jaargang 32, nummer 2

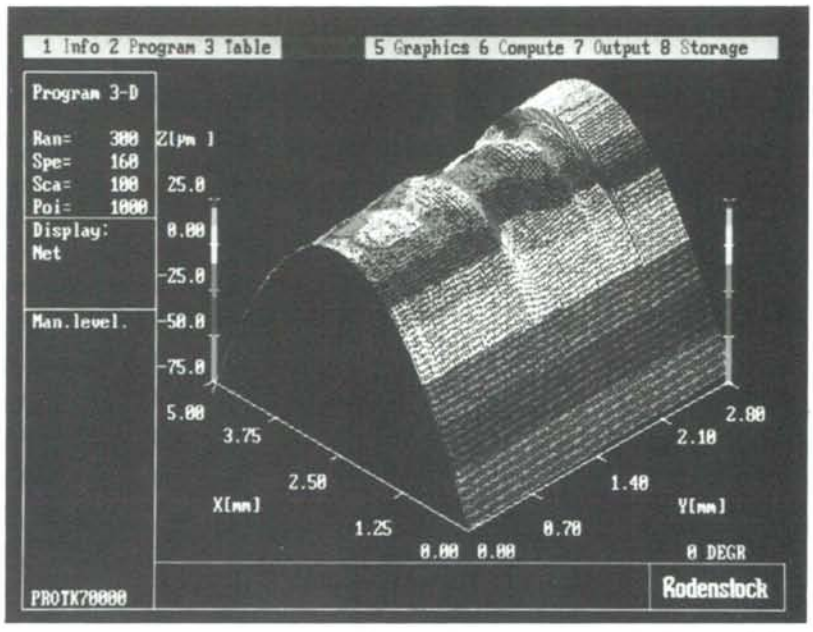
Mikroniek

NVFT

VAKBLAD VOOR FIJNMECHANISCHE TECHNIEK

Verennesten – Geïntegreerde optica
Matrijzen voor kunststofopiek – Robothand
Replicatechniek – Autofocussensor

RODENSTOCK's **grensverleggende meettechniek stelt de nieuwe normen**



slijtagemeting aan een magnetische recorderkop

Het nieuwe optische oppervlaktemeetsysteem RM 600 3-D/C van **RODENSTOCK** maakt snelle en zeer nauwkeurige topografiemetingen.

- kwaliteit lakoppervlakten
- slijtage vlakken
- dikke films/SMD technologie
- vormafwijkingen in het microngebied
- oppervlakteruwheid

Informatie over de toepassingen en de veelzijdigheid van dit revolutionaire meetsysteem verkrijgt u bij:

Tel.: 04959 - 3300
Fax: 04959 - 1153

APPLIED **LASER** TECHNOLOGY

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

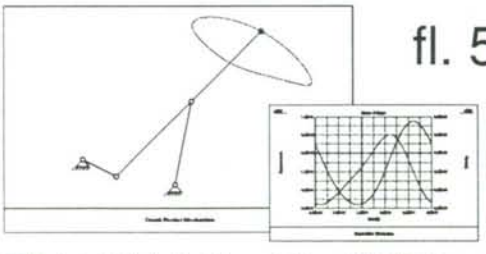
PEMAMO Precisie Diamant Hoondoorns
vanaf 0,6 mm t/m 80 mm voor doorgaande gaten
vanaf 2,5 mm t/m 80 mm voor blinde gaten
vanaf 5,0 t/m 70 mm voor konische gaten

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

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

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

JANSSEN PRECISION ENGINEERING

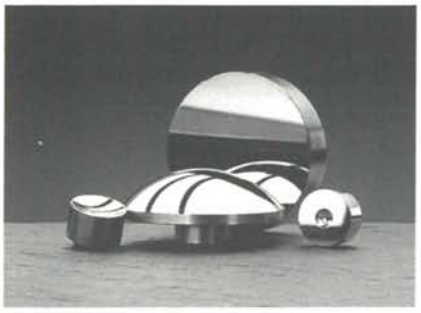
FIJNMECHANICA, MECHANISATIE, MEETOPSTELLINGEN

ENGINEERING, PROJECTMANAGEMENT, STUDIE

OP DE LOCHT 28
6241 NS BUNDE NL
TEL: 043-650180 FAX: 043-650184

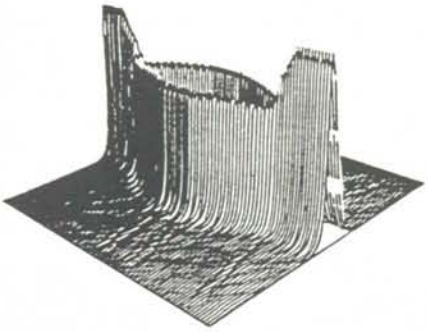
In dit nummer

Zie pagina 42



Zie pagina 46

Zie pagina 53



Zie pagina 56

33 **Editorial**
H. Rutten

34 **Verenigingsnieuws, feiten, data, mensen**

39 **Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren (5)**
M.P. Koster, P.C.J.N. Rosielle, E.A.G. Reker

42 **Replicatechniek voor asferische oppervlakken**
W. Neumann

46 **Matrijzen voor de vervaardiging van kunststofoptiek**
J.L. Broers

49 **De autofocussensor**
G.J.J.M. Dalessi

53 **Gevoelige robothand**
Chr. Schwartzinger e.a.

56 **Geïntegreerde optica voor sensoren en actuatoren**
D. Blank, A. Driessen

61 **Produktinfo**

Bij de foto van de voorpagina:

Inzetstukken voor matrijzen voor de fabricage van lenzen met replicatechniek.
Foto Polgron, Groningen.

De NVFT

Leden van de NVFT zijn technici die op professionele en bedrijfsmatige wijze hoogwaardige apparatuur ontwerpen, ontwikkelen en fabriceren, zowel consumenten- als kapitaalgoederen. Zij zijn van alle opleidingsniveaus en hebben gemeen dat ze gefascineerd zijn door de fijnmechanische techniek, waarbij door integratie van technieken als mechanica, optica, elektronica en glastechniek, zeer geavanceerde produkten ontwikkeld worden. Specifieke kennis uit het vakgebied wordt uitgedragen door leden die werkzaam zijn in het technisch onderwijs.

- De NVFT informeert haar leden over ontwikkelingen in het vakgebied door regionale bijeenkomsten, cursussen, symposia en publikaties in Mikroniek.
- Een speciale service is de **Mikropool**. Door onderlinge dienstverlening heeft men de beschikking over bijzondere, moeilijk in kleine hoeveelheden verkrijgbare materialen en specialistische bewerkings-technologieën.
- NVFT-leden krijgen korting op de door de NVFT georganiseerde activiteiten, evenals op de activiteiten van andere verenigingen waarmee de NVFT een samenwerkingsovereenkomst heeft.
- De NVFT kent bedrijfs- en persoonlijke lidmaatschappen. Voor studenten en gepensioneerden geldt een bijzonder tarief.

Inlichtingen:
Secretariaat NVFT, Postbus 6367,
5600 HJ Eindhoven,
tel.: 040 – 473659 fax.: 040 – 460645.

Benelux Dienstenoverzicht

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

GROOT IN HET KLEINE

Techni-Show
Bernhardhal
stand 4034 G

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

Mikroniek

Orgaan van de

NVFT

vereniging voor
Fijnmechanische Techniek

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.

Editorial

Replicatechniek

In deze aflevering van Mikroniek wordt in twee artikelen aandacht besteed aan de replicatechniek. Met deze techniek is het mogelijk uiterst nauwkeurig dunne kunststoffilms aan te brengen op een glazen substraat. Het doel hiervan is om vlakke glasplaten of gewone sferische (bolvormige) lenzen om te vormen tot een optisch element dat zich geheel anders gedraagt in de stralengang. Daarbij moet dan gedacht worden aan kunststoffilms van enkele honderden tot tienden van een millimeter dik. Hierbij mag dan geen enkel stofdeeltje of luchtbelletje tussen de glazen drager en het kunststoflaagje achter blijven.

Dat het oppervlak van de kunststoffilm die aangebracht wordt ook aan hoge optische eisen moet voldoen moge duidelijk zijn. Maar dat het gaat over vormnauwkeurigheden van veel minder dan een micron en oppervlakteruwheden die in de buurt van R_a 0,01 liggen, dat zijn toch waarden waar elke Fijnmechanische Techniek man/vrouw lyrisch van kan worden.

Om matrijzen voor deze lenzen te kunnen maken is een zeer hoge vakkennis vereist. Hoe gedragen zich materialen, waar de matrijzen van gemaakt worden, met die extreme oppervlakte eisen?
Op de voorpagina zien we een aantal van deze vormen. Bent U het niet met me eens dat deze matrijzen, die lijken op verchroomde bollen, maar in werkelijkheid "kaal" gepolijste vlakken zijn, een lust voor het oog zijn?
Maar dat niet alleen, ook in de praktijk waar deze matrijzen worden toegepast is werken in een extreem schone omgeving vereist. Stelt U zich maar eens voor dat je dampende spuitgietmachines hebt met allerlei bewegende componenten, vulapparatuur, etc., waarbij je toch moet zorgen dat alles zo schoon mogelijk blijft.

Doordat deze technieken binnen het werkgebied van de fijnmechanische techniek steeds beter mogelijk worden en de bedrijven die daar brood in zien geld vrijmaken om die technieken op te pakken, krijgt de FMT-er/ster die echt superfijne bewerkingen wil uitvoeren een extra stimulans.

Het mooie van de hele zaak is natuurlijk dat dank zij deze technieken in de toekomst betere optische systemen mogelijk zijn. Wellicht heeft U er al een in huis: De CD-speler is vaak uitgerust met een laseroptiekje dat op deze wijze is gefabriceerd. En wellicht zijn straks de knotsen van tele-objectieven die we nu vaak zien bij sportreportages een slag korter en lichter. Zo zijn nieuwe supergladde bewerkingstechnieken de bakermat voor een ander vakgebied: de consumentenoptica.

H. Rutten

Verenigingsnieuws/Actueel

Nieuwe leden

Wij verwelkomen de volgende nieuwe leden:

Bedrijfsleden

Regio Utrecht
R. Edelenbos, Artiplast Coöp.Ver.U.A., Lelystad
Ing. R.P. Rab, A.Z. Utrecht, Instr. Dienst
H.J. Mansvelt Beck, A.Z. Utrecht, Instr. Dienst
K. Pots, RIVM TWO, Bilthoven
C. Overeem, RIVM TWO, Bilthoven

Regio Twente
M.J. Wester, KEMA TECHNIEK, Arnhem
A.J. Pley, KEMA TECHNIEK, Arnhem
J.P.J. van de Schraaf, KEMA TECHNIEK, Arnhem
J.J. van den Akker, Preciesie Ind. Van den Akker BV, Hengelo ov
M. Frongink, Preciesie Ind. Van den Akker BV, Hengelo ov
Ing. H. Schepers, Twents MBO College Div. Techn., Hengelo ov

Regio Zuid-Limburg
A.W.M. Wagemans, MEDTRONIC, Kerkrade
J.M.H. Sijben, MEDTRONIC, Kerkrade
M.A.E. Verbeek, MEDTRONIC, Kerkrade

Regio Amsterdam
Ing. H. Loek, MTS H. de Keyserschool, Amsterdam

Persoonlijke leden

Regio Utrecht
D.J. Bijvoet, Bilthoven
F.G. Hermans, Utrecht
J.W.A.J. de Ridder, Veenendaal
Ing. G.P. Westerman, Utrecht

Regio Twente
R. Daniels, Cordis Europa NV, Roden
D.L. Jordaan, Ross Diamond BV, Haaksbergen
B. Schrofhaar, Borne
A. van Wijk, Groningen

Regio Leiden
P.B.W.M. Junger, Noordwijk zh
R.G. Jansen, Rijswijk zh
V.J.A. Meeussen, Krimpen a/d Lek

Regio Zuid-Limburg
J. Beijer, Kerkrade
L. Bource, Maashees
F.H. Janssen, Bunde
H.G. Keijlard, Philips Components, Sittard
J.H.A. Peters, Hulsberg

Regio Amsterdam
D. van den Brink, Amsterdam
E.J.J. Eerkens, Oudorp
R. Metselaar, Zwaag
G. Poelstra, Haarlem
W.Ph. Wagelaar, Diemen

Adspirantleden

Regio Zuid-Limburg
L.J.M. Geelen, Neer
J.T.M. Heynen, Swalmen

Regio Eindhoven
J.M.J. Cox, Horst
G.J. van Dooren, Velden
M.J.P. Dorssers, Koningslust
R.M. van Druten, Waalwijk
H.H.F.E. Duijmelinck, Helmond
G.F.J. Haumann, Velden
W.H.P.M. Ickenroth, Reuver
J.J.Jennissen, Bergen lb
F.F.L. Keijsers, Tegelen
M.J.A. van de Venn, Boxmeer
J.H.O.M. Weijers

Regio Twente
B.A. Behage, Raalte
E.S. Boekel, Franeker
J. Stam, Holten
M.A. van der Sterren, Stadskanaal

Regio Gelderland
R.W. Attenvelt, Heesch
D.J. van der Laan, Arnhem
J.M. Leijendeckers, Nijmegen
F.H.A.L. Martens, Heyen
A.J.M. Theunissen, Grave

Algemene Ledenvergadering NVFT

woensdag 8 april 1992 van 10 - 13 uur
Congreszaal, Irenehal
Jaarbeurs te Utrecht

Agenda

9.30 - 10.00 Ontvangst in de Congreszaal, Irenehal
10.00 - 13.00 Jaarvergadering

1. Algemene informatie over de NVFT in 1991 en de toekomstperspectieven voor 1992
2. Ontwikkeling ledental
3. Financiën: Resultaten 1991 en Begroting 1992
   Voorstel contributieregeling 1993
4. Mikroniek: Resultaten nieuwe opzet
   Plannen voor de komende jaren
5. Regionale werkgroepen/Platform Mechatronica
6. Mikropool, uitbreiding van service
7. Algemene discussie van leden en bestuur

13.00 - 14.00 Lunch, aangeboden door de Federatie "Het Instrument"

Aansluitend kan 's middags de tentoonstelling worden bezocht, waar u in de stand van de NVFT (nr A 5105) zeker welkom bent.
De toegang zowel aan de ALV als aan de tentoonstelling is gratis voor leden. Na schriftelijke aanmelding worden een toegangsbewijs en een tentoonstellingsgids toegezonden.

