

Optimale keuze van nikkellegeringen (1)

Ing. N.W. Buijs

Van Leeuwen Stainless

Scherper wordende milieu- en veiligheidseisen stimuleren de vraag naar hoogwaardige legeringen. In dit nummer starten we daarom met een artikelserie over nikkellegeringen. In dit eerste deel staat het metaal nikkel en de ongelegeerde nikkelkwaliteiten 200 en 201 centraal. In volgende artikelen zullen we ingaan op nikkellegeringen.

De belangstelling voor nikkellegeringen is het laatste decennium sterk toegenomen, omdat de industrie meer behoefte heeft gekregen aan metalen met een lange technische levensduur die zeer onderhoudsvriendelijk en in hoge mate bedrijfszeker zijn. Deze eisen hebben ertoe geleid dat er zeer veel verschillende typen nikkellegeringen zijn ontwikkeld. Voor de gebruiker is het hierdoor niet gemakkelijk om het meest optimale type te kiezen bij een bepaalde toepassing. De bedoeling van deze artikelreeks is dan ook om u duidelijkheid te verschaffen over de diverse kwaliteiten en eigenschappen.

De belangstelling voor hoogwaardige legeringen wordt de laatste jaren ook enorm gestimuleerd door steeds maar toenemende milieu- en veiligheidseisen alsmede door de arbeidskosten ten behoeve van onderhoud en reparatie die per tijdseenheid enorm zijn gestegen. De weerstand om hoogwaardige metalen toe te passen vanwege de relatief hoge aanschafprijs is behoorlijk afgenomen. De verwachting is dan ook dat dergelijke legeringen nog terrein zullen gaan winnen met name in de chemische- en petrochemische industrie. Ook andere marktsegmenten zoals de energie- en voedingsindustrie hebben het nut van deze metaallegeringen ontdekt waardoor ook hier groei te verwachten is. Ook is het juist melding te maken van het feit dat allerlei hoogwaardige roestvast staal-soorten diverse duurdere nikkellegeringen verdringen. Men kan dan bijvoorbeeld denken aan duplexstalen en hoog-molybdeen-houdende roestvast stalen.

Hoogwaardige legeringen kunnen diverse alternatieve benamingen hebben zoals superlegeringen, exotische legeringen, hoge-prestatielegeringen (high-performance alloys) en specials. Deze diverse aanduidingen kunnen soms tot verwarring leiden hetgeen niet nodig is omdat in alle gevallen hetzelfde wordt bedoeld. Hoewel er diverse hoogwaardige legeringen zijn die een drager hebben van bijvoorbeeld cobalt, titaan, zirkoon en soms ook ijzer zal deze artikelserie zich beperken tot hoogwaardige legeringen op een basis van nikkel.

Er zijn door de jaren heen vele nikkellegeringen ontwikkeld die allemaal hun specifieke eigenschappen en toepassingen hebben.



Onderdelen van nikkellegeringen 200/201 (foto: Red Point)

Met de artikelserie beogen we meer duidelijkheid te verschaffen in de grote verscheidenheid van de diverse typen. De legeringen die in ons land het meest voorkomen zijn: nikkel-alloy 200, 201, 400, 600, 601, 625, 800H, 825, C22, C276, C4 en B2. Naast deze typen zijn er nog tientallen andere doch minder bekende kwaliteiten die verder in dit artikel niet worden behandeld. Wel vindt men in het slotwoord bij het laatste artikel summere informatie van enige van deze minder voorkomende kwaliteiten.

De genoemde legeringen zijn primair bedoeld om toegepast te worden in chemisch agressieve media. Ook zijn diverse legeringen geschikt om toegepast te worden bij ho-

ge temperaturen.

Voordat inhoudelijk wordt ingegaan op de specifieke eigenschappen en mogelijkheden van deze nikkellegeringen bekijken we eerst hoe het metaal nikkel ontstaat.

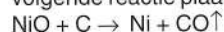
Nikkel

Nikkel komt als erts op vele plaatsen in de aardbodem voor, maar op een beperkt aantal vindplaatsen is het lonend om dit erts te delven. Dit gebeurt bijvoorbeeld in Canada, in Noorwegen en in New Caledonië. Goede erts bevatten 1,2% tot 5% nikkel. Een veel voorkomende ertsamenstelling is: circa 40% SiO_2 , 20% MgO , 15% Fe_2O_3 , 10% H_2O , 10% NiO , 1% Al_2O_3 , 0,7% MnO_2 , 0,2% CoO en 0,1% CaO . De kleur van het erts is groen, maar naarmate er meer ijzer aanwezig is, ontstaan er gele en bruine verkleuringen.

Er zijn verschillende methoden om nikkel te winnen, zoals:

- smelten van het erts met cokes met een toeslag van kalksteen. Dit kan in een koepe-loven plaatsvinden;
- het nikkelerts wordt met een flux tot briketen geperst en deze worden met circa 30% cokes in ovens gesmolten. De flux bestaat meestal uit CaS.

Het ruwe nikkeloxide dat zo vrijkomt, bevat nog veel ijzeroxiden en het wordt daarom met een siliciumhoudende flux in een Bessemer convertor gezuiverd. Na deze zuivering bevat het produkt circa 80% NiO en circa 20% S (zwavel). Het produkt wordt verpulverd in een kogelmolen waarna het geroost wordt teneinde het zwavel te verwijderen. Na dit roosten blijft er praktisch zuiver NiO over. Dit nikkeloxide wordt met koolstof samengeperst tot tabletten waarna deze 48 uur verhit worden. Tijdens deze verhitting vindt er de volgende reactie plaats:



Dit nikkel heeft een zuiverheid van circa 99,25%. Indien een hogere zuiverheid wordt vereist kan men dit bereiken door middel van elektrolyse.

Door het toevoegen van allerlei elementen kan men de diverse nikkellegeringen met behulp van het smeltproces verkrijgen. Voor alle nikkellegeringen geldt dat het fosfor- en zwavelgehalte zo laag mogelijk moet worden gehouden vanwege hun schadelijkheid.

De fysische en mechanische eigenschappen van nikkel zijn in een tabel bij dit artikel opgenomen. Nikkel is het achtentwintigste element in het periodiek systeem en heeft door zijn kubisch vlakken gecenterd rooster en relatief hoge ductiliteit vanwege de vele glijvlakken. Het element zwavel dient vermeden te worden omdat dit het nikkel sterk verbrost. Bij het smelten van nikkel kan het zwavel gebonden worden door het toevoegen van een weinig mangaan en/of magnesium. Specifieke voordelen van het metaal nikkel zijn naast de zeer goede corrosiebestendigheid de grote en constante magnetische permeabiliteit, de geringe thermische uitzetting en de buitengewoon goede eigenschappen bij hoge temperatuur. Het wordt ook zeer veel als legeringselement gebruikt in voornamelijk ijzer- en koperlegeringen.

Voorbeelden zijn o.a. roestvast staal, cunifer en aluminiumbrons.

Nikkel wordt naast de commerciële zuivere uitvoering veel meer toegepast als gelegerd nikkel dat in principe verkrijgbaar is als plaat, staf, strip, buis (gelast en naadloos), draad en als smeed- en gietstukken. De lasbaarheid is uitstekend mits de juiste parameters worden gebruikt.

Nikkel staat ook bekend vanwege zijn zeer goede kruipvastheid welke tot stand komt door de vele tweelingen in de matrix alsmede het ontstaan van uitscheidingen die beide er voor zorgen dat het verspringen van dislocaties aanzienlijk wordt bemoeilijkt.

In de ongelegeerde conditie is het nikkel zeer goed toe te passen in bepaalde procesapparatuur en daarom zijn er twee kwaliteiten beschikbaar namelijk nikkel 200 en 201.

Tabel 1 Fysische en mechanische eigenschappen van nikkel

Fysische constanten	
Atoomgewicht	58,69
Kristalstructuur (20 °C)	kubisch vlak gecenterd parameter $a = 3,5167 \cdot 10^{-10} \text{ m}$
Dichtheid (soortelijk gewicht)	8,89
Smeltpunt	1435 – 1445 °C
Kookpunt	± 2730 °C
Specifieke warmte (27 - 100 °C)	440 J/kg/°K
Latente smeltwarmte	309 J/g
lineaire uitzettingscoëfficiënt	13.10 ⁻⁶ /°K (27-100 °C)
Elektrische weerstand (20 °C)	9,5 mikroh-m-cm
Warmtegeleidingsvermogen (27-100 °C)	76 W/m/°C
Curiepunt	368 °C
Magnetische permeabiliteit	initieel: 110; max.600
Mechanische eigenschappen	
Treksterkte	461 MPa
Rekgrens 0,2%	147 MPa
Rek	40%
Insnoering	45%
Hardheid	110 HB
Elasticiteitsmodulus	205,8 GPa

Tabel 2 Chemische samenstelling van nikkel alloy 200 en 201

	C*	Si	Mn	S	Cu	Fe	Mg	Ti	Ni(+CO)
min.									98,4
max.	0,025	0,23	0,38	0,013	0,28	0,47	0,18	0,13	
*Het koolstofgehalte van nikkel 200 bedraagt maximaal 0,15%									

Tabel 3 Aanduidingen nikkel 200 nikkel 201

norm	nikkel 200	nikkel 201
DIN afkorting	Ni99,2	LC-Ni99
Werkstoff-Nr.	2.4066	2.4068
vdTüV-Werkstoff-Blatt	--	345
UNS	NO2200	NO2201
BS	3072-76/NA11	3072-76/NA12
AMS	--	5553
ASTM	B160, B161, B162, B163	
DIN	17740, 17750, 17751, 17752, 17753, 1775	
ASME	SB160, SB161, SB162, SB163	

Nikkel 200 en 201

Nikkel 200 is technisch zuiver nikkel met een hoge ductiliteit dat ook wel commercieel zuiver nikkel wordt genoemd. Bovendien beschikt het over een goede warmtegeleiding en een uitstekende resistentie tegen zeer vele corrosieve media. Vanwege de zuiverheidsgraad heeft nikkel relatief lage mechanische waarden. Nikkel 201 is nagenoeg identiek aan nikkel 200 echter het koolstofgehalte is niet hoger dan 0,025%. Beide kwaliteiten bieden vooral onder reducerende omstandigheden een zeer goede corrosiebestendigheid. In oxiderende milieus ontstaat er een passieve oxidefilm aan het oppervlak die er voor zorgt dat het nikkel bestand is tegen natronloog, droge chloorwaterstoffen en droog broom. Ook blijkt dat nik-

kel 200 en 201 een prima bestendigheid heeft tegen spanningscorrosie zowel in etende alkalische- als in chloridehoudende oplossingen. De chemische samenstelling van deze technisch zuivere nikkelkwaliteiten vindt men in een tabel bij dit artikel. Ook hebben diverse normeringen hun eigen aanduidingen die weergegeven zijn in een tabel. In deze tabel zijn allerlei equivalenten van elkaar vermeld zodat men inzicht kan krijgen welke normaanduidingen met elkaar overeen komen.

Vanwege deze veelheid van aanduidingen heeft Misset uitgeverij het computerprogramma 'De Metaalselector' op de markt gebracht waarin al deze equivalenten op een gebruikersvriendelijke wijze geselecteerd kunnen worden. Van al de legeringen die in

deze artikelserie worden behandeld, zullen dergelijke tabellen verstrekt worden zodat niet iedere keer vanuit de tekst verwezen zal worden naar deze tabellen.

Verwerken 200 en 201

Nikkel 200 en 201 zijn zowel koud- als warm goed vervormbaar. Bij koude- deformatie die groter is dan 5% is aansluitend spanningsarm- of zachtgloeien noodzakelijk. Warmvervormen dient te geschieden bij een temperatuur van 800 °C tot 1250 °C. Het metaal dient voor de warmtebehandeling altijd ontdaan te worden van olie, vet, koolstof- en zwavelhoudende bestanddelen. Het milieu in de oven moet licht-reducerend tot neutraal zijn. Indien men niet zeker van is of er zwavel aanwezig kan zijn, is het ten zeerste aan te bevelen de ovenatmosfeer zwak-oxiderend in te stellen. Zwavelopname dient men met nikkellegeringen te allen tijde tegen te gaan omdat de kans op vorming van het zeer schadelijke nikkel-sulfide bijzonder groot is.

Warmtebehandeling 200 en 201

De volgende warmtebehandelingstemperaturen dient men aan te houden:

- zachtgloeien: 700 °C tot 800 °C;
- spanningsarmgloeien: 550 °C tot 650 °C.

Het afkoelen dient plaats te vinden in water of geforceerde lucht. Dunne onderdelen kunnen ook in gewone lucht afkoelen.

Lassen 200 en 201

Nikkel 200 en 201 zijn zeer goed lasbaar. Procédés die aanbevolen worden, zijn TIG- en MIG-lassen alsmede het lassen met beklede elektroden. De juiste toevoegmaterialen zijn respectievelijk de werkstofnummers 2.4155 (TIG- en MIG-draad) en 2.4156 (elektroden) aan te raden.

