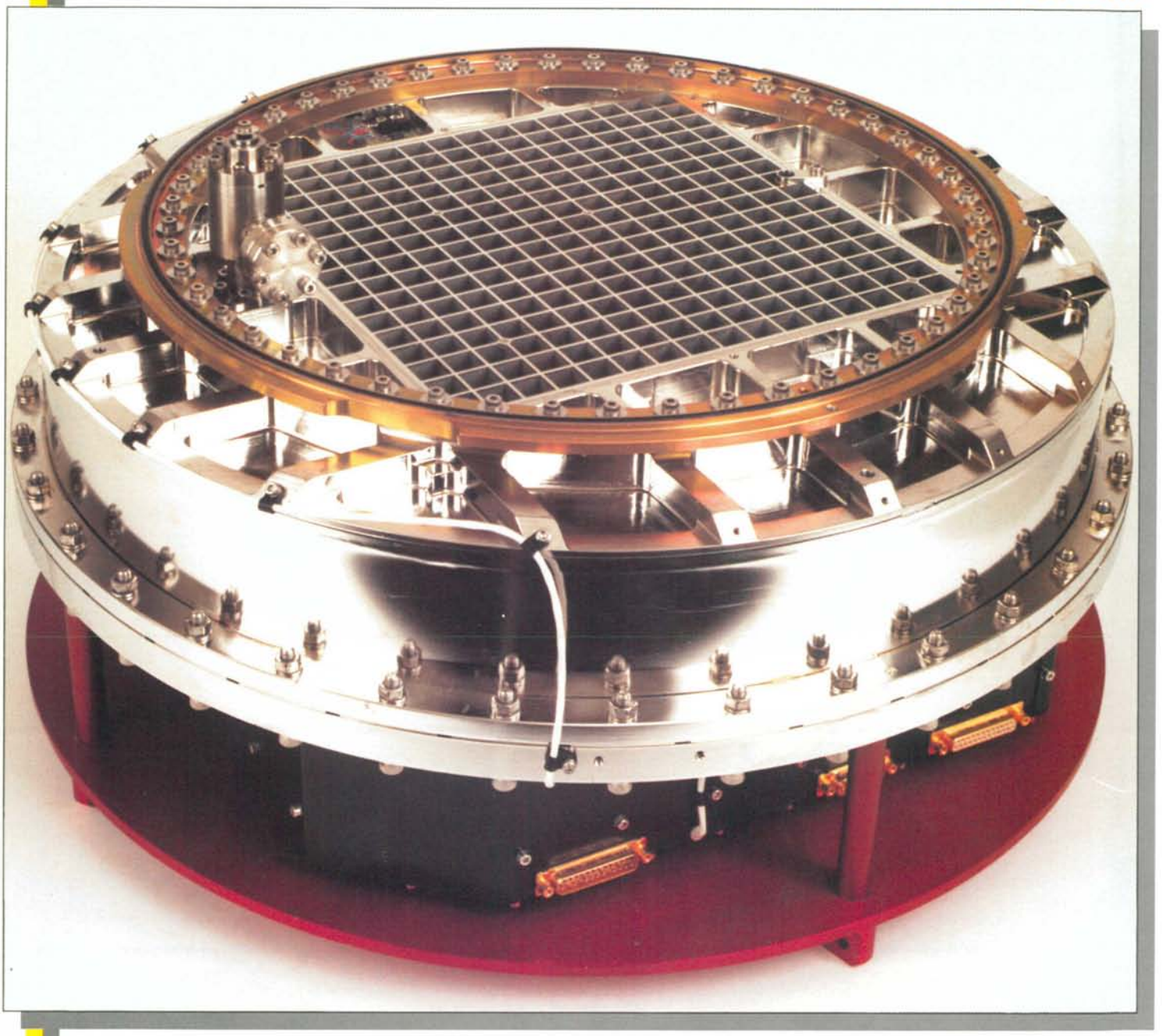
jaargang 32, nummer 4

Mikroniek

NVFT

VAKBLAD VOOR FIJNMECHANISCHE TECHNIEK



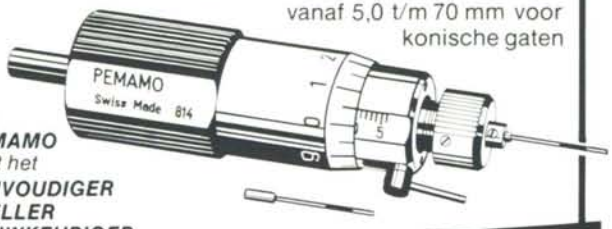
Technische keramiek – Vrijheidsgraden
Simultaanspectrometer – Ideeënjaarprijs
Tandwielen voorspannen

PEMAMO Precisie Hoonapparatuur vanaf 0,6 mm

- mikrometrisch fijn verstelbaar
- verstelling direkt afleesbaar
- herhalingsnauwkeurigheid 0,001 mm
- hoogste precisie en oppervlaktekwaliteit voor iedereen bereikbaar
- ook geschikt voor gebruik op boormachines, draaibanken, freesbanken, e.d.

814: handbediend, bereik 0,6-1,5 mm
220: handbediend, bereik 1,5-20 mm
1040: handbediend, bereik 11-70 mm
AR-340: electronisch, bereik 1,5-70 mm

PEMAMO Precisie Diamant Hoondoorns
vanaf 0,6 mm t/m 80 mm voor doorgaande gaten
vanaf 2,5 mm t/m 80 mm voor blinde gaten
vanaf 5,0 t/m 70 mm voor konische gaten



Met ***PEMAMO*** *gaat het*
EENVOUDIGER
SNELLER
NAUWKEURIGER

Technische Handelsonderneming J. KRIJGSMAN
v. Blommesteijnstraat 25 - 3087 BX Rotterdam
Tel. 010-4950933* - Fax 010-4950494

Benelux Dienstenoverzicht

GROOT IN HET KLEINE

Handling

onderdelen toevoeren

opto-mechanisch
mechanisch
meerbanig
accessoires

in flow meten

controleren
identificeren
sorteren

doseren

manueel/automatisch
tijd-druk/volumetrisch
vet, olie, lijm of pasta's

assembleren

modulaire assemblage
automaten en modules

Techni-Show Bernhardhal stand 4034 G

micro ✱ montage
Postbus 3108 - NL 3760 DC SOEST - Holland

DENK NOU NIET DAT U MET UW HOOGGLANS- EN OPTISCH POLIJSTWERK BIJ ONS NIET WELKOM BENT

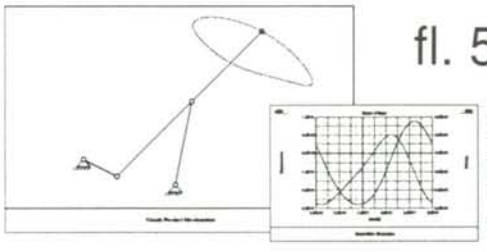
Polgron Optics and Polishing Techniques is de enige onderneming in Nederland die zelfstandig hoognauwkeurig polijstwerk verricht. Het polijsten van produkten met een oppervlakteruwheid van Ra 0,001 tot 0,002 micrometer en een vormnauwkeurigheid van 0,03 micrometer is met de door ons ontwikkelde techniek niet alleen haalbaar voor vlakke, maar zelfs voor sferische en a-sferische vormen. Die kunst laten we niet afkijken. Eventuin gunnen we u een blik op prototypes of matrijzen van de meest gerenommeerde bedrijven die bij ons op de werkbank kunnen staan. Wellicht voor u juist de verzekering dat uw opdracht bij Polgron in goede handen is.

P O L G R O N
OPTICS & POLISHING TECHNIQUES
Het grove onderscheid op 0,002 micrometer.

Zernikepark 2-4, 9747 AN Groningen, tel. 050-7457 58 fax 050-614596

Mechanismen Analyse op de PC

SAM 1.1 Gebruikersvriendelijke analyse van willekeurige stangen- en planetaire mechanismen



fl. 599,-

Onderwijs-instellingen : fl. 250,-
Demoversie : fl. 10,-
Prijzen ex. BTW

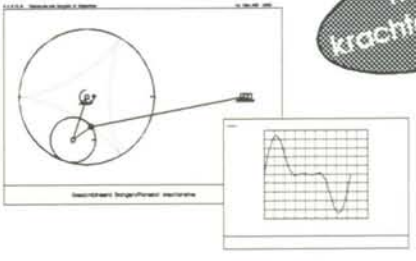
Vraag de folder !

ARTAS - Technical Application Software • Het Puyven 162 • 5672 RJ Nuenen • tel/fax 040-837552

Mechanismen Analyse op de PC

SAM 2.0

nu ook krachten-analyse

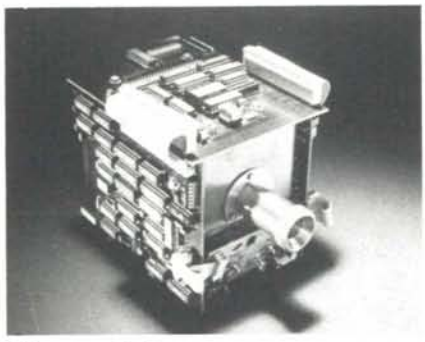


Gebruikersvriendelijke analyse van willekeurige stangen- en planetaire mechanismen

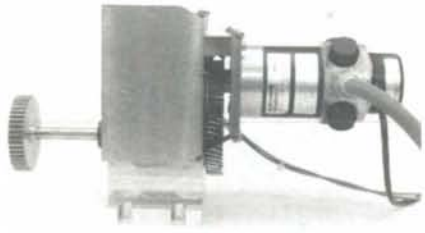
v.a. hfl. 599,-

ARTAS - Technical Application Software Het Puyven 162 • 5672 RJ Nuenen • tel/fax 040-837552

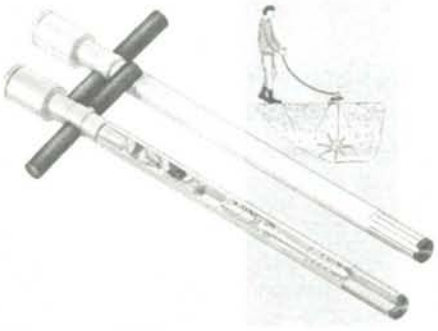
Zie pag 106



Zie pag 112



Zie pag 117



Zie pag 122

In dit nummer

95, 97,9 8, 99, 111, 116 Verenigingsnieuws,feiten, data, mensen

96 Editorial
E.J.C. Ottevanger

100 Constructies voor nauwkeurig bewegen en positioneren (7)
M.P. Koster, P.C.J.N. Rosielle, E.A.G. Reker

106 Eigenschappen, fabricage en toepassingen van technische keramiek
P.J. van Tilborg

112 Simultaanspectrometer
Dipl.- Phys. Meinrad Mächler en Dr. Harry Schlemmer

117 Regelend voorspannen van tandwielen
Ir. C.W. Kruijer

122 Prijs voor de beste uitvinding

125 Produktinfo

Bij de foto van de voorpagina

Röntgendetector voor de groothoekcamera, die Stichting Ruimteonderzoek Nederland (SRON) heeft ontwikkeld voor COMIS, een missie die momenteel succesvol opereert in het Russische MIR-station; zie Mikroniek 32(1992)3, p. 77.

Verenigingsnieuws/Actueel

Activiteiten van de Regionale Werkgroepen

In de Algemene Ledenvergadering van april j.l. is het plan gepresenteerd om een zogenaamde "basisactiviteit" voor de regionale werkgroepen te gaan organiseren. Dit plan hield in dat over een bepaald thema of onderwerp een regioactiviteit wordt voorbereid die vervolgens in de verschillende regio's wordt uitgevoerd.
Eén van de uitgangspunten is hierbij geweest dat aan de deelnemers een hoeveelheid kennis wordt overgedragen die zij in hun beroepspraktijk kunnen toepassen en wellicht nodig hebben.

Van het gekozen onderwerp worden de theoretische grondslagen wel behandeld, maar beperkt tot hetgeen nodig is om tot het inzicht voor praktische toepassingen te komen.
Aan het einde van de bijeenkomst is er een forumdiscussie waarbij de verschillende inleidingen gezamenlijk worden geëvalueerd en de wensen van de deelnemers inzake onderwerpen en de behandeling ervan worden besproken om er in de volgende bijeenkomsten zoveel mogelijk rekening mee te houden.
Wij menen dat de Regionale Werkgroepen hiermee op een praktische en bruikbare wijze vorm geven aan een van de doelstellingen van de NVFT: "Het stimuleren van kennisoverdracht, waarbij maximaal op de wensen van onze leden kan worden ingegaan".

Om tot een eerste keuze van onderwerp te kunnen komen, is aan de coördinatoren van de RW'en gevraagd na te willen gaan welke onderwerpen in hun Regionale Werkgroep relevant geacht worden.
De grootste belangstelling bleek uit te gaan naar "Fijnmechanische Constructies" die in ons vakgebied worden toegepast. Dit onderwerp kan bovendien in een aantal afgeronde hoofdstukken worden ingedeeld die afgestemd kunnen worden op de wensen van de deelnemers.

De voorbereidingen zijn inmiddels getroffen en de eerste bijeenkomst zal eind september/begin oktober in Eindhoven worden gehouden als een gezamenlijke activiteit van de RW'en Eindhoven en Zuid-Limburg.
Vervolgens is het de bedoeling hetzelfde of een geëvalueerd programma in Utrecht - als een gezamenlijke activiteit van de RW'en Amsterdam, Leiden en Utrecht - en in Twente - als een gezamenlijke activiteit van de RW'en Twente en Gelderland - te presenteren.

We hebben ir. P.C.J.N. Rosielle bereid gevonden het onderwerp "Fijnmechanische Constructies" voor de opvolgende regio-activiteiten in hoofdstukken in te delen en bovendien een belangrijk deel van de inleidingen te verzorgen.
De beoogde indeling van het onderwerp in hoofdstukken ziet er voorlopig als volgt uit:

Hoofdstuk I:	Statisch bepaald construeren. Het beheersen van vrijheidsgraden.
Hoofdstuk II:	Manipuleren en instellen.
Hoofdstuk III:	Elastische elementen.
Hoofdstuk IV:	Het verwijderen van speling.
Hoofdstuk V:	Construeren op stijfheid.

Bij de behandeling van elk hoofdstuk worden modellen getoond waaraan de behandelde theorie kan worden getoetst. De praktische waarde van het gepresenteerde wordt tenslotte getoond en besproken aan de hand van uitgevoerde constructies die voor verschillende toepassingen zijn ontworpen.
Ter afsluiting zal dan de forumdiscussie worden gehouden.

De presentatie van het eerste hoofdstuk zal een gehele dag vragen, waarvoor de leden in de regio's Eindhoven en Zuid-Limburg begin september een uitnodiging ontvangen. De dag zelf zal eind september/begin oktober in Eindhoven worden gehouden.

Wij menen met deze interessante en praktische lezingen-cyclus "Fijnmechanische Constructies" aan het verzoek van vele leden - en niet-leden - te voldoen en trachten in direct contact met U een substantiële kennisoverdracht tot stand te brengen.

Namens de coördinatoren van de Regionale Werkgroepen hoop ik U spoedig bij de cyclus te ontmoeten.

ir. G. van Drunen,
secretaris NVFT.

Regionale werkgroep Amsterdam

Op 29 oktober 1992 wordt de regionale werkgroep Amsterdam een themaavond aangeboden door de firma Geveke Electronics te Amsterdam.
Het thema is: **Lasermeettechniek.**
Medewerkers van de firma Geveke zullen ons iets vertellen over de mogelijkheid en de werking van lasersensoren van het fabrikaat Keyence. Deze sensoren kunnen verplaatsingen met zeer grote nauwkeurigheid meten.
Uitleg en demonstraties zullen elkaar afwisselen en uiteraard is er voldoende gelegenheid voor persoonlijk contact met collega's.
Plaats van samenkomst:
Aristo zalencentrum,
Telepoort boulevaar 100 (bij Sloterdijk station), Amsterdam.
Aanvang: 20.00 uur
Toegang voor leden en scholieren gratis voor niet leden f 5.00.
Om inzicht te hebben in het aantal deelnemers is telefonische aanmelding gewenst.
Namens de regiowerkgroep Amsterdam,
W. Mels, telefoon 020 - 5 485 333.

Vakbeurs voor aandrijf- en besturingstechniek

Van 5 tot en met 10 oktober 1992 wordt in de Jaarbeurs in Utrecht de Vakbeurs voor aandrijf- en besturingstechniek "Aandrijftechniek '92" gehouden.
Evenals voorgaande jaren zullen ook nu weer mechanische-, elektrische-, hydraulische- en pneumatische aandrijvingen onder de aandacht gebracht worden.
Tot nu toe hebben zich 224 deelnemers aangemeld die in het totaal 1158 firma's vertegenwoordigen, waarvan 241 met

Editorial

Met FMT-produkten meer kans op succes?

Op 11 juni j.l. is de ID-NL-jaarprijs toegekend aan de beste uitvinding. Criteria voor de jury zijn maatschappelijke relevantie en de kans op een succesvolle toepassing.
Dit jaar werd de prijs, die bestaat uit een oorkonde en een cheque ter waarde van f 15.000, door de jury toegekend aan een vinding voor het beveiligen van waardepapieren met behulp een speciaal hologram in combinatie met een uitleesunit.
Vorig jaar werd de prijs toegekend aan een medische vinding, een kleppenstripper met embolisatie apparaat voor bloedvaten. Hierdoor kan de operatiewond van ca. 80 cm worden teruggebracht naar twee kleine wondjes van 3 tot 4 cm.

In beide gevallen betreft het een vinding op het vakgebied van de fijnmechanische techniek (FMT). Andere met succes door het Specialistisch InnovatieCentrum voor Uitvindingen ID-NL bemiddelde uitvindingen, waaronder de elektronische waterpas, zou je ook tot het terrein van de FMT kunnen rekenen. De uitvinders zelf waren geen FMT-ers en zochten hulp voor het ontwikkelen van hun idee tot een produkt en het commercialiseren ervan. ID-NL zorgde voor de begeleiding waardoor de vinding een optimale kans op succes kreeg.

Uit het voorgaande zou men kunnen afleiden dat uitvindingen op het terrein van de FMT een goed economisch potentieel en een meer dan gemiddelde kans van slagen hebben. Dit moge voor bedrijven en ontwikkelaars in de FMT een stimulans zijn om hun ideeën te commercialiseren. Begeleiding door een kennistransferbureau als ID-NL, dat zowel voor bedrijven als individuele uitvinders werkt, kan de kans op succes aanzienlijk vergroten.

Drs. E.J.C. Ottevanger,
directeur Specialistisch InnovatieCentrum voor Uitvindingen ID-NL

Uitgave:
NVFT

Redactie:
Dr. Ing. D. Blank
Ir. S. van de Graaf (hoofd redactie)
Drs. K.J. Groenewolt
H.M.C. Heubers
Ir. P.C.J.N. Rosielle
H.G.J. Rutten
Ir. J.J. Veerman
G.J. Verschragen

Redactiesecretariaat:
Mikroniek
Postbus 80.004
3508 TA Utrecht
Telefoon 030-531 710 / 531 639

Redactie-adviesraad:
Prof.Ir. A. Anemaat
Prof. L.H.J.F. Beckman
Prof.Dr.Ir. H.F. van Beek
Prof.Dr.Ir. J. Bleeker
Ing. H. Bosch
Ir. P. Brinkgreve
Ing. M.F. Dierselhuis
Prof.Ir. C. Heuvelman
Ir. D. de Hoop
A. Meijering
Dr.Ir. J.A. Rietdijk
Prof.Dr.Ir. P.H.J. Schellekens
Prof.Dr.Ir. Ch. Snijders
Ir. G. Vaessen
Prof.Dr.Ir. A.J.A. Vandenput
Ir. D. van't Veen

Advertenties en Abonnementen:
Mikroniek
J. Verkerk
Postbus 80.004
3508 TA Utrecht
Telefoon: 030-531 710 / 531 639
Fax: 030-522 267
Postgiro:3488776
T.n.v. Techno Press
Amsterdam
Abonnementskosten Mikroniek:
Nederland f 100,-- per jaar
Buitenland f 125,-- per jaar
Alle prijzen excl. BTW

Secretariaat NVFT
Postbus 6367
5600 HJ Eindhoven
Telefoon: 040-473 659
Fax: 040-460 645

Vormgeving:
Jurriaan Bol Design, Son

Lay-out en realisatie:
Twin Design B.V.
Oostersingel 35a
4101 GH Culemborg
Telefoon: 03450-19525
Fax: 03450-13480

Mikroniek verschijnt zes maal per jaar

ISSN 0026-3699

© Niets van deze uitgave mag overgenomen of vermenigvuldigd worden zonder nadrukkelijke toestemming van de redactie.

nederlandse en 917 met buitenlandse produkten.

Steeds meer componenten worden via busstructuren (Interbus, Profibus) door PLC en PC aanstuurbaar en daardoor ontstaat ook de mogelijkheid van decentrale aandrijving. Voor de elektrische aandrijvingen wordt nog steeds een lichte stijging in de toepassing van frequentieregelaars geconstateerd. Ook de toepassing van servo-aandrijvingen (met een verschuiving naar borstelloos) neemt meer en meer toe.

Nieuwe cursus mechatronica van start bij PTO-U

Bij Post Tertiair Onderwijs Utrecht start op 12 oktober a.s. de nieuwe cursus Fijnmechanische Techniek / **Mechatronica.**
Deze cursus is het gevolg van de toenemende behoefte bij bedrijven om het werktuigbouwkundige ontwerpproces meer vanuit een integrale aanpak te benaderen en vroegtijdig in het ontwerp onder andere elektronische en optische oplossingen mee te wegen.
Dat dit noodzakelijk is in een groeiende high-tech markt als de Fijnmechanische Techniek, lijkt logisch.
Juist de meer algemene werktuigbouwkundige constructeur zal van deze ontwikkelingen kennis moeten nemen om technologische ontwikkelingen bij te kunnen houden. Wat vandaag high-tech is, is morgen "normal-tech".
Ook het Ministerie van Economische Zaken heeft deze behoefte waargenomen en heeft de Mechatronica als "kruispunttechnologie" aangemerkt. Dit heeft onder andere geleid tot het oprichten van een "Mechatronicaplatform", waarin kopstukken uit de "high-tech-bedrijven" zitting hebben.
Doelstelling: de kennis op het gebied van de hoogwaardige werktuigbouwkundige technieken op hoger plan te krijgen, de noodzakelijke elektronicakennis aan te leren en last-but-not-least de integrale ontwerpaanpak eigen te maken.
Bestemd voor: werktuigbouwkundige constructeurs en andere technici op tenminste HTS-niveau, die zich bezighouden met het ontwerpen en maken van "Mechatronische" produkten.
Cursusduur: 1 jaar; wordt gegeven op de maandagen van 13.30 tot 19.40 uur te Utrecht.
Voor nadere informatie:
Secretariaat PTO-U,
telefoon: 030 - 660 254.

Opleiding microtechniek

Hoewel Nederland op wetenschappelijk gebied een vooraanstaande plaats inneemt op het terrein van de microtechniek, is er echter een achterstand in de industriële- en commerciële toepassing.
Inhalen hiervan vraagt om opleiding op een breed terrein, zowel van elektronica als mechanica, met een brede gemeenschappelijke basis op het gebied van fabricage en ook clean-room-techniek.
Een marktonderzoek heeft aangetoond, dat de behoefte aan operators, instrumentatietechnici en onderhoudstechnici in de microtechniek c.q. clean-roomtechniek, de komende twee jaren zal verdubbelen.
Drie instituten voor middelbaar beroepsonderwijs zijn voornemens de scholing ter hand te nemen, in samenwerking met de Pedagogisch Technische Hogeschool Nederland.
Doelstelling Mic-Tek: de cursisten kennis van, inzicht, en een basisdeskundigheid bij te brengen van fabricagetechnieken op gebieden als micro-elektronica en micromechanica en de daarbij behorende clean-room-techniek, veiligheid en werkhouding.
In het najaar 1992 wordt gestart met de opleidingen.
Bestemd voor: technici, vertegenwoordigers, operators in de chemische-, elektrotechnische-, automatiserings-, automobiel-, farmaceutische- en installatieindustrie (en eventuele her- en bijscholing van leidinggevenden).
Voorkennis: minimaal LBO-niveau en/of enkele jaren bedrijfservaring, mede afhankelijk van de doelstelling van het te bereiken eindniveau.
Inhoud: Vijf blokken, modulair opgebouwd:
- Een blok introductiemodules over met name clean-room-techniek.
- Een blok fabricage-beheersingsmodules over met name kwaliteit, betrouwbaarheid en produktiebeheersing.
- Een blok basismodules, waarin de benodigde speciale kennis wordt aangebracht c.q. herhaald.
- Een blok technologische modules, waarin een "diepte-training" wordt gegeven. Dit blok kan geheel "op maat" gegeven worden, afhankelijk van de wensen, het niveau en de samenstelling van de groep cursisten en/of het betreffende bedrijf.
- Een blok met prakticummodules. Ook het prakticum wordt in onderling overleg samengesteld.

