

19



Octrooiraad  
Nederland

11 193380

12 C OCTROOI

21 Aanvraag om octrooi: 9002509

51 Int.Cl.<sup>6</sup>  
C22C19/05

22 Ingediend: 16.11.90

30 Voorrang:  
17.11.89 US 0000437707

43 Ter inzage gelegd:  
17.06.91 I.E. 91/12

44 Openbaargemaakt:  
01.04.99 I.E. 99/04

47 Dagtekening:  
03.08.99

45 Uitgegeven:  
01.10.99 I.E. 99/10

73 Octrooihouder(s):  
Haynes International, Inc. te Kokomo, Indiana,  
Verenigde Staten van Amerika (US).

74 Gemachtigde:  
Ir. L.C. de Bruijn c.s. te 2517 KZ Den Haag.

54 Legering op basis van nikkel die voorts chroom, koper, molybdeen en silicium bevat, alsmede daaruit vervaardigde gevormde voortbrengselen.

## Legering op basis van nikkel, die voorts chroom, koper, molybdeen en silicium bevat, alsmede daaruit vervaardigde gevormde voortbrengselen

De onderhavige uitvinding heeft betrekking op een legering op basis van nikkel die voorts chroom, koper, molybdeen en silicium bevat.

Een dergelijke legering is bekend uit FR 2.333.870. De hierin beschreven legering bevat 24 tot 53 gew.% nikkel, 20 tot 44 gew.% chroom, 0,01 tot 0,6 gew.% koolstof, 0,1 tot 1,5 gew.% mangaan, 1,3 tot 3 gew.% silicium, 0,5 tot 3 gew.% niobium, 0,05 tot 0,2 gew.% stikstof, 0,2 tot 5 gew.% wolfram en/of molybdeen, 0 tot 47 gew.% ijzer en 0 tot 5 gew.% koper. Dergelijke legeringen hebben bij een zeer hoge temperatuur een zeer goede bestendigheid tegen oxidatie, carbonering en kruip.

Het nadeel van deze legering is, dat de corrosiesnelheid in zwavelzuur relatief hoog is.

Aan veel industriële producten en processen worden beperkingen gesteld op grond van de mechanische en/of chemische eigenschappen van de samenstellende delen. Turbinemotoren zouden bijvoorbeeld effectiever werken indien de samenstellende delen een langere levensduur bij hogere temperatuur bezaten. Ook het verwerken van producten, zoals chemicaliën, zou efficiënter zijn als de samenstellende delen van de verwerkingsinrichting beter bestand zouden zijn tegen corrosie en/of blootstelling aan hoge temperatuur.

Er heeft steeds een behoefte bestaan aan legeringen die goed bestand zijn tegen het neerslaan van carbiden en intermetallieke fasen, terwijl zij nog het grote spectrum van bestandheid tegen corrosie vertonen in sterk oxiderend milieu wanneer zij in oplossing zijn ontladen. De stand van de techniek verschaft geen voldoende weerstand tegen corrosie in sommige sterk oxiderende omgevingen.

De onderhavige aanvraag heeft als doel het verschaffen van een legering op basis van nikkel met uitmuntende bestandheid tegen corrosie in oxiderende omgevingen in de ontlaten, gelaste en thermisch verouderde toestand.

Een ander doel is het verschaffen van dergelijke legeringen, die niet slechts uitmuntende bestandheid tegen corrosie verschaffen maar die eveneens een uitmuntende thermische stabiliteit en bestandheid tegen verlies van mechanische eigenschappen tengevolge van structurele veranderingen gedurende het verouderen of thermomechanisch vervormen bezitten. Nog een ander doel is het verschaffen van legeringen die bestand zijn tegen barsten onder invloed van spanningscorrosie in een chloridehoudend milieu wanneer zij door neerslaan zijn versterkt.

Nog een ander doel is het verschaffen van legeringen op basis van nikkel in vaste oplossing, die gemakkelijk kunnen worden vervaardigd in gesmede of gegoten vorm en verwerkt kunnen worden en in evenwichtstoestand homogeen zijn.