In het algemeen kan men stellen dat het koolstofgehalte van de meeste nikkellegeringen zo laag is geworden dat dit gehalte ver onder de maximaal oplosbare hoeveelheid is gekomen. Vanuit de thermo-dynamica is be-

Tabel 4 Fysische eigenschappen van Alloy 200/201

	nikkel 200	nikkel 201
Smelttraject	1435 - 1445	1435 - 1445 °C
Dichtheid (s.g.)	8,9	8,9
Elasticiteitsmodulus	196	196 GPa
Specifieke warmte*	440	440 J/kg/K
Warmtegeleidingscoëfficiënt	74	76 W/m/K
Uitzettingscoëfficiënt **	14,5 · 10 ⁻⁶	14,5 · 10 ⁻⁶ /°K
Spec. elektrische weerstand*	0,090	0,085 Ω·mm ² /m

*bij kamertemperatuur ** tussen 20 - 300 °C

Tabel 5 Mechanische eigenschappen van Alloy 200/201 bij kamertemperatuur

vorm	rekgrens 0,2% MPa	treksterkte MPa	rek min %
plaat ≤50 mm dik	80	340 - 540	40
staven ≤150 mm	80	340 - 540	40

De hardheid van nikkel 200 is HB 114 (richtwaarde)
De hardheid van nikkel 201 HB 95 (richtwaarde)

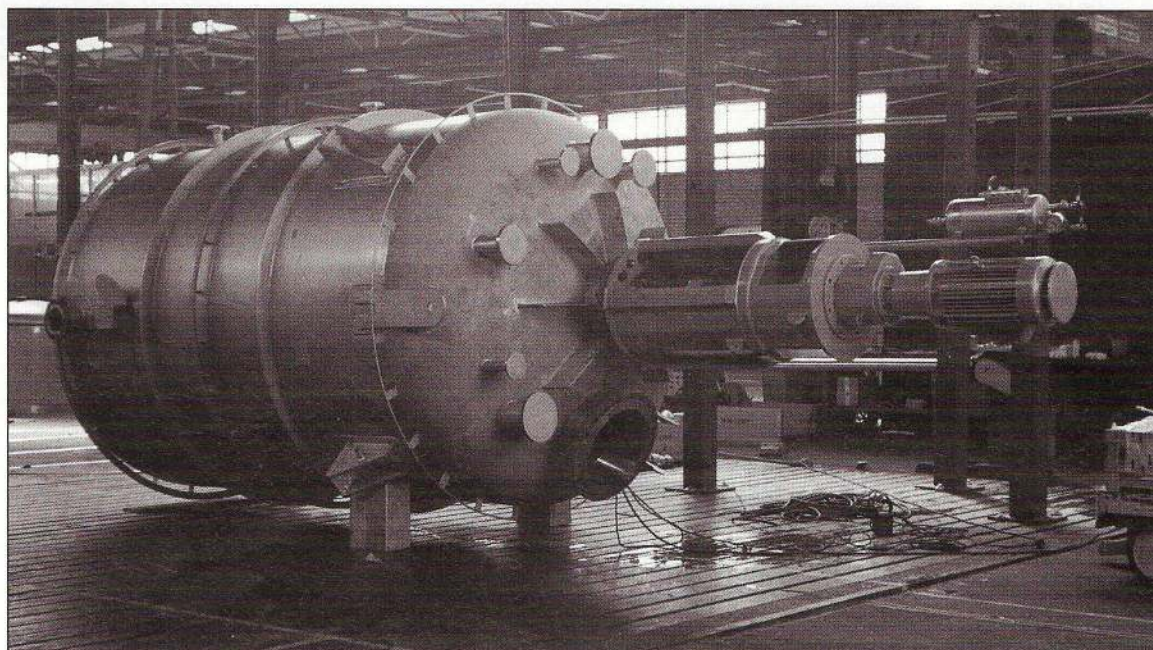
Tabel 6 Mechanische eigenschappen van Alloy 200/201 bij verhoogde temperatuur

vorm	vastheden MPa	temperatuur °C			
		100	200	300	400
plaat ≤ 50 mm dik	rekgrens 0,2%	70	65	60	55
staven ≤250 mm	rekgrens 0,2%	95	90	85	80
smeedstukken ≤ 150 mm dik	treksterkte	290	275	260	240

kend dat de 'honger' om koolstof dan weer op te willen nemen zeer groot is. Daarom moet men nikkellegeringen zo min mogelijk in contact brengen met koolstofhoudende bestanddelen, zoals vet (CH- verbindingen), bepaalde verfsoorten en potloodstrepen. Vooral bij (geringe) temperatuurverhogingen zal dit koolstof omwille van de oplosbaarheidsneiging in het nikkel diffunderen waar-

door het weer chroom kan onttrekken en/of ongewenste complexe carbiden kan vormen die lokale corrosie kunnen veroorzaken. **DMK**

Dit is het eerste artikel in een serie over nikkellegeringen. In een volgende aflevering behandelen we de legeringen 400, 600 en 601.



Voorbeeld van een toepassing van een nikkellegering. Het betreft hier een reactortank van de legering 600. Over dit materiaal geven we in een volgende aflevering van deze artikelserie meer informatie (Foto: FIB Leeuwarden)

Optimale keuze van nikkellegeringen (2)

Ing. N.W. Buijs

Van Leeuwen Stainless, Beesd

In deze tweede aflevering van de artikelserie over nikkellegeringen behandelen we de legeringen 400, 600 en 601. Het betreft hier nikkel-koperlegeringen en nikkel-chroom-ijzerlegeringen. De materialen zijn bijzonder interessant voor toepassingen in de off shore en de natte chemie.

De nikkellegering 400 is een nikkel-koperlegering die zowel goede mechanische eigenschappen bezit als een hoge bestendigheid heeft tegen elektrochemische belastingen. De mechanische eigenschappen blijven goed op peil bij verhoogde temperaturen en daarom wordt deze legering in de drukvatenbouw toegelaten tot een temperatuur van 425 °C. Alloy 400 biedt een hoge corrosieweerstand tegen reducerende verdunde zuren, organische zuren, logen en zoutoplossingen alsmede tegen droge industriële gasen zoals zuurstof, chloor, chloorwaterstof, zwaveldioxide en kooldioxide. Ook in stromend zeewater gedraagt deze legering zich uitstekend, zelfs op de overgang zeewater/lucht.

Een specifiek voordeel van de legering is de ongevoeligheid voor spanningscorrosie. De legering dient echter niet toegepast te worden in milieus waar oxiderend-werkende bestanddelen aanwezig zijn zoals ijzer- en koperionen, die veelal gedissocieerd vanuit hun zouten aanwezig kunnen zijn.

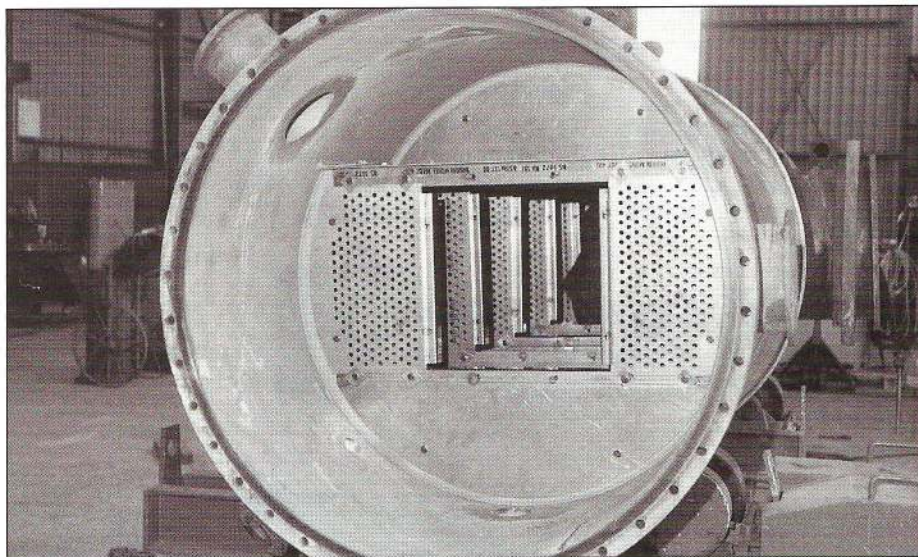
De legering staat o.a. bekend onder de naam 'Monel 400' hetgeen een gedeponeerd handelsmerk is van Inco Family of Companies.

Toepassing 400

Ten behoeve van de off shore worden regelmatig condensoren, leidingsystemen, plateringen en afsluiters toegepast van alloy 400. In de chemie vindt de legering vaak haar weg in de bereiding van allerlei chemicaliën, vooral in centrifuges voor de zoutbereiding. In de scheepvaart wordt de legering toegepast in afsluiters, brandweringsystemen, pompen en schroefassen. De energietechniek gebruikt de legering in leidingsystemen en warmtewisselaars. Ook wordt de laatste tijd dit metaal met succes toegepast in de milieutechniek ten behoeve van indampers en kristallisatoren van afvalwater. De chemische samenstelling en de diverse normeringen staan vermeld in tabellen bij dit artikel.

Verwerken 400

Alloy 400 is koud- en warmvervormbaar. Bij het smeden wordt een temperatuur aangehouden tussen 930 °C en 1160 °C, terwijl het warmbuigen geschiedt tussen een temperatuur van 1000 °C en 1180 °C. Na een koudeformatie die groter is dan 5% is span-



Inwendige revisie van een Monel 400 - kolom (Foto: Hoefnagel en Meyn)

Tabel 7. Samenstelling alloy 400 (in %)

	C	Si	Mn	S	Cu	Fe	Al	Ni
min.					27,8	0,95		62,55
max.	0,17	0,53	2,04	0,023	34,2	2,55	0,55	

Tabel 8. Aanduidingen alloy 400

DIN-afkorting	NiCu30Fe
Werkstoffnr.	2.4360
VdTUV-Werkst.-Bl.	263
UNS	N04400
DIN	17743, 17750, 17751, 17752, 17753, 17754
ASTM	B127, B163, B164, B165, B564
ASME	SB127, SB163, SB 164, SB 165, SB 564
SAE	AMS 4675, AMS 4544, AMS 7233
BS	3072/NA 13, 3073/NA 13, 3074/NA 13, 3075/NA 13

Tabel 9. Fysische eigenschappen alloy 400

Smelttraject	1300 - 1350 °C
Dichtheid (soortelijke massa) *	8,83 • 10 ³ kg/m ³
Elasticiteitsmodulus	188 GPa (richtwaarde)
Soortelijke warmte *	430 J/(kg•K)
Warmtegeleidingscoëfficiënt	21,5 W/(m•K)
Uitzettingscoëfficiënt 20 - 95 °C	13 • 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Soortelijke elektrische weerstand *	0,48 Ω•mm ² /m

* bij kamertemperatuur

Tabel 14. Fysische eigenschappen alloy 600

Smelttraject	1370 - 1425 °C
Dichtheid (soortelijke massa) *	$8,45 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
Elasticiteitsmodulus *	206 GPa (richtwaarde)
Soortelijke warmte *	460 J/(kg·K)
Warmtegeleidingscoëfficiënt	14,8 W/(m·K)
Uitzettingscoëfficiënt 20 - 100 °C	$13,3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Soortelijke elektrische weerstand *	1,03 $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$
* bij kamertemperatuur	

Tabel 15. Mechanische eigenschappen alloy 600 (bij kamertemperatuur)

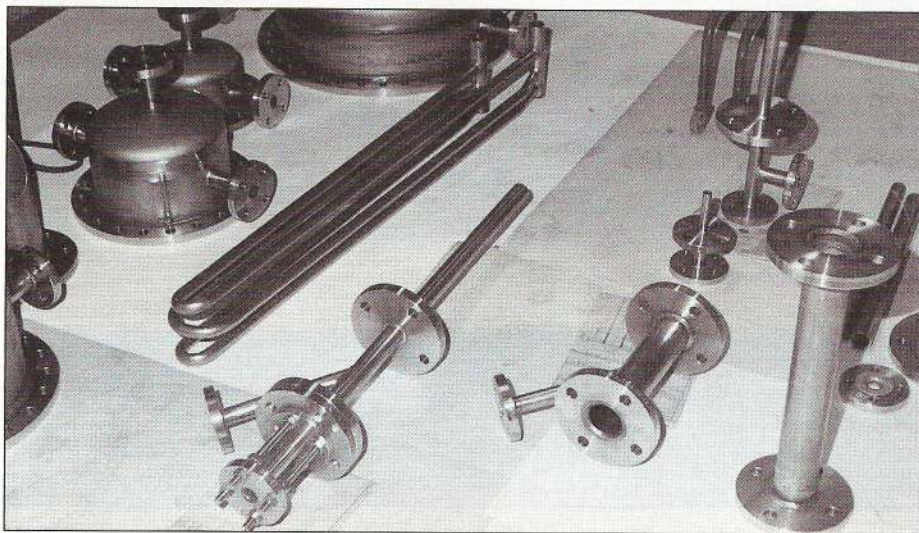
conditie	rekgrens [MPa]	treksterkte [MPa]	rek dp5 [%]
zacht gegloeid	200	550 - 750	30
oplossend gegloeid	180	500 - 700	35

Tabel 16. Mechanische eigenschappen alloy 600 (bij verhoogde temperatuur)

vastheden [MPa]	leveringstoestand	temperatuur [°C]				
		100	200	300	400	450
rekgrens 0,2%	zacht gegloeid	180	165	155	150	145
treksterkte	zacht gegloeid	520	500	485	480	475
rekgrens 0,2%	oplossend gegloeid	170	160	150	150	145
treksterkte	oplossend gegloeid	480	460	445	440	435

Tabel 17. Chemische samenstelling alloy 600 (in %)

	Al	B	C	Cr	Cu	Fe	Mn	Si	Ti	Ni+Co
min.	1,0									58
max.	1,7	0,006	0,1	25	0,5	18	1,0	0,5	0,5	63



Onderdelen van Pilot Plant, van het materiaal Inconel 600 (Foto: Hoefnagel en Meyn)

Tabel 18. Aanduidingen alloy 601

DIN-afkorting	NiCr23Fe
Werkstoffnr.	2.4851
VdTUV-Werkstoffblatt	----
UNS	N06601
DIN	17742, 17750, 17751, 17752, 17753, 17754
SAE	AMS 5715, AMS 5870

toren en warmtewisselaars voor de vervaardiging van vinylchloride. Voorts onderdelen ten behoeve van de natriumsulfidebereiding en verdampingsbuizen voor kernreactoren.

