

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 gassen 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.

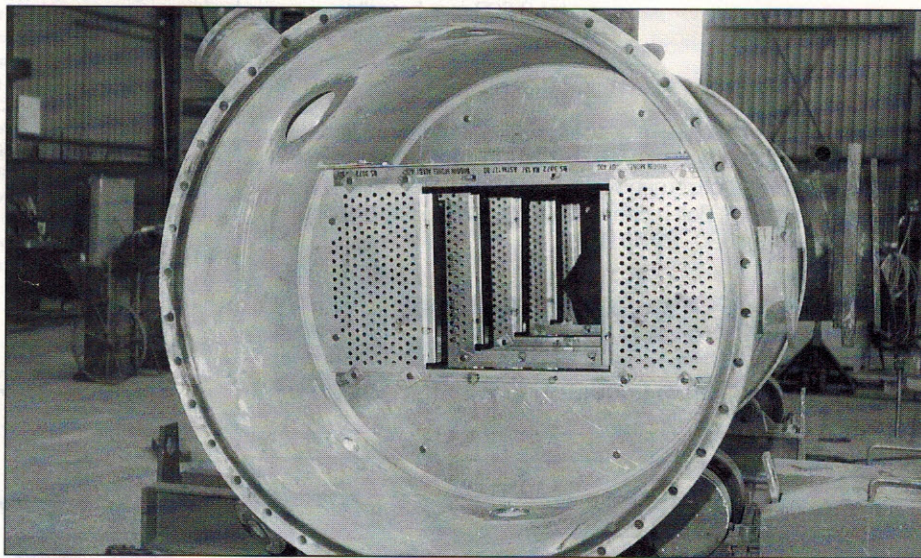
De legering staat o.a. bekend onder de naam 'Monel 400' hetgeen een gedeponeerd handelsmerk is van Inco Family of Companies.

Toepassing 400

Ten behoeve van de off shore worden regelmatig condensors, 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, brandweringssystemen, 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 warmtevervormbaar. 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	

ningsarm- of zachtgloeien noodzakelijk. Ook na warmvervormen 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 elektrod Lassen, 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 van af 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

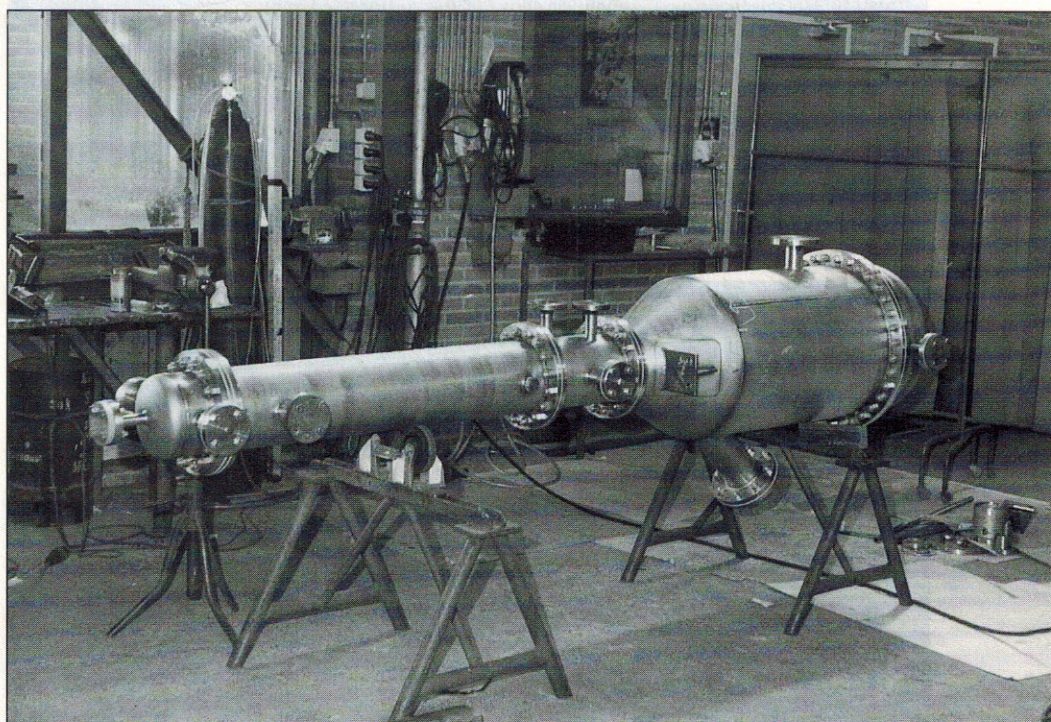
De 600-legering wordt toegepast bij ammoniakbereiding, in gasopkolingsinstallaties, ni-treerovens, apparaten ten behoeve van de produktie van gechloreerde en gefluoreerde koolwaterstoffen, kraakbuizen ten behoeve van de produktie van etheendichloride, reac-