De bovenbeschreven doelen en voordelen volgens de uitvinding worden verkregen met een verbinding volgens de aanhef, gekenmerkt doordat deze ten hoogste 1,5 gew.% aluminium, ten hoogste 0,06 gew.% koolstof, ten hoogste 3 gew.% niobium, 11 tot 29 gew.% chroom, ten hoogste 20 gew.% kobalt, 1 tot 3,5 gew.% koper, ten hoogste 19 gew.% ijzer, ten hoogste 2 gew.% mangaan, 1 tot 6,5 gew.% molybdeen, ten hoogste 0,2 gew.% stikstof, 3,5 tot 6,5 gew.% silicium, ten hoogste 2 gew.% titaan, ten hoogste 2,5 gew.% wolfram en voor het overige micro- en normale verontreinigingen bevat, waarbij de waarde  $(20\text{-Fe}) \times (\text{Si-3})$  groter is dan 5.

Het voordeel van deze legeringen ten opzichte van de legeringen volgens het hiervoor genoemde FR 2.333.870 is dat deze legeringen een goede corrosiebestendigheid in zwavelzuur bezitten. In het algemeen bieden deze legeringen het voordeel dat zij zijn bestand tegen veel verschillende oxiderende zuren in een groot aantal concentraties en bij een groot aantal temperaturen. Voorts bezitten zij een uitmuntende ductiliteit bij lassen, zoals blijkt uit lasbuigproefresultaten. De thermische stabiliteit is zeer gunstig zoals blijkt uit de resultaten van de Charpy-slagsterkteproeven. De legeringen hebben goede hardingseigenschappen bij veroudering. De legeringen zijn eveneens bestand tegen spanningscorrosie na door veroudering gehard te zijn.

In tabel A worden nog een aantal legeringen vermeld die bekend zijn uit de tot de stand van de techniek behorende octrooien. Alle in de beschrijving en conclusies vermelde samenstellingen zijn in gew.% (gew./totaal) tenzij anders vermeld. Elk van de legeringen bezit in het algemeen een uitmuntende bestandheid tegen corrosie of een uitmuntende ductiliteit bij het lassen of een uitmuntende Charpy-slagsterkte of uitmuntende hardingseigenschappen bij veroudering. Sommige van deze legeringen kunnen meer dan één van deze eigenschappen bezitten, echter geen bezit een combinatie van al deze eigenschappen. De samenstellingen van de legeringen op basis van nikkel volgens de stand van de techniek in tabel A, bevatten bijna alle, tezamen met andere elementen, chroom, koper, molybdeen en silicium. Voor het grootste gedeelte zijn de legeringen bekend tot toepassing bij gieten tengevolge van het gecombineerde hoge chroom-, silicium-, koolstof- en kopergehalte.

Volgens een voorkeursuitvoeringsvorm van de uitvinding bevat de legering ten hoogste 0,5 gew.% aluminium, ten hoogste 0,04 gew.% koolstof, ten hoogste 1 gew.% niobium, 16 tot 23 gew.% chroom, ten hoogste 10 gew.% kobalt, 1 tot 3 gew.% koper, 1 tot 10 gew.% ijzer, ten hoogste 1 gew.% mangaan, 1 tot 5 gew.% molybdeen, ten hoogste 0,1 gew.% stikstof, 4 tot 6 gew.% silicium, ten hoogste 1 gew.% titaan en ten hoogste 1 gew.% wolfram.

Volgens een nadere voorkeursuitvoeringsvorm bevat de legering ten hoogste 0,3 gew.% aluminium, ten hoogste 0,02 gew.% koolstof, ten hoogste 0,3 gew.% niobium, 19 tot 21 gew.% chroom, ten hoogste 5 gew.% kobalt, 1,5 tot 2,5 gew.% koper, 3 tot 7 gew.% ijzer, ten hoogste 0,5 gew.% mangaan, 1,5 tot 3 gew.% molybdeen, ten hoogste 0,03 gew.% stikstof, 4,5 tot 5 gew.% silicium, ten hoogste 0,2 gew.% titaan en ten hoogste 0,5 gew.% wolfram.

De voordelen van deze legeringen blijken uit de hierna volgende voorbeelden.

Volgens een andere voorkeursuitvoeringsvorm bedraagt de waarde 2-Si/Cr 0,35 tot 0,6 en is de waarde Ni/Fe groter dan 2 voor het verkrijgen van een verbeterde corrosiebestendigheid bij blootstelling aan hoge temperatuur.

De uitvinding heeft eveneens betrekking op gevormde voortbrengselen die geheel of gedeeltelijk zijn vervaardigd onder toepassing van de legeringen volgens de uitvinding.

