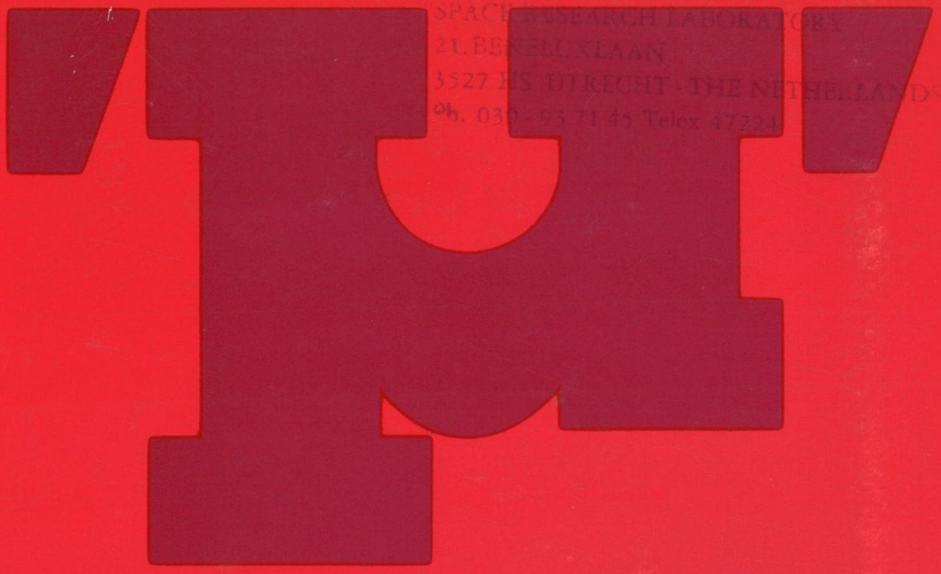
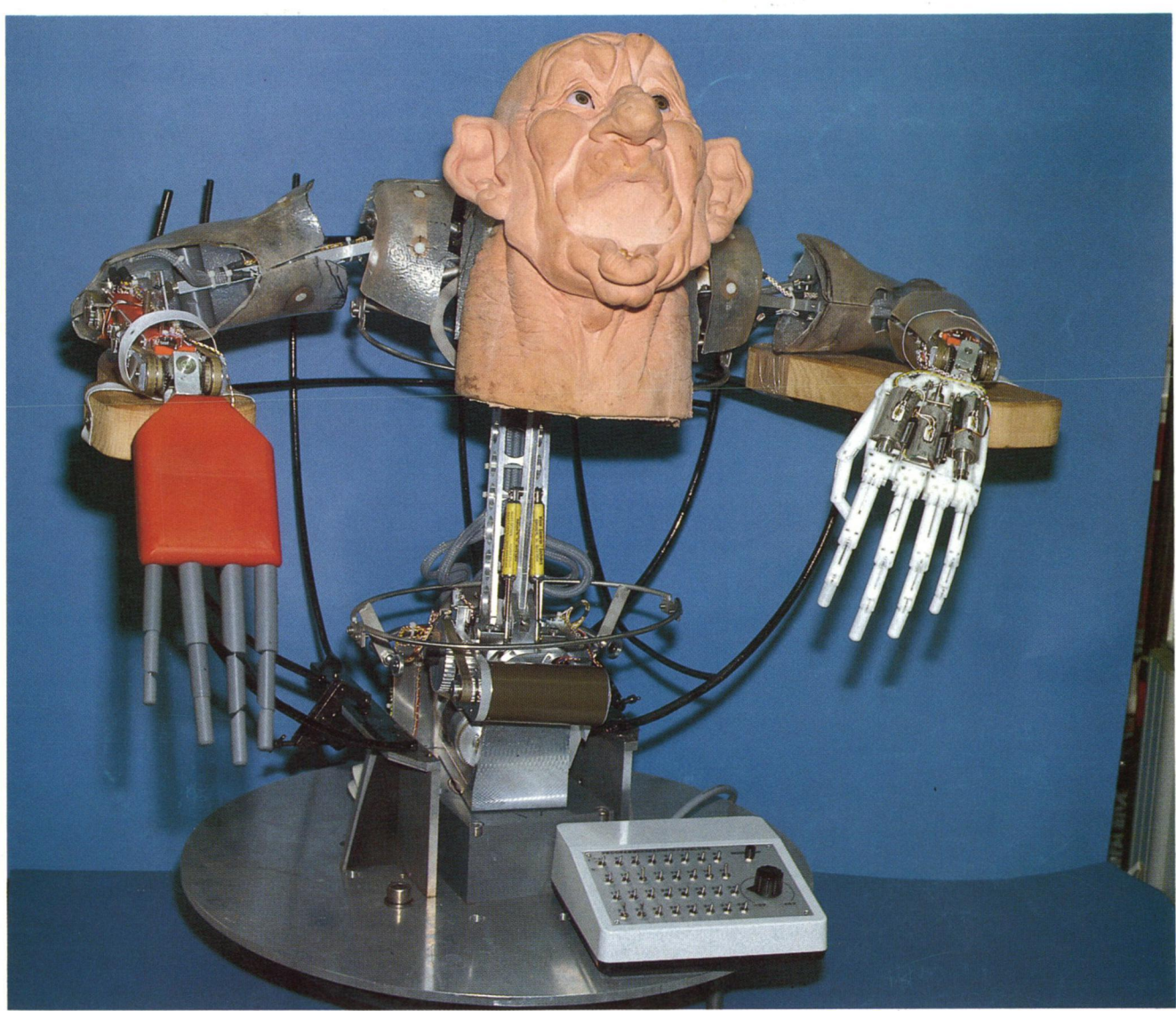


SPACE RESEARCH LABORATORY
21, BENJELIXLAAN
3527 JS UTRECHT - THE NETHERLANDS
Ph. 030 - 25 11 45 Telex 47224



jrg. 29, nr. 2, mrt./april 1989

MIKRONIEK



VAKBLAD VOOR FIJNMECHANICA EN GLASTECHNIEK



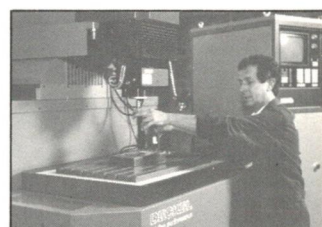
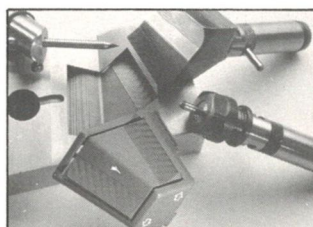
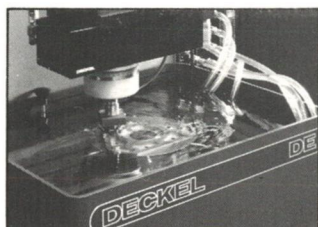
DE-25C..!"HET WAS LIEFDE OP HET EERSTE GEZICHT..!"

Harrie van Geenen:

"Wie onaardige dingen over onze erodeermachines zegt, krijgt mij niet boos. Nooit. Kom zelf maar in Veenendaal kijken, zeg ik dan. Daar laat ik u graag zien wat die DE25C allemaal kan. In een half uur bent u 180 graden om. Zo iemand ziet de extreem lage erodeerslijtage. De verbazend korte erodeertijd. De fraaie oppervlaktekwaliteit. De standaard baanbesturing.



Het excellent functioneren van de C-as en de CNC planetaire bewegingen. Die standaard zijn. Het computergestuurde bedieningsgemak. De krachtige generator. Bovendien komt hij dan de verrassend lage prijs aan de weet. Na een half uur zijn al z'n twijfels verdwenen. Hij ontdekt een prachtig erodeercentrum. Kortom, mooie woorden, daar koop je niets voor. Een grondige demo, daar geloof ik in. Is dat niks voor u?"



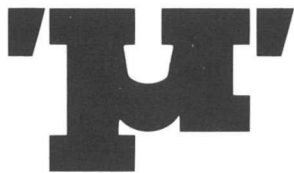
UITNODIGING!

Een telefoontje is voldoende om een afspraak te maken voor een onthullende demo met de DE25C door Harrie van Geenen. En... om **onze aantrekkelijke lease-voorwaarden** te horen.

DECKEL

TOEVALLIG RUIM 15 JAAR IN ERODEERTECHNIEK!

WAGENINGSLELAAN 48-3903 LA VEENENDAAL
POSTBUS 241-3900 AE VEENENDAAL
TELEFOON 08385-24525 - TELEX 37114
TELEFAX (08385) 24429



MIKRONIEK

Uitgave:

Technische Uitgeverij
De Vey Mestdagh BV

Redactie:

Ing. H.J. van Agthoven
Ir. S. van de Graaf (hoofdredactie)
H.M.C. Heubers
H.G.J. Rutten
Ir. J.J. Veerman
G.J. Verschragen

Redactiesecretariaat:

J. Snickers
Klaprooslaan 17
5691 WL Son
Telefoon (04990) 71831
b.g.g. (01180) 36320

Abonnementen:

Technische Uitgeverij
De Vey Mestdagh BV,
Markt 51, 4331 LK Middelburg
Telefoon (01180) 81240
Postgirorekening 26 06 279
Postrekening België 000-0135503-91
Nederland f 85,-
Buitenland f 110,-
Alle prijzen excl. BTW

Advertentie-acquisitie:

Technische Uitgeverij
De Vey Mestdagh BV,
Markt 51, 4331 LK Middelburg
Telefoon (01180) 81240

**Vormgeving, tekst- en
beeldvervaardiging:**

De Vey Mestdagh BV

Druk- en bindwerk:

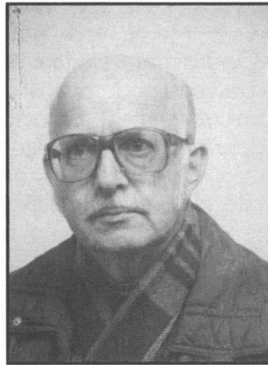
Den Boer Drukkers

Orgaan van

NVFT

vereniging voor
Fijnmechanische Techniek

Editorial



Ter introductie

In deze aflevering van Mikroniek ziet U, waarde lezer, een nieuwe rubriek verschijnen onder de naam: "Wissel tussen kennis en markt"*.

Deze rubriek staat – tegen kosten – ter beschikking van bedrijven en research instellingen e.d. die recent ontwikkelde kennis of een nieuw specialisme willen etaleren ten behoeve van de commercialisering daarvan. In een (kort) **technisch artikel** kunnen zij een exposé geven en hun contactadres vermelden waar geïnteresseerden nadere inlichtingen kunnen verkrijgen.

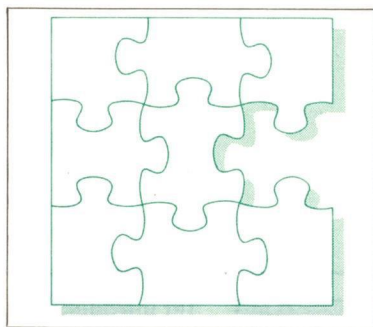
Redactie en Bestuur NVFT menen hiermede een nuttige vorm aan te bieden voor het ontwikkelen van technisch-commerciële contacten tussen bedrijven

en instellingen enerzijds en potentiële afnemers of licentie nemers anderzijds. Geïnteresseerde gebruikers van deze rubriek kunnen nadere inlichtingen krijgen via het Redactiesecretariaat (zie colofon) of via het Secretariaat NVFT, Postbus 359, 5600 AJ Eindhoven.

Ir. M. Breuning

* De naam is ontleend aan het rapport "Dekker".

Soms
ligt
er
maar
een
klein
stukje
tussen
probleem
en
oplossing.



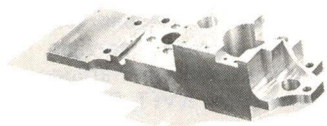
Soms ontbreekt het aan een specifiek stukje precisiewerk. De oplossing heeft u misschien in uw hoofd, maar niet in uw handen.

Leg uw probleem dan eens voor aan Dinfa, de meeden-

kende perfectionisten. Opdrachtgevers met uiteenlopende problemen helpen we aan elk gewenst onderdeel of apparaat, waarbij we al heel vroeg meedenken over de beste oplossing. Hoe de specificaties ook worden aangeleverd, Dinfa werkt ermee. Engineering verzorgen of testen? Co-makship? Met Dinfa als partner wordt het een stuk eenvoudiger!



Staatjes van vaak opvallende oplossingen tonen aan dat we er de mensen en de technische outillage voor hebben.



Dinfa: De passende oplossing voor uw probleem.



PRECISIE-ONDERDELEN EN APPARATEN

Fultonstraat 11, Postbus 45, 2690 AA 's-Gravenzande.
Telefoon 01748-14441. Telefax 01748-20100.



MYTRI - een goede basis voor uw produkt!



„Mytri-standaard”
precisie granieten vlakplaat,
afm. 1200 x 800 mm met onderzetkast.

Fabrikage, sinds 1957, van „Mytry-standaard” precisie Zweeds zwart Diabas granieten vlakplaten- en toebehoren.

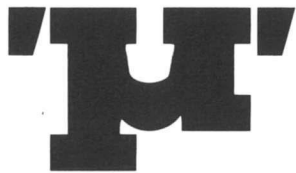
Reparaties van **alle** fabrikaten granieten vlakplaten.

Uitvoerige prospectus op aanvraag beschikbaar.



MYTRI B.V. - APELDOORN

Postbus 10.395 - 7301 GJ Apeldoorn
Tel. 055-213693. Telex 49696 mm. Fax 05750-13966.



MIKRONIEK

2

Mikroniek verschijnt één maal per 2 maanden

Inhoud

Ir. M. Breuning: Editorial	28
μ -Actueel	29
D.J.W. Sjobbema: Supermagneten uit zeldzame aarden	31
μ -Boekennieuws	38
Ir. G.J. van der Kooi en Ing. J.P. Pelzer: Het oplossen van slijtageproblemen door dunne keramische lagen	40
Dr. ir. J.T. van Konijnenburg: Ontwerpen en construeren met technische keramiek; een vak apart	43
Ober-Ing. L. Schard: Geïntegreerde lagereenheden	48
μ -Werkplaatsinformatie	52

Bij de foto op de voorpagina:

De Trollenkoning van de Efteling
Mechaniek van de ledematen
zonder bekleding en hoofd met
gezicht, van de "entertainment
robot" zoals door het Produktcen-
trum van TNO ontwikkeld in op-
dracht van en samenwerking met
de Efteling.

Zie ook het verslag van het NVFT
bedrijfsbezoek d.d. 30-11-'88 in
nummer 1-'89 van Mikroniek.

Verenigingsnieuws

Agenda NVFT-activiteiten

Landelijke activiteiten:

23 mei 1989

Fijnmechanische middag

Hiermede nodigt de NVFT u uit voor het bijwonen van een fijnmechanische middag op dinsdag 23 mei 1989. Op deze dag zijn wij te gast bij Ericsson Telecommunicatie B.V., Rijen.

Adres:

Haansbergseweg 1
5120 AA Rijen

Ericsson Telecommunicatie B.V. is een toonaangevende onderneming op het gebied van telecommunicatie. Het bedrijf heeft vestigingen in Rijen en 's-Gravenhage. Totaal werken er circa 900 personen.

Ericsson Telecommunicatie ontwikkelt, produceert en levert openbare digitale (AXE)telefooncentrales met de bijbehorende besturings-software, bedrijfscommunicatie-systemen en telefoontoestellen.

In Nederland is Ericsson Telecommunicatie een van de belangrijkste leveranciers van PTT Telecom.

Ericsson Telecommunicatie B.V. maakt deel uit van het Zweedse Ericsson concern met activiteiten in ruim 80 landen en circa 60.000 medewerkers.

Programma

13.00-14.00 uur:

Ontvangst en koffie

Algemene inleiding en bedrijfsfilm

14.00-15.00 uur:

Toelichting Ericsson Productie-plant door de heer Ir. J.J.M. Schellekens, Chef Bedrijfsengineering en Efficiency

15.00-16.00 uur:

Rondleiding Productie

16.00-16.30 uur:

Rondvraag en afsluiting

Inlichtingen secretariaat NVFT
Mevr. M. Korst, Tel.: 040-431288.

23 mei 1989

Symposium TU Eindhoven

Innovatieve applicaties van bekende principes in de fijnmechanische techniek.

Op deze dag zijn wij te gast bij de Technische Universiteit Eindhoven

adres:

Rekencentrum, RCKI

Den Dolech 2

5602 AZ Eindhoven

Programma

09.30 uur Ontvangst en koffie

10.00 uur Introductie

10.15 uur Lezing "Thermisch spuiten, enkele applicaties"

dr.ir. J.M. Houben

De thermische spuittechniek omvat een aantal methoden voor het aanbrengen van metallische of keramische deklagen. De methoden zullen kort toegelicht worden.

De toepasbaarheid van de techniek wordt gedemonstreerd aan de hand van de verschillende deklagen die zorgdragen voor het veilig en hoogefficiënt functioneren van een straalmotor. Als praktische voorbeelden zullen twee typen van thermisch gespoten lagen getoond en toegelicht worden:

- plasmagespoten keramiek in gespoten en geslepen toestand;
- vlamgespoten nikkel-chroom legeringen in gespoten, in gesmolten en geslepen toestand.

10.45 uur Lezing "Hoge instel-nauwkeurigheid met conventionele technieken: toegepast op statief 5½ m antenne"
ir. H.M.J.R. Soemers
ir. P. Brinkgreve

Het te bespreken statief vindt zijn oorsprong in een ontwerp van een goedkoop en eenvoudig antennestatief voor ontwikkelingslanden waarbij naar huidige maatstaven, duidelijk sprake was van "low tech". De constructieprincipes van dit basisontwerp bleken echter goed bruikbaar te zijn voor meetdoeleinden. Uit dit basisontwerp is daarom een nieuw antennestatief ontwikkeld dat uitsluitend voor meetdoeleinden is bedoeld.

De ontwerpspecificaties zijn o.a.:

- instelnaauwkeurigheid 0,001° over een werkbereik van ± 5°;
- in operationele staat moet de instelnaauwkeurigheid tot en met windkracht 9 gehandhaafd blijven;
- bruikbaar voor frequenties van 12½, 20 en 30 GHz.

Momenteel worden metingen verricht aan het 12½ GHz baken van de ECS 2 satelliet.

11.45 uur Bezoek aan laboratoria en opstellingen

12.30 uur Lunch

13.30 uur Lezing "Keuze van lagertypen en -materialen"
ir. D. Landheer

Lagers koppelen - met bepaalde vrijheidsgraden - ten opzichte van elkaar bewegende delen. In een lager worden krachten doorgeleid en snelheidsverschillen overbrugd.

Keuze van loopvlakmaterialen is soms lastig, omdat niet alleen de eigenschappen van elk der materialen, maar ook de combinatie van de materialen een rol spelen. Een goede aanpak van de keuze van lagertype en -materialen is gebaseerd op analyse van de contactomstandigheden, in het bijzonder de smeringstoestand.

De voordracht licht toe dat aldus een indeling in materialen voor droogloop, voor beperkte smering en voor volledige smering en voor wentellagers ontstaat.

Verder blijkt het met verschillende lagertypen bereikbare draagvermogen als functie van de snelheid goed te voorzien.

14.15 uur Lezing "Meten van koppels in µNM-gebied met toepassing bij luchtlagers"
ing. M.H.C. Janssen

Besproken zal worden het principe-ontwerp van een koppelgenerator met een groot dynamisch bereik (10:7 ... 10:2 Nm), bij een lage rotatiesnelheid (0 ... 300 toeren/min.) en onafhankelijk van de draairichting. Met behulp van deze koppelgenerator (met optische toerentalmeting) is het mogelijk om zowel uiterst kleine statische als dynamische wrijvingskoppels te bepalen zonder daarbij onbekende wrijvingskoppels te introduceren.

15.00 uur Bezoek aan laboratoria en opstellingen

15.45 uur Afsluiting

Deelnamekosten zijn:

f 75,- p.p. voor NVFT-leden

f 300,- p.p. voor niet-leden.

Inlichtingen secretariaat NVFT
Mevr. M. Korst tel. 040-431288

13 juli 1989

Fijnmechanische middag bij Techniku.

Nadere informatie volgt in Mikroniek nr. 3.

September en november volgt.

NVFT bedrijfsbezoek aan Oldelft d.d. 16 februari '89

Aansluitend op de Algemene ledenvergadering 1989 werd een bezoek gebracht aan Oldelft.

Na een inleiding door ir. B.F. Betz, plantmanager montage, en de heer M. Batelaan, hoofd NC afdeling, werd in twee groepen resp. de Mechanische Fabricage afdeling en de eindmontage en testfaciliteiten van de vestiging Delft bezocht.

Oldelft is opgericht in 1939 als optische en fijnmechanische industrie. Het bedrijf heeft hedentendage ca. 1300 medewerkers verdeeld over drie vestigingen in Nederland (Delft, Leeuwarden en Roden), één in Duitsland en één in België. Ook zijn er verkoopkantoren, behalve in Europese landen, in o.a. de V.S. en Japan.

De producten, gebaseerd op optiek, elektronica, fijnmechanica en computertechniek, zijn in te delen in drie hoofdgroepen t.w. Defensie, Medische en Industriële.

Onder de eerste categorie vallen o.a. nachtzicht kijkers, warmtebeeld apparatuur en laser afstandsmeters. De medische producten omvatten röntgen diagnostiek, radio-therapie en ultrasound diagnostiek zoals de slokdarmscanners. Onder de industriële producten valt o.a. het Seampilot sensorsysteem voor het volgen van de te maken lasnaad, waarmee een lasrobot "ogen" wordt verschaft. De Seampilot kan overigens niet alleen voor het sturen van een lasrobot worden gebruikt maar ook voor montagesystemen en het aanbrengen van lijm of afichtmateriaal.

Oldelft is een relatief kleinschalige fabrikant van, over het algemeen kleine,

hoogwaardige technische producten waarin veel kennis en technologie is verwerkt. Aan onderzoek en ontwikkeling wordt ca. 10% van de omzet besteed. Produktontwikkeling geschiedt in het algemeen in nauwe samenwerking met de (potentiële) afnemer en steeds in teamverband waarin het commerciële produktmanagement, het project management van de ontwikkeling en de fabricage zijn vertegenwoordigd (trojka!).

Het produktontwerp wordt zoveel mogelijk modulair opgezet, zodat meerdere eindproductversies met zo gering mogelijke doorlooptijd en kosten zijn te realiseren.

Meestal is ook sprake van een uitgebreide test- en vrijgave onderzoek zoals schok- en vibratieproeven en zoutneveltests, in het bijzonder voor defensie producten.

De verschillende vestigingen zijn in bepaalde technieken gespecialiseerd. Zo gebeurt o.a. in Leeuwarden alle elektronica montage, worden in Roden beeld versterkerbuizen gefabriceerd en is de fabricage van optische elementen in Franke in Duitsland geconcentreerd.