Na het zelfstandig bestuderen van de vooraf uitgereikte leerstof, wordt de theorie behandeld.
De lessen zijn multi-mediaal, met een groot aantal video's en worden afgewisseld met praktica en demonstraties.
Van de leerstofonderdelen worden opdrachten gemaakt en besproken.

Voor nadere informatie:
- Technisch Lyceum Eindhoven,
  Tel.: 040 - 564 360, P. van Berkel.
- Twents MBO-College Hengelo,
  Tel.: 074 - 916 988, G. de Kinkelder.
- Zadkine College Rotterdam,
  Tel.: 010 - 4 843 155, B. Hoeks.
- Pedagogisch Technische Hogeschool Eindhoven,
  Tel.: 040 - 474 714, F. Lier.

Keramiek, van poeder tot vormprodukt

Seminar op 1 oktober 1992 van 9.30-16.30 in het Beurs-World Trade Center Rotterdam, georganiseerd door Mikrocentrum West; kosten *f* 495,— incl. documentatie en lunch.

Het doel is de ontwerpers en constructeurs van de Nederlandse industrie kennis laten nemen van de nationale en internationale vorderingen die zijn gemaakt op het gebied van het vervaardigen van kwalitatief hoogstaande vol keramische onderdelen.
De zeven sprekers zijn afkomstig uit Duitsland, Nederland, België, Engeland en Zwitserland.
Parallel wordt een marktinfo opgezet waarbij bedrijven in de gelegenheid worden gesteld hun kennis en produkten te presenteren.

Nadere informatie:
Mikrocentrum West,
Telefoon: 010 - 4 051 280.

Cursussen en workshops van IPL-TNO

Het Instituut voor Produktie en Logistiek TNO (IPL) organiseert:
Inspectie van gereedschapwerktuigen
Cursus van 23 - 30 september of van 7 - 14 oktober, georganiseerd door de groep Produktiemiddelen van IPL. (Deze groep verricht afnamekeuringen en periodieke inspecties van nieuwe en operationele produktiemiddelen in de industrie en het beroepsonderwijs).
De cursisten leren o.a. de nauwkeurig-

heid van leibanen, machinetafels, hoofdspillen en andere machine-onderdelen te bepalen, waardoor inzicht wordt verkregen in het effect van het samengaan van diverse factoren op de produktnauwkeurigheid.
Met de opgedane kennis kunnen de deelnemers in hun bedrijf bijdragen aan het instandhouden van een betrouwbaar en voldoende nauwkeurig machinepark, als onderdeel van integrale kwaliteitszorg (ISO 9000) en preventief onderhoud.

Nadere informatie: tel.: 055 - 493 088.

Doorlooptijdverkorting
Workshop op 8 en 29 september 1992.
De deelnemers leren hoe zij aan de hand van een doe-het-zelf methode stap voor stap een bedrijfssituatie kunnen analyseren om tot kortere doorlooptijden te komen. In de 3 weken tussen de bijeenkomsten passen de cursisten de methode toe in het eigen bedrijf.

Nadere informatie:
Ing. J. Koek, tel.: 055 - 493 104.

Just in time produceren (JIT)
Workshop op 9 en 10 september 1992.
Essentieel onderdeel van de workshop Just in Time is het JIT-spel, waarbij met Lego-stenen een produktieomvang gesimuleerd wordt. Letterlijk spelenderwijs worden de storende factoren in de produktie duidelijk gemaakt en vervolgens met JIT stapsgewijs weggenomen.'

Nadere informatie:
Ing. J. Koek, tel.: 055 - 493 104.

Verminderen in- en omsteltijden
Workshop op 24 september 1992.
Een goede organisatie van de werkvoorbereiding en op de werkplek kan tot kortere in- en omsteltijden leiden en daardoor aanzienlijk bijdragen aan het verminderen van de machinestilstand. Aan de hand van praktijkvoorbeelden komen in deze workshop aan de orde: het standariseren van (snij)-gereedschappen, beheersing en standarisatie van het spannen en een optimale organisatie en inrichting van de werkplek.

Nadere informatie:
J.H. van Moorsel, tel. 055 - 493 624.

Deze drie workshops zijn bedoeld voor werkplaatskader, planners en werkvoorbereiders in verspanende bedrijven.
Alle workshops kunnen ook voor individuele bedrijven worden georganiseerd.

PATO-cursussen

Random trillingen en niet-lineaire dynamica

Een vijfdaagse cursus op 8, 15, 22, 29 september en 6 oktober 1992 in Eindhoven.
Doelstelling: deelnemer inzicht verschaffen in de theoretische grondslagen van de gehanteerde methodieken. Tevens worden enige achtergronden gegeven bij het toepassen van deze methodieken op praktische problemen op het terrein van de machinedynamica, biomechanica, produktietechniek en het geluidsbewust ontwerpen.
Bestemd voor: ingenieurs (TU, HTO), dan wel personen met gelijkwaardige kennis en/of ervaringsniveau, die de aangeboden methodieken voor de analyse van het dynamisch en/of akoestisch gedrag van werktuigen willen gaan toepassen of die hun theoretische basis willen verbreden ten behoeve van het inspelen op nieuwe ontwikkelingen.
Cursusleider: prof.dr.ir. D.H. van Campen, TU Eindhoven.
Deelnamekosten: *f* 2.720,—.

Geavanceerde Multigrid

Een vierdaagse cursus in de week 14 t/m 18 september 1992 in Enschede.
Doelstelling: het aanreiken en oefenen van een aantal technieken van Multigrid ten behoeve van velerlei toepassingen.
Bestemd voor: ingenieurs en natuurwetenschappelijk opgeleide academici die in de praktijk te maken hebben met berekeningen aan wiskundige modellen van technisch/fysische problemen.
Cursusleider: drs. F.P.H. van Beckum, TU Twente.
Deelnamekosten: nader vast te stellen.

Computational Mechanics

Een vijfdaagse cursus op 13, 20 en 27 oktober en 3, 10 november 1992 in Eindhoven.
Doelstelling: inzicht te geven in de achtergronden van de 'state-of-the-art' van een ruime klasse van niet-lineaire eindige elementen berekeningsmethoden voor zowel vaste stof als vloeistof problemen. Daarbij zal de nadruk liggen op de analyse van het mechanisch gedrag en verwerking van visco-elastische (polymere) materialen. De cursist wordt actief geoefend in het gebruik en modificatie van bestaande eindige elementen methode programmatuur.
Bestemd voor: diegenen die regelmatig gebruik (gaan) maken van of ontwikkelen van niet-lineaire eindige elementen methode programmatuur en voor diegenen die hun kennis over de achtergronden van deze programmatuur willen verbreden.
Cursusleider: prof.dr.ir. F.P.T. Baaijens, TU Eindhoven.
Deelnamekosten: *f* 2.600,—.

Magnetische recording

Een driedaagse cursus op 13, 14 en 15 oktober 1992 in Eindhoven.
Doelstelling: deelnemers in kort tijdsbestek kennis en inzicht te verschaffen in de toepassingsmogelijkheden van digitale magnetische recordersystemen. Ingegaan wordt ondermeer op de fysische aspecten van recordersystemen, digitale signaalbewerking en coderingstechnieken.
Bestemd voor: ingenieurs, informatici of fysici (TU/HTO) die in kort tijdsbestek inzicht willen verkrijgen in of hun begrip willen verbeteren van magnetische recording.
Cursusleider: dr.ir. K.A. Schouhamer Immink, Philips Nat. Lab. in samenwerking met docenten van de TU Eindhoven, TU Twente en Universiteit Essen.
Deelnamekosten: *f* 1.425,—.

Voor nadere informatie over deze cursussen:
Bureau Stichting PATO
Postbus 30424
2500 GK Den Haag
Telefoon: 070 - 3 644 957.

FAMOS-nieuwsbrief

Het Instituut voor Produktie en Logistiek TNO (IPL) en het Nederlandse EUREKA-secretariaat verspreiden sinds kort een *FAMOS Nieuwsbrief*. De nieuwsbrief informeert geïnteresseerden ca. viermaal per jaar over lopende en nieuwe Europese projecten en initiatieven op het gebied van assemblage, in het kader van het overkoepelende programma EUREKA/FAMOS. Dit programma richt zich enerzijds op assemblage-gerichte produktiebedrijven, en anderzijds op producenten en R&D-instellingen op het gebied van systemen voor flexibele assemblage. In de nieuwsbrief worden bovendien FAMOS-activiteiten aangekondigd op het gebied van Technology Transfer, zoals workshops, voorlichtingsbijeenkomsten, trainingen, projectdemonstraties en tentoonstellingen.
Geïnteresseerden in de Nieuwsbrief en de FAMOS-activiteiten kunnen contact opnemen met:
IPL-TNO, afd. Produktietechnologie

Ir. G.H. Tuinzaad; tel.: 055 - 493 107
Postbus 541, 7300 AM Apeldoorn.

Om een indruk te geven wat FAMOS precies behelst en wat in de eerste nieuwsbrief aan informatie is opgenomen, heeft de redactie hieruit de volgende zaken gelicht.

- *Wat is FAMOS*

In het kader van het EUREKA programma hebben Duitsland en Frankrijk in 1987 het initiatief genomen om het zogenaamde parapluproject FAMOS (Flexibele Automatisierten MOntage Systeme) op te starten. Doel was en is het initiëren en begeleiden van Europese, marktgerichte samenwerkingsprojecten op het gebied van flexibele assemblagesystemen en aan assemblage gerelateerde technologieën. FAMOS is inmiddels uitgegroeid tot een platform waarin vertegenwoordigers uit 17 EUREKA lidstaten en de Europese Commissie zich actief inzetten.

- *Overzicht van lopende projecten*

In haar vijfjarig bestaan heeft FAMOS geleid tot 45 separate EUREKA projecten, waarin circa 200 bedrijven en 90 onderzoekinstellingen of universiteiten uit 17 EUREKA lidstaten participeren. In de FAMOS werkgroep zijn nog zo'n 30 projectvoorstellen in behandeling. Dit betekent dat deze voorstellen nog niet in detail zijn uitgewerkt of dat er nog aanvullende partners worden gezocht.

De meeste projecten richten zich op onderzoek naar geavanceerde produktiemethoden en flexibele automatisering voor een breed scala van toepassingen. Hierbij spelen begrippen als Computer Aided Design and Engineering (CAD-CAE), Flexibele Manufacturing Systems en Flexibele Automated Assembly Systems (FMS-FAS) en Computer Integrated Manufacturing (CIM) een grote rol. Behalve applicatiegericht onderzoek zijn er ook projecten die zich richten op relevante technologieën voor de assemblage, zoals sensors, vision systemen, software tools en robotica.

De inbreng vanuit ons land is nog beperkt; Nederlandse bedrijven en instellingen participeren sinds 1988 in 4 EUREKA FAMOS projecten.
Zo nemen Hydraudyne S&E en de TU-Delft deel aan een roboticaproject en zijn HCS Vision Technology en Delft Instruments betrokken bij een project op het gebied van sensorgestuurde assemblagesystemen.
Verder nemen Industrial Contractors Holland en HAS Automation Systems deel aan een project op het gebied van geautomatiseerde transport- en magazijnsystemen.

- *Nieuwe initiatieven uit het buitenland (enkele voorbeelden)*
  - (Duitsland) 'Product enhancing quality control for precision subassemblies'.
    Gezocht worden producenten van instrumenten, optische produkten en elektronica (PCB's).
    Initiator: Jenoptik Carl Zeiss Jena, Gera.
  - (Duitsland) "Preproduction quality assurance integration'.
    Gezocht worden partners op het gebied van kwaliteitszorg en integratie van produktontwerp en produktie.
    Initiator: Fraunhofer IAO, Stuttgart.
  - (Duitsland) 'Flexible assembly with adaptive quality control circuit'.
    Gezocht worden bedrijven met handmatige en/of geautomatiseerde assemblage systemen, specialisten op het gebied van system engineering en kwaliteitszorg, leveranciers van assemblage technologie.
    Initiator: Technical University of Chemnitz.
  - (Zweden) 'Short lead time in manufacturing'.
    Gezocht worden R&D organisaties en klein en middelgrote bedrijven met onderdelenfabricage en assemblage. Er is inmiddels contact met IPL-TNO m.b.t. een mogelijke multi-user groep in NL.
    Initiator: Swedish Institute of Production Engineering Research-IVF, Stockholm.
- *Enkele initiatieven vanuit Nederland.*
  - NL03, 'Control of Instructions for (manual) Assembly'.
    Gestreefd wordt naar samenwerking met een CAD/CAM leverancier en een groep gebruikers uit de Machinebouw industrie. Overleg is gaande met een CAD/CAM leverancier.
    TNO-IPL, Apeldoorn, G.H. Tuinzaad, telefoon: 055 - 493 088.
  - NL06, 'Open robot control system'.
    Typering van gezochte partners: robot leveranciers, leveranciers van industriële automatisering, producenten van servosystemen, leveranciers van industriële besturingssystemen. Er zijn o.a. contacten in binnenland, Duitsland en Zwitserland.
    TU-Delft, B.R. Meijer, telefoon: 015 - 783 763.
- *Transfer van technologie*
  Opsomming van de activiteiten om de resultaten van de projecten uit te dragen en de mogelijkheden voor nieuwe projecten te inventariseren.

Verslag studiereis docenten Fijnmechanische Techniek naar Chemnitz

Oost-Duitsland, proefwerkweek, "een paar dagen eruit" en niet te vergeten "bijtanken op het vakgebied" waren de ingrediënten voor een studiereis van de docenten van de studierichting Fijnmechanische Techniek van de Hogeschool Utrecht (vestiging Hilversum) medio maart jongstleden naar Chemnitz (het vroegere Karl-Marx-Stadt) gelegen tussen Dresden en Leipzig.
Thema van de studiereis was: "Gerätetechnik und Microsystemtechnik". Naast de fijnmechanische techniek en de microtechniek is de microsysteemtechniek een vakgebied op de grens van microoptiek en micro-elektronica. Steeds meer produkten zoals sensoren en actuatoren worden ontwikkeld voor voornamelijk de professionele markt.
Een groot aantal alleraardigste onderwerpen werd tijdens de diverse sessies belicht:

- piëzo-actuatoren,
- elektrostatische micro-actuatoren,
- micro-mechanische actuatoren door middel van magnetische aansturing,
- elektromagnetische principes bij bewegingen in het micrometer- en submicrometerbereik,
- elektromechanische micropompen,
- microsensoren in de medische techniek,
- thermo-elektrische microsensoren,
- toepassing van chemische sensoren.

Dat de grenzen van het technisch mogelijke aan het veranderen zijn, moge blijken uit het feit dat op dit ogenblik "tandwielen" gemaakt kunnen worden met een diameter van 50 micrometer door middel van de zogenaamde Liga-techniek.
Naast de techniek kwam de stad Chemnitz en omgeving ook nog in het vizier. De omgeving van Chemnitz is aardig en zeker in de richting van het Erzgebirge, maar de stad zelf viel tegen vanwege zijn grauwe en slecht onderhouden gebouwen en straten. Behalve een kolossaal beeld van Marx viel er van het vroegere Oost-Duitse communisme weinig meer te bespeuren, maar nog wel aanwezig waren grote aantallen "trabies"

A.A. van Oostveen
Hogeschool Utrecht
Fijnmechanische Techniek.

Beheersen van vrijheidsgraden

Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren (7)

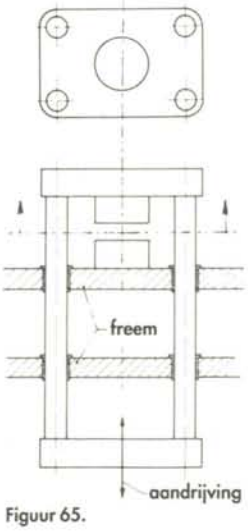
M.P. Koster, P.C.J.N. Rosielle en E.A.G. Reker

Beheersen van vrijheidsgraden

De positie van een star lichaam wordt volkomen vastgelegd door het voorschrijven van 3 translatie- en 3 rotatiecoördinaten. Deze onafhankelijke coördinaten noemt men de *graden van vrijheid*. Een lichaam is *statisch bepaald* als elke graad van vrijheid juist één keer is voorgeschreven. Wordt een coördinaat op meer dan één manier voorgeschreven dan is er sprake van een statisch onbepaalde constructie (statische vergelijkingen voldoen dan n.l. niet meer om de oplegkrachten te bepalen).

Overbepaaldheid

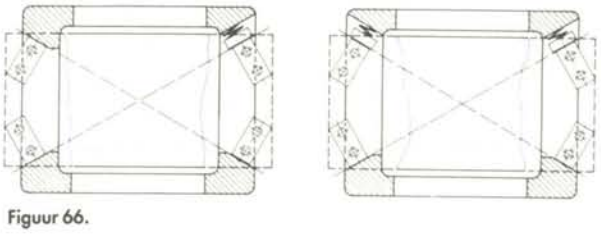
Naarmate men meer gewend raakt aan "statisch bepaald construeren" krijgt men meer bewondering voor de kundige wijze waarop men in machinefabrieken en werkplaatsen erin slaagt om door allerlei nauwkeurige bewerkingen standaardconstructies af te leveren die functioneren, hoewel ze qua ontwerp overbepaald zijn.
Zo is de gebruikelijke vier kolommenpers, zie figuur 65, met zijn acht geleidingsvoeringen die elk vier vrijheidsgraden vastleggen 32 – 5 = 27 voudig overbepaald.
De axiale beweging, verzorgd door hydroplunjer of excentermechanisme, voegt daar in de meeste gevallen nog enige overbepaaldheid aan toe.
Alleen door de boringen in onder- en bovenjuk en in het freem heel precies evenwijdig en in een gelijk patroon te kotteren en in bedrijf de temperatuurverschillen en de vervorming door belasting binnen de perken te houden, kan men hopen dat het ding niet vastloopt.
In feite zijn de vier kolommen nodig om de perskracht van het onderjuk naar het bovenjuk over te brengen; ze behoeven niet alle vier bij de rechtgeleiding ingeschakeld te worden.



Figuur 65.

Thermisch centrum

Figuur 66 toont twee doorsneden ter hoogte van respectievelijk de onderste en bovenste freemplaat van een pers. Op deze beide niveau's ligt op vier plaatsen een aanraakpunt. Van de in totaal acht punten zijn er vijf vast en drie verend uitgevoerd, zodat een statisch bepaalde geleiding ontstaat.
Doordat de vlakken waarop de aanraakpunten rusten naar het centrum wijzen (de pool) treedt bij homogene temperatuurverandering geen verschuiving van het middelpunt op. Zo'n punt heet thermisch centrum.


Figuur 66.

Contactspanning en contactstijfheid bij boloplegging

Voor het vastleggen van een translatie wordt de oplegging van een bol op een plat vlak veel gebruikt. Bij gegeven toelaatbare Hertze contactspanning kan een oplegvlak met een tienmaal grotere straal een honderd maal zo grote belasting opnemen.
Voor een stalen bol straal r [mm] op een stalen vlak geldt:

$$\sigma_{Hz\,max} = 1360(F/r^2)^{1/3}\ [\mathrm{N/mm^2}] \qquad (1)$$

met oplegkracht F [N].

Als voor geharde stalen kogels op een gehard stalen vlak een σ_{Hz} van 3000 N/mm^2 toelaatbaar is (voorzichtig neerzetten want bij een valhoogte van slechts ca. 2 cm is deze σ_{Hz} al bereikt!) dan geldt:

$$F_{max}/r^2 = 10\ [\mathrm{N/mm^2}].$$

Geeft men steeds de maximale belasting F_{max} dan ontstaat voor elke kogelafmeting (uiteraard) een gelijkvormig deformatiebeeld.
Bij σ_{Hz} = 3000 N/mm^2 is de straal van het contactvlak a = 0,04 r en de "invering" δ, dat is de toenadering van het kogelmiddelpunt tot het oorspronkelijke ongedeformeerde vlak:
$\delta = 1{,}6.10^{-3}\ r$.
De invering wordt kleiner als men bij een gegeven, relatief lage belasting een grotere bolstraal kiest, want

$$\delta = 3{,}5.10^{-4}\,(F^2/r)^{1/3} \qquad (2)$$

voor stalen bol op stalen vlak.
Met F = 10 N en r = 1000 mm is δ= 0,16 µm.
Een dergelijke oplegging kan reproduceerbaar zijn met een plaatsnauwkeurigheid in de orde van één tiende micrometer wanneer de oppervlaktegesteldheid dat toelaat. Grote radii met lage vlaktedruk hebben daarom alleen zin als de beide contactoppervlakken voldoende "glad" zijn (ruwheidshoogte zeker kleiner dan de indrukking). Eventueel kan men dat bereiken door de oplegging éénmaal (veel) hoger te belasten.

Het verband tussen belasting en invering is niet lineair. Men kan niet spreken van "de stijfheid" van de oplegging maar hoogstens van een "lokale stijfheid" $dF/d\delta$.

Uit $\delta = 3{,}5.10^{-4}.r^{-1/3}.F^{-2/3}$ volgt voor stalen bol op stalen vlak:

$$dF\,/\,d\delta = 4300\ r^{1/3}.F^{1/3}\ \mathrm{N/mm}. \qquad (3)$$

Bij r = 1000 mm en F = 10 N was δ = 0,16 µm en is $dF/d\delta$ = 94.000 N/mm.
Bij r = 1000 mm en F = 10000 N is δ = 16 en $dF/d\delta$ = 940.000 N/mm, dus 10 maal zo groot.
Opgemerkt wordt dat de "lokale stijfheid" steeds 1,5 maal de "gemiddelde stijfheid" bedraagt.
In gereedschapwerktuigen en dergelijke

Beheersen van vrijheidsgraden

worden kogellagers "voorgespannen", niet alleen om de speling te elimineren maar ook om "de stijfheid" op te voeren!

Een kogel in een conisch gat kan uiteraard niet meer rollen, maar heeft wel lijnaanraking met de daaruit voortvloeiende hoge belastbaarheid en stijfheid. Via een tussengevoegde kogel kunnen twee lichamen met elk een conisch "centergat" dus behoorlijk stijf de drie coördinaten x, y, z van het bolmiddelpunt op elkaar overdragen.
Men realisere zich dat – zeker bij het lijncontact – een groot deel van de "toenadering" voor rekening komt van de "kuil in het vlak".

Soms zit men met het probleem dat men op een gegeven beschikbaar oppervlak een belasting af moet steunen met kogels of rollen. Uit de schaalwetten volgt dat het voor de belastbaarheid (de Hertze spanning) niets uitmaakt of men een grote rol neemt met een langsdoorsnede gelijk aan dat oppervlak, of s^2 rollen met een s maal kleinere straal én lengte.
De invering neemt echter met de schaalfactor s af dus de oplegging met kleine rollen is s maal zo stijf! Dit zou men gevoelsmatig wellicht niet verwachten.
Voorwaarde is wel dat de diametertolerantie van de rollen, de vlakheid van de oplegvlakken en de ruwheid ook met de factor s verbeteren, anders wordt de belasting niet gelijkmatig over de rollen verdeeld.
Naaldlagers hebben blijkbaar bestaansrecht naast rollagers, qua stijfheid zijn ze zelfs voordeliger, doch ze werden pas mogelijk toen de bewerkingsnauwkeurigheid daarvoor voldoende ver ontwikkeld was.
Voor kogels loopt het verhaal volledig analoog want één kogel draagt bij dezelfde σ_{Hz} evenveel als s^2 kogels met s maal kleinere straal en s maal kleinere invering. Wel geldt ruwweg: rollen zijn 50 maal zo hoog belastbaar en dan nog 10 keer zo stijf als kogels van vergelijkbare afmetingen.