### *Voorbeelden en proefresultaten*

#### *Corrosie*

Een aantal proeven werd uitgevoerd voor het bepalen van de effecten van chroom, silicium, molybdeen en koper op de corrosie. De voordelige effecten van combinaties van chroom en silicium voor het bestand zijn tegen sterk oxiderende oplossingen zoals geconcentreerd zwavelzuur is uit veel octrooien bekend. Nu werd echter gevonden dat het gehalte van silicium dat vereist is kritisch is en afhankelijk is van het chroomgehalte. Zoals blijkt uit tabel C is in sterk oxiderende omgevingen (omgeving B in tabel C) de legering beter bestand naarmate het siliciumgehalte hoger is. In minder sterk oxiderende omgevingen (de omgevingen A en C) gaat de corrosiesnelheid door een maximum met silicium waarbij kleine hoeveelheden silicium (tot ten hoogste 3 gew.%) nadelig zijn en hogere hoeveelheden voordelig zijn. Zelfs bij minder sterk oxiderende zuren zoals in omgeving D in tabel C is silicium nadelig en chroom voordelig. De chroom : siliciumverhouding moet derhalve binnen een bepaald interval passen voor de legering om deze aan een groot aantal omgevingen bestand te doen zijn. Deze tegengestelde werkingen van Si en Cr worden in figuur 1 weergegeven als relatieve corrosiesnelheid ten opzichte van 2 Si/Cr-verhouding (de factor 2 om rekening te houden met de grotere werkzaamheid van silicium en het kleinere atoomgewicht). Uit figuur 1 blijkt dat deze verhouding voor een groot aantal oxidatiemiddelen tussen 0,3 en 0,6 valt voor de totale weerstand. Deze verhouding komt dan bij de aan Cr en Si gestelde beperkingen.

Bovendien kunnen de voordelige effecten van Mo en Cu worden gezien in 90% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (omgeving C). Koper is bijzonder voordelig in deze omgeving. Een hoog kopergehalte (boven 3,5 gew.%) is echter nadelig voor de vorming van kleine holtes en de verwerkbaarheid. Voor een optimaal resultaat wordt een maximumgehalte van 3,0 gew.% koper aanbevolen, ongeveer 2 gew.% koper verdient de voorkeur.

#### *Ductiliteit van de las*

Legeringen van deze klasse moeten zeer goed lasbaar zijn. Een aantal proeven werd uitgevoerd zoals wordt weergegeven in tabel D. De buigingsductiliteit van de las wordt bepaald door de algemeen bekende 2-T Radius buigproef. De resultaten van deze proef tonen aan dat de verhouding van Ni tot Fe groter moet zijn dan 1,0. Verhoudingen kleiner dan 1 definiëren legeringen op ijzerbasis, bijvoorbeeld stalen van het type 20 en duplexstaal die niet corrosiebestendig zijn ten opzichte van een aantal combinaties van zuren.

Het is bekend dat silicium in roestvrij staalsoorten en sommige nikkellegeringen problemen veroorzaakt door de vorming van barsten in lassen en de ductiliteit van de lassen verlaagt. De legeringen volgens de uitvinding zijn echter verrassend bestand tegen deze problemen mits het nikkelgehalte boven een bepaalde hoeveelheid ligt. Dit is een belangrijk punt volgens de uitvinding. De lasbuigproefresultaten worden in tabel D vermeld. Uit tabel D blijkt dat indien het nikkelgehalte laag is (kleiner dan 12 gew.%) of indien het nikkelgehalte boven een bepaalde hoeveelheid is (25 gew.%) de lassen voldoen aan de eisen van de 2-T-buigproef. Met een nikkelgehalte kleiner dan 12 gew.% (in de 20 Cr, 12 Co, 5 Si-legeringen), bevat de legering enig ferriet in de microstructuur en het is algemeen bekend dat kleine hoeveelheden van ferriet bij het beginnen van het vastworden van een las voordelig zijn voor de ductiliteit. Dit blijkt echter niet op te treden bij een homogene vaste oplossing van legeringen op nikkelbasis volgens de uitvinding. Indien een kleine hoeveelheid ferriet in roestvrij staal voordelig is voor bestandheid tegen scheurtjesvorming gedurende het lassen, kan ferriet leiden tot een sterkere scheurvorming gedurende blootstelling aan temperaturen van 870°C die optreden bij heetvormende bewerkingen. De legeringen met een hoog nikkelgehalte zijn echter

eveneens bestand tegen scheurvorming bij deze temperaturen.

