

## WETENSWAARDIGHEDEN OVER NIKKELLEGERINGEN VAN DE 600-SERIE

De belangstelling voor nikkellegeringen is in de laatste decennia behoorlijk toegenomen vanwege steeds maar toenemende milieu- en veiligheidseisen alsmede door de arbeidskosten t.b.v. onderhoud en reparatie die per tijdseenheid enorm zijn gestegen. De weerstand om hoogwaardige metalen toe te passen vanwege de relatief hoge aanschafprijs is echter de laatste tijd ook behoorlijk toegenomen. Desondanks is de verwachting dat dergelijke legeringen toch nog steeds aan terrein zullen winnen en wel met name in de chemische en petrochemische industrie. Ook andere marktsegmenten zoals de energiesector en de procesindustrie hebben het nut van deze hoogwaardige metaallegeringen ontdekt waardoor ook hier de nodige groei te verwachten is. Ook is het een feit dat allerlei hoogwaardige RVS-soorten het gebruik van nikkellegeringen weer aan het verdringen zijn. Men kan dan bijvoorbeeld denken aan duplex roestvast staal en hoog molybdeenhoudende RVS-soorten.

*N.W. Buijs metaalkundige*

*Van Leeuwen Stainless Beesd*

Nikkel en nikkellegeringen zijn van vitaal belang voor de moderne industrie vanwege hun vermogen om weerstand te bieden tegen een grote verscheidenheid van zware bedrijfsomstandigheden waaronder corrosieve milieus, hoge temperaturen, hoge mechanische spanningen en combinaties van deze factoren. Nikkel en nikkellegeringen worden vooral in de chemische apparatenbouw gebruikt wanneer hoge eisen aan de weerstand tegen corrosie en in sommige gevallen aan de hittebestendigheid worden gesteld. Het smeltpunt van nikkel ligt in de buurt van dat van staal namelijk 1456°C.

Binnen het legeren van nikkellegeringen kan worden beschikt over een breed scala aan fysische eigenschappen. De microstructuur met het kubisch vlakkegecentreerd rooster maakt dat er geen brosse overgangsfase ontstaat bij verlaging van de temperatuur. Nikkel behoudt een uitstekend sterktebehoud tot 70% van het smeltpunt.

De legeringen die een hoge weerstand tegen corrosie hebben zijn vooral de nikkel-koper, nikkel-molybdeen, nikkel-molybdeen-chroom en nikkel-molybdeen-chroom-koperlegeringen. Een hoge weerstand tegen oxidatie tot 1100°C van nikkel-chroomlegeringen wordt voornamelijk verkregen door toevoeging van zeldzame aardmetalen. Verder zijn al de legeringen tot cryogene temperaturen sterk en taai. Er kunnen ook legeringen worden vervaardigd met een zeer lage uitzettingscoëfficiënt en nagenoeg constante elasticiteitsmodulus. Er kunnen magnetische harde en zachte legeringen worden gemaakt.

Nikkellegeringen zijn relatief duur vanwege het dure basismetaal alsmede door de vaak relatief kostbare legeringselementen. Een goed voorbeeld hiervan is het element molybdeen. Alle nikkellegeringen vertonen een sterke neiging tot deformatieharding en zijn derhalve moeilijk te bewerken zonder tussentijds zachtgloeien. Om de legeringen in sterkte te doen toenemen door middel van uitscheidingsharding c.q. verouderingsharding zijn er warmtebehandelingen noodzakelijk.

Sulfiderende atmosferen tasten de legeringen vrij snel aan en dat vooral bij temperaturen in het gebied van 750-1000°C. Er moet silicium worden toegevoegd om de gietbaarheid van deze legeringen te verbeteren, hetgeen gepaard gaat met verlies aan vervormbaarheid. Silicium verlaagt namelijk de oppervlaktenspanning waardoor het vormvullend vermogen toeneemt. Het hoge sterkteniveau bij verhoogde temperaturen leidt tot moeilijkheden bij het warmvervormen. Derhalve moet er vaak gebruik worden gemaakt van gietstukken. De legeringen zijn zeer gevoelig voor verontreinigingen, alsmede de mate van deformatieharding, die beiden gepaard gaan met verlies aan ductiliteit. Dit is slechts gedeeltelijk te herstellen door middel van een warmtebehandeling.