Symposium Mechatronica: techniek en toepassingen

Op 21 februari j.l. werd aan de TUE door de Elektrotechnische studievereniging "Thor", in samenwerking met het Instituut Vervolgopleidingen van deze universiteit een symposium gehouden onder bovengenoemde titel.
Op dit vooral door studenten alsook door afgestudeerden zeer goed bezochte symposium werd door verschillende sprekers uit het bedrijfsleven zowel als van universiteiten of daarmee nauw verbonden instituten het onderwerp van diverse kanten belicht.
Dr.ir. Rietdijk opende de rij sprekers met een betoog onder het motto "Alles is in Alles" waarin hij een beschrijvende definitie gaf van het begrip mechatronica. Als voorzitter van het pas gevormde Platform Stimulering Mechatronica Nederland stelde hij dat de mechatronica bij uitstek een multidisciplinaire benadering vereist. Vanuit zijn ervaring beschreef hij techniek als de som van creativiteit en wetenschap. In de opleidingen zijn naar zijn mening zowel voldoende vaktechnische diepgang als breedheid van horizon noodzakelijk, o.a. door oefening in multidisciplinair denken en samenwerken.
Prof.dr. Heuvelman ondersteunde met zijn voordracht de voorgaande. In de werktuigbouw gaat de ontwikkeling naar sneller en nauwkeuriger, o.a. door toepassing van nieuwe materialen en de integratie van elektronische besturingstechniek. Hij onderstreepte met voorbeelden de noodzakelijke theoretische achtergrond voor de technici die in de mechatronica hun werkterrein vinden.
Prof.dr. Fluitman beschreef aan de hand van voorbeelden hoe in het MESA Research Instituut bij de TU Twente met ontwikkelingen in de micromechanica een bijdrage aan de ontwikkeling van sensoren wordt geleverd.
Dr.ir. Steinbuch (Philips Natlab) beschreef de rol van de mechatronica aan de hand van de ontwikkeling van de CD-afspeelapparatuur. Zowel de druk op de kostprijs als de steeds hogere eisen zoals ongevoeligheid voor uitwendige mechanische storende krachten (portabiliteit, jogg-ability) vereisen steeds verfijnder geïntegreerde opto-mechanica en elektronische regeltechniek.
Ir. van Leeuwen (Fokker Space & Systems) toonde met het voorbeeld van de testapparatuur voor de HERA robotarm voor het Europese ruimteveer de onmisbare rol van de mechatronica in deze hooggespecialiseerde kapitaalgoederensector.
Prof.ir. Vaan (VU Amsterdam, medewerker bureau Berenschot) belichtte de Nederlandse positie met betrekking tot mechatronica in de concurrentie op basis van technologische kennis. Hij citeerde daarbij uit het recente rapport Technologie Verkenning "Mechatronica: sensoren en actuatoren". Zijn conclusie was dat er voor het nederlandse bedrijfsleven kansen op groeimarkten liggen in de machinebouw en instrumentenbouw, maar dat vooral het MKB mechatronisch "bewustzijn" ontbeert.
Tenslotte werd door Prof.dr.ir. Vandenput (TUE, faculteit E) uiteengezet hoe de tweejarige tweede-fase studie door het Instituut Vervolgopleidingen van de TUE in samenwerking met de TU Twente is opgezet. Het Instituut biedt een aantal AIO opleidingsplaatsen voor ontwerpers aan, waaronder "mechatronisch ontwerpen". Toelating is gereserveerd voor afgestudeerden eerste fase met zeer goede studieresultaten.
Tijdens de geanimeerde forumdiscussie werden diverse aspecten van het symposiumthema nader belicht.
De verschillende voordrachten van dit zeer geslaagde symposium zullen, voorzover beschikbaar, met toestemming van de organisatoren en de sprekers in volgende nummers van Mikroniek worden gepubliceerd.

M. Breuning

PATO-cursussen

Continuums mechanica

Een vijfdaagse cursus op 7, 14, 21, 28 april en 12 mei 1992 in Eindhoven.
Doelstelling: de deelnemer inzicht te geven in de mathematische probleemformulering die ten grondslag ligt aan het analyseren van niet-lineair mechanisch gedrag van robot-onderdelen, kunststofcomponenten en dunwandige constructiedelen. De discretisering van constructies (t.b.v. de eindige elementen methode), het formuleren van het op te lossen stelsel vergelijkingen en het iteratief oplosproces komen uitgebreid aan de orde.
Doelgroep: ingenieurs die geconfronteerd worden met constructies of mechanicaproblemen waarbij, vergeleken met de lineaire theorie, grote vervormingen en/of verplaatsingen optreden of vermeden moeten worden dan wel niet-lineair elastisch materiaalgedrag aan de orde is.
Cursusleider: dr.ir. P.J.G. Schreurs, TU Eindhoven.
Deelnamekosten: fl 2.650,— (geen BTW).

Vormgeving in de werktuigbouwkunde

Een tweedaagse cursus op 8 en 9 april 1992 in delft
Doelstelling: de deelnemers vertrouwd te maken met inzichten, methoden en technieken op het gebied van de vormgeving van produkten, zodat men vanuit een gedefinieerde opdracht kan komen tot een ontwerp waarbij het accent ligt op de relatie functionele-communicatieve produkteigenschappen.
Bestemd voor: ingenieurs (TU/HTO) van alle studierichtingen, dan wel personen met gelijkwaardige kennis en/of ervaring, met belangstelling voor vormgeven.
Cursusleider: ir. W. Muller, TU Delft.
Deelnamekosten: f 1650,— p.p. (geen BTW).

Stabiliteit van het elastisch evenwicht

Een vijfdaagse cursus op 19, 26 mei en 2, 9 en 16 juni 1992 te Eindhoven.
Doelstelling: deelnemers inzicht te verschaffen in begrippen en ervaring laten opbouwen met werkwijzen uit de theorie van de stabiliteit van het elastisch evenwicht. Naast knikgedrag zal ook aan naknikgedrag aandacht worden besteed.
Doelgroep ingenieurs (TU, HTO), alsmede personen met een daaraan gelijkwaardige combinatie van opleiding en/of ervaring, die betrokken zijn of zullen worden bij het ontwerpen van werktuigen en constructies en bij de analyse daarvan geconfronteerd worden met (quasi) statische stabiliteitsproblemen, ook wel "Knik" genoemd.
Cursusleider: dr.ir. C.M. Menken (TU Eindhoven)
Deelnamekosten: f 2.650,— (geen BTW).

Materiaalbewerking met lasers

Een vijfdaagse cursus op 21, 22 mei en 25, 26 en 27 mei 1992 in Enschede.
Doelstelling: het aandragen van kennis en gegevens voor degenen, die betrokken (zullen) zijn bij de toepassing van lasers in de materiaalbewerking.
Doelgroep: ingenieurs (TU, HTO) werktuigbouwkunde of natuurkunde, die te maken hebben dan wel krijgen met materiaalbewerking, alsmede docenten van het HTO. Ervaring met lasers wordt niet verondersteld.
Cursusleider: prof.dr. L.H.J.F. Beckman (TU Twente, Faculteit der Werktuigbouwkunde)
Deelnamekosten: f 3.100,— (geen BTW).

Automatisering van batchprocessen

Een vierdaagse cursus op 26 en 27 februari en 11 en 12 maart 1992 in Utrecht
Doelstelling: de deelnemers zowel vertrouwd te maken alsook te leren omgaan met methoden, technieken en gereedschappen voor het analyseren van batchprocessen. Inzicht en vaardigheden worden ook verschaft ten aanzien van de daarop volgende definitie van functies, het optimale ontwerp en de realisatie van een batchautomatiseringssysteem. Tevens zal de deelnemers een aantal aspecten worden gepresenteerd met betrekking tot de kosten- en batenanalyse van automatiseringssystemen, terwijl ook aan toepassingsmogelijkheden ruime aandacht wordt besteed.
Doelgroep: voor diegenen die betrokken zijn of zullen worden bij, dan wel geïnteresseerd zijn in de definitie, het ontwerpen, het realiseren en het in bedrijf stellen van automatiseringssystemen voor batchprocessen.
Cursusleider: ir. P.G.A. Bus, Akzo Engineering
Deelnamekosten: f 2,250,— (geen BTW).

Ontwerpen van multivariabele regelsystemen

Een vijfdaagse cursus op 13, 14 en 15 april en 25 en 26 mei 1992 in Delft.
Doelstelling: de deelnemers inzicht te verschaffen in de mogelijkheden en beperkingen van multivariabele regelingen. Naast theoretische grondslagen wordt de aandacht vooral gericht op het opbouwen van praktische ervaring.
Doelgroep: Ingenieurs (TU/HTO) die inzicht willen verkrijgen in en praktische ervaring willen opbouwen met het ontwerp van regelingen voor complexe dynamische systemen.
Cursusleiding: prof.ir. O.H. Bosgra en dr.ir. A.J.J. van der Weiden (TU Delft)
Deelnamekosten: f 3.350,— (geen BTW).

Regelingen in de elektrische aandrijftechniek

Een vierdaagse cursus op 6, 7, 13 en 14 mei 1992 in Delft.
Doelstelling: de cursus beoogt de deelnemers de basisprincipes te illustreren van elektrische aandrijvingen. Naast theoretische achtergronden zal ook de toepassing van moderne technieken worden toegelicht.
Bestemd voor: degenen, die inzicht in of hun begrip willen verbeteren van het dynamisch gedrag van elektrische machines en van elektronische converters ten behoeve van de regeling van elektrische aandrijvingen.
Cursusleiding: prof.dr.ir. P.P.J. v.d Bosch m.m.v. ir. D. Hamels en ir. H. Huisman.
Deelnamekosten: f 2.500,— (geen BTW).

Analyse van organisatieproblemen

Een vijfdaagse cursus op 27 april en 4, 11, 18 en 25 mei 1992 aan de Technische Universiteit Delft.
Doelstelling: deelnemers vertrouwd te maken met het denken in systemen en processen, het beheersen van processen en de modelvorming. In de cursus wordt vooral aandacht besteed aan de toepassingsmogelijkheden. De theorie zal thuis bestudeerd moeten worden.
Doelgroep: leidinggevenden en stafmedewerkers in bedrijven, instellingen en bij de overheid, ongeacht hun oorspronkelijke afstudeerdiscipline, die zich bezig houden met organisatieproblemen. Juist deelname door personen vanuit verschillende disciplines verhoogt de waarde van de cursus.
Cursusleider: prof.ir. J. in 't Veld (Sectie Industriële Organisatie, Faculteit der Werktuigbouwkunde en Maritieme Techniek van de TU Delft).
Deelnamekosten: f 2.400,— (geen BTW).

Bedrijfsbesturing in economisch perspectief

Een tweedaagse cursus op 28 en 29 april 1992 te Mierlo
Doelstelling: deelnemers inzicht geven in de wijze waarop het bedrijfseconomische aspect geïntegreerd kan worden in de bedrijfsbesturing.
Doelgroep: leidinggevende staf- of lijnfunctionarissen met een technische achtergrond, die in hun werkkring geconfronteerd worden met vraagstukken van economisch bedrijfsbeleid.
Cursusleider: prof.dr. J.A.M. Theeuwes
Deelnamekosten: f 1.595,— (geen BTW).

Regressie-analyse

Een vierdaagse cursus op 5, 12, 19 en 26 juni 1992 in Eindhoven.
Doelstelling: deelnemers vertrouwd te maken met de mogelijkheden van regressie-analyse en het gebruik van software-pakketten op dit gebied. Het is de bedoeling dat de cursist na afloop zelfstandig regressie-analyses met programmatuur kan uitvoeren.
Doelgroep: degene die regressie-analyse in zijn werkkring denkt te kunnen gebruiken. Van de cursisten wordt enige basiskennis inde toegepaste statistiek verwacht; met name de volgende begrippen worden bekend verondersteld: nulhypothese, normale verdeling, stochastische variabele, verwachting en statistische onafhankelijkheid. Ervaring in het gebruik van (statistische) programmatuur is gewenst, maar niet noodzakelijk.
Cursusleider: dr. J.B. Dijkstra (Rekencentrum TU Eindhoven).
Deelnamekosten: f 1.840,— (geen BTW).

Voor nadere informatie:
Bureau van de Stichting PATO
Postbus 30424, 2500 GK Den Haag
Telefoon : 070-3644957

Cursussen en workshops Mikrocentrum Nederland

Vonkerosie
Cursus; 10 avonden eens per week; Antwerpen 23 maart, Eindhoven 24 maart, Rotterdam 26 maart, Almelo 13 april 1992; L.T.O. tot M.T.O.; kosten f 930,—.
Lijmen
Cursus; 7 avonden eens per week; Antwerpen 30 maart, Rotterdam 30 maart, Almelo 31 maart, Eindhoven 23 april 1992;
L.B.O. tot M.B.O.; kosten f 780,—.
Matrijzen voor kunststoffen B
Cursus; 20 avonden eens per week; Antwerpen 31 maart, Utrecht 31 maart, Eindhoven 9 april 1992; tenminste M.B.O.; kosten f 1725,—.
Doelmatig en verantwoord experimenteren
Cursus; 12 avonden eens per week; Eindhoven 2 april 1992; H.B.O. en M.B.O. met wiskunde; kosten f 1730,—.
Optica
Cursus; 18 middagen eens per week; Eindhoven 31 maart 1992; M.T.O.; kosten f 1485,—.
Surface Mounting Technology
Cursus; 5 avonden eens per week; Utrecht 13 april, Eindhoven 14 april 1992; M.T.O.; kosten f 840,—.
Magazijnbeheer en fysieke distributie
Cursus; 5 avonden eens per week; Eindhoven 28 april 1992; vanaf M.B.O.; kosten f 770,—.
Met fouten- en procesanalyse naar procesbeheersing
Cursus; 10 avonden eens per week; Eindhoven 30 maart 1992; H.A.V.O. of M.T.O. met wiskunde; kosten f 1285,—.

Kwaliteitsverbetering
Cursus; 7 avonden eens per week; Eindhoven 31 maart 1992; L.T.O.; kosten f 825,—.
Praktijkcursus milieuverantwoord werken in het MKB
Cursus; 4 avonden eens per week; Rotterdam 7 april, Eindhoven 4 mei 1992; L.T.O. tot M.T.O.; kosten f 690,—
Milieumanagement in het MKB
Workshop; 3 dagen eens per week; Rotterdam 7 april, Eindhoven 7 mei 1992; kosten f 1520,—.
Rapid tool setting
Workshop; 2 opeenvolgende dagen; Eindhoven 9 april; M.T.O. tot H.T.O.; kosten f 1340,—.

Inlichtingen:
Mikrocentrum Nederland
Kruisstraat 74, 5612 CJ Eindhoven
Telefoon: 040-432503
Fax: 040-450169

Corrosiebeheersing met elektrochemische meetmethoden

Studiedag Werkgroep Elektrochemische Meetmethoden van het Nederlands Corrosie Centrum; 7 april 1992, Beatrixgebouw van Jaarbeurs Congrescentrum, Utrecht.

