



DOOR: KO BUIJS (INNOMET)

# Nikkel zeer goed corrosiebestendigheid

De belangstelling voor het metaal nikkel is de afgelopen decennia steeds verder toegenomen.

De reden hiervoor is dat de industrie meer behoefte heeft gekregen aan metalen die een langere technische levensduur hebben, onderhoudsvriendelijker en meer bedrijfszeker zijn.

Het gebruik van een hoogwaardig metaal als nikkel, en legeringen hiervan, wordt ook gestimuleerd door de 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 desondanks behoorlijk afgenomen. De verwachting is dan ook dat dergelijke metalen en legeringen steeds nog aan 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 de nodige groei te verwachten is.

## Nikkel

Nikkel wordt als erts op vele plaatsen in de aardbodem gevonden doch het is slechts op een beperkt aantal vindplaatsen rendabel om dit erts te delven zoals bijvoorbeeld in Canada, Noorwegen en Nieuw Caledonië. Goede ertsen bevatten slechts 1,2-5% nikkel. Een veel voorkomende ertsamenstelling bevat circa 40% SiO<sub>2</sub>, 20% MgO, 15% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 10% H<sub>2</sub>O, 10% NiO, 1% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,7% MnO<sub>2</sub>, 0,2% CoO en 0,1% CaO.



Het verwerken van nikkel tot legeringen bij ThyssenKrupp. Nikkel wordt veel als legeringselement gebruikt in voornamelijk ijzer- en koperlegeringen (foto: ThyssenKrupp/Inoxum)

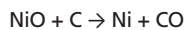
De kleur van het erts is groen, maar naarmate er meer ijzer aanwezig is, ontstaan er gele en bruine verkleuringen. Er zijn verschillende methoden om nikkel te winnen, zoals:

- smelten van het erts met cokes met een toeslag van kalksteen. Dit kan in een koepeloven plaatsvinden, en
- het nikkelerts wordt met een flux tot briket-

ten geperst en deze worden met circa 30% cokes in ovens gesmolten. De flux bestaat meestal uit calciumsulfaat.

Het ruwe nikkeloxide dat op deze wijze vrijkomt, bevat nog veel ijzeroxiden en het wordt daarom met een siliciumhoudende flux in een Bessemer convertor gezuiverd. Na deze zuivering bevat het product circa 80% nikkeloxide en

circa 20% zwavel. Het product wordt verpulverd in een kogelmolen waarna het geroost wordt teneinde het zwavel te verwijderen. Na dit roosten blijft er praktisch zuiver nikkeloxyde over. Dit nikkeloxyde 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. De fysische en mechanische eigenschappen van nikkel staan in **tabel 1**. De mechanische eigenschappen in **tabel 2**.

### Glijvlakken

Nikkel is het 28<sup>e</sup> element in het periodiek systeem en heeft door zijn kubische vlakken een gecenterd rooster en relatief hoge duktiliteit vanwege de vele glijvlakken in het atoomrooster. De elementen zwavel en fosfor dienen in het bijzonder vermeden te worden omdat dit het nikkel enorm bros maakt. 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 tempe-

ratuur. Het wordt ook zeer veel als legeringselement gebruikt in voornamelijk ijzer- en koperlegeringen. Voorbeelden zijn onder andere roestvast staal, cunifer en aluminiumbrons. Nikkel wordt naast de commerciële zuivere uitvoering veel meer toegepast als gelegeerd 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 lasparameters worden gebruikt.

Nikkel staat ook bekend vanwege haar zeer goede kruipvastheid welke tot stand komt door de vele tweelingen in de matrixkristallen alsmede door het ontstaan van uitscheidingen. Beide zorgen ervoor dat het verspringen van dislocaties aanzienlijk wordt bemoeilijkt.

### Nikkel 200 en 201

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.

Nikkel 200 is technisch zuiver nikkel met een hoge duktiliteit 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 nikkel 200 en 201 een prima bestendigheid hebben tegen spanningscorrosie zowel in etsende alkalische- als in chloridenhoudende oplossingen. De chemische samenstelling van deze technisch zuivere nikkelkwaliteiten zijn te vinden in **tabel 3**. Ook hebben diverse normeringen hun eigen aanduidingen die weergegeven zijn in **tabel 4**. In deze tabel zijn allerlei equivalenten van elkaar vermeld zodat men inzicht kan krijgen welke nor-

### Tabel 2. Mechanische eigenschappen van nikkel

Treksterkte	461 MPa
Rekgrens 0,2%	147 MPa
Rek	40%
Insnoering	45%
Hardheid	110 HB
Elasticiteitsmodulus	205,8 GPa

### Tabel 3. Chemische samenstelling van Nikkel Alloy 200 en 201

Element	C*	Si	Mn	S	Cu	Fe	Mg	Ti	Ni (+Co)
Minimum	--	--	--	--	--	--	--	--	98,4
Maximaal	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 1. Fysische en mechanische eigenschappen van nikkel

#### Fysische constanten:

Atoomgewicht	58,69
Kristalstructuur (20°C)	kubisch vlak gecenterd
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 <sup>-6</sup> /°K (27-100°C)
Elektrische weerstand (20°C)	9,5 mikro-ohm-cm
Warmtegeleidingsvermogen (27-100°C)	76 W/m/°C
Curiepunt	368°C



Nikkel wordt gebruikt bij de productie van roestvast staal en hoogwaardige nikkellegeringen. Op de foto een compressorhuis van CrNi-staal zoals door DMG getoond tijdens de AMB 2010. Dit is een werkstuk voor aerospace toepassingen met een diameter van 700 mm dat in 17 uur en 20 minuten verspaand is (foto: Reinold Tomberg)

maanduidingen met elkaar zo goed mogelijk overeen komen. **Tabel 5** geeft de fysische eigenschappen weer en **tabel 6** de mechanische eigenschappen.