Nikkellegeringen worden ook in de pulp- en papierindustrie gebruikt waar de omstandigheden het meest corrosief zijn. Vooral de nikkellegeringen 600 en 800 worden al meer dan 30 jaar gebruikt voor het leidingwerk in de afkookselverhitter omdat het hoge nikkelgehalte een uitstekende weerstand verschaft tegen chloriden geïnduceerde spanningscorrosie. Bij het lozen van organisch afval in niet verdampt afkooksel wordt met succes gebruik gemaakt van nikkellegering 600 en dat met name voor het reactorvat en de transportleidingen.

### Het lassen van nikkellegeringen

Hoewel nagenoeg alle nikkellegeringen goed lasbaar zijn, blijken er toch een tweetal mogelijkheden tot lasfouten te zijn t.w.:

- De geringste aanwezigheid van zwavel kan aanleiding zijn tot het optreden van warmscheuren. Het warmscheuren wordt bevorderd door de aanwezigheid van silicium vooral bij nikkel-koper en nikkel-chroom legeringen.
- Poreusheid, dat veroorzaakt wordt door zuurstof, stikstof en vooral waterstof. Het kan echter worden voorkomen door het goed reinigen van het werkstuk en een juiste gasbescherming.

Bij het lassen van nikkel en zijn legeringen moet de openingshoek van V-naden groter worden gekozen dan bij het lassen van staal want het smeltbad is nogal viskeus. Nikkel en

nikkellegeringen worden meestal TIG-gelast met gelijkstroom waarbij de elektrode negatief is. Er moet dus voor een zeer goede gasbescherming gezorgd worden. Het gas moet zuiver en droog zijn. Indien mogelijk wordt er met een backinggas gewerkt. Eventueel lastoevoegmateriaal heeft in de regel weer dezelfde samenstelling als het werkstuk. Als lastoevoegmateriaal zijn er zowel elektroden als draad verkrijgbaar.

Er zijn diverse nikkellegeringen en onderstaand wordt alleen de 600-serie behandeld:

- **Nikkellegering 600**  
(Werkstoffnummer 2.4816 - UNS N06600)

Nikkellegering 600 is een niet hardbare nikkel-chroom-ijzerlegering die speciaal ontwikkeld is voor nat-chemische toepassingen en voor het gebruik bij hoge temperaturen. De globale samenstelling is 14-17% chroom, 6-10% ijzer en de rest nikkel. 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 in oxiderende milieus te gebruiken terwijl het nikkel ervoor zorgt dat het metaal ook prima presteert in reducerende omstandigheden. Mede door de goede mechanische eigenschappen, die ook bij hoge temperaturen goed op peil blijven, is de legering prima toe te passen in de ovenbouw. De legering is ook bijzonder goed te gebruiken in ammoniakhoudende gassen die zelfs opkollend mogen zijn. Ook heeft de legering bewezen goed toepasbaar te zijn in de chemie zoals bij de bereiding van o.m. natronloog en vetzuur. Bij temperaturen tot 550°C kan de legering probleemloos gebruikt worden in droge gassen zoals chloorwaterstof of chloorgas. In beperkte mate wordt deze legering ook in de elektrotechniek toegepast. Voor toepassingen van alloy 600 kan men voorts o.m. denken aan de ammoniakbereiding, gasopkollinginstallaties, nitreerovens, apparaten t.b.v. de productie van gechlloreerde en gefluoreerde koolwaterstoffen, kraakbuizen t.b.v. de productie van ethyleendichloride en reactoren en warmtewisselaars voor de vervaardiging van vinylchloride. Voorts onderdelen t.b.v. de bereiding van natriumsulfide en verdampingsbuizen t.b.v. kernreactoren.

Nikkellegering 600 is zowel koud- als warmvervormbaar. De koudvervormbaarheid is te vergelijken met die van austenitische staalsoorten. Bij hoge koude deformatiegraden dient men wel tussen te gloeien. Warmvervormen moet gebeuren indien de vervormingsgraad hoger is dan 5% op een temperatuur van 1030-1230°C. Indien de vervormingsgraad kleiner is dan 5% en men kiest voor het warmvervormen dan kan de temperatuur het beste gekozen worden tussen 900 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 binnen wil dringen bij verhoogde temperatuur. De ovenatmosfeer dient zwavelvrij,

neutraal of licht reducerend te zijn. Bij de juiste bewerkingsparameters is de legering zeer goed te bewerken.