Programma
- *Corrosie en Elektrochemie*
  Ir.G. Bakker, Laboratorium voor Materiaalkunde, TU Delft
- *Meetmethodiek en Instrumentatie*
  Dr.J.C. Verhoef, DSM Research bv, Geleen
- *Corrosiebeheersing en elektrochemische meetmethoden*
  Prof.Dr.F.P. IJsseling, Corrosielaboratorium KIM, Den Helder
- *Corrosieonderzoek met in situ uitgevoerde elektrochemische metingen*
  Ir.P.C. Westen, AKZO Centre for Materials and Corrosion Eng., Hengelo
- *Kathodische bescherming van roestvaststaal*
  Ir.G.M. Ferrari en ir E.P.M. van Westing, Centrum TNO Coatings, Den Helder
- *Anodische bescherming van een nikkelen reactorbekleding*
  Dr.S. Huizinga, Shell Research, Arnhem
- *Eletrochemische corrosiemetingen op locatie voor de selectie van corrosieinhibitoren en het meten van de effectiviteit daarvan*
  Ing.J. van Dijk, Servo Delden bv

Doelgroep: staffunctionarissen in bedrijven, medewerkers adviesbureaus, functionarissen die betrokken zijn bij materiaalkeuze, materiaalgebruik, onderhoud, inspectie, keuring, enz. Niveau minimaal HBO.
Deelnamekosten:
NCC-contribuanten en leden van de Bond voor Materialenkennis f 225,—
Niet-contribuanten f 275,—
Inclusief lunch en consumpties.

Voor nadere informatie:
NCC-Secretariaat
Postbus 120, 3720 AC Bilthoven
Telefoon: 030-287773
Fax: 030-287674

Internationale normgegevens op CD-ROM in Nederland

PERINORM CD-NORM is het allernieuwste normprodukt van het Nederlands Normalisatie-instituut (NNI). Normgegevens uit zes Europese landen, inclusief Nederland, verzameld op CD-ROM. Vooral voor grootgebruikers betekent het een beduidende vooruitgang in zoeksnelheid en recente informatie ten opzichte van de oude zoekmethode in de verschillende catalogi.
De PERINORM CD-ROM bevat bibliografische gegevens van nationale en internationale normen uit zes Europese landen: Duitsland, Engeland, Frankrijk, Oostenrijk, Zwitserland en sinds kort Nederland. Binnenkort zullen de normgegevens uit België aan het bestand worden toegevoegd. Organisaties kunnen een abonnement nemen op PERINORM. Zij ontvangen dan iedere maand een nieuwe CD-ROM met daarop de vernieuwde normgegevens. In vergelijking met de catalogi die hoogstens één keer per jaar uitkomen een duidelijke verbetering in de informatievoorziening.
Door de gebruikersvriendelijke zoekprogrammatuur is de informatie eenvoudig en zeer snel te ontsluiten. Door één van de vele zoekingangen te gebruiken worden alle relevante normen op het beeldscherm van de computer getoond. Deze informatie kan in andere documenten worden verwerkt.
De PERINORM CD-ROM wordt in Nederland momenteel gebruikt door NedCar, NKF Delft, DSM, NAM en heeft de interesse van andere bedrijven.
Voor meer informatie:
Nederlands Normalisatie-instituut
De heer E. van der Put
Postbus 5059, 2600 GB Delft
Telefoon: 015-690231

Proces- en kwaliteitsbeheersing bij het lassen van aluminium

Door het Nederlands Instituut voor Lastechniek en het Aluminium Centrum wordt een collectief onderzoek uitgevoerd, gericht op proces- en kwaliteitsbeheersing bij het lassen van aluminiumlegeringen. Het programma is tot stand gekomen in samenwerking met verscheidene aluminium verwerkende bedrijven en met leveranciers van aluminiumlegeringen en lastoevoegmaterialen.
Het onderzoek omvat de volgende deelonderzoeken:
- Het lassen van korte laslengten;
  Speciaal gericht op het voorkomen van bindingsfouten en poreusheid tijdens de start, en warmscheuren (kratervulling) tijdens het beëindigen van de las.
- eenzijdig MIG-lassen;
  Dit onderdeel van het programma richt zich op het vervaardigen van een goede doorlassing in stompe lasverbindingen.
- voorkomen van poreusheid;
  De invloed van draadfabricagemethode, draadtype, diameter, blootstelling van de draad aan de atmosfeer (opslag), en schermgassamenstelling op de poreusheid in het MIG-lasmetaal wordt onderzocht.
- puls MIG-lassen;
  De geschiktheid wordt vastgesteld voor vier verschillende typen (regelmechanismen) puls-MIG stroombronnen. Vervolgens wordt de beste machine vergeleken met TIG en continu MIG en wordt vastgesteld wat de tolerantie in de lasnaadvoorbewerking is.
- doorvoerbaarheid van de lasdraad;
  Dit onderzoek levert veel inzicht inzake de factoren welke de gevoeligheid bepalen van een MIG draadaanvoersysteem voor draadstoringen. Met name de invloed van de contactbuis (materiaal, boring) en de draad staan centraal bij het onderzoek.
- weerstandlassen;
  Dit onderzoek is net gestart, en richt zich op het vaststellen van de lasparameters (las-lob diagrammen), de elektrodeslijtage (invloed elektrodemateriaal en van bedekking), het verschil tussen het lassen met gelijkstroom en wisselstroom.
- TIG-lassen;
  In het onderzoek naar het TIG lasproces is met name aandacht besteed aan de invloed van de elektrodesamenstelling (wolfram gedoopt met lanthaan- en cerium-oxyde) op de

stroombelastbaarheid en de elektrodeslijtage. Vervolgens worden met deze elektroden nog praktijkproeven gedaan.
- literatuurstudie: NDO en lasverbindingen;
  Deze literatuurstudie richt zich op de NDO-methoden die in de praktijk kunnen worden toegepast voor het detecteren van defecten in lasverbindingen in aluminium.
- literatuurstudie: lassen van hogesterkte aluminium legeringen.
  Ingegaan zal worden op de ontwikkelingen voor het lassen (toepassen) van aluminiumlegeringen met een hoge sterkte.

Het onderzoek wordt uitgevoerd op enkele veelvuldig toegepaste aluminiumlegeringen, te weten: AA5052 (DIN AlMg2,5), AA5083 (DIN AlMg4,5Mn) en AA6061 (DIN AlMg1SiCu) in de dikten 2, 4, 6 en 10 mm.
De resultaten van de diverse deelonderzoeken worden gebruikt voor het opstellen van praktische richtlijnen (werkvoorschriften) voor het lassen van aluminiumlegeringen.

De aan het project deelnemende bedrijven zijn:
Alcoa, Bosman Powersource BV, Cloos Nederland BV, Constructiebedrijf Willems, Consultweld BV, Damen Shipyards, ESAB/Filarc, FIB, Grootint, Hilarius, Hoek Loos, Hollandse Signaal App. BV, Hoogovens BV, Kawecki/Billiton, Kon. Mij. "De Schelde", MCB, MTS-Matcon, Ministerie van Defensie, Morelisse lastechniek, Philips Drachten, Reynolds, Smitweld, St. Antonius, TU Delft, TNO, UCN.

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

Verwerking en gebruik van roestvaststaal

Roestvaste staalsoorten vinden binnen verscheidene sectoren van de industrie hun toepassing, vooral indien een grote weerstand van het materiaal wordt vereist in een agressief milieu.
De kosten, veroorzaakt door corrosieproblemen in roestvaststaal, worden voor Nederland geschat op vele honderden miljoenen guldens per jaar. De corrosieproblemen blijken daarbij in de praktijk vaak op te treden in of nabij de lasverbindingen in het roestvaststaal. Het verbeteren en verhogen van de bestaande kennis en ervaring met betrekking tot het voorkomen van deze corrosie is daarom van groot (economisch) belang voor de industrie.
Naast de kostenreductie in verband met de corrosieproblematiek, streeft men ernaar de verwerking van roestvaststalen produkten tegen een zo laag mogelijke kostprijs uit te voeren. Voor de fabricage van verbindingen bestaan diverse, economisch interessante voorbewerkings- en verbindingstechnieken. Een evaluatie van deze technieken, op zowel economische als kwalitatieve gronden, is daarom gewenst.
Door het Centrum Staal (CS) en het Nederlands Instituut voor Lastechniek wordt een collectief onderzoek uitgevoerd, dat gericht is op het verbeteren van kennis voor de verwerking (o.a. het lassen en het snijden) en het gebruik (de corrosievastheid) van roestvast staal.
Het onderzoekprogramma is opgesteld in nauw overleg en afstemming met de industrie (toeleverings- en gebruikersindustrie).

De doelstellingen van het onderzoek zijn:
- Het vaststellen van de corrosievastheid van gelast roestvaststaal (invloed van lastoevoegmateriaal, backing- en beits-behandeling).
- Het optimaliseren (uit het oogpunt van kwaliteit en kostprijs) van de produktietechniek bij de verwerking van roestvaststaal.

In overeenstemming met de doelstellingen bestaat het onderzoekprogramma uit de volgende twee onderwerpen:
- *Effect van backing- en beitsbehandeling op de corrosievastheid.*
  Er zullen lasverbindingen worden vervaardigd uit diverse roestvaste staalsoorten, met verschillende condities voor de backing- en beitsbehandeling. Ook het type lastoevoegmateriaal zal worden gevarieerd. Vervolgens wordt de corrosievastheid van deze lasverbindingen bepaald en vergeleken bij voor de praktijk relevante (corrosie-) condities.
- *Economie en kwaliteit van de verwerking.*
  Een inventarisatie zal worden uitgevoerd van bestaande en vernieuwde produktietechnieken in de voorbewerking, het verbindingsproces en de nabewerking. Een gebruikersvriendelijk overzicht wordt opgezet, zodat kwaliteit, kostprijs en toepassingsgebied beoordeeld kunnen worden. Door middel van het fabriceren van enkele constructiedetails zal een beslissingsmethodiek voor proceskeuze opgezet worden.

De aan het project deelnemende bedrijven zijn:
AGA-Gas, AKF, AKZO, BIL, Böhler, Budelco, Brooks Instrument BV, Cyanamid, Dienst voor het Stoomwezen, Dow Chemical, DSM, ESAB/Filarc, Hilarius, Hoek Loos, Holvrieka, Hoogovens, IPL-TNO, KEMA, KIM, Kon. Marine, Kon. Mij. "De Schelde", Lamers, Lincoln Norweld (Smitweld), Matcon, Nederlanse Spoorwegen, Nieuwstraten, Prabur, SAF-Oerlikon, Shell, Stork FDO, VE-COM, VEG-Gasinstituut.

Nadere informatie betreffende voorwaarden voor deelname aan het project kan worden verstrekt door het CS-bureau en het NIL-bureau. Contactpersoon CS: ir.M.F. Mendes de Leon; tel.:010-4110433. Contactpersoon NIL; ir.G. Vaessen; tel.: 055-493644

Rectificatie

Helaas moet de redactie U clementie vragen voor enkele missers in het vorige nummer, Mikroniek 32 (1992) 1.
- Tot en met de drukproef leek alles in orde te zijn, maar wat daarna met enkele pagina's is gebeurd is onduidelijk.
- Het betreft:
  - Pagina 11, figuur 41a: die had ca. 135° naar rechts gedraaid moeten staan in de normale perspectiefstand.
  - Pagina 11, figuur 41c: hier is het onderschrift verdwenen. Dit is: M_γ = buigmoment; M_ξ = wringmoment; c_z = axiale stijfheid; r = gemiddelde straal.
  - Pagina 29. De onderzijde hiervan toont twee figuren waarbij helaas de beschrijvende tekst is verdwenen. In dit nummer zal duidelijk worden gemaakt waar het om gaat.

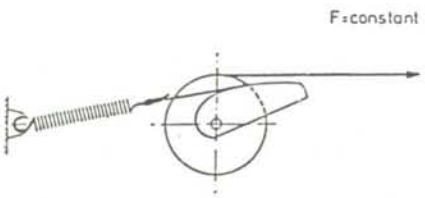
Constructies berustend op elastische deformatie

Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren (5)

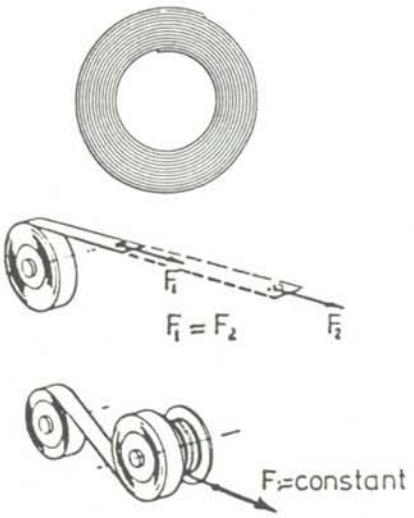
M.P. Koster, P.C.J.N. Rosielle en E.A.G. Reker

Veerconstructies met zeer lage stijfheid

Vaak is er behoefte aan een constante kracht over een zeker traject, waarbij deze kracht op een andere wijze dan door de, voor de hand liggende, zwaartekracht wordt geleverd. Dit is het geval in een programmeerbare manipulator waar één der bewegingen in de richting van de zwaartekracht is. De betreffende servomotor moet voortdurend een koppel leveren om de slede, tegen de zwaartekracht in, omhoog te houden. Om aan de dan hoge "torque duty cycle" te beantwoorden wordt een relatief grote motor gekozen. Het aanbrengen van een contragewicht levert een constante kracht en heft weliswaar dit probleem op, doch introduceert een factor twee meer massa.



Figuur 43. Veer in combinatie met een variabele overbrenging.



Figuur 44. Tensatorveer.

Figuur 43 toont een veer in combinatie met een bijpassende variabele overbrenging, zodanig dat F constant is.

Buigveren zijn hiervoor zeer geschikt. De tensatorveer, zie figuur 44, voorgevormd op een kromtestraal r_1 (de gemiddelde straal, als de staalband op een rol 1 is gewikkeld), wordt "achterover", opgewikkeld op een rol 2 met een gemiddelde straal r_2.
De kracht (F) zou constant zijn ware het niet dat de beide stralen r_1 en r_2 bij het op- en afwikkelen veranderen. Nu is F slechts bij benadering constant.
De wijze waarop men het volbelaste volume als functie van de verplaatsing aanbiedt is bepalend voor de veerkarakteristiek die men realiseert.

Figuur 45 geeft het voorbeeld van een tapse veer waarin

$b(x) = b_o + \alpha x$, zodat

$F = (\pi/24)(Et^3/r)\alpha.$

De kracht F is hierin constant.

Een ander voorbeeld volgens figuur 45 is een veer met een kwadratisch verlopende breedte volgens

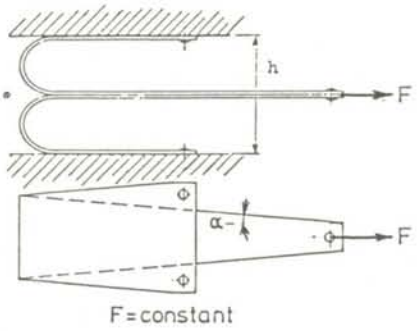
$b(x) = b_o \pm \beta x^2; \beta$ is een constante.