Verwerken 600

Alloy 600 is koud- en warmvervormbaar. De koudvervormbaarheid is te vergelijken met die van austenitische staalsoorten. Bij hoge koude-deformatiegraden dient men tussen te gloeien. Warmvervormen moet gebeuren indien de vervormingsgraad hoger is dan 5%, op een temperatuur van 1030 °C tot 1230 °C. Indien de vervormingsgraad kleiner is dan 5% en men kiest voor het warmvervormen, kan de temperatuur het beste gekozen worden tussen 900 °C en 1030 °C. Alle onderdelen moeten voor het verwarmen ontdaan worden van vet, olie en andere verontreinigingen. Vooral dient men ervoor te zorgen dat er geen zwavelopname kan plaatsvinden die ook vanuit aanhechtend vuil het materiaal wil binnendringen bij verhoogde temperatuur.

De ovenatmosfeer dient zwavelvrij, neutraal of licht reducerend te zijn. Bij de juiste bewerkingsparameters is de legering zeer goed te bewerken.

Warmtebehandeling 600

De volgende temperaturen moeten voor alloy 600 worden aangehouden:

- zachtgloeien: 920 °C tot 1000 °C;
 - oplossend gloeien: 1080 °C tot 1150 °C.
- Het afkoelen kan gebeuren in lucht, een inert gas of water.

Lassen 600

In principe kan voor alloy 600 zowel het TIG-, MIG- als het elektrodenlassen worden toegepast. De te lassen delen moeten zeer schoon en spanningsvrij zijn. Voorverwarmen wordt afgeraden. Voor het TIG- en MIG-lassen kan men het beste draad nemen met werkstoffnummer 2.4806 en als elektrode-werkstoffnummer 2.4620.

Legering 601

De nikkellegering 601 is een nikkel-chroom-ijzerlegering en bevat aluminium die ervoor zorgt dat er een dichte taai oxidehuid ontstaat. Dankzij deze oxidehuid wordt de legering zeer oxidatievast bij hoge temperaturen, waardoor er voldoende resistentie wordt geboden tegen hete agressieve oxiderende gassen. Mede door de relatief hoge mechanische sterkte bij hoge temperatuur is de legering toe te passen tot temperaturen van 1150 °C.

Nikkellegering 601 is zeer geschikt voor onderdelen van warmtebehandelingsovens, branders en dergelijke, katalysatorcomponenten in de uitlaat van benzinemotoren, katalysatorregeneratoren en luchtvoorverwarmers bij de fabricage van polyetheen, componenten voor dieselmotoren en onderdelen voor de aswinningsinstallaties.

Verwerken 601

De 601-legering is koud- en warmvervormbaar. De koudedeformatie is nagenoeg iden-

ningsarm- of zachtgloeien noodzakelijk. Ook na warmvormen is een zachtgloeibehandeling ten zeerste aan te bevelen. De ovenatmosfeer dient zwavelvrij en licht reducerend te zijn. Bij twijfel of de ovenatmosfeer zwavelvrij is, is het verstandig deze zwak oxiderend af te stellen.

Warmtebehandeling 400

De volgende temperaturen dienen aangehouden te worden:

- zachtgloeien: 800 °C tot 900 °C;
- spanningsarmgloeien: 500 °C tot 650 °C.

De tijdsduur is sterk afhankelijk van de wanddikte. Het afkoelen kan het beste in de lucht plaatsvinden.

Lassen 400

Aan te bevelen is voor het lassen het TIG- of MIG-lasproces te verkiezen boven het elektrodlassen, dat echter in principe wel mogelijk is. Vanwege de gevoeligheid op warm-scheurvorming dienen de te lassen onderdelen zeer schoon en ontvet te zijn. Voorverwarmen wordt afgeraden alsmede een warmtebehandeling na het lassen teneinde onnodige thermische belastingen te voorkomen. Als TIG- en MIG-lasdraad kan men het beste werkstoffnummer 2.4377 gebruiken en als elektrodemateriaal 2.4366.

Legering 600

Nikkellegering 600 betreft een niet-hardbare nikkel-chroom-ijzerlegering, die speciaal ontwikkeld is voor nat-chemische toepassingen en voor het gebruik bij hoge temperaturen.

De veelzijdigheid van deze legering heeft ertoe geleid dat de legering wordt gebruikt vanaf zeer lage temperaturen tot circa 1050 °C. Dankzij het chroom is de legering geschikt om oxiderende milieus te weerstaan en het nikkel zorgt ervoor dat reducerende omstandigheden ook zeer goed opgevangen worden. Mede door de goede mechanische eigenschappen, die bij hoge temperaturen goed op peil blijven, is de legering prima toe te passen in de ovenbouw. De legering is bijzonder goed te gebruiken in ammoniakhoudende gassen, die zelfs opkolend mogen zijn. Ook heeft de legering bewezen goed toepasbaar te zijn in de chemie, bijvoorbeeld bij de bereiding van natronloog en vetzuur. Bij temperaturen tot 550 °C kan de legering probleemloos gebruikt worden in droge gasen zoals chloorwaterstof of chloorgas. In beperkte mate wordt het metaal ook in kernreactoren alsmede in de elektrotechniek toegepast.

In de praktijk wordt de legering 600 ook wel Inconel 600 genoemd, hetgeen een gedeponeerd handelsmerk is van Inco Family of Companies.

Toepassing 600

De 600-legering wordt toegepast bij ammoniakbereiding, in gasopkolingsinstallaties, nitreerovens, apparaten ten behoeve van de productie van gechloreerde en gefluoreerde koolwaterstoffen, kraakbuizen ten behoeve van de productie van etheendichloride, reac-

Tabel 10. Mechanische eigenschappen van alloy 400 (bij kamertemperatuur)

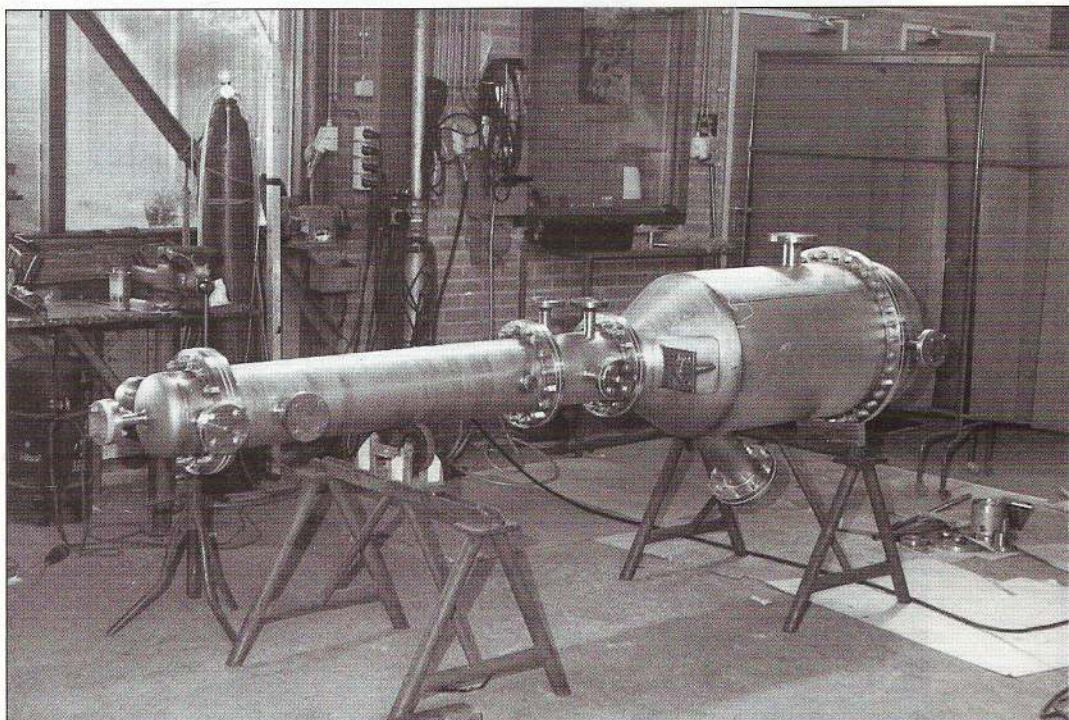
vorm	rekgrens min. 0,2% [MPa]	treksterkte [MPa]	rek dp5 [%]
plaat ≤50 mm dik*	175	450 - 600	30
buis ≤25 mm wanddikte*	400	580-780	18
plaat ≤50 mm dik**			
buis ≤25 mm wanddikte**			

* zachtgegluid

** spanningsarm gegleid

Tabel 11. Mechanische eigenschappen alloy 400 (bij verhoogde temperatuur)

vorm	vastheden [MPa]	temperatuur [°C]			
		100	200	300	400
plaat ≤50 mm buis ≤25 mm wand	rekgrens 0,2% treksterkte	150	135	130	130
		420	390	380	370



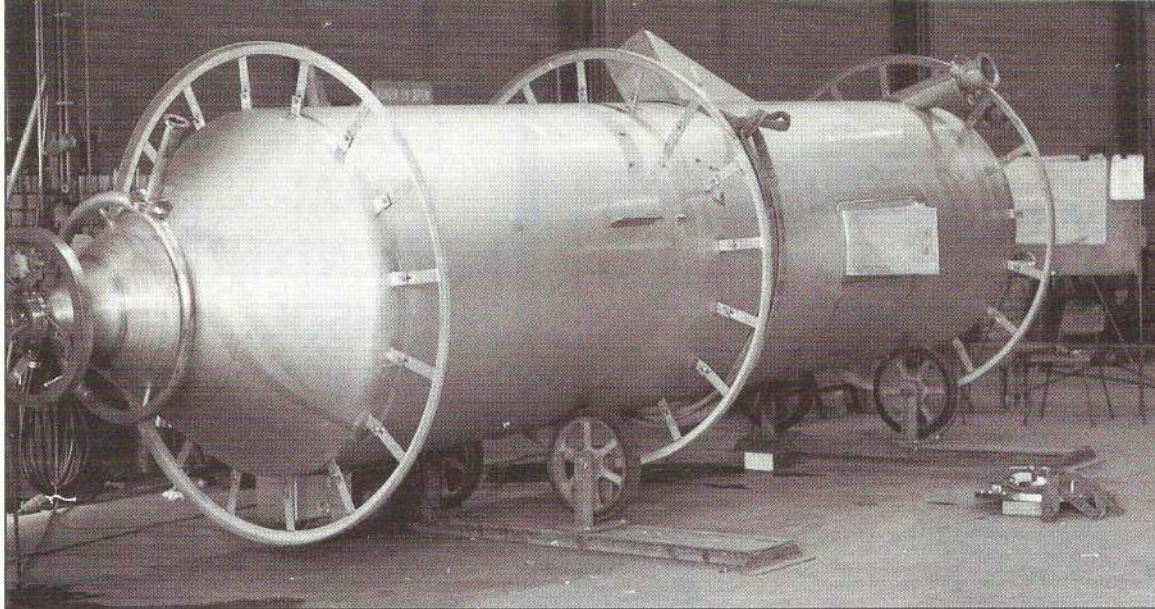
Inconel 600 - testreactor
(Foto: Hoefnagel en Meyn)

Tabel 12. Chemische samenstelling alloy 600 (in %)

	C	Cr	Cu	Fe	Mn	Si	P	S	Ni
min.		0,14		6,0					
max.	0,08	17,0	0,50	10,0	1,0	0,50	0,015	0,015	rest

Tabel 13. Aanduidingen alloy 600

DIN-afkorting	NiCr15Fe
Werkstoffnr.	2.4816
VdTUV-Werkst.-Bl.	305
UNS	N 06600
DIN	17742, 17750, 17751, 17752, 17753, 17754
BS	3072, 3073, 3074, 3075, 3076
ASTM	B163, B166, B167, B168, B564
ASME	SB163, SB166, SB167, SB168, SB564
SAE	AMS 5540, AMS 5580, AMS 5665



Inconel 600 H - vat,
ontworpen voor het
'kruipgebied' (Foto:
Oostendorp bv, Tiel)