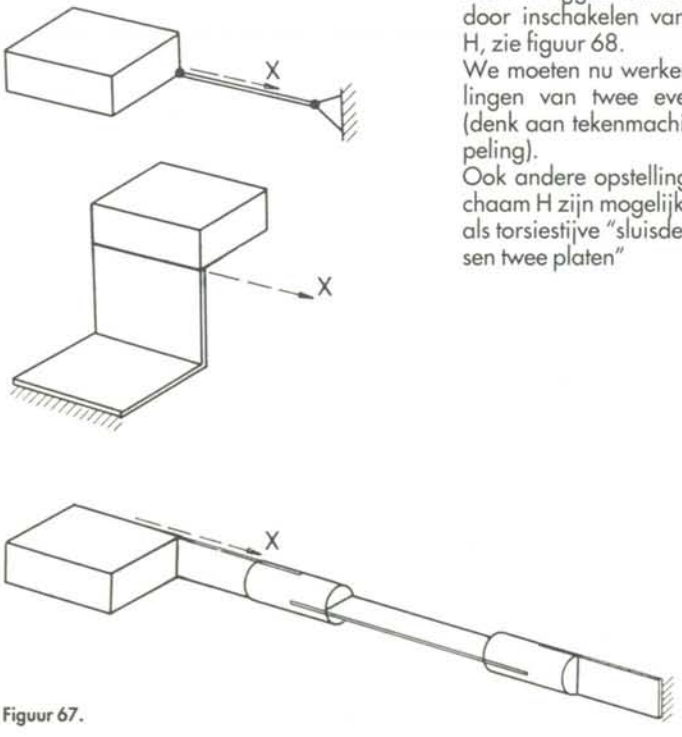
Het vastleggen van vrijheidsgraden

Het opleggen van een bol zoals hierboven besproken is een manier om een translatie vast te leggen. Trek/drukstaven en sprieten en de omgezette bladveer zijn varianten.
Zij zijn nog eens samengevat in figuur 67.
Een spriet hoeft geen vaste lengte te hebben. Schroefspillen, lucht- en hydraulische cilinders hebben als functie in hun langsrichting een beweging voor te schrijven.
We zullen nu achtereenvolgens alle mogelijke combinaties schetsen die zich bij het vastleggen van 1 t/m 6 vrijheidsgraden kunnen voordoen.

Eén vrijheidsgraad vastgelegd

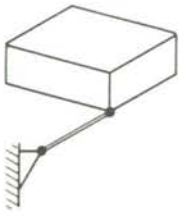
Het vastleggen van één hoek kan alleen door inschakelen van een hulplichaam H, zie figuur 68.
We moeten nu werken met serieschakelingen van twee evenwijdige sprieten (denk aan tekenmachine of stijve askoppeling).
Ook andere opstellingen van het hulplichaam H zijn mogelijk, zie figuur 69:
als torsiestijve "sluisdeur" of als "pijp tussen twee platen"

Eén spriet

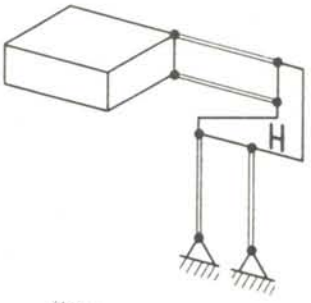


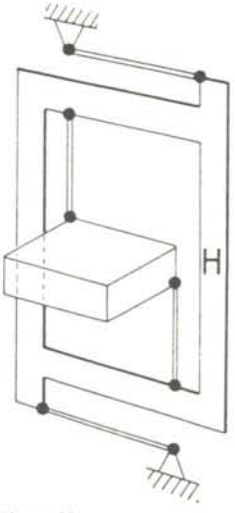
Figuur 67.

• Eén hoek:

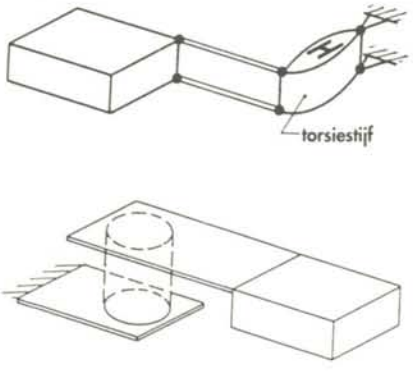


• Eén lengte:





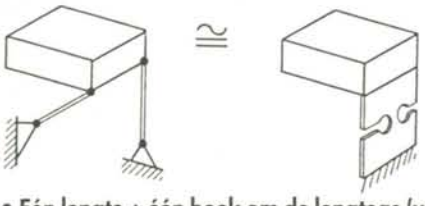
Figuur 68.



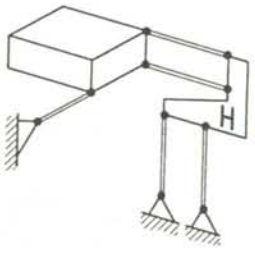
Figuur 69.

Twee vrijheidsgraden vastgelegd
Zie figuur 70

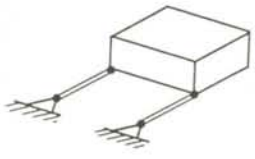
- **Twee lengtes:**



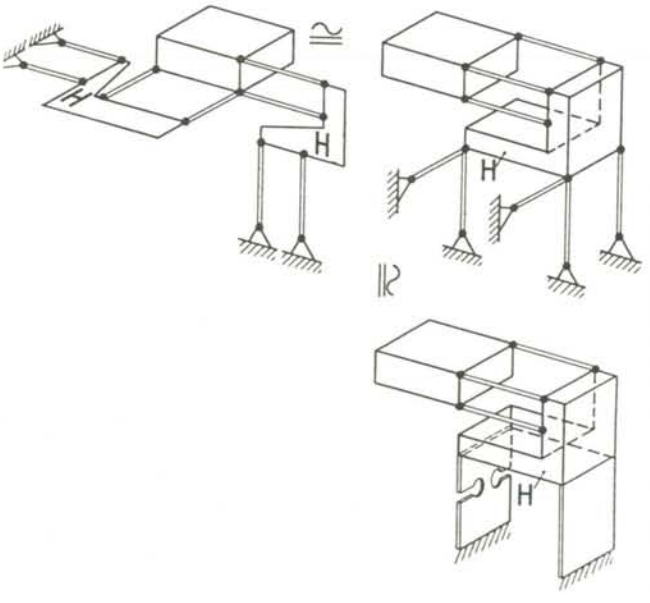
- **Eén lengte + één hoek om de lengteas (x + ρ):**



- **Eén lengte + één hoek niet om de lengteas (b.v. x + θ):**



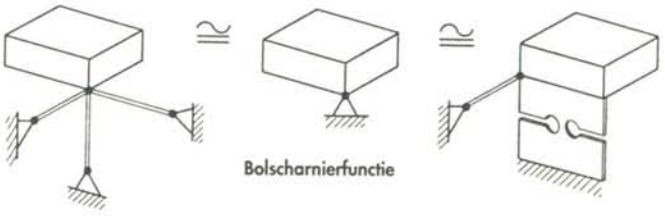
- **Twee hoeken:**



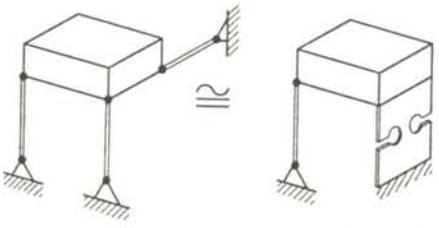
Figuur 70.

Drie vrijheidsgraden vastgelegd
Zie figuur 71

- **Drie lengtes:**

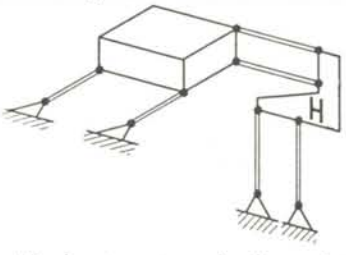


- **Twee lengtes en een hoek om een vastgestelde lengte:**

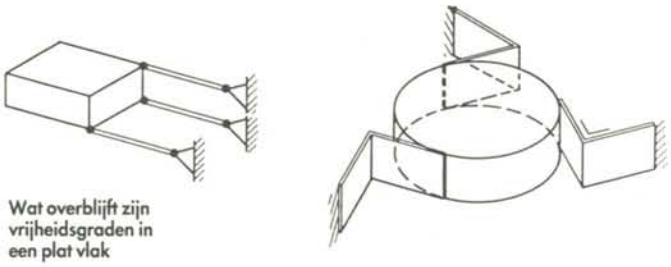


- **Twee lengtes en een hoek om de vrije lengte:**

- **Eén lengte en twee hoeken waarvan één "om de vastgelegde lengteas"**



- **Eén lengte en twee hoeken , niet om de vastgelegde lengteas**



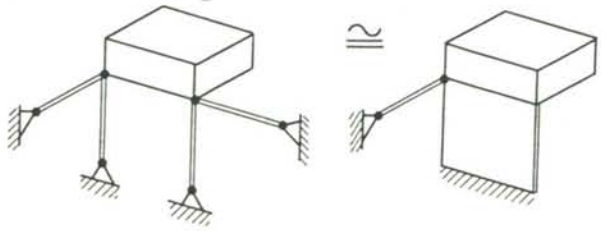
Wat overblijft zijn vrijheidsgraden in een plat vlak

Figuur 71.

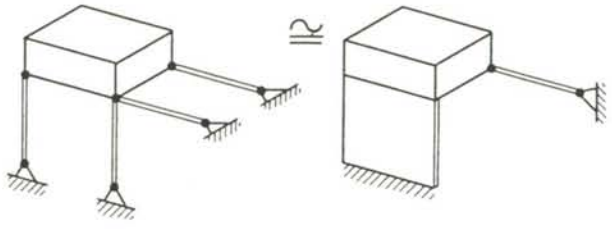
Beheersen van vrijheidsgraden

Vier vrijheidsgraden vastgelegd
Zie figuur 72

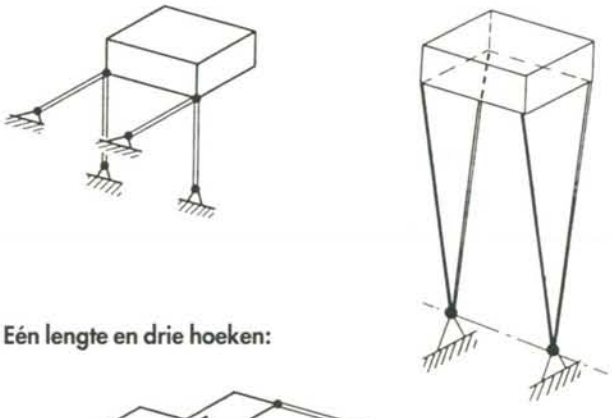
- **Drie lengtes en een hoek:**



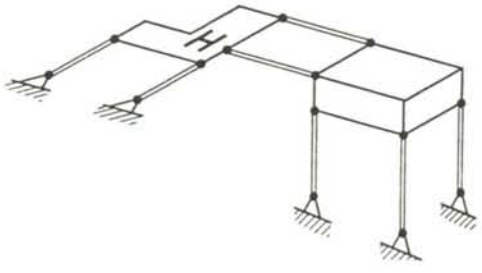
- **Twee lengtes en twee hoeken, met de vrije hoek om een vastgestelde lengte:**



- **Twee lengtes en twee hoeken, met de vrije hoek om de vrije lengte (aslagering):**



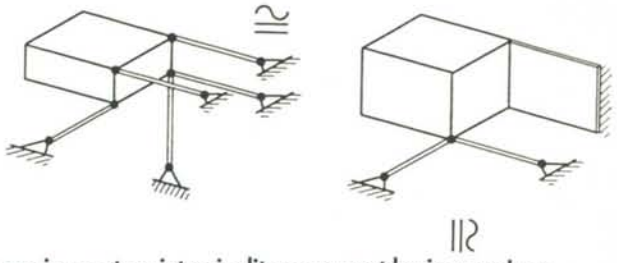
- **Eén lengte en drie hoeken:**



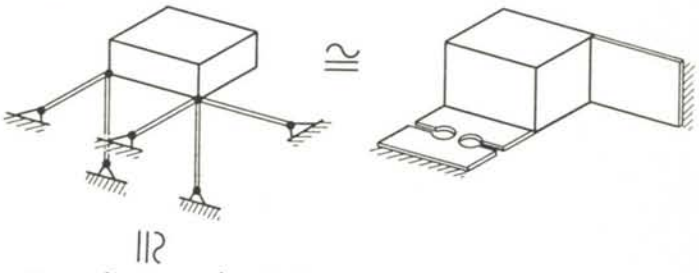
Figuur 72.

Vijf vrijheidsgraden vastgelegd
Zie figuur 73

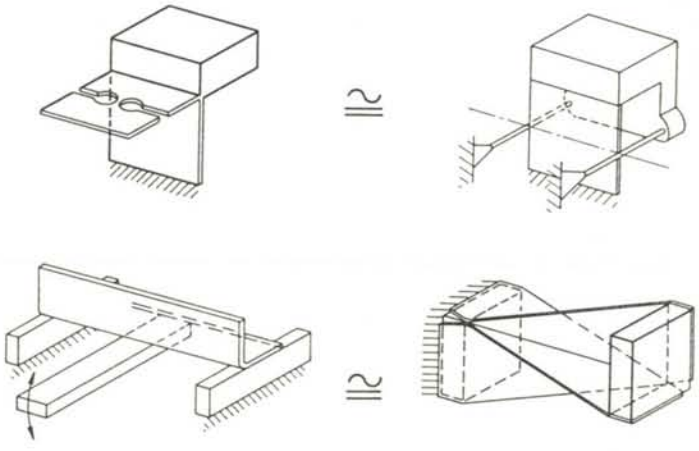
- **Drie lengtes en twee hoeken:**



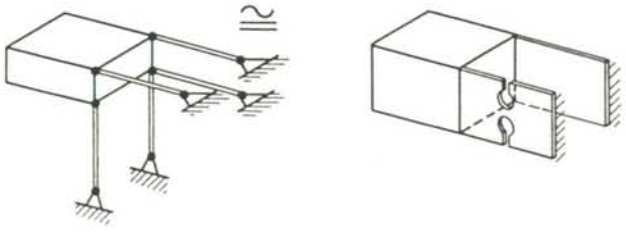
- **In uitvoering met sprieten is dit een correct kruisveerscharnier**



- **Correct kruisveerscharnier**

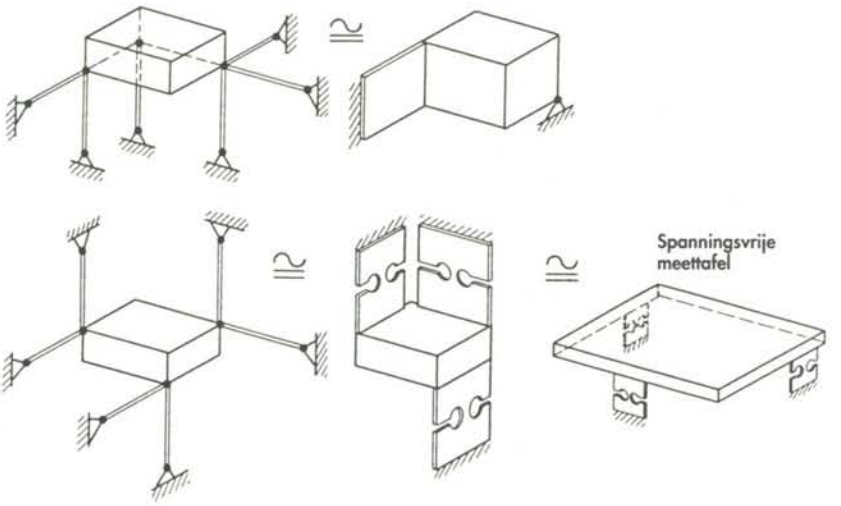


- **Twee lengtes en drie hoeken:**



Figuur 73.

Wanneer sterkte en stijfheid overwegend in één vlak gevraagd worden kan men in dat vlak één (hoofd)veer leggen en de twee dan nog vast te leggen vrijheidsgraden fixeren met twee sprieten links en rechts van de hoofdveer en bijvoorbeeld even dik en lang.
De uitvoering van figuur 73 met bladveer met gatscharnier zal in de praktijk alleen dan voldoen als het gatscharnier is aangebracht op de plaats waar het buigend moment in de bladveer juist gelijk aan nul is. Neemt men deze voorzorg niet dan zal de buiging zich in de dam van het gatscharnier concentreren, omdat die veel en veel buigslapper is dan de rest van de bladveer.



Figuur 74.

Zes vrijheidsgraden vastgelegd

"Metselen" — Ingieten — "zes sprieten". Zie figuur 74

Men kan een lichaam niet vastzetten met twee bladveren hoewel die elk 3 vrijheidsgraden vastleggen. In principe kan een lichaam dat vastzit aan één bladveer, draaien om elke lijn in het vlak waarin de onvervormde bladveer ligt. Wanneer deze "scharnierlijn" een (eventueel verlengde) inklemlijn snijdt, is er naast buiging sprake van torsie van de bladveer, die essentieel gepaard gaat met welving van de doorsnede. De gebruikelijke inklemmingen belemmeren die welving, waardoor vooral relatief korte bladveren extra stijf worden ten gevolge van trek- en drukspanningen.
Deze spanningen zijn evenredig met de hoekrotatie. De effecten van de verlenging van de buitenvezel ten opzichte van vezels langs de torsie-as nemen kwadratisch met de hoekverdraaiing toe maar zijn bij kleine uitwijkingen nog verwaarloosbaar.
Zit het lichaam vast aan twee bladveren, dan kan het alleen nog draaien om de snijlijn van hun vlakken. De beweging van een punt van het lichaam langs deze "snijlijn" is echter tweevoudig (dus overbepaald) vastgelegd. Steeds is er dus tevens een overbepaaldheid in twee bladveren, die we er bijvoorbeeld met een gatscharnier uit kunnen halen. Zijn de bladveren evenwijdig dan ligt die snijlijn op oneindig en hebben we een translatie.
Overigens is elke bladveer op zichzelf weer te beschouwen als een overbepaalde verzameling van kleinere bladveren, er kan "wind" in komen ten gevolge van bolling van de wals, plaatselijke verhitting of plastische vloei.
Ook zijn er dwarscontractieverschijnselen, bijvoorbeeld ten gevolge van drukspanning in de inklemming of ten gevolge van de trek- en drukspanningen bij buiging. De veer zet dan aan de kant met drukspanning uit in dwarsrichting en krimpt in dwarsrichting aan de andere kant waar de trekspanning heerst. Hij gaat daardoor ook in zijn dwarsdoorsnede enigszins krom staan ("elastische buiging"; prachtig te zien als men een tekengommetje dubbel vouwt).

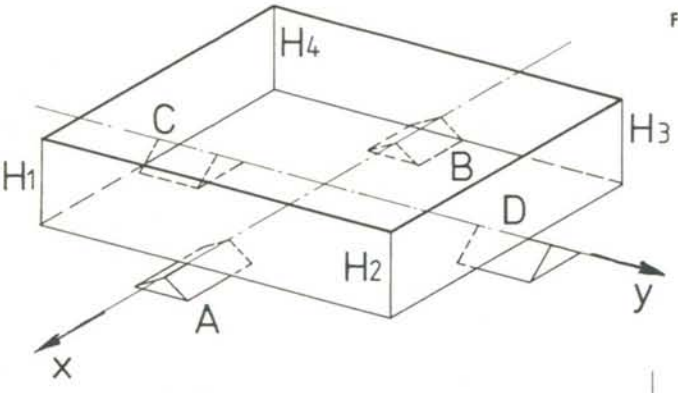
Interne vrijheidsgraden

Een star lichaam heeft geen "interne vrijheidsgraden" en kan dus met de bekende zes externe belemmeringen geheel gedefinieerd "in de wereld" worden gefixeerd.
Een draad of spriet is op te vatten als een verzameling (bol)scharnieren; over een betrekkelijk kleine lengte "groeien" uit een vastgelegd draadstuk telkens weer 5 vrijheidsgraden.
Een bladveer of dunne plaat is te zien als een verzameling lijnscharnieren; over een zekere lengte groeien er telkens 3 vrijheidsgraden bij.
Om een draad of band geheel te fixeren heeft men eigenlijk oneindig veel bevestigingen nodig.
Nu is, zeker in realistische constructies (bijna) nooit iets "helemaal vrij" of "helemaal vastgelegd". Het is in wezen steeds een kwestie van meer of minder slap (in constructies met elastische elementen) of met meer of minder wrijving (in constructies met materiële draaipunten en geleidingen) versus meer of minder stijf of meer of minder slipvrij op elkaar geklemd etc.

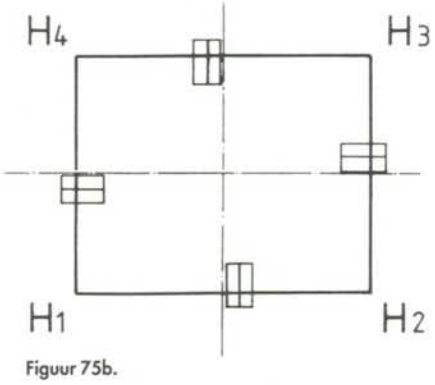
Zie het bekende probleem van de tafel op drie of vier poten; hij is flink buigstijf maar slechts matig torsiestijf, dus is op een redelijk vlakke vloer die vierde poot meestal een verbetering van het "functioneren als tafel".

Toch komt het in de techniek veel voor dat een "lichaam" in bepaalde opzichten als star doch in andere opzichten (eventueel ten opzichte van andere belastingsrichtingen of belastingspatronen) als relatief bewegelijk wordt ervaren. Men kan zo'n bewegelijkheid dan interpreteren als een "interne vrijheidsgraad". Voor het ruimtelijk fixeren zijn zes steunpunten of "belemmeringen" dan niet langer voldoende maar is er nog één extra nodig voor elke interne vrijheidsgraad.
Zo heeft het schoendoosdeksel (bodem + opstaande randen) van figuur 75a een grote buigstijfheid voor de x-as en de y-as.
Opgelegd op de dakkanten A en B kan het wippen, een blokkering bij C verhindert ook dat, en een steun bij D maakt het geheel overbepaald: het gewicht rust óf op AB óf op CD.
Een verticale belasting in de hoek H_1 laat H_1 zakken, H_2 stijgen, H_3 zakken, H_4 stijgen en dat past weer bij de zakking van H_1. Derhalve is "vouwen over de diagonaal" een interne vrijheidsgraad. Er zijn twee diagonalen maar er is toch maar één interne vrijheidsgraad. In feite is het torsie van de bodemplaat
(+ of — teken),gepaard met torsie van de opstaande randen, met behoud van rechtheid van de ribben.
De ondersteuning bij A, B, C en D

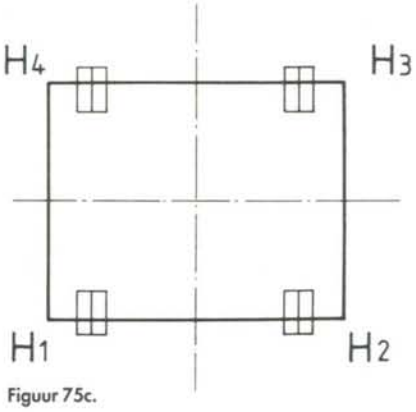
Beheersen van vrijheidsgraden



Figuur 75a.



Figuur 75b.



Figuur 75c.

(die tevens geacht wordt op wrijving de x, y en θ vast te leggen) is dus zowel éénmaal overbepaald als éénmaal onderbepaald. Verplaatsing van de dakkantopleggingen naar de hoekpunten maakt de oplegging statisch bepaald. Overigens is het niet nodig precies naar de hoek te gaan. Een situatie als in figuur 75b voldoet. Hier is elk steunpunt een beetje uit het midden is weggeschoven zodat de verhouding i tussen linker- en rechterdeel van de ondersteunde ribbe niet meer gelijk aan 1 is.
Immers, als H_1 over een afstand z daalt, stijgt H_2 over i.z, daalt H_3 over i^2z, stijgt H_4 over i^3z en moet H_1 weer dalen met i^4z. Als nu i^4 maar voldoende afwijkt van 1 is de constructie al statisch bepaald. Uiteraard voldoet ook een oplegging als in figuur 75c.

Een open zeskante doos (bodem + zeshoekige opstaande rand) heeft 3 interne vrijheidsgraden; een open driekante doos is een star lichaam.
Ook een open driehoekige koker (mits aangepakt bij de ribben) is een star lichaam. Een open vierkante koker heeft echter 2 interne vrijheidsgraden: "plat vouwen" en "scharnieren om de diagonaal".

"Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren" is een selectie uit de verzameling constructieprincipes die op initiatief van Prof. ir. W. v.d. Hoek in 1962 is opgezet en die nog steeds wordt uitgebreid. Onder redactionele leiding van Prof.dr.ir. M.P. Koster (TU-Twente) is door Ir. P.C.J.N. Rosielle en E.A.G. Reker (TU-Eindhoven) specieel voor de lezers van *Mikroniek* een selectie gemaakt die in 18 afleveringen wordt gepresenteerd.
Bijdragen van lezers als kritiek, suggesties of eigen ervaring worden door de auteurs op prijs gesteld.

Eigenschappen, fabricage en toepassingen van technische keramiek (2)

P.J. van Tilborg

Vormgeving van technische keramiek

In de meeste gevallen wordt een poeder met een samenstelling die niet veel afwijkt van die van het eindprodukt gekozen als grondstof. Bij het bereiken van de vereiste microstructuur is het nu de kunst om de individuele poederdeeltjes of agglomeraten, eventueel gemengd met andere poedervormige fasen, zodanig te stapelen dat na de warmtebehandeling (sinteren) de juiste structuur verkregen wordt. Willen we daarnaast het materiaal in een zekere vorm brengen, dan gaat hierbij ook de interactie met de vormgevingslichamen (matrijs) een rol spelen.