#### Thermische stabiliteit

De thermische stabiliteit van een serie legeringen werd beproefd aan de hand van de slagsterkte na blootstelling aan een temperatuur van 870°C gedurende 6 minuten en gedurende 30 minuten. De resultaten van deze proef worden in tabel E vermeld. Uit de gegevens blijkt dat een legering volgens de uitvinding (legering 5-8) een voldoende slagsterkte heeft hoewel het monster een te kleine maat had. Legering 5-9 volgens de uitvinding werd 6 minuten op 870°C gehouden en gedurende 1 uur op 870°C gehouden. Beide legeringen hebben een goede slagsterkte in vergelijking met de legeringen met een (20-Fe<sub>x</sub> Si-3) waarde kleiner dan 5. De hoeveelheid ijzer moet kleiner zijn dan 19 gew.%.

#### 10 Verouderingsharding

Een ander voordeel van deze legeringen is het vermogen om aanzienlijk te worden verhard door een hittebehandeling. Silicium werkt soortgelijk als Al en Ti, maar er zijn aanzienlijke verschillen. De verouderingstemperatuur die vereist is voor het teweegbrengen van de veroudering is lager voor de siliciumlegering en waardoor deze gemakkelijk door veroudering worden gehard. Het ijzergehalte dient minder dan 19 gew.% te zijn en het siliciumgehalte dient groter dan 3 gew.% te zijn. Het getal (20-Fe x Si-3) dient voor een waarneembare harding groter dan 5 te zijn. Deze gegevens worden in tabel F vermeld. De voorbeelden en de proefresultaten definiëren de uitvinding. Uit proefresultaten blijkt dat de legering volgens de uitvinding een unieke combinatie van constructie-eigenschappen heeft. De verhoudingen en samenstellingshoeveelheden blijken de legering op een pragmatische wijze te definiëren. Hoewel het exacte mechanisme van de uitvinding niet volledig wordt begrepen blijkt dat de volgende verhoudingen de beste resultaten geven. De uitvinding vereist derhalve niet slechts de specifieke samenstelling, de hoeveelheid voor de kritische elementen maar eveneens de verhoudingen van bepaalde elementen zoals is beschreven.

Proefstukken van de legering volgens de uitvinding werden vervaardigd in de vorm van bijvoorbeeld platen, gietstukken en lasmaterialen waarbij geen verwerkingsmoeilijkheden optraden. De legering volgens de uitvinding kan worden vervaardigd in de vorm van gietstukken, smeedwerk en poedervormige producten alsmede voortbrengsels voor toepassing bij het lassen en gelaste structuren.

TABEL A Legeringen volgens de stand van de techniek  
Samenstelling in gewicht procent

|    | Amerikaans octrooi-schrift | Amerikaans octrooi-schrift | Amerikaans octrooi-schrift | Amerikaans octrooi-schrift | Amerikaans octrooi-schrift | Amerikaans octrooi-schrift | Franse octrooiaanvraag |
|----|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------|
|    | 2.103.855                  | 2.821.474                  | 3.758.296                  | 4.033.767                  | 2.938.786                  | 4.836.985                  | 2.333.870              |
| 35 | Al                         | —                          | —                          | —                          | —                          | —                          | —                      |
|    | C                          | ,30                        | —                          | 0,05-0,25                  | ,05-,25                    | tot ,03                    | tot ,11                |
|    | Nb                         | —                          | —                          | —                          | —                          | —                          | 0,5-3                  |
|    | Cr                         | 20-30                      | 9-30                       | 30-34                      | 30-35                      | 19-26                      | 31-33                  |
| 40 | Co                         | —                          | —                          | 4-7,5                      | —                          | 1,2                        | —                      |
|    | max.                       |                            |                            |                            |                            |                            |                        |
|    | Cu                         | 3,5-7                      | ,05-5                      | 2,5-8                      | 2,5-8                      | 4-7                        | 2,7-4                  |
|    | Fe                         | 2-12                       | —                          | tot 25                     | 3-25                       | tot 10                     | rest hoger             |
|    | tot 23,0                   |                            |                            |                            |                            |                            |                        |
| 45 | Mn                         | 1                          | —                          | 1-3,5                      | 1-3,5                      | tot 1,5                    | tot 2,0                |
|    | Mo                         | 2-6                        | —                          | 4-5,25                     | 0-3                        | 5-9                        | 4-5,2                  |
|    | N                          | —                          | —                          | —                          | —                          | —                          | ,04-,62                |
|    | Ni*                        | 50-55                      | rest                       | 26-48                      | 30-48                      | 46-69                      | 36-40,5                |
|    | Si                         | 3,5-5                      | 6-7                        | tot 4,0                    | 0-6                        | 1,5-7,5                    | 2,5-6                  |
| 50 | Ti                         | —                          | —                          | —                          | —                          | —                          | —                      |
|    | W                          | 1-3                        | —                          | —                          | —                          | —                          | tot ,07                |
|    | B                          | —                          | —                          | tot ,10                    | tot ,10                    | 0,25-,55                   | —                      |
|    | Si + Mo                    | —                          | —                          | —                          | tot 4                      | —                          | —                      |
| 55 | Verontreinigingen          | —                          | —                          | —                          | (gesmeed)                  | rest tot ,25               | —                      |
|    | Ti+Nb+Ta                   | —                          | —                          | —                          | —                          | —                          | tot ,05                |