Tabel 19. Fysische eigenschappen alloy 601

Smelttraject	1300 - 1370 °C
Dichtheid (soortelijk massa)	$8,1 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
Elasticiteitsmodulus *	206 GPa
Soortelijke warmte *	450 J/(kg·K)
Warmtegeleidingscoëfficiënt *	$16,3 \text{ W/(m·K)}$
Uitzettingscoëfficiënt 27-100 °C	$13,75 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Soortelijke elektrische weerstand *	$1,22 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
Curie temperatuur	190 °C

* bij kamertemperatuur

Tabel 20. Mechanische eigenschappen van alloy 601 (volgens DIN)

vorm	conditie	rekgrens [MPa]	treksterkte [MPa]	rek dp5 [%]	HB max.
plaat tot 20 mm dik staven tot 100 mm diameter	zacht	240	600	30	220
	gegloeid oplossend gegloeid	240	600	30	220

Tabel 21. Kruipvastheid alloy 601 (richtwaarden)

temperatuur	[C]	540	650	730	870	980	1100
$R^m/10000$	[MPa]	300	150	48	17	8,0	4,4
$R^m/100000$	[MPa]	220	120	34	10	4,8	2,6

Tabel 22. Warmtebehandeling van alloy 601

zachtgloeien	oplossend gloeien	afkoelen
920 - 1000 °C	1100 - 1190 °C	geforceerde lucht, inert gas of water; in het gebied 540 - 760 °C moet snel afgekoeld worden

Tabel 23. Aanbevolen lastoevoeg materiaal voor alloy 601

operationele temperatuur	beklede elektrode	TIG-staven	MIG-staven
tot 550 °C	EL-NiCr16FeMn (2.4620)	alloy 601	SG-NiCr20Nb (2.4806)
tot 980 °C		alloy 601	SG-NiCr20Nb (2.4806)
tot 1150 °C	EL-NiCr20Mo9Nb (2.4621)	alloy 601	SG-NiCr20Mo9Nb (2.4831)

tiel aan die van austenitische stalen, alhoewel men wel met de hoge trekvastheid rekening dient te houden. Bij hoge koudedeformatiegraden moet men tussengloeien. Het warmvervormen geschiedt bij een temperatuur van 1000 °C tot 1200 °C, tenzij de vervormingsgraad gering is want dan kan de temperatuur dalen naar 900 °C. Ook hier dient de legering zeer goed gereinigd te worden met betrekking tot allerlei vet en vuil, voordat het aan een warmtebehandeling wordt blootgesteld. De ovenatmosfeer moet zwavelvrij zijn en ingesteld worden op neutraal of licht reducerend. In ieder geval moet vermeden worden dat de ovenatmosfeer wisselt van reducerend naar oxiderend. De legering 601 kan op de gebruikelijk wijze verspanend bewerkt worden, met die kanttekening dat de oplossend gegloeide conditie zich het gemakkelijkst laat bewerken.

Lassen 601

Nikkellegering 601 kan zowel met het TIG- als het MIG-lasproces gelast worden, alsmede met het elektrodlassen. De te lassen onderdelen moeten in de oplossend gegloeide conditie gelast worden, nadat het oppervlak zeer goed gereinigd is.

In het algemeen is het af te raden het materiaal voor te verwarmen of na het lassen een warmtebehandeling te geven. Indien er meerdere laslagen worden opgebouwd dienen de tussenlagen met behulp van slijpen of een roestvast staalborstel grondig gereinigd te worden van oxiden. Een bekende naamsaanduiding is Inconel 601 hetgeen een gedeponeerd handelsmerk is van Inco Family of Companies. In een tabel bij dit artikel staat een aantal aanbevolen lastoevoegmaterialen voor alloy 601. **IMK**

Dit is het tweede artikel in een serie over nikkellegeringen. In het eerste artikel in M&K nr. 17 van 4 september jl. zijn het metaal nikkel en de ongelegeerde nikkelkwaliteiten 200 en 201 besproken. In het derde deel geven we meer informatie over de legeringen 625, 800H en 825.

Optimale keuze van hoogwaardige nikkellegeringen (3)

ING. N.W. BUIJS / VAN LEEUWEN STAINLESS - BEESD

In dit derde deel van de artikelreeks over hoogwaardige nikkellegeringen geven we informatie over de legeringen 625, 800H en 825. Dit zijn corrosiebestendige nikkel-chroom-molybdeen- en nikkel-ijzer-chroom-legeringen, bestand tegen agressieve zuren en rookgassen.

Nikkellegering 625 is in de oplosingsgegloeide conditie een éénfasige corrosiebestendige nikkel-chroom-molybdeenlegering met goede overige eigenschappen, zowel bij kamer- als bij hoge temperatuur. De

relatief hoge gehalten aan nikkel, chroom en molybdeen bewerkstelligen een hoge weerstand tegen spanningscorrosie in chloride-houdende milieus. Ook is de legering in laatstgenoemd milieu goed resistent tegen put- en spleetcorrosie. Vanwege de uitstekende warmvastheid en slijteigenschappen, gecombineerd met goede bestendigheid tegen oxydatie en opkoling, is de legering tot 1050 °C inzetbaar. Indien de operationele temperatuur boven de 600 °C komt, zal men altijd moeten kiezen voor de oplozend gegloeide kwaliteit. In het temperatuurgebied tus-

sen 650 °C en 850 °C neigt de legering tot verbrossing. De legering staat in de praktijk ook bekend als Inconel 625, hetgeen een gedeponerd handelsmerk is van Inco Families of Companies.

TOEPASSING 625

Alloy 625 leent zich voor toepassingen in zeewater, apparaten ten behoeve van de fabricage of verwerking van zwavel-, fosfor-, salpeter- en zoutzuur alsmede organische zuren en alkalische oplossingen. Voorts in systemen voor het reinigen van rookgassen en apparaten ten behoeve van de verwerking van aardgas en aardolie.

VERWERKEN 625

Nikkellegering 625 is koud- en warmvervormbaar. Bij koudedeformaties boven de 15% dient men zacht te gloeien tussen 930 °C tot 1040 °C, gevolgd door afschrikken in water. Dit is noodzakelijk om de optimale corrosiebestendigheid te verkrijgen. Warmvervormen geschiedt bij een temperatuur tussen 1010 °C en 1175 °C. Ook hier geldt dat elk werkstuk ontdaan dient te worden van allerlei vuil en vet voordat het verhit wordt. De ovenatmosfeer moet neutraal of licht oxyderend ingesteld worden, alsmede zwavelvrij zijn.

WARMTEBEHANDELEN 625

Hiertoe dienen de volgende temperaturen aangehouden te worden:

- spanningsarmgloeien 600 °C tot 810 °C;
- zachtgloeien 930 °C tot 1040 °C;

Tabel 24. Chemische samenstelling alloy 625 (in%)

	Al	C	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Nb/Ta	Si	Ti	Ni
min.	0,40	0,10	1,0	20,0	0,5	3,0	0,5	8,0	3,15	0,5	0,40	rest
max.				23,0				10,0	4,15			

Tabel 25. Aanduidingen alloy 625

DIN-afkorting	NiCr22Mo9Nb
Werkstoffnr.	2.4856
WdTUV Werkstoffblatt	is in voorbereiding
UNS	N06625
DIN	17744, 17750, 17751, 17752, 1736
ASTM	B443, B444, B446, B704, B705
ASME	SB443, SB444, SB446, SB704, SB705
BS	3072, 3074, 3076, NA21
SAE	AMS 5599, AMS 5666, AMS 5837

Tabel 26. Mechanische eigenschappen alloy 625 (bij verhoogde temperatuur; plaat, koud gewalst en zachtgegloeid)

mechanische waarden	temperatuur [°C]			
	100	200	300	400
rekgrens 0,2% [MPa]	400	380	360	340

Tabel 27. Fysische eigenschappen alloy 625

Smelttraject	1290 - 1350 °C
Dichtheid (soortelijke massa) *	8,44 • 10 ³ kg/m ³
Elasticiteitsmodulus * **	205 GPa
Afschuifmodulus * ***	80 GPa
Soortelijke warmte *	410 J/(kg•K)
Warmtegeleidingscoëfficiënt *	9,8 W/(m•K)
Uitzettingscoëfficiënt *	12,8 • 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Soortelijke elektrische weerstand *	1,3 Ω•mm ² /m

* bij kamertemperatuur
 ** in oplozend gegloeide conditie
 *** in zachtgegloeide conditie

Tabel 28. Mechanische eigenschappen alloy 625 (bij kamertemperatuur)

vorm	leveringsconditie	rekgrens 0,2% [MPa]	treksterkte [MPa]	rek dp5 [%]	HB max.
plaat tot 20 mm dikte	oplozend gegloeid	310	725	35	200
	zacht gegloeid	410	800	30	240*
buizen 0,5 - 5 mm wanddikte	oplozend gegloeid	275	690	35	200
	zacht gegloeid	375	750	30	240

* staven tot 200 mm dikte zijn altijd oplozend gegloeid

- oploosend gloeien 1090 °C tot 1200 °C.

Verhitten dient zo snel mogelijk te geschieden, afkoelen kan met water, geforceerde lucht of in een geforceerd inert gas.

LASSEN 625

De legering 625 kan zeer goed gelast worden met het TIG- of het MIG-lasproces, of met het elektrode-lassen indien het wordt gebruikt als opas-materiaal. De te lassen onderdelen moeten spanningsvrij, blank en schoon zijn. De thermische belasting dient tijdens het lassen zo gering mogelijk gehouden te worden. Voorver-warmen of een warmtebehandeling achteraf worden afgeraden. Als las-toevoegmateriaal worden aanbevo-len Werkstoffnummer 2.4831 als draad en opasband en Werkstoff-nummer 2.4621 voor elektroden.

LEGERING 800H

Alloy 800H is een austenitische nik-kel-ijzer-chroomlegering die uit mengkristallen opgebouwd is. Het is een legering die bijzonder hittevast is vanwege de gecontroleerde aan-wezigheid van elementen zoals kool-stof, aluminium, titaan, silicium en mangaan. Vooral de som van alumi-nium en titaan is van essentieel be-lang. De chemische samenstelling is identiek aan die van legering 800, maar de korrelgrootte van de oplos-send gegloeide conditie moet $\geq 90 \mu\text{m}$ /ASTM nr. 4 zijn, waardoor de standtijd boven de 600 °C aanzien-lijk toeneemt. Indien het materiaal onder de 600 °C wordt toegepast, wordt de legering 800 aanbevolen. Alloy 800H wordt gekarakteriseerd door goede kruipvastheideigenschap-pen bij temperaturen boven 600 °C. Teneinde een teruggang van de taai-heid te voorkomen tussen 600 °C en 700 °C is het noodzakelijk dat de som van het aluminium en titaangehalte maximaal 0,7% is. Voorts heeft de legering een goede bestendigheid in zowel oxyderende als reducerende omstandigheden en dat zelfs bij een wisseling van oxyde-rend naar een opkolend milieu. Ook heeft de legering een langdurige thermische stabiliteit bij hoge tem-peraturen. In de praktijk komt men ook vaak als naam Incoloy 800H te-gen, hetgeen een gedeponeerd han-delsmerk is van Inco Families of Com-panies.



■ De afmetingen van deze 'reheater' van Incoloy 800H heeft een diameter van 1840 mm, een wand-dikte van 24 mm en een totale lengte van 8600 mm (foto: AKF BV, Goes)

Tabel 29. Chemische analyse alloy 800H

	Ni	Cr	Fe	C	Mn	Si	Cu	Al	Ti	Al+Ti
min.	30,0	19,0	rest	0,06	0,5	0,2		0,20	0,20	
max.	32,0	22,0		0,08	1,0	0,6	0,5	0,40	0,50	0,7

TOEPASSING 800H

Toepassing van alloy 800H vindt vooral plaats bij onderdelen voor ovens, in verband met de goede weer-stand tegen oxydatie en opkoling, buizen ten behoeve van de bereiding van etheendichloride, vanwege de goede bestendigheid tegen droog chloorwaterstof en chloorgas. Ook voor componenten in kolenvergas-singsinstallaties zoals buissystemen en warmtewisselaars is deze legering geschikt. Het verwerken van alloy 800H komt in grote lijnen overeen met dat van austenitische roestvast stalen.