De verschillende vormgevingstechnieken kunnen in drie groepen worden ingedeeld:

1. Giettechnieken uitgaande van een suspensie:
   - slibgieten;
   - drukslibgieten;
   - plaatgieten.

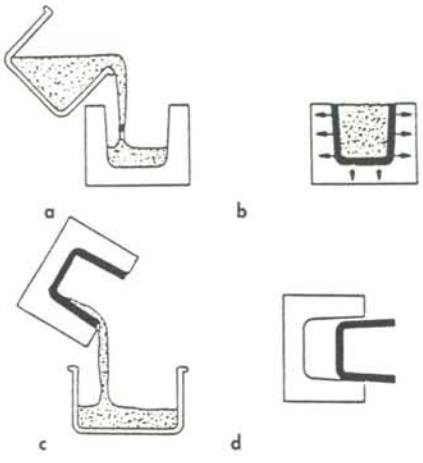
2. Plastische vormgeving uitgaande van een plastische massa:
   - extruderen;
   - spuitgieten.

3. Persen uitgaande van een poeder of granulaat:
   - (koud) uniaxiaal persen;
   - (koud) isostatisch persen;
   - heet (uniaxiaal) persen: (HP);
   - heet isostatisch persen: (HIP).

Enkele van deze technieken zullen nader worden behandeld.

Slibgieten

Slibgieten is een eenvoudige methode die de mogelijkheid biedt defectarme, meestal holle, vormstukken te verkrijgen. Men begint met een dummy-lichaam dat ca. 20% groter is dan het uiteindelijke vormstuk dat men wil maken.
Van deze dummy maakt men een negatief in een gipssoort die een groot vermogen heeft om water te absorberen. Giet men nu een oplossing van keramische deeltjes in water (suspensie) in de mal van gips, dan zal aan het oppervlak, waar de suspensie met het gips in contact staat, zeer snel water aan de suspensie onttrokken worden. Hierdoor zal zich een laag van dicht gestapelde keramische deeltjes vormen die gestaag kan aangroeien zolang het gips voldoende snel water aan de suspensie kan onttrekken. Het werkingsprincipe van het slibgieten is schematisch weergegeven in figuur 5.



Figuur 5. Schematische weergave van het slibgietproces:
a. het vullen van de gipsmal met Al_2O_3-suspensie,
b. opbouw van de Al_2O_3-scherf door wateronttrekking,
c. uitgieten van overtollige suspensie,
d. slibgegoten vormstuk verwijderen.

Vanzelfsprekend neemt de groeisnelheid in de tijd af doordat het gips steeds moeilijker water opneemt en de reeds afgezette laag (scherf) slechter het water doorlaat.
Indien alle deeltjes in de suspensie zich onafhankelijk van elkaar kunnen bewegen, zullen zij in een stromingsveld bij afzetting bij voorkeur een ideale positie opzoeken. Deze ideale positie komt veelal overeen met die van de dichtste stapeling. De maximale scherfdikte is kleiner naarmate de scherfdichtheid hoger is en de zuigkracht van de mal afneemt. Deze laatste parameter blijkt een zekere vrijheid te geven voor de sturing van dit procédé.

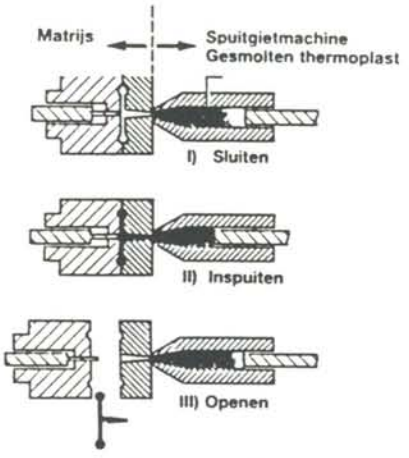
Ook kan men dikke, zij het enigszins poreuze, vormstukken maken door de keramische deeltjes in de suspensie te laten samenklonteren (agglomereren). Deze deeltjes sedimenteren als agglomeraten en laten veel ruimte vrij om de vloeistof naar de mal te laten lopen. Is deze mal redelijk dik, dan is een belangrijke belemmering voor de aangroei van de scherf weggenomen. Na het sinteren blijft er echter een zekere restporositeit in het materiaal achter. In figuur 6 is de praktische uitvoering van het slibgieten weergegeven. Ondanks dat slibgieten een eenvoudig procédé is, ontbreekt nog steeds een nauwkeurige modelmatige beschrijving van de werking ervan. Met name de invloed van de suspensiestabiliteit en het stromingspatroon op de structuur van de reeds afgezette laag zijn nog niet volledig bekend.

Figuur 6. Het slibgieten van een keramisch vormstuk.
Op de voorgrond een gedeelde gipsmal met het groene produkt, het circa 20% kleinere eindprodukt en de glazen dummy voor fabricage van de gipsmal.

Technische keramiek (2)

Spuitgieten en extrusie

Dit zijn bijzondere vormen van persen waarbij een samenhangende dispersie (poeder met elastoplastische polymeren) door of in een matrijs geperst wordt. De bindmiddelen, vaak van zeer complexe samenstelling en tot een hoge concentratie aanwezig, zorgen niet alleen voor de samenhang van het geheel na het persen, maar dienen ook om de stroming tijdens het persen homogeen te doen verlopen. In figuur 7 is het werkingsprincipe van het spuitgieten weergegeven.



Figuur 7. Principe van het spuitgietproces.

Ondanks dat beide methoden goed tot serieproduktie op te schalen zijn en relatief ingewikkelde vormen toelaten, vormen de niet keramisch componenten in de structuur een probleem. Men verwijdert deze door uitstoken, doch daar waar een polymeer heeft gezeten blijft een porie over. Het bereiken van een volledige dichtheid is dan alleen mogelijk door bij zeer hoge temperatuur te sinteren. Anderszins kan op deze wijze een hoog-poreuze structuur verkregen worden indien dit juist gewenst is. In de katalysatortechnologie en filtertechnologie worden of zullen dergelijke materialen op grote schaal toegepast gaan worden. Bij katalysatoren als drager voor het katalytisch actieve element en in de filtertechnologie als drager van het membraan. In figuur 8 is het extruderen van een poreuze keramische buis weergegeven.

Koud uniaxiaal en isostatisch persen

Anders dan bij slibgieten, waar men van verdunde systemen uitgaat, past men hier droge dispersies toe. Bij het persen dient men het poeder zodanige rheologische eigenschappen te geven dat de interne wrijving tussen de deeltjes onderling en die met de matrijs de vorming van een homogene stapelingsstructuur niet belemmert. Dit begint al met de vulling van de matrijs. Naarmate de deeltjes kleiner worden, loopt het poeder steeds moeilijker en is de vulling van een matrijs steeds slechter. Uitoefening van een mechanische druk zal hierin geen verbetering geven doordat de wrijving zowel intern als extern alleen maar hoger wordt. Een oplossing is om de deeltjes zwak te agglomereren, zodat de loopeigenschappen worden bepaald door de agglomeraatgrootte; deze worden verpulverd tijdens het uitoefenen van een druk. Deze zwakke agglomeraten maakt men door de zogenaamde sproeidroog techniek. De interne wrijving kan men voorts reduceren door toevoeging van organische smeermiddelen. In figuur 9 is het werkingsprincipe van uniaxiaal persen weergegeven.

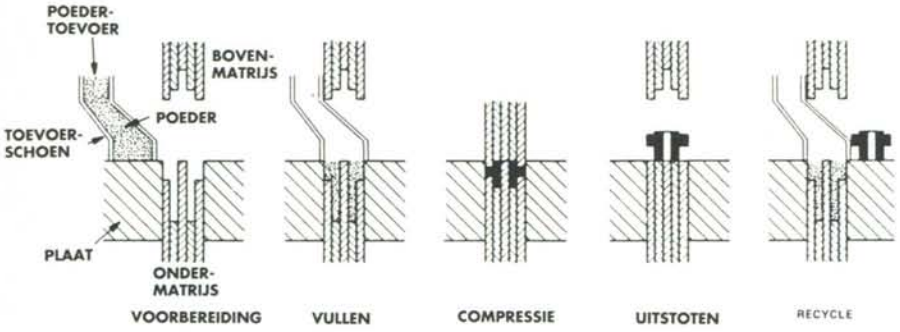
Een mogelijkheid om de wrijving met de matrijs uit te sluiten krijgt men door isostatisch te persen. Hierbij gaat men uit van een eventueel zwak geagglomereerd poeder, dat men in een flexibele kunststofhouder met de gewenste geometrie brengt. Aan dit poeder wordt doorgaans ook een bindmiddel toegevoegd. Vervolgens legt men een externe hydrostatische druk aan tot enkele kilobars waardoor het geheel zich isotroop kan verdichten. Een homogene stapeling van deeltjes is hiervan het gevolg. Nadat het verkregen lichaam licht is gesinterd, waarbij de deeltjes zwak met elkaar verbonden worden, kan men het nog op een eenvoudige wijze bewerken. Tijdens het sinteren, eventueel gevolgd door nabewerking, krijgt het daarna zijn stuctuur en uiteindelijke vorm. In figuur 10 is het werkingsprincipe van koud isostatisch persen weergegeven.

Figuur 8. Het extruderen van keramische buizen met een extrusiepers.

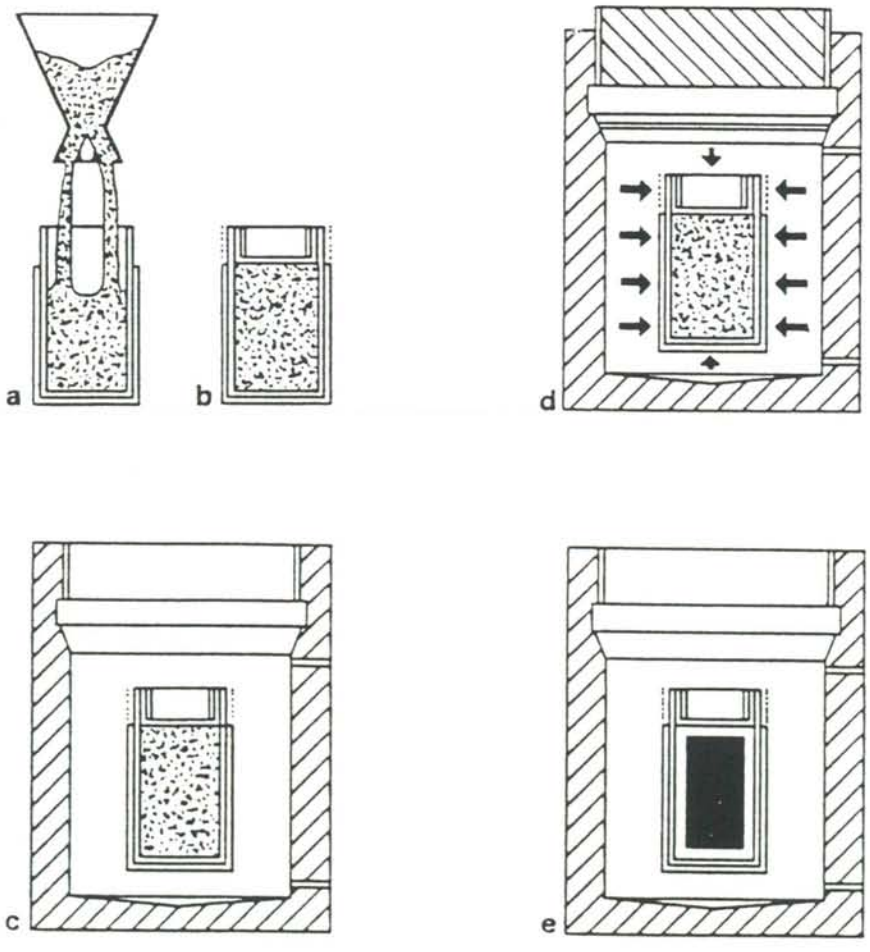
Heet uniaxiaal en isostatisch persen

Deze technieken vormen een hoofdstuk apart. Ze zijn bij uitstek geschikt om keramiek te maken uit poeders die zich moeilijk laten sinteren zoals de covalente materialen. Het aanbrengen van een druk verhoogt weliswaar niet de inwendige diffusie, maar wel de drijvende kracht.
Op twee manieren kan men deze perstechniek toepassen. Allereerst kunnen op deze wijze de vormgevings- en de sinterstap gecombineerd worden. Men gaat uit van een poeder en oefent daarop een druk uit, terwijl de temperatuur opgevoerd wordt. In figuur 11 is het werkingsprincipe van heet uniaxiaal persen weergegeven.

Daarnaast kan men deze methode toepassen om reeds gemaakte vormstukken van hun inwendige defecten en poriën te ontdoen en aldus de mechanische betrouwbaarheid te verhogen.



Figuur 9. Werkingsprincipe van uniaxiaal persen.



Figuur 10. Het principe van koud isostatisch persen:
a. het vullen van de kunststofmatrijs met poeder,
b. de gesloten matrijs,
c. de matrijs is een drukvat met water,
d. het persen van de flexibele matrijs met poeder,
e. het gecomprimeerde produkt in de matrijs na het persen.

Bij heet uniaxiaal persen werkt men met grafietstempels terwijl men bij heet isostatisch persen een gasdruk aanlegt. Bij dit laatste vormt de gasdichte afsluiting van de buitenkant van het vormstuk een groot probleem. Heeft men daarentegen "een zekere dichte restporositeit" dan kan men deze methode direct, dus zonder gasdichte flexibele omhulling, toepassen om na voorsinteren de nog resterende defecten en poriën te verwijderen. Men noemt dit "nahippen".

Sinteren van technische keramiek

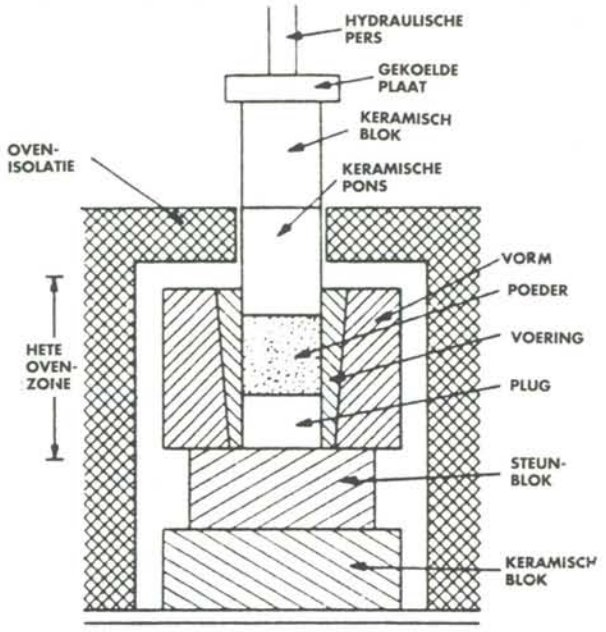
In de laatste fase van fabricage van keramische materialen wordt het vormstuk op een hoge temperatuur gebracht, gedurende welke in het materiaal processen optreden waardoor het de eigenschappen verkrijgt die voor keramiek zo karakteristiek zijn. In de aardewerkindustrie of de pottenbakkerij noemt men dit proces branden of bakken. In de wereld van de technische keramiek spreekt men van sinteren, terwijl branden gebruikt wordt voor het uitstoken van vluchtige organische toevoegingen.

Door sinteren kan men in principe een materiaal verkrijgen met grote sterkte en hardheid als gevolg van veranderingen in de microstructuur die bij deze hoge temperatuur, T > 1200°C, plaatsvinden. Als echter de kwaliteit van het uitgangsprodukt en het sinterproces in onvoldoende mate worden beheerst, kunnen deze structuurveranderingen resulteren in defecten die nadelig uitwerken op de betrouwbaarheid en dus de kwaliteit van het uiteindelijke produkt.

Het uitgangsprodukt voor sinteren (het groene keramische produkt) is een stapeling van fijnkorrelig keramisch poeder met organische bindmiddelen. Het groene produkt, eventueel na branden van de matrix, bezit een zekere porositeit en een relatief groot inwendig oppervlak (tussen 10 en 600 m^2/g). Door sinteren bereikt men een drastische reductie van dit inwendig oppervlak, hetgeen samengaat met een verandering in de poriegrootteverdeling en vaak in een afname van het totale porievolume.

Dit laatste is van belang wil men een sterk en betrouwbaar materiaal hebben. Daar waar de poederdeeltjes oorspronkelijk elkaar raakten, blijft nog een korrelgrens over. Een verdere, doch ongewenste, energieverlaging ontstaat dan

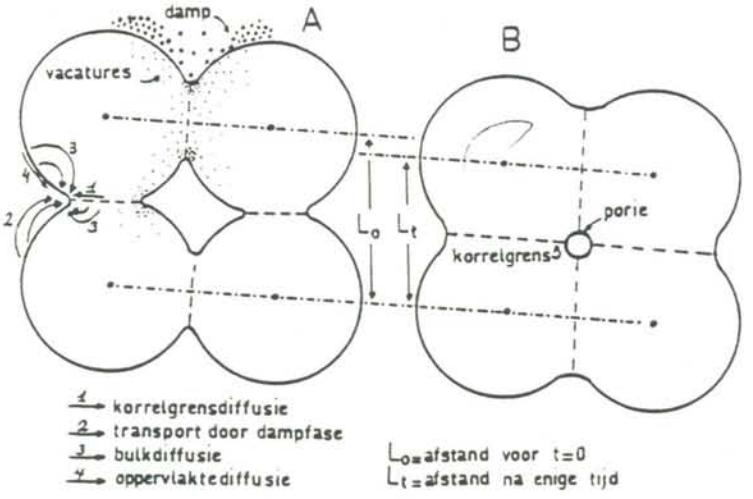
Technische keramiek (2)



Figuur 11. Principe van heet uniaxiaal persen.

doordat door korrelgroei ook het totale korrelgrensoppervlak vermindert. In principe wil men dus dat de poriën zijn verdwenen zonder dat korrelgroei optreedt. Op deze wijze zouden de mechanische eigenschappen een optimum bezitten.

De praktijk is echter dat poriereductie en korrelgroei elkaar in de tijd overlappen, en zelfs dat microporiën remmend werken op de korrelgroei. Wil men dus optimale mechanische eigenschappen, dan is het aangaan van compromissen onvermijdelijk. Wel kan men door toevoeging van bijvoorbeeld MgO in Al_2O_3 korrelgroei onderdrukken zodat de poriën kunnen verdwijnen. De kruipeigenschappen bij hoge temperatuur kunnen dan wel nadelig beïnvloed worden.
In figuur 12 is schematisch weergegeven hoe het sinteren verloopt in een oxydisch systeem, dus waar inwendig materiaaltransport groot kan zijn.



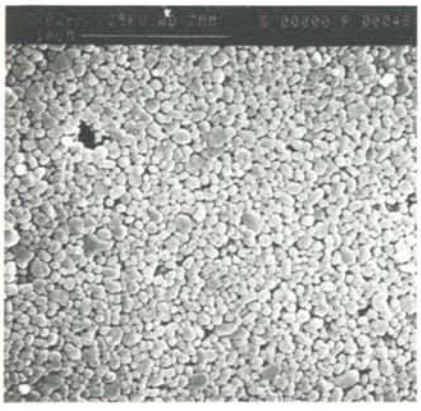
Figuur 12. Mogelijke mechanismen waardoor sinteren kan optreden, met de daarbij behorende procesbepalende diffusie.

Als de deeltjes elkaar slechts raken, is transport door oppervlaktediffusie het grootst. De transportafstand is ruwweg de deeltjesgrootte, terwijl de drijvende kracht hiermee omgekeerd evenredig is. Een fijner poeder maakt het materiaal dus meer sinteractief. Naarmate het proces vordert, dient bulkdiffusie de overhand te nemen, waardoor de restporositeit kan verdwijnen. De transportlengte is dan de afstand tussen een porië en een korrelgrens en hoeft nog maar een fractie van de deeltjesgrootte te bedragen zolang korrelgroei nog niet plaatsvindt. Is dit wel zo, dan zal de porositeit niet meer verdwijnen.
In figuur 13 wordt een relatief dichte stapeling van een keramisch poeder getoond voordat het een warmtebehandeling heeft ondergaan.

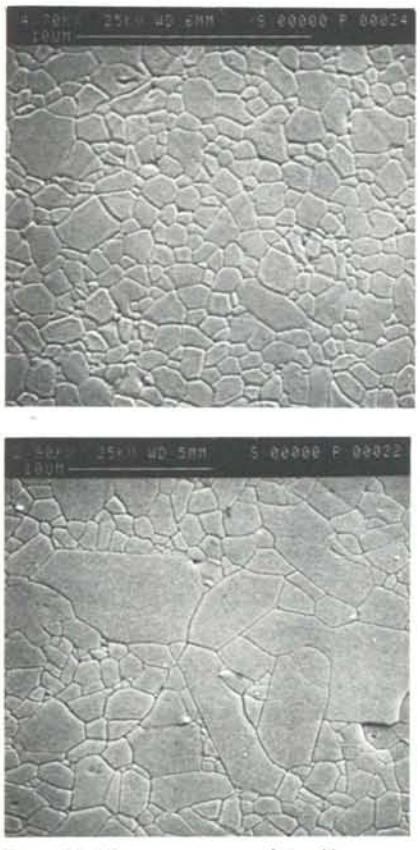
Figuur 14 laat de structuren zien van een dichtgesinterd fijnkorrelig Al_2O_3 keramiek (A) met daarbij die van een hoog gesinterd materiaal waarin discontinue korrelgroei heeft plaatsgevonden (B). In dit laatste materiaal bevond zich geen MgO als korrelgroeiremmer. Het uitoefenen van een externe druk bij het sinteren levert een drijvende kracht voor de krimp van de poriën, zonder dat korrelgroei gestimuleerd wordt. Hierdoor is het dan mogelijk om het reeds genoemde optimum wel te halen. Sinteren in niet-oxydische systemen is lastiger. Men kan dit bevorderen door de transportlengte te reduceren en de drijvende kracht te verhogen. Verkleinen van de deeltjesgrootte is een mogelijkheid, maar erg kostbaar. Aanbrengen van een externe druk bevordert de sinteractiviteit aanzienlijk. Andere wegen, gebruik makend van insitu reacties, zijn reeds besproken.

Bijzondere oxydische materialen

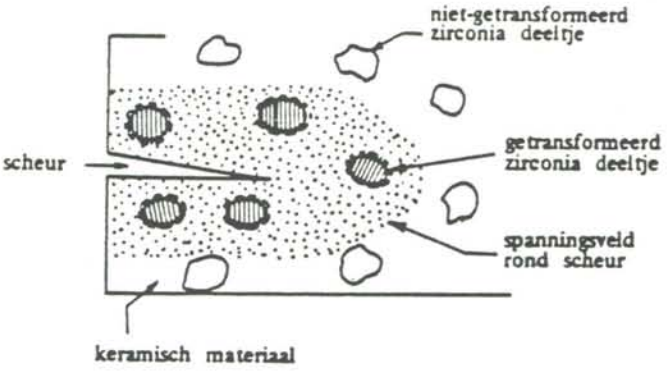
Wat betreft de structurele keramiek staan twee typen van materialen in de aandacht. Een daarvan is het vertaaide materiaal. Dat is een materiaal op basis van tetragonaal ZrO_2 in zuivere vorm of als fijne deeltjes gedispergeerd in Al_2O_3.
ZrO_2 is in principe tetragonaal boven 1170 °C, doch een groot inwendig oppervlak of mechanische spanning kan deze stof zijn tetragonale structuur ook tot bij kamertemperatuur doen behouden. De beperking van de vorm- en volumeverandering, die optreedt als het opgenomen is in een Al_2O_3-matrix of deel uitmaakt van een inwendig dichte fijnkorrelige ZrO_2-structuur, vormt een bij-



Figuur 13. Microstructuur van een groen keramisch vormstuk.



Figuur 14. Microstructuur van Al_2O_3 slibgegoten en gesinterd bij:
A. 1500 °C gedurende 4 uur,
B. 1600 °C gedurende 2 uur.



Figuur 15. De spanningsgeïnduceerde transformatie van tetragonaal ZrO_2 in een Al_2O_3-matrix.

drage aan de stabilisatie. Een scheur creëert een spanningsconcentratieveld in zijn omgeving en kan het ZrO_2 dan doen transformeren naar de lage-temperatuurstructuur (monoklien). Door de nu mogelijke transformatie wordt vrije energie gedissipeerd en ontstaan er door expansie van de getransformeerde deeltjes gunstige drukspanningen rond de scheur. Dit manifesteert zich naar buiten toe als toegenomen taaiheid. In figuur 15 is de transformatie schematisch weergegeven.