Dan is $F = \pm(\pi/24)(Et^3/r)2\beta x.$

Er is nu sprake van een consante veerstijfheid, ongelijk aan nul; deze bedraagt

$c = \pm(\pi/12)(Et^3/r)\beta.$

Ook een negatieve veerstijfheid is dus mogelijk. De waarde van c is instelbaar



Figuur 45. Constante kracht, stijfheid nul [D.M. van Dijk].

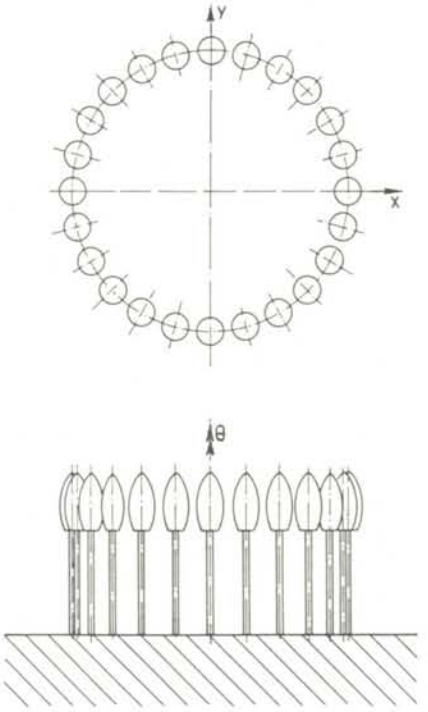
door de afstand tussen de wanden ($4r$) te variëren.

Al te abrupt moet de breedte niet variëren, want het beoogde effect wordt steeds "uitgemiddeld" over de gehele booglengte. Bovendien zal bij sterke breedtevariatie over de lengte van de bocht, de vervorming en dus de spanning zich concentreren op de smalste plaatsen.

Verennest

Voorwerpen van zelfs slecht gedefinieerde vorm en afmeting laten zich met een vrijwel willekeurige grote graad van reproduceerbaarheid positioneren ten opzichte van een "gewogen" middelpunt. Dit wordt bereikt met "veernesten" die op zichzelf niet eens volgens een nauwkeurige geometrie vervaardigd of onderling identiek behoeven te zijn!

Dit laat zich aanvoelen met het volgende gedachtenexperiment. Stel we hebben een krans van volmaakt identieke spijkers met geweerkogelvormige koppen,



Figuur 46. Verennest.

Constructies berustend op elastische deformatie

op exact gelijke steek in een zuivere cirkel op gelijke diepte geslagen in een grondvlak, zoals geschetst in figuur 46.
Wanneer we een zuiver cylindrisch voorwerp van een iets grotere diameter dan de inwendige maat van dit verennest zuiver axiaal inschuiven, dan zullen alle veren over een gelijke kleine afstand radiaal uitveren en het middelpunt van het voorwerp valt exact samen met het middelpunt van het verennest.
Brengen we een onrond cylindrisch lichaam in, (inbrengrichting zuiver axiaal, plaats in θ, x en y vrij "zwevend") dan veren de spijkers radiaal uit over ongelijke afstanden maar de resulterende krachten in x- en y-richting zijn nul.
We kunnen nu het punt van het onronde lichaam dat samenvalt met het middelpunt van het verennest definiëren als het "gewogen middelpunt" van de onronde doorsnede.
Bij hernieuwd inbrengen zal dat gewogen middelpunt steeds weer samenvallen met het middelpunt van het verennest.

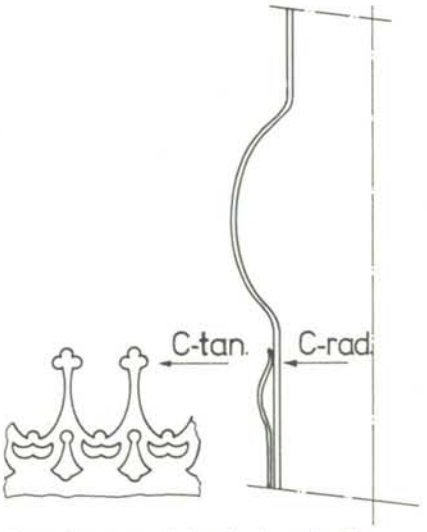
Afwijkingen kunnen optreden als de plaatselijke normaal op de omtrek de nu gedefinieerde "gewogen hartlijn" soms op grote afstand kruist of als er uitgesproken periodiciteiten in de onrondheid optreden. Voor tandwielen – zeker die met één of enkele tanden meer of minder dan het aantal veren in het nest – gaat het verhaal duidelijk *niet* op.
Maar voor alles wat "bedoeld was rond te zijn" – rond stafmateriaal, buisglas, kunststofpijp, ronde spuitgietprodukten, draai- en rondslijpwerk, etc. – is de verhouding van de oorspronkelijke onrondheid tot de bereikte reproduceerbaarheid van de plaats van het gewogen middelpunt omgekeerd evenredig met het aantal spijkers in het nest!
Stel nu dat we een slordig gemaakt verennest hebben van ongeveer gelijke spijkers op ongeveer gelijke diepte, ongeveer recht overeind ingeslagen op ongeveer gelijke steek in een "onronde cirkel". Pas als we ons zuiver cylindrische lichaam inbrengen kunnen we in dit nest een gewogen middelpunt definiëren en vastleggen – voorwaarde blijft dat wel elke spijker contact maakt en geen enkele spijker vloeit. Ook een groter cylindrisch lichaam zal met zijn middelpunt in het gewogen middelpunt van het nest terecht komen. En ook het onronde lichaam zal met zijn zoëven gedefinieerde gewogen middelpunt samenvallen met het gewogen middelpunt van het nest. Eigenlijk is nu gesteld: elk willekeurig lichaam kan op elk tijdstip overal ter wereld met elke gewenste nauwkeurigheid gepositioneerd en opnieuw gepositioneerd worden in willekeurig grof (onnauwkeurig gemaakt) gereedschap, en dit zelfs onafhankelijk van de temperatuur.
Voorwaarde is dat elke vrijheidsgraad met voldoende hoge stijfheid is vastgelegd, terwijl het aantal veren tevens moet voldoen aan de voorwaarde dat elke "bult" of "deuk" van het produkt (bijvoorbeeld gezien als afwijking van de nominale cirkel) door een voldoend aantal veren wordt "afgetast". Voorwaarde is wel dat de veren die op "gewogen" vóórspanning de ene vrijheidsgraad bepalen, geen belemmering vormen voor de veren die een andere vrijheidsgraad moeten bepalen. Een bekend voorbeeld van een "verennest" waarin dat wel het geval is, vormt de houder van het oudere wetse olielampenglas, zie figuur 47a.
Het verennest vangt alle glastoleranties (diameter en onrondheid) en alle uitzettingsverschillen goed op. De *wrijving* van de veren die x en y bepalen is voldoende groot om ook de hoogte **z** en de drie hoeken te fixeren. Nauwkeurige positionering in x- en y-richting wordt er echter door verhinderd, omdat de instelling in de ene richting een relatief grote hysteresis vertoont door de wrijvingskracht op de (in die richting juist zeer stijve!) veren die de instelling in de andere richting moeten bepalen.
Bij het inbrengen van het glas komt het meestal heel mooi terecht; door de slip in z-richting is de wrijving in x- en y- richting tijdelijk schijnbaar sterk verkleind.

Een veel preciesere positionering zou bereikt worden als de tangentiale stijfheid van de veren zeer veel kleiner was dan de radiale stijfheid.

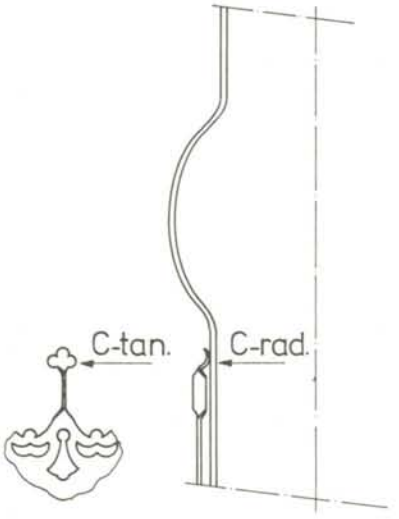
In de houders volgens figuur 47a is juist het omgekeerde het geval. Zouden we bijvoorbeeld de veren 90° torderen, zie figuur 47b, dan moeten we dus een nauwkeuriger x-y-positionering verwachten.

Men ziet gemakkelijker in dat bij gelijke maximale radiale veerweg, zowel voor de x- als voor de y-positionering de wrijving niet meer doorlopen wordt en de virtuele speling dus geen rol meer speelt als $c_t < \mu\, c_r$ is; hierin zijn c_t en c_r respectievelijk de stijfheid in tangentiale en radiale richting en μ de wrijvingscoëfficient.

Dan vertoont de eindpositie geen hysteresis meer. Hoogstens ontstaat bij excentrisch inbrengen (met dwarskracht) een relatieve verlegging van de evenwichtsstand van maximaal c_t/c_r maal de de toleranties overbruggende veerweg.
Om hysteresis te vermijden moeten we dus bij dergelijke veernesten c_t minstens 10 maal zo klein maken als c_r. Als we echter de positionering heel goed willen hebben moeten we nog verder gaan: c_t een factor 100 of eventueel zelfs 1000 maal slapper dan c_r.
Een haar- of stofdeeltje van 100 μm op een conische pen geeft 50 μm excentriciteit, dus 100 μm slag of axiale slingering, van het te centreren voorwerp.
Hetzelfde stofdeeltje op één veer uit een nest van bijvoorbeeld 100, geeft 98 μm invering van die ene veer en 2 μm excentriciteit van het voorwerp. En dat wil zeggen maximaal 2 μm (en over het hele nest gemiddeld 1 μm) uitveren van de



Figuur 47a. Lampeglashouder als voorbeeld van een verennest.



Figuur 47b. Betere positionering door verlaging van de tangentiale stijfheid.

andere veren. De excentriciteit is dus 25 maal zo klein.

Voor de stijfheid van een verennest conform figuur 48 geldt:

$$c_y = n/2(c_r + c_t) \qquad (1)$$

Hierin zijn c_r en c_t de stijfheden per veer en n het totaal aantal veren.

Deze formule is van algemene betekenis wat aan de hand van de volgende voorbeelden wordt toegelicht.
De stijfheid van een fietswiel met n(=36) spaken met een trekstijfheid c_{spaak} per spaak is, in elke richting, in zijn vlak, gemeten aan de naaf, als de velg zeer stijf is:

$$c_x = c_y = (n/2)c_{spaak}.$$

Als wij, bij een voorgespannen kogellager afzien van de niet-lineariteit, en de stijfheid per kogel is c_{kogel}, dan geldt voor de radiale stijfheid van dat lager met n kogels:

$$c_x = c_y = (n/2)c_{kogel}.$$

Deze regel geldt voor $n \geq 3$ als de "veren" (fietsspaken, kogels) voorgespannen zijn en symmetrisch verdeeld.
Bij een verplaatsing in de y-richting van het lichaam van figuur 48 verzet zich het verenpaar dat zich op de y-as bevindt daartegen met krachten f_r waarvoor geldt dat $|f_r| < f_n$, waar f_n de voorspankracht per veer is en *loslaten* niet mag plaatsvinden.
Het verenpaar dat zich op de x-as bevindt verzet zich tegen de verplaatsing (y) met krachten f_t, waarvoor geldt dat $|f_t| < \mu f_n$, als μ de wrijvingscoëfficiënt is en *slippen* niet mag plaatsvinden.
Optimaal ontworpen is het verennest dat bij de maximum uitwijking net op loslaten en op slippen staat.

$$f_r = c_r y < f_n$$

$$f_t = c_t y < \mu f_n$$

Het optimum is

$$c_t = \mu c_r \qquad (2)$$

Om slip zeker te vermijden, zal men in de praktijk kiezen voor $c_t < \mu c_r$ (μ is de wrijvingscoëfficiënt).

De radiale stijfheid van het verennest in elke richting is, volgens (1) en (2) ten hoogste gelijk aan

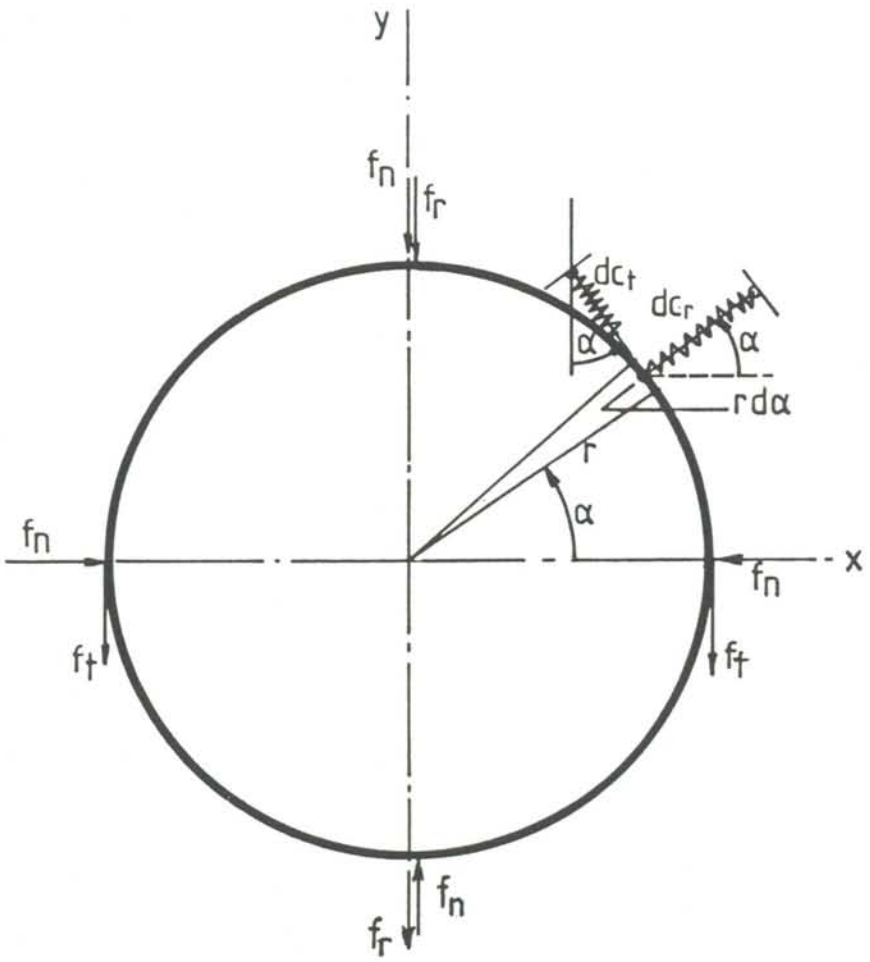
$$c_y = (n/2)c_r(1+\mu) \qquad (3)$$

waarin c_r de radiale stijfheid van één veer is.