Wat het lassen betreft kan zowel het TIG- en MIG-lasproces als het elektrodenlassen worden gebruikt. De te lassen delen moeten zeer schoon en spanningsvrij zijn terwijl voorverwarmen wordt afgeraden. Voor het TIG- en MIG-lassen kan men het beste lasdraad nemen met Werkstoffnummer 2.4806 en als elektrode Werkstoffnummer 2.4620.

Tijdens de warmtebehandeling van alloy 600 dient men de volgende temperaturen aan te houden:

- zachtgloeien 920-1000°C;
- oplossend gloeien 1080-1150°C.

Het afkoelen kan gebeuren in lucht, een inert gas of in water. Ook is er een laag koolstofhoudende versie beschikbaar namelijk nikkellegering 600L (2.4817). Het lage koolstofgehalte zorgt ervoor dat de weerstand tegen spanningscorrosie verder toeneemt. De toepassingsgebieden van 600L zijn vrijwel identiek aan die van nikkellegering 600.

- **Nikkellegering 601**  
(Werkstoffnummer 2.4851 UNS N060601)

Deze hittebestendige nikkellegering is zeer oxidatie- en carburisatievast tot een temperatuur van maar liefst 1150°C. Het nikkelgehalte dient te variëren tussen de 58 en 63% terwijl het chroomgehalte ligt tussen 21 en 25%. Deze nikkel-chroom-ijzerlegering bevat ook aluminium (1-1,7%) dat ervoor zorgt dat er een dichte taaie 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 relatieve hoge mechanische sterkte bij hoge temperatuur is de legering dus toe te passen tot temperaturen van 1150°C.

Nikkellegering 601 is zeer geschikt om toegepast te worden als onderdelen voor warmtebehandelingsovens, branders en als katalysatorcomponenten in de uitlaat van benzinemotoren. Ook wordt het met succes gebruikt in katalysatorgeneratoren en luchtvoorverwarmers bij de fabricage van polyethyleen alsmede componenten voor dieselmotoren en onderdelen voor gaswinninginstallaties.

Nikkellegering 601 is koud- en warmvervormbaar. De koudedeformatie is nagenoeg identiek aan die van austenitische stalen hoewel men wel met de hoge trekvastheid rekening dient te houden. Bij hoge koudedeformatiegraden moet men tussengloeien. Het warmvervormen geschiedt bij een temperatuur van 1000-1200°C tenzij de vervormingsgraad gering is want dan kan deze temperatuur dalen naar 900°C. Ook hier dient de legering zeer goed gereinigd te worden van 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 kan op de gebruikelijk wijze verspanend bewerkt worden met die kanttekening dat de oplossend gegloeide conditie zich het gemakkelijkst laat bewerken.

Deze legering kan zowel met het TIG- of MIG-lasproces gelast worden alsmede met laselektroden. 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 gelegd, dienen de tussenlagen m.b.v. slijpen of een RVS-borstel grondig gereinigd te worden van oxiden. Zachtgloeien en oplossend gloeien gebeurt bij temperaturen van respectievelijk 920-1000°C en 1100-1190°C. Het afkoelen daarna vindt plaats in geforceerde lucht, inert gas of in water. In het gebied 540-760°C moet het echter snel afgekoeld worden.

- **Nikkellegering 617**  
(Werkstoffnummer 2.4663 UNS N06617)

Dit betreft een nikkellegering met een zeer hoge hittebestendigheid dankzij de aanwezigheid van kobalt (10-14%) en aluminium (0,8-1,5%). Voorts is er 22-24% chroom en 8-10% molybdeen aanwezig. Toepassingen vindt men voornamelijk in gasturbines en in de bereiding van o.a. salpeterzuur.