LEGERING 825

De nikkellegering 825 behoort tot groep van de corrosiebestendige nik-kel-ijzer-chroomlegeringen. Dit ma-teriaal is zowel tegen reducerende-als tegen oxyderende hete zuren be-stand, zoals bijvoorbeeld puur fos-forzuur in verschillende concentra-ties bij verschillende temperaturen. Ook biedt het materiaal een hoge cor-rosieweerstand tegen vochtig zwavel-dioxyde en tegen diverse mengsels van allerlei zuren, indien deze een aanzienlijk gehalte aan zwavelzuur bevatten. Vanwege het nikkelgehalte van circa 38% biedt de legering een

Tabel 30. Aanduidingen voor alloy 800H

DIN-afkorting	X5NiCrAlTi 31 20
Werkstoffnr.	1.4958
VdTUV Werkstoffblatt	X5NiCrAlTi 31 20
UNS	N08810
ASTM	B407, B163, B409, B564
BS	NA 15(H), 3074, 3072, 3076, 3073
ASME	SB407, SB163, SB409, SB564

Tabel 31. Fysische eigenschappen alloy 800H

Smelttraject	1350 - 1400 °C
Dichtheid (soortelijke massa)	$8,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
Elasticiteitsmodulus *	198 GPa
Soortelijke warmte *	455 J/(kg·K)
Warmtegeleidingscoëfficiënt *	11,6 W/(m·K)
Uitzettingscoëfficiënt * 20-100 °C	$14,4 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Soortelijke elektrische weerstand *	98 $\mu\Omega\text{cm}$

* bij kamertemperatuur

Tabel 32. Mechanische eigenschappen alloy 800H *

temperatuur [°C]	rekgrens 0,2% [MPa]	trekvastheid [MPa]	rek dp5 [%]
kamertemp.	170	500	35
100	140	425 **	
200	115	400 **	
300	95	390 **	
400	85	380 **	
500	80	360 **	
600	75	300 **	

* in de oploosend gegloeide conditie
** gemiddelde richtwaarden

hoge bestendigheid tegen spanningscorrosie in chloridehoudende media die roestvast staalsoorten absoluut niet kunnen weerstaan. Alloy 825 biedt goede mechanische eigenschappen en een relatief hoge taaiheid en laat zich nagenoeg hetzelfde verwerken als Cr-Ni-stalen. In de praktijk komt men ook vaak de naam Incoloy 825 tegen, een gedeponeerd handelsmerk van Inco Families of Companies

TOEPASSING 825

Alloy 825 wordt toegepast in de chemische industrie zoals bijvoorbeeld in de fosfor- en zwavelzuurbereiding,

voor onderdelen ten behoeve van beitsinrichtingen zoals pompdelen, roerwerken en filtersystemen. Andere toepassingen zijn apparaten voor de zoutbereiding zoals centrifuges, pijpleidingen, afsluiters en kleppen, opslagunits voor allerlei zuren en warmtewisselaars en produktieleidingen.

VERWERKEN 825

Alloy 825 is koud- en warmvervormbaar. Bij het warmvervormen wordt een aanbevelingstemperatuur gegeven van 900 °C tot 1200 °C. Teneinde een optimale corrosieweerstand te bereiken, gecombineerd met goede

mechanisch-technologische waarden, dient het smeden niet boven de 1080 °C plaats te vinden. Indien de vervormingsgraad boven de 15% uitkomt (zowel bij het koud- als bij het warmvervormen) is zachtgloeien ontbeerlijk. Het ovenmilieu dient zwavelvrij te zijn. Als men daar niet zeker van is, moet men oxyderend gloeien. Voorkom dat de ovenatmosfeer fluctueert tussen reducerend en oxyderend. De aanbevolen temperatuur voor het zachtgloeien is 920 °C tot 980 °C (de tijdsduur is wanddikte-afhankelijk). Afkoelen dient te geschieden met water of perslucht.

LASSEN 825

Zowel MIG- als het TIG-lassen is met de alloy 825 uitstekend toe te passen, alsmede het elektrodelassen. Vanwege de warmseurigevoeligheid dienen de te lassen onderdelen spanningsvrij en schoon te zijn en het liefst metallisch blank. Om een optimale corrosiebestendigheid te verkrijgen moet de thermische belasting van de werkstukken zo gering mogelijk gehouden te worden. Daarom is voorverwarmen of een warmtebehandeling achteraf af te raden. Als lastoevoegmateriaal kan men het beste Werkstoffnr. 2.4655 voor het draad gebruiken en 2.4653 voor het elektrodemateriaal.

In deze eerste drie afleveringen van de artikelserie over nikkellegeringen zijn nu de algemene corrosiebestendige nikkellegeringen behandeld. In de volgende afleveringen worden de zogenaamde superlegeringen op nikkelbasis besproken. Deze staan veelal bekend onder de naam 'Hastelloy', een gedeponeerd handelsmerk van Haynes International.

Dit is het derde deel in een serie over nikkellegeringen. In het eerste deel in Metaal & Kunststof 17, gepubliceerd 4 september jl., hebben we het metaal nikkel en de ongelegeerde nikkelkwaliteiten 200 en 201 besproken. Het tweede deel, handelend over de legeringen 400, 600 en 601 kunt u vinden in Metaal & Kunststof van 18 september jl. In de volgende twee delen geven we meer informatie over superlegeringen op nikkelbasis.

Hoofdgroepen

Superlegeringen op nikkelbasis worden in twee hoofdgroepen ingedeeld:

- de nikkel-chroom-molybdeenlegeringen, primair ontwikkeld voor oxyderende omstandigheden;
 - de nikkel-molybdeensoorten, primair ontwikkeld ten behoeve van reducerende milieus.
- Voor fluctuerende chemische belastingen zijn er kwaliteiten ontwikkeld die door toevoeging van het element wolfram zowel oxyderende als reducerende omstandigheden kunnen opvangen. In de volgende afleveringen gaan we nader in op het 'dicht-sealt'-en het 'self-healing'-effect tegen invloeden van buitenaf, veroorzaakt door het chroomdioxide van de taai oxydehuid.

Tabel 33. Chemische analyse alloy 825

	C	Si	Mn	Cu	Mo	Cr	Ti	Al	Ni	Fe
min.	0,03	0,55	1,05	1,4	2,4	19,3	0,55	0,25	37,8	rest
max.				3,1	3,6	23,7	1,25		46,2	

Tabel 34. Aanduidingen alloy 825

DIN-afkorting	NiCr21Mo
Werkstoffnr.	2.4858
VdTUV-Werkstoffblatt	432/1, 432/2, 432/3
UNS	N08825
DIN	17744, 17750, 17751, 17752, 17754
ASTM	B163, B423, B424, B425
ASME	SB163, SB423, SB424, SB425
BS	3072/NA15, 3073/NA16, 3074/NA16, 3075+/NA16, 3076/NA16

Tabel 35. Fysische eigenschappen alloy 825

Smelttraject	1370 - 1400 °C
Dichtheid (soortelijke massa) *	8,118 • 10 ³ kg/m ³
Elasticiteitsmodulus *	195 GPa
Soortelijke warmte *	500 J/(kg•K)
Warmtegeleidingscoëfficiënt *	11,0 W/(m•K)
Uitzettingscoëfficiënt 20 - 100 °C	14,0 • 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Soortelijke elektrische weerstand *	1,12 Ω•mm ² /m

* bij kamertemperatuur

Tabel 36. Mechanische eigenschappen alloy 825 (bij kamertemperatuur)

vorm	rekgrens 0,2% [MPa]	treksterkte [MPa]	rek dp5 [%]
plaat ≤20 mm dik	235	550 - 750	30
buis ≤8 mm wanddikte	220	550 - 750	35
smeedstukken ≤240 mm dikte			
De hardheid is in beide gevallen bij benadering HB = 190			

Tabel 37. Mechanische waarden alloy 825 (bij verhoogde temperatuur)

vorm	vastheden	temperatuur [°C]			
		100	200	300	400
plaat ≤20 mm dikte buis ≤8 mm wanddikte smeedstukken ≤20 mm wanddikte	rekgrens 0,2% [MPa]	205	180	170	160
	rekgrens 0,2% [MPa]	190	165	155	145

Optimale keuze van hoogwaardige nikkellegeringen (4)

ING. N.W. BUIJS / VAN LEEUWEN STAINLESS - BEESD

In dit vierde deel van de artikelserie over hoogwaardige nikkellegeringen komen de superlegeringen C22 en C276 aan de orde. Dit zijn nikkel-chroom-molybdeen-wolframlegeringen met een superbestedigheid tegen corrosie, zowel in oxyderende als in reducerende milieus.

De superlegeringen op nikkelbasis worden in twee hoofdgroepen ingedeeld, te weten de nikkel-chroom-molybdeenlegeringen, die primair ontwikkeld zijn voor oxyderende omstandigheden, en de nikkel-molybdeensoorten, die primair ontwikkeld zijn ten behoeve van reducerende milieus. Voor fluctuerende chemische belastingen zijn er kwaliteiten ontwikkeld die door toevoeging van het element wolfram zowel oxyderende als reducerende omstandigheden kunnen opvangen.

In principe kan men stellen dat de C-typen hun enorme passiviteit danken aan een taaie dichte oxydehuid van chroomdioxide, die het materiaal dicht-sealt tegen allerlei invloeden van buitenaf. Deze huid heeft ook het 'self-healing' effect, waardoor beschadigingen geen negatieve gevolgen behoeven te hebben indien er zuurstof aanwezig is om deze 'lekken' weer te dichtten.

SUPERLEGERING C22

De hoogwaardige nikkellegering C22 behoort tot de groep van de superbestedige nikkel-chroom-molybdeen-wolframlegeringen. De opmerkelijke corrosiebestendigheid blijkt zowel in oxyderende als in reducerende omstandigheden en dat zelfs bij verhoogde temperaturen. Deze legering biedt een hoge corrosieweerstand tegen natte agressieve media zoals bijvoorbeeld fosforzuur, salpeterzuur, chloorgas, zuurmengsels, zwavel-

zuur, en tegen oxyderende zuren met chloorionen. In aanwezigheid van sterke oxyderende bestanddelen zoals ijzer(ferro)- en koper(cupro)-ionen alsmede in chloor, mierzuur, azijnzuur, zeewater en andere zoutoplossingen, is deze legering bijzonder aan te bevelen. Een opmerkelijk kenmerk van deze legering is de enorme bestendigheid tegen spleet-, put- en spanningscorrosie bij lage en hoge temperaturen in zowel oxyderende als reducerende omstandigheden. Dankzij de thermische stabiliteit is het materiaal probleemloos te gebruiken zonder een warmtebehandeling toe te passen na het lassen of na een andere thermische belasting.

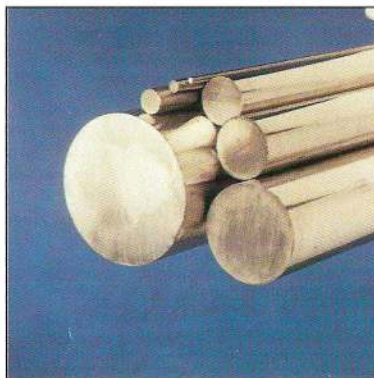
TOEPASSING C22

Toepassingen van alloy C22 zijn vooral te vinden in de milieutechniek, zoals bij roerwerken, warmtewisselaars, compressoren, linings, leidingwerk en sproeisystemen. Voorts gaswassers voor vuilverbranders en elektriciteitscentrales, alsmede allerlei kleppen en meetsondes. Ook indampers en kristallisatoren worden van dit materiaal gemaakt. Met name in de chemie vindt dit materiaal zijn weg. Men kan hierbij denken aan de bereiding van chloorgas en aan de chloorwaterstof- en chloorbleekloogbereiding. Toepassingen zijn onder andere afsluiters, pijpleidingen, meetsystemen en centrifuges.

VERWERKING C22

Nikkellegering C22 is zowel koud- als warmvervormbaar. De deformatietemperatuur bij het warmvormen ligt tussen 950 °C en 1230 °C. Men kan de gebruikelijke vervormingstechnieken gebruiken, teneinde het gewenste produkt te maken. Het materiaal neigt tot koudversterking en daarom moet men bij koudvervormingsgraden boven de 15% opnieuw oplossend gloeien. Ook bij warmvervormingsgraden boven 15% is oplossend gloeien ten zeerste aanbevolen. Oplossend gloeien vindt plaats bij 1105 °C tot 1135 °C en de tijdsduur is

■ Enige halffabrikaten van alloy C276: plaat-, staaf-, buis- en lasprodukten (foto's: Haynes Int./Merrem Andre de la Porte)



■ Onderdeel van een chemicaliënpomp, uitgevoerd in alloy C276 (foto: Red Point/Jim Moor)



Tabel 38. Chemische analyse alloy C22

	C	Si	Mn	Co	Cr	Fe	Mo	V	W	Ni
min.	0,01	0,08	0,5	2,5	20,0	2,0	12,5	0,35	2,5	rest
max.					22,5	6,0	14,5		3,5	

Tabel 39. Aanduidingen voor alloy C22

DIN-afkorting	NiCr21Mo14W
Werkstoffnr.	2.4602
VdTUV-Werkstoffblatt	479
UNS	N06022
ASTM	B574, B575, B619, B622, B626
ASME	SB574, SB575, SB619, SB622, SB626

Tabel 40. Fysische eigenschappen alloy C22

Smelttraject	1357 - 1399 °C
Dichtheid (soortelijke massa)	$8,69 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$
Elasticiteitsmodulus (richtwaarde)	206 GPa
Soortelijke warmte *	410 J/(kg·K)
Warmtegeleidingscoëfficiënt *	9,6 W/(m·K)
Uitzettingscoëfficiënt 20 - 100 °C	$12,4 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Soortelijke elektrische weerstand *	$1,14 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
* bij kamertemperatuur	

Tabel 41. Mechanische eigenschappen alloy C22 (bij kamertemperatuur)

vorm	rekgrens 0,2% [MPa]	trekvastheid [MPa]	rek dp5 [%]
plaat ≤ 50 mm dik staven ≤ Ø90 mm	310	690 - 950	45
De hardheid is 205 HB (richtwaarde)			

Tabel 42. Mechanische waarden alloy C22 (bij verhoogde temperatuur)

vorm	vastheden	temperatuur [°C]			
		100	200	300	400
plaat ≤ 50 mm dik staven ≤ Ø90 mm	rekgrens 0,2% [MPa]	270	225	195	175

afhankelijk van de wanddikte. Afkoe-len kan het beste geschieden in water of geforceerde lucht of in een inert gas.