De produktiebesturing maakt gebruik van het MRP II systeem; van een hoofd productieplan worden "shop" productieplan en opdrachten tot onderdelen aanmaak afgeleid. Voor de goederenstroombeheersing gebruikt men het logistiek infosysteem Logis. Doel is daarbij zowel voorraden te minimaliseren en kosten te beheersen als een goede leverbetrouwbaarheid te realiseren. De kwaliteitscontrole is al lang gebaseerd op AQAP. Dit strekt zich uit tot zowel bewaking van de produktie en controlerapportage als controle op de aflevercondities, reparatiebegeleiding en opslagcondities.

De mechanische fabricage van de vestiging Delft is opgesplitst in 2 bewerkingsgroepen en heeft daarnaast zowel een lakkerij als een galvanische afdeling. Uiteraard is er ook een afdeling controle. Men leidt zelf fijnmetaalbewerkers op.

Er is een duidelijke ontwikkeling naar CNC bewerken en groepsgewijs fabriceren. Men beschikt over enkele flexibele bewerkingscentra (Wahli). Hiermede realiseert men grotere flexibiliteiten en kortere doorlooptijden. Voor het snijgereedschap is het snelstaal goeddeels vervangen door hardmetaal. Er wordt zeer veel aluminium verwerkt (ca. 80%) en daarnaast RVS, kunststoffen en diverse andere materialen zoals piezo elektrische.

Van de testfaciliteiten konden worden bezichtigd de vibratietestbank en de milieu-beproevingafdeling. Van de stofvrije montage afdeling voor o.a. de nachtzicht- en warmtebeeld appara-

tuur kon via de glazen wanden een goede indruk worden verkregen. Ook de montage van de slokdarmscanner werd getoond.

Al deze montageactiviteiten hebben een typisch atelier karakter, hetgeen bij de aard van de gefabriceerde producten begrijpelijk is.

ir. S. v.d. Graaf
G.J. Verschragen
ir. M. Breuning

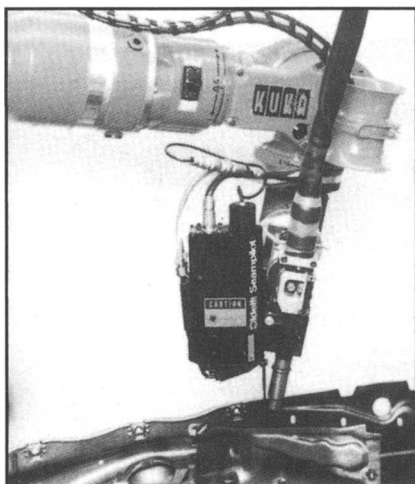
Kwaliteits- certificaat

Op 22 februari ontving Plaatwerkin-
dustrie Thavo te Best als eerste in deze
branche in Nederland het zo zeer be-
geerde kwaliteitscertificaat ISO 9002.

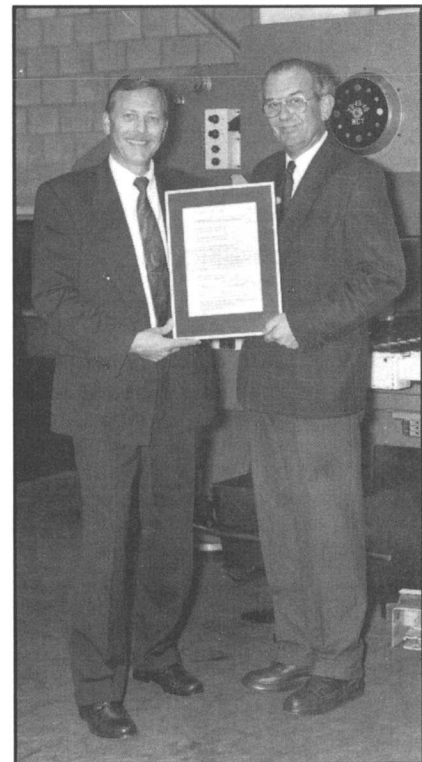
Specialisten in precisie-plaatwerken
Sinds de oprichting van Thavo in 1965
heeft men zich vooral toegelegd op in-
dustriële produktie van fijnmecha-
nisch plaatwerk.

Er wordt uitsluitend gewerkt in op-
dracht van derden, die in hoofdzaak te
vinden zijn in de elektro- en elektro-
nicabranche.

Het specialisme van Thavo is er op
gericht om producten te kunnen leve-
ren, die voldoen aan zeer gedetail-
leerde specificaties op het terrein van
maatvoering en oppervlaktebehande-
ling.



Oldelft Seampilot.



De heren F. Vos en C. v. Rijswijk tonen trots het zo juist ontvangen kwaliteitscertificaat.

Evenals in vorige jaren heeft Technische Uitgeverij De Vey Mestdagh bv, Reisburo Koudijs te Rotterdam verzocht een aantal arrangementen samen te stellen.

In de prijzen zijn behalve vliegtickets van af Amsterdam en hotelaccommodatie, inbegrepen:

- vervoer van Luchthaven naar de Beurs vv en van Beurs naar Hotel vv
- bagagebehandeling
- en gedurende de gehele periode reisbegeleiding ter plaatse



VLIEG MET ONS MEE

8^e EMO

12 t/m 20
september 1989
Messegelände
HANNOVER
ca. 2000 exposanten

Zwaartepunt van de expositie

- Bewerkingscentra
- FMS
- Sensor/diagnostiek
- Elektronische besturing
- NC techniek
- CAD/CAM
- Montage, hantering, industriële robots

NAAAR DE 8^e EMO



2-daagse REIZEN
vertrek op
12/9, 13/9, 14/9, 18/9, 19/9

f 845.-

3-daagse REIZEN
vertrek op
12/9, 13/9, 18/9

f 1070.-

Dagreizen
dagelijks
behalve 16/9 en 17/9

f 450.-

Hotel ROPETER, GÖTTINGEN
Toeslag éénpersoonskamer f 35.- per nacht



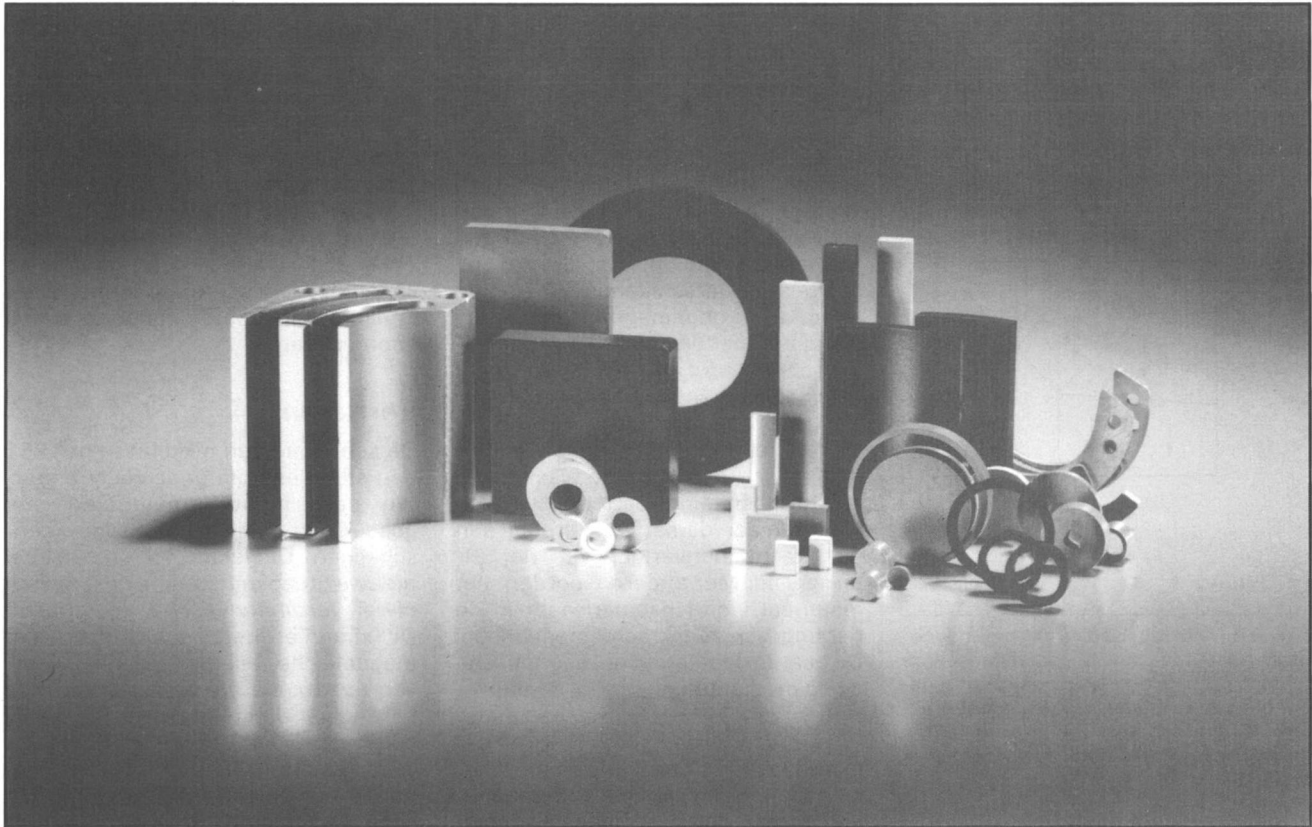
de vey mestdagh

Markt 51 - 4331 LK Middelburg - Tel. 01180-81240 - Fax 01180-81215

Supermagneten uit zeldzame aarden*

NdFeB basis voor krachtigste permanente magneten

D.J.W. Sjobbema.



(Foto: Philips).

Permanente magneten hebben reeds vanaf het prille begin een belangrijke rol gespeeld in de elektrotechniek. Daarbij kunnen we denken aan toepassingen in dynamo's, motoren en relais. Ook in de moderne elektronica wordt dit soort magneten veelvuldig toegepast. Hier ontstond echter in verband met miniaturisatie de behoefte aan kleine krachtige magneten. Conventionele ferromagnetische materialen en legeringen daarvan voldeden niet in voldoende mate aan de gestelde eisen, zodat een ontwikkeling op gang kwam naar sterkere permanente magneten. In het begin van de jaren zeventig leidde dit tot zeer krachtig magnetisch materiaal op basis van legeringen van zeldzame aarden ferromagnetisch materialen, in het bijzonder de samarium/kobalt-legeringen. Verder onderzoek op dit gebied resulteerde in de ontdekking van het krachtigste tot nu toe bekende magnetische materiaal op basis van neodimium/ijzer/borium. Dit artikel geeft een algemene beschouwing over permanente magneten, en gaat vervolgens in op het nieuwe materiaal NdFeB dat thans ook door Philips wordt geproduceerd onder de naam Neodure.

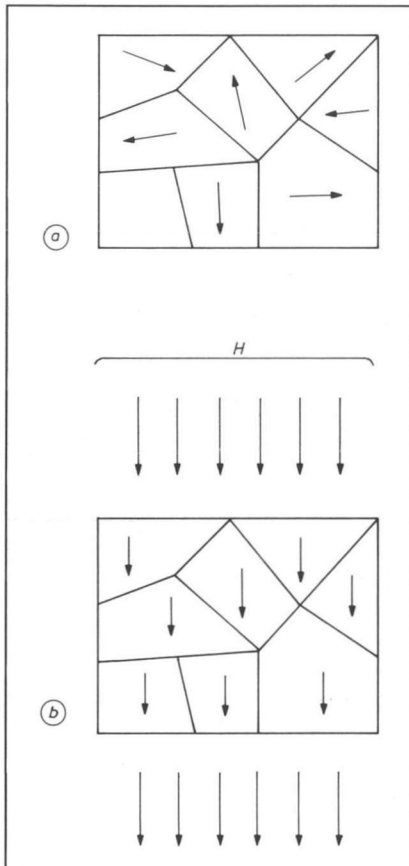
Aan de hand van het gedrag in een extern magnetisch veld kunnen we de materie onderverdelen in *diamagneti-*

sche, paramagnetische en ferromagnetische materialen. Wordt een diamagnetisch materiaal in een magnetisch veld gebracht, bijvoorbeeld in een stroomvoerende spoel, dan veroorzaakt dit een geringe vermindering van de magnetische flux. Tot deze ca-

tegorie behoren onder meer *waterstof, zilver* en *koper*. Zo bedraagt de relatieve permeabiliteit van koper 0,9999. Wordt een paramagnetische stof in een dergelijke spoel gebracht, dan treedt juist een geringe versterking van de magnetische flux op. Tot deze groep materialen behoren onder meer *zuurstof, platina* en *aluminium*. De relatieve permeabiliteit van aluminium bedraagt 1,0023. Uit het bovenstaande blijkt dat de invloed van zowel diamagnetische als paramagnetische stoffen op de magnetische flux eigenlijk verwaarloosbaar is. Immers, de relatieve permeabiliteit μ_r wijkt maar weinig af van één. Verder vertonen deze stoffen geen remanent magnetisme.

Wordt daarentegen een ferromagnetisch materiaal in een stroomvoerende spoel gebracht, dan kunnen we een aanzienlijke versterking van de magnetische flux waarnemen. Dit betekent een grote relatieve permeabiliteit, die echter niet constant is. De

* Dit artikel werd eerder gepubliceerd in het vaktijdschrift "Elektronica", nummer 4, februari 1989.



Figuur 1 Weissgebiedjes in ferro-magnetisch materiaal. In ongemagnetiseerde toestand zijn de domeinen willekeurig georiënteerd (a). Onder invloed van een extern magnetisch veld zijn alle domeinen gericht en is het materiaal magnetisch verzadigd (b).

Tabel 1 Maximale waarde van μ_r voor enkele bekende ijzersoorten.

materiaal	$\mu_{r(max)}$
carbonylijzer	19000
vloeistaal	14800
elektrolytisch ijzer	14600
dynamoblik	6200
gietijzer	600

bekendste ferromagnetische materialen zijn *ijzer*, *nikkel* en *kobalt*. Tabel 1 geeft de maximale waarde van μ_r van enkele bekende ijzersoorten. Hoe is dit gedrag te verklaren? In een atoom bewegen de elektronen zich in bepaalde banen om de kern. De als kringstroompjes op te vatten elektronenbanen zijn volgens de atoomfysica echter niet de oorzaak van het magnetisme. Het zijn de om een eigen as draaiende elektronen zelf die er oorzaak van zijn, want door deze draaiende beweging ("spinning") bezit het

elektron een magnetisch dipoolmoment. Elk elektron gedraagt zich zodoende als een elementair magneetje. Bij de meeste stoffen is de draairichting van de elektronen willekeurig zodat de magnetische dipoolmomenten elkaar naar buiten toe opheffen.

Bij de ferromagnetische materialen vertonen daarentegen de elektronenspins plaatselijk de neiging om zich evenwijdig te oriënteren als gevolg van een atomaire wisselwerking. Hierdoor ontstaan domeinen waarin de magnetische dipoolmomenten dezelfde richting hebben en elkaar zodoende versterken (hypothese van *Weiss*). Metalen bezitten een kristalstructuur, zodat de domeinen zijn te beschouwen als subkristallijne deeltjes van verschillende afmetingen en vorm. In ongemagnetiseerde toestand zijn hier de domeinen willekeurig georiënteerd, zie *figuur 1a*, zodat de dipoolmomenten elkaar opheffen.

Wordt het materiaal in een extern magnetisch veld gebracht waarvan de sterkte toeneemt, dan richten zich steeds meer domeinen parallel aan het krachtlijnenverloop van het externe veld. Met andere woorden: het materiaal wordt gepolariseerd in de richting van het krachtlijnenverloop. Dit gaat zo door totdat de magnetische dipoolmomenten van alle domeinen zijn gericht, zie *figuur 1b*. Het materiaal is dan *verzadigd*. Wordt het externe magnetische veld uitgeschakeld, dan keren bij veel ferromagnetische materialen de meeste dipoolmomenten van de domeinen weer terug tot de oorspronkelijke toestand, zodat de polariteit weer geheel of nagenoeg geheel verdwijnt. Materialen met deze eigenschap worden aangeduid als *zachtmagnetisch* en onder meer toegepast bij elektromagneten en transformatoren.

Bij bepaalde ferromagnetische materialen blijven de magnetische dipoolmomenten ook na het uitschakelen van het externe magnetische veld in sterke mate gericht. Deze materialen noemt men *hardmagnetisch*. Hoe gemakkelijk een ferromagnetisch materiaal magnetiseerbaar is, hangt, evenals de mate waarin het magnetisch blijft na het uitschakelen van het externe veld, af van de kristalstructuur. Hoe krachtiger het externe veld dat nodig is om het materiaal te magnetiseren, des te minder hebben de domeinen de neiging terug te keren tot de oorspronkelijke toestand en des te groter is de resterende polariteit. Deze restpolariteit wordt aangeduid als *remanent magnetisme*. Tijdens het magnetiseren vindt dus een omzetting

plaats van elektrische energie, geleverd door de stroom die het externe magnetische veld opwekt, in een vorm van potentiële energie. Hierdoor is de magneet in staat zonder toevoering van nieuwe energie een magnetisch veld in stand te houden.

Reeds in de vorige eeuw werd ontdekt dat het legeren van ferromagnetische stoffen met diamagnetische en/of paramagnetische stoffen, hoewel die zelf geen remanent magnetisme bezitten, een aanzienlijke vergroting van het remanente magnetisme kan opleveren. Een bekende legering die in de jaren dertig door Philips werd vervaardigd, is *Ticonal*. Dit materiaal bestaat uit titanium, kobalt, nikkel en aluminium. Later werden ook nog ijzer en koper toegevoegd, waardoor nog weer krachtiger magneten konden worden geproduceerd.

Ferrieten

De schaarste aan nikkel was in 1951 een stimulans om onderzoek te starten naar nieuwe materialen met goede permanent-magnetische eigenschappen. Dit leidde tot een geheel nieuwe groep materialen, de *ferrieten* ofwel *ferrimagnetische materialen*. Dit zijn niet-metallieke stoffen met magnetische eigenschappen, waarvan *ferroxcube* en *ferroxdure* wel de bekendste zijn. Tegenover de voordelen van de ferrieten ten opzichte van de ferromagnetische stoffen, staat het nadeel van een relatief lage magnetische verzadiging. Ruw genomen is deze drie maal zo klein als die van metalliek ijzer. Volgens *Néel* is dit een gevolg van het feit dat de domeinen van een ferriet zijn opgebouwd uit zowel parallel als antiparallel ingestelde magnetische dipolen. Hierdoor blijft een kleiner resulterend dipoolmoment over.

Ferroxcube

Ferroxcube is een ferriet met een kubische kristalstructuur, bestaande uit een verbinding van Fe_2O_3 en een oxyde van een tweewaardig metaal, bijvoorbeeld ZnO , MnO of NiO (enkelvoudige ferrieten). Er zijn echter ook samengestelde ferrieten met mengkristallen van de enkelvoudige ferrieten, zoals $MnZn$ -ferriet en $NiZn$ -ferriet. Ferroxcube is zachtmagnetisch. Hysteresisverliezen zijn bij dit materiaal laag, terwijl als gevolg van de hoge specifieke weerstand ook slechts geringe wervelstroomverliezen optreden.

Ferroxdure

Ferroxdure is daarentegen een hardmagnetisch materiaal met $(BaFe)_{12}O_{19}$

als hoofdbestanddeel. De mengkristallen zijn hexagonaal waarbij de kristal-as een voorkeursrichting voor magnetisatie vertoont. Dit laatste is de oorzaak van de grote coërcitieve veldsterkte.

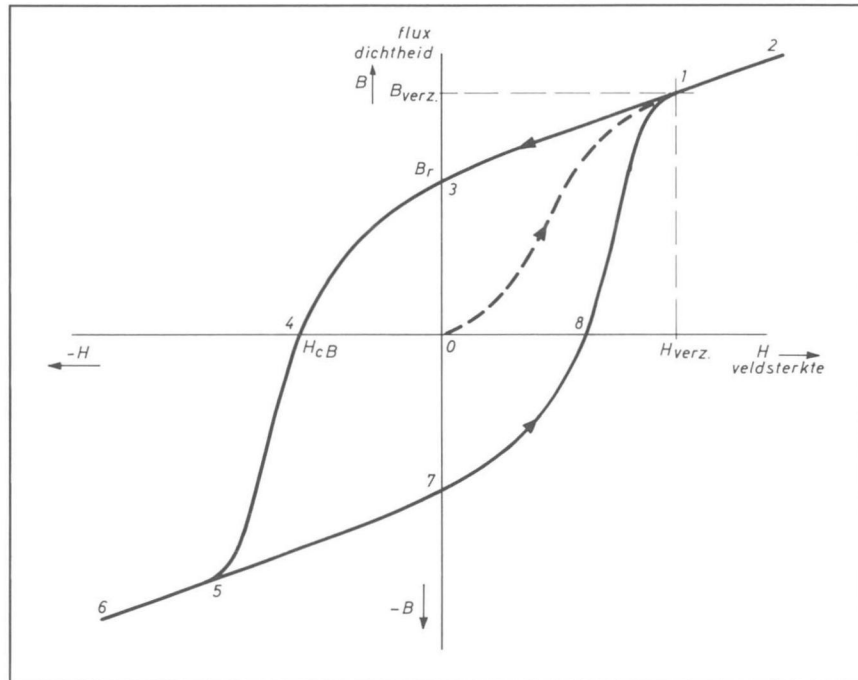
Zeldzame aarden

Met de opkomst van de micro-elektronica ontstond de vraag naar magneetsystemen van drastisch gereduceerde omvang. Dit luidde de ontwikkeling in van nog kleinere en dus krachtigere magneten. Het onderzoek richtte zich nu vooral op intermetallieke mengsels van zeldzame aarden en ferromagnetische materialen. Ook hier is evenals bij de ferrieten weer sprake van keramisch materiaal.

De groep zeldzame aarden bestaat uit zeventien elementen. Het zijn scandium (atoomnummer 21), yttrium (39) en de vijftien elementen van de lanthaanreeks (57 t/m 71) waaronder samarium (62) en neodymium (60). In het begin van de jaren zeventig kwamen de eerste permanente magneten op basis van samarium en kobalt (SmCo_5) beschikbaar. Verdere ontwikkelingen leidden tot nog krachtigere magneten op basis van $\text{Sm}(\text{Co,Cu,Fe,TM})_{7-8}$, waarbij TM kan bestaan uit Zr, Ti of Hf. Reeds in 1975 werd dit soort magneten op grote schaal toegepast, zowel in de professionele sector als in de consumentenfeer. In 1983 maakte de Japanse fabrikant *Sumitomo Special Metals* melding van *Neomax 35*, een geheel nieuw intermetalliek mengsel op basis van neodymium, ijzer en borium ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$). Het gaat daarbij om het krachtigste permanent-magnetische materiaal dat thans bekend is en dat nu ook door Philips wordt geproduceerd onder de naam *Neodure*. Dank zij de zeer goede magnetische eigenschappen leent dit materiaal zich in het bijzonder voor magneetsystemen in applicaties die een zeer grote magneetsterkte dan wel een zeer klein volume vereisen. Kenmerkend zijn daarbij het grootst bekende maximale energieproduct $(BH)_{\text{max}}$ en de zeer grote polarisatiecoërcitiviteit ($H_{c,i}$).