In veel toepassingen, zoals het vasthouden van lenzen in een objectief, zal men eisen dat deze op hun plaats blijven binnen een zekere afstand x, ongeacht de stand van het objectief in het zwaarteveld.
Men stelt dan de eis:

$$c_z = c_y \geq mg/x.$$

Hierin zijn m de massa van het vast te houden lichaam, c_z de axiale stijfheid en c_y de transversale stijfheid van het verennest. Daaraan zal de radiale stijfheid volgens (3) moeten voldoen.



Figuur 48. De stijfheid van een verennest.

"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.

Replicatechniek voor asferische optische oppervlakken

W. Neumann

Met asferische optiek zijn op relatief eenvoudige wijze afbeeldingsfouten te corrigeren die eigen zijn aan de normale sferische optiek. De fabricage ervan is echter allesbehalve eenvoudig. De replicatechniek is een van de fabricagemethoden, waarop in dit artikel wordt ingegaan, en waarbij de toepassing ten behoeve van de Zeiss spiegeltelescoop 30 x 60 B/GA T* wordt behandeld.

Inleiding

In afbeeldende optische systemen worden overwegend lenzen en spiegels gebruikt met sferische, dat is zuiver bolvormige, oppervlakken. Dergelijke optische elementen zijn op relatief eenvoudige wijze met een zeer hoge precisie te fabriceren.
Bij het gebruik van sferische oppervlakken treden echter afbeeldingsfouten op. Deze ontstaan onafhankelijk van fabricage- en montage-afwijkingen en zijn inherent aan het gebruiken van deze vlakken. De afbeeldingsfouten die voorkomen zijn sferische aberratie, coma, astigmatisme, beeldveldkromming en vertekening. (Deze beeldfouten zijn behandeld in Mikroniek jaargang 1986 nummer 6.)

Deze fouten zijn over het algemeen vrij gemakkelijk te corrigeren door gebruik te maken van asferische, dat is niet bolvormige, oppervlakken [1]. Het voordeel van het gebruik van asferische oppervlakken is niet alleen dat deze afbeeldingsfouten gemakkelijker te corrigeren zijn, maar vaak zijn ook minder optische componenten nodig en is de benodigde bouwlengte korter. Dit betekent weer dat een objectief een lager gewicht heeft en kortere bouwlengte betekent ook vaak dat er minder strooilicht ontstaat. Zo zijn er nog tal van andere aspecten te noemen waarom het toepassen van asferische oppervlakken voordelen heeft.

Sfeer versus asfeer

De vraag die dan voor de hand ligt is natuurlijk waarom asferische vlakken, die zulke grote voordelen hebben bij het optimaliseren van een optisch systeem, niet vaker gebruikt worden. Het antwoord is heel eenvoudig: asferische optiek is niet op de conventionele manier te fabriceren. Is het zo dat de sferische optiek heel eenvoudig te fabriceren is, zo is dat bij asferische optiek precies het tegenovergestelde. Een sferisch vlak is in alle richtingen symmetrisch. Een sferisch lens- of spiegelvlak is een schijfje van een grote bol met een straal gelijk aan de kromtestraal van het lensvlak. Waar dat schijfje van de bol afgesneden wordt is vaan geen belang, de kromming is altijd correct. Bij een asfeer geldt dit echter niet.

Nagenoeg zonder uitzondering zijn asferische oppervlakken wel rotatie-symmetrisch om de optische as. Dit houdt in dat het voor de fabricage van sferische vlakken gebruikelijke produktieprincipe niet benut kan worden. Sferische vlakken worden namelijk vervaardigd door een tegengesteld gevormd bolvormig gereedschap zo willekeurig mogelijk over het lens- of spiegelvlak te bewegen. Als de kromtestraal veel groter is dan de diameter van het lens- of spiegelvlak en de diameter daarvan klein is, dan kunnen met eenzelfde gereedschap een aantal optische vlakken tegelijkertijd geslepen en vervolgens tegelijkertijd gepolijst worden.

Deze manier van fabricage is voor asferische vlakken niet mogelijk omdat elke asfeer een as van symmetrie heeft waardoor telkens slechts een produkt gefabriceerd kan worden. Ten gevolge van asferische vorm kan het hele oppervlak niet in een keer gepolijst worden, maar moet gewerkt worden met gereedschappen die een bepaalde zone bewerken.

Aangezien de vormen van asferen vaak slechts enkele microns afwijken van een sfeer, en bovendien nog met een vormnauwkeurigheid tot minder dan 1/25 van een micron van de theoretische vorm, moge duidelijk zijn dat het fabriceren van dit soort vlakken een hachelijk karwei lijkt.
Welnu hachelijk is het niet, maar wel zeer tijdrovend.

Tegenwoordig kunnen asferische oppervlakken ook op een andere manier gefabriceerd worden, namelijk met behulp van CAM (Computer Aided Manufacturing). Bij het reduceren van de produktiekosten speelt ook de replicatechniek een belangrijke rol. Andere methodes zijn ook nog het persen van blenks (ronde glasschijfjes op hoge temperatuur en daardoor in plastische toestand) en het spuitgieten van kunststoflensjes. Het blijkt echter dat bij de laatste twee genoemde technieken slechts een zeer matige nauwkeurigheid kan worden bereikt.

Figuur 1. Zeiss Spiegeltelescoop 30 x 60 B/GA T*.

H. Rinia en P.M. van Alphen [2] beschrijven het fabricageproces van optisch gedefinieerde dunne kunststoflagen op daarvoor geschikte substraten. In het volgende worden de problemen beschreven die opgelost moeten worden alvorens de seriefabricage van de asferische afsluitplaat (figuur 3) in de spiegeltelescoop Zeiss 30 x 60 B/GA T* (figuur 1), volgens deze techniek van start kan gaan.

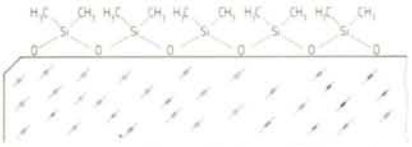
Onder het begrip replicatechniek wordt verstaan: het overdragen van de complexe vorm van een matrijs (master) op een drager (substraat) met behulp van een dunne kunststoflaag (lamel) tussen de matrijs en de drager.

De voorbereiding van de matrijs

De kunststoflaag bestaat uit een thermisch uithardende epoxyhars, de matrijs is van glas gemaakt. Om het van de (asferische) kunststoflaag voorziene substraat naderhand goed van de matrijs te kunnen lossen moet die voorzien zijn van een scheidingsmiddel. Oppervlakken die

voorzien zijn van een laagje siliconen laten los van epoxypolymeren. Echter, de normaal in de handel verkrijgbare siliconen-lossingsmiddelen kunnen niet gebruikt worden. Een belangrijk punt daarbij is dat aan de vorm van de te maken asfeer zeer hoge eisen gesteld worden en deze scheidingslaag gauw te grote afwijkingen ten opzichte van de theoretische vorm geeft. Een andere reden is dat het aantal keren dat de matrijs gebruikt wordt, alvorens een herbehandeling ervan nodig is, te klein is.

Om de adsorptie-eigenschappen van het glasoppervlak van de matrijs zo te beïnvloeden dat de lossing optimaal is, wordt een gedeeltelijk gehydrolyseerd mengsel van monochloor- en dichloorsilan aangebracht. Daaraan voorafgaand is het oppervlak met geconcentreerd zwavelzuur en vervolgens met een reinigingsmiddel voor optische vlakken schoongemaakt, zodat alle vet- en olieresten verwijderd zijn.
Na een korte pauze bij omgevingstemperatuur, waarbij een verdere hydrolyse optreedt, worden de natte residuen met een zacht papierdoekje afgeveegd. Behalve de hydrolyse van het Silan/Siloxanmengsel ordenen zich op het oppervlak de reeds gevormde respectievelijk zich nog vormende molecuulketens zich zodanig dat de Si-O-Si-ketens zich naar het glasoppervlak richten; zie figuur 2.



Figuur 2. Orientering van de Siloxanketens op het glasoppervlak van de matrijs.

Deze georiënteerde Siloxanfilm wordt op het glasoppervlak van de matrijs door middel van inbranden gefixeerd, waarbij de inbrandduur en inbrandtemperatuur [3] [4] een belangrijke rol spelen voor de bereikbare kwaliteit van de siliconenfilm met betrekking tot de wateraf-stotende eigenschappen en de houdbaarheid.
Met een op deze wijze geprepareerde matrijs kunnen ca. tien produkten gemaakt worden. Daarna is een nieuwe behandeling noodzakelijk, die herhaald kan worden totdat ca. 120-140 produkten per matrijs vervaardigd zijn. Daarna ontstaan vormfouten bij de produkten die de gestelde toleranties overschrijden. Deze fouten worden meestal veroorzaakt door beschadiging van het matrijsoppervlak ten gevolge van het veelvuldig gebruik.

De buiten de toleranties liggende matrijzen moeten dan met een asferische slijpmachine [1] gecorrigeerd worden en vervolgens weer gepolijst. De te gebruiken matrijzen dienen een nauwkeurigheid te hebben die tenminste een klasse beter is dan die van het uiteindelijke produkt.
Deze eis is zo hoog omdat bij de replicatechniek iedere onnauwkeurigheid wordt vergroot.

Het aanbrengen van de kunststoflaag

De zeer goed gereinigde substraten en de van de siliconenlaag voorziene matrijzen worden in een houder bevestigd en bij een temperatuur van ca. 60 graden Celsius gedurende ca. 1 uur getemperd.
Vervolgen wordt de matrijs wederom uit de houder gehaald en de benodigde hoeveelheid epoxyhars op het substraat aangebracht. Daarna wordt de matrijs zodanig op de druppel hars gelegd dat deze blijft drijven. Door toevoeging van een hardingscomponent wordt de gebruikte epoxyhars vervolgens thermisch gepolymeriseerd.
Om de reactie te starten zijn stoffen toegevoegd die de vereiste elektronen en protonen leveren [5] [6]. De samenstelling van het mengsel maakt de vorming van verscheidene polymeren mogelijk, die verschillen in eigenschappen [6] [7] [8].

De belangrijkste moeilijkheid bij de fabricage van deze zeer dunne asferische lagen blijkt het krimpgedrag te zijn van de polymeer. Dit laatste is duidelijk te zien als een plotseling knikken van de interferentielijnen bij de controle met een interferometer. Dit krimpen is het gevolg van veranderingen in de moleculaire opbouw van de laag gedurende de polymerisatie. De tijdens het uitharden optredende krimpkrachten kunnen leiden tot pinholes of putjes en een ongelijkmatige, niet strakke, oppervlaktegesteldheid.

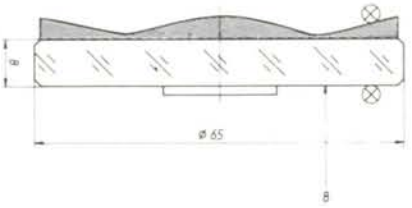
Belangrijke chemische factoren waarmee men het krimpgedrag van dunne lagen kan beïnvloeden zijn onder andere verandering en variatie van de functionele groepen van de gebruikte hars. Om het krimpen bij het gebruik van in handel verkrijgbare epoxyharsmengsels te kunnen beheersen moet men de berekende hoeveelheden van de componenten van het hardingsmengsel zo nauwkeurig mogelijk aanhouden.

Ook is het noodzakelijk elke nieuwe charge van het mengsel hars-harder voor de vrijgave van de fabricage op de noodzakelijke bestanddelen te controleren. Een van de mogelijkheden daartoe is het bepalen van de brekingsindex in vloeibare gemengde toestand.

Na het uitharden van de hars is de matrijs aan het substraat 'vastgekit' en moet met behulp van een springring gescheiden worden. Het substraat is nu voorzien van een dunne kunststoflaag 2-25 µm dik, die de tegengestelde vorm van de matrijs heeft. Op deze replicalaag wordt een antireflexlaag aangebracht voor dat gedeelte, dat gebruikt wordt in het optisch systeem. De meting van de vorm van het oppervlak van de replica wordt uitgevoerd met behulp van een Twyman-interferometer met compensatiesysteem.

Replica van de vangspiegel

De vangspiegel, dit is een deel van de asferische afsluitplaat volgens figuur 3, is een verspiegelde asferische vorm, die eveneens met behulp van de replicatechniek wordt vervaardigd. Daartoe wordt



Figuur 3. Schmidt-plaat voor de 30 x 60 B/GA T* na het verwijderen van de matrijs. De ontspiegelde epoxyharslaag (boven) werd sterk vergroot getekend.

op de asferische matrijs in een recipiënt een laag van verschillende metalen opgedampt, waarop vervolgens na enkele dagen veroudering nog een lagensysteem van drie diëlektrische lagen en een metaallaag wordt opgedampt. Er volgt nog een warmtebehandeling van de matrijs. De zo geprepareerde matrijs van de vangspiegel wordt nu door middel van een epoxyharslaag aan het substraat – dus de toekomstige vangspiegel – door middel van thermische uitharding verbonden.
Door middel van een springring wordt het eerder beschreven lagenstelsel zodanig gescheiden dat de drie diëlektrische

Replicatechniek voor asferische optische oppervlakken

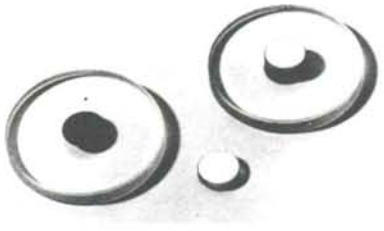
lagen en hun metaallaag met de epoxylaag en het substraat een geheel vormen. Op deze manier is het mogelijk een reflectieverhogende spiegelende laag compleet met kunststoflaag (de lamel) op het substraat over te dragen en zo een asferische vangspiegel te fabriceren.

Het samenvoegen van de asferische componenten

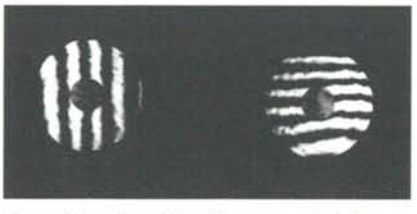
De asferische Schmidt-plaat en de asferische vangspiegel, zie figuur 4, worden door middel van een koudhardende epoxyhars in een centreerhulpstuk uitgericht en vastgekit. De nog niet geheel vastgekitte vangspiegel wordt daartoe in een autocollimatiemicroscoop zo uitgericht dat de excentriciteit beneden de 2' ligt. De uitharding vindt plaats door deze samenstelling twaalf uur onberoerd bij kamertemperatuur te laten staan.

De interferometrische meting

De interferometrische meettechniek is ook voor asferische componenten van grote betekenis. In een interferometer volgens Twyman en Green, zie figuur 5, wordt een bundel van een HeNe-laser (golflengte is 633 nm) allereerst met behulp van een bundelvergroter op de noodzakelijke bundeldiameter gebracht en vervolgens door een halfdoorlatende spiegel ST opgesplitst in een referentiebundel en een testbundel. De vlakke referentiebundel - dit is een bundel met een vlak golffront - wordt door een vlakke spiegel SP in zichzelf teruggekaatst en passeert vrijwel onveranderd de halfdoorlatende spiegel ST. Deze vlakke referentiebundel is bij een interferometrische meting het referentievlak en de testbundel die van het te controleren object afkomt wordt daarmee vergeleken.