TABEL B Legeringen volgens de uitvinding  
Samenstelling gew.%/totaal

| 5  | Groot gebied  | kleiner gebied | Voorkeurs- gebied | Voorbeelden van legeringen |              |              |              |               |
|----|---------------|----------------|-------------------|----------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
|    |               |                |                   | legering 3-9               | legering 5-9 | legering 6-7 | legering 6-8 | legering 6-13 |
| 10 | Al: tot 1,5%  | tot 0,5        | tot ,3            | -                          | -            | -            | -            | -             |
|    | C : tot 0,06% | tot 0,04       | tot ,02           | -                          | -            | -            | -            | -             |
|    | Cb: tot 3%    | tot 1,0        | tot ,3            | -                          | -            | -            | -            | -             |
|    | Cr: 11-29%    | 16-23          | 19-21             | 20                         | 19           | 25           | 22           | 22            |
|    | Co: tot 20%   | tot 10         | tot 5             | -                          | -            | -            | -            | -             |
| 15 | Cu: 1-3,5%    | 1-3            | 1,5-2,5           | 2,3                        | 2,3          | 2            | 1,8          | 2,2           |
|    | Fe: tot 19%   | 1-10           | 3-7               | -                          | 4,6          | 1,8          | 1,8          | 0,12          |
|    | Mn: tot 2%    | tot 1          | tot 0,5           | -                          | -            | -            | -            | -             |
|    | Mo: 1-6,5%    | 1-5            | 1,5-3             | 3,0                        | 1,5          | 3,00         | 3            | 2,8           |
|    | N : tot 0,2%  | tot 0,1        | tot 0,3           | -                          | -            | -            | -            | -             |
| 20 | N : Rest*     | rest           | rest              | rest                       | rest         | rest         | rest         | rest          |
|    | Si: 3,5-6,5%  | 4-6            | 4,5-5,5           | 5,0                        | 5,2          | 5,00         | 5,2          | 5,0           |
|    | Ti: tot 2%    | tot 1          | tot 0,2           | -                          | -            | -            | -            | -             |
|    | W : tot 2,5%  | tot 1          | tot 0,5           | -                          | -            | -            | -            | -             |

25 2 Si/Cr: 0,35-0,6  
Ni/Fe: groter dan 2  
(20-Fe) x (Si-3): groter dan 5  
\* nikkel plus verontreinigingen.