Extrinsieke hysteresislus

Het gedrag van ferromagnetisch materiaal wordt in grote trekken bepaald door de relatie tussen de sterkte van het externe magnetische veld H en de magnetische fluxdichtheid (magnetische inductie) B , die daarvan een gevolg is. Alle mogelijke combinaties tussen B en H worden weergegeven in de BH -karakteristiek (extrinsieke hysteresislus), die betrekking heeft op een



Figuur 2 De extrinsieke hysteresislus geeft de relatie weer tussen de veldsterkte H en de fluxdichtheid B voor een volledige magnetiseer/demagnetiseer-cyclus.

complete magnetiseer/demagnetiseer-cyclus, zie *figuur 2*. Indien de magnetische veldsterkte vanaf nul wordt opgevoerd, zal ook de magnetische fluxdichtheid toenemen. In dit geval wordt de relatie tussen beide magnetische grootheden weergegeven door de kromme 0-1 (uitgaande van niet-gemagnetiseerd materiaal). Een stijging van H veroorzaakt dus een niet-rechtevenredige toeneming van B . Uit de relatie $B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H$ volgt dan automatisch dat μ_r geen constante waarde heeft. Bij punt 1 zijn alle domeinen gericht en is het materiaal magnetisch verzadigd. Verdere toeneming van H resulteert dan in een toenemende B , waarbij:

$$\frac{\Delta B}{\Delta H} = \mu_0 \quad (\mu_r = 1)$$

zodat het verloop 1 ... 2 recht is.

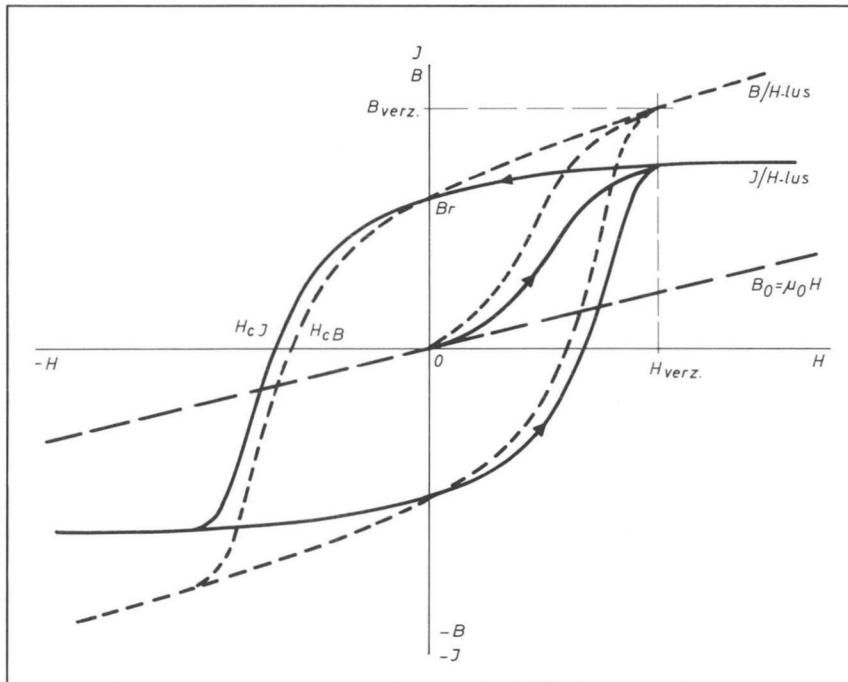
Wordt de sterkte van het externe veld vervolgens kleiner, dan verloopt de relatie tussen B en H volgens de lijn 2-1-3 en bereikt het punt 3 indien $H = 0$. Het remanente magnetisme wordt gevormd door de fluxdichtheid die dan aanwezig blijft, aangegeven met B_r . Hoe krachtiger het magnetische veld dat nodig is om het materiaal te magnetiseren, des te minder hebben de domeinen de neiging om terug te keren tot de oorspronkelijke toestand en des te groter is het remanente magnetisme. Vergroting van H , maar nu in de tegengestelde richting veroorzaakt een verloop van de BH -kromme volgens de lijn 3-4. Dit is de

demagnetiseercharacteristiek ofwel het tweede kwadrant van de cyclus. De veldsterkte waarbij de fluxdichtheid in het materiaal nul wordt, het punt 4, wordt aangeduid als de *coërcitiviteit* en aangegeven met H_{cB} . De coërcitiviteit van het materiaal is een maat voor de magnetische hardheid.

Een verdere vergroting van H drijft de kromme in het derde kwadrant (lijn 4-5-6) tot verzadiging in de tegengestelde richting. Wordt H wederom verkleind, dan wordt punt 7 bereikt waarbij remanentie in tegengestelde richting optreedt. ($H = 0$). Het derde kwadrant is zodoende het spiegelbeeld van het eerste kwadrant. Evenzo is het vierde kwadrant het spiegelbeeld van het tweede kwadrant. De volledige hysteresislus is belangrijk voor zachtmagnetische materialen waarbij het materiaal gewoonlijk wordt blootgesteld aan snel wisselende magnetische velden, zoals bijvoorbeeld transformator-kernen. De coërcitiviteit draagt daarbij slechts enkele A/m , terwijl B_r gering is. Voor hardmagnetische materialen is de demagnetiseercharacteristiek (tweede kwadrant) het belangrijkste. In het bijzonder geldt dit voor applicaties waarbij externe magnetische velden optreden, zoals bij elektromotoren en luidsprekers.

Intrinsieke hysteresislus

In de extrinsieke hysteresislus is de fluxdichtheid B gelijk aan de algebraïsche som van de magnetische polarisatie J en de fluxdichtheid B_r , veroor-

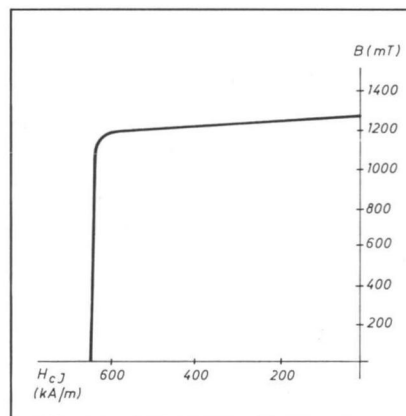


Figuur 3 Extrinsicke BH -lus en bijbehorende intrinsieke JH -lus te zamen afgebeeld.

zaakt door het externe magnetische veld, zodat:

$$B = B_0 + J = \mu_0 H + J$$

De polarisatie J wordt wel aangeduid als de *intrinsieke fluxdichtheid*. Indien J wordt uitgezet als functie van H , zie *figuur 3*, wordt het effect van B_0 niet in rekening gebracht. De karakteristiek die dan wordt gevormd staat bekend als de intrinsieke hysteresislus. Bij verzadiging verloopt de J/H -karakteristiek evenwijdig aan de H -as (J verandert niet meer). Wordt het externe magnetische veld teruggebracht tot nul, dan is de polarisatie J gelijk aan de remanente fluxdichtheid B_r . Dit punt hebben de extrinsieke en intrinsieke BH -karakteristieken dus gemeen. De extrinsieke coërcitiviteit H_{cB} reduceert de totale fluxdichtheid tot nul. De intrinsieke coërcitiviteit H_{cJ} heeft betrekking op de veldsterkte die nodig is om de polarisatie teniet te doen en is zodoende groter dan H_{cB} . *Figuur 4* toont de intrinsieke demagnetiseerka-



Figuur 4 Demagnetiseer karakteristiek van NdFeB. Opvallend zijn hier de zeer hoge waarden van het remanente magnetisme en H_{cJ} .

rakteristiek (tweede kwadrant) van een NdFeB-magneet.

De energie-inhoud

Voor het magnetiseren van hardmagnetische materiaal is energie nodig,

geleverd door de elektrische stroom die het externe magnetische veld opwekt. Als gevolg van deze energie worden de domeinen gericht en treedt polarisatie op. Het materiaal is hierdoor in staat om een magnetisch veld in stand te houden zonder dat het externe veld aanwezig is. De toegevoerde elektrische energie is dus omgezet in magnetische energie (een vorm van potentiële energie), waarvan de grootte wordt bepaald door de veldsterkte H en de bijbehorende magnetische inductie B . De energie-inhoud komt zodoende tot uitdrukking in het BH -produkt. De dimensie van H is $A \cdot m^{-1}$; die van B is $V \cdot s \cdot m^{-2}$ zodat de dimensie van het BH -produkt gelijk is aan:

$$A \cdot m^{-1} \cdot V \cdot s \cdot m^{-2} \triangleq J \cdot m^{-3}$$

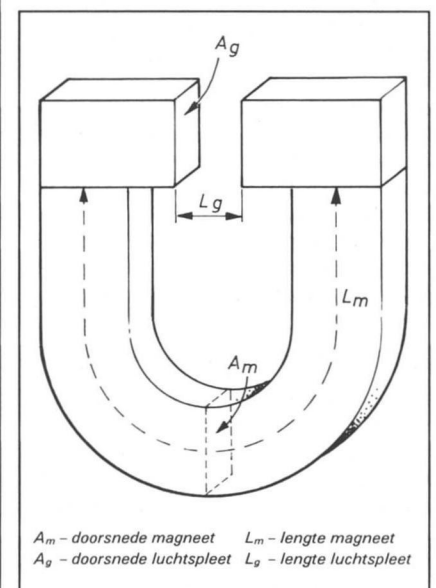
De maximale energie-inhoud van hardmagnetische materialen $(BH)_{max}$ wordt gewoonlijk gepubliceerd in kJm^{-3} . In tabel 2 zijn de belangrijkste magnetische gegevens van enkele recente hardmagnetische materialen vermeld.

Curietemperatuur

Bij de curietemperatuur verliest ferromagnetisch materiaal nagenoeg de gehele polarisatie. Deze temperatuur is altijd lager dan de smelttemperatuur. Zo bedraagt de curietemperatuur van Alnico 890 °C, van SmCo 720 °C en van NdFeB 585 °C.

Permanente magneet met luchtspleet

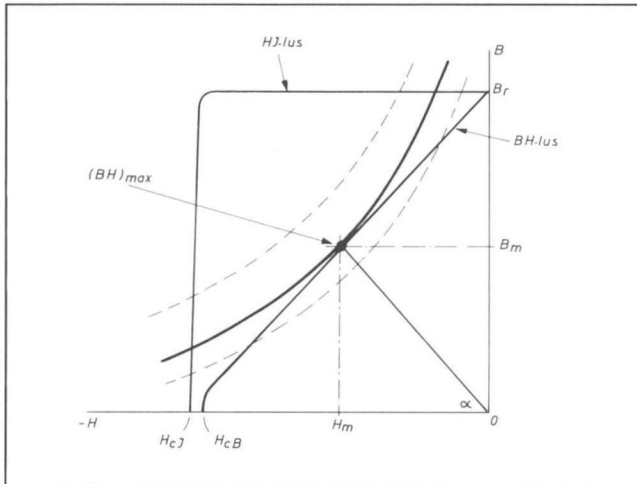
Permanente magneten dienen in het algemeen voor het opwekken van een magnetisch veld in een luchtspleet.



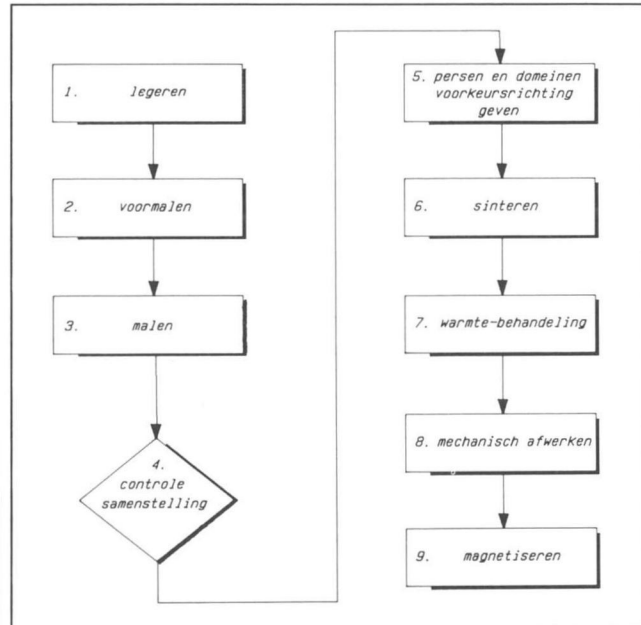
Figuur 5 Eenvoudig magneetsysteem met luchtspleet.

Tabel 2 Belangrijkste magnetische gegevens van enkele recente hardmagnetische materialen.

materiaal	fabrikant	samenstelling	$(BH)_{max}$ (kJm^{-3})	B_r (T)	H_{cJ} (kA/m)	H_{cB} (kA/m)
RES190	Philips	SmCo	154	0,89	> 1100	668
REC26	TDK	SmCoFeCuZr	215	1,08	> 800	796
Neomax 35 Neodure	Sumitomo Philips	NdFeB	279	1,22	995	891
Ferroxdure 380	Philips	SrFeO	28,5	0,39	275	265



Figuur 6 Bepaling van maximale energie-inhoud en werklijn in het tweede kwadrant van de BH-lus. Werklijn en werkpunt dient men zodanig te kiezen dat het produkt van B en H zo groot mogelijk is. In de praktijk kiest men het werkpunt vaak hoger om te voorkomen dat bij externe magneetvelden de demagnetiserende veldsterkte zo groot wordt dat het werkpunt voorbij de knie in de HJ -karakteristiek komt. In dat geval wordt immers een deel van het remanente magnetisme vernietigd.



Figuur 7 Schema van de voornaamste fabricagestappen van NdFeB-materiaal.

Toepassingsvoorbeelden hiervan zijn luidsprekers, relais, draaispoelmeters en elektromotoren. Hoe kan in zo'n luchtspleet een zo krachtig mogelijk magnetisch veld worden opgewekt? In **figuur 5** is een dergelijk magneetsysteem afgebeeld. Indien wordt aangenomen dat geen verliezen optreden, is de magnetische flux in de magneet even groot als in de luchtspleet, zodat:

$$\Phi = B_m \cdot A_m = B_g \cdot A_g = \mu_0 \cdot H_g \cdot A_g \quad (1)$$

De elektromotorische kracht F_m over

de magneet is dezelfde als die over de luchtspleet, zodat:

$$F_m = H_m \cdot L_m = H_g \cdot L_g \quad (2)$$

Uit (1) volgt:

$$A_m = \frac{\mu_0 \cdot H_g \cdot A_g}{B_m} \quad (3)$$

Uit (2) volgt:

$$L_m = \frac{H_g \cdot L_g}{H_m} \quad (4)$$

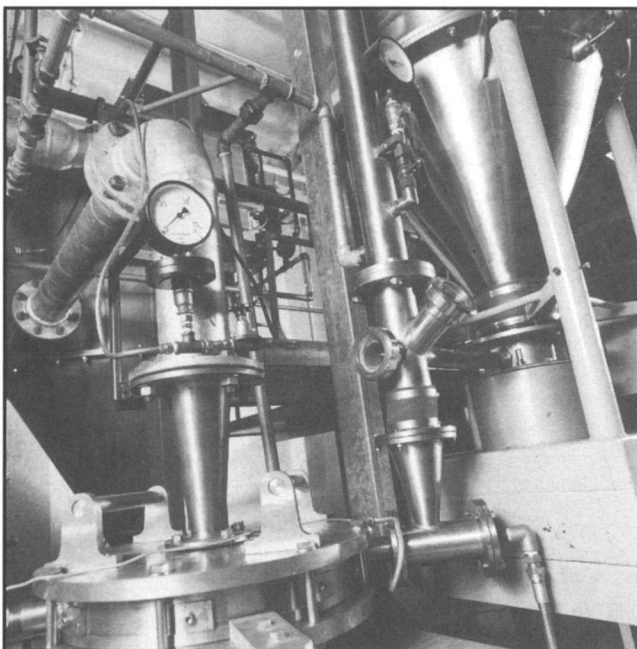
Vermenigvuldiging van (3) en (4) geeft:

$$A_m \cdot L_m = \frac{\mu_0 \cdot H_g^2 \cdot A_g \cdot L_g}{B_m \cdot H_m} \quad (5)$$

Uit deze relatie volgt dat het magneetvolume $A_m \cdot L_m$ minimaal is indien het energieprodukt $B_m \cdot H_m$ maximaal is. Substitutie van (2) in (1) levert:

$$\frac{B_m}{H_m} = \frac{A_g \cdot L_m}{A_m \cdot L_g} = \text{tg} \alpha \quad (6)$$

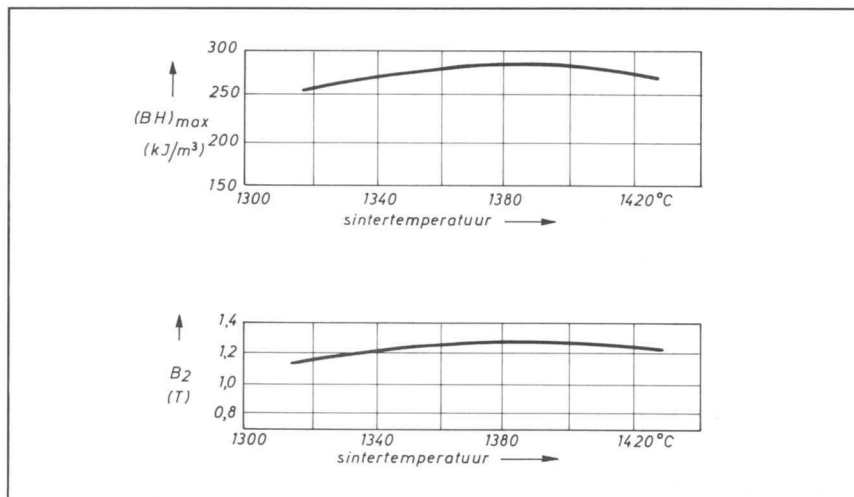
Bij het ontwerp van een dergelijk



In de beginfase van het fabricageproces van Neodure wordt een vacuüm inductie-oven toegepast, die door uitgloeijing waterstof uit de legering verwijdert (foto: Philips).



Neodure-poeder wordt onder invloed van een magnetisch veld in de gewenste vorm geperst, waardoor de domeinen een magnetische voorkeursrichting krijgen (foto: Philips).



Figuur 8 De maximale energie-inhoud en het remanente magnetisme van NdFeB als functie van de sintertemperatuur.

magneetsysteem wordt het maximale (BH) -produkt bepaald. Hiertoe worden in het tweede kwadrant lijnen getekend met een constant BH -produkt (in *figuur 6* de streepjes-lijnen). De lijn die de BH -karakteristiek raakt, levert het maximale (BH) -produkt, dat dan als werkpunt wordt gekozen. De lijn tussen $(BH)_{max}$ en nulpunt is de werklijn.

De hoek α tussen de werklijn en de H -as bepaalt dan de kleinste afmetingen van het magneetsysteem volgens (6). Tegenwoordig wordt gewoonlijk voor het exact bepalen van de afmetingen van het magneetsysteem een CAD-programma toegepast, dat ook de fluxverliezen in luchtspleet en magneet in de berekening betreft.

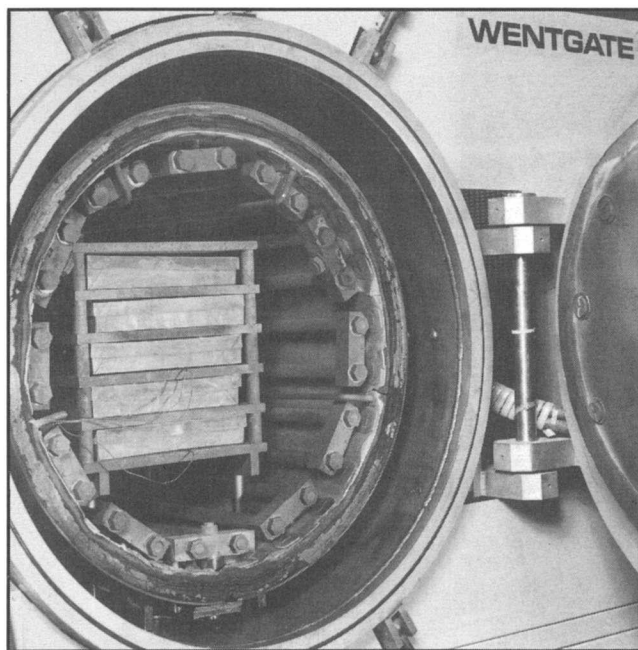
Fabricage van NdFeB-materiaal

Permanente magneten van zeldzame aarden en ferromagnetische materialen bestaan, evenals ferrieten, uit functiekeramiek. In *figuur 7* zijn de belangrijkste fabricagestappen weergegeven. Het proces omvat in grote trekken het vervaardigen van de vereiste legering, voormalen, malen, materiaalcontrole, persen in de gewenste vorm, sinteren, slijpen en als laatste het magnetiseren. Magnetisatie moet zoveel mogelijk na montage plaatsvinden. Niet alleen zijn magneten in ongemagnetiseerde toestand gemakkelijker te transporteren en te verwerken, maar ook wordt zo voorkomen

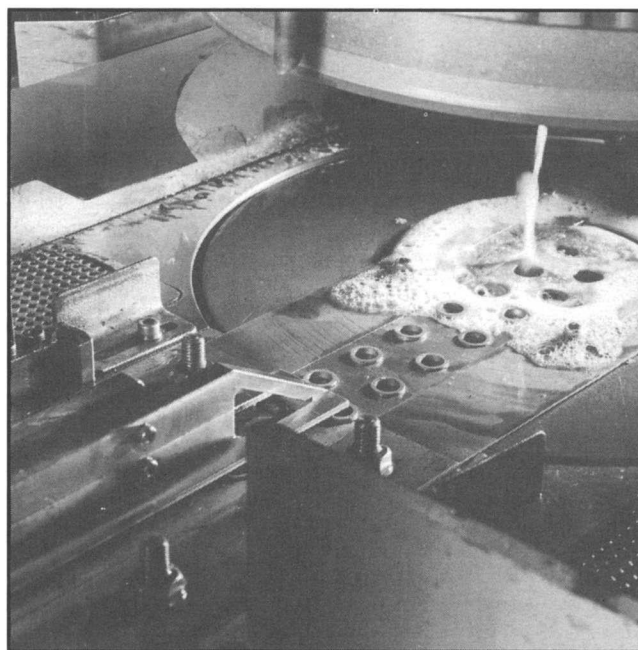
dat ze ijzerdeeltjes aantrekken, die nagenoeg niet meer zijn te verwijderen.