LASSEN C22

Het TIG- en het MIG-lassen genieten bij het lassen van C22 meer de voorkeur dan het elektrodelassen, dat overigens ook mogelijk is. Het spreekt ook hier vanzelf dat het las-sen alleen mag plaatsvinden indien de werkstukken metallisch blank en schoon zijn. Teneinde een optimale corrosiebestendigheid te krijgen dient de thermische belasting zo gering mogelijk gehouden te worden en daarom is voorverwarmen of een warmtebehandeling na het lassen ten zeerste af te raden. Als lasmate-riaal kan men voor TIG- en MIG-draad Werkstoffnummer 2.4635 nemen en als elektrodemateriaal Werkstoff-nummer 2.4638.

SUPERLEGERING C276

Ook de legering C276 behoort tot de groep van de zeer corrosiebestendige nikkel-chroom-molybdeen-wolfram-legeringen, met specifieke eigen ken-merken. Evenals C22 munt de lege-ring uit in een uitzonderlijke besten-digheid tegen spleet-, put- en span-ningscorrosie in zowel oxyderende als in reducerende milieus. Het mate-riaal biedt een goede corrosiebesten-digheid tegen vele agressieve media en ook tegen sterk oxyderende mi-lieus zoals ferro- en cupro-chloride. Ook is de corrosieweerstand in hete zuren zeer goed te noemen; men kan

hierbij denken aan bijvoorbeeld zwavelzuur, salpeterzuur, fosforzuur, droog chloor, miere- en azijnzuur. Bovendien biedt de legering een goede bestendigheid tegen vochtig chloorgas, natriumhypochloride en chloordioxyde-oplossingen. Het nadeel van C276 ten opzichte van de kwaliteiten C22 en C4 is echter dat deze legering niet zo thermisch stabiel is, waardoor men met zeer zware thermische belastingen de 'neus' van de TTT-kromme (tijd/temperatuur/transformatie-curve) kan snijden. Hierdoor moet men weer oplossen gloeien teneinde de ongewenste chroomcarbiden en andere complexe carbiden kwijt te raken. Met de kwaliteiten C22 en C4 heeft men daar veel minder kans op. Het grote voordeel van de kwaliteit C276 is zijn goede ductiliteit en de opmerkelijke ongevoeligheid voor spleetcorrosie, waardoor het materiaal bijzonder geschikt is om er platenkoelers van te maken.

TOEPASSING C276

In de milieutechniek wordt C276 regelmatig toegepast in onderdelen voor vuilverbranders en rookgasreinigers. In de oliewinningsindustrie wordt het materiaal gebruikt, waar het in contact komt met zure gassen in de boorlokaties. Vooral in de chemie wordt dit materiaal veel toegepast, zoals bij warmtewisselaars, mengers, afsluiters, linings in pijpsystemen, vooral als men te doen heeft met de overgang van natte naar droge reagentia. Ook in de papierindustrie wordt het met succes toegepast, zoals in bleekinstallaties, sproeinnozzles en pijpsystemen.

VERWERKEN C276

Nikkellegering C276 is zowel koud- als warmvervormbaar. De warmvervormingstemperatuur ligt tussen 950 °C tot 1230 °C en de normaal gebruikte vervormingstechnieken kunnen hier toegepast worden. Ook deze legering neigt tot koudversteving, zodat een oplossend gloeiproces nodig is om het materiaal weer optimaal te maken als de vervormingsgraad zowel koud als heet hoger dan 15% is geweest.

Het oplossend gloeien dient te geschieden tussen 1080 °C tot 1135 °C, afhankelijk van de wanddikte. Het afkoelen kan het beste plaatsvinden in water, geforceerde lucht of in

een inert gas.

LASSEN C276

Het lassen van C276 is identiek aan het lassen van legering C22. Als lasdraadmateriaal wordt aanbevolen Werkstoffnummer 2.4886 en 2.4635 en voor de elektroden Werkstoffnummer 2.4887 en 2.4638.

Dit is het vierde deel in een artikelserie over nikkellegeringen. In eerdere delen zijn het metaal nikkel, de nikkelkwaliteiten 200 en 201 en de nikkellegeringen 400, 600, 601, 625, 800H en 825 besproken. In de vijfde aflevering geven we informatie over de legeringen C4, B2, G3 en K-500.

■ Filterunit van alloy C22 ten behoeve van een chemische fabriek (foto: Hoefnagel en Meijn)



Tabel 43. Chemische analyse alloy C276

	C	Si	Mn	Co	Cr	Fe	Mo	V	W	Ni
min.					14,5	4,0	15,0		3,0	rest
max.	0,01	0,08	1,0	2,5	16,5	7,0	17,0	0,35	4,5	

Tabel 44. Aanduidingen alloy C276

DIN-afkorting	NiMo16Cr15W
Werkstoffnr.	2.4819
VdTUV-Werkstoffblatt	400
UNS	N10276
DIN	17744, 17750, 17751, 17752
ASTM	B574, B575, B619, B622, B626
ASME	SB574, SB575, SB619, SB622, SB626

Tabel 45. Fysische eigenschappen alloy C276

Smelttraject	1323 - 1371 °C
Dichtheid (soortelijke massa) *	8,89 • 10 ³ kg/m ³
Elasticiteitsmodulus *	205 GPa
Soortelijke warmte *	427 J/(kg•K)
Warmtegeleidingscoëfficiënt *	9,2 W/(m•K)
Uitzettingscoëfficiënt 20 - 100 °C	11,2 • 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Soortelijke elektrische weerstand *	1,3 Ω • mm ² /m

* bij kamertemperatuur

Tabel 47. Mechanische eigenschappen alloy C276 (bij verhoogde temperatuur)

vorm	rekgrens 0,2% [MPa] als functie van de temperatuur			
temperatuur	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C
plaat ≤ 5 mm	280	240	220	195
staven ≤ Ø90mm plaat ≥ 5-20 mm	255	225	200	170

Tabel 46. Mechanische eigenschappen alloy C276 (bij kamertemperatuur)

vorm	rekgrens 0,2% [MPa]	trekvastheid [MPa]	rek dp5 [%]
plaat ≤ 5 mm dik, smeedstukken en staaf ≤ 90 mm dik	310	750 - 1000	30
plaat ≥ 5 tot 20 mm dikte	280	700 - 950	25
De hardheid is 185 HB (richtwaarde)			

Optimale keuze van hoogwaardige nikkellegeringen (5)

ING. N.W. BUIJS / VAN LEEUWEN STAINLESS - BEESD

In deze laatste aflevering van de artikelserie over hoogwaardige nikkellegeringen komen de bijzondere legeringen C4, B2, G3 en K-500 aan de orde. Tevens wordt ingegaan op het fenomeen spannings- en putcorrosie.

De hoogwaardige nikkellegering C4 behoort tot de nikkel-chroom-molybdeenlegeringen met een grote corrosiebestendigheid (ook bij hoge temperaturen). Hoewel deze legering primair is ontwikkeld om toegepast te worden in een oxiderend milieu, blijkt dat het materiaal zich ook uitstekend kan handhaven in vele reducerende reagentia. Voorbeelden zijn onder andere hete verontreinigde media zoals zwavelzuur, zoutzuur, droge chloor, mierzuur, azijnzuur, oplosmiddelen, chloor en chloorhoudende stoffen. De geringe neiging tot interkristallijne- en spannings- en

putcorrosie maakt de legering multifunctioneel in dergelijke milieus. Alloy C4 biedt vanwege zijn niet geëvenaarde grote thermische stabiliteit bijzondere voordelen, zoals het ongegloeid in gebruik nemen, en dat zelfs na zeer langdurige en hoge thermische belastingen zoals dat het geval kan zijn bij het lassen van dikte- tot zeer dikke plaat. Omdat deze legering destijds met behulp van de Duitse industrie is ontwikkeld, is deze legering hoofdzakelijk verkrijgbaar in Duitsland en Nederland.

TOEPASSING C4

In de milieutechniek wordt het materiaal gebruikt in apparaten waar afvalwater wordt behandeld, tevens in indampers en kristallisatoren. Ook constructiedelen in vuilverbrandingsinstallaties en rookgasontzwarelingsunits zoals buissystemen, kleppen, absorbeerdere, beluchtungs-pijpen, roerwerken en warmtewisselaars. In de chemie vindt het zijn weg als warmtewisselaars, pijpsystemen, armaturen, meetsondes en centrifuges. Ook onderdelen voor ontzuringinstallaties zoals tanks, buizen, warmtewisselaars, afsluiters en kleppen alsmede opslagunits voor allerlei

zuren worden van deze legering gemaakt.

VERWERKEN C4

Alloy C4 is koud- en warmvervormbaar. De warmvervormtemperatuur ligt tussen 900 °C en 1170 °C. De normaal gebruikte vervormingstechnieken kunnen probleemloos toegepast worden. Indien de koud- of warmvervormingsgraad groter dan 15% is, dient men oplossend te gloeien. Het oplossend gloeien dient plaats te vinden tussen 1050 °C en 1080 °C. De tijdsduur is sterk afhankelijk van de wanddikte. De afkoeling kan zowel in water als in geforceerde lucht geschieden.

Voor het lassen van alloy C4 wordt verwezen naar de opmerkingen bij nikkellegering C22. Voor lastoevoegmaterialen kan men als TIG- en MIGdraad het beste Werkstoffnummer 2.4611 of 2.4635 gebruiken en als elektrodemateriaal 2.4612 of 2.4638.

SUPERLEGERING B2

De nikkellegering B2, die tot de nikkel-molybdeen-groep behoort, is primair ontwikkeld ten behoeve van allerlei reducerende media zoals bij-

Tabel 48. Chemische analyse alloy C4

	C	Si	Mn	Co	Cr	Fe	Mo	Ti	Ni
min.	0,01	0,06	1,04	2,05	14,3	3,2	13,9	0,75	rest
max.					17,7		17,1		

Tabel 49. Aanduidingen alloy C4

DIN-afkorting	NiMo16Cr16Ti
Werkstoff-Nr.	2.4610
VdTUV-Werkstoffblatt	424
UNS	N06455
DIN	17744, 17750, 17751, 17752
ASTM	B366, B574, B575, B619, B622
	B626
ASME	SB366, SB574, SB575, SB619
	SB622, SB626

Tabel 50. Fysische eigenschappen alloy C4

Smelttraject	1335-1380 °C
Dichtheid (soortelijke massa) *	8,64 • 10 ³ kg/m ³
Elasticiteitsmodulus *	211 GPa
Soortelijke warmte *	410 J/(kg•K)
Warmtegeleidingscoëfficiënt *	10,1 W/(m•K)
Warmteuitzettingscoëfficiënt 20 - 100 °C	10,8 • 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Soortelijke elektrische weerstand *	1,25 Ω • mm ² /m

* bij kamertemperatuur

Tabel 51. Mechanische eigenschappen alloy C4 (bij kamertemperatuur)

vorm	rekgrens 0,2% [MPa]	treksterkte [MPa]	rek dp5 [%]
plaat ≤5 mm dikte	305	700 - 900	40
plaat ≥5 mm tot 20 mm dikte	300	700 - 900	40
staven ≤Ø 160 mm	280	700 - 900	40
smeedstukken ≤90 mm			
plaat ≥20 mm tot 65 mm dikte			
De hardheid is 190 HB (richtwaarde)			

Tabel 52. Mechanische waarden alloy C4 (bij verhoogde temperatuur)

vorm	vastheid [MPa]	temperatuur [°C]			
		100	200	300	400
plaat ≤5 mm dikte	rekgrens 0,2%	285	255	245	225
plaat ≥5 mm tot 20 mm dikte	rekgrens 0,2%	270	245	220	205
staven ≤Ø 160 mm	rekgrens 0,2%	260	235	215	205
smeedstuk ≤Ø 90 mm					
plaat ≥20 mm tot 65 mm dikte					

Tabel 53. Chemische analyse alloy B2

	Co	Cr	Mo	Fe	Si	Mn	C	Ni
min.			26,0					
max.	1,0	1,0	30,0	2,0	0,10	1,0	0,01	rest

Tabel 54. Aanduidingen alloy B2

DIN-afkorting	NiMo28
Werkstoffnr.	2.4617
VdTUV-Werkstoffblatt	436
UNS	N10665
DIN	17744, 17750, 17751, 17752, 17736
ASTM	B333, B335, B366, B619, B622, B626
ASME	SB333, SB335, SB366, SB619, SB622, SB626

Tabel 57. Mechanische waarden alloy B2 (bij verhoogde temperatuur)

vorm	vastheid [MPa]	temperatuur [°C]			
		100	200	300	400
plaat ≤65 mm	rekgrens 0,2%	315	285	270	255
staven/smeedstuk ≤90 mm	rekgrens 0,2%	300	275	255	240

voorbeeld zoutzuur, in een zeer groot temperatuurgebied. Alloy B2 toont ook in chloorwaterstof, zwavel-, azijn-, en fosforzuur voldoende weerstand tegen corrosie. De legering heeft een grote bestendigheid tegen put-, spleet- en spanningscorrosie en dat zelfs in chloridehoudende omstandigheden. Ook corrosievormen zoals het zogenaamde 'lasbederf', algemene aantasting en corrosie in de zogenaamde 'heat-affected' zone blijken bij het gebruik van deze legering nagenoeg niet voor te komen, in een zeer breed spreidingsgebied van toepassingen. Indien er oxiderend-werkende bestanddelen zoals ijzer- en koperzouten aanwezig zijn, dient deze legering niet gebruikt te worden. Ook kan men beter het materiaal niet toepassen in het temperatuurgebied tussen 538 °C en 816 °C, omdat de gevoeligheid op uitscheidingen dan groot is.