Een ander materiaal dat, wat betreft optimalisatiemogelijkheden van de mechanische eigenschappen aandacht verdient, is de SiC whisker-versterkte of vertaaide keramiek. Sterkte wordt hierbij bewerkt door de vezels en interne energiedissipatie door de interactie vezel-matrix met overigens behoud van de bulkeigenschappen van de matrix, zoals bijvoorbeeld slijtvastheid. Een probleem is vooralsnog de onzekerheid ten aanzien van de maximaal haalbare sterkte en taaiheid en niet in de laatste plaats de verwerkbaarheid als gevolg van de gezondheidsrisico's bij het werken SiC-whiskers.

Bewerken van technische keramiek

Bewerking in de groene/witte fase

De term groene bewerking heeft betrekking op de bewerking van een keramische component vóór de uiteindelijke verdichting, het sinteren. Het kan gebeuren direct na de vormgeving. Bewerking is dan alleen mogelijk als het om een produkt gaat dat een voldoende grote hoeveelheid bindmiddel bevat. Is dit niet het geval dan zal het vormstuk door de erop uitgeoefende krachten meteen bezwijken.

Ook kan het produkt eerst voorgesinterd worden. Het produkt wordt dan enige tijd op een temperatuur van enkele honderden graden onder de sintertemperatuur gehouden. Hierbij vindt dan nog geen verdichting plaats, maar wel enige nekvorming (zie figuur 12, links) tussen de deeltjes. Afhankelijk van de gekozen temperatuur zal de stevigheid van het produkt daarna voldoende zijn om het te kunnen bewerken. In dit stadium wordt ook wel van het witte produkt en van witte bewerking gesproken.

Het aantrekkelijke van groen bewerken is het feit dat het materiaal veel zachter is dan het keramiek in zijn uiteindelijke verdichte vorm. Dit betekent dat niet noodzakelijk diamantgereedschap gebruikt hoeft te worden en dat de afnamesnelheid veel hoger kan zijn. Nadeel is dat het produkt nog kwetsbaar is. Er moet dan ook zeer voorzichtig te werk gegaan worden bij het in- of opspannen van zulke produkten en de bewerking ervan. Het onderdeel moet stijf ingespannen worden zonder spanningsconcentraties, eventueel met behulp van was of een harssoort.

Door groen of wit bewerken kan een produkt op alle wijzen bewerkt worden en van alle vormen voorzien worden. De naderhand optredende sinterkrimp is nog steeds niet volledig voorspelbaar en reproduceerbaar. Voor precisieonderdelen is er daardoor geen alternatief voor nabewerken na het sinteren.

Nabewerken in de gesinterde fase

Onder nabewerken van keramiek wordt verstaan de bewerking van een gesinterde component. Dit nabewerken is een kostbare zaak vanwege de hardheid en het brosse gedrag van keramiek. Hierdoor is de afnamesnelheid laag en duurt het nabewerken lang.

111

Technische keramiek (2)

Keramiek, met uitzondering van BN en sommige glaskeramieken, laat zich niet met dezelfde gereedschappen bewerken als metaal. Het gereedschap moet in het algemeen harder zijn dan het te bewerken materiaal. Bovendien mag de materiaalafname niet gepaard gaan met grote spanningen. Door het gebrek aan ductiliteit en het onvermijdelijk aanwezig zijn van defecten, leiden spanningen al snel tot hoge spanningsconcentraties en daarmee tot beschadiging/bezwijken van het produkt.

De verschillende bewerkingen kunnen onderverdeeld worden in:
- mechanische bewerkingen
  - bewerkingen met gebonden slijpmiddel (slijpen, zagen, boren),
  - bewerkingen met vrij slijpmiddel (leppen, polijsten),
  - bewerkingen met vrij "slijpmiddel" op basis van impact (ultrasoon bewerken, stralen), en
- niet-mechanische bewerkingen (chemisch, thermisch, zoals etsen, vonken, laserbewerken).

Literatuur

[1] J.S. Reed; Introduction to the principles of ceramic processing.
[2] D.W. Richerson; Modern Ceramic Engineering.
[3] P.J. James; Isostatic Pressing Technology.
[4] W.D. Kingery; Introduction to ceramics.
[5] R.Morrell; Handbook of properties of technical and engineering ceramics.
[6] N.A.G. Lamboo, A.J.J. Peters; Oriëntatiecursus Technische keramiek, Bedrijfsadviescentrum Hogeschool Alkmaar.

De auteur P.J. van Tilborg is verbonden aan het Nationaal Keramisch Atelier, Service Unit Materialen van Energieonderzoek Centrum Nederland.

Actueel

Jubileum Heidenhain Nederland.

Het tienjarig bestaan van Heidenhain Nederland B.V. werd op 1 en 2 juni j.l. gevierd met een persconferentie. Daartoe waren een tiental vertegenwoordigers van nederlandse technische tijdschriften uitgenodigd voor een bezoek aan het moederbedrijf dr. Johannes Heidenhain GmbH te Traumreut in Beieren.
De firma Wilhelm Heidenhain werd in 1889 opgericht. In 1923 trad de chemicus dr. Johannes Heidenhain toe tot het bedrijf van zijn vader dat zich reeds bezighield met fotolithografie en andere grafische chemische technieken. Men fabriceerde onder andere geëtste schablonen maar hield zich ook reeds bezig met de fabricage van, voor die tijd, nauwkeurige lineaalverdelingen. Het oorspronkelijke bedrijf W. Heidenhain houdt zich hedentendage, nog steeds gevestigd in Berlijn, hoofdzakelijk bezig met fabricage van "gedrukte bedradings"-panelen.
Door de algemeen directeur dr. Miller werd een kort overzicht gegeven van de ontwikkelingen in het bedrijf te Traumreut. Onder de naam dr. Johannes Heidenhain werd het thans belangrijkste bedrijf van de Heidenhain Groep in 1948 hier gevestigd. Het is gespecialiseerd in de fabricage van:
- precisie onderdelen;
- digitale elektronische lengte- en hoekmeetsystemen;
- positie-indicatoren, alsmede
- numerieke besturing voor bewerkingsmachines.

Dr. Miller ging kort in op de ontwikkeling van de technologie voor het aanbrengen van zeer fijne verdelingen; van het op loodsulfide gebaseerde Metallur proces op glas via het op chroom gebaseerde Diadur naar Aurodur op staal.
Op de meetsystemen werd nader ingegaan door dr. Hagl, leider van de technische verkoop meetsystemen, en de laatste ontwikkelingen in NC-besturingen werden besproken door dipl.ing. Akraller als leider van de technische verkoop elektronica.
Het programma werd afgerond met een rondleiding door de nieuwe fabriekshallen. In deze pas kortgeleden in gebruik genomen uitbreiding konden de montage van elektronische schakelingen worden bezichtigd alsmede de mechanische bewerkingsafdeling.
In eerstgenoemde afdeling werd reeds een flink deel van de schakelingen in "surface mounting" (op-spoor montage) uitgevoerd. De montage van deze (miniatuur) componenten werd onder andere met Fuji montagemachines uitgevoerd, volgens de afdelingschef met veel succes.
Reflow solderen werd uitgevoerd met C-tec machines. In de mechanische bewerkingsafdeling werden de metalen (aluminium) profielen voor de lineaire meetsystemen uit geëxtrudeerd materiaal voor diverse lengten en uitvoeringen vervaardigd alsmede de vele andere kleine metalen onderdelen bewerking met de benodigde precisie.
De zakelijke doch esthetisch zeer verzorgde uitvoering van deze nieuwe fabrieksruimten met veel licht en in lichte kleuren uitgemonsterd was een aangename ervaring.
Het huidige produktproramma bestaat, naast de genoemde numerieke besturingssystemen uit:
- incrementele meettasters met nauwkeurigheden van ±0,5 µ;
- diametermeetkoppen met verschillende bereiken;
- open en gesloten incrementele lengtemeetsystemen met elektronische uitlezing en elektronische interpolatie waarmee meetstappen van 0,01 tot 0,001 µm mogelijk zijn;
- incrementele roterende impulsgevers en hoekmeetsystemen met nauwkeurigheden tot ± 0,2 hoekseconde en geïnterpoleerde meetstappen van 0,035 hoekseconde;
- code-impulsgevers.

Ook lager-interferometers voor rechtsheidsmeting van freems voor verwerkingsmachines behoren tot het programma. Voorts werden ook bijzondere meetsystemen voor wetenschappelijk onderzoek gefabriceerd.
Op de lineaire en hoekmeetsystemen zal in een artikel in een van de volgende nummers van Mikroniek nader worden ingegaan.
De Heidenhain Groep heeft hedentendage vestigingen in vele landen van Europa (onder andere Engeland, Frankrijk, Italië, Zwitserland en Nederland) en heeft nederzettingen respectievelijk dochterondernemingen in de Verenigde Staten van Amerika, in Singapore, Brazilië en in Japan.
De omzet ligt op het niveau van een derde tot een half miljard mark.
Heidenhain heeft op het gebied van meetsystemen een aantal, vooral Japanse, concurrenten zoals Canon, Futuba, Mitutoyo en Sony.

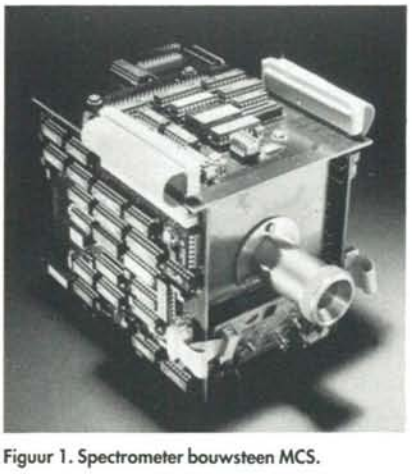
M. Breuning.

Simultaanspectrometer

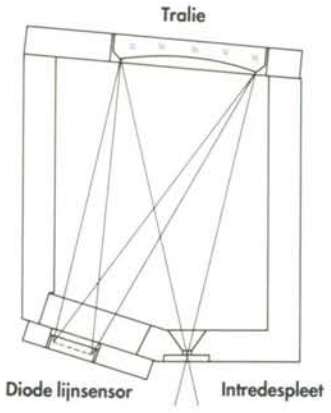
Dipl.-Phys. Meinrad Mächler en Dr. Harry Schlemmer

Sinds enkele jaren bestaat de eerste schakel in een nieuwe reeks van spectraal analytische meetinstrumenten: een simultaanspectrometer waarin het klassieke principe van de spectrograaf in de optiek wordt gecombineerd met de lichtgeleidertechnologie.
Voor het verkrijgen van de meetwaarden wordt van geavanceerde geïntegreerde digitale elektronica gebruik gemaakt, terwijl de constructieve opbouw berust op de nieuwste ontwikkelingen op keramisch terrein.

Het gaat hierom de simultaanspectrometer MCS (multi channel spectrometer) van Carl Zeiss, zie figuur 1. Kernstuk van deze simultaanspectrometer is een compacte miniatuurspectrograaf waarvan de functionele bouwstenen tot het theoretisch niet meer te verminderen aantal van drie elementen is gereduceerd, namelijk een intredespleet, buigingsrooster en ontvanger (detector), zie figuur 2. Laatstgenoemde bestaat uit een lineaire opstelling van geminiaturiseerde fotodioden, aangebracht op een monokristallijne siliciumchip, een zogenaamde LID (lineair imaging device), zoals deze sedert 1975 in een groot aantal detectoren voorkomt (Reticon Photodiode Array RL 512G, met 512 dioden in afmetingen van 25x250 µm op een lengte van 12,8 mm) [1].



Figuur 1. Spectrometer bouwsteen MCS.



Figuur 2. Optische opbouw van de simultaanspectrometer.

Met behulp van een op de chip geïntegreerde schakeling kunnen de meetsignalen van iedere diode stuk voor stuk worden afgetast en binnen een tijdsverloop van enkele microseconden aan digitale elektronica worden doorgegeven. De meetcyclus van de traditionele spectraalfotometer gaat met een mechanische beweging van de buigingstralie gepaard, maar wordt hier door een zuiver elektronische handeling vervangen. Deze is veel sneller en ook wat de nauwkeurigheid van de golflengte betreft onvergelijkbaar, beter.

Optiek

Met de lijnsensor als uitgangspunt voor de dimensionering van de spectrometer wordt er voor de eerste keer naar gestreefd de opbouw van de optiek met betrekking tot de afmetingen van de fotodioden te optimaliseren. Terwijl rekening gehouden wordt met de noodzakelijke dispersie (opsplitsing van golflengten), moet een liefst foutloze afbeelding van de intredespleet op het vlak van de detector worden gevonden.
Bovendien moet de opening zo groot mogelijk zijn opdat er zo veel mogelijk licht op de lijnsensor terecht kan komen.
Aangezien de detectorelementen in een vlak liggen is het bovendien wenselijk ook het spectrum te egaliseren, zodat over het totale verloop van dit spectrum een gelijkmatige en goede focussering van het licht op de lijnsensor wordt verkregen. De elegante oplossing van deze afbeeldingsproblemen met behulp van slechts een enkele optische bouwsteen is pas mogelijk geworden door de ontwikkeling van langs holografische weg vervaardigde buigingstralies op een concaaf oppervlak [2]. Het optisch gedrag van een holografische concave tralie kan in een viertal functies worden opgedeeld, namelijk:

- Afbeeldingen van de intredespleet op schaal 1:1 in het detectorvlak, zoals bij een holle spiegel met een relatieve opening van 1:2,3.
- Dispersie van het invallende licht op grond van de buiging aan de groeven van de tralie. Aangezien het totale (zichtbare) spectrale gebied 361 tot 780 nm — iets meer dan het menselijk oog kan waarnemen — door de slechts 12,8 mm lange reeks dioden moet worden opgenomen bedraagt de lineaire dispersie slechts 33 nm/mm. Dientengevolge is de dichtheid van de groeven met 248 lijnen/mm ongewoon laag te noemen. Door de grote opening en de daaruit resulterende grote doorsnede van de tralie is het totaal aantal groeven voor de door de detector bedongen spectrale bandbreedte van 0,8 nm meer dan toereikend (theoretische oplossend vermogen 0,1 nm).
- Een correlatie van de afbeeldingsfouten, speciaal van het astigmatisme, wordt door het verloop van de traliegroeven bereikt. In tegenstelling tot de groeven van mechanisch verdeelde tralies, die parallel en zo veel mogelijk op gelijke afstand moeten liggen, maakt het holografische procédé het mogelijk een soort hyperbolisch groevenverloop te maken. De corrigerende werking van dit verloop kan door wiskundige modelberekeningen van te voren worden bepaald [3].
- De zogenaamde 'blazewerking' wordt veroorzaakt door een asymmetrisch groevenprofiel en reflecteert het grootste deel van de energie in het te meten spectrale gebied ten laste van de niet bruikbare 'nulde orde'. Dit leidt tot een hoge sterkte van het meetsignaal.

Simultaanspectrometer

Uit de voor de foutencorrectie gunstige afbeeldingsmaatstaf van 1:1 volgt dat in het ideale geval de afmetingen van de intredespleet gelijk moeten zijn aan die van een enkele diode, dus ongeveer 25 x 250 µm.

Uitgaande van dit zeer kleine oppervlak zou een spectrometer met lijnsensor in zijn 'gevoeligheid' ver de mindere van de gebruikelijke spectrometers zijn. Het is echter niet alleen de grootte van de intredespleet, maar ook de zogenaamde lichtgeleidingswaarde die de te bereiken lichtdoorgifte van een spectraal apparaat bepaalt. Men definieert hierbij de lichtgeleidingswaarde L als het produkt van de oppervlakken van twee op elkaar volgende diafragma's die de lichtbundels begrenzen, gedeeld door het kwadraat van de afstand tussen de diafragma's:

$L_1 = F_{sp} \cdot F_g / d^2$

waarin F_{sp} = spleetoppervlak; F_g = tralieoppervlak; d = spleetrooster-afstand. Indien men nu bijvoorbeeld de spectrometer met lijnsensor vergelijkt met de Zeiss monochromator M4QIII blijkt dat de lichtgeleidingswaarden van deze twee zeer uiteenlopende apparaten in het midden van het zichtbare spectraalgebied bij 600 nm bijna gelijk zijn.

Constructie

De hierboven geschetste aanpassing c.q. optimalisering van een holografische tralie in relatie tot de speciale eisen die een lijnsensor als detector stelt, heeft tot een buitengewoon compacte oplossing geleid [4].
Met het verkleinen van de geometrische afmetingen zijn de eisen aan precisie en constantheid van de justering echter aanmerkelijk hoger komen te liggen. Voor het doel waarvoor de simultaanspectrometer is ontworpen moet bij de justering van de golflengte een nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid van +/− 0,1 nm over het totale spectrale gebied worden verlangd. Dit komt overeen met een verschuiving van slechts 3 µm. Dit heeft twee zwaarwegende consequenties:

1. Een conventionele constructie met een chassis van lichtmetaal leidt tot vervormingen die de toelaatbare tolerantiegrenzen overschrijden als gevolg van de verschillende thermische uitzettingscoëfficiënten van de materialen over het in de praktijk voorkomende temperatuurgebied;
2. Een justering achteraf door de gebruiker is nooit mogelijk omdat dit niet nauwkeurig genoeg kan geschieden.

Voor deze problemen is de volgende oplossing gevonden. De houders voor de essentiële bouwstenen en het chassis van de simultaanspectrometer zijn uit een van te voren verdichte harde keramiek vervaardigd. Deze bezit dezelfde lage thermische uitzettingscoëfficiënt als de glasdelen van de optiek. Hierdoor blijft de ruimtelijke geometrie van de spectrometer over een temperatuurgebied van − 70 tot + 70 graden Celsius exact behouden. Sterkte en stijfheid tegen buiging van deze keramische constructie liggen vele malen hoger dan die van een metalen uitvoering en bovendien zijn er geen problemen met de corrosiebescherming.

Hoge nauwkeurigheid bij de eindmontage wordt bereikt door bij het justeren van de functie-elementen gebruik te maken van micromanipulatoren. Na het bereiken van de eindjustering, onder controle van een computer, worden de betreffende bouwstenen in hun houders met het keramische chassis vastgegoten. De op deze manier bereikte monolithische opbouw garandeert onder willekeurig wisselend omstandigheden een tot nu ongekende stabiliteit van de justering.

Lichtgeleideroptiek

Zoals bekend worden flexibele lichtgeleiders met succes toegepast in de medische sector (endoscopie). De techniek wordt ook gebruikt in de vorm van 'koude lichtbronnen' en – in toenemende mate – bij glasvezelkabels in de communicatietechniek. Bij de simultaanspectrometer wordt gebruik gemaakt van het gegeven dat lichtgeleiders de karakteristieke openingsverhoudingen van de LID-spectrometer (diameter meetvlak: 0,2 mm, numerieke apertuur: 0,21, dus problematisch voor traditionele optiek met lenzen) exact kunnen overbrengen, indien de fiberdiameters enerzijds en de brekingsindices van mantel en kern anderzijds goed op elkaar worden afgestemd.
Toepassing van flexibele lichtgeleiders geeft, voor het eerst bij een spectraalfotometer, het grote voordeel dat de meetplaats ruimtelijk kan worden gescheiden van de plek waar het meetinstrument staat. Aangezien afstanden tot 100 m met lichtgeleiders kunnen worden overbrugd, kan nu spectroscopisch onderzoek aan volumineuze objecten in explosie-gevaarlijke ruimten en aan in bedrijf zijnde machines of lopende banden zonder al te grote moeilijkheden worden verricht.

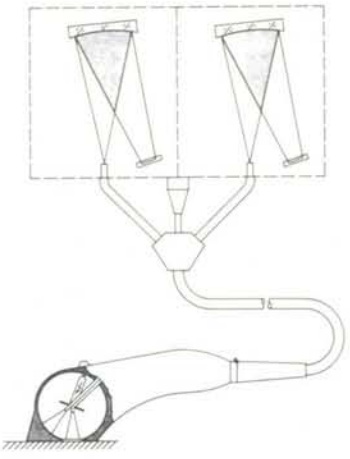
Elektronica

Kenmerkend voor het signaal van een enkele lijnsensordiode is een afgegeven spanning van ongeveer 10V bij een maximale ladingsequivalent van slechts 4 pC ($4 \cdot 10^{-12}$ Coulomb).
Dit komt overeen met een hoeveelheid lading van circa 10^7 elektronen. Daarbij moet men bedenken dat dit signaal slechts tussen 0,01 en 1 milliseconden ter beschikking staat.
Dit vereist, direct aan de uitgang van de lijnsensor, een optimaal aangepaste snelle ruisarme schakelketen van verschil-, sample- en hold-versterkers en AD-omzetters.
Het kleine uitgangssignaal heeft tot gevolg dat het theoretische dynamische bereik van $1 : 10^7$ en het praktisch nuttige gebied $1 : 10^3 - 10^4$ bedraagt. Dit betekent dat voor de digitale conversie van de signalen 12 bit = 4096 tellingen nodig zijn. Voor een lijnsensor met 512 dioden, zoals in de simultaanspectrometer wordt toegepast, volgt uit het voorgaande een informatieinhoud en geheugencapaciteit van 512 x 2 = 1 kB voor een spectrum. De te verwerken overbrengsnelheid ligt tussen 2 kB/s in het langzaamste en 200 kB/s in het snelste geval.
Wat dit voor de praktijk betekent wordt duidelijk uit de standaardopgaven van iedere spectrale meting, namelijk het vormen van het quotiënt tussen het gemeten spectrum en een in een geheugen opgeslagen referentiespectrum. Deze gangbare normering elimineert de onvermijdelijke invloeden van de apparatuur. Bij een serie metingen van 100 spectra per seconde moeten voor het vormen van de bovengenoemde quotiënten 51.200 delingen per seconde worden uitgevoerd, een taak die met snelle 16 bit processors van de nieuwste PC generatie (Motorola 68000, Intel 80286 kan worden bereikt. Dit kan geschieden door een optimale keuze te maken uit het omvangrijke hardwareaanbod van de diverse fabrikanten.

Toepassingen

De simultaanspectrometer kan overal worden toegepast waar men tot dusver met spectrografen of monochromators heeft gewerkt, in het bijzonder in de absorptie-, emissie-, reflectie- en remissiespectroscopie. Zijn capaciteiten ontplooit het instrumenten daar waar het

aankomt op een snelle opeenvolging van metingen van complete spectra en/of op de kleinste meetoppervlakken. Tot de eerste categorie behoren bijvoorbeeld metingen van de kinetische reactie, de zogenaamde 'stopped flow' onderzoekingen [5], of industriële meetinstrumenten voor de lopende produktie hetzij aan vloeistoffen, hetzij aan vaste stoffen zoals papier, textiel of folies, door middel van reflectie. Tot de tweede categorie kan men detectoren rekenen voor de vloeistofchromatografie, in het bijzonder de nieuwe Micro HPLC (high performance liquid chromatography) en natuurlijk ook de directe micro-analyse [6].
In het navolgende wordt ingegaan op drie nieuwe interessante toepassingen, ten eerste spectrale kleurmetingen met een lichte, beweeglijke meetkop, ten tweede een methode voor diktebepaling van extreem dunne lagen en ten derde de dispersiespectroscopie aan vloeistoffen in het nanolitergebied.



Figuur 3. Schematische opbouw van het kleurmeetapparaat MCS 2x512 VIS, bestaande uit twee in opbouw identieke spectrometerbouwstenen en de beweegbare kleurmeetkop met fotometerbol en flitslamp.

Figuur 4. Kleurmeetapparaat MCS 2x512 VIS.