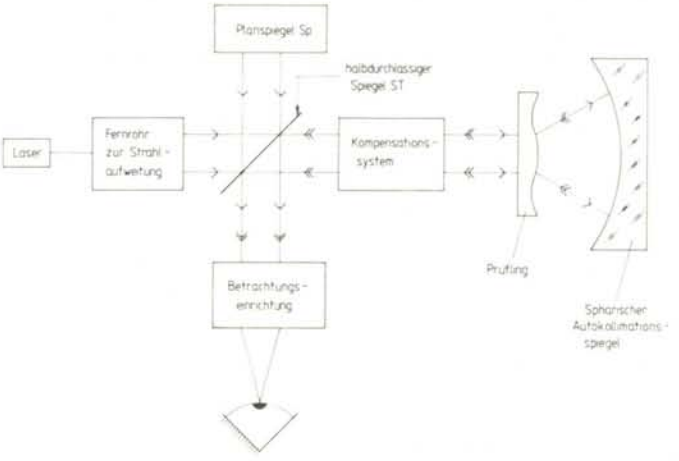


Figuur 4. Schmidt-plaat, vangspiegel en de complete asferische afsluitplaat.

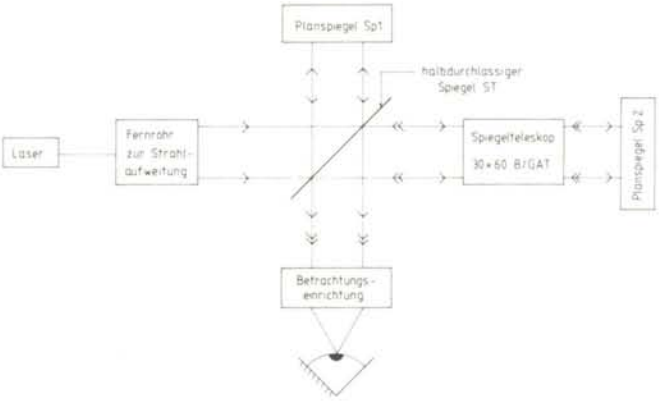


Figuur 6. Interferentiebeeld van een asferische Schmidt-plaat.

Figuur 5. Schema van de opbouw van de interferometer voor het controleren van asferische vormen zoals bijvoorbeeld Schmidt-platen.



Figuur 7. Schematische weergave van de opbouw van de interferometer voor de controle van de complete spiegeltelescoop 30 x 60 B/GA T*



De testbundel passeert de te controleren lens tweemaal en als die foutloos is zal de bundel niet vervormen, dus vlak zijn gebleven. Door de halfdoorlatende spiegel worden de beide bundels samengevoegd. Door licht kantelen van deze spiegel kan dan een interferentiebeeld met "rechte" lijnen worden verkregen, dat zichtbaar is in het waarnemingspunt. Omdat een asferische lens een corrigerende werking heeft moet deze correctie door een andere lens teniet worden gedaan opdat een normaal, bruikbaar interferentiebeeld ontstaat.
Fouten in de asferische vorm van het oppervlak leiden ertoe dat de uittredende bundel niet op de vooraf berekende manier vervormd wordt ofwel, zoals de ontwerpers van de optiek zeggen, dat de optische lichtweg op de plaats van de fout van de vooraf berekende streefwaarde afwijkt. Het resultaat is dat de waargenomen interferentielijnen niet meer recht zijn, maar bulten en punten vertonen, zie figuur 6. Daarbij betekent een bult met een hoogte van de gemiddelde afstand tussen de interferentielijnen een lokale fout van de lichtweg met een grootte van één golflengte van het licht dat bij de meting wordt gebruikt, dus 633 µm bij een HeNe-laser. Omdat de te controleren lens twee keer door de testbundel wordt gepasseerd en bij zijn toepassing in de spiegeltelescoop slechts een keer, houdt dit in dat de voor de controle van de asferische Schmidt-plaat geëiste minimale nauwkeurigheid van 1 lijn afwijking, een maximale afwijking van het golffront betekent van 0,316 µm.

De hier geschetste interferometrische controle is nodig om de kwaliteit van de vervaardigde asferische oppervlakken voortdurend te bewaken. De compleet gemonteerde en gejusteerde spiegeltelescoop 30x60 B/GA T* wordt in de afdeling kwaliteitsbeheer eveneens interferometrisch onderzocht. De meetopsteling die hiervoor gebruikt wordt is aanzien-

lijk eenvoudiger van opzet omdat de telescoop zelf een object op een oneindige afstand afbeeldt. Bij een perfect instrument treedt dus een perfecte vlakke bundel uit het oculair als er een perfecte vlakke bundel wordt aangeboden aan de telescoop. Figuur 7 toont schematisch deze meetopstelling. Wederom heeft men bij deze controle de dubbele gevoeligheid ten opzichte van die bij het normale gebruik van de telescoop, omdat ook in deze meetopstelling het licht twee keer door de telescoop gaat.

Toekomstperspectief

Door de serie-aanpak van de replicatechniek bij de fabricage van asferische optische bouwelementen met een hoge precisie, zijn de kosten van deze componenten aanzienlijk gereduceerd. Deze zouden nog lager worden als het mogelijk zou zijn nog meer produkten met een matrijs te kunnen maken en de tijd die nodig is voor de vervaardiging van de replica's te verkorten.
Dit laatste zou bijvoorbeeld mogelijk zijn door gebruik van UV-uithardende polyesterharsen die slechts in enkele seconden uitharden. Voor zeer kleine lensvlakken (digitale audiodisc- en videodiscsystemen) is dit bij Philips [9] met een dergelijke uithardend methacrylaatsysteem bereikt. Aan de realisatie van grotere lenzen wordt wereldwijd op verschillende plaatsen gewerkt.

Literatuur:

[1] E. Heynacher; Zeiss Informationen, Oberkochen, 24 (1978/79) aflevering 88, pagina 19-25.

[2] H. Rinia, P.M. van Alphen; Philips Technisch Tijdschrift; 2, (1947) pagina 349.
[3] M Rieder, H. Steinbach; Glastechnische Berichte, 51 (1978) 3, pagina 55-61.

[4] W. Noll, H. Wissbach; Zement, Kalk, Gips, 9 (1956) pagina 476-486.

[5] M. Fischer, F. Lohse, R. Schmidt; Makromol. Chem., 181 (1980) pagina 1251-1287.

[6] L. Matejka, J. Lovy, S. Pokornuy, K. Bouchal, K. Dusek; J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed. 21 (1983) pagina 2873.

[7] M. Fedtke, F. Domaratius; Polymer Bulletin, 15 (1986) pagina 13-19.

[8] S. Tanaka, H. Kakuchi; J. Polym. Sci. A2 (1964) pagina 3405.
[9] R. Zwiers, G. Dorntant; Applied Optics, 24 (1985) pagina 4483-4488.

Dit artikel is eerder verschenen in Zeiss Informationen (1988) aflevering 100. Het werd vertaald en bewerkt door H. Rutten.

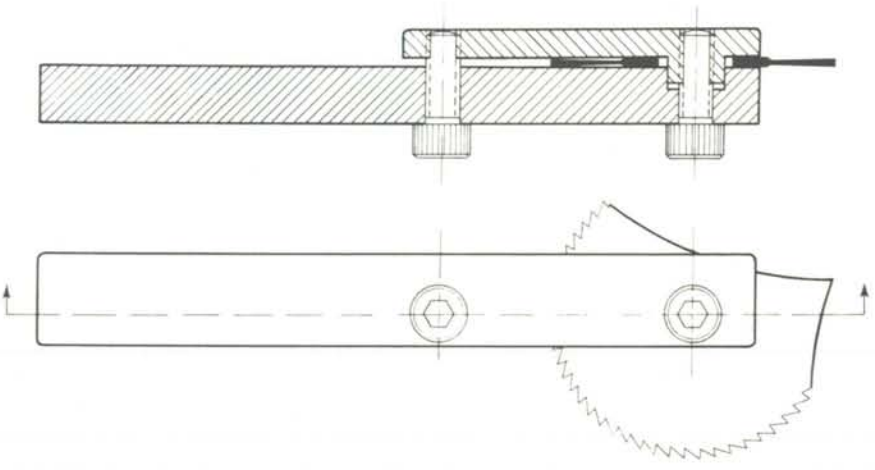
De auteur W. Neumann is werkzaam in het Labor für Transparente Organische Werkstoffe, Carl Zeiss, Oberkochen.

Her en Der

Nieuw leven voor oude cirkelzagen

Het idee werd ooit geboren toen uit een staaf bijzonder gietijzer zoveel mogelijk plakken gezaagd moesten worden en iemand 'zag' dat, als het materiaal kon wentelen zoals op de draaibank, je dit kon doen met een cirkelzaag van de halve diameter. Het zaagblad zou dan tevens veel dunner kunnen zijn, en dus ook veel zuiniger afkorten. Dit leidde de stap in tot het zodanig verslijpen van een cirkelzaagblad, dat er op een draaibank mee kon worden gestoken. De benodigde houder werd zodanig gemaakt dat deze tevens geschikt was voor verslepen zaagjes met andere afmetingen.
Versleten en tandarme cirkelzaagjes genoeg!
Omdat de dikte van het blad van een metaalcirkelzaag is verjongd, vanaf de omtrek tot op een zekere afstand van het gat, ontstaat er in de steekrichting een vrijlopend profiel dat goeddeels de zijdelingse vrijloophoeken van het normale steekmes vervangt. De afgebeelde houder heb ik vervaardigd voor het gebruik op mijn hobby-bankje, bedlengte 130 cm. Schacht en klemdeel zijn gemaakt van veredelingstaal, 16 x 10 mm. De klemplaat heeft een aangedraaide borst 10 mm diameter, waarop de zaagjes, 40 t/m 80 mm diameter met gaten van 10 t/m 22 mm, kunnen rusten. Deze borst is nodig gebleken omdat anders de zaagjes, die slechts 0,3 mm dun kunnen zijn, moeilijkheden geven in de draad van de trekbout.
De spaanhoek kan op dezelfde manier worden geslepen als de vrijloophoek – zaagblad in het vlak van de slijpsteen gehouden – indien van het blad eerst, bij voorbeeld door breken in een bankschroef, een kleine helft is verwijderd.
Een houder met bovenop een plaatje, om een dergelijk meer-dan-half schijfje tegen het meedraaien te behoeden, voldeed niet. De getekende uitvoering zet voldoende vast, de hoogte van de snijpunt is vrij en bij zwaar happen draait de snijkant uit het werk.
Een tweede toepassing van oude cirkelzaagjes is het gebruik als verdeelbeitel. Geschikt zijn zogenaamde uurwerkzaagjes van 30 mm diameter met dikten die tot 1 mm kan gaan. Met behulp van een aangepaste houder, die ook zicht dient te geven, moet het snijblad heel kort worden ingespannen, opdat een zijdelingse buiging optimaal wordt teruggedrongen. Lange, nieuwzilveren meetlinealen konden met behulp van deze beiteltjes in één gang worden voorzien van een dubbele barometerverdeling met een diep en keurig rechthoekig streepprofiel.

M. Heubers.



Matrijzen voor de vervaardiging van kunststofoptiek

Ing. J.L. Broers

Bij het gebruik van replicatechnieken, drukpersen of spuitgieten voor de vervaardiging van kunststofoptiek speelt naast het optische materiaal en het produktieproces de matrijs een voorname rol.
Zo zijn bijvoorbeeld de materiaaleigenschappen en de te realiseren vorm van de matrijs van grote invloed op het produktieproces en is de nauwkeurigheid van het optische deel van de matrijs direct bepalend voor de nauwkeurigheid van de optiek. Niet voor niets is daarom de technische ontwikkeling van de vervaardiging van die matrijzen bepalend voor de mogelijkheden die de serieverwerking van kunststofoptiek biedt. Let wel, voor alle optiek dus, zowel sferisch als asferisch.
De ontwikkeling van hoogwaardige replica-, drukpers-, en spuitgiettechnieken maken de toepassing van asferische optiek, in optische systemen in grotere aantallen, mogelijk.
De toepassing van deze technieken is echter op zijn minst even interessant voor sferische componenten die bijvoorbeeld per jaar in aantallen van enige tientallen keren in duizenden stuks gemaakt worden.
Zo worden asferische en sferische optische matrijzen gebruikt voor de vervaardiging van:

- ooglenzen,
- brilleglazen,
- intraoculaire lenzen (ter vervanging van de natuurlijke ooglens),
- lenzen in optische sensoren,
- optische data-disks,
- lenzen voor data-disk afleesapparatuur,
- fotoapparatuur, enz.

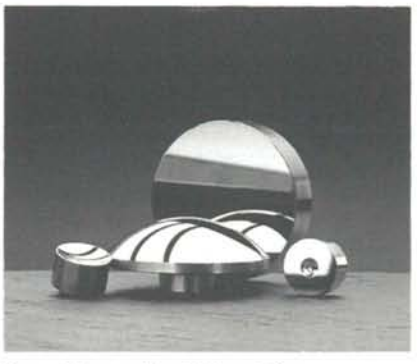
Figuur 1 toont een aantal optische matrijzen.

Matrijsmateriaal

De keuze voor het gebruiken van een glassoort voor de matrijs, zoals beschreven in het voorgaande artikel over "Replicatechniek" in dit nummer, lijkt heel logisch, de optische polijsttechnieken en "optische" eigenschappen zijn immers bekend.
Het gebruik van glas heeft echter een aantal sterke nadelen:

- De warmtegeleidingscoëfficiënt van glas in zeer laag, wat het produktieproces bemoeilijkt en zeker vertraagt.
- De krasvastheid van bepaalde glassoorten is vrij hoog.
  Niettemin is de kans op beschadiging van het glasoppervlak tijdens het gebruik van de matrijs zeer groot, zowel voor het optische deel als de gehele matrijs of het inzetstuk. Beschadiging van het glasoppervlak heeft tot gevolg dat de mechanische sterkte drastisch minder wordt. Overschrijding van kritische spanningen, bij die beschadiging, kunnen niet zoals bij metaal door plastisch vloeien opgevangen worden en leiden onherroepelijk tot breuk.
- De optische vorm is goed te realiseren, echter de constructiemogelijkheden van het gehele inzetstuk zijn in glas beperkt.