Het fabricageproces is vrij gecompliceerd, zodat we hier alleen de hoofdlijnen vermelden. Tijdens de eerste fase, het vervaardigen van het intermetallieke mengsel, dient men oxydatie door O_2 en H_2O tot een minimum te reduceren. Aan dit probleem dient men bijzondere aandacht te besteden. Ten eerste wordt de legering FeB geproduceerd in een atmosfeer van argon. Dit vindt plaats in een vacuüm inductie-oven. Na ontgassing wordt dan het Nd bijgevoegd. Het aldus verkregen materiaal wordt vervolgens in een hamermolen tot deeltjes kleiner dan $500 \mu m$ verwerkt. Dit gebeurt in een stikstofatmosfeer. Tijdens de volgende fabricagestap vindt het eigenlijke malen in een kogelmolen plaats. Het poeder wordt daarbij in een atmosfeer van edelgas vermengd met een organische vloeistof. Na het malen wordt het poeder gedroogd in vacuüm. Kritische parameters gedurende deze processen zijn de afmetingen en de kristalstructuur van de poederdeeltjes en de mate van oxydatie.

In de volgende processtap wordt het materiaal in de gewenste vorm geperst. Hierbij is een magnetisch veld werkzaam, dat een bepaalde voorkeursrichting van de domeinen veroorzaakt. Vervolgens vindt het sinteren plaats, waarbij een goed gedefinieerde temperatuur nodig is, opdat het materiaal een grote dichtheid verkrijgt (groter dan 95% van de theo-



Zowel het sinterproces als de thermische nabehandeling vinden plaats in speciale vacuümovens. foto: Philips).



Slijpen van gesinterde magneten. Waar de afwerking van de magneten zeer geringe toleranties vereist, wordt gebruik gemaakt van slijpstenen met diamantbekleding (foto: Philips).

retische dichtheid) en zodoende geen poreusheid vertoont, wat zou kunnen leiden tot oxydatie en veroudering. *Figuur 8* toont de energie-inhoud en het remanente magnetisme als functie van de sintertemperatuur. Na het sinteren wordt het materiaal nog ongeveer één uur verwarmd onder een temperatuur van circa 900 °C. Door slijpen wordt de magneet vervolgens op de juiste afmetingen gebracht waarna magnetisatie plaatsvindt in de voorkeursrichting.

Magnetische vloeistoffen

Ferromagnetische materialen verliezen hun magnetische eigenschappen boven de curietemperatuur, die altijd lager is dan de smelttemperatuur. Dit betekent dat een zuiver magnetische vloeistof niet kan bestaan. Het is ech-

ter wel mogelijk om ferromagnetische materialen zeer fijn te malen en de deeltjes in een zogenaamde drager-vloeistof (bijvoorbeeld paraffine of toluene) te brengen, waardoor een stabiele colloïdale oplossing ontstaat die bepaalde ferromagnetische eigenschappen vertoont. In tegenstelling tot vastestofmagneten vertonen magnetische vloeistoffen geen hysteresis. Ze zijn superparamagnetisch en vertonen een zogenoemde oppervlakte-onstabiliteit bij blootstelling aan een homogeen magnetisch veld waarvan de krachtlijnen loodrecht op het vloeistofoppervlak staan. Er ontstaat dan een regelmatig patroon van scherpe met vloeistof gevulde pieken.

Verdere ontwikkeling

Voortgaand onderzoek is gericht op

twee aspecten, te weten verhoging van de relatief lage curietemperatuur en vergroting van H_{cJ} . Wat het eerste aspect betreft, hebben experimenten reeds aangetoond dat een vervanging van 10% Fe door Co resulteert in een verhoging van de curietemperatuur van 585 °C naar 671 °C. Eveneens volgde uit experimenten dat toevoeging van bepaalde elementen zoals Ti, Mo, Zr of Tb een vergroting van H_{cJ} oplevert.

Literatuur

- [1] Philips Elenco Bulletin nummer 112, juni 1982.
 [2] "The physical metallurgy and processing of sintered rare earth permanent magnets", Elsevier Sequoia S.A., Lausanne.

The Integrated European Course in Mechatronics

Onder bovenstaande titel wordt in de loop van 1989 in het kader van het programma Comett (Community Action Programme in Education and Training for Technology) van de Europese Gemeenschap een vijftal symposia gehouden.

Het eerste, onder de titel Mechatronic Approach to Production Technology, heeft bij het verschijnen van dit nummer van Mikroniek inmiddels van 10 t/m 14 april in Aken plaatsgehad. De nog te houden symposia zijn de volgende:

- Control Engineering and Robotics
5-9 juni in Leuven
Onderwerpen:
Digital Control Systems
Robotics
Software for Real Time Control
Advanced Applications of CAD in Mechanical Engineering
Technical Visits
Docenten:
prof.dr.ir. H. van Brussel
dr.ir. J. de Schutter
dr.ir. A. Barbé
prof.dr.ir. J.P. Kruth
prof.dr.ir. P. Verbaeten
- Automated Manufacturing and Inspection
3-7 juli in Londen (Uxbridge, Middlesex)
Onderwerpen:
Advanced Manufacturing Technology

Flexible Manufacturing Cells
Automated Inspection
Mechatronic trends in Flexible Automation
Industrial Visits

Docenten:

Van BCMM, Londen:
prof. B.E. Jones
dr. C. Butler
dr. C. Clark
dr. B. Wilkie
Van AMT Centre, Dublin:
mr. P. Connolly
mr. T. McDermott
dr. W. O'Connor

- Integrated Product Development
4-8 september in Lyngby, Denemarken

Onderwerpen:

The Mechatronics Development Organization
The Mechatronics Development Project
The Mechatronics Designer
Reliability and Maintainability in Mechatronics
Mechatronics design for modern production
Production aspects of mechatronic products
Visit to Bang & Olufsen A/S

Docenten:

M.M. Andreasen
prof. C. Boe
F. Fabricius
L. Hein
F. Jensen
K. Meyer
O. Ploug
plus gast sprekers van Bang & Olufsen, Danfoss en Husqvarna

- Precision Engineering

25-29 september in Cranfield, U.K.
Onderwerpen o.a.:

Displacement measurement
Optical techniques in metrology
Survey of high-performance actuators
Precision transducers
Mechanical design for high precision
Form measurement
Thermal metrology
Docenten:
prof. J.M. Burch
dr. A.E. Gee
prof. J. Dinsdale
prof. P.A. McKeown
prof. R.C. Spragg
W.J. Wills-Moreen
plus gast sprekers

De kosten van deelname bedragen per persoon:

- voor 1 symposium 900 ECU
- bij deelname aan 2 of meer 750 ECU per symposium

Voor inlichtingen over de programma's alsmede opgave voor deelname wende men zich tot:

- K.U. Leuven, Dept. of Mechanical Engineering
Mevr. L. Notré
Celestijnenlaan 300B, B-3030 Leuven, Belgium
Telefoon: +32-16-286211 ext. 2480
- Cranfield Institute of Technology, College of Manufacturing
Prof. J. Dinsdale
Cranfield, Bedford MK43 0AL, England
Telefoon: (0234) 752758

BOEKENNIEUWS:

Applied Photographic Optics

Focal Press
Borough Green, Sevenoaks
Kent TN 15 8 PH
Groot Brittannië
Sidney Ray
ISBN 0-240-51226-X
Prijs: £ 60.00

Bij de uitgeverij Focal Press is het boek Applied Photographic Optics verschenen. De auteur, Sidney Ray, is in het Verenigd Koninkrijk een autoriteit op het gebied van de (fotografische) optica.

Het verschijnen van een dergelijk handboek op dit gebied is een zeer grote aanwinst; het is een zeer boeiende en nagenoeg alles omvattende vervanging van alle "oude" bestaande handboeken. Bovendien beperkt zich de inhoud niet tot uitsluitend de doelgroep die met optica bezig is uit hoofde van zijn of haar fotografische werkzaamheden. Het gehele gebied van de optica wordt namelijk zodanig behandeld dat ook zij die optische componenten gebruiken in de fijnmechanische techniek meer dan in welk ander boek aan hun trekken komen. Daarbij maakt het weinig verschil uit of de optiek gebruikt wordt in meet- en proefopstellingen of daadwerkelijk voor een (fotografisch) functionele toepassing. Zoals reeds gezegd, het boek is een nagenoeg alles omvattend werk en geeft een benadering van de materie die werkelijk up to date is.

Bij het fotografische deel gaat het over de traditionele optische systemen, maar ook over de optica van videosystemen, autofocus optieken, infrarood objectieven. Zelfs onderwater-systemen worden behandeld. Verder komen ook "moderne" optische componenten aan de orde, zoals fibers, holografie en nog zoveel meer wat elders slechts zeer verspreid verschenen is.

Iemand die sterk in optica geïnteresseerd is zal dit boek met rode oortjes, tot diep in de nacht lezen.

Het boek telt maar liefst 69 hoofdstukken met in totaal 526 pagina's en bevat meer dan 1000 figuren. De pagina's zijn van groot formaat (190 x 245 mm) waarop de tekst in twee kolommen is afgedrukt. In eerste instantie lijkt het erg groot en zwaar uit te vallen. Zou het boek op de traditionele wijze zijn uitgebracht, met een enkele kolom en een afmeting van 150 x 225 mm en dan ook nog een meer gebruikelijke letterhoogte, dan waren meer dan 1000 pagina's nodig geweest. Met meer delen als gevolg, wat werkelijk zonde zou zijn geweest omdat alles tussen twee kaften toch wel zijn voordelen heeft.

Het boek is zeer goed gestructureerd. De inhoudsopgave is zeer goed gespecificeerd, zelfs in de subhoofdstukken (in totaal 303). Dit maakt het mogelijk het hoofdstuk dat de lezer nodig heeft onmiddellijk te vinden. Bovendien heeft het boek een uitstekende index, die ongeveer 1300 trefwoorden telt met in totaal ongeveer 2500 verwijzingen!

Door het hele boek heen geeft de auteur een prettige, eenvoudige en toch zeer doeltreffende beschrijving van de werking van het licht bij alle behandelde onderwerpen.

Het eerste gedeelte behandelt de eigenschappen van licht, het principe

van de beeldvorming en welke optische componenten er zijn. Ook worden afbeeldingsfouten en de mogelijkheid om ze te corrigeren besproken. Wat dit laatste betreft vind ik persoonlijk dat dit iets te mager is behandeld, maar het kan zijn dat ik als afbeeldingsfoutenmaniak voorbelast ben.

Ook aan de orde komen het focusseergebied, scherptediepte (werkgebied). Door het hele boek is nagenoeg uitsluitend gewerkt met het geometrisch optische model, met als uitzonderingen daar waar het niet anders kon. Een voorbeeld hiervan is de werking van diëlektrische dunne lagen. Hierbij is het niet mogelijk de werking uit te leggen zonder het licht als golfverschijnsel te behandelen. De enige andere uitzondering is een voorbeeld van de beeldanalyses, waarbij gebruik is gemaakt van het Fourier model.

In het tweede gedeelte wordt begonnen met een uitgebreid overzicht van de ontwikkeling van de fotografische lenzen. Dit overzicht wordt tevens benut om aan te geven hoe de diverse ontwerpen getypeerd worden.

Na een behandeling van de algemene eigenschappen van objectieven worden deze in groepen onderverdeeld die op dit moment gebruikelijk zijn.

Daarbij wordt niet de beperking gemaakt tot de zuiver fotografische

sector, maar komen ook objectieven voor luchtcartering en objectieven met zeer specialistische toepassing, zoals voor UV- en IR-fotografie, aan de orde.

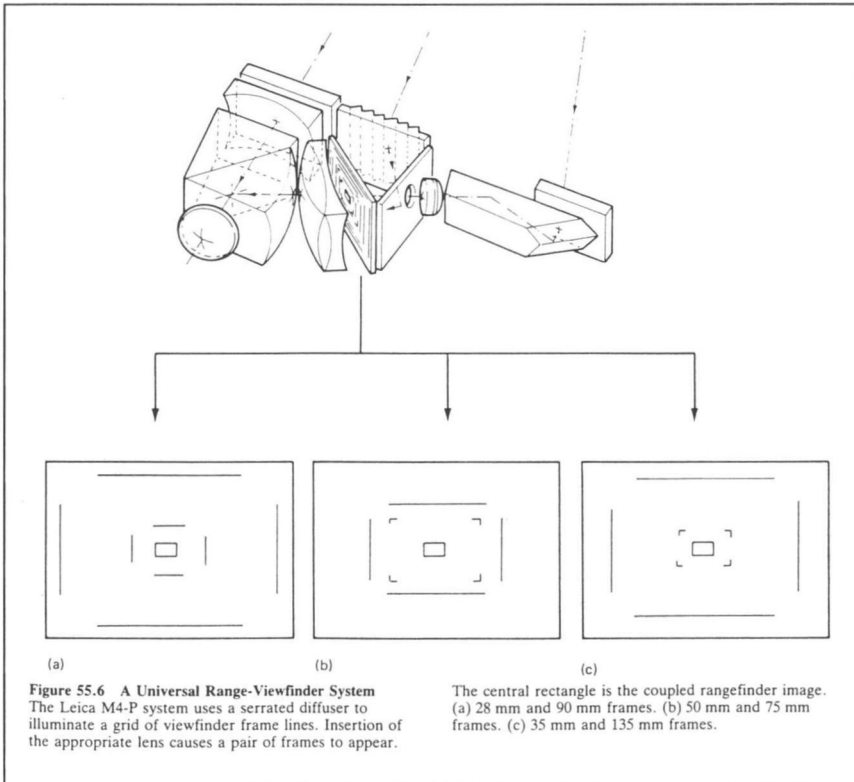
Het derde gedeelte is voor ons als fijnmechanici voornamelijk van informatieve waarde. Dit gaat onder meer over zoekers, stereofotografie, belichtingsmeters, etc. Wel voor ons interessant is hierin de behandeling van kopieerobjectieven en scanning-optiek.

Zoals reeds in de inleiding werd gezegd is dit waarschijnlijk een van de meest uitgebreide boeken op het gebied van de fotografische optica dat ooit is verschenen. Het geeft de indruk dat alles is behandeld. Hiaten heb ik niet kunnen ontdekken. Hoewel? Als je een boek schrijft over fotografische optiek, dan ben ik van mening dat je toch iets verder moet kijken dan de optiek van alledag. Wat niet of nauwelijks behandeld wordt zijn bijvoorbeeld astronomische systemen, röntgensystemen (gazing angle systems), e.d. Wellicht heeft de auteur zich hierin bewust beperkt. Immers een Duits spreekwoord zegt: "In der Beschränkung zeigt sich der Meister". Zou Ray dit ook nog behandeld hebben, dan zou het boek wellicht nog eens een derde dikker zijn.

Weer wel behandelt Ray op zijn gemakkelijke manier, daar waar dit van toepassing is, optische materialen zoals optisch glas, kristallen en andere zeer specifieke materialen, waarvan de behandeling evenwel wat aan de summiere kant is. De belangrijkste reden hiervoor is dat Ray zijn boek reeds klaar had voordat vrij recent verschenen literatuur beschikbaar was. Toch geeft zijn inleiding een interessant overzicht van wat er mogelijk is met de nieuwe kristalmaterialen. Voor het gemak tel ik hier de exotische glazen die recent geproduceerd kunnen worden ook mee.

Voor de theoretisch geïnteresseerde lezer zou het interessant zijn geweest als uitgelegd was hoe het optisch mechanisme werkt waardoor met deze exotische materialen zulke bijzondere dingen gedaan kunnen worden.

Verder zou het voor de lezer ook interessant zijn geweest als de optisch-mechanische gegevens van de gepubliceerde optische systemen werden



gegeven. Dit zou hem in staat stellen de kwaliteit van een optische opstelling voor zijn specifieke toepassing te evalueren. Hieruit blijkt weer eens dat de optische industrie zich nog altijd hult in een waas van geheimen.

Een punt van kritiek is, omdat ik er zelf een afschuwelijke hekel aan heb, het veelvuldig gebruik van afkortingen. Natuurlijk, er zijn fanaten die niets liever gebruiken. Is men goed thuis in het vakjargon dan is dat geen bezwaar. Echter voor een handboek van dit formaat en de reikwijdte die het zal hebben, vind ik het te pas en te onpas gebruiken van de meest exotische afkortingen geen geslaagd idee. Natuur-

lijk zijn veel afkortingen bekend. Andere daarentegen zijn moeilijk verteerbaar en als zodanig niet op zijn plaats. Gelukkig staat voor in het boek een lijst met gebruikte afkortingen, die men kan kopieëren en dan gebruiken als bladwijzer. Als ruimtebesparing het argument is geweest om zo veelvuldig van afkortingen gebruik te maken, dan moet de schrijver/uitgever wel erg krap in het papier gezeten hebben.

Bij een werk van deze omvang is het nagenoeg onmogelijk dat er geen foutjes in zijn geslopen, die gelukkig zeer beperkt in aantal en niet storend zijn. Bij enkele foutjes in de figuren is,

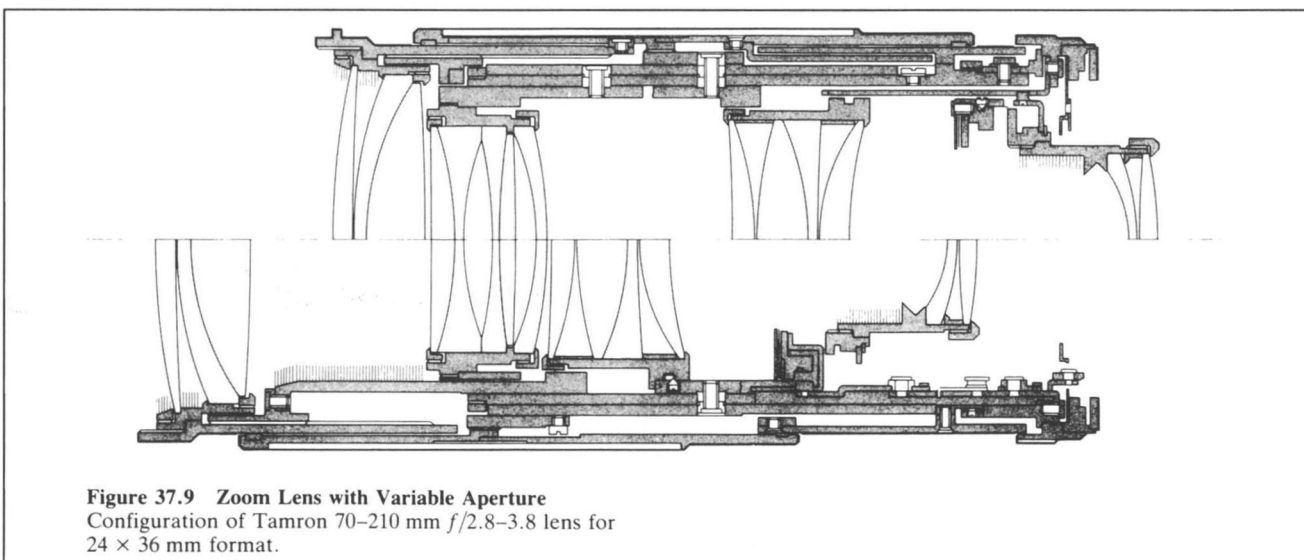
voor degenen die de voorgaande tekst goed hebben gelezen, zonder meer duidelijk dat er iets mis is.

Ernstiger echter zijn enkele andere. Zo wordt bijvoorbeeld vermeld dat de optische weglengte in een optisch dicht medium korter is. In werkelijkheid is dit langer – wel wordt de golflengte in een optisch dicht medium korter. Verder wordt vermeld dat reflexcoatings aan "achterkant"-prisma's de spiegelen eigenschappen verhogen. Dit maakt niets uit. Wat de schrijver naar mijn mening bedoelt is dat, als een prisma hoeken te verwerken krijgt die in de buurt van de kritische hoek liggen, beter een spiegelen laag kan worden aangebracht. Een andere mijns inziens grote vergissing is dat polarisatiefilters diffuse reflecties zouden opheffen. Gelukkig doen ze dat niet, anders zou er erg weinig door zo een filter te zien zijn. Een polarisatiefilter heft namelijk spiegelen reflecties op.

Conclusie

De uitgave *Applied Photographic Optics* is een uitstekend werk van hoog niveau en formaat. Met het hoge niveau wordt hier dan de kwaliteit bedoeld waarmee de schrijver erin is geslaagd deze moeilijke en uitgebreide materie goed, duidelijk en begrijpelijk aan de man/vrouw te brengen. Het boek is rijklijk geïllustreerd en dit maakt het zeer levendig. Het gevaar is zelfs aanwezig dat het boek ook gebruikt wordt als kijkboek. Echter, diegenen die ook maar enige interesse tonen zullen merken dat zij zich snel gaan verdiepen in de zeer gemakkelijke en interessante teksten. Zonder meer een boek om aan te bevelen. Om een indruk te krijgen van de illustraties die men erin aantreft zijn twee ervan hierbij opgenomen.

H.J.R.



Het oplossen van slijtageproblemen door dunne keramische lagen

Ir. G.J. van der Kooi en Ing. J.B. Pelzer, Philips PMF - Centre for materials, technology and innovation, Eindhoven.

Om slijtage aan machine-onderdelen en gereedschappen te verminderen, wordt in toenemende mate gebruik gemaakt van harde, slijtvaste lagen. Deze lagen kunnen op verschillende manieren worden aangebracht, en hebben ieder hun specifieke eigenschappen.

Slijtageproblemen spelen niet alleen in de automobielenindustrie, maar ook in de elektronische industrie, waar miljarden componenten per jaar worden gefabriceerd.