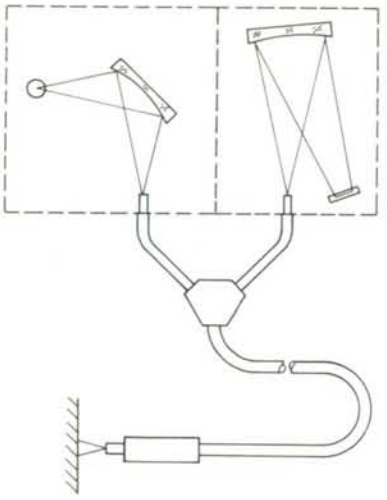
Kleurmeting

Objectieve kleurmeting is een oeroude wens in de industrie. Het menselijk oog bezit een hoge gevoeligheid voor het onderscheiden van kleurnuances. Bovendien wordt de kwaliteit van een produkt vaak beoordeeld op grond van kleur, van kunstdrukwerk tot autocarosserie.
Tot dusver kan het aanbod van apparaten voor kleurmetingen worden onderverdeeld in de zogenaamde 'tristimulus'-apparaten, waarbij de resultaten afhankelijk zijn van de lichtsoort waarbij wordt gemeten, en de langs spectrale weg metende instrumenten die niet afhankelijk van de lichtsoort zijn maar weer veel volumineuzer en gecompliceerder uitvallen. Beide categorieën zijn echter aan laboratoriumgebruik gebonden en beperken zich tot kleine meetobjecten.
Tot nu toe kon niet voldaan worden aan de behoefte om kleurmetingen te verrichten aan willekeurig grote objecten of lopende banden onder produktieomstandigheden. De spectraalspectrometer met zijn kortstondige spectrale meting en de daarop afgestemde technologie van lichtgeleiders hebben hiervoor nu een oplossing geboden. Figuur 3 toont een principeschets van de meetopstelling, figuur 4 geeft een afbeelding van het apparaat. De belangrijkste bouwsteen is een fotometer (bol van Ulbricht ofwel integrerende bol) met een diameter van 60 mm, aan de binnenzijde voorzien van een witte laag. De ronde meetopening, diameter 15 mm, van de bol wordt direct op het te meten object gelegd. Het meetobject wordt diffuus en volledig zonder schaduw belicht door een kleine flitslamp die in het bovengedeelte van de bol is gemonteerd.
Aangezien op elkaar volgende flitsen tijdens een serie metingen zowel qua energie als spectrale intensiteitsverdeling vrijwel nooit volkomen aan elkaar gelijk zijn, moet men een echt 'tweestraalsprocédé' toepassen.
Voor dit doel worden twee identieke simultaanspectrometers gebruikt die via twee flexibele optische geleiders met de meetkop zijn verbonden. De ene geleider in de bol 'ziet', dank zij de gedefinieerde apertuur, nauwkeurig de meetopening. Dat wil zeggen, dat hij de door het object teruggezonden straling opneemt en deze aan de meetspectrometer afgeeft. De tweede lichtgeleider 'ziet' een even groot oppervlak van de witte binnenwand van de bol. De hiervan gereflecteerde straling wordt naar de referentiespectrometer gevoerd. Deze straling geeft, bij een bekend verondersteld remissiegraad van de bolwand, de absolute en spectrale verdeling van het flitslicht weer.
De spectrale remissiegraad van het te meten object waaruit men uiteindelijk de kleurwaarden berekent, wordt gevonden uit het quotiënt van meetspectrum/referentiespectrum, elk met 512 spectrale meetpunten. Door de ongewoon hoge informatiedichtheid van de spectra verkrijgt men een hoge nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid van de kleurwaarden en de kleurwaardeverschillen.
Een voordeel van dit moderne kleurmeetapparaat is op de eerste plaats de beweeglijke en lichte meetkop. Deze maakt het mogelijk grote objecten gemakkelijk te meten, terwijl het eigenlijke meetapparaat op een afstand is opgesteld. Een ander voordeel is de zeer korte meettijd. De eigenlijke meting wordt binnen enkele milliseconden verricht waardoor het gevaar van de 'bewegende meting' wordt uitgesloten [8].

Laagdiktemeting

De simultaanspectrometer kan ook worden gebruikt voor het direct en zonder aanraking meten van dunne, transparante lagen. Het meetprincipe is eenvoudig en berust op evaluatie van de interferentiekleuren van deze lagen, zoals iedereen die wel kent van zeepbellen en olielaagjes op water. De meetopstelling is in figuur 5a schematisch weergegeven. De straling van een witte continue lichtbron wordt via een optische lichtgeleider op de meetplaats gericht. Een tweede lichtgeleider detecteert het door het object gereflecteerde licht en brengt dit naar de spleet van de simultaanspectrometer.
Dit meetlicht bestaat uit twee componenten, namelijk die welke aan voor- en achterzijde van het object werden gereflecteerd. Beide delen interfereren met elkaar waardoor over het spectrum heen een reeks lichte en donkere plekken ontstaat, kortom: een interferentiespectrum,

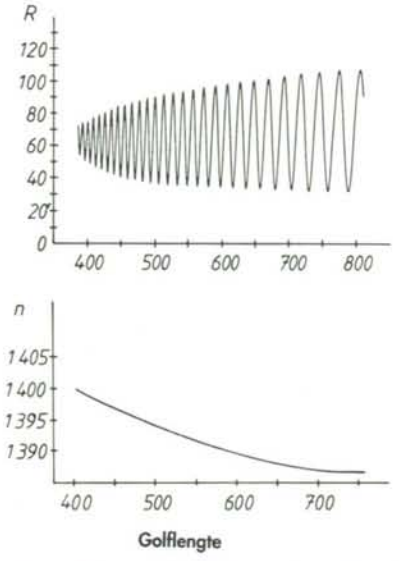
Simultaanspectrometer



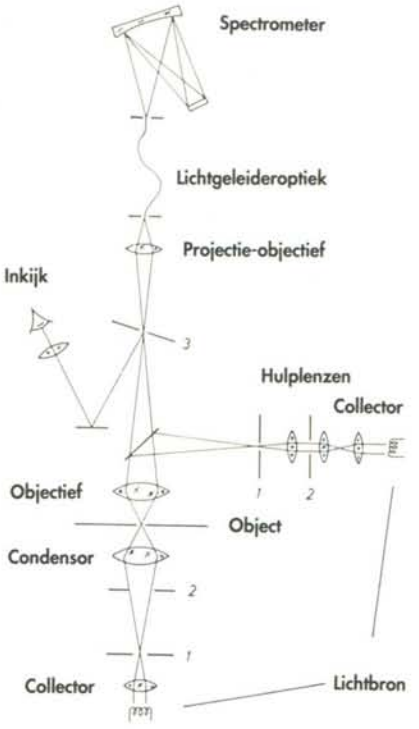
Figuur 5a. Meetopstelling voor laagdiktemeting met verlichtingseenheid (1), spectrometer met lijnsensor (2) en lichtgeleideroptiek (3).

zie figuur 6. Indien de laag zelf homogeen is, wordt de ligging van de maxima en minima uitsluitend bepaald door de brekingsindex en de geometrische dikte van de materiaallaag. Is de brekingsindex bekend dan kan uit het referentiespectrum de geometrische dikte van het proefobject met een nauwkeurigheid worden berekend die in het nanometergebied (10^{-9}) ligt [9].

Deze meettechniek is zeer nuttig voor de produktiecontrole van dunne precisie-



Figuur 6. Uit het gemeten spectrum (boven) kan bij bekende geometrische dikte de bijbehorende dispersiecurve (onder) wordenberekend.

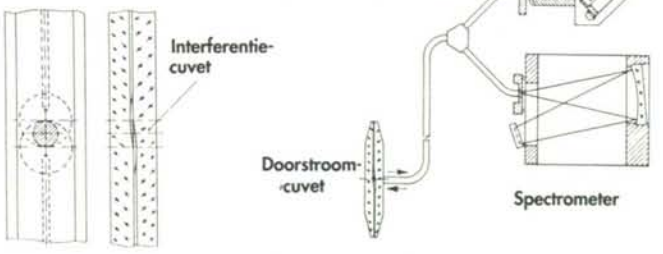


Figuur 5b. Optische stralengang van de spectrometer-microscoop combinatie voor transmissie- en reflectiemeting. 1 en 2 zijn respectievelijk veld- en apertuurdiafragma's in de betreffende stralengang van de verlichting (zogenaamde 'Köhlerse verlichting'). Het licht dat door het met 3 aangegeven meetdiafragma valt, wordt via een optische lichtgeleider (diameter 200 μm) naar de spectrometer geleid.

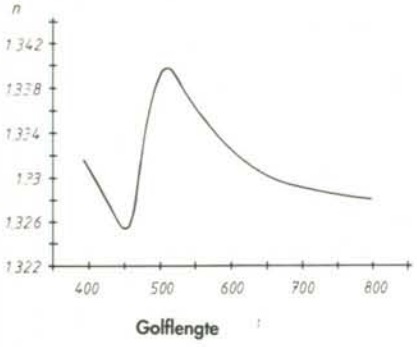
folies voor bijvoorbeeld elektronische informatiedragers en condensatoren en voor opgedampte lagen in de optiek en algemene techniek.
Een speciaal veeleisende toepassing – vanwege de kleine afmetingen van de ter beschikking staande meetoppervlakken – is de diktemeting van de diverse lagen, die typerend zijn voor de produktie van de moderne geïntegreerde bouwstenen in de halfgeleidertechniek [7].
Een oplossing wordt hier gegeven door de verbinding van een lichtmicroscoop en een spectrometer met lijnsensor door middel van een lichtgeleider, zie figuur 5b.

Dispersiespectroscopie

De theorie leert dat niet alleen de gebruikelijke toegepaste absorptie-coëfficiënt k, maar ook de brekingsindex n van een materiaal op karakteristieke wijze van de golflengte λ afhangt. De van de golflengte afhankelijke grootheden zijn ieder voor zich eenduidige kenmerken voor het betreffende materiaal. Beide leveren gezamenlijk het complexe brekingsgetal: $\eta = n(1+ik)$, met $i = \sqrt{-1}$ op.
Indien men het bovengenoemde meetprincipe op een proefobject met bekende geometrische dikte (ca. 5 tot 10 μm) toepast, dan resulteert dit bij gegevensverwerking van het interferentiespectrum in de voor het materiaal typische golflengteafhankelijkheid van de brekingsindex, kortweg de dispersie, zie figuur 6. In de praktijk van de spectroscopie is de dispersie het reële deel van de complexe brekingsindex – tot dusver volledig verwaarloosd. Men moet zich daarom afvragen wat men wint wanneer men met behulp van de simultaanspectrometer en de hierboven aangeboden methoden langs directe weg dispersiespectra kan meten.
Belangrijk is de minimum hoeveelheid substantie die men voor het verkrijgen van een betrouwbaar spectrum nodig heeft. Vooral bij biologisch speurwerk



Figuur 7. Meetopstelling voor dispersiemeting aan vloeibare media.



Figuur 8. Anomale dispersiecurve van een kleurstof in een waterige oplossing.

zou men graag met zo weinig mogelijk materiaal willen werken, het liefst met hoeveelheden ter grootte van nanoliters voor het aantonen van pico-mol van de daarin opgeloste stoffen. Figuur 7 laat een dergelijke meetopstelling zien. De hoofdonderdelen lichtbron, lichtgeleiders in Y-vorm en de beide simultaanspectrometers zijn weer op de bekende manier opgesteld. De dunne vloeistoflaag waarin de interferentie ontstaat wordt gerealiseerd door twee zeer vlakke sferische menisci, ingepolijst in planparallelle saffierplaten. De beide menisci, die op elkaar gelegd een pijlhoogte van ca. 5 µm bezitten, vormen een cuvet met een nuttige inhoud van ca. 30 nanoliter. Toe- en afvoer geschiedt via ingeslepen kanalen met een diameter van 0,2 mm. Als materiaal is synthetische saffier gekozen, niet alleen vanwege de chemische bestendigheid maar ook met het oog op de hoge brekingsindex, die voor alle in aanmerking komende vloeistoffen een voldoende reflectie aan de grensvlakken garandeert. Diverse universiteitslaboratoria en ander onderzoeksinstituten houden zich intussen al bezig met dit volledig nieuwe meetprincipe.

Een voorbeeld van een vloeistofmeting is te zien in figuur 8. Deze geeft aan dat ook anomale dispersies gemeten kunnen worden met een minimale hoeveelheid vloeistof.

Literatuur

[1] Y. Talmi: Appl. Spec. 36 (1982).
Forschungsbericht T80-142 (2980); M. Mahler: BMFT-Forschungsbericht T84-132 (1984).
[2] W. Opitz, H.A. Obermayer: BMFT
[3] R. Bittner: Optik 64, 185 (1983).
[4] H. Schlemmer, M. Mahler: J. Phys.E.: Sci. Instr. 18, 914 (1985).
[5] K.J. Wannowius, F. Sattler, H. Elias: GIT Fachz. Lab. 29, 1138 (1985).
[6] M. Saito, A. Wada, K. Hibi, M. Takahashi: Ind. Res. Dev. 4, (1983).
[7] K.P. Koch, M. Mahler, F. Gluck: Re. Sci. Instrum. 56, 2243 (1985).
[8] H. Schlemmer, M. Mahler: Farbe 32/33, 69 (1985/1986).
[9] D.L. Larson: NBS Forschungsbericht NBSIR 81-1652 (1981).

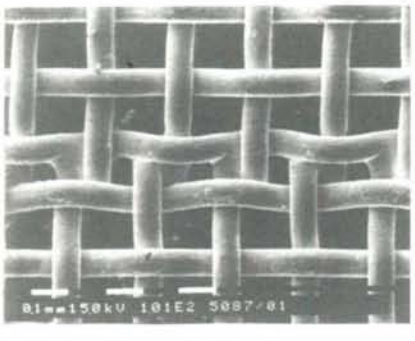
Dit artikel is eerder verschenen in Zeiss Informationen nr. 100 en is nagenoeg identiek met het artikel "Simultaanspectrometer met sterallures" uit PT-Elektronica/Elektrotechniek nr. 4, 1990.

Actueel

Microverbinden van metalen

De foto toont een verbinding van fijnmazig roestvaststaal. Gaas met draden van 0,08 mm en 120 draden per inch is evenwijdig aan de weefrichting geknipt en vervolgens met behulp van een Nd/YAG-laser aan elkaar gelast. Op deze wijze wordt een verbinding verkregen die op een andere wijze nauwelijks te maken is, zeker als daarbij de kwaliteit in beschouwing genomen wordt. Dit voorbeeld is een van de onderwerpen van het bovengenoemde NIL-project.

Er is van microverbinden sprake als de kleinste afmeting van één van de te verbinden delen kleiner dan 1 mm is; bij plaatmateriaal is de grenswaarde 0,5 mm.



Vooral in de fijnmechanische en elektronische industrie zijn microverbindingen van toenemend belang. Per jaar worden er in Nederland ca. 10^{12} microverbindingen gemaakt, waarbij het foutenpercentage afhankelijk van de toepassing minder dan 0,01% moet zijn.
Bij microverbinden is naast de keuze van de verbindingstechniek de kwaliteit van de verbindingen van groot belang. In het kader van een IOP-Metalen programma wordt procesgericht onderzoek uitgevoerd door IPL-TNO op het gebied van microweerstandslassen en microbonden. Complementair aan dat onderzoek wordt door het Nederlands Instituut voor Lastechniek (NIL) een programma gecoördineerd dat gericht is op microlaserverbinden en de kwaliteit van microverbindingen in het algemeen.

Laserverbinden
Doelstelling van het onderzoek op het gebied van laserverbinden is de toepassingsmogelijkheid op drie gebieden te onderzoeken en de voorwaarden en lasparameters voor een aantal metalen en verbindingsvormen vast te leggen.
De drie gebieden zijn: folie- en gaaslassen, draadverbinden en lasersolderen.

Kwaliteit van microverbindingen
Doelstelling van dit onderdeel van het project is:
- Inventarisatie van de destructieve en niet-destructieve technieken voor het testen van microverbindingen;
- bepaling van goede destructieve en niet-destructieve technieken van de meest voorkomende microverbindingen;
- opstellen van praktische richtlijnen voor het gebruik van onderzoeksmethoden bij het testen van microverbindingen.

De aan het NIL-onderzoeksprogramma deelnemende bedrijven zijn: AGA-Gas, AMP, APA, Delft Instruments, ECN, Ericsson Radio Systems, Haas Laser, Hymec, IPL-TNO, KEMA, Medtronic, Metaalgaasweverij Dinxperlo, Micro Montage, Nedap, Océ-Nederland, Philips, Shell, Texas Instruments Holland BV, TCU en Weld Equip.

Nadere informatie betreffende voorwaarden voor deelname aan het project kan worden verstrekt door het NIL-bureau.
Contactpersonen: ir.G. Vaessen en mw.R. Schoegje.
Telefoon: 055-493644.

Mechatronica

Regelend voorspannen van tandwielen

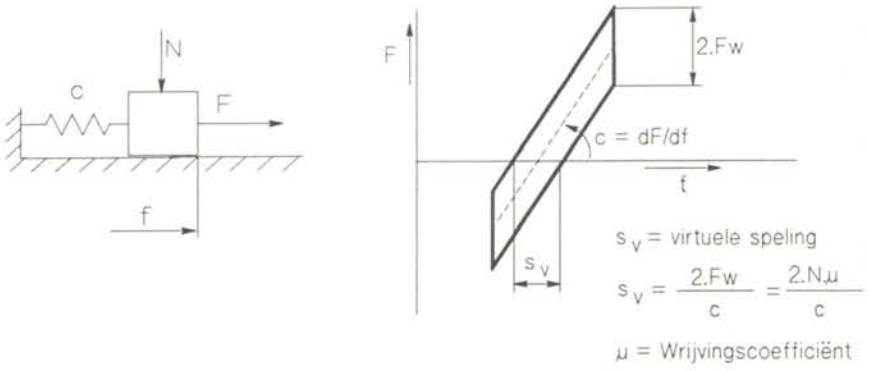
Ir. C.W. Kruijer

Servomotoren worden veelal toegepast in combinatie met een (tandwiel)overbrenging. Tandwielen vertonen maatafwijkingen ten gevolge van lineaire-, vorm- en plaatstoleranties en daarom is over het algemeen een zekere speling nodig om een tandwieloverbrenging te laten functioneren. Deze speling heeft een vermindering van de positioneringsnauwkeurigheid tot gevolg. Er zijn daarom manieren bedacht om de tandwielen tegen elkaar voor te spannen, zodat de speling niet wordt doorlopen. De (constante) voorspankracht moet zodanig van grootte zijn dat deze de momentane belasting steeds overheerst. Dit betekent steeds meer kracht dan eigenlijk nodig, met als nadeel dat de plaatsfout als gevolg van de door de wrijving opgebrachte hysteresis relatief groot is. Door nu de voorspankracht te regelen, kan deze worden aangepast aan de momentane behoefte. Bij grote motorkoppels is de voorspankracht hoog en bij lage motorkoppels is de voorspankracht laag. Het resultaat gemeten in een proefopstelling geeft een virtuele speling van de overbrenging die naar nul gaat.

De in dit artikel besproken methode doorbreekt het dilemma: direct-drive (geen speling, geen wrijving, doch duur) versus een motor van de markt in combinatie met een overbrenging (wrijving en speling, relatief goedkoop).

Inleiding

Servogestuurde mechanismen worden vaak toegepast om nauwkeurig en snel te bewegen en te positioneren. Om de beweging snel uit te voeren is het wenselijk de motor en de last op elkaar af te stemmen in termen van benodigd koppel of benodigde kracht en beoogde (hoek)versnelling. Dit betekent dat het gebruik van direct-drive systemen vraagt om een aanpassing van de motor aan de last, waardoor een speciale motor gemaakt moet worden die relatief duur is. Een andere manier om de motor af te stemmen op de last is het koppelen van de motor via een overbrenging aan de last. Voor de overbrenging worden vaak tandwielen gebruikt. Tandwielen vertonen maatafwijkingen ten gevolge van lineaire-, vorm- en plaatstoleranties. Er is daarom een zekere speling noodzakelijk om bij vast opgestelde assen de vormgesloten constructie die een tandwieloverbrenging is, te laten functioneren.



Figuur 1. Vereenvoudigd model (links) en de hysteresislus (rechts) van een tandwieloverbrenging met wrijving.

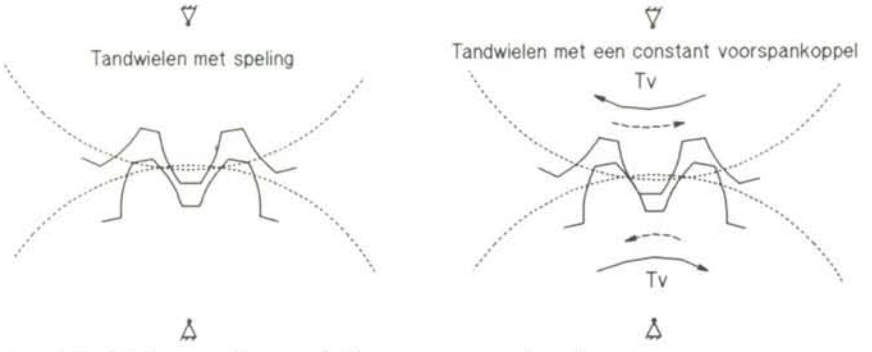
Het is mogelijk om de tandwieloverbrenging om te bouwen tot een krachtgesloten constructie door de speling met een (constante) kracht, bijvoorbeeld geleverd door een veer, weg te drukken. Hierdoor wordt de overbrenging nauwkeuriger. De grootte van de voorspankracht moet nu zodanig zijn dat bij de maximum belasting alsmede bij belastingomkeer de speling niet wordt doorlopen. Dit betekent een relatief grote voorspankracht, die altijd te groot is bij lage belastingen zoals voorkomen bij lage versnellingen, snelheden en bijna stilstand tijdens positioneren.

Bij tandwieloverbrengingen is sprake van glijden op de punten waar het tandcontact optreedt. Samen met een voorspankracht zorgt dit glijden op de contactpunten voor wrijving. Van een tandwieloverbrenging met wrijving geldt voor het statische gedrag het vereenvoudigde model volgens figuur 1.

De wrijving zorgt voor hysteresis respectievelijk virtuele speling. Door de virtuele speling ontstaat een plaatsonnauwkeurigheid die globaal gelijk is aan $s_v = 2.\mu.N/c$, waarin μ de wrijvingscoefficiënt, N de door te leiden belasting en c de stijfheid van de constructie is [1], zie figuur 1.

Zowel speling als wrijving hebben dus tot gevolg, dat de nauwkeurigheid beperkt wordt.

Door het aanpassen van de voorspankracht aan de momentane behoefte kan de wrijvingskracht worden beïnvloed, terwijl toch op ieder moment de speling wordt weggedrukt. Immers tijdens het positioneren is het doorgeleide koppel



Figuur 2. Tandwielen met speling en tandwielen met een voorspankoppel.

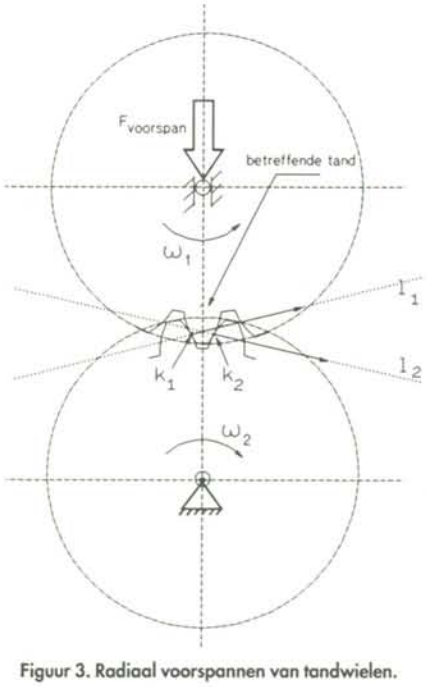
laag en kan ook de voorspankracht klein zijn, waardoor tevens de wrijving laag is en de positioneringsnauwkeurigheid dus hoog. Bij hoge motorkoppels tijdens het versnellen, moet de voorspankracht groot zijn, wil voorkomen worden dat de speling wordt doorlopen [2].

Voorspannen van tandwielen

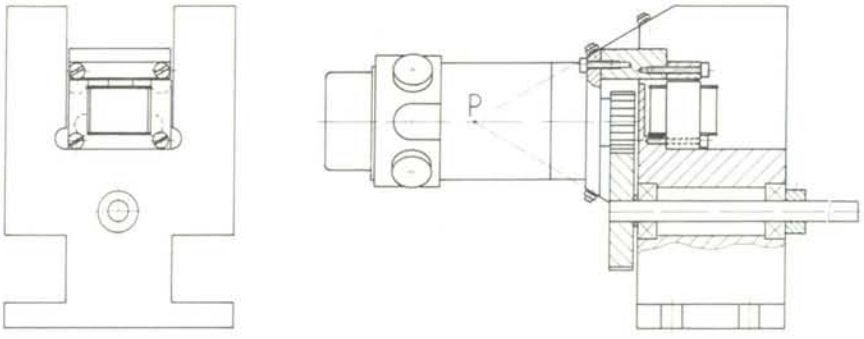
Onder het voorspannen van tandwielen wordt verstaan het aanbrengen van een voorspankracht, zodanig dat de speling niet wordt doorlopen. Over het algemeen wordt deze voorspankracht (of het voorspankoppel) in tangentiale richting aangebracht. De begrippen speling en voorspankracht worden in figuur 2 toegelicht.

Speling betekent ruimte in tangentiale (en dus ook in radiale) richting tussen de tanden. Onder een voorspankracht wordt een kracht of koppel verstaan, die zodanig van grootte is, dat één van beide flanken constant in aanraking is met een flank van het tegenloopwiel. Hierdoor wordt de speling niet doorlopen.