30 TABEL C De effecten van Cr, Si, Mo en Cu op corrosie in diverse oxiderende omgevingen

| Legering nr. | Cr                   | Fe   | Si   | Mo   | W   | Cu  | Corrosiesnelheid in 10 <sup>-3</sup> mm/jaar |     |                 |      |      |
|--------------|----------------------|------|------|------|-----|-----|--|-----|-----------------|------|------|
|              |                      |      |      |      |     |     | A  | B   | C               | D    |      |
| 35           | Effect van Silicium  |      |      |      |     |     |  |     |                 |      |      |
|              | 3-1                  | 21,2 | 0,1  | 0,09 | 0,0 | 0,0 | 0,0  | 56  | 2743            | 3137 | 224  |
|              | 3-2                  | 21,4 | 0,22 | 2,87 | 0,0 | 0,0 | 0,0  | 424 | 335             | 1161 | 340  |
|              | 3-3                  | 21,5 | 0,11 | 3,79 | 0,0 | 0,0 | 0,0  | 464 | 150             | 1395 | 422  |
| 40           | 3-4                  | 21,4 | 0,1  | 4,86 | 0,0 | 0,0 | 0,0  | 36  | 74              | 2477 | 544  |
|              | Effect van Mo, W, Cu |      |      |      |     |     |  |     |                 |      |      |
|              | 3-5                  | 21,2 | 1,91 | 4,92 | 2,8 | 0,0 | 0,0  | 46  | 153             | 1181 | 691  |
|              | 3-6                  | 21,3 | 0,12 | 4,78 | 2,8 | 2,6 | 0,0  | 43  | 48              | 1984 | 871  |
| 45           | 3-7                  | 21,5 | 0,18 | 5,09 | 6,7 | 0   | 0,0  | 64  | 132             | 2029 | 848  |
|              | 3-8*                 | 21,8 | 0,13 | 4,64 | 2,7 | 0   | 2,0  | 5   | 46              | 60   | 732  |
|              | 3-9*                 | 19,8 | 4,95 | 5,09 | 3,0 | 0   | 2,3  | -   | 66              | 137  | 752  |
|              | 3-10*                | 19,1 | 4,6  | 5,22 | 1,5 | 0   | 2,3  | -   | 66              | 340  | 594  |
|              | Effect van Cr        |      |      |      |     |     |  |     |                 |      |      |
| 50           | 3-11*                | 29,3 | 4,92 | 5,11 | 0,0 | 0   | 2,1  | -   | 89              | 254  | 320  |
|              | 3-12                 | 17,6 | 0,1  | 4,79 | 0,0 | 0   | 0,0  | 86  | 69              | 2428 | 704  |
|              | 3-13*                | 11,9 | 4,95 | 5,19 | 3,0 | 0   | 2,2  | -   | 76              | 660  | 2921 |
|              | 3-14*                | 21,8 | 4,93 | 6,60 | 2,9 | 0   | 2,1  | -   | vast bij smeden |      |      |

55 Oxiderende omgeving  
A = 99% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 130 C  
B = 30% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 5% CrO<sub>3</sub>, 79°C

C = 90% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 80°CD = 50% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 42G/L Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, kokend (ASTM G-28A)

\* Legeringen volgens de uitvinding.

5 TABEL D Invloed van Ni, Fe, Si op de buigingsductiliteit van de las

| Legering nr. | Fe    | Co    | Ni    | Si   | Cr    | Mo   | Ni/Fe  | spanning | 2-T Radius resultaten van de buigproef             |
|--------------|-------|-------|-------|------|-------|------|--------|----------|--|
| 10 4-1       | 44,00 | 11,10 | 19,50 | 4,83 | 20,30 | 0,00 | 0,44   | 0,00     | gebarsten, lichte buiging van 1/4 inch dikke plaat |
| 4-2          | 46,40 | 5,90  | 21,70 | 5,11 | 20,40 | 0,00 | 0,47   | 0,00     | barst bij het lassen                               |
| 15 4-3       | 49,00 | 0,00  | 24,60 | 5,20 | 20,50 | 0,00 | 0,50   | 0,00     | barst bij het lassen                               |
| 4-4          | 38,00 | 5,97  | 25,60 | 4,30 | 20,30 | 3,00 | 0,67   | 0,00     | barst, buigt iets, 1/4 inch dikke plaat            |
| 4-5          | 41,00 | 5,90  | 25,10 | 3,10 | 20,00 | 3,10 | 0,61   | 0,00     | barst, buigt iets, 1/4 inch dikke plaat            |
| 20 4-6       | 55,50 | 5,60  | 12,50 | 4,90 | 21,10 | 0,10 | 0,23   | 1,00     | barst niet, 0,5 inch dikke plaat                   |
| 4-7          | 53,00 | 11,80 | 10,00 | 4,10 | 20,40 | 1,40 | 0,19   |          |  |
| 4-8          | 53,00 | 11,70 | 10,00 | 5,00 | 20,00 | 0,00 | 0,19   |          |  |
| 4-9          | 0,14  | 0,00  | 74,10 | 5,50 | 19,20 | 0,00 | 529,29 | 1,00     | barst niet, 0,5 inch dikke plaat                   |
| 25 4-10      | 0,14  | 11,60 | 62,50 | 5,80 | 19,70 | 0,00 | 446,43 | 1,00     | barst niet, 0,5 inch dikke plaat                   |
| 4-11         | 19,45 | 11,80 | 42,60 | 5,66 | 20,29 | 0,00 | 2,19   | 1,00     | barst niet, 0,5 inch dikke plaat                   |
| 30 4-12*     | 4,95  | 0     | 64,73 | 5,09 | 19,78 | 2,96 | 13,08  | 1,00     | barst niet, 0,5 inch dikke plaat**                 |

\* Legeringen volgens de uitvinding – bevat 29 gew.% koper.

\*\* 2,5-T Radius buigproef.