We zullen hierbij drie technieken beknopt behandelen:

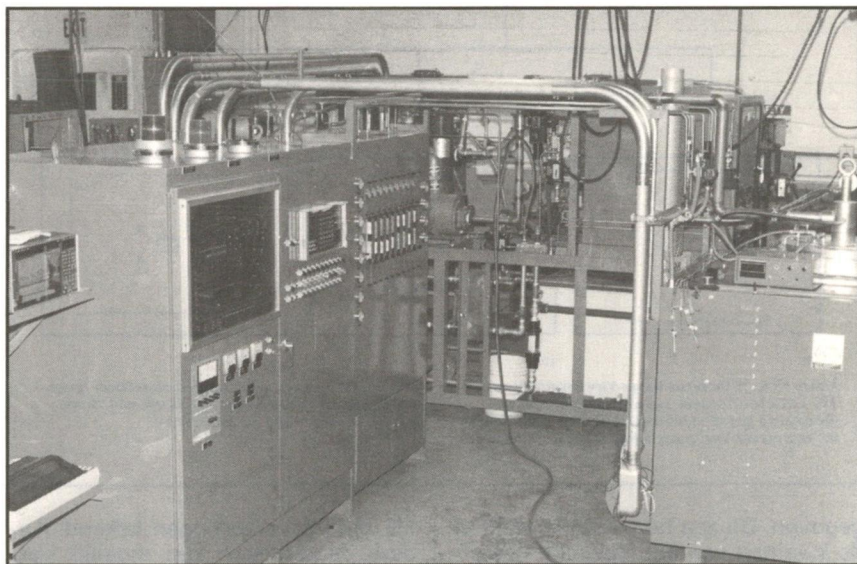
- CVD - Chemical Vapour Deposition;
- PVD - Physical Vapour Deposition;
- TS - Thermal Spraying ("vlammenplasma'spuiten").

Om vooral de constructeur een "eye opener" te geven met betrekking tot de toepassingsmogelijkheden van deze technieken, zal een aantal voorbeelden de revue passeren. Tot slot worden in een overzicht de laagsoorten met elkaar vergeleken.

Chemical Vapour Deposition

Chemical Vapour Deposition (CVD) is een chemische techniek, waarbij materiaal vanuit de gasfase op een substraat wordt neergeslagen. Het proces voor de vorming van deze lagen vindt plaats in een reactorsysteem bij temperaturen tussen 850 en 1000 °C. *Figuur 1* geeft een dergelijk CVD-systeem weer.

De installatie is volledig geautomatiseerd, en kan zonder problemen een gecompliceerd lagenpakket produceren. De productie van lagen geschiedt "batch"-gewijs. Zo worden in de hardmetaal-wereld duizenden beitelpaatjes per run gecoat. Met de instal-



Figuur 1 Industriële CVD installatie (Ti Coating).

latie van *figuur 1* kunnen de volgende lagen en combinaties daarvan geproduceerd worden:

- titaannitride (TiN);
- titaancarbid (TiC);
- aluminiumoxide (Al_2O_3);
- chroomcarbide (Cr_xC_y).

Een belangrijke eigenschap van de lagen is de zeer hoge hardheid. Zo hebben de CVD-lagen een hardheid van 2000-3000 Vickers, terwijl gehard staal een gemiddelde hardheid van 800 Vickers bezit. Hardmetaal heeft op deze schaal een hardheid van 1500 Vickers. Door deze hoge hardheid vertonen de lagen een uitstekende weerstand tegen abrasieve slijtage. De chemische stabiliteit en lage wrijvingscoëfficiënt ten opzichte van staal zorgen voor een betere weerstand tegen adhesieve slijtage (aanladen).

Het is mogelijk om een groot aantal metalen te voorzien van een CVD-laag, zoals hardmetaal, gereedschapsstaal, roestvaststaal en koper. De meest toegepaste laag is ongetwijfeld titaannitride (TiN). Deze goudkleurige laag heeft een goede weerstand tegen vreten.

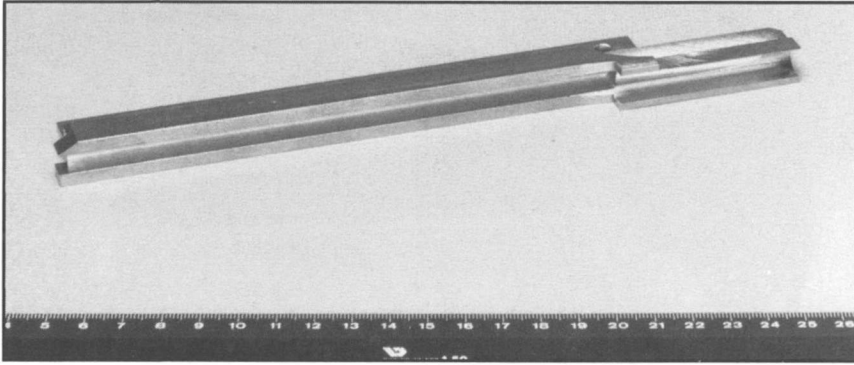
Vaak denkt men dat de standtijd van hardmetaal niet te verbeteren is! Er

zijn echter vele voorbeelden bekend waarbij een CVD-laag op hardmetaal de standtijd met een factor 2-5 verbetert. Ook op onderdelen van roestvaststaal, waar hoge glijksnelheden en geringe drukkrachten optreden, zijn inmiddels succesvol TiN-lagen toegepast.

Bij abrasieve slijtageproblemen op gereedschapsstalen wordt vaak gebruik gemaakt van titaancarbid (TiC)-lagen of een combinatie van TiC/TiN. *Figuur 2* laat hiervan een voorbeeld zien. Het betreft slijtage van een geleiderail voor het transporteren van harde materialen zoals glas of keramiek.

Vaak zijn de slijtageprocessen zo complex dat een TiC of TiN coating geen oplossing biedt. In die bepaalde gevallen worden TiC/TiN combinatie-lagen aangebracht. Deze verenigen de eigenschappen van beide lagen.

Tot slot vinden de lagen aluminiumoxyde en chroomcarbide vooral hun toepassing bij slijtage/oxydatieproblemen bij hoge temperatuur. Een typisch voorbeeld hiervan zijn de hardmetalen beitelpaatjes waar hoge snijksnelheden van belang zijn. Ook zijn interessante toepassingen te vinden in de glasindustrie.



Figuur 2 Geleiderail (Werkstoffnr. 1.2601) met TiC.

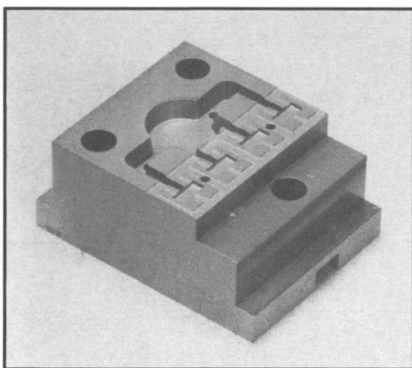
Physical Vapour Deposition

Physical Vapour Deposition (PVD) is een verzamelnaam voor een groot aantal technieken waarmee men onder andere diverse typen bescherm-lagen op metalen onderdelen kan afzetten. De door fabrikanten veel ge-bruikte namen voor het proces zijn:

- ion plating;
- sputteren;
- arc evaporation.

De belangrijkste lagen zijn TiN en amorfe koolstoflagen, al of niet versterkt met een metaalcarbide. Alle PVD-technieken zijn vacuümtechnieken. Er wordt een schoonmaak- en een opwarmbehandeling uitgevoerd, waarbij de temperatuur kan oplopen tot maximaal 500 °C. In het geval van TiN wordt zuiver Ti in de dampvorm gebracht. Deze damp slaat neer of condenseert op de werkstukken. Tijdens de depositie wordt op de juiste wijze stikstof toegevoerd die met Ti reageert tot TiN.

Omdat het PVD-proces bij relatief lage temperaturen plaatsvindt (max. 350 °C), vergeleken met het CVD-proces (1000 °C), kunnen uiterst nauwkeurige gereedschapsstalen matrijzen ($\pm 1 \mu\text{m}$) van een PVD laag worden voorzien. Er is geen sprake van ruw-



Figuur 3 Matrijs van gereedschapstaal (Werkstoffnr. 1.2379) met TiN.

heidsverhoging ten gevolge van het proces. Zo is in *figuur 3* een matrijs te zien met een TiN-laag. Slijtagevermindering treedt op, doordat de verwerkte thermoharders niet langer aanladen (adhesieve slijtage).

In de verspanende industrie worden PVD-TiN lagen al op grote schaal toegepast om bij boren een betere spaanafvoer te verkrijgen. Een nieuwe PVD-laag is de wolfram-koolstoflaag (W:C-H). De belangrijkste eigenschap is de extreem lage wrijving ten opzichte van metalen. Een amorfe koolstoflaag heeft als nadeel een lage hardheid - daarom wordt vaak wolframcarbide toegevoegd. Door het



Figuur 4 Extrusiematrijs voor aluminium met W:C-H laag.

wolframcarbidegehalte optimaal te kiezen kan men de hardheid en wrijvingscoëfficiënt variëren. De belangrijkste toepassingen liggen op het vlak van lagers, snijgereedschappen en koudvervormen van voornamelijk non-ferro metalen, zoals aluminium; zie *figuur 4*.

Tabel 1 Hierin zijn de diverse karakteristieken van de lagen op een rij gezet. Bij de voor- en nadelen is goed te zien dat deze technieken ieder een bepaald toepassingsgebied hebben.

	CVD	PVD	TS
laagsoorten	TiN, TiC, Al ₂ O ₃ , Cr _x C _y	TiN/W:C-H + andere	metalen, keramieken, carbiden
laagdikte	3-10 μm	3-5 μm	30-300 μm
procestemperatuur	850-1000 °C	max. 350 °C	20 °C
hechting	++	+	+/-
bedekking van de laag in een holte	++	+/-	+/-
plaatselijke bedekking	-	++	++
porositeit van de laag	++	+	-
vormvastheid substraat	+/-	++	++
maximale afmeting substraat	600 x Ø450 mm	300 x Ø250 mm	onbeperkt
globale prijsverhouding	100	100	50
voordelen	- goede hechting - gehele produkt bedekt - indien toepasbaar grootste standtijdverbetering	- geen maatveranderingen - plaatselijk bedekken - geen ruwheids-toename	- relatief goedkoop - hoogsmeltende materialen kunnen opgebracht worden - onbeperkte substraatafmeting
nadelen	- vormveranderingen - ruwheidstoename - beperkte substraat afmeting	- holtes niet te bedekken - hoge eisen aan oppervlakte reinheid - beperkte substraat afmeting	- porositeit van de laag is relatief hoog - matige hechting - niet bruikbaar voor snij-/stampgereedschappen

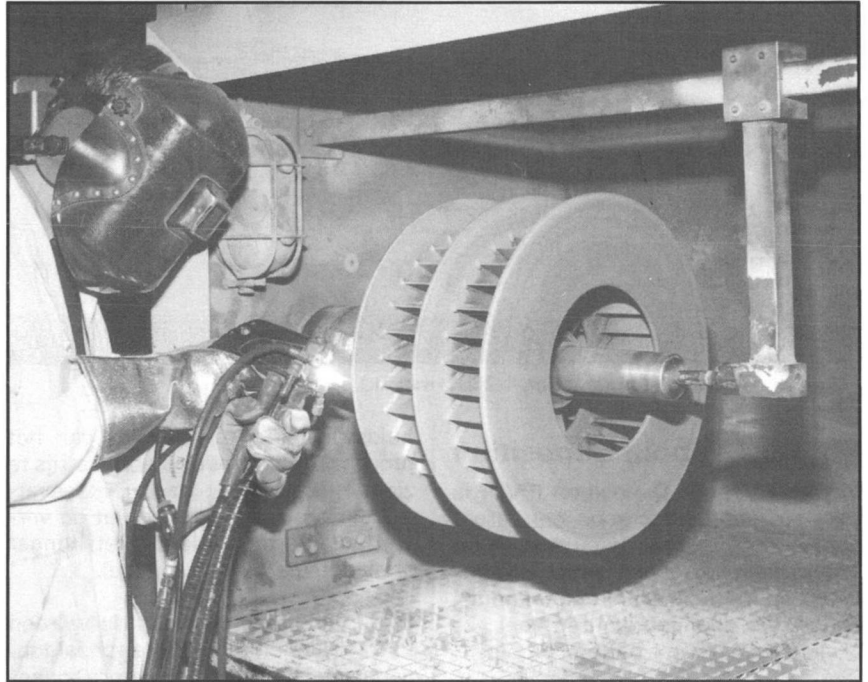
Thermisch Spuiten

Thermisch Spuiten (vlam- en plasma-sputten) is een verzamelnaam van een aantal technieken om lagen aan te brengen op een substraat. Bij thermisch spuiten wordt onder betrekking van thermische energie materiaal tot smelten gebracht en vervolgens verstoven tot fijne druppeltjes, die met grote snelheid tegen het substraatoppervlak geslingerd worden.

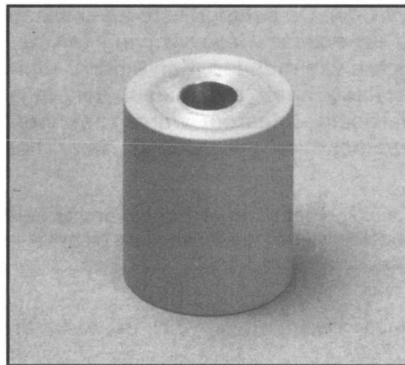
Met plasmasputten kunnen in principe alle materialen die tot smelten gebracht kunnen worden, verspoten worden, zoals metalen, legeringen, oxyden, carbiden, nitriden of mengsels hiervan. In *figuur 5* is hiervan een voorbeeld gegeven waarbij met de hand een aluminiumoxydel laag wordt aangebracht. Structuur en eigenschappen van gespoten lagen zijn verschillend ten opzichte van CVD- en PVD-lagen. Zo is de porositeit groter en de hechting op het substraat minder. De gespoten lagen zijn relatief dikker: 0,03 tot circa 3 mm. De CVD- en PVD lagen zijn maximaal 10 μm dik. Ondanks deze verschillen hebben de thermisch gespoten lagen een veel breder toepassingsgebied waarin we kunnen onderscheiden:

- herstelwerk;
- slijtagevermindering;
- lagen voor thermische of elektrische weerstand;
- afschermingen tegen elektromagnetische storingen;
- het maken van vrijstaande lichamen.

Voor slijtagevermindering worden de onderdelen voorzien van een deklaag. Dit wordt toegepast bij bijvoorbeeld assen, leidwielen en mengers. Gebruikte laagmaterialen zijn molybdeen en wolframcarbide, zie *figuur 6*. Het is soms gewenst dat onderdelen voor-



Figuur 5 Plasmaspuitinstallatie in gebruik.



Figuur 6 Wolframcarbide op een geleide rol.

zien worden van een laag die zorgt voor een thermische of elektrische weerstand. Hiervoor worden respectievelijk magnesiumzirkonaat en alu-

miniumoxyde toegepast.

Naast het spuiten van lagen is het ook mogelijk om vrijstaande voorwerpen te maken via een bepaalde lossingstechniek. Dit kunnen bijvoorbeeld kroezen, schaaltes of potjes zijn. De materialen zijn meestal de moeilijk smeltbare materialen als wolfram, molybdeen en aluminiumoxyde.

Informatie

Voor meer gedetailleerde informatie over de toepassing van deze technieken, en voor prijzen en levertijden, kunt u terecht bij:

Philips PMF

Centre for materials, technology and innovation

P.O. Box 218, 5600 MD Eindhoven
Telefoon: 040-735397.

Ontwerpen en construeren met technische keramiek; een vak apart*

Dr. ir. J.T. van Konijnenburg, Hoogovens Industrial Ceramics, Beverwijk**.

Toepassing van technisch-keramische producten in werktuigbouwkundige constructies vindt nog slechts op betrekkelijk kleine schaal plaats. Keramiek wordt meestal toegepast daar waar het geheel opgesloten kan worden, waardoor alleen betrekkelijk lage drukkrachten op het materiaal zullen ontstaan, en daar waar het als bekleding kan dienen van wanden, goten enz. vanwege de slijtvastheid of de corrosievastheid van het desbetreffende keramische materiaal.

Als voorbeelden van dergelijke toepassingen kunnen genoemd worden slijtvaste tegels in goten en silo's voor transport van abrasieve materialen. Een algemeen bekend voorbeeld van het gebruik van keramiek vanwege haar corrosievast gedrag zijn de keramische afsluitelementen in waterkranen. Wil men keramiek toepassen onder meer complexe mechanische/thermische spanningscondities, dan zal eerst een analyse van deze condities gemaakt dienen te worden; waarna kan worden nagegaan of een oplossing met keramiek gevonden kan worden en of deze technisch en economisch verantwoord is. In dit artikel wordt aan de hand van een aantal voorbeelden de werkwijze bij het ontwerpen en construeren met keramiek duidelijk gemaakt.

Karakteristieken van technische keramiek

In deze paragraaf wordt eerst een aantal basiskennmerken van keramiek nader belicht. Het is moeilijk voor keramiek een eenduidige definitie te geven, zodat veelal wordt volstaan met een omschrijving. Deze geldt ook voor technische keramiek en luidt als volgt: "Keramiek is een anorganisch, niet-metallisch materiaal, dat vanuit een poeder, via een geschikte vormgevingstechniek tot een halfproduct wordt gevormd". Dit halfproduct krijgt na een warmtebehandeling bij hoge temperatuur zijn eindeigenschappen. Om het eindproduct dan nauwkeurig op maat te krijgen, is veelal nog een mechanische nabewerking nodig^[1]. Technische keramiek is een bijzondere vorm van keramiek in het alge-

meen en wordt gekenmerkt door het feit, dat als uitgangspunten meestal chemisch zuivere poeders worden gebruikt, die meestal ook nog langs chemische weg zijn bereid. De technisch-keramische grondstoffen zijn in twee groepen te verdelen, namelijk oxydische en niet-oxydische materialen. Tabel 1 geeft een aantal voorbeelden.

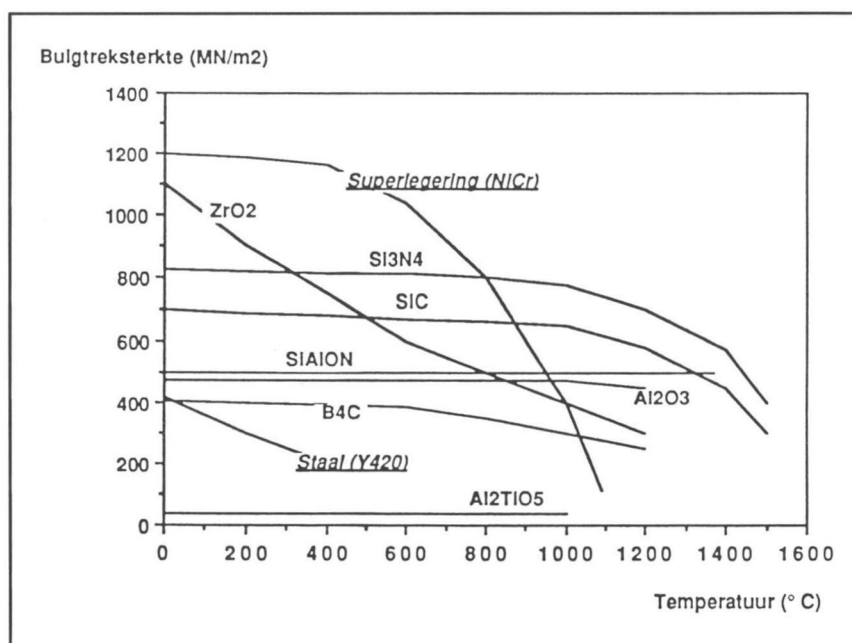
Tabel 1 Technisch-keramische grondstoffen.

Oxydische stoffen	Niet-oxydische stoffen
Al ₂ O ₃	SiC
ZrO ₂	Si ₃ N ₄
ZrSiO ₄	Sialon
BeO	ALN

De belangrijkste eigenschappen van keramische materialen zijn hun lage dichtheid, hoge hardheid, mechani-

sche sterkte, maar ook hun brosheid. Verder hebben ze in het algemeen ten opzichte van staal een hoog smeltpunt. Kenmerkend voor de meeste keramische materialen is de hoge corrosievastheid. Het zal duidelijk zijn, dat deze opsomming slechts een zeer globaal beeld geeft.

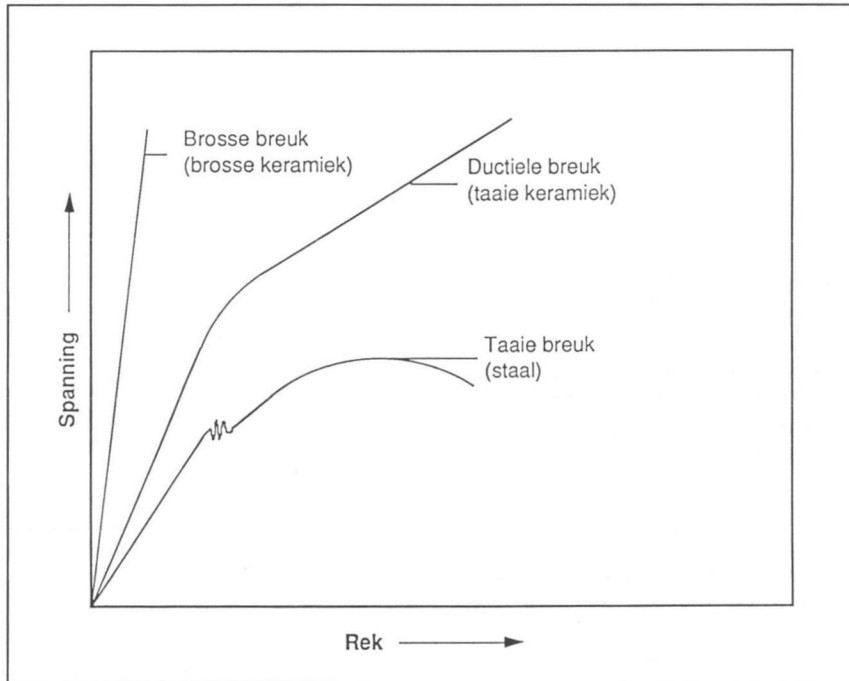
De eigenschappen van de verschillende keramische materialen kunnen nog een grote variëteit vertonen. *Figuur 1* geeft dit voor de buigsterkte als functie van de temperatuur weer. Een probleem bij de interpretatie van de sterktecijfers vormt enerzijds het brosse gedrag van het materiaal en anderzijds de reproduceerbaarheid waarmee keramische producten nu nog gemaakt kunnen worden. *Figuur 2* geeft schematisch een spanningrekcurve van een "taai" metaal en een "bros" keramiek weer. Kenmerkend voor het metaal is, dat het plastisch kan vervormen, terwijl een keramisch materiaal dit niet kan. Inmiddels zijn er keramische materialen ontwikkeld met een vrij grote mate van elasticiteit, maar bij kamertemperatuur is geen plastisch gedrag mogelijk^[2]. Daar keramische materialen nog weinig reproduceerbaar vervaardigd kunnen worden, treedt er een spreiding op in de eigenschappen van het eindproduct. Voor de constructeur betekent



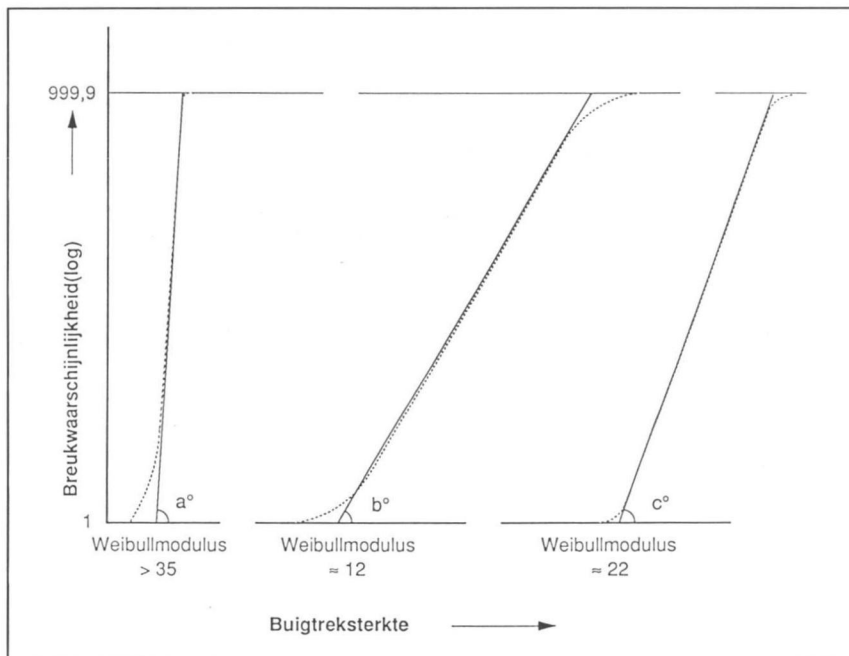
Figuur 1 Buigtreksterkte bij hoge temperatuur.

