ... 289s.
- Amato, A., Baudrocco, F. & Ravizza, M.: 'Spreading and aggressive effects by nickel-base brazing filler metals on stainless steel', *Welding Journal* 50 (1971) nr. 4, blz. 183 ... 189.
- Hunt, J.P.: 'Brazeability of five nickel-chromium-iron alloys', *Welding Engineering* 56 (1971) nr. 12, blz. 25 ... 27.
- Botros, B.M.: 'Brazing of nickel-base alloys', *Society of Manuf. Engineering; Techn. Paper*, Dearborn, Michigan, SME 222 (1973) blz. 1 ... 14.
- Christenson, J. & Rorbo, K.: 'Nickel brazing below 1025 °C of untreated Inconel 718', *Welding Journal* 53 (1974) nr. 10, blz. 460s ... 464s.

Bijzondere lasuitvoeringen (Hoofdstuk 6)

ONGELIJKSOORTIGE MATERIALEN

- Knecht, R.L.: 'Dissimilar-metal welds of certain superalloys and stainless steels', *Nickel Bulletin* 37 (1964) nr. 6, blz. 153 ... 154.
- Martyshin, G.V.: 'The choice of filler materials for welding creep-resisting nickel alloys to 18-8 type steels', *Avt. Svarka* 18 (1965) nr. 7, blz. 19 ... 22.
- Scrimgeour, N. e.a.: 'Hard facing and dissimilar metal welding of Monel alloy 400', *Welding and Metal Fabrication* 43 (1975) nr. 2, blz. 105 ... 107.

GEPLATEERD STAAL

- Kleemann, H.J.: 'Erfahrungen beim Schweißen plattierter Werkstoffe', *Der Praktiker* 18 (1966) nr. 4, blz. 82 ... 86.
- Rädeker, W.: 'Le soudage, entre elles, de tôles d'acier plaquées', *Machine Moderne* (1966) nr. 692, blz. 39 ... 43.
- Ellis, D.: 'Fabrication in clad steel', *Welding and Metal Fabrication* 35 (1967) nr. 9, blz. 359 ... 364.
- Vogl, R.F.: 'Fertigung Plattierter Kolonnen für die Erdöl-industrie', *Schweisstechnik* 21 (1967) nr. 12, blz. 144 ... 146.
- Gerbeaux, H.: 'Recommendations for arc welded joints in clad steel', *Welding in the World* 7 (1969) nr. 1, blz. 28 ... 48.
- Ramesam, J. e.a.: 'Morphology and composition of bond zones in some Invar-based explosive welds', *Welding Journal* 51 (1972) nr. 1, blz. 23s ... 29s.

OPLASSEN

- Inouye, J.J. & Lordi, F.D.: 'Feasibility of hard surfacing age-hardenable Ni-Cr-Fe-alloy', *Nickel Bulletin* 37 (1964) nr. 7, blz. 110 ... 171.
- Payne, B.E.: 'High nickel weld overlays', *Chem. and Process Engineering* (okt. 1970) blz. 55 ... 59.
- 'Rechargement avec électrode en bande en acier austénitique à ferrite contrôlée, ainsi qu'en nickel et alliages de nickel', *Saldat. Autogena Ital.* 52 (1971) nr. 6, blz. 110 ... 118.
- Scott, M.H. e.a.: 'Hard facing and dissimilar metal welding of Monel alloy 400', *Welding and Metal Fabrication* 43 (1975) nr. 2, blz. 105 ... 107.

Nabehandelingen (Hoofdstuk 7)

- Owczarski, W.A. & Sullivan, C.P.: 'Effect of postweld heat treatment on a superalloy weld deposit', *Welding Journal* 44 (1965) nr. 6, blz. 241s ... 250s.
- Duval, D.S. & Owczarski, W.A.: 'Studies of postweld heat-treatment in cracking in nickel-base alloys', *Welding Journal* 48 (1969) nr. 1, blz. 10s ... 22s.
- McCoy, H.E. & Canonico, D.A.: 'Preirradiation and post-irradiation mechanical properties on Hastelloy N welds', *Welding Journal* 48 (1969) nr. 5, blz. 203s ... 211s.
- McCoy, H.E. e.a.: 'Tensile properties of Hastelloy N welded after irradiation', *Welding Journal* 50 (1971) nr. 2, blz. 71s ... 76s.
- McKeown, D.: 'Re-heat cracking in high nickel alloy heat-affected zones', *Welding Journal* 50 (1971) nr. 5, blz. 201s ... 205s.
- Kuz'nin, G.S. & Bazhin, S.N.: 'Influence of heat treatment on the properties of nickel weld metal with increased carbon contents', *Welding Production* 19 (1972) nr. 2, blz. 57 ... 59.
- McKeown, D. & Scott, M.H.: 'Postweld heat treatment cracking in high nickel alloy weldments', *Welding Research International* 3 (1973) nr. 1, blz. 1 ... 46.