Naast het tangentiaal voorspannen is het ook mogelijk de tandwielen radiaal voor te spannen. Het komt neer op het "in elkaar drukken" van de tandwielen zoals in figuur 3 is afgebeeld.
Eén der wielen is in de richting van de verbindingslijn van het rotatiepunt van de beide wielen verplaatsbaar en uitwendig belast ($F_{voorspan}$).
Als nu de wielen draaien, glijden de contactpunten k_1 en k_2 over de respectievelijke ingrijplijnen l_1 en l_2. De tandflanken in beide punten behoren bij dezelfde twee basiscirkels. Beide aanraakpunten leggen dezelfde afrolcondities aan de beide wielen op. Hierdoor kan bij vast opgestelde wielen theoretisch constant aanraking in beide punten bestaan. In de praktijk hebben tandwielen toleranties zodat bij het in aanraking zijn van beide contactpunten de hartafstand van de wielen moet variëren.
Het eenvoudigst is het verplaatsbaar maken van de motoras, omdat deze het lichtste van de twee is. Verder maakt de aan te drijven as over het algemeen deel uit van de aangedreven machine.
Het grote voordeel van radiaal voorspannen is dat een kracht-actuator aan de vaste wereld kan worden bevestigd.



Figuur 3. Radiaal voorspannen van tandwielen.



Figuur 4. Proefopstelling

Proefopstelling

Om na te gaan hoe een overbrenging met radiaal voorgespannen tandwielen in de praktijk functioneert is een proefopstelling gebouwd. Het tandwiel op de motoras telt 23 tanden. Het tandwiel op de lastas heeft 46 tanden. De modulus van beide tandwielen is 1. Verder hebben de tandwielen een schuine vertanding (15°) om de tanden vloeiender in te laten komen. De proefopstelling is afgebeeld in figuur 4.

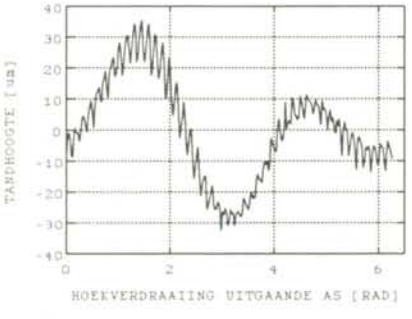
De motor is opgehangen in bladveren, die naar pool P wijzen. Door de plaats van de pool P, waaromheen de motor roteert, zo goed mogelijk te kiezen wordt de verplaatsing van de massa zo klein mogelijk gehouden. De hoekverandering om P, zie figuur, is verwaarloosbaar klein.

Tandfouten en tandkrachten

Omdat het rondsel de tandonregelmatigheden moet volgen, zijn deze bij de proefopstelling gemeten in radiale richting. De meting van de radiale verplaatsing van het rondsel, bij één omwenteling van de uitgaande as, toont figuur 5.
De laagfrequente variatie is te wijten aan de superpositie van de slingeringen van het wiel en het rondsel. De hoogfrequente fouten zijn de tandflankfouten. De laagfrequente fouten veroorzaken geen grote krachten. De hoogfrequente tandfouten, die 46 maal voorkomen per omwenteling van de uitgaande as, veroorzaken vanwege hun hoge frequentie voor grote krachten, indien vereist wordt dat het rondsel deze afwijkingen moet kunnen volgen.

Kracht-actuator ter realisatie van een regelbare voorspankracht

Als alle maximum krachten, werkend op de tandwielen van de proefopstelling worden opgeteld, dan moet de actuator een maximum kracht van 50 N kunnen leveren.
Verder moet de actuator een hoge krachtdichtheid hebben om de afmetingen beperkt te houden. Een EI-type kern-



Figuur 5. Radiale tandfouten bij één omwenteling van de uitgaande as.

magneet voldoet aan deze voorwaarde; figuur 6 toont een dergelijke magneet.
De kracht waarmee de elektromagneet het anker aantrekt is afhankelijk van de stroom door de spoel en de spleet tussen elektromagneet en anker. De verbanden zijn helaas sterk niet-lineair. Er geldt namelijk:

$$F_{act} = k_{act} \frac{I^2}{x^2}$$

waarin I de actuatorstroom en x de spleet is.
k_{act} is een functie van:
- het aantal wikkelingen van de spoel,
- oppervlakte van het kerndeel,
- magnetische permeabiliteit.

De niet-lineaire relatie tussen de kracht en de stroom kan elektronisch worden gecompenseerd, bijvoorbeeld met een analoge worteltrekker. Problemen geeft het niet-constant zijn van de kracht als functie van de luchtspleet x. Immers, tijdens het volgen van de radiale tandfouten volgens figuur 5, varieert ook de spleet x en dus de aantrekkingskracht tussen het E- en I-deel van de elektromagneet. Deze variatie van de aantrekkingskracht kan verminderd worden door de spleet zo groot mogelijk te maken, maar hiermee wordt ook de krachtdichtheid verlaagd. De keuze van het type EI-magneet (de grootte) en de grootte van de luchtspleet is dus een compromis tussen afmetingen van de magneet en variatie van kracht. De keuze is gevallen op een magneet die bij een kracht van 50 N een krachtrimpel van±2,5 N heeft, bij een spleetvariatie van ±0,05 mm op een luchtspleet van 1 mm nominaal.

Regeling van de voorspankracht

De voorspankracht die de actuator moet leveren wordt bepaald door:
— ten eerste het door te leiden koppel, en
— ten tweede, de te volgen tandfouten in radiale richting en tangentiale richting.

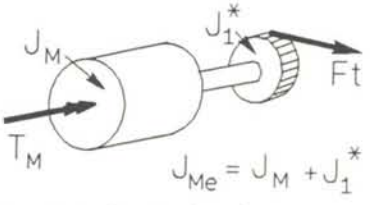
In plaats van de analyse van de tangentiale tandkrachten als functie van het door te leiden koppel, kan voor dit doel even goed de motorstroom worden gebruikt. De relatie tussen motorstroom en koppel wordt namelijk gegeven door:
$T_M = K_M \cdot I_M$, waarin K_M de motorconstante is.

Om te beginnen wordt gekeken naar het krachtenevenwicht op de rotor, zie figuur 7.
Dit krachtenevenwicht kan worden geschreven als:

$$T_M = J_{Me} \cdot \ddot{\varphi}_{Me} + F_t \cdot r$$

ofwel:

$$F_t = \frac{K_M \cdot I_M - J_{Me} \cdot \ddot{\varphi}_{Me}}{r}$$



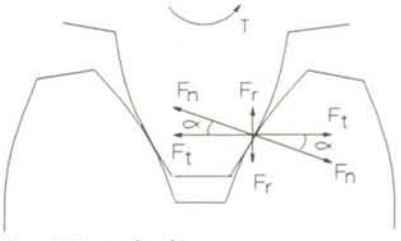
Figuur 7. Krachtevenwicht op de rotor.

De tangentiale tandkracht (F_t) kan dus worden bepaald, door de servomotorstroom en de rotorversnelling te meten.

Bij het bekend zijn van de tangentiale tandkracht is ook de radiale tandkracht bekend, want de relatie tussen de tangentiale- en radiale tandkracht is:
$F_r = F_t \cdot \tan(\alpha)$, waarin α = drukhoek = 20°; zie figuur 8.

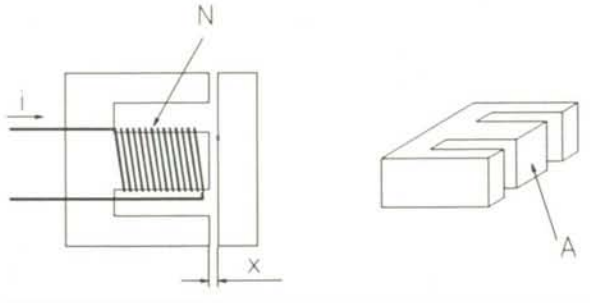
De radiale tandkracht wil de tandwielen uit elkaar drukken en daarom moet een voorspankracht worden gerealiseerd die in staat is de tandwielen op elkaar gedrukt te houden. Zou deze momentane kracht te klein worden, dan ontstaat er speling en dit gaat ten koste van de nauwkeurigheid van de overbrenging. De voorspankracht moet dus tenminste even groot zijn als de radiale momentane tandkrachtscomponent die een functie is van de door te leiden tandbelasting F_t.

Vervolgens kan door de tandfouten, bij bepaalde toerentallen, de servomotor in zijn bladveerophanging in resonantie worden gebracht. Dit resonantieverschijnsel is duidelijk waar te nemen, omdat bij die toerentallen de totale constructie extra veel lawaai maakt. Wordt bij die toerentallen de voorspankracht vergroot, dan neemt het lawaai vanaf een zekere voorspankracht significant af.
De regeling van de voorspankracht moet dus in staat zijn bij bepaalde toerentallen een extra grote voorspankracht te leveren.

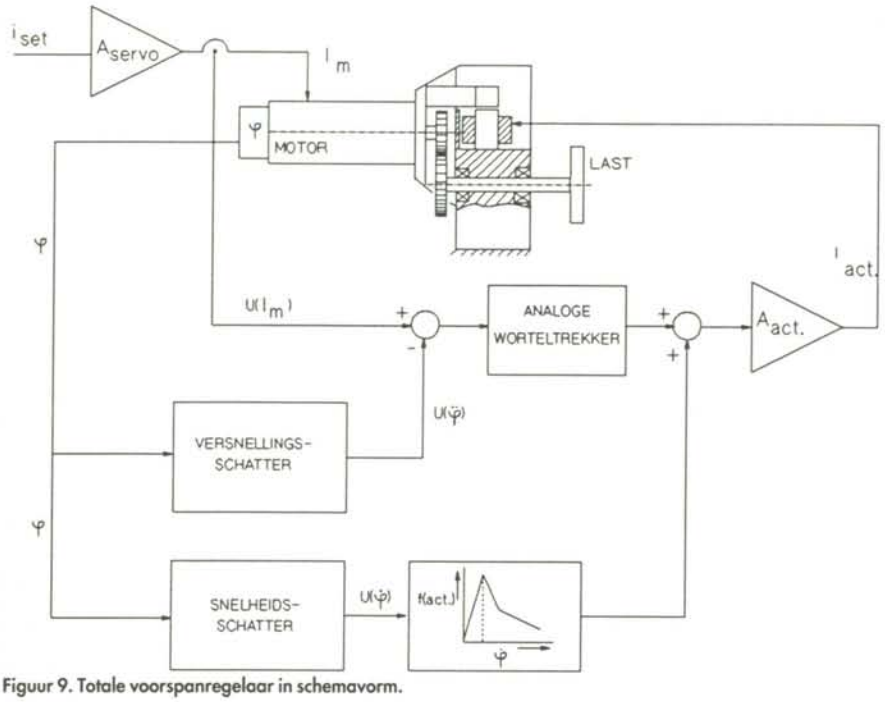


Figuur 8. Contactkrachten.

Samengevat is te zeggen dat de gewenste voorspankracht (F_t) niet alleen afhankelijk is van de belasting ($K_M \cdot I_M$), maar ook van de rotorversnelling ($J_M \cdot \ddot{\varphi}_{Me}$) en van de rotorsnelheid (φ_M). Het is niet nodig om de rotorsnelheid en de rotorversnelling te meten. Deze grootheden kunnen namelijk worden afgeleid van de gemeten motorpositie (φ_M). Er wordt dan gebruik gemaakt van een snelheid-"observer" respectievelijk versnellings-"observer". De functie van de observer is het berekenen van een toestand (snelheid of versnelling) met als ingang zowel de positieinformatie als de koppelinformatie.
In plaats van een volledige observerstructuur is het ook mogelijk slechts de positieinformatie te gebruiken. De ingang van de koppelmeting wordt dan weggelaten. Het blijkt dat op deze manier het volgende ontstaat:
— De versnellingsschatter wordt een gefilterde dubbele differentiator, ofwel de momentane positie wordt twee keer gedifferentieerd en van het resultaat wordt alleen het laagfrequente deel (tot een bandbreedte van bijvoorbeeld 80 Hz) doorgelaten.
— De snelheidsschatter wordt een gefilterde differentiator, waarin de momentane positie wordt gedifferen-



Figuur 6. EI-magneet.



Figuur 9. Totale voorspanregelaar in schemavorm.

tieerd en waarbij eveneens slechts het laagfrequente deel wordt doorgelaten.

Voor het gebruik in de proefopstelling voldoen de gefilterde differentiatoren uitstekend.

In figuur 9 staat schematisch getekend hoe de totale regelaar ontworpen is.

De optelpunten, de worteltrekker, de motorstroommeting en de eindversterker zijn uitgevoerd in analoge elektronica. De snelheids- en versnellingsschatting is gedaan door de gefilterde differentiatoren uit te voeren in software die de functies van het geregelde systeem volgens figuur 9 digitaal verzorgt.

De figuren 10 A en B zijn foto's van de proefopstelling en de elektronica van de actuatorsturing.

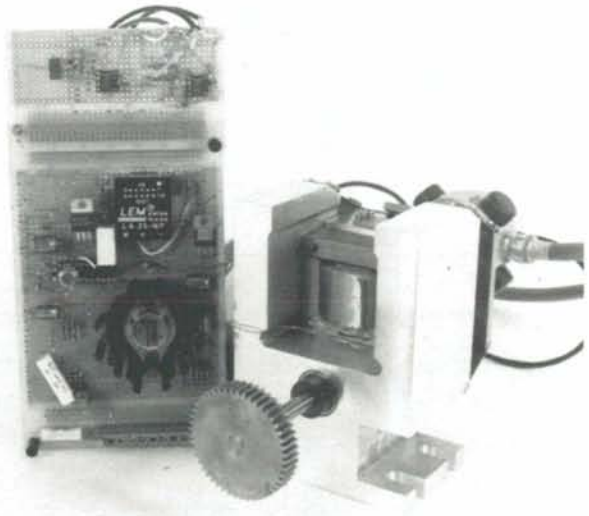
Resultaten

De bedoeling van het regelend voorspannen van tandwielen is een verbetering van de positioneringsnauwkeurigheid van het systeem. Eén manier om een verbetering van de positioneringsnauwkeurigheid aan te tonen is door een hysteresismeting van de uitgaande as te maken. Onder verbetering van de nauwkeurigheid wordt een vermindering van de virtuele speling verstaan.

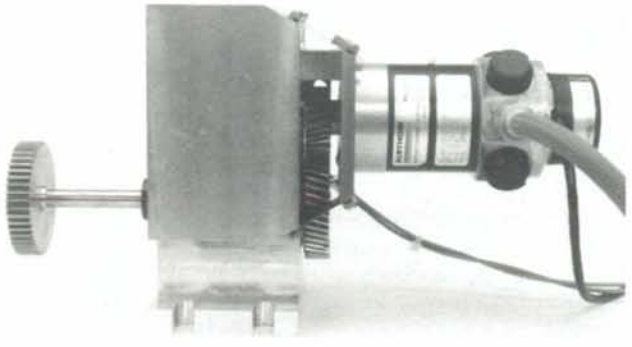
De hysteresismetingen zijn gemaakt door de uitgaande as (dus de lastas) door middel van een uitwendige belasting uit zijn nominale positie te brengen bij ingeschakelde servo. Deze belasting wordt gemeten met een krachtsensor. De verplaatsing die hierdoor ontstaat wordt gemeten met een verplaatsingssensor. De hysteresislus ontstaat door de verplaatsing op de *x*-as te zetten en het aangebrachte koppel op de *y*-as.

De hysteresismeting is vergeleken met een zelfde meting van:

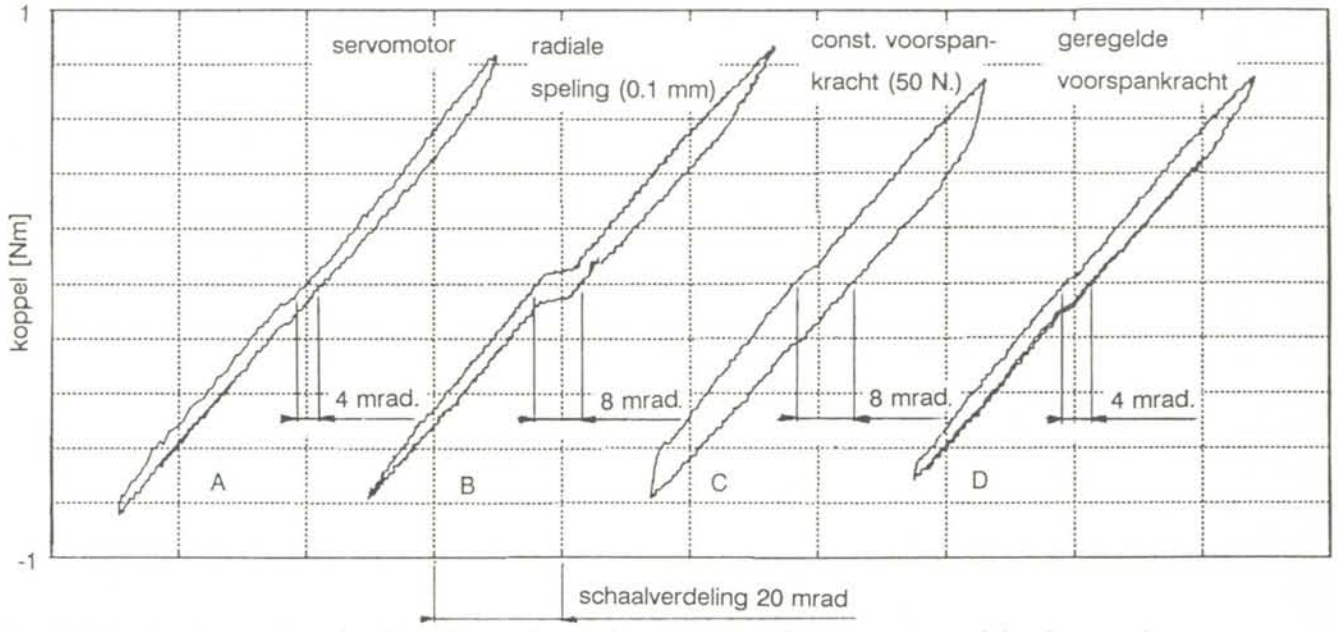
1. Een conventionele tandwieloverbrenging met een vaste hartafstand en een ingestelde speling in radiale richting van meer dan 70 µm, bijvoorbeeld 100 µm, zodat er geen vastlopen optreedt (de gebruikte tandwielen hebben immers samen een slag van 70 µm, zie figuur 5.
2. Een constante voorspankracht van 50 N zodat tijdens dynamisch bedrijf altijd voorspanning wordt gegarandeerd. De tegenkracht van 50 N



Figuur 10 A. Proefopstelling en eindversterkerkaart.



Figuur 10 B. Zijaanzicht van de proefopstelling.



Figuur 11. Hysteresismetingen van de proefopstelling. Achtereenvolgens: A: de servomotor; B: overbrenging met 0,1 mm radiale speling; C: overbrenging met constante voorspankracht van 50 N; D: overbrenging met geregelde voorspankracht.

treedt echter alleen op als het toerental van de opslingering van het motorhuis en zijn bladveren wordt bereikt.

Omdat we momenteel alleen interesse hebben voor de virtuele speling van de overbrenging moet de virtuele speling van de servomotor van alle andere metingen worden afgetrokken. Daartoe is de hysteresislus van de servomotor apart statisch gemeten en vervolgens, rekeninghoudend met de overbrengverhouding $i = {}^{1}/_{2}$, geschaald naar de uitgaande as. Het resultaat van alle hysteresismetingen is te vinden in figuur 11, met de grafieken A t/m D.

Grafiek A toont de hysteresislus van de servomotor, waaruit blijkt dat deze een virtuele speling van 4 mrad heeft. Grafiek B toont een gemeten plaatsonnauwkeurigheid van 8 mrad waarvan 4 mrad door de motorhysteresis wordt bijgedragen. Grafiek C laat zien dat de virtuele speling behoorlijk toeneemt als gevolg van de overmaat aan voorspankracht. Tot slot toont grafiek D een hysteresisgrafiek, waaruit duidelijk wordt hoe klein de bijdrage van de overbrenging in de statische plaatsfout nog is, als men D met A vergelijkt.

De verbetering van de positioneringsnauwkeurigheid kan direct worden gemeten aan de uitgaande as. Dit is te doen door bijvoorbeeld te kijken hoe de responsies van de proefopstelling zijn op een stapvormig ingangssignaal.

De responsie van de uitgang bij 50 N constante voorspankracht toont figuur 12 A. De geregelde voorspankracht levert een stapresponsie van de uitgang volgens figuur 12 B.

De waarde die de uitgaande as na verloop van tijd zou moeten bereiken (het setpoint), is in beide figuren op 0 rad gesteld.

Conclusie

Figuur 12 laat zien dat met een geregelde voorspankracht een hogere positioneringsnauwkeurigheid wordt verkregen dan in de situatie met een constante voorspankracht van 50 N. De verbetering is ongeveer een factor 6, namelijk van 0,6 mrad (bij 50 N contante voorspankracht) naar circa 0,1 mrad (bij geregelde voorspankracht).

Het zal duidelijk zijn, dat in de situatie met speling er een positioneringsonnauwkeurigheid van 8 mrad blijft. De speling tussen motoras en lastas blijft dan immers gewoon bestaan.

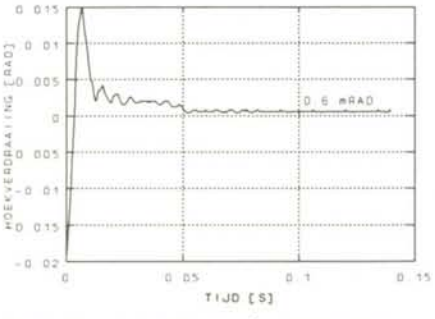
Ten opzichte van de situatie met speling is er dus een enorme verbetering opgetreden, namelijk van 4 mrad naar 0,1 mrad.

Ir C.W. Kruijer is werkzaam bij het Philips Centre for Manufacturing Technology; Postbus 218, 5600 MD Eindhoven.

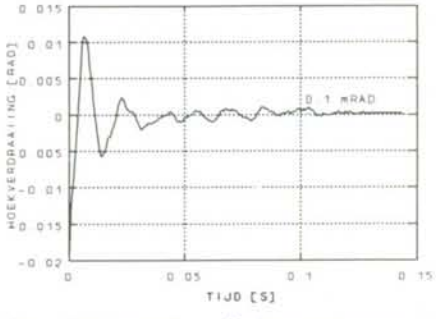
Literatuur

[1] Koster, prof. dr. ir. M.P.
Constructieprincipes: voor het nauwkeurig bewegen en positioneren, college dictaat 113136, Universiteit Twente, 1991

[2] Kruijer, ir. C.W.
Geregeld voorspannen van tandwielen
Afstudeerverslag Universiteit Twente, Mechatronisch Research Centrum Twente, 1992



Figuur 12 A. Responsie van de uitgang met een constante voorspankracht van 50 N.



Figuur 12 B. Responsie van de uitgang met een geregelde voorspankracht.

Prijs voor de beste uitvinding

Op 11 juni j.l. is voor de derde maal de IDNL-jaarprijs uitgereikt voor de beste uitvinding. Voor deze prijs waren een tiental uitvindingen genomineerd die waren geselecteerd uit de ca. 1000 uitvindingen die jaarlijks worden aangemeld bij het Specialistisch Innovatie Centrum voor Uitvindingen ID-NL te Rotterdam.
De winnende vinding was een beveiligingsmethode door middel van holografie. De prijs, bestaande uit een oorkonde en een cheque van f 15.000 werd uitgereikt door ir P. van Duursen, president-directeur Shell-Nederland BV aan de gelukkige heer R. Voerman van de D.A.H.T. Foundation.

De jaarprijs is ingesteld door het Specialistisch Innovatie Centrum voor Uitvindingen ID-NL teneinde het imago rond uitvindingen te verbeteren.

Figuur 1. Uitreiking van de ID-NL jaarprijs, oorkonde en een cheque van f 15.000, door ir P. van Duursen, president-directeur Shell Nederland BV (links) aan de heer R. Voerman, voor zijn uitvinding van een systeem voor beveiliging door middel van holografie.