### Verwerken

Nikkel 200 en 201 zijn zowel koud als warm goed vervormbaar. Bij een koud deformatie die groter is dan 5% is aansluitend spanningsarm- of zachtgloeien veelal gewenst. Warm vervormen dient te geschieden bij een temperatuur van 800 – 1250°C. Het metaal dient voor de warmtebehandeling altijd ontdaan te worden van olie, vet, koolstof- en zwavelhoudende be-

&gt;&gt;&gt;



Een turbinehuis van de legering Inconel 718 getoond door gereedschapsleverancier Walter tijdens de AMB 2010 (foto: Reinold Tomberg)

## Veel glijvlakken in atoomrooster

**Tabel 5. Fysische eigenschappen**

	Nikkel Alloy 200	Nikkel Alloy 201
Smelttraject	1435-1445°C	1435-1445°C
Dichtheid (s.g.)	8,9	8,9
Specifieke warmte*	440 J/kg/K	440 J/kg/K
Warmtegeleidingscoëfficiënt	74 W/m/K	76 W/m/K
Uitzettingscoëfficiënt **	14,5.10 <sup>-6</sup> /°K	14,5.10 <sup>-6</sup> /°K
Specifieke elektrische weerstand*	0,090 Ω.mm <sup>2</sup> /m	0,085 Ω.mm <sup>2</sup> /m

\*) bij kamertemperatuur

\*\*) tussen 20°C - 300°C

standdelen. Het milieu in de oven moet licht reducerend tot neutraal zijn. Indien men er niet zeker van is of er zwavel aanwezig kan zijn, is het ten eerste 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. De volgende warmtebehandelingstemperaturen dient men aan te houden:

- zachtgloeien: 700 – 800°C
- spanningsarm: 550 – 650°C

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

### Lassen

Nikkel 200 en 201 zijn zeer goed lasbaar. Procdés die aanbevolen worden, zijn TIG en MIG lassen alsmede het lassen met beklede elektroden. Ook is het laserlassen sterk in opkomst waardoor de thermische belasting tijdens het lassen laag blijft. De juiste toevoegmaterialen zijn respectievelijk Werkstoffnummer EN 2.4155 (TIG en MIG draad) en EN 2.4156 (elektroden). Over het algemeen kan men stellen dat het koolstof-

**Tabel 4. Normaanduidingen**

Nikkel Alloy 200	Nikkel Alloy 201	
DIN-afkorting	Ni99,2	LC-Ni99
Werkstoff-Nr.	EN 2.4066	EN 2.4068F
vdTüV-Werkstoff-Blatt	-- 345	
UNS	N02200	N02201
AMS	-- 5553	
BS	3072-76/NA11	3072-76/NA12
ASTM	B160, B161, B162, B163	
DIN	17740, 17750, 17751, 17752, 17753, 17775	
ASME	SB160, SB161, SB162, SB163	

gehalte van de meeste nikkellegeringen zo laag is geworden dat dit gehalte behoorlijk ver onder de maximaal oplosbare hoeveelheid is gekomen. Vanuit de thermodynamica is bekend 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, verf en potloodstrepen. Vooral bij (geringe) temperatuurverhogingen zal dit koolstof omwille van de neiging tot oplossen in het nikkel diffunderen waardoor het chroom kan onttrekken en/of ongewenste complexe carbiden kan vormen die lokale corrosie kunnen veroorzaken.

### Toepassingen

Ongelegeerd nikkel wordt toegepast als materiaal voor munten, batterijen en als katalysator ten behoeve van onder meer de ontzwalling van aardolie. Daarnaast wordt er van dit nikkel procesapparatuur vervaardigd voor de chemische industrie zoals vaten, warmtewisselaars en leidingsystemen. Hierbij wordt vooral plaat en buismateriaal verwerkt. Ook wordt het met succes toegepast om het explosief aan te brengen op koolstof- en roestvast staal. Dat noemt men ook wel claddings en in dat geval neemt men dan altijd het zachtere nikkel 201. Het grootste deel echter van het wereldwijd geproduceerde nikkel wordt gebruikt bij de productie van roestvast staal en hoogwaardige nikkellegeringen. Bekende roestvast staaltypen met nikkel zijn AISI 304 en 316 alsmede hoogwaardige legeringen zoals (super)duplex, 254SMO en 904L. Bekende nikkellegeringen zijn Monel 400, Incoloy, Inconel, Nimonic en Hastelloy. Dit betreffen geregistreerde handelsmerken van respectievelijk Special Metals Corporation en Haynes International. Ook treft men het metaal nikkel aan in koperlegeringen zoals Cunifer, Cupronikkel en aluminiumbrons. Nikkel is dan ook een metaal dat een belangrijke en onvervangbare plaats verworven heeft als puur metaal maar ook zeker als legeringselement. <<<

**Tabel 6. Mechanische eigenschappen nikkel Alloy 200 en 201**

Rekgrens	0,2%	147 MPa
Treksterkte	461 MPa	
Rek	40%	
Insnoering	45%	
Hardheid	110 HB	
Elasticiteitsmodulus	196 GPa	