* Dit artikel is eerder geplaatst in *Materialen* (1989) nr. 1, officieel orgaan van de Bond voor Materialenkennis".

** De tekst van deze lezing kwam tot stand door medewerking van ing. F.A. Schuurmans en dr. S. Sinnema van Hoogovens Industrial Ceramics te Beverwijk.



Figuur 2 Spanning-rekcurven van brosse en taaie materialen.



Figuur 3 Schematische voorstelling van de breukwaarschijnlijkheidscurven met Weibullmodulussen.

dit een vaak niet aanvaardbare onzekerheid bij het construeren. Momenteel tracht men dit euvel te onderwerpen door aan te geven met welke spreiding de constructeur rekening dient te houden. Dit gebeurt met behulp van de zogeheten Weibullstatistiek^[3]. Figuur 3 geeft een voorbeeld van de spreiding in sterkte van enkele materialen uitgezet met behulp van de Weibull-methode. De hellingshoek van deze curven wordt opgegeven als de Weibull-modulus en dient zo hoog mogelijk te zijn. Metalen

hebben meestal waarden ruim boven 35, terwijl de meeste keramische materialen niet verder komen dan hooguit 25.

De buigsterkten zoals aangegeven in figuur 1 in vergelijking met die van staal en een superlegering, laten al zien waardoor de ingenieur toch zo door keramiek wordt aangetrokken. De sterkte blijft immers tot hoge temperatuur op peil. Dit biedt derhalve mogelijkheden om machines en motoren bij hogere temperaturen te laten

opereren. Op deze manier kan dan een beter procesrendement worden verkregen. Zoals in de inleiding al is aangegeven, gaat dat helaas niet altijd zonder meer op. Zo is gebleken, dat het rendement van de dieselmotor zo'n 3% naar beneden ging toen men de zuiger en verbrandingskamer isoleerde met een keramisch materiaal. Dit betekent niet dat de theorie van Carnot hiermee omver wordt geworpen; het betekent alleen, dat de dieselmotor voor het nieuwe werkingsgebied opnieuw ontworpen zal moeten worden. Het blijkt echter, dat de automobiefabrikanten voor die stap terugdeinzen. Eigenlijk kan voor de technische keramiek voor werktuigbouwkundige toepassingen bovenstaand verhaal steeds herhaald worden. Veel toepassingen zijn bedacht door keramiekproducenten – met name Japanse en Westduitse – maar steeds blijkt dan weer dat het ontwerp niet goed is geweest. Vaak wordt het metalen voorwerp zonder meer in keramiek nageemaakt, waarbij er dan aan voorbij wordt gegaan dat het materiaal broos is, of een andere uitzettingscoëfficiënt heeft dan het metaal. Na inbouw breekt het keramische product. Helaas zijn er dan maar weinigen die de mogelijkheden van keramiek nog verder willen bestuderen.

Werkwijze bij het ontwerpen

Technische keramiek biedt dus vooral mogelijkheden door haar hoge smeltpunt, grote hardheid, grote mechanische stabiliteit en last but not least de corrosievastheid. De afwijkende thermische uitzetting ten opzichte van metalen en het brosse karakter van het materiaal vormen wel de belangrijkste knelpunten. Het is daarom niet mogelijk zonder meer metalen onderdelen door keramische te vervangen. Over het ontwerp van het onderdeel en over de inbouw mogelijkheden zal nagedacht moeten worden. Tot nu toe is met name aan deze aspecten door de keramische industrie onvoldoende aandacht besteed. Keramiek voor werktuigbouwkundige toepassingen kan alleen een succes worden wanneer bovengenoemde twee punten worden opgelost.

Wil men in een installatie een snel slijtend onderdeel door een keramisch onderdeel vervangen, dan zullen eerst de procesomstandigheden waaronder het onderdeel moet functioneren nauwkeurig vastgelegd moeten worden. Op grond van deze gegevens kan dan tot een materiaalkeuze worden gekomen. Dit kan de keuze voor een bestaand materiaal zijn, maar het kan ook zogenaamd "materials-engineering" betekenen. Het laatste komt erop



Figuur 4 Doorsnede tweedelige wandverdunde bus.

neer dat een dusdanige materiaalcompositie wordt uitgewerkt die het beste aan de gestelde eisen voldoet, hetgeen veelal een nieuw materiaal betekent. Een voorbeeld hiervan is de glaskeramikplaat zoals die is ontwikkeld voor elektrische kookplaten in keukens.

Na de materiaalkeuze volgt de keuze van de vormgevingstechniek voor het onderdeel. Hiervoor is wederom de analyse van de bedrijfsomstandigheden nodig. Deze analyse is erop gericht het uiteindelijke voorwerp zo goed mogelijk af te stemmen, ook qua vormgeving, op de omstandigheden in de installatie. Dit betekent het uitvoeren van spanningsberekeningen, waaruit blijkt of het voorwerp de opgelegde spanningen ook zal weerstaan. Wanneer dit goed is verlopen, zal aandacht besteed moeten worden aan de mogelijkheden om het voorwerp aan de rest van de installatie te monteren. Is het mogelijk om het in te klemmen, moet het misschien gelijmd worden, of kan het wellicht zelfs worden gelast?

Voor een goed resultaat met keramiek zal aan al deze onderwerpen aandacht besteed moeten worden. Hoogovens besteedt vanuit haar kennisachtergrond juist aan deze zaken aandacht.

Enkele praktijkvoorbeelden

In deze paragraaf zullen voorbeelden worden behandeld, waarmee wordt geïllustreerd op welke wijze bij de Hoogovens Groep voor bestaande procesproblemen oplossingen in keramiek worden gezocht.

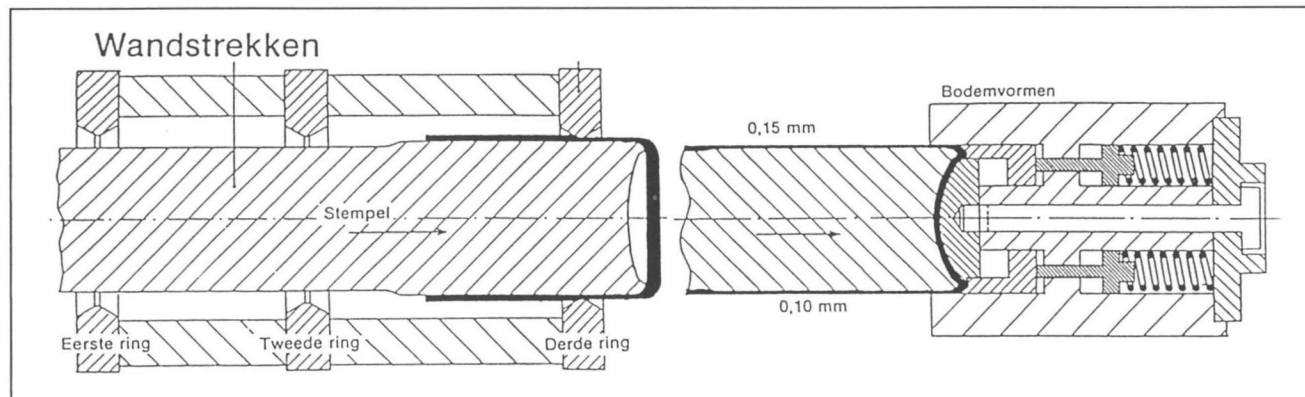
Koud vervormen van staal

Het koud vervormen van staal vormt een groep van processen waarbij zeer grote krachten worden uitgeoefend op de daarbij gebruikte matrijzen. Dit geldt onder meer voor het trekken van staalraad, maar ook voor het vormen van de tweedelige wandverdunde drankenbus. De tweedelige wandverdunde bus wordt toegepast voor koolzuurhoudende dranken, als cola en bier. *Figuur 4* geeft de doorsnede van een drankenbus weer. Een dergelijke bus wordt gemaakt uit een vlak cirkel-

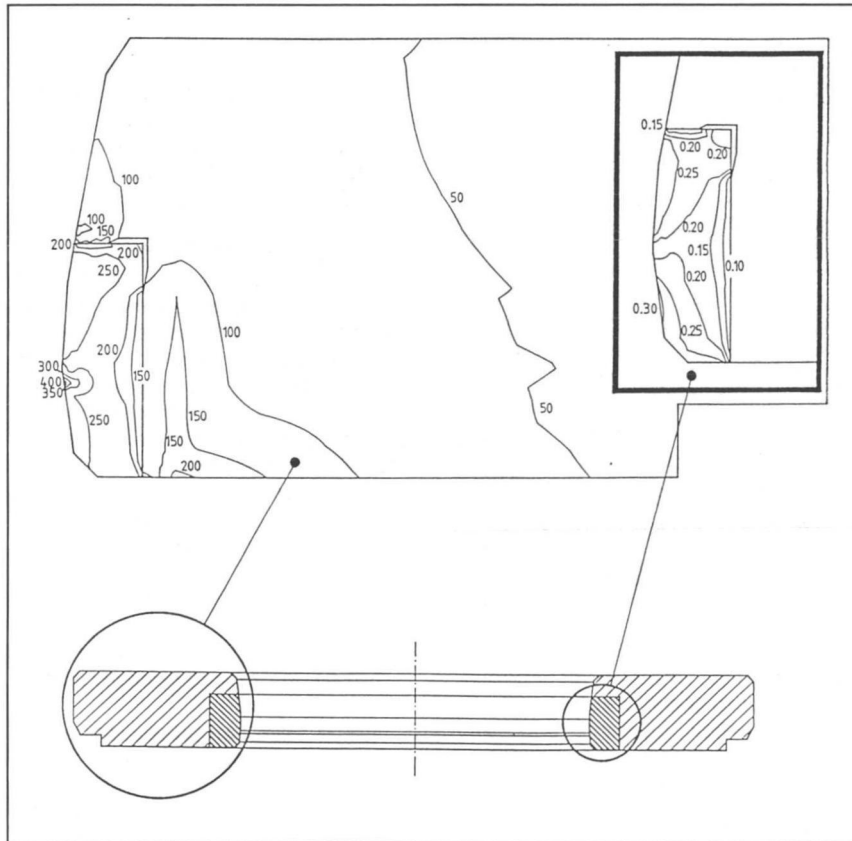
vormig plaatje blik. Bij het wandverdunningsproces wordt gebruik gemaakt van een hardmetalen stempel en wandverdunningsringen met een hardmetalen binnenring. Een productielijn bestaat in het algemeen uit een bekervormer en vijf wandstrekmachines. Elke wandstrekmachine heeft een toolbox met drie wandverdunningsringen. *Figuur 5* geeft het wandstrekproces in één zo'n ring weer⁽⁴⁾. De eigenlijke vervormingsring is een hardmetalen ring die aan grote slijtage onderhevig is. Uit oogpunt van superieure slijtvastheid van enkele keramieksoorten is het wellicht mogelijk de hardmetalen binnenring te vervangen door een keramische. Ten opzichte van de bestaande configuratie zou vervanging door keramische ringen de volgende voordelen kunnen bieden:

- langere standtijden door hogere slijtvastheid;
- de "sticking" van de metaallaag (tin) op de ring zou wellicht minder kunnen zijn;
- lagere vervormingskrachten, omdat de wrijvingscoëfficiënt tussen blik en keramiek lager kan zijn. Hierdoor zou wellicht tevens met een dunnere tinlaag volstaan kunnen worden.

Alvorens te komen tot praktijkexperimenten is het wandstrekproces modelmatig geanalyseerd door medewerkers van het Research Laboratorium van Hoogovens in IJmuiden. Met behulp van een eindig elementenrekenmodel worden momenteel berekeningen gemaakt, waarbij de eigenschappen van de hardmetalen ring zijn vervangen door die van achtereenvolgens verschillende keramische materialen. Uit de berekeningen blijkt dat met name het krimpen van de ring in de metalen houder kritisch is. Voor keramische materialen wordt in het gebruikte programma het zogenaamde Druecker-Prager-Kriterium gehanteerd, waarmee de bezwijkcriteria worden bepaald.



Figuur 5 Het wandstrekproces.



Figuur 6 Spanningsberekeningen van de wandstrekking weergegeven in een doorsnede van de ring plus de stalen vassing. De complete figuur geeft de spanningscontouren tijdens strekken weer. De inzet geeft de relatieve faalspanning van de keramische vervormingsring aan. Hieruit blijkt, dat de spanningen ruim onder de kritische waarde blijven.

Wat keramische materialen betreft is het essentieel, dat zij niet even sterk op druk als op trek te belasten zijn en dat in het model ter plaatse van de knooppunten wordt bekeken hoe de spanningssituatie is; op basis daarvan wordt de verhouding tot de faalspanning berekend. Dit betekent echter, dat de contourplots in absolute spanningen een ander beeld te zien kunnen geven dan die uitgedrukt in relatieve faalspanning, zoals uit *figuur 7* blijkt. De weergave in *figuur 6* heeft betrekking op een zeer slijtvast keramisch materiaal. Uit de figuren blijkt dat de processpanningen tijdens het wandstrekken wel onder de bezwijkspanning van het materiaal zullen liggen, mits voldoende gecompenseerd door de voorspanning tengevolge van het krimpen van de binnenring. De materiaalskundige en de constructeur zullen nu zelf op basis van eigen opgedane ervaring moeten bepalen of de gevonden spanningen voldoende ver onder de bezwijkspanning liggen om buiten het bereik van de spreiding in sterkte van het materiaal te blijven. De volgende stap in het onderzoek zal nu dan ook zijn, na te gaan of er een materiaalleverancier te vinden is die de gewenste ring met voldoende zekerheid van de juiste sterkte zal kunnen

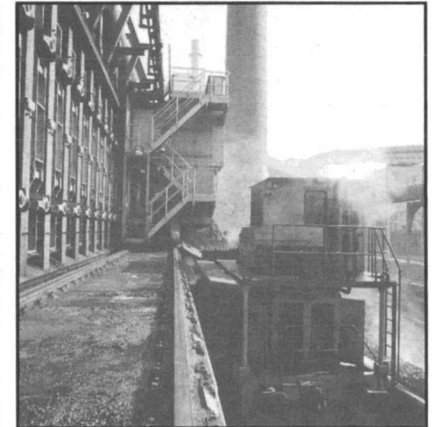
maken. Daarbij komt dan nog een aantal zaken aan de orde die niet via berekening gesimuleerd kunnen worden. Zo zal nagegaan dienen te worden of het slijpen en polijsten van de ring geen negatieve invloed op zijn sterkte zullen hebben en of tijdens het wandstrekproces geen korrels onverwacht uitbreken.

De berekeningen hebben geleerd, dat de sterkte voldoende zal zijn; praktijkproeven zullen nu nog moeten leren of het materiaal werkelijk voldoet.

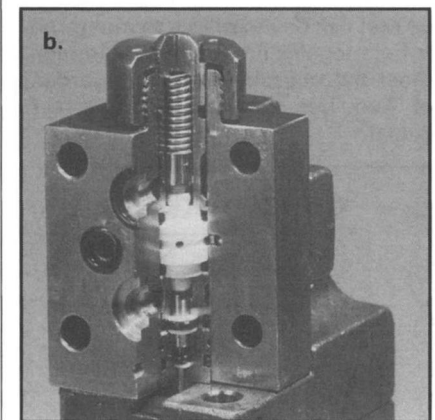
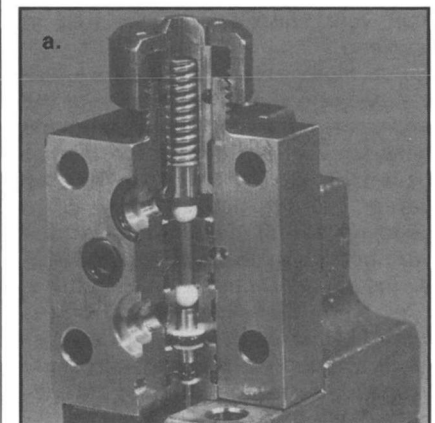
Een hogedrukvoorstuurventiel

Hogedrukvoorstuurventielen bevinden zich na de hogedrukwaterpomp waarmee de deuren van de cokesfabriek worden gereinigd. Cokes wordt geproduceerd in hoge kamers met een breedte van ca. 40 cm. Na afloop van het proces wordt de cokes met behulp van een stempel naar buiten geschoven; zie *figuur 7*. Aan de afdichtingsmessen van de deur blijft teer kleven, hetgeen aanleiding kan geven tot milieu-onvriendelijke gaslekage van de deuren. Het reinigen van deze onderdelen gebeurt met een hogedrukwaterstraal (700 bar); in de waterverdeelapparatuur zijn de desbetreffende ventielen aangebracht.

Een van de aan sterke slijtage onderhevige onderdelen is de stalen zitting van deze hogedrukvoorstuurventielen. De standtijd van deze zitting is drie à vier weken. Het verbruik ligt op circa 1500 stuks per jaar. Een eerste proef is uitgevoerd door de stalen zitting exact in keramiek te kopiëren. Dit ontwerp faalde, doordat de zitting al bij



Figuur 7 Het uitdrukken van de gare cokes. In een van de ruimten van de deurmachine is de hogedrukreinigungsapparatuur opgesteld.



Figuur 8 Ventiel voor water met een druk van 700 atmosfeer.

a. oude ontwerp in metaal.
b. door vervanging van de kwetsbare metalen onderdelen door een aangepast onderdeel uit keramiek is de levensduur vertienvoudigd.

montage in het ventielhuis scheurde. Na herontwerp, waarbij het aantal onderdelen van vijf naar drie is teruggebracht, waardoor tevens montagefouten worden voorkomen, is een ventiel ontstaan dat momenteel een meer dan tienvoudige levensduur blijkt te bezitten. *Figuur 8a* en *figuur 8b* geven het oude en nieuwe ventiel weer.

Slotopmerkingen

Tot slot van dit artikel worden enkele essentiële punten aangegeven waarmee de constructeur rekening dient te houden wanneer een onderdeel in keramiek wordt ontworpen. Hij dient zich de volgende vragen te stellen.

1. Hoe functioneert het conventionele onderdeel?
Daarbij rekening houdende met het type belasting waaronder het onderdeel wordt gebruikt, zoals druk, temperatuur, mechanische stoten, thermische schokken, mechanische dan wel chemische slijtage. De invloed op andere onderdelen. Hoe kan het onderdeel gemonteerd c.q. gedemonteerd worden? Kunnen door procesfouten tijdens bedrijf extreme krachten op het onderdeel gaan werken, die de bezwijkspanningen te boven gaan?
2. Kan een onderdeel uit technische keramiek werkelijk tot een zodanige standtijdverbetering leiden dat een kostenvoordeel wordt gerealiseerd? Het nut van keramiek ten opzichte van andere mogelijke materialen

zal bij iedere nieuwe toepassing opnieuw beoordeeld dienen te worden. In een aantal gevallen kan een proces-, constructie- of materiaalwijziging een eenvoudiger oplossing bieden.

3. Hoe groot is het risico, wanneer plotseling breuk van het keramisch onderdeel optreedt?
Bij experimenten in de praktijk is het van belang om eerst een eenvoudige risico-analyse uit te voeren waarbij een schatting wordt gemaakt van de gevolgen van een calamiteit voor het milieu, het productieproces en de kosten van productiestilstand.
4. Kan de huidige vormgeving van het onderdeel wel in keramiek worden uitgevoerd?
Bij de beoordeling van het onderdeel dient te worden nagegaan of het scherpe hoeken en plotselinge overgangen in wanddikte bevat. Deze dienen vermeden te worden, evenals scherp uitlopende groeven. Vermijd niet strikt noodzakelijke hoge maattoleranties en oppervlaktegesteldheden, daar deze zeer kostenverhogend werken. Vermijd verder zo mogelijk asymmetrische vormen en ongelijkmatige belastingen door een gedeeltelijk aangeliggend draagvlak te creëren.
5. Wat is het gevolg van een eventueel herontwerp op de andere onderdelen of het proces?
Een gewijzigd onderdeel kan in-

vloed hebben op de omliggende constructie, waardoor een ongewenste kostenverhoging voor de gehele installatie kan ontstaan.

Bovenbeschreven aandachtspunten geven aan dat ontwerpen en construeren in technische keramiek werkelijk een vak apart is. Vooral bij industriële installaties zal naar Taylor made-oplossingen gezocht dienen te worden. Dit vereist een diepgaande samenwerking tussen constructeur en eindgebruiker en vaak ook met de producent van de keramiek, omdat het ontwerp zodanig gemaakt dient te worden, dat het goed reproduceerbaar gefabriceerd kan worden.

Literatuur

- [1] Veringa, H.J., "Wat is technische keramiek", *Materialen* (1989) nr. 1, p. 25.
- [2] Davidge, R.W., "Mechanical Behaviour of Ceramics". Cambridge University Press (1979).
- [3] Weibull, W.A., "Statistical Distribution Function of Wide Applicability" *J. Appl. Mech.* 18 [3] (1951) 293-297.
- [4] Ras, H.B., van den Hoeven, J.A., Janssen, E., "A Numerical Calculation of the Stress Distribution During wall Ironing", *Proceedings of the 2nd International Conference on Numerical Methods in Industrial Forming Processes* (1986) p. 229.
- [5] "Engineering Applications of Ceramics Materials Society for Metals", *Metals Park Ohio* (1985).