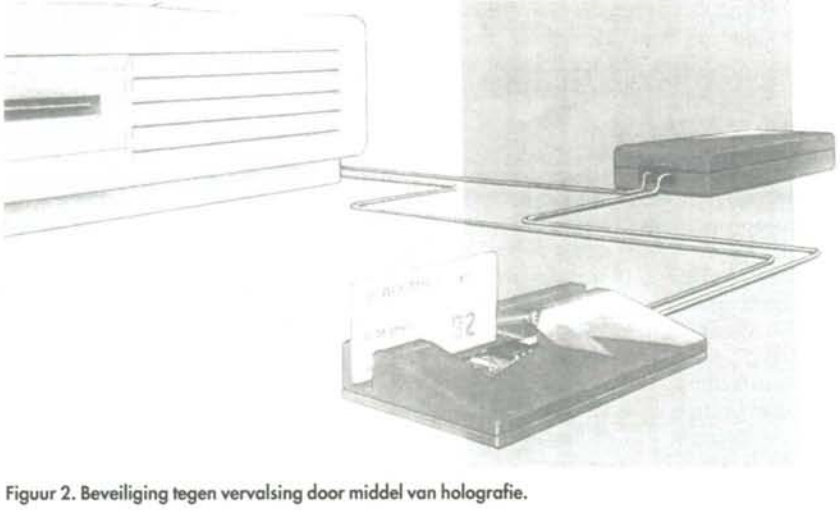
Beveiliging met hologrammen

Hologrammen, zoals die op bankpasjes en creditcards zijn aangebracht, zijn moeilijk na te maken en geven daardoor een zekere waarborg voor de echtheid van het document waarop zij zijn aangebracht. Zeker nu de kopieer- en druktechnologie steeds geavanceerder worden en een steeds betere kwaliteit opleveren wordt het steeds eenvoudiger om belangrijke documenten te vervalsen, zonder dat de vervalser over veel kennis en vakmanschap beschikt.
Voerman bedacht dat het mogelijk moet zijn in de afbeeldingen van het hologram gecodeerde informatie toe te voegen, zodat een unieke identificatie mogelijk wordt. Tevens bedacht hij een methode om de in de hologrammen aangebrachte informatie op relatief eenvoudige wijze automatisch te kunnen uitlezen.
Het basisidee is simpel, maar uiterst doeltreffend. Wanneer we het hologram op ons bankpasje bekijken, dan worden de in het hologram aangebrachte verschillende afbeeldingen zichtbaar door het hologram iets te kantelen. Daardoor verandert de hoek waarmee we het hologram zien en daarmee de hoek van het door het hologram gereflecteerde licht ten opzichte van ons oog. Het omgekeerde blijkt ook mogelijk, door de invalshoek van een gerichte bundel licht op het hologram te veranderen wisselt de voor ons oog zichtbare afbeelding.
Op dit principe berust het door Voerman bedachte uitleesapparaat. De verschillende afbeeldingen in het hologram worden uitgelezen met een CCD-camera door het hologram afwisselend onder enkele vaste hoeken te belichten. Door een computer wordt door middel van vergelijken van elke afbeelding met een standaard afbeelding, die in de computer zit opgeslagen, de gecodeerde informatie zichtbaar gemaakt. Met het systeem, zie figuur 2, is een snelle en eenvoudige manier van controleren op echtheid mogelijk geworden, nadat het gecodeerde hologram eenmaal is aangebracht op een waardevol artikel. De toepassing is niet alleen van belang voor bankpasjes, maar kan variëren van een paspoort tot aan een computerdisc.
Voor de verdere ontwikkeling van deze vinding is een samenwerkingsovereenkomst aangegaan met Joh. Enschedé BV Security Cards and Documents en ABN-AMRO.

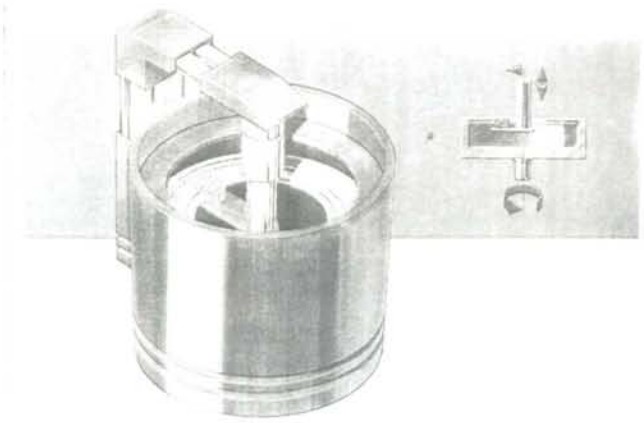
Onder de tien genomineerde vindingen waren er nog een drietal apparaten op het terrein van de fijnmechanische techniek.

Zaagmicrotoom

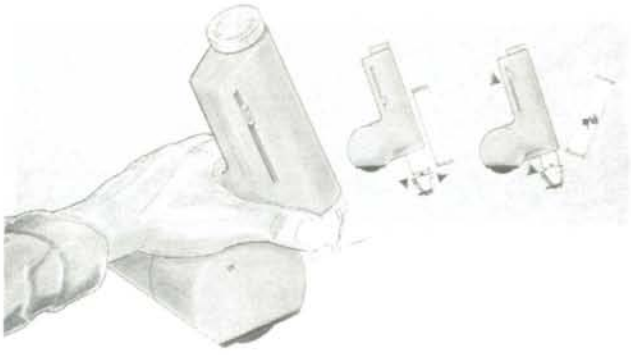
Om het gedrag van levend weefsel en cellen microscopisch te kunnen bekijken en te evalueren zijn zeer dunne plakjes bot van het grensvlak van het botimplan-



Figuur 2. Beveiliging tegen vervalsing door middel van holografie.



Figuur 3. Zaagmicrotoom zoals deze door de Rijksuniversiteit Leiden is bedacht voor het zagen van zeer dunne coupes van het grensvlak van botimplantaten.



Figuur 4. Chemisch lasapparaat voor het dichtlassen van de naden tussen de banen van novilon vloerbedekking.

taat nodig met een dikte 5 van tot 15 micrometer. De huidige wijze van maken van een plakje gebeurt via zagen en polijsten, hetgeen per implantaat ongeveer een uur vergt. Door het polijsten treedt destructie van het grensgebied op.
De zaagmicrotoom, zie figuur 3, die nog niet bestaat, maar door de Rijksuniversiteit Leiden is bedacht, moet een snel en handig hulpmiddel worden bij het botimplantatenonderzoek.
Met de nieuwe zaagmicrotoom kan binnen vijf minuten een plakje met een dikte kleiner dan 10 micrometer gezaagd worden, zonder dat destructie van het grensgebied optreedt. Als voordelen boven de huidige methode worden genoemd: geen specifiek vakmanschap vereist, bevriezen en polijsten van het bot is overbodig, dunnere coupes van een betere kwaliteit en de mogelijkheid voor een betere microscopische beoordeling.
De coupes worden gezaagd met een binnengatzaag, bestaande uit een dunne ronde metalen membraan met een concentrisch gat. De rand van het gat van een diamantcoating voorzien.

Chemisch lasapparaat

Bij het leggen van Novilon vloerbedekking ontstaan er naden tussen de verschillende banen die moeten worden dichtgelast. Momenteel wordt het lassen met de hand gedaan door een chemisch middel (lasvloeistof) in de naad aan te brengen dat beide delen met elkaar verbindt. Deze methode is erg arbeidsintensief met een grote kans op fouten. Daardoor is de kwaliteit van de las in hoge mate afhankelijk van het vakmanschap van de legger. De lasvloeistof is moeilijk te doseren en regelmatig is er sprake van een overdosis, wat leidt tot storende visuele effecten.

Met het ontwikkelde lasapparaat, zie figuur 3, wordt kan op eenvoudige wijze een kwalitatief uitstekende lasnaad worden aangebracht. Door de instelknop te verdraaien kan de hoeveelheid lasvloeistof worden gedoseerd, aangepast aan de breedte van de naad en de dikte van het te lassen materiaal.
Door de toepassing van disposable capsules met lasvloeistof is het apparaat onderhoudsvrij en wordt de emissie van oplosmiddelen tot een minimum beperkt.
Het apparaat is ontwikkeld door Forbo-Novilon produktiebedrijven BV. Een marktverkenning is gaande naar eventuele licentienemers.

Draagbare seismische bron

Aan de Rijksuniversiteit Utrecht is een draagbaar apparaat ontwikkeld om op veilige wijze en tegen geringe kosten kleine explosies in de bodem te veroorzaken ten behoeve van seismisch onderzoek. De opgewekte trillingen worden door de bodemlagen gereflecteerd en opgevangen met geofoons. Dankzij de hoger dan gebruikelijke frequentie van de trillingen wordt meer gedetailleerde informatie verkregen over de bodemstructuur.

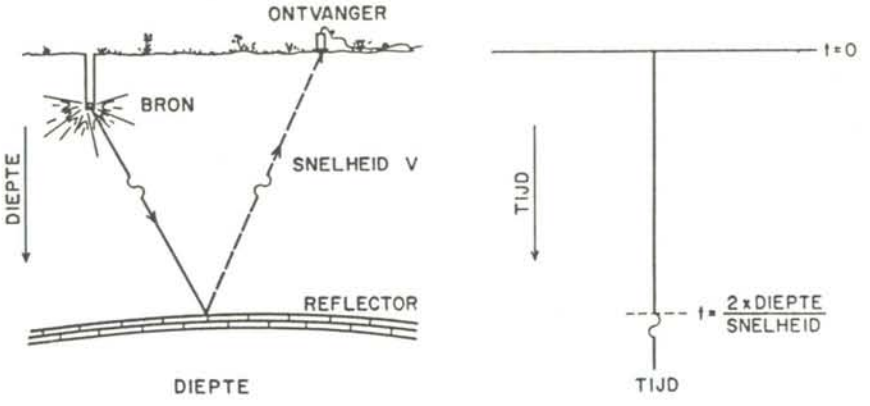
Seismisch bodemonderzoek

Voor diverse doeleinden — zoals funderingen van gebouwen, bruggen, wegen en de aanleg van dijken, drinkwaterbekkens, havens of stuwdammen — is men geïnteresseerd in de structuur en samenstelling van de ondergrond tot een diepte van 300 m.
Bekende technieken zijn het uitvoeren van boringen voor het verzamelen van grondmonsters en druksonderingen waarbij een lange staaf de bodem ingeperst wordt en de benodigde perskracht een maat is voor het draagvermogen van de diverse bodemlagen. Beide technieken geven alleen informatie over het gemeten punt, zodat men op zeer veel punten zou moeten meten om een betrouwbaar beeld van de soms grillig verlopende bodemlagen te krijgen. De diepte wordt om financiële redenen vaak beperkt tot 40 m.
Met seismische techniek verkrijgt men op eenvoudige en snelle wijze bodemdoorsneden over grote aaneengesloten trajecten tot enkele honderden meters onder het oppervlak, zie figuur 5.

Schotpijp

Bij de traditionele exploratieseismiek naar bodemschatten zoals aardgas of olie, worden trillingen met een frequentie van 10 - 100 Hz opgewekt door dynamiet in een geboord gat tot ontploffing te brengen. Voor een meer gedetailleerd seismisch beeld van de structuur van de ondergrond is echter een trillingsbron noodzakelijk die trillingen met een frequentie tussen 50 - 1000 Hz opwekt. Hoe hoger de frequentie van het gemeten signaal, des te fijner de opgevangen informatie van de bodemstructuur. Nu blijkt de frequentie van de trillingen hoger naarmate een kleinere lading tot ontploffing wordt gebracht.
Het idee om geweerpatronen te gebruiken als energiebron voor seismisch onderzoek is niet nieuw. Echter, de toegepaste methoden waren primitief en gevaarlijk.

Het ontwerp van de bron heeft in een viertal fasen plaatsgevonden, waarbij van elk ontwerp een prototype is gemaakt dat beproefd is in het veld. Na elke veldwerkperiode volgde een evaluatie en werd vanuit de opgedane nieuwe gezichtspunten een verbeterd ontwerp gemaakt.
De eerste schotpijp werkte zuiver mechanisch, maar door de verhoogde veiligheidseisen en de wens om de bron ook op diverse meters onder het aardoppervlak te kunnen ontsteken bleek een elektronisch besturingssysteem onontbeerlijk. Het uiteindelijke ontwerp, zie figuur 6, bestaat uit een pijp met aan het uiteinde een houder voor de patroon. De patroon wordt ontstoken door een slagpin die door een elektrische spoel wordt geactiveerd. Omdat een korte stroomstoot reeds voldoende is, kan volstaan worden met een aantal pennlight batterijen voor de voeding.



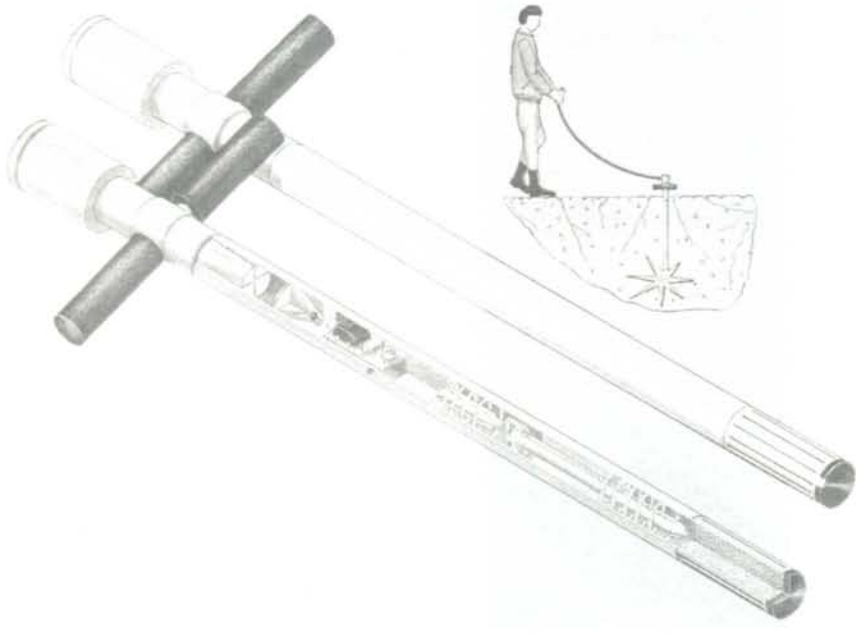
Figuur 5. Basisprincipe van reflectieseismiek.
Het principe van seismisch onderzoek berust op het opwekken van trillingen die zich in de aarde voortplanten. Bij de grensvlakken van de verschillende aardlagen worden ze gedeeltelijk doorgelaten, de rest wordt teruggekaatst en aan het oppervlak met geofoons gemeten. Als de snelheden waarmee de trillingen zich door de verschillende aardlagen voortplanten bekend zijn, evenals de aankomsttijden van de weerkaatste (gereflecteerde) trillingen, dan kan de diepte van de verschillende grensvlakken berekend worden. Na computerverwerking van de signalen worden de bodemdoorsneden op een plot zichtbaar gemaakt.

Veiligheid

Om te voorkomen dat de patroon onbedoeld wordt afgeschoten wordt de slagpin mechanisch vergrendeld. Bij het afvuren wordt eerst de mechanische vergrendeling door een tweede spoel opgeheven, waarna meteen de eerste spoel wordt bekrachtigd die de slagpin activeert. De timing is in verband met het gewenste geringe energieverbruik kritisch en wordt door de elektronica verzorgd.
In de schotpijp is tevens een sensor aangebracht die detecteert of de pijp wel in de verticale gebruikstand staat. Is dit niet het geval, dan wordt het stroomcircuit verbroken, zodat afvuren niet mogelijk is. Voor de detectie van de afwijking van de verticale stand is een eenvoudige maar zeer robuuste sensor gemaakt, die de terugslag na het afvuren kan weerstaan.

Met OYO-Center of Applied Geosciences te Nieuwegein, dat ook kan adviseren over de toe te passen software, wordt een licentieovereenkomst aangegaan voor het op de markt brengen van de schotpijp.

Voor meer informatie zie Mikroniek 31(1991)4, pag. 93 -97 of neem contact op met ID-NL, tel.: 010-413633, mevr. S. Knape of mevr. C.M. Overstegen.



Figuur 6. Draagbare seismische bron (schotpijp) voor het opwekken van "hoogfrequente" trillingen ten behoeve van seismisch onderzoek van de bodemstructuur op geringe diepte.

Produktinfo

Industriële modulaire montagesystemen.

Voor het snel bouwen van een
- test-, machine- of meetopstelling,
- beveiligingsscherm, scheidingswand of omkasting,
- machinefreem of werkbank, portaalconstructie met of zonder lineaire x-, y-, en z-beweging, enz.

bieden de beide SKF montagesystemen XC en XD u daartoe de gelegenheid.
Het is een zeer flexibel montagesysteem van geïntegreerde componenten dat gemakkelijk, goedkoop en snel kan worden samengebouwd, veranderd en indien nodig gedemonteerd.
De montage van de lichte geanodiseerde aluminiumprofielen, bevestigingscomponenten (deels uit kunststof) en lineaire geleidingen geschiedt uitsluitend met eenvoudig handgereedschap. Boren, lassen en lakken is niet nodig.
De constructies zijn geschikt voor permanente, tijdelijke en prototype-opstellingen. De componenten zijn steeds opnieuw bruikbaar. Wijzigingen en veranderingen tijdens of na de bouw zijn zonder demontage met behulp van de "klikmoer" mogelijk.
De SKF montagesystemen hebben een zeer goede prijs/kwaliteitsverhouding en zijn snel uit voorraad leverbaar op maat- of standaardlengte, als bouwpakket of compleet gemonteerd volgens uw schets of tekening.

Voor uitvoerige info:
SKF Multitec B.V.
Produktgroep Industrial Products
Zekeringstraat 36
Postbus 94, 1000 AB Amsterdam
Telefoon: 020 - 6 811
Fax : 020 - 6 811 826.

Elektronische draaimomentsleutel.

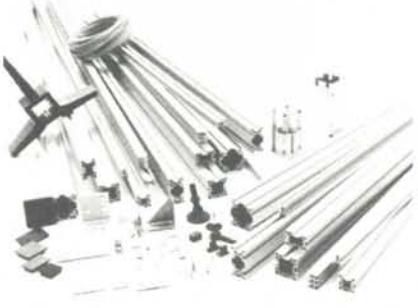
Staiger Mohilo heeft een handzaam systeem ontwikkeld waarmee de met een draaimomentsleutel gevonden meetwaarden automatisch kunnen worden geregistreerd en gecontroleerd op diverse parameters. De meetmodule - met een geheugencapaciteit van 2000 meetwaarden - wordt op het vierkant (1/2") van een universele sleutel geplaatst. De module staat via een infrarood-signaal in verbinding met de bijbehorende programmeer-/verwerkingseenheid. Hiermee kunnen 10 meetintervallen voor 10 meetmodules worden geprogrammeerd. Een controlelampje geeft aan of er in een geprogrammeerd interval wordt gemeten; bij overschrijding volgt een akoestisch signaal.
Het MSK-systeem, zoals het wordt aangeduid, werkt op basis van rekstrookmeting met een volle brug van Wheatstone en meet draaimomenten tussen 10 ... 200 Nm met een nauwkeurigheid van 1%. Registratie van de meetwaarden geschiedt door middel van een opsteekmeetwaardeprinter of -via de seriële uitgang - op een PC.
Het systeem is universeel inzetbaar voor kwaliteitscontrole van schroefverbindingen, bij montage en produktie, bij servicewerkzaamheden en voor het kalibreren van andere meetinstrumenten.

Voor uitvoerige info:
Geveke Werktuigbouw B.V.
Postbus 820
1000 AV Amsterdam
Telefoon: 020 - 5 829 111.

Grijper met spreidvingers voor het hanteren van kwetsbare onderdelen

Het Duitse bedrijf Sommer heeft een pneumatische grijper met spreidvingers geïntroduceerd voor het hanteren van kwetsbare onderdelen en produkten zoals fragiel glaswerk, kunststofonderdelen, CD's en tubes; vanzelfsprekend zijn ook tal van andere delen denkbaar. Aangetekend wordt daarbij dat met behulp van deze grijper ook allerlei onregelmatig gevormde delen probleemloos kunnen worden opgenomen en vastgehouden.
Bij deze grijper wordt de persluchtdruk bij bekrachtiging via een venturi in vacuüm omgezet. Daardoor trekken de rubberen spreidvingers samen en wordt een klemmende beweging gerealiseerd. Als grijpbereik wordt door Sommer 30 mm tot 95 mm opgegeven. Een zekere voorspanning zorgt ervoor dat de vingers bij het afvallen van de luchtdruk weer in hun uitgangspositie terugkomen. Dit laatste biedt overigens in voorkomende gevallen ook een andere mogelijkheid: door de voorspanning kunnen namelijk lichte onderdelen op hun binnenzijde worden gegrepen.
De grijper kan in principe op iedere robot en alle mogelijke handlingapparatuur worden gebruikt. Voor de bevestiging is de grijper voorzien van vier M6 tapgaten.

Voor uitvoerige info:
Technisch Bureau Meininger B.V.
Postbus 743
2280 AS Rijswijk
Telefoon: 070 - 3 401 780
Fax: 070 - 3 401 602.



WIE ZORGT VOOR WATER ALS ONZE KLANTEN DAT NODIG HEBBEN?

In het verzorgingsgebied van de NV Duinwaterbedrijf Zuid-Holland wonen een miljoen mensen. Dagelijks draaien ze aan de kraan om te drinken, te koken, te wassen of om in bad te gaan. En elke keer krijgen ze schoon fris water. Iedereen vindt het de gewoonste zaak van de wereld. Maar dat wil nog niet zeggen dat de drinkwatervoorziening vanzelf gaat.

Ruim 560 medewerkers zijn er dag en nacht mee bezig. Met de inname van water bijvoorbeeld, de zuivering ervan, de distributie en het onderhoud van complexe installaties. En dat niet alleen. Het Duinwaterbedrijf Zuid-Holland is eveneens belast met het beheer en het onderhoud van één van de belangrijkste duingebieden van Nederland: het ca. 2.000 ha grote Meijendel, gelegen tussen Scheveningen en Wassenaar.

Voor de Meterherstelwerkplaats zijn wij op zoek naar een enthousiaste kandidaat voor de functie van:

Groepsleider meterherstelwerkplaats m/v

vacaturenummer 92.08.03

Algemene informatie:

De Meterherstelwerkplaats van de afdeling Werkplaatsen heeft de taak het technisch mogelijk te maken dat het waterverbruik correct wordt gemeten, onder andere door het reviseren van watermeters en dat het instrumentarium van het bedrijf optimaal wordt onderhouden. Daarnaast ontwikkelt, construeert en vervaardigt zij voor het bedrijf en ook voor andere waterleidingbedrijven of VEWIN-werkgroepen,- apparatuur zoals ijkinstallaties, apparatuur voor watermeterrevisie en instrumenten voor wetenschappelijk onderzoek.

Taak:

- het geven van leiding aan 6 tot 8 meterherstellers/instrumentmakers;
- het vervaardigen van fijnmechanische onderdelen t.b.v. vloeistofmeetapparatuur;
- het vervaardigen van specialistische apparatuur;
- het calculeren van de kostprijs van meterreparaties;
- het bijhouden van de onderdelenvoorraad.

Vereisten:

- diploma B van de Leidse instrumentmakersschool;
- enige kennis danwel affiniteit met elektronica c.q. meet- en regeltechniek;
- aantoonbare ervaring in het vakgebied;
- ervaring met leidinggeven is een pré.

Salaris:

Afhankelijk van leeftijd en ervaring maximaal f 4.425,- bruto per maand.

Informatie:

Voor nadere inlichtingen over deze vacature kunt u zich wenden tot de afdelingschef Werkplaatsen, de heer G. Stemmer, tel. 070-3843195 of de personeels- en organisatiefunctionaris, de heer L. Hattink, tel. 070-3843229.
Op onze werknemers is de CAO van de Werkgeversvereniging Waterleidingbedrijven, de Algemeen Burgerlijke Pensioenwet en de Ziektekostenvoorziening Ambtenaren Zuid-Holland (IZA) van toepassing.

Sollicitatie:

U kunt uw schriftelijke sollicitatie met vermelding van het vacaturenummer, uiterlijk twee weken na de verschijningsdatum van deze advertentie, richten aan: NV Duinwaterbedrijf Zuid-Holland, hoofdafdeling P & O, Postbus 710, 2501 CS 's-Gravenhage.

NV Duinwaterbedrijf Zuid-Holland

VOOR ZUIVER WATER UIT DE KRAAN

Uit welke hoek U het ook bekijkt: zo gemakkelijk was het nog nooit, zo'n grote nauwkeurigheid te bereiken.

Nauwkeurigheid in de hoekmeting stelt hoge eisen aan de lagering van het meettoestel en de koppeling aan het meetobjekt. De RON-reeks van HEIDENHAIN maakt deze zaken wel erg eenvoudig. Het geheim is een gepatenteerde geïntegreerde stator koppeling: U schuift het hoekmeetsysteem direct op de as en koppelt deze daar star aan vast. Klaar. Meetfouten zoals deze bij traditionele koppelingen optreden, worden zoveel mogelijk vermeden. Uitlijnfouten, excentriciteit of hoekafwijkingen tussen de assen worden op dezelfde manier gecompenseerd als axiale bewegingen. Heel eenvoudig.

HEIDENHAIN NEDERLAND B.V.
Landjuweel 20 - 3905 PG Veenendaal
Postbus 107 - 3900 AC Veenendaal
☎ (08385) 40300 FAX (08385) 17287

HEIDENHAIN