35 TABEL E De werking van Ni, Co, Fe en Si op de thermische stabiliteit

| Legering nr. | Fe    | Co    | Ni    | Si   | Cr    | Mo   | Cu   | Ni/Fe  | Charpy V-slagsterkte in m/kg |               |
|--------------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|--------|------------------------------|---------------|
|              |       |       |       |      |       |      |      |        | 871°C/6 min.                 | 871°C/30 min. |
| 40 5-1       | 46,40 | 5,90  | 21,70 | 5,11 | 20,40 | 0,00 | –    | 0,47   | 1,07                         | 0,62          |
| 5-2          | 55,50 | 5,60  | 12,50 | 4,90 | 21,10 | 0,10 | –    | 0,23   | 0,45                         | 0,45          |
| 45 5-3       | 53,00 | 11,80 | 10,00 | 4,10 | 20,40 | 1,40 | –    | 0,19   | 0,97                         | 0,97          |
| 5-4          | 53,00 | 11,70 | 10,00 | 5,00 | 20,00 | 0,00 | –    | 0,19   | 0,69                         | 0,59          |
| 5-5          | 0,14  | 0,00  | 74,10 | 5,50 | 19,20 | 0,00 | –    | 529,29 | 34,43                        | 25,85         |
| 5-6          | 0,14  | 11,60 | 62,50 | 5,80 | 19,70 | 0,00 | –    | 446,43 | 27,56                        | 19,36         |
| 5-7          | 19,45 | 11,80 | 42,60 | 5,66 | 20,29 | 0,00 | –    | 2,19   | 20,37                        | 13,02         |
| 5-8*         | 5,00  | 0,00  | 65,08 | 5,14 | 19,66 | 3,05 | 1,9  | 13,02  | 9,10                         | –             |
| 50 5-9*      | 4,60  | –     | 66,9  | 5,22 | 19,14 | 1,46 | 2,28 | 14,54  | 9,77                         | 8,80          |

\* Legeringen volgens de uitvinding.

TABEL F Invloed van Fe en Si op de door veroudering teweeggebrachte toename van vloeispanning

| Legering | Co    | Cr    | Fe    | Mo   | Ni    | Cu  | Si   | (20-Fe)x<br>(Si-3)<br>vloei-<br>spanning<br>kg/cm <sup>2</sup> | Toename<br>van<br>ontlaten | Vloei-<br>spanning<br>kg/cm <sup>2</sup> | 0,2%<br>vloei-<br>spanning<br>593°C/<br>24h |
|----------|-------|-------|-------|------|-------|-----|------|--|----------------------------|--|---|
| 5        |       |       |       |      |       |     |      |  |                            |  |   |
| 6-1      | 0,00  | 21,60 | 0,10  | 0,00 | 77,98 | -   | 0,10 | -57,71   | 0,54                       | 5,24                                     | 5,78  |
| 10 6-2   | 0,00  | 21,76 | 0,22  | 0,00 | 74,43 | -   | 3,14 | 2,77   | 0,00                       | 5,59                                     | 5,52  |
| 6-3      | 11,76 | 20,29 | 19,45 | 0,00 | 42,64 | -   | 5,66 | 1,46   | 0,62                       | 5,43                                     | 6,05  |
| 6-4      | 0,00  | 21,76 | 11,62 | 0,00 | 60,72 | -   | 5,70 | 22,63  | 9,41                       | 3,47                                     | 14,88                                       |
| 6-5*     | 0,00  | 21,68 | 9,37  | 2,99 | 55,91 | 2,1 | 4,91 | 20,30  | 8,82                       | 8,15                                     | 16,97                                       |
| 6-6      | 0,00  | 21,55 | 4,78  | 0,00 | 67,62 | -   | 5,85 | 43,38  | 11,05                      | 5,34                                     | 16,38                                       |
| 15 6-7*  | 0,00  | 24,73 | 1,75  | 3,00 | 60,88 | 1,9 | 5,00 | 36,50  | 9,49                       | 8,79                                     | 18,27                                       |
| 6-8*     | 0,00  | 21,73 | 1,81  | 2,98 | 63,90 | 1,8 | 5,22 | 40,38  | 12,79                      | 8,11                                     | 20,89                                       |
| 6-9      | 0,00  | 21,30 | 1,87  | 2,73 | 67,95 | -   | 5,89 | 52,40  | 13,25                      | 7,91                                     | 21,17                                       |
| 8-10     | 0,00  | 21,68 | 0,19  | 6,56 | 65,68 | -   | 5,66 | 52,69  | 12,90                      | 8,82                                     | 21,11                                       |
| 6-11     | 0,00  | 19,15 | 0,14  | 0,49 | 74,13 | -   | 5,48 | 49,25  | 11,00                      | 5,43                                     | 16,43                                       |
| 20 6-12  | 11,64 | 19,68 | 0,14  | 0,00 | 62,49 | -   | 5,83 | 56,20  | 9,92                       | 5,43                                     | 15,35                                       |
| 6-13*    | 0,00  | 21,99 | 0,12  | 2,84 | 67,60 | 2,2 | 5,02 | 40,16  | 12,76                      | 7,29                                     | 20,03                                       |
| 6-14     | 0,00  | 21,43 | 0,11  | 2,78 | 67,52 | -   | 5,77 | 55,10  | 13,20                      | 8,58                                     | 21,78                                       |
| 6-15     | 0,00  | 23,96 | 0,11  | 0,00 | 69,87 | -   | 5,84 | 56,49  | 9,80                       | 5,77                                     | 15,56                                       |
| 6-16     | 0,00  | 21,40 | 0,11  | 0,00 | 72,58 | -   | 5,66 | 52,91  | 11,86                      | 61,40                                    | 18,26                                       |
| 25 6-17  | 0,00  | 21,73 | 0,11  | 0,00 | 73,63 | -   | 4,29 | 25,66  | 8,03                       | 5,53                                     | 13,55                                       |
| 6-18     | 0,00  | 17,52 | 0,10  | 0,00 | 76,34 | -   | 5,82 | 56,12  | 11,78                      | 7,76                                     | 17,54                                       |