Symposium Kennissystemen binnen TNO

Binnen TNO wordt vanuit inhoudelijke deskundigheid sedert geruime tijd en op diverse plaatsen gewerkt aan onderzoek en ontwikkeling op het gebied van kennissystemen, gericht op het toepasbaar maken van deze nieuwe technologie voor overheid, industrie en andere geïnteresseerden.

Het symposium biedt een goed overzicht van de ontwikkelingen die binnen TNO gaande zijn op het gebied van kennissystemen, en maakt duidelijk wat TNO op dit terrein te bieden heeft.

Programma

Plenair Mondriaanzaal

08.30-09.30 uur
Registratie

09.30-10.00 uur
Introductie door W.C.L. Zegveld,

Hoofdgroep Beleidsstudies en Informatie TNO

10.00-10.30 uur
Koffiepaauze

Parallel Mondriaanzaal

10.30-11.00 uur
De toepasbaarheid van technieken voor kenniselicatie H.H. Bogers, Projectgroep Bedrijfskunde TNO

11.00-11.30 uur
FIFE: De ontwikkeling van een intelligent front-end, G.G. Wagenaar, Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie TNO

11.30-12.00 uur
Beslissingsondersteuning aan het management bij damage control situaties, J.M.C. Schraagen, Instituut voor Zintuigfysiologie TNO

12.00-13.30 uur
Discussie, lunch en demonstraties

13.30-14.00 uur
De mogelijkheden van expertsystemen in verkeer en vervoer, M.J.M. van der Vlist, Instituut voor Ruimtelijke Organisatie TNO

14.00-14.30 uur
DELFT: Een kennissysteem voor de woonruimteverdeling in Delft, A.G.G. Op 't Veld, Instituut voor Ruimtelijke Organisatie TNO

14.30-15.00 uur
Theepauze

15.00-15.30 uur
MILIAM: Een beleidsondersteunend kennissysteem voor de mestproblematiek, C. Kwakernaak, Studiecentrum voor Milieu-onderzoek TNO

15.30-16.00 uur
ARIE: Een expertsysteem voor fotochemische luchtverontreiniging, H. Diepenmaat, Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie TNO

Parallel Escherzaal I

10.30-11.00 uur
Een kennissysteem voor de ondersteuning van seismische interpretatie

Vervolg zie pag. 51

Geïntegreerde lagereenheden*

Ober-Ing. L. Schard, Sindelfingen.

In de wentellagertechniek wordt onderscheid gemaakt tussen discrete (afzonderlijke) en geïntegreerde lagereenheden (LE). In discrete lagereenheden worden genormaliseerde wentellagers toegepast. Echter in geïntegreerde lagereenheden, ook wel IBU (Integral Bearing Unit) genaamd, zijn de loopgroeven direct in de as, respectievelijk het huis, geïntegreerd.

Varianten in de constructie

IBU met radiale en axiale lagerspeling

Het meest bekende IBU is wel de vaak gebruikte lagering van een waterpomp; zie *figuur 1*. De loopgroeven zijn zowel in de as als het huis geïntegreerd. Door de axiale en radiale lagerspeling kan de as zich enigszins bewegen. De maximale beweging komt overeen met deze speling. Dit IBU biedt een optimaal gebruik van de beschikbare ruimte en geeft een aanzienlijke vereenvoudiging van de montage van een dergelijk lager door de gebruiker. Intussen heeft dit lagertype in vele takken van de machinebouw en de fijnmechanische techniek zijn goede diensten bewezen.

IBU met radiale en verminderde axiale lagerspeling

Een vuistregel voor IBU's zoals deze in de vorige paragraaf zijn beschreven, is dat de axiale lagerspeling ongeveer tien keer zo groot is dan de radiale lagerspeling. In bepaalde gevallen is echter een kleinere axiale speling noodzakelijk. Dit kan bereikt worden door de loopgroeven in de as ten opzichte van die in het huis (of omgekeerd) iets te verzetten. De verhouding tussen de axiale en radiale lagerspeling wordt dan verkleind tot ongeveer 3:1.

Spelingvrije IBU's

Bij toepassingen, waarbij hoge eisen gesteld worden aan de loopnauwkeurigheid van de spil, is het beter de lagerspeling geheel te elimineren. In plaats van de buitenring met twee loopgroeven worden twee afzonderlijke buitenringen toegepast die door middel van een drukveer spelingvrij worden gedrukt; zie *figuur 2*. Een van

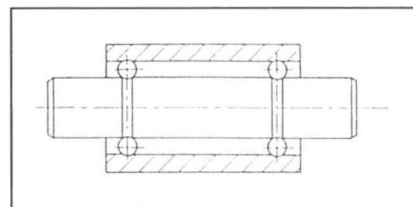
deze ringen wordt altijd vastgeklemd in het huis. Er zijn verschillende manieren voor de bevestiging van de tweede ring. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de uitvoeringsvormen met een constante kracht (Constant Force, CF) en zulke met een constante positie (Constant Position, CP).

Bij de CF-uitvoeringsvorm zit de tweede buitenring vrij beweeglijk in het huis, zodat maatveranderingen ten gevolge van temperatuurvariaties gecompenseerd kunnen worden, terwijl de gekozen voorspanning constant blijft.

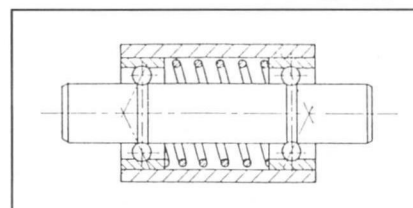
De vrij beweeglijke buitenring veroorzaakt een radiale bewegingsvrijheid van de as. Deze is bij aandrijvingen met zeer hoge nauwkeurigheid niet toegestaan. Door maatregelen te nemen zoals het inbouwen van O-ringen, zie *figuur 3*, veerbouten of door een dempende vetvulling in de spelingsspleet, kan deze beweeglijkheid worden beperkt. Voor de vrij beweeglijke ring kan een "minimum stabiliteit" bereikt worden door een relatief hoge voorspanning toe te passen.

Bij toepassingen met de hoogste eisen is het echter noodzakelijk om te kiezen voor de CP-uitvoering. Bij deze uitvoeringsvorm worden beide buitenringen in het huis gefixeerd door middel van lijmen. De as wordt zo nauwkeurig mogelijk gepositioneerd. Tengevolge van temperatuurverschillen tussen de as en het huis kan echter de voorspanning veranderen. Door een juiste keuze van de constructieparameters kunnen deze veranderingen echter binnen nauwe grenzen gehouden worden. *Figuur 4* toont de verandering van de voorspanning als functie van het temperatuurverschil voor een lagerunit met de lagers WA 406 met een voorspanning van 22 tot 27 N.

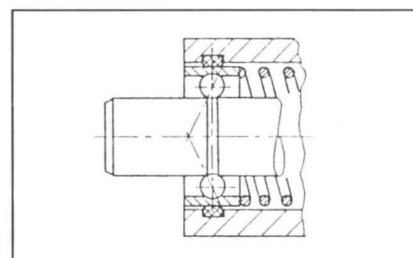
Niet alleen door temperatuurveranderingen, ook door slijtage aan de wentellichamen en loopgroeven kan een



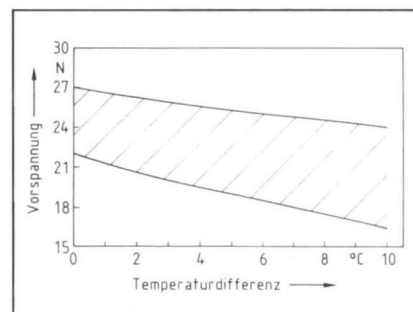
Figuur 1 Lager van een waterpomp.



Figuur 2 Spelingvrije lagereenheid.



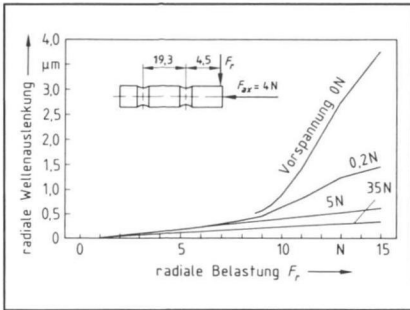
Figuur 3 Spelingvrije lagereenheid met een O-ring ter beperking van de radiale bewegingsvrijheid van de as.



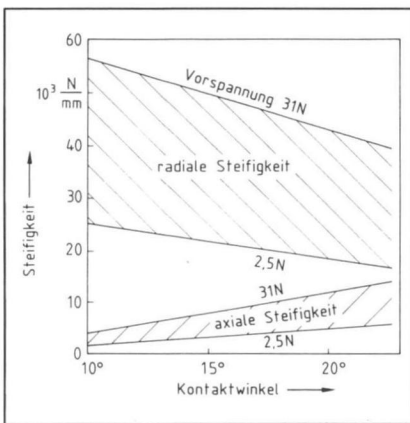
Figuur 4 Voorspanning als functie van het temperatuurverschil tussen huis en as voor een spelingvrije CP-lagereenheid (as is koeler dan het huis).

verandering van de voorspanning optreden. Door er zeker van te zijn dat een elasto-hydrodynamische smering aanwezig is tussen de wentellichamen met de kooien waarin deze zijn opgesloten, kan deze slijtage zo goed als zeker worden uitgesloten. Een lagering die op deze manier is uitgevoerd bleek na 20.000 bedrijfsuren bij

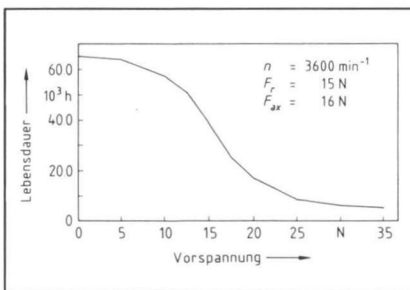
* Dit artikel is verschenen onder de naam "Integrierte Lagerungseinheiten" in Feinwerktechnik & Messtechnik 96 (1988) 12 van de Carl Hanser Verlag München.



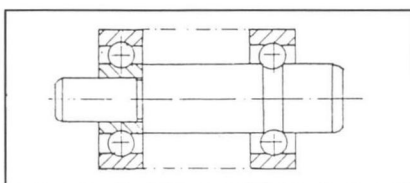
Figuur 5 Radiale asuitslag voor een lager-eenheid met de kogeleenheid WA 406 voor verschillende voorspanningen en uitwendige belastingen.



Figuur 6 Radiale en axiale stijfheid als functie van de voorspanning en contacthoek voor het lager WA 408.



Figuur 7 Nominale levensduur als functie van de voorspanning van een spelingvrije CP-lager-eenheid.



Figuur 8 Lager-eenheid met een geïntegreerd en een ingebouwd kogellager.

een toerental van 20.000 per minuut nog steeds vrij van speling te zijn. Omdat de buitenringen vast zitten kan er ook geen passingroest ontstaan. Bij deze uitvoeringsvorm is bovendien van voordeel dat er met een zeer geringe voorspanning van slechts enkele Newtons kan worden gewerkt. Dit kan omdat de "vrij beweeglijke buitenring" na het aanbrengen van de voorspanning wordt gefixeerd. De mate van voorspanning wordt volgens de volgende criteria gekozen:

Slingering: Figuur 5 toont de radiale beweging van een IBU met en zonder voorspanning. De voordelen van de voorspanning en de invloed van de mate waarin deze is aangebracht worden duidelijk zichtbaar. Tussen 5 en 35 N treedt geen noemenswaardige verbetering meer op. Dat wil zeggen dat een voorspanning van

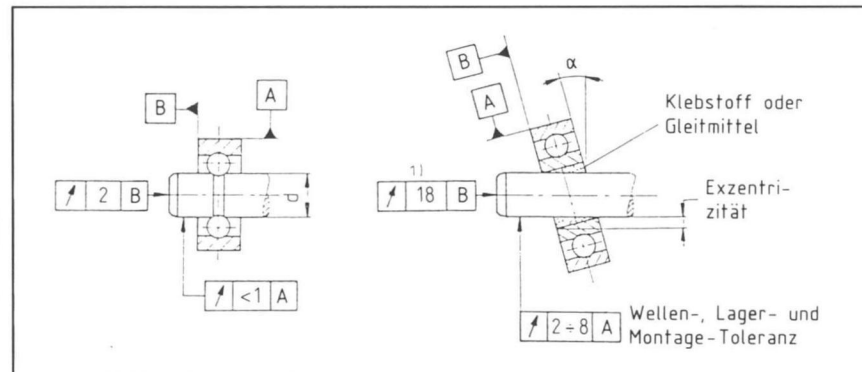
circa 10 N voor dit criterium voldoende is.

Lagerstijfheid: Figuur 6 toont de samenhang tussen de lagerstijfheid en de voorspanning (en contacthoek) voor het lager WA 408.

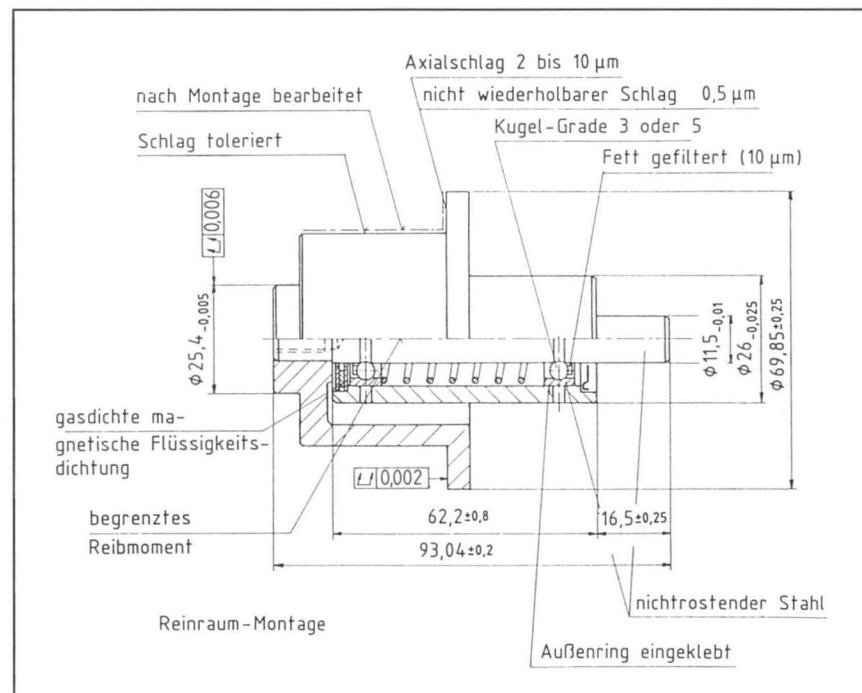
Levensduur: De samenhang tussen de voorspanning en levensduur wordt weergegeven in figuur 7. Een voorspanning van meer dan 10 N beïnvloedt de levensduur aanmerkelijk.

Wrijvingsmoment: De voorspanning heeft ook invloed op de mate waarin de aanloop- en dynamische wrijving optreden.

Spelingvrije IBU's kunnen zonder huis (Integral Spindle) of met huis (Integral Cartridge) geleverd worden. De versie met huis biedt de gebruiker een aanmerkelijke vereenvoudiging van de montage omdat deze uitvoering "montageklaar" is. Daarentegen biedt de



Figuur 9 Vergelijking tussen de loopnauwkeurigheid van een IBU (links) en een discrete lager-eenheid met kogellagers van de tolerantieklasse P5 (rechts). P5: 8 µm (tolerantieklasse binnenring) en montage-tolerantie 10 µm geeft een maximale afwijking van 18 µm.



Figuur 10 IBU van een drager voor een hard disc.

versie zonder huis een prijstechnisch voordeel. In bepaalde gevallen, bijvoorbeeld bij speciale montagevoorwaarden, worden de LE's toegepast waarbij slechts één loopgroef geïntegreerd is; zie *figuur 8*. Vanuit een kwalitatief standpunt zijn deze eenheden echter minder dan de IBU's, maar beter dan discrete LE's.

Voordelen van IBU's

De trends die de computerindustrie beheersen, zijn miniaturisering, hoge precisie en de toepassing van montage-eenheden. Door het wegvallen van de binnenring vervullen IBU's de eisen tot miniaturisering op een ideale manier. Bij eenzelfde asdiameter is een verkleining van de buitendiameter tot ca. 35% mogelijk, of anders gezegd, bij eenzelfde buitendiameter kan een aanmerkelijk dikkere en dus stijvere as worden toegepast.

Door de sterk toenemende geheugen-capaciteit van hard discs, optical recording discs, scanners, etc., worden aan de loopeigenschappen van de assen die hierin worden toegepast steeds hogere eisen gesteld. Een vergelijking tussen de discrete en geïntegreerd gelagerde assen maakt de superieure eigenschappen van de IBU's duidelijk; zie *figuur 9*.

Geïntegreerde lagereenheden bieden loopnauwkeurigheden volgens ABEC7 tot en met ABEC9 (vergelijkbaar met klassen 2 tot en met 4 van de ISO-norm). Omdat het aantal componenten geringer is zijn er natuurlijk ook minder toleranties en zijn er ook minder passings- en centreervlakken. Een scheefstelling van de binnenring op de as (dit beïnvloedt het trillingsgedrag en het loopgeruisniveau) is niet mogelijk, en elke toename van de asdiameter verbetert de stijfheid.

Steeds meer bedrijven gaan er toe over om de uit vele componenten bestaande lageringen te vervangen door complete lagereenheden. Bij deze lagereenheden kan het dynamisch loopgedrag door middel van computer-ondersteunde analyses voor elke afzonderlijke toepassing geoptimaliseerd worden. *Figuur 10* toont de vele eisen die voor een specifieke toepassing aan een dergelijke lagering gesteld worden.

Toepassingen

Hard discs, laserprinters, e.d.

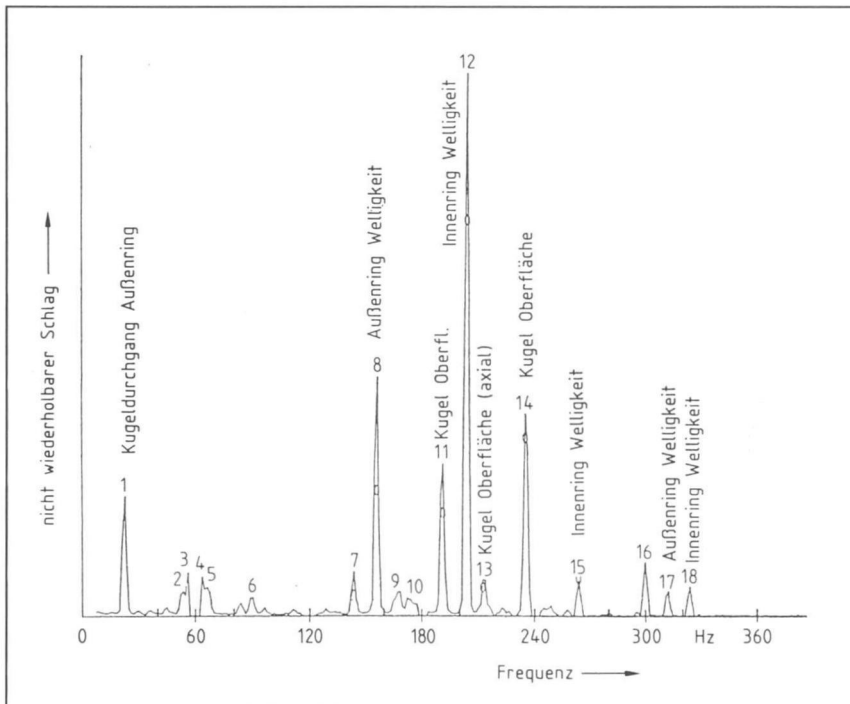
De belangrijkste eis voor deze assen is o.a. een kleine, niet repeterende slagfout. De in hard discs gebruikelijke servosturing van de lees/schrijf-koppen kan de door de niet repeterende slagfout veroorzaakte asbewegingen niet volgen. Om fouten bij het lezen of schrijven te voorkomen moet deze slagfout binnen enge grenzen worden gehouden. Met IBU's zijn waarden mogelijk van ca. 0,3 micrometer. Deze slag wordt contactloos gemeten met behulp van capacitieve meetsensoren. Worden de meetwaarden toegevoerd aan een spectrum analyser, dan wordt het mogelijk de pieken in de amplituden te bepalen en de oorzaak toe te wijzen aan hun veroorzakers. *Figuur 11* toont het resultaat van een dergelijke analyse. Optimale constructies eisen dat de IBU-frequenties zijn afgestemd op de as-aandrijving-resonanties.

Om een as rotor-dynamisch optimaal te ontwerpen, moeten de natuurlijke frequenties van de complete as (resp. asaandrijving) en de door de lagers veroorzaakte frequenties worden berekend en vervolgens zodanig worden bepaald dat deze niet samenvallen. Bovendien moet erop gelet worden dat het toerental van de as niet samenvalt met een van de natuurlijke frequenties van de as zelf.

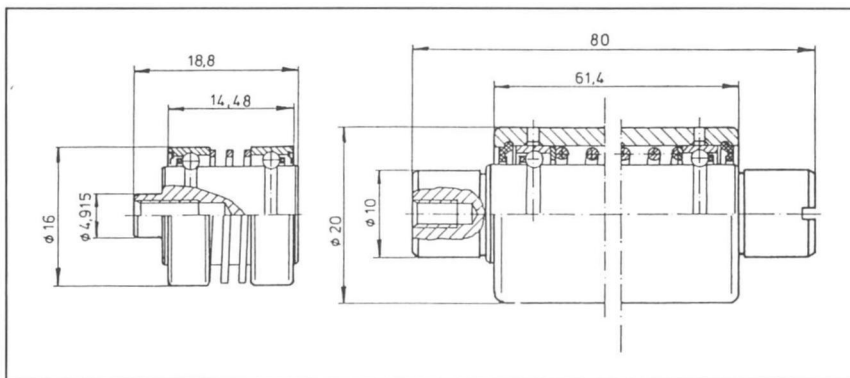
Een lagering met een geoptimaliseerd dynamisch gedrag en een lage, niet repeterende slagfout heeft ook een gering loopgeruis. Het type (CP of CF) en de voorspanning hebben weinig invloed op het niveau van het loopgeruis.

Positioneerlagering

Voor het positioneren van de lees/schrijfkop in een hard disc komen lineaire alsook zwenkaandrijvingen in aanmerking. Zwenkaandrijvingen bieden voordelen uit hoofde van hun eenvoudiger structuur, geringer aantal componenten en kortere accesstijden. Er zijn twee typische uitvoeringsvormen van een dergelijke positioneeraandrijving. *Figuur 12* toont een vliegende en een tweezijdig onder-

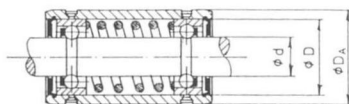


Figuur 11 Pieken in niet repeterende slagfouten (N.N.R.); de oorzaak wordt vermeld.