TOEPASSING B2

Alloy B2 wordt toegepast in apparatuur ten behoeve van de bereiding en verwerking van zout-, zwavel-, azijn- en fosforzuur, alsmede in apparaten voor de produktie van ethylbenzol, fenol uit isopropylbenzol en azijnzuuranhydride, en drukvaten voor de chloropreenvervaardiging.

VERWERKING B2

Alloy B2 is koud- en warmvervormbaar. Het materiaal is gevoelig voor koudversterking. Indien de koude-

deformatie groter is dan 15% dient men het materiaal oplossend te gloeien teneinde een optimale corrosieweerstand te behouden. Warmvervormen dient te geschieden bij een temperatuur tussen 900 °C en 1150 °C. Een aanvullende oplosgloeiproces met het daarna afschrikken in water is noodzakelijk. Alle te verwerken onderdelen dienen geheel vrij te zijn van olie, vet, koolstof en zwavelhoudende bestanddelen. De ovenatmosfeer moet neutraal of licht oxiderend afgesteld worden. Het oplossend gloeien geschiedt tussen 1050 °C en 1080 °C en dat gedurende 1 min tot 15 min, afhankelijk van de wanddikte. Het afschrikken kan het beste plaatsvinden in water of geforceerde lucht. Het snel opwarmen en afkoelen is een noodzaak.

LASSEN B2

Voor het lassen van alloy B2 verdient het TIG- en MIG-lasproces de voorkeur boven het elektrodelassen. De te lassen onderdelen moeten spanningsvrij en zeer schoon zijn. De thermische belasting tijdens het lassen moet zo gering mogelijk blijven om een optimale corrosiebestendigheid te verkrijgen. Daarom moet men het materiaal nooit voorverwarmen of een warmte-nabehandeling geven. Als lasdraadmateriaal kan men het beste Werkstoffnummer 2.4615 gebruiken en als elektrodemateriaal Werkstoffnummer 2.4616.

Tabel 55. Fysische eigenschappen alloy B2

Smelttraject	1330 - 1360 °C
Dichtheid (soortelijke massa) *	$9,22 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
Elasticiteitsmodulus *	217 GPa
Soortelijke warmte *	374 J/(kg · K)
Warmtegeleidingscoëfficiënt	11,1 W/(m · K)
Uitzettingscoëfficiënt *	$10,3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Soortelijke elektrische weerstand *	$1,37 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

* bij kamertemperatuur

Tabel 56. Mechanische eigenschappen alloy B2 (bij kamertemperatuur)

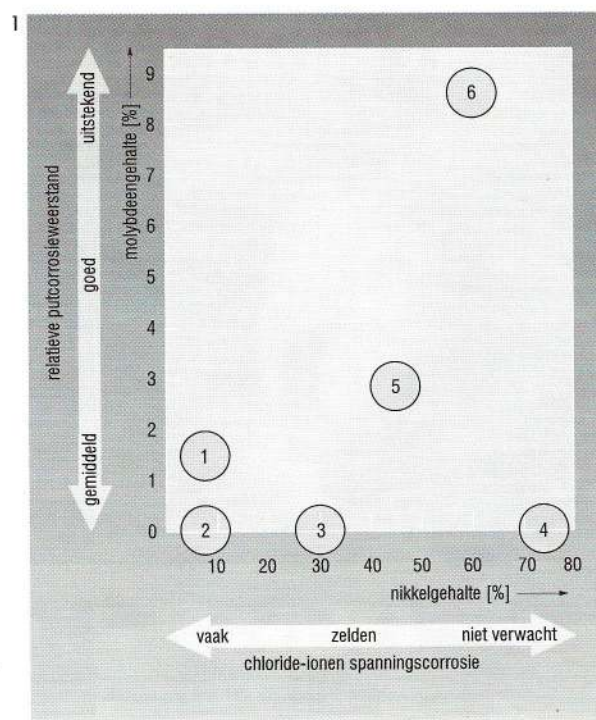
vorm	rekgrens 0,2% [MPa]	treksterkte [MPa]	rek dp5 [%]
plaat ≤65 mm	340	755 - 1000	40
staven/smeedstukken ≤90 mm	325	745 - 950	40

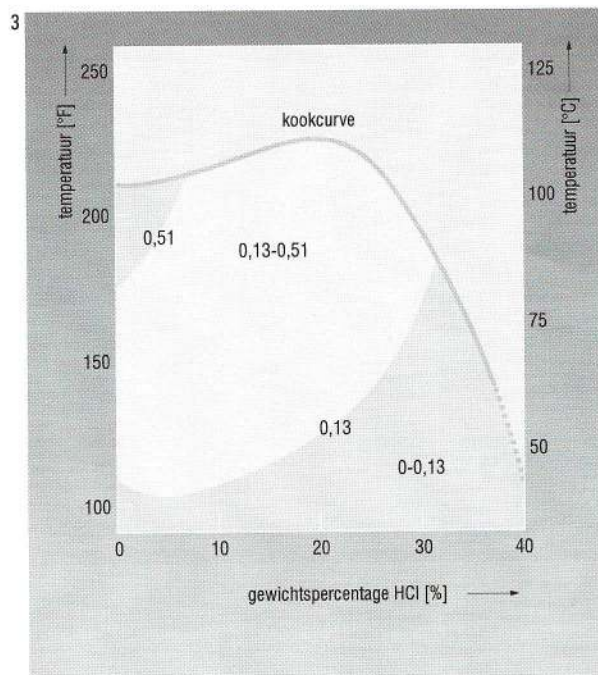
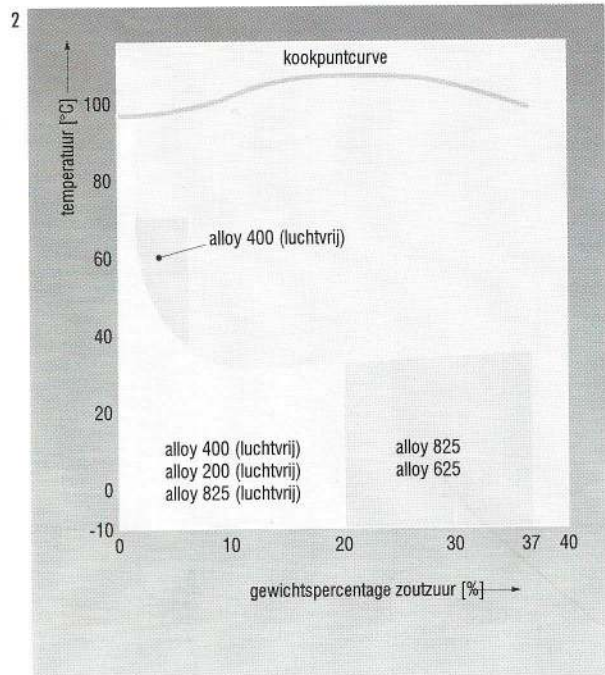
* oplossend gegloeide conditie; de hardheid is circa 210 HB

EQUIVALENTE SUPERLEGERINGEN

De beschreven supernikkellegeringen C22, C276, C4 en B2 zijn ontwikkeld door Haynes International en worden op de markt gebracht onder het door Haynes gedeponeerde handelsmerk 'Hastelloy'. De vele equivalenten die door andere fabrikanten zijn ontwikkeld, zijn door de jaren heen steeds verder verbeterd waardoor deze in kwaliteit zonder meer kunnen wedijveren met

- 1. Te verwachten spannings- en putcorrosie in relatie tot nikkel- en molybdeengehalte.
- 1: rvs 316
 - 2: rvs 304
 - 3: alloy 800
 - 4: alloy 600
 - 5: alloy 825
 - 6: alloy 625.
- (illustraties: Inco Alloys)

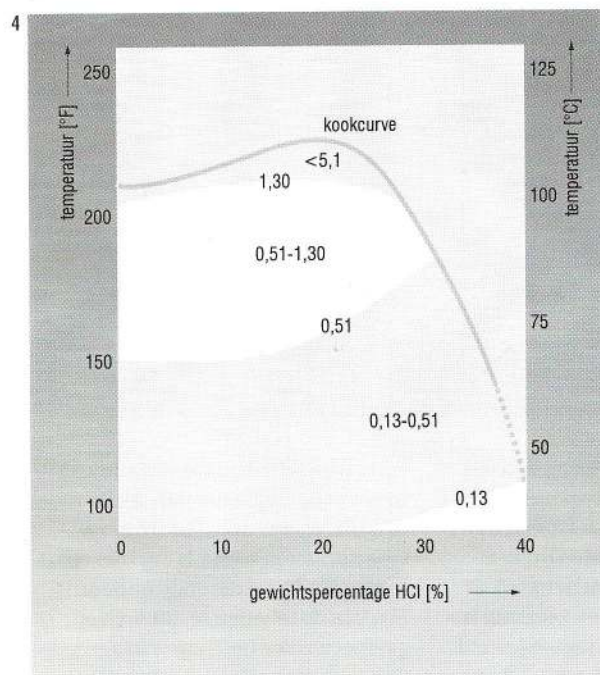




■ 2. Materiaalselectie van nikkellegeringen voor toepassing in zoutzuur

■ 3. Weerstand tegen corrosie van nikkellegering B2 in zoutzuur. De getallen geven de corrosiesnelheid aan in millimeters per jaar

■ 4. Weerstand tegen corrosie van nikkellegering B2 in zoutzuur met een toevoeging van 50 ppm ferri-ionen



Tabel 58. Putcorrosietest in zeewater *

legering	maximale putdiepte [mm]
alloy 625	0,0
alloy 825	0,025
roestvast staal 316	1,6
koolstofstaal	1,8

* na drie jaar stationaire belasting

Tabel 59. Spleetcorrosietest in zeewater * (bron: Inco Alloys)

legering	spleten gecorrodeerd [%]	gemiddelde diepte **[mm]	maximale diepte **[mm]
alloy 825	11	0,17	0,68
rvs 316	21	0,40	1,1
rvs 304	29	0,58	3,2 (geperforeerd)

* 75 dagen in stromend zeewater ** van de aantasting

die van het originele fabrikaat.

SPANNINGS- EN PUTCORROSIE

Afbeelding 1 geeft een indicatie wanneer men spanningscorrosie en/of putcorrosie kan verwachten, afhankelijk van het nikkel- en molybdeen-gehalte in diverse omstandigheden. De resultaten zijn een gevolg van testen die gedaan zijn door onderdompeling in zeewater, de ferrichloride-test zonder zuren, de 'Smith-test' en allerlei praktijkproeven. Niet alle legeringen zijn onderworpen geweest

aan alle proeven. Op de plaats waar een legering staat aangegeven kan men met een grote waarschijnlijkheid aannemen dat daar de bewuste corrosievorm begint op te treden. Teneinde een idee te krijgen over de weerstand tegen putcorrosie en spleetcorrosie is in enkele tabellen een aantal waarden vermeld die verstrekt zijn door Inco Alloys. Leveranciers verstrekken veelal zeer nuttige informatie over de prestaties van hun nikkellegeringen in allerlei chemische milieus. Een en ander wordt aan de hand van afbeelding 2

verduidelijkt. Deze grafiek, die afkomstig is van Inco Alloys, geeft aanwijzingen over de materiaalkeuze in zoutzuur. Zoutzuur is een reducerend zuur en bij verschillende concentraties en temperaturen voldoen steeds weer andere typen nikkellegeringen. Dergelijke grafieken zijn zeer goede 'gereedschappen' om na de uiteindelijke keuze die men heeft gedaan teleurstelling te voorkomen. Een ander soort grafiek is het zogenaamde isocorrosie-diagram dat in de praktijk een buitengewoon goed hulpmiddel blijkt te zijn om een goe-

Tabel 62. Chemische analyse van een aantal (overige) hittebestendige nikkellegeringen (in gewichtsprocenten)