\* Y.S. toename = Y.S. (verouderd) - Y.S. (ontlaten).

\* legeringen volgens de uitvinding.

30

### Conclusies

1. Legering op basis van nikkel die voorts chroom, koper, molybdeen en silicium bevat, met het kenmerk, dat deze ten hoogste 1,5 gew.% aluminium, ten hoogste 0,06 gew.% koolstof, ten hoogste 3 gew.% niobium, 11 tot 29 gew.% chroom, ten hoogste 20 gew.% kobalt, 1 tot 3,5 gew.% koper, ten hoogste 19 gew.% ijzer, ten hoogste 2 gew.% mangaan, 1 tot 6,5 gew.% molybdeen, ten hoogste 0,2 gew.% stikstof, 3,5 tot 6,5 gew.% silicium, ten hoogste 2 gew.% titaan, ten hoogste 2,5 gew.% wolfram en voor het overige micro- en normale verontreinigingen bevat, waarbij de waarde (20-Fe) x (Si-3) groter is dan 5.
2. Legering volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat deze ten hoogste 0,5 gew.% aluminium, ten hoogste 0,04 gew.% koolstof, ten hoogste 1 gew.% niobium, 16 tot 23 gew.% chroom, ten hoogste 10 gew.% kobalt, 1 tot 3 gew.% koper, 1 tot 10 gew.% ijzer, ten hoogste 1 gew.% mangaan, 1 tot 5 gew.% molybdeen, ten hoogste 0,1 gew.% stikstof, 4 tot 6 gew.% silicium, ten hoogste 1 gew.% titaan en ten hoogste 1 gew.% wolfram bevat.
3. Legering volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat deze ten hoogste 0,3 gew.% aluminium, ten hoogste 0,02 gew.% koolstof, ten hoogste 0,3 gew.% niobium, 19 tot 21 gew.% chroom, ten hoogste 5 gew.% kobalt, 1,5 tot 2,5 gew.% koper, 3 tot 7 gew.% ijzer, ten hoogste 0,5 gew.% mangaan, 1,5 tot 3 gew.% molybdeen, ten hoogste 0,03 gew.% stikstof, 4,5 tot 5 gew.% silicium, ten hoogste 0,2 gew.% titaan en ten hoogste 0,5 gew.% wolfram bevat.
4. Legering volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat de waarde 2-Si/Cr 0,35 tot 0,6 bedraagt en de waarde Ni/Fe groter is dan 2 voor het verkrijgen van een verbeterde corrosiebestendigheid bij blootstelling

aan hoge temperatuur.

5. Gevormde voortbrengselen geheel of gedeeltelijk vervaardigd onder toepassing van een legering volgens een van de conclusie 1-4.

---

Hierbij 1 blad tekening

---



Fig. 1

2Si/Cr Vs. CORROSIE SNELHEID  
IN DIVERSE OXYDERENDE ZUREN