- **Nikkellegering 622 (ERNiCrMo-10)**

Dit betreft een lastoevoegmateriaal die zowel bij het TIG- als bij het MIG-lassen wordt gebruikt. De nominale chemische samenstelling is 56% nikkel, 22% chroom, 13% molybdeen, 4% ijzer en 3% wolfram. De legering kan bijvoorbeeld gebruikt worden om verschillende soorten nikkellegeringen aan elkaar te lassen maar ook om nikkel aan ijzerlegeringen te verbinden. Ook voor het oplassen van koolstofstaal wordt deze legering met succes toegepast. Een equivalente aanduiding is nikkel alloy 122.

- **Nikkellegering 625**  
(Werkstoffnummer 2.4856 UNS N06625)

Nikkellegering 625 is in de oplossingsgegloeide conditie een eenfasige corrosiebestendige nikkel-chroom-molybdeenlegering met goede overige eigenschappen zowel bij kamertemperatuur als bij hoge temperatuur. In Amerika wordt deze nikkellegering geschaard onder de zogenaamde 'high performance alloys'. De samenstelling is 20-13% chroom, 8-10% molybdeen, 3,15-4,15% niobium, maximaal 3% ijzer en de rest nikkel. Het relatief hoge gehalte aan nikkel, chroom en molybdeen bewerken een hoge weerstand tegen spanningscorrosie in chloridenhoudende milieus. Ook is de legering in laatstgenoemde milieu goed resistent tegen put- en spleetcorrosie. Vanwege de uitstekende warmvastheid en slijteigenschappen gecombineerd met goede bestendigheid tegen oxidatie 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 oplossend gegloeide kwaliteit. In het temperatuurgebied tussen 650 - 850°C neigt de legering tot verbrossing. Toepassingen vindt men in het gebruik bij zeewater, apparaten t.b.v. de fabricage of verwerking van zwavel-

zuur, fosforzuur, salpeterzuur en zoutzuur alsmede organische zuren en alkalische oplossingen. Voorts rookgasreinigingssystemen en apparaten t.b.v. de verwerking van aardgas en aardolie.

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

- Spanningsarmgloeien: 600-810°C
- Zachtgloeien: 930-1040°C
- Oplossend gloeien: 1090-1200°C
- Verhitten: zo snel mogelijk
- Afkoelen: in water, geforceerde lucht of in een geforceerd inert gas.

De nikkellegering 625 kan zeer goed gelast worden met het TIG- of MIG-lasproces en met het elektrodelassen indien het wordt gebruikt als oplasmateriaal. De te lassen onderdelen moeten spanningsvrij, blank en schoon zijn. De thermische belasting dient tijdens het lassen zo gering mogelijk gehouden te worden. Voorverwarmen of een warmtebehandeling achteraf worden aangeraden. Als lastoevoegmateriaal worden aanbevolen Werkstoffnummer 2.4831 als draad en oplasband en Werkstoffnummer 2.4621 voor elektroden.

- **Nikkellegering 686**  
(E/ER NiCrMo-14 UNS N06686)

Deze legering wordt eigenlijk alleen gebruikt als lasmateriaal en ook wel t.b.v. het oplassen van cladplaten. De nominale chemische samenstelling is 57% nikkel, 21% chroom, 16% molybdeen en 4% wolfram. Het is verkrijgbaar als beklede elektroden maar ook als lasdraad t.b.v. het TIG- en MIG-lasproces evenals lasband voor het onderpoederdek lassen. De legering is geschikt om te gebruiken in zowel reducerende als in oxiderende omstandigheden en het biedt een hoge weerstand tegen spleet- en putcorrosie.

- **Nikkellegering 690**  
(Werkstoffnummer 2.4642 UNS N06690)

Vanwege het hoge chroomgehalte (27-31%) bezit deze nikkellegering een goede corrosiebestendigheid tegen allerlei corrosieve en oxiderende chemicaliën en dat in het bijzonder indien de reagentia zijn verontreinigd met fluoriden. Het nikkelgehalte dient minimaal 58% te zijn en het ijzergehalte ligt tussen 7-11%. Toepassingen vindt men o.a. in de nucleaire industrie maar ook in de chemische industrie en met name waar oxiderende zuren (zoals salpeterzuur) en zouten in het geding zijn. Ook heeft de legering een hoge mechanische sterkte en beschikt het over goede bewerkingskarakteristieken. Bovendien gedraagt de legering zich bijzonder stabiel bij hoge temperaturen. ◀