De meest logische keuze zou dus eigenlijk een metalen matrijs moeten zijn. Deze biedt meer en goedkopere mogelijkheden om te produceren, is makkelijker in het proces in te passen voor wat betreft de temperatuureigenschappen en kan voorzien worden van slijtvaste lagen waardoor de matrijs uitstekend beschermd wordt tegen beschadiging.
Er is echter nog veel onbekendheid over het optisch polijsten van metaal. De huidige ontwikkelingen op het gebied van de verspanende technieken geven echter de mogelijkheid optisch nauwkeurig te bewerken.
Met hydrostatisch of pneumatisch gelagerde diamant- en CBN-verspaningsmachines kunnen door middel van lasergecontroleerde CNC-besturing krommingen gerealiseerd worden die op 1/10 λ – λ = 633 nm, de golflengte van de He-Ne laser – nauwkeurig zijn. Dergelijke vormtoleranties kunnen echter alleen in nonferrometalen verwezenlijkt worden, die niet bepaald geschikt zijn voor het gebruik als matrijsmateriaal.



Figuur 1. Een aantal optische matrijzen.

Polgron Optics & Polishing Techniques uit Groningen heeft polijsttechnieken ontwikkeld door know how op het gebied van het polijsten van gereedschap te combineren met optisch polijsten.
Men heeft hiermee de mogelijkheid geschapen slijtvaste, geharde metalen te gebruiken voor optische matrijzen.

Een veel toegepast gereedschapstaal is chroomstaal met Werkstoffnummer 1.2083, ook wel stavax genoemd. Door zijn samenstelling (x40Cr13/0,38C/-0,8Si/0,5Mn/13,6Cr/0,3V%), biedt dit de mogelijkheid om een zeer glad, hoogglansoppervlak te verkrijgen dat tevens zuurbestand is, waardoor de oppervlaktekwaliteit niet aangetast kan worden bij kunststofverwerking. De tabel, figuur 2, toont ter vergelijking de materiaaleigenschappen van stavax en glas.
Het polijsten van dit chroomstaal geschiedt het beste na harding, HV 450, en vraagt derhalve om een nauwkeurige voorbewerking van het optische vlak. Het materiaal is echter door het hoge chroomgehalte lastig te verspanen. Wanneer een groot aantal matrijzen met een gelijke kromming gemaakt moet worden, blijken de vormnauwkeurigheid en oppervlaktenauwkeurigheid niet reproduceerbaar te zijn door vooral gereedschapslijtage. Dit probleem doet zich al voor wanneer series groter dan vijf stuks bewerkt moeten worden.

Een oplossing voor grotere aantallen wordt geboden door de nauwkeurige bewerkingsmogelijkheid van nonferrometalen te combineren met de mogelijkheid geharde metalen te polijsten.
De matrijsvorm wordt dan bijvoorbeeld uit messing gedraaid en voorzien van een geharde nikkel- of chroomlaag, 900 HV, die uitstekend gepolijst kan worden. Een matrijs van gereedschapstaal kan een langere standtijd krijgen door het

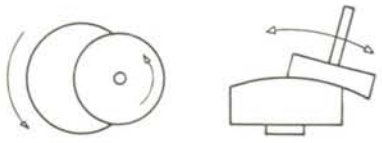
	boroscilicaatglas	1.2083
warmtegeleidings-coëfficiënt W/(m.K)	1,16	24
warmteuitzettings-coëfficiënt per 10^{-6} K	3,25	11
specifieke warmte J/(kg.K)	820	460
dichtheid g/cm^3	2,23	7,8
el.modulus 10^3 N/mm^2	63	215
treksterkte N/mm^2	afhankelijk van de oppervlaktegesteld-heid, praktijk 20-200	na harding 1500

Figuur 2. Vergelijking van de materiaaleigenschappen van het chroomstaal Werkstoffnummer 1.2083 (stavax) en borosilicaatglas.

aanbrengen van een titaannitridelaag. Een dergelijke laag wordt in een vacuümruimte opgedampt (P.V.D., Physical Vapour Deposition). Het produkt wordt eerst gereinigd door middel van een bombardement van edelgasionen van een plasma. Terwijl de reiniging voortgezet wordt, wordt titaan opgedampt. Vervolgens wordt in de ruimte stikstof toegelaten waardoor titaannitride ontstaat.
De laag beïnvloedt de optische vormnauwkeurigheid niet, heeft een hoge hardheid, circa 2300-3200 HV, een hoge slijtvastheid en vermindert bovendien de wrijving op het oppervlak, waardoor een gunstiger vloeigedrag van de kunststof verkregen wordt. Dit laatste is niet onbelangrijk voor de nauwkeurige fabricage van kunststofoptiek.
Zo zijn er dus voor zowel kleine als grote series matrijzen mogelijkheden om optische matrijzen in metaal uit te voeren, wat voordelen ten opzichte van het gebruik van glas biedt.

Polijsttechniek

Het polijsten van metaal vraagt een geheel andere benadering dan het polijsten van glas. Het verschil in samenstelling en structuur (kristallijn versus amorf) geeft totaal andere polijsteigenschappen. Bij het polijsten van glas bijvoorbeeld vloeit het materiaal en heeft slechts een geringe afname plaats. Bij het polijsten van metaal is dit precies andersom.
Er worden dus andere polijstmiddelen en dragers gebruikt.
Daarnaast zijn de gereedschappen en polijstmachines verschillend doordat beide technieken andere vormen moeten bewerken. Door deze gereedschappen te combineren en daarnaast nieuwe dragers en middelen te ontwikkelen heeft Polgron een techniek ontwikkeld waarmee metaal gepolijst kan worden met zeer kleine toleranties. Daarbij is het tevens mogelijk om zowel sferische als asferische vormen te realiseren.
De nieuwste ontwikkeling is dat zelfs enkele optische vormen in een oppervlak (bifocus) worden aangebracht!
Het principe van het polijsten van sferische krommingen is eenvoudig. Een drager met een tegengestelde kromming wordt over het matrijsoppervlak bewogen zoals geschetst in figuur 3.
De drager loopt enigszins mee met het oppervlak, waardoor een goede sfericiteit ontstaat. Het polijsten van asferische krommingen ligt een stuk moeilijker, immers het oppervlak is, zoals in het voorafgaande artikel over "Replicatechniek" beschreven, alleen symmetrisch over de optische as.
De meest voorkomende asferische krommingen zijn parabolen, hyperbolen en ellipsen; een andere populaire asfeer is de Schmidt-curve zoals in het voorgaande artikel beschreven.



Figuur 3. Het sferisch polijsten.

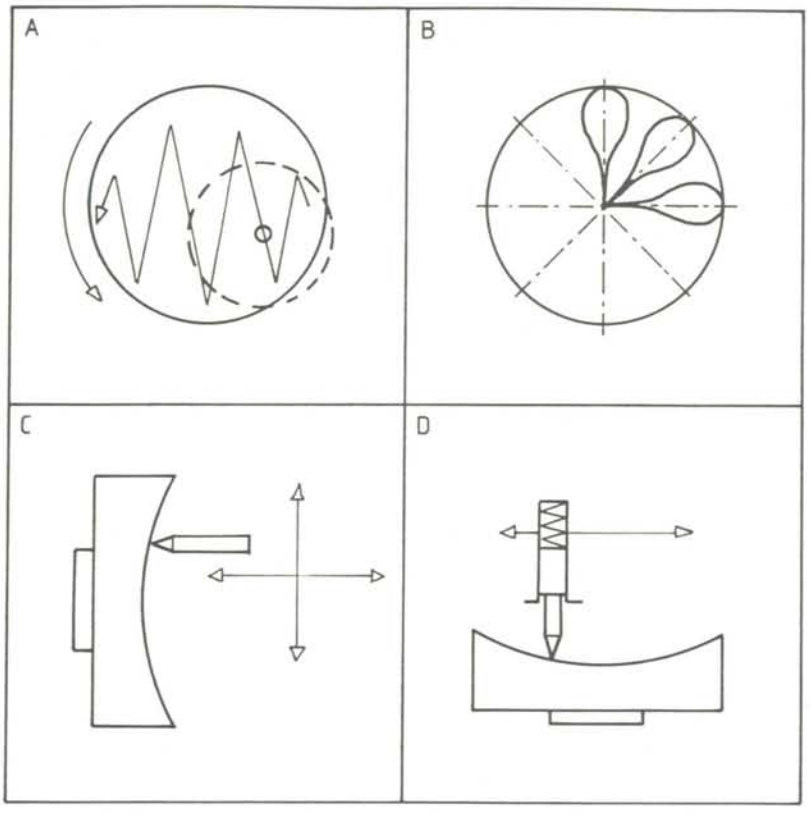
Figuur 4. Een voorbeeld van de vormafwijking van een sferische versus een asferische kromming.

Om te bepalen waar materiaal weggepolijst moet worden om de juiste asferische vorm te krijgen, is het makkelijk die vorm als vormafwijking ten opzichte van een sfeer te zien. Wanneer de sfeer zo gekozen wordt dat de rand en het midden van de optische vorm als referentie genomen worden, ziet die vormafwijking er bijvoorbeeld uit zoals figuur 4 laat zien.

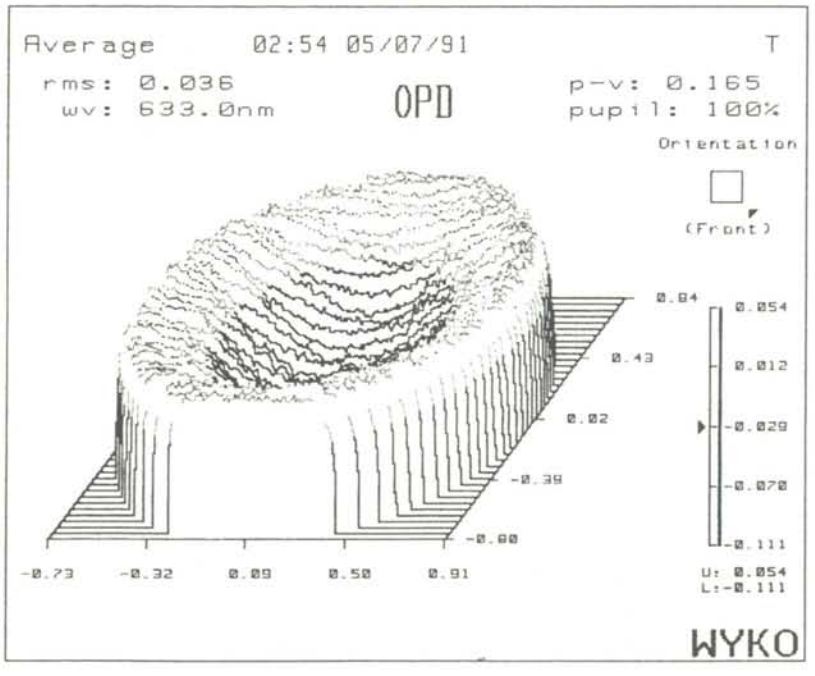
De afwijking van in de praktijk veel voorkomende asferen ten opzichte van de sfeer die het best in de vorm past, is zeer klein. Bij kleine optische diameters is dit niet meer dan 1 µm! Niettemin voldoende om ervoor te zorgen dat de methode voor het sferisch polijsten niet meer bruikbaar is, aangezien de vormnauwkeurigheid op enkele honderdsten van een micrometer nauwkeurig moet kunnen zijn.
Om toch een asferische kromming te kunnen polijsten zijn er verschillende methodes ontwikkeld zoals:

1 Het polijsten met een enigszins flexibele drager.
  Door een juiste slag van de drager te kiezen met een goede verhouding van de slagsnelheid en de omtreksnelheid van het produkt, zie figuur 5A, wordt een asferische vorm verkregen.
2 Het plaatselijk polijsten met een flexibele drager.
  Enerzijds kan met behulp van een kleine drager plaatselijk materiaal weggehaald worden, anderzijds wordt ook wel een lamellendrager gebruikt die in combinatie met methode 1 (maar dan met een eenvoudiger slag) een asferische vorm bewerkstelligt, zie figuur 5B. De vorm van de lamellen en de slag bepalen de uiteindelijke asfeer.
  Deze beide methodes zijn echter vrijwel niet te gebruiken voor matrijsdiameters die in de orde van grootte van 5 mm en kleiner liggen.
3 Het polijsten of slijpen met een stift.
  De eerste mogelijkheid is om door middel van een nauwkeurige x-y-verstelling en een roterende slijpstift een contour in het werkstuk te slijpen, zie figuur 5C.
  Een andere mogelijkheid is een stift met een bepaalde druk op het oppervlak te plaatsen en over een as over het roterende werkstuk te bewegen, waarbij de verandering van de snelheid van die beweging bepalend is voor de verkregen asferische vorm, zie figuur 5D.

Deze laatste technieken hebben het nadeel dat de vorm stapsgewijs verloopt



Figuur 5A-D. Methodes voor het polijsten van een asferische kromming.



Figuur 6. Vlakheidsmeting van een plat vlak ten behoeve van een optisch venster met een diameter van 60 mm. De bereikte vlakheid is 0,02μm rms.

door de plaatselijke aanraking van de drager met het oppervlak. Alhoewel dit effect in het laatste geval, volgens figuur 5D, enigszins genivelleerd wordt.

Toleranties

Bij het bepalen van de nauwkeurigheid waarmee kunststofoptiek gemaakt wordt zijn, zoals reeds gezegd, de matrijs, het materiaal en het produktieproces van invloed.

Hoe groter de afmetingen van een optische component zijn, des te moeilijker is het voor het proces om kleine toleranties te halen. Dit geldt ook voor de metalen matrijs. Wanneer het optische oppervlak van een matrijs onder circa 15 mm komt, zijn kleine toleranties voor asferische optiek moeilijk te realiseren.

Met de huidige polijsttechnieken kan voor sferische krommingen een vormnauwkeurigheid van 1/30 λ rms gehaald worden (circa 0,02 micrometer).

Voor asferische krommingen is deze ongeveer 1/15 λ rms (0,04 micrometer); zie figuur 6.

Het een en ander is niet alleen afhankelijk van de diameter maar ook van de kromtestraal van de optische vorm. De tolerantie op de kromtestraal van sferische krommingen is realiseerbaar tot op 0,002 mm!

Een ander belangrijk aspect is de oppervlakteruwheid van de matrijs. Een gepolijst oppervlak van glas heeft al gauw een ruwheid beneden circa R_a 0,005 μm, terwijl in de conventionele metaal polijsttechniek ruwheden van R_a 0,01 μm zeer laag zijn te noemen.

Met de nieuwe optische polijsttechnieken voor metaal zijn nu ruwheden haalbaar die voor zowel asferische als sferische vormen beneden circa R_a 0,005 μm liggen!

Kortom, voor zowel de vormnauwkeurigheid alswel voor de oppervlakteruwheid is het mogelijk om hoogwaardige optische matrijzen in metaal uit te voeren. Het zal duidelijk zijn dat deze mogelijkheid bijdraagt tot de integratie van sferische en met name asferische kunststofoptiek in het gebruik van optische systemen.