Keuring en controle (Hoofdstuk 8)

- Dinsdale, W.O.: 'Test on fusion welded butt joints in Nimonic 75 and 90', *Brit. Welding Journal* 12 (1965) nr. 1, blz. 37 ... 46; nr. 2, blz. 76 ... 79.
- Yeniscavich, W.: 'The effects of fissures on the fatigue strength of Ni-Cr-Fe alloys', *Welding Journal* 45 (1966) nr. 3, blz. 103s ... 110s.
- Owens, J.W. & D'Amessa, A.T.: 'Acoustic emission characteristics of heat treat cracking in René 41 weldments', *Welding Journal* 51 (1972) nr. 3, blz. 156s ... 168s.
- Lingenfelter, A.C.: 'Varestraint testing of nickel alloys', *Welding Journal* 51 (1972) nr. 9, blz. 430s ... 436s.
- Dickinson, D.W. & Savage, W.F.: 'Electron microanalysis of backfilled hot cracks in Inconel 600', *Welding Journal* 51 (1972) nr. 11, blz. 555s ... 562s.

Trefwoordenregister

Afschrikken 13
autogeen lassen 20, 21, 28
autogeen snijden 38
autogeen solderen 31

Basismetaal toegankelijk 38 ... 40
beitsen 19, 35, 42 ... 44
beitsmiddelen 43, 44
bewerken 5, 38, 42
booglengte 24
borstelen 19, 42
broosheid 11

Controle 45, 46
corrosie, droge – 18
corrosie, interkristallijne – 18
corrosie, natte – 13
corrosievastheid 5, 13, 18, 19, 38

Dispersiehardten 13
doorlassing 25, 40
draadtoevoer 24

Eigenschappen 11 ... 15
elektroden, booglassen met beklede – 20,
22, 28, 38, 41

Formier-gas 24, 25

Gas, beschermd – 24, 25, 30
gas, reducerend – 31, 32, 42
gassen, oplosbaarheid – 11
gebreken 45
gebruikstemperatuur 32
gietsmetaal 5
gloeien 11
gloeien, homogeniserend – 13, 19, 30, 42
gloeien, spanningsverlagend – 13, 17 ...
19, 30, 42
goudsoldeer 34
grondregels 38

Handelsbenaming 7, 10
hardten 11, 13
hardsolderen 5, 19, 20, 30 ... 35, 42
hechten 22, 24, 26, 38
hechting 11, 38

I-naad 21 ... 23, 25, 30
inductief solderen 31
inlegring (insert) 40
insluitsels 11, 19

Keuring 45, 46
kneedmateriaal 5
kopersoldeer 32, 33
korrelgroei 13, 23
kortsluitboog 23, 38
koudvormen 11, 13, 42
kraterscheur 23, 25, 26

Lasmetaal, neergesmolten – 18, 25, 36
40
lassen, invloed van het – 18
lasstanden 21, 23, 25, 26
lasuitvoering 21, 23, 24, 26, 36, 45
lasvlakken 21
lasvolgorde 38
leveringstoestand 11, 19
leveringsvorm 7, 9
loogbad 44

Materiaalkeuze 7
materiaal, ongelijksoortig – 35, 36
materiaaltoestand 19, 30
MIG-booglassen 20, 23, 24, 29, 38, 41

Naadvormen 21, 22, 23, 25, 30, 31, 38 ...
40
nabehandeling 19, 35, 42 ... 44
neersmelt (zie lasmetaal)
nikkel 5
nikkellegeringen 5 ... 9
nikkeloxyde 11
nikkelsoldeer 34

Onder-poederlassen 41
onderzoek, destructief – 46
onderzoek, niet-destructief – 45, 46
ontvetten 19
oplassen 41
ovensolderen 31, 32
oxydehuid 5, 18, 19

Palladiumsoldeer 34
plasmasnijden 38
plateerlaag toegankelijk 38 ... 40
poreusheid 11, 19
putcorrosie 18

Randnaad 21
reiniging 18, 19, 22, 24, 26, 31, 42

Samenstelling 6, 26, 36
scheurgevoelig 11, 18, 38

smeltlassen 5, 19 ... 21, 42
smeltpunt(-traject) 11, 13
soldeerbrosheid 30
soldeermethoden 31
soldeersoort 32 ... 34
spanningen, inwendige – 11, 13, 30, 42
spanningscorrosie 18, 30, 42
spleetbreedte 30, 34
sproei-boog 23, 38
staal, geplateerd – 38
stroom, pulserende – 23, 38
structuur 42

Tegenlas 22, 25
TIG-booglassen 20, 25, 26, 29, 38
T-naad 23, 25
toepassingsgebied 5, 7, 8
toevoegmetaal 22, 23, 25 ... 29, 36 ... 38
treksterkte 11
typenoverzicht 5, 6

Uitrusting 24, 25
uitzettingscoëfficiënt 11, 20
U-naad 22, 23, 25, 39, 40

Vacuüm 30 ... 32, 42
verbindingsprocédés 5, 19 ... 21
veredelen 7, 11, 13, 16, 30, 42
verontreiniging 11, 18, 19
vervormen 5
vloeimiddel 18, 22, 30
V-naad 21 ... 23, 25, 39, 40
voorbehandeling 19, 42, 43
voorbereiding(-bewerking) 21, 38, 45
voorzorgen 19, 21

Warmtebehandeling 7, 13, 42
warmtegeleidingsvermogen 11
warmteinvloedszone 13
warmtevervormen 11
weerstandlassen 20
weerstandssolderen 31
werkomsandigheden 19, 36
werkstukmateriaal 18, 30, 36, 37

X-naad 22, 23, 25, 39

Zachtgloeien 13, 17, 19, 30, 42
zilversoldeer 32, 33