	Ni	Cr	Co	Mo	W	Ta	Ch	Al	Ti	Fe	Mn	Si	C	B	Zr	
Astroloy	55	15,0	17,0	5,3	-	-	-	4,0	3,5	-	-	-	0,06	0,030	-	-
D-979	45	15,0	-	4,0	4,0	-	-	1,0	3,0	27,0	0,25	0,20	0,05	0,010	-	-
HASTELLOY alloy X	47	22,0	1,5	9,0	0,6	-	-	-	-	18,5	0,50	0,50	0,10	-	-	-
HASTELLOY alloy S	67	15,5	-	14,5	-	-	-	0,20	-	1,0	0,50	0,40	0,02m	0,009	-	-
INCONEL alloy 617	54	22,0	12,5	9,0	-	-	-	1,0	-	-	-	-	0,07	-	-	-
INCONEL alloy 690	60	30	-	-	-	-	-	-	-	9,5	-	-	0,03	-	-	-
INCONEL alloy 706	41,5	16,0	-	-	-	-	2,9	0,2	1,8	40	0,2	0,2	0,03	-	-	-
INCONEL alloy 718	52,5	19,0	-	3,0	-	-	5,1	0,5	0,9	18,5	0,2	0,2	0,04	-	-	-
INCONEL alloy X750	73	15,5	-	-	-	-	1,0	0,7	2,5	7,0	0,5	0,2	0,04	-	-	-
INCONEL alloy MA 754	78	20,0	-	-	-	-	-	0,3	0,5	-	-	-	0,05	-	-	0,6Y ₂ O ₃
IN-102	68	15,0	-	3,0	3,0	-	3,0	0,4	0,6	7,0	-	-	0,06	0,005	0,03	0,02Mg
IN-587	47	28,5	20,0	-	-	-	0,7	1,2	2,3	-	-	-	0,05	0,003	0,05	-
IN-597	48	24,5	20,0	1,5	-	-	1,0	1,5	3,0	-	-	-	0,05	0,012	0,05	0,02Mg
M-252	55	20,0	10,0	10,0	-	-	-	1,0	2,6	-	0,50	0,50	0,15	0,005	-	-
NIMONIC alloy 75	76	19,5	-	-	-	-	-	-	0,4	3,0	0,30	0,30	0,10	-	-	-
NIMONIC alloy 80A	76	19,5	-	-	-	-	-	1,4	2,4	-	0,30	0,30	0,06	0,003	0,06	-
NIMONIC alloy 81	67	30,0	-	-	-	-	-	0,9	1,8	-	0,30	0,30	0,03	0,003	0,06	-
NIMONIC alloy 90	59	19,5	16,5	-	-	-	-	1,45	2,45	-	0,30	0,30	0,07	0,003	0,06	-
NIMONIC alloy 105	53	15,0	20,0	5,0	-	-	-	4,7	1,2	-	0,30	0,30	0,13	0,005	0,10	-
NIMONIC alloy 115	60	14,3	13,2	3,3	-	-	-	4,9	3,7	-	-	-	0,15	0,160	0,04	-
NIMONIC alloy 263	51	20,0	20,0	5,9	-	-	-	0,45	2,15	-	0,40	0,25	0,06	0,001	0,02	-
NIMONIC alloy 942	49,5	12,5	-	6,0	-	-	-	0,6	3,7	3,7	0,20	0,30	0,03	0,010	-	-
NIMONIC alloy PE11	38	18,0	-	5,2	-	-	-	0,8	2,3	35	0,20	0,30	0,05	0,03	0,2	-
NIMONIC alloy PE16	43,5	16,5	-	3,2	-	-	-	1,2	1,2	34,4	-	-	0,05	0,003	0,04	-
NIMONIC alloy PK33	56	19,0	14,0	7,0	-	-	-	1,9	2,0	-	-	-	0,04	0,003	-	-
PYROMET 860	43	12,6	4,0	6,0	-	-	-	1,25	3,0	30,0	0,05	0,05	0,05	0,010	-	-
RENE 41	55	19,0	11,0	10,0	-	-	-	1,5	3,1	-	-	-	0,09	0,005	-	-
RENE 95	61	14,0	8,0	3,5	3,5	-	3,5	3,5	2,5	-	-	-	0,15	0,010	0,05	-
RGT 4	67	20,0	-	4,5	-	-	-	1,4	24	5,0m	-	-	0,06	0,004	-	-
RGT 13	49	20,0	18,0	4,5	-	-	-	1,5	25	50,m	-	-	0,06	0,004	-	-
TD Nickel	98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0ThO ₂
TD NiCr	78	20,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0ThO ₂
UDIMET 400	60	17,5	14,0	4,0	-	-	0,5	1,5	2,5	-	-	-	0,06	0,008	0,06	-
UDIMET 500	54	18,0	18,5	4,0	-	-	-	2,9	2,9	-	-	-	0,08	0,006	0,05	-
UDIMET 520	57	19,0	12,0	6,0	1,0	-	-	2,0	3,0	-	-	-	0,05	0,005	-	-
UDIMET 630	50	18,0	-	3,0	3,0	-	6,5	0,5	1,0	18,0	-	-	0,03	-	-	-
UDIMET 700	53	15,0	18,5	5,2	-	-	-	4,3	3,5	-	-	-	0,08	0,030	-	-
UDIMET 710	55	18,0	15,0	3,0	1,5	-	-	2,5	5,0	-	-	-	0,07	0,020	-	-
UNITEMP AF2-1DA	59	12,0	10,0	3,0	6,0	1,5	-	4,6	3,0	1,0m	-	-	0,35	0,014	0,10	-
WASPALOY	58	19,5	13,5	4,3	-	-	-	1,3	3,0	-	-	-	0,08	0,006	0,06	-

de verwachting te kunnen uitspreken over de prestaties van de diverse nikkellegeringen. Als voorbeeld in afbeelding 3 een dergelijk diagram van de prestaties die nikkellegering B2 levert in zoutzuur, als functie van de concentratie en temperatuur. Bij bijvoorbeeld 30% zoutzuur en een temperatuur van 75 °C zal de mogelijke

aantasting te verwaarlozen zijn (tot 0,13 mm per jaar), terwijl men bij geringere concentraties rekening moet houden met een bepaalde dikte-afname (0,13 tot 0,51 mm per jaar). Er zijn door de fabrikanten zeer vele iso-corrosie-diagrammen samengesteld. Zo blijkt in een andere grafiek hoe geringe toevoegingen van ijzerionen de

corrosiebestendigheid van alloy B2 negatief beïnvloeden (afb. 4). De reden hiervoor is dat alloy B2 in principe minder geschikt is om toegepast te worden in oxyderende milieus. Een van de tabellen bij dit artikel geeft een ruwe indicatie van agressieve chemische milieus waar bovengenoemde nikkellegeringen in principe goed toegepast kunnen worden. Een andere tabel geeft een indicatie van de bestendigheid die de verschillende typen nikkellegeringen hebben tegen verschillende corrosievormen.

SLOTWOORD

Over de behandelde nikkellegeringen is uiteraard nog veel meer mee te delen. In het kader van deze artikelserie hebben we ons beperkt tot de informatie zoals die verstrekt is. De opzet is geweest om met de aangeleverde informatie voldoende inzicht te verstrekken om het toepassen van

Tabel 60. Resistentie van nikkellegeringen (indicatie)

legeringstype	200	201	400	600	625	825	C22	C276	C4	B2
zwavelzuur					+++	+++	+++	+++	+++	++
fosforzuur					+++	++	+++	+++	+++	
zoutzuur					+++	+++	+++	+++	+++	+++
azijnzuur en mierzuur	+	+	+/++		+++	++	+++	+++	+++	+++
rookgasontzwaveling					+++	+++	+++	+++	++	
zeewater, brakwater en ontzilting			+++		+++	+++	+++	+++	++	
zuur gas					+++	++	+++	+++	+++	
natrium- en kaliumchloride (nat)	+++	+++	+++	+++	+++	+	+++	+++	+++	
celstof en papier					+++	+	+++	+++	+++	+++
natron en kaliumhydroxyde	+++	+++	++		+++	+++	++	++	++	
salpeterzuur					++/+++	++				
ureum					+					

+ = acceptabel ++ = goed +++ = uitstekend

Tabel 61. Weerstand nikkellegeringen tegen diverse corrosievormen

legeringstype	spleet-corrosie	put-corrosie	spannings-corrosie	interkristallijne corrosie
600			++	+
625	+++	+++	+++	+++
825		+	++	+
C22	+++	+++	+++	++
C276	+++	+++	+++	+
C4	+++	+++	+++	+++
B2			++	

+ = acceptabel ++ = goede bestendigheid
+++ = zeer hoge bestendigheid

Tabel 63. Chemische analyse Ni-alloy G3

	Cr	Fe	Mo	Cu	C	W	Mn	Si
min.	21,0	18,0	6,0	1,5				
max.	23,5	21,0	8,0	2,5	0,015	1,5	1,0	1,0

Tabel 64. Enige eigenschappen alloy G3

Treksterkte	690 MPa
Rekgrens 0,2%	320 MPa
Rek	50%
Dichtheid (soortelijke massa)	$8,14 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
Smelttraject	1260 - 1340 °C

nikkellegeringen op die plaatsen te overwegen, waar men tot nu toe met legeringen heeft gewerkt waarvan de prestaties duidelijk geringer waren. In de praktijk zijn er goede boeken en artikelen beschikbaar van onder meer het 'Nickel Development Institute' te Birmingham (UK). Ook fabrikanten zoals Haynes International (USA), VDM in Duitsland en Inco Alloys International (UK) beschikken over uitstekende brochures waarin zeer veel relevante technische informatie is opgenomen. Onder meer kan men er zeer bruikbare corrosiegrafieken aantreffen, waarin de corrosiebestendigheid van vele nikkellegeringen als functie van de temperatuur en concentratie van diverse reagentia staat afgebeeld. Ook zijn er uitgebreide corrosietabellen beschikbaar waarin de prestaties van de diverse nikkellegeringen worden weergegeven, en dat veelal in vergelijking met roestvast staal en soms ook met puur titaan.

In het begin van deze serie is al melding gemaakt van het feit dat er meer typen nikkellegeringen op de markt zijn. Het is vermeldingswaardig om enige van deze groepen te noemen. Naast diverse andere Inconel- en Incoloy-typen kennen we ook nog de 'Nimonic'- en 'Udimet'-kwaliteiten. Zonder in details te treden is het nuttig om hier de analyses te verstrekken van deze hittebestendige legeringen op nikkelbasis (zie betreffende tabel bij dit artikel).

Verder zou deze artikelserie niet compleet zijn, indien er geen aandacht besteed zou worden aan de nikkellegeringen G3 en K-500. De nikkellegering G3, ook wel bekend als Hastelloy G3, is een nikkel-chroom-ijzerlegering met toevoegingen van molybdeen en koper. Ook voor deze legering zijn hier tabellen

opgenomen.

Deze legering heeft een zeer goede bestendigheid tegen interkristallijne corrosie en dat ook in de gelaste conditie. Dankzij het lage koolstofgehalte kent de legering onder normale omstandigheden geen carbidevorming in het sensitieve gebied zoals direct naast de laszone. De legering wordt veelal toegepast in rookgascrubbers en voor de bereiding en handling van fosfor- en zwavelzuur. Het UNS en Werkstoffnummer is N06985 respectievelijk 2.4619. Een bekende modificatie van deze legering wordt op de markt gebracht onder alloy G30.

De nikkellegering alloy K-500, ook wel monel K-500 genoemd, is een kwaliteit die precipitatie-hardbaar is, waardoor bijzonder hoge mechanische eigenschappen haalbaar zijn. De corrosiebestendigheid is vergelijkbaar met die van alloy 400 waardoor de legering zeer geschikt is voor pompen, veren, bouten en moeren, schroefassen, instrumenten enz. In principe zijn alle produktvormen van K-500 verkrijgbaar, alhoewel het accent op staf en smeedstukken ligt. De legering heeft een lage permeabiliteit en is daardoor niet-magnetisch tot 100 °C. Ook van deze legering zijn de analyse en de mechanische en enige fysische waarden vermeld in tabellen. Het UNS en Werkstoffnummer van alloy K-500 is N05500 respectievelijk 2.4375.

Literatuur:

'Superlegeringen op nikkelbasis', door ing. N.W. Buijs; Metaal en Kunststof - 1988 nr. 16/17.
'Nikkellegeringen', door ing. N.W. Buijs; Roestvaststaal nr. 1-3, 1992.

De auteur is dank verschuldigd aan Robert Zapp en Inco Alloys International voor het verstrekken van technische informatie.

Tabel 65. Samenstelling alloy K-500 *)

	Cu	Al	Ti	Fe	C	Mn	Si	S
min.	27,0	2,3	0,35					
max.	33,0	3,15	0,85	2,8	0,25	1,5	0,5	0,01

*) het nikkelgehalte dient minimaal 63% te zijn

Tabel 66. Enige eigenschappen alloy K-500

Treksterkte	1100 MPa
Rekgrens 0,2%	790 MPa
Rek	20%
Dichtheid (soortelijke massa)	$8,44 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
Smelttraject	1315 - 1350 °C

*) de mechanische waarden zijn gebaseerd op de geprecipiteerde geharde conditie

Verantwoording

De handelsnamen die in de praktijk voorkomen en ook regelmatig in deze serie artikelen zijn vermeld, zijn als gedeponeerd handelsmerk eigendom van de volgende ondernemingen:

Hastelloy	- Haynes International;
Inconel	- Inco Families of Companies;
Incoloy	- Inco Families of Companies;
Nimonic	- Inco Families of Companies;
Udimet	- Special Metals Corporation;
René	- General Electric Company;
René 41	- Teledyne Alvac;
Unitemp	- Universal Cyclops Corporation;
Waspaloy	- United Technologies Corporation;
Nicrofer	- VDM Nickel Technology AG;
Nimofor	- VDM Nickel Technology AG;
Nicorros	- VDM Nickel Technology AG.

Dit is het vijfde en laatste deel in een artikelserie over hoogwaardige nikkellegeringen. In eerdere delen zijn het metaal nikkel, de nikkelkwaliteiten 200 en 201 en de nikkellegeringen 400, 600, 601, 625, 800H, 825, C22 en C276 besproken.