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**			
* zachtgegloeid ** spanningsarm gegloeid			

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

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	$13,3 \cdot 10^{-1} \text{ K}^{-1}$
Soortelijke elektrische weerstand *	1,03 $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$

* bij kamertemperatuur

Tabel 15. Mechanische eigenschappen alloy 600 (bij kamertemperatuur)

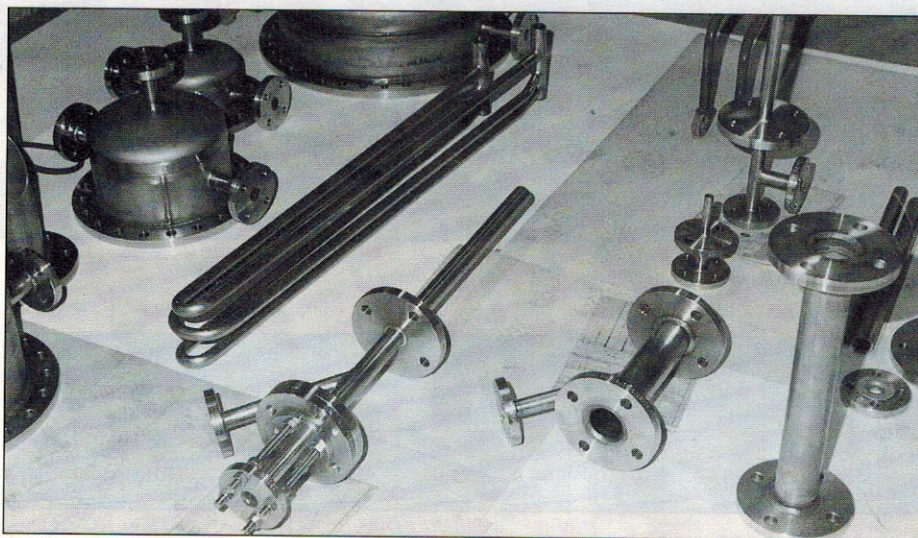
conditie	rekgrens [MPa]	treksterkte [MPa]	rek dp5 [%]
zacht gegloeid	200	550 - 750	30
oplossend gegloeid	180	500 - 700	35

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			25	0,5	18	1,0	0,5	0,5	58
max.	1,7	0,006	0,1							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
VdTÜV-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.

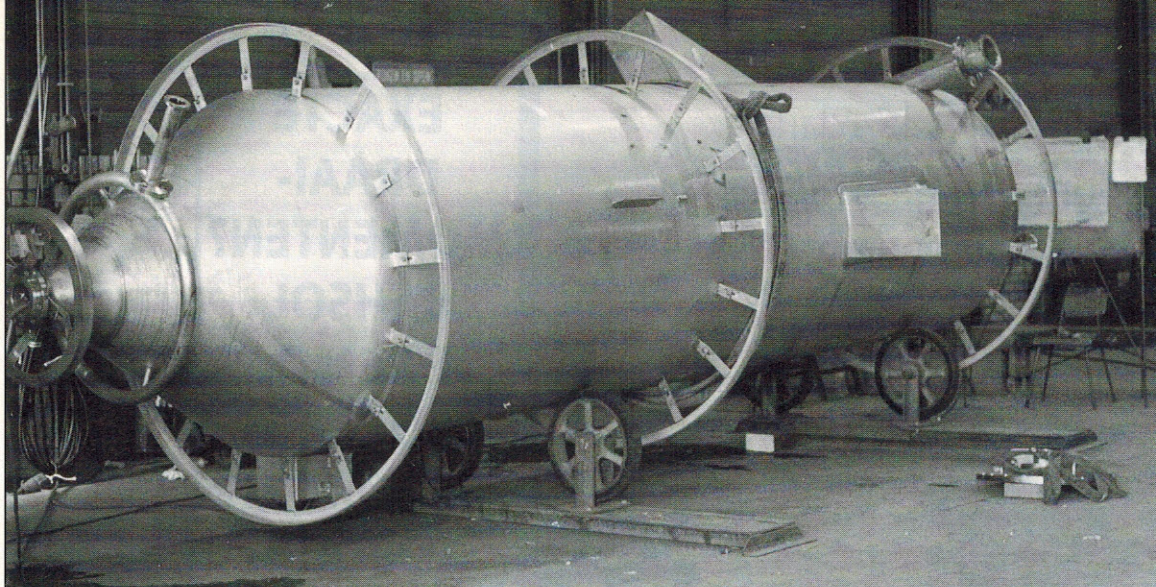
Legering 601

De nikkellegering 601 is een nikkel-chroom-ijzerlegering en bevat aluminium die ervoor zorgt dat er een dichte 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 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 aswinninginstallaties.

Verwerken 601

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



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 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	zacht	240	600	30	220
staven tot 100 mm dia- meter	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 lastoefog 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)

tiek 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 elektrodelassen. 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 lastoefogmaterialen voor alloy 601. **OMK**

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.