Figuur 12 Geïntegreerde lagereenheden voor zwenkaandrijvingen van lees/schrijfkoppen.

Tabel 1 Normvoorbeeld voor geïntegreerde lagereenheden.



IBU-standaard	zwenkaandrijving			as		
kogeldiameter	1,588	1,588	1,588	2,381	3,175	3,969
aantal kogels	10	14	17	6	6	7
<i>d</i>	8,34	11,63	14,95	6,7	7,5	11,5
<i>D</i>	12,7	16	19,05	13	16	22
<i>D_{A,min}</i>	15,7	19	22	16	19	26

steunde constructie. Bij het ontwerpen van een dergelijke toepassing moet op de volgende punten speciaal gelet worden: bij het starten van de beweging of een lage draaisnelheid kan bij een voorgespannen constructie onder bepaalde omstandigheden stick-slip, ook wel indexeffect genoemd, optreden. Dit wordt veroorzaakt door variaties in het wrijvingsmoment.

Omdat een positioneeraandrijving uitsluitend zwenkbewegingen uitvoert, d.w.z. elke keer weer vanuit hetzelfde punt opnieuw aanloopt, wordt dit fenomeen vaak als zeer storend ervaren. Door een afgewogen keuze van de zwenksnelheid, aanliggen in de loopgroeven, kogeldiameters en kogelaantallen, voorspanning en smeerstoffen kan dit effect vermeden worden.

Een ander fenomeen dat bij kogellagers optreedt is het zogenaamde "False Brinelling". Hieronder verstaat men het inlopen van de kogels in de

loopgroeven bij trillingen van het stilstaande of slechts kleine zwenkbewegingen makende lager. Deze toestand treedt veelvuldig op bij dergelijke positioneerlageringen. Om het tijdstip tot het optreden van beschadigingen in de loopgroeven zo ver mogelijk vooruit te schuiven, moeten zwenkhoeken, aanliggen in de loopgroeven, kogeldiameter en kogelaantal, voorspanning en smeerstoffen voor elke specifieke toepassing worden geoptimaliseerd.

Een nadeel van zwenkaandrijvingen is een relatief lage mechanische eigenfrequentie. Trillingen worden overgedragen op de lees/schrijfkop en verstoren daardoor een correcte werking. De eigenfrequentie kan tot meer dan 2000 Hz verhoogd worden door gebruik te maken van een roterende buitenring, een tweezijdig ondersteunende as en door het optimaliseren van de asdiameter, de afmetingen van het lager en de voorspanning met betrekking tot de stijfheid.

Overige toepassingen

Andere toepassingsgebieden voor IBU's zijn bijvoorbeeld decoders, lageringen voor Daisy-wheels (printers), platenspelers, video-apparaten, geleiderollen, precisie-assen voor de fijnmechanische techniek en machinebouw, etc. IBU's zijn daar op hun plaats waar technische aspecten zoals geringe radiale speling, hoge loopnauwkeurigheid, hoge astijfheid en geringe trillingen voor het eindproduct van grote betekenis zijn.

Afmetingen, normen

In tegenstelling tot de discrete wentel-lagers bestaan er voor IBU's tot op heden geen normen of standards. Als eerste stap in die richting heeft men gekozen voor bepaalde kogelkooien en daarmee de as- en huisdiameters bepaald. Deze zijn weergegeven in tabel 1. Aseinden en afstanden van de lagers onderling worden voor elke specifieke toepassing afzonderlijk bepaald. Bovendien worden de reeds in serie geproduceerde IBU's, voorzover het niet om speciale klantenwensen gaat, aanbevolen.

De auteur:

Ir. Lothar Schard is bij SKF-Textilmaschinen Komponenten GmbH in Stuttgart werkzaam en verantwoordelijk voor de ontwikkeling van lagereenheden.

Vervolg van pag. 47

Th.J.A. Kemme,
Dienst Grondwaterverkenning TNO

11.00-11.30 uur

XPS-2: Een knowledge base voor de werkvoorbereiding van een familie te verspanen producten, P.C.C. Uijt de Haag,
Metaalinstituut TNO

11.30-12.00 uur

VDES: Vocht-diagnose expertsysteem H. Oey,
Instituut TNO voor Bouwmaterialen en Bouwconstructies

12.00-13.30 uur

Discussie, lunch en demonstraties

13.30-14.00 uur

AUTOPES: De toepassing van een kennisstelsel op het gebied van procesbeheersing, L.M. Schrijnen,

Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie TNO

14.00-14.30 uur

Kijk op procesinstallaties en kennis van storingen, A.M. Schaafstal,
Projectgroep Bedrijfskunde TNO

14.30-15.00 uur

Theepauze

15.00-15.30 uur

FELIX: Een intelligent computer ondersteund onderwijsstelsel, J. Bruin,
Fysisch en Elektronisch Laboratorium TNO

15.30-16.00 uur

ESOVOS: Expertsysteem ter ondersteuning van het voorontwerpen van schepen, U. Jager,
Instituut voor Toegepaste Informatie TNO

Plenair Mondriaanzaal

16.00-16.15 uur

Afsluiting
A.G.G. Op 't Veld, voorzitter Contactgroep Kennissystemen TNO

16.15-17.30 uur

Borrel

Plaats

Nederlands Congresgebouw
Churchillplein 10
Den Haag

Datum

12 mei 1989

Tijd

09.00 uur

Deelnamekosten: Hfl. 475,00

(te voldoen op bankrekeningnummer 54.96.22.705 t.n.v. TNO, onder vermelding van "kennis", naam van deelnemer en firmanaam).

Driedimensionale oppervlakte-ruwheidsmeter

Het Franse bedrijf SAS Technologies heeft een geheel nieuwe driedimensionale ruwheidsmeter, de "NANO-SURF 488" op de markt gebracht. Hiermee is het mogelijk door middel van registratie, de kwaliteit van het oppervlak weer te geven, apparatuur voor het meten van de oppervlaktekwaliteit te besturen en gegevens die van de diverse tasters afkomstig zijn op te slaan en te vergelijken.

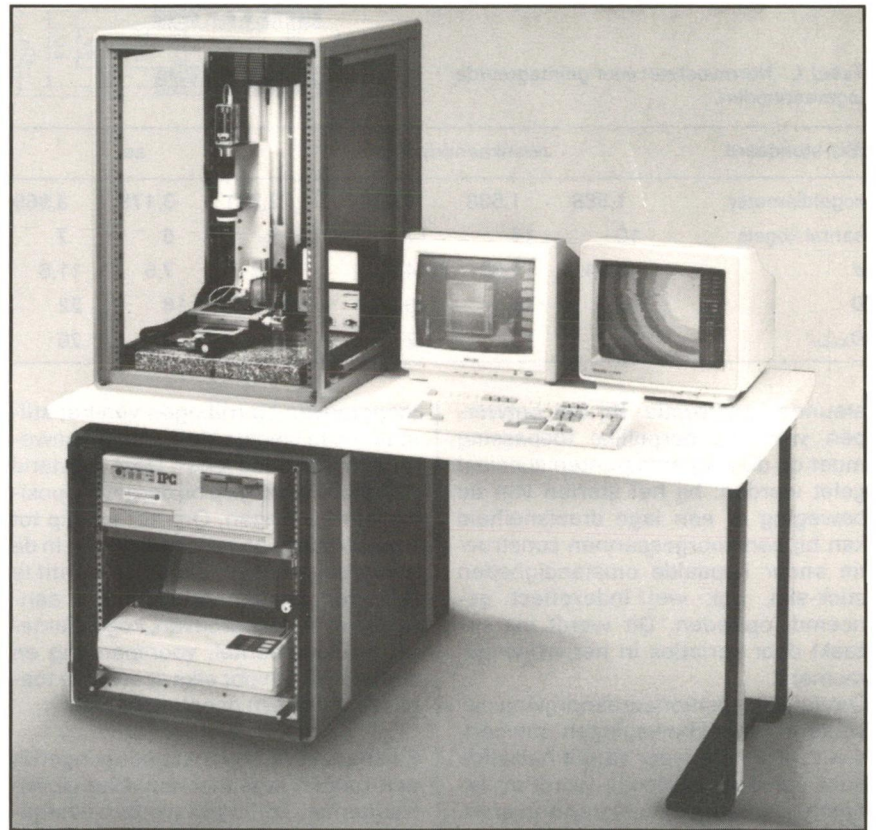
De topografie van het oppervlak wordt langs een aantal assen in perspectief weergegeven, weergavehoeken variërend van 30 tot 75 graden, niveaucurven in 16 kleuren, uitvergroting van details, doorsneden langs 2 assen, etc. Met behulp van krachtige software wordt het oppervlak geanalyseerd aan de hand van de volgende criteria:

Ra, Rg, Rt, Ek, Sk, hoogteverdelings- en Abbott-curven, onder- en bovendoorlaatfiltering, etc.

Zowel tasterpunten als contactloze voelers (laser) zijn toepasbaar. De als optie leverbare CCD-camera biedt de volgende extra's:

- positionering,
- bepaling van de zones,
- uitvergroting van zones op het scherm en het automatisch verzamelen van de gegevens in de zettien te analyseren zones.

SAS Technologies biedt onderzoekcentra, bedrijfsleider en belangheb-



bende op het terrein van hoge kwaliteitseisen de gelegenheid hetzij een complete installatie te bestellen, hetzij hun bestaande tweedimensionale ruwheidsmeters om te laten bouwen tot een computergestuurde driedimensionale met behoud van alle gestandaardiseerde criteria. SAS Tech-

nologies is geïnteresseerd in contacten met Nederlandse distributeurs in de sector meetinstrumenten.

Voor info:
Stichting FRANTECH
Bureau informatie Franse Technologie
Telefoon: 020-254736

Milieu veilige afzuigwerktafel

Voor al die plaatsen waar gewerkt wordt met vluchtige stoffen die nadelig voor de gezondheid kunnen zijn en/of een onaangename geur verspreiden en hierdoor de werkomstandigheden ongunstig beïnvloeden, brengt Laméris bv een nieuwe veilige afzuigwerktafel op de markt, onder type-aanduiding Medite TAZ-19. Hiermee worden de dampen direct via een fijngeperforeerde plaat, tevens werkblad afgezogen, passeert een groot-volume actiefkoolfilter en wordt als gereinigde lucht weer in de werkruimte teruggevoerd. Het koolfilter heeft een zeer lange levensduur, een ingebouwd signaallampje geeft aan wanneer het filter verzadigd is en vervangen moet worden. Het oppervlak van het werkblad heeft afmetingen van 590 mm x 310 mm. De afzuigtafel kan zonder extra voorzieningen op elke gewenste plaats worden ingezet.



Het apparaat is uitgerust met een ingebouwde bedrijfsurenteller en is ook leverbaar in een explosie-veilige uitvoering.

Voor uitvoerige info:
Laméris Laboratorium bv
Postbus 55, 3620 AB Breukelen
Telefoon: 03462-62044

Programmeerbare Zaagtandgenerator



Het Franse bedrijf Cartronic levert een programmeerbare zaagtandgenerator waarmee het via de software mogelijk is de spanning, stroom en stijgtijd binnen bepaalde grenzen te variëren.

Het apparaat is ontwikkeld voor het verwerken van meetgegevens en het bepalen van elektrische eigenschappen van halfgeleiders en is bestemd voor elektronische- en micro-elektronica informatica-laboratoria.

Het heeft de volgende karakteristieken:

- uitgangsspanning van 0 ± 120 V,
- regelbare hellingshoek van de dV/dt , instelbaar tussen $0,1$ V/s en 5 V/sec. Nauwkeurigheid binnen 1%,
- maximale uitgangsstroom instelbaar tussen 0 en $0,1$ mA.

Start en stop commando's ingebouwd. Als maximum waarde van spanning en/of stroom wordt bereikt of overschreden kan de spanning en/of stroom tot nul worden gereduceerd.

De generator wordt gebruikt voor het meten van twee verschillende karakteristieken:

- a. Voor het niet destructief meten van doorslagspanning van oxydelagen om de I(V) karakteristiek te bepalen.
- b. Voor het quasi-statisch meten van de capaciteit van een metaal-oxyde halfgeleider (MOS). Deze metingen maken een nauwkeurige bepaling van de kwaliteit van het diëlectrum in de MOS halfgeleider en berekening van de oppervlaktedichtheid mogelijk.

Cartronic levert deze zaagtandgenerator onder licentie van C.E.A.-I.R.D.I. (Commissariat à l'Énergie Atomique-Institut de Recherche Technologique et de Développement Industriel) tegen een scherpe prijs.

Voor uitvoerige informatie:
Stichting Frantech
Keizersgracht 276
1016 EW Amsterdam
Tel.: 020 - 25 47 36.

Kabelbeschermingsketting

Een driedimensionaal gevormde kabeltransportketting welke is samengesteld uit met fiberglas versterkte kunststof schalmen die in elke richting vrij kunnen bewegen. Tsubakimoto Chain Co bracht kort geleden als eerste dit type kabelbeschermingsketting op de markt.

Technische specificaties:

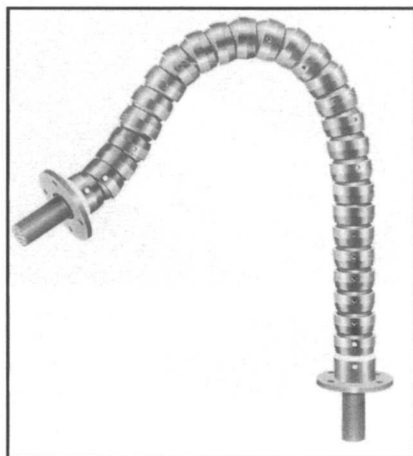
- ketting N° FTP 026 R100,
- radius 100 mm,
- steek van de schalmen 20 mm,
- gewicht van de kabel max. 1 kg/m,
- gewicht van de ketting 0,5 kg/m,
- max. snelheid 120 m/min,
- temperatuur 0-50° C.

Voordelen zijn o.a.:

- driedimensionale ondersteuning van de kabel,
- kan eventueel beperkt worden tot tweedimensionale geleiding of zelfs tot een volledig starre, door middel van het inbrengen van een pen of bevestigen van een extra ring,
- simpele montage en demontage.

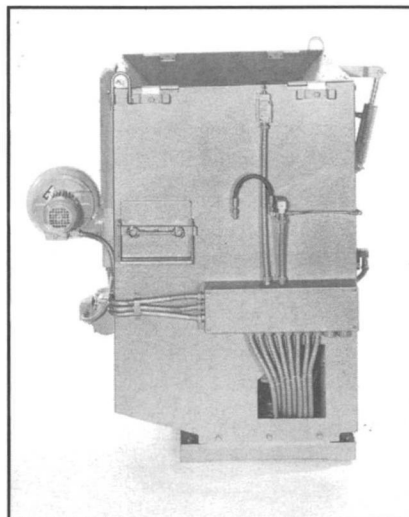
Voor uitvoerige informatie:

P. Koning BV Aandrijftechniek
Postbus 5002
3008 AA Rotterdam
Tel.: 010 - 42985888.



Terugwinnen van smeermiddelen

Het Westduitse bedrijf Steimel ontwikkelde automatisch werkende centrifuges voor het terugwinnen van koelsmeermiddelen bij machinaal bewerkte producten en de daarbij vrijkomende spanen.



Onder type-aanduiding Hydro Polar zijn twee uitvoeringen leverbaar. De centrifuges functioneren volautomatisch zonder toezicht. De smeermiddelen worden zodanig gezuiverd dat ze zonder probleem naar het koelsmeermiddelreservoir van de bewerkingsmachine kunnen worden teruggevoerd.

De te centrifugeren producten of spanen worden, al dan niet via een speciale toevoerinrichting, naar de bovenzijde van de installatie gebracht. Na het centrifugeren kunnen de producten/spanen, door middel van heffen van de trommel, via trommelbodem en een goot worden afgevoerd. Indien gewenst is plaatsing van een extra filter mogelijk waardoor ook de kleinste verontreinigingen worden verwijderd.

Met de twee uitvoeringen kunnen charges tot resp. 70 dm³ en 120 dm³ (met een max. gewicht van 150 kg en 300 kg) tegelijk verwerkt worden. Beide uitvoeringen worden compleet geleverd met elektrisch verwarmingssysteem en ventilatoren.

Op verzoek is ook een volautomatisch werkende centrale installatie met toevoerinrichting, spanenbreker en afvoersysteem leverbaar.

Voordelen zijn o.a.:

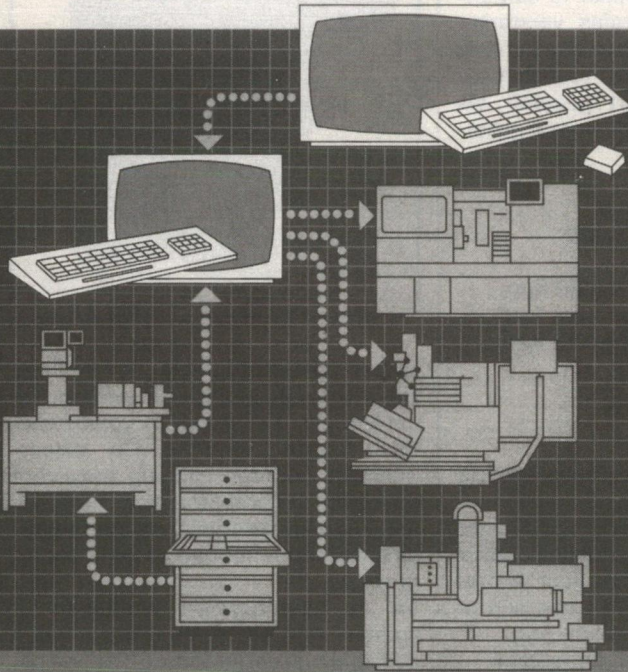
- belangrijk lager verbruik van smeermiddelen,
- ook inzetbaar voor drogen van bv. galvanisch behandelde onderdelen,
- compact van uitvoering en milieu vriendelijk.

Voor uitvoerige informatie:

Grianeman Hespero BV
Postbus 24, 7550 AA Hengelo
Tel.: 074 - 43 45 45.

NC

ORGANISATIE



Technische Uitgeverij De Vey Mestdagh BV

Omvang ca. 150 pagina's A5
Vele afbeeldingen
ISBN 90 6376 021 3

Ook in de boekhandel
verrijgbaar
In België te bestellen bij
uitgeverij de Sikkel

Wij verzoeken u te leveren _____ ex.

NC

ORGANISATIE

NAAM _____

ADRES _____

POSTCODE _____

PLAATS _____

Zenden aan Technische Uitgeverij De Vey Mestdagh BV
Markt 51 • 4331 LK Middelburg • Nederland

Technische Uitgeverij De Vey Mestdagh BV

Markt 51 • 4331 LK Middelburg • Nederland • Telefoon 01180-81240



NC-Organisatie voor produktiebedrijven

- programmeren
- werkplaatsorganisatie
- werkstukkeuze
- gereedschaporganisatie
- spanmiddelenorganisatie
- personele aspecten
- CAD-CAM

Voorwoord

Voor veel ondernemingen is het invoeren van numerieke besturing pas sinds kort economisch verantwoord. Deze bedrijven moeten nu in korte tijd vele problemen zien op te lossen.

1. De technologische beheersing van de NC-techniek, omdat de invoering van NC-bewerkingsmachines dikwijls gepaard gaat met het toepassen van nieuwe bewerkingsmethoden, of in ieder geval omdat andere verspaningscapaciteiten mogelijk blijken.
2. De opleiding van een groep deskundige medewerkers voor het programmeren en het bedienen van de NC-machines, en
3. Het opzetten van een effectieve NC-organisatie, die een efficiënt gebruik van de kapitaal-intensieve produktiemiddelen garandeert.

Ten opzichte van conventionele produktiemethoden vereist NC-produktie in het algemeen meer voorbereidingskosten en een kwalitatief betere voorbereiding. Machinestilstand door tekortkomingen in de organisatie gaat snel gepaard met aanmerkelijke verliezen. Er ontstaan nieuwe taken zoals NC-programmering en programmabeheer. De werkplaatsbezetting moet veranderd worden, voor NC-machines moet een optimaal werkstuk-spectrum vastgelegd worden, gereedschappen en hulpmiddelen moeten gedocumenteerd en gemeten worden en het personeel moet op de hoogte worden gebracht van de nieuwe gang van zaken.

Voor degene, die voor het eerst met numerieke besturing te maken krijgt, geeft dit boek snel een overzicht van de betreffende probleemgebieden en doelmatige praktijkoplossingen voor de produktievoorbereiding en fabricage. Ook de ervaren NC-technicus vindt hierin nog uitgebreide informatie hoe hij zijn eigen NC-organisatie kan verbeteren.

De stof in dit boek is wat terminologie en inhoud betreft gebaseerd op de cursus "Produktievoorbereiding en -besturing" van het REFA-instituut in Darmstadt. De Nederlandse vertaling werd verzorgd door de Contactgroep Numerieke besturing van de Vereniging voor Produktietechniek VVW.



vrije universiteit amsterdam

De faculteit der Scheikunde/Fijnmechanische Instrument-
makerij zoekt een

tekenaar-constructeur (m/v)

(vacaturenummer 614-9373)

Taak:

- het construeren van (complexe) apparatuur;
- het maken van zodanige detailtekeningen, dat vervaardiging in de instrumentmakerij kan plaatsvinden.

Functie-eisen:

- HTS fijnmechanische techniek of daaraan gelijkwaardige opleiding;
- enige kennis van CAD-tekensystemen strekt tot aanbeveling.

Salaris: afhankelijk van opleiding en ervaring max. f 3.641,- bruto per maand (salarisschaal 7) bij volledige werktijd.

Nadere informatie wordt gaarne verstrekt door de heer W. Mels, hoofd Instrumentmakerij, tel. 020 - 548 5333.

Schriftelijke sollicitaties, onder vermelding van het vacaturenummer linksboven op brief en envelop, binnen 14 dagen na het verschijnen van deze advertentie te richten aan de Vrije Universiteit, Secretaris/beheerder faculteit der Scheikunde, Gebouw Wiskunde en Natuurwetenschappen, De Boelelaan 1083, 1081 HV Amsterdam.

De Vrije Universiteit streeft naar toename van het aantal vrouwen in haar organisatie.

Instemming met de doelstelling van de Vrije Universiteit als christelijke instelling wordt verwacht.

De Vrije Universiteit is gelegen aan de
De Boelelaan 1105, Amsterdam-Buitenveldert.