Gebruikte informatie:
- Polgron Optics & Polishing Techniques te Groningen.
- J. Hersbach B.V. gereedschapstalen.
- Balzers N.V. coatingen.
- Schott Nederland B.V.

Ing. J.L. Broers is directeur van Polgron B.V., Groningen

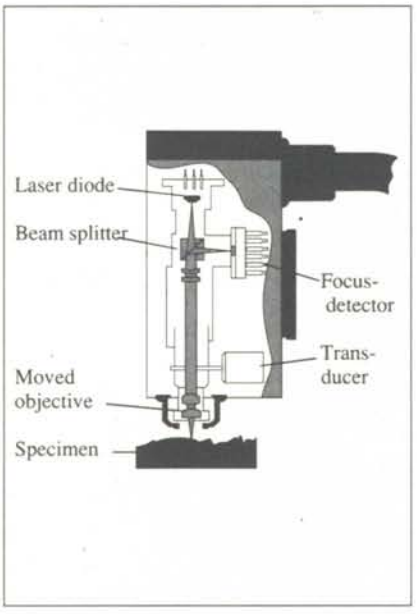
De autofocussensor: een nieuwe benadering van contactloze oppervlakte-metingen

G.J.J.M. Dalessi.

Mede dankzij de ontwikkeling van de zeer compacte halfgeleiderlaser is het mogelijk geworden een aantal nieuwe, *contactloze* autofocussensoren te ontwikkelen zowel voor industriële als voor laboratoriumdoeleinden. Toepassingen worden vooral gevonden op het gebied van de kwaliteitscontrole en beheersing van geavanceerde produktieprocessen.
In tegenstelling tot de conventionele meettasters, kan door het contactloze karakter van de autofocussensor ook aan plastische of zeer krasgevoelige materialen gemeten worden, zonder dat er vervormingen of beschadigingen optreden. Ook de meetfrequentie ligt in vergelijking met deze meettasters vele malen hoger.

De autofocussensor

De autofocussensor is een optische sensor die gebruik maakt van laserlicht om bijvoorbeeld profielen of de oppervlaktestructuur van materialen te meten. De sensor is uitermate geschikt voor het bepalen van de ruwheid van materialen, en is gebaseerd op hetzelfde principe als de aftasteenheid in de Compact Disc speler. De werking van de sensor is schematisch weergegeven in figuur 1, en wordt als volgt beschreven:
De sensor bevat een laserdiode die licht uitzendt met een golflengte in het nabije infrarood ligt (780 nm). Het laserlicht wordt met behulp van een lenzenstelsel op het te bemeten object (specimen) gefocusseerd. In de lichtweg is een bundelsplitser geplaatst die het door de laser uitgezonden licht doorlaat, maar het door het meetobject gereflecteerde licht afbuigt. Op deze manier kan het licht in dezelfde richting opgevangen worden als waarin het uitgezonden werd.
De diameter van de lichtvlek op het meetobject is zeer klein (slechts 1 micrometer), zodat met een zeer goede horizontale resolutie gemeten kan worden.



Figuur 1. Een schematische voorstelling van de autofocussensor.

Het laserlicht wordt door het meetoppervlak al dan niet diffuus gereflecteerd, en door middel van een speciaal voor dit doel ontwikkeld lenzensysteem, aangeboden aan een zogenaamde focusdetector. De reflectiecoëfficiënt van het meetobject mag variëren tussen 2 en 95%. Hieruit blijkt dat aan een zeer groot scala van materialen gemeten kan worden, van zowel sterk licht-absorberende of vrijwel transparante materialen (zwart rubber, glas), tot sterk reflecterende materialen (spiegels, gepolijste oppervlakten).
De focusdetector levert een uitgangssignaal dat aangeeft in welke mate het meetobject uit focus staat, en of het object zich voor danwel achter het focuspunt van het lenzensysteem bevindt. Dit signaal wordt het 'Focus-Error'-signaal genoemd. In de 'in-focus'-toestand is dit signaal dus gelijk aan 0. Als nu door verplaatsing van de sensor of het meetobject de onderlinge afstand verandert, dan wordt aan de hand van dit 'Focus-Error'-signaal het beweegbare objectief (moved objective), door middel van een spoeltje, in verticale richting verplaatst, totdat het focuspunt van de sensor weer exact samenvalt met de meetlocatie op het meetobject. De exacte translatie van de lens wordt gedurende deze meet- en regelprocedure continue geregistreerd door een verplaatsingsopnemer (transducer), die het uiteindelijke meetsignaal oplevert.
Voor de regeling van de positie van het objectief in de sensor en voor de verdere verwerking van het signaal van de verplaatsingsopnemer, worden de sensoren aangesloten op de bijbehorende evaluatie-unit. Deze kan door middel van een interface-kaart aan een computer gekoppeld worden.
Volgens het in bovenstaande beschreven meetprincipe zijn een aantal standaardsensoren ontwikkeld met meetbereiken variërend van 6 micrometer tot 600 micrometer, met respectievelijk een dynamische resolutie van 5 tot 600 nanometer, en een quasi-statische resolutie van 2 tot 100 nanometer. De sensoren kunnen maximaal 600 metingen per seconde uitvoeren. De afstand van de sensor tot het midden van het meetbereik, de zogenaamde 'stand-off', ligt tussen 1 en 15 mm. De afmetingen van de standaard-uitvoering zijn (lxbxh) 40x27x80 mm, en het gewicht bedraagt circa 130 gram.

De meetsystemen

Bij de inzet van autofocussensoren, waarbij zelfs verplaatsingen van enige nanometers gedetecteerd kunnen worden, is het vanzelfsprekend dat aan de bevestiging van de sensor en aan de positionering van het meetobject hoge eisen moeten worden gesteld. Externe factoren, zoals de variatie van de omgevingstemperatuur en de vibratie van de opstelling, hebben duidelijk een grote invloed op de reproduceerbaarheid van de metingen. Daarom is er rond de auto-

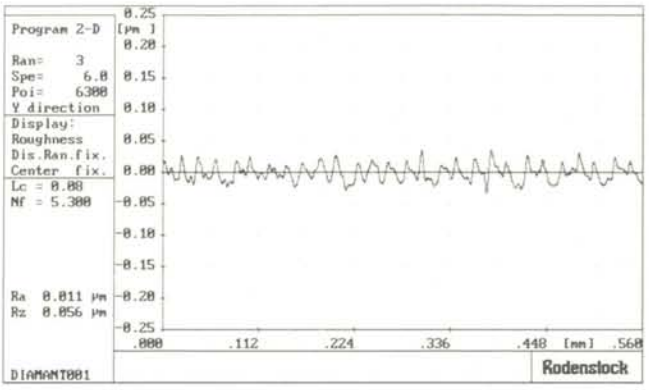
De autofocussensor

focussensor een tweetal meetsystemen gebouwd, waarbij de problemen van de vibratie van de opstelling en de ophanging van de sensor ondervangen worden. Afhankelijk van de toepassing kan gekozen worden voor een twee- of een drie-dimensionaal meetstation:

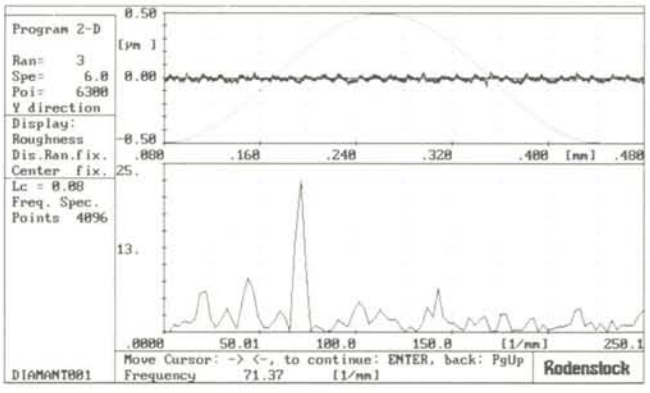
– Het twee-dimensionaal meetstation wordt vooral toegepast bij het bepalen van het profiel van meetobjecten, en bestaat uit een vibratie-gedempt plateau, met daarop een translatie-tafel die een slag van 60 mm heeft. Boven deze translatietafel is de autofocussensor gemonteerd. De afwijking in de positionering in de translatie-richting bedraagt niet meer dan 0,2 micrometer over de gehele lengte. De hoogtevariatie is kleiner dan 10 nanometer.

– Het drie-dimensionaal meetstation is feitelijk een uitgebreid twee-dimensionaal systeem, en bestaat uit een vibratiegedempt plateau, met daarop twee translatietafels die loodrecht op elkaar gemonteerd zijn (x- en y-richting). De hierdoor ontstane meetoppervlakte bedraagt in de standaarduitvoering 300 x 300 mm. De positioneringsnauwkeurigheid van het complete translatiesysteem is beter dan 1 micrometer over het gehele meetoppervlak. Het drie-dimensionale systeem wordt toegepast bij metingen waarbij over een materiaaloppervlak gemeten moet worden, zodat het gehele oppervlak volgens een rasterpatroon afgescand wordt.

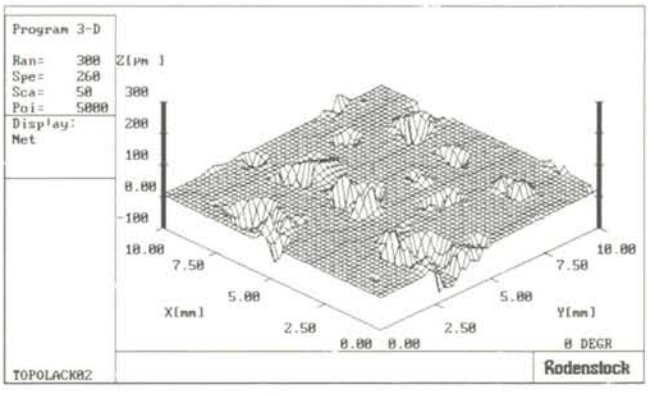
Voorts kunnen de meetsystemen nog uitgebreid worden met een CCD videocamera om de exacte meetpositie in beeld te brengen. Hierdoor kan visueel gevolgd worden op welke locaties de metingen op het object plaatsvinden.
Om de diverse metingen uit te voeren, weer te geven en te analyseren is voor beide meetstations een gebruikersvriendelijk en zeer uitgebreid software-pakket beschikbaar. Vanuit dit software-pakket wordt de meetprocedure geïnitialiseerd en gestart. De meetwaarden kunnen vervolgens desgewenst in een 3D-weergave gepresenteerd worden, en er kunnen diverse statistische berekeningen, "fitting procedures" en Fourier-analyses uitgevoerd worden.
Voor de automatische herhaling van een door de gebruiker te bepalen vaste meetprocedure, is er ook een zogenaamde 'teach-in' mogelijkheid in de software aanwezig. Deze wordt gebruikt om bij vaak voorkomende metingen niet steeds weer opnieuw in te hoeven stellen.



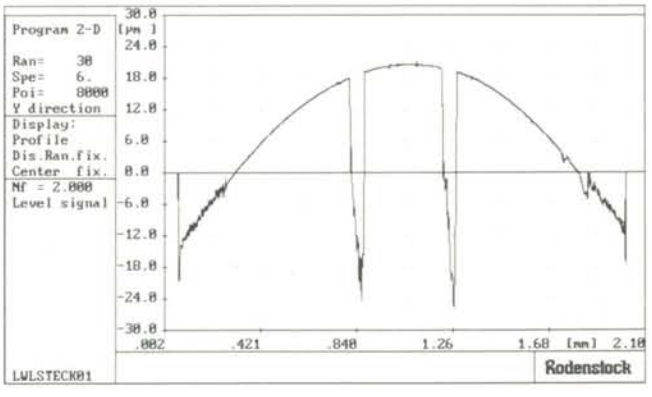
Figuur 2. Het ruwheidsprofiel van een met diamant gedraaid oppervlak.



Figuur 3. De Fourier-analyse van een ruwheidsprofiel.



Figuur 4. Weergave van een lakoppervlak dat beschadigd is door steenslag.



Figuur 5. Het bolvormig uiteinde van een single-mode fiber.

Toepassingen

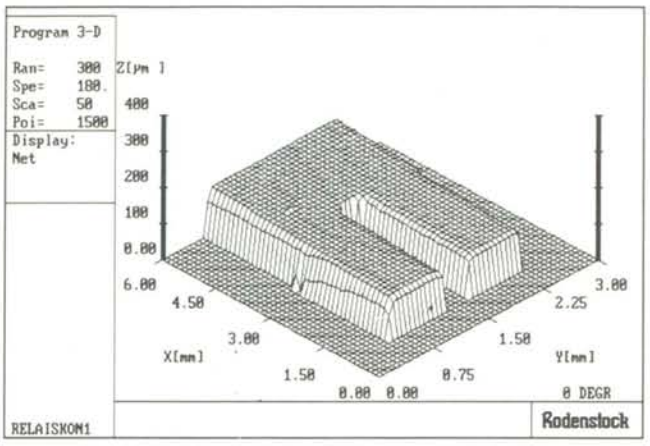
In de loop der tijd hebben zich een aantal vaak voorkomende toepassingen in diverse vakgebieden afgetekend. Enige voorbeelden hiervan zijn:

Het meten aan met diamant bewerkte oppervlakken

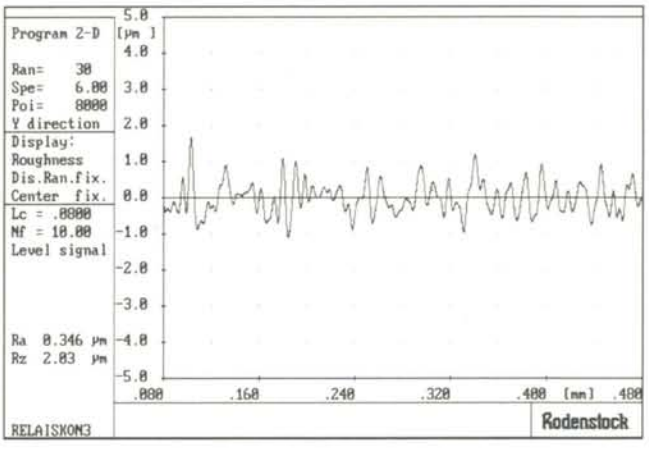
Het draaien van precisie-oppervlakken met behulp van een diamantbeitel is vaak de laatste bewerking in een fijnmechanisch proces. Meestal gaat het hier om de fabricage van optische componenten, waarbij minimalisering van de oppervlakteruwheid van wezenlijk belang is.
De kwaliteit van het eindprodukt wordt onder andere beïnvloed door vibraties in de machines, en door slijtage van de gebruikte gereedschappen. Tot dusver werden deze oppervlakken bemeten met de meettasters, waardoor deze meettechniek eigenlijk alleen geschikt was voor hardmetalen oppervlakken, daar er anders beschadigingen optraden. Met de introductie van de contactloos metende autofocussensor kan nu ook aan minder harde materialen gemeten worden. Het is evenwel mogelijk de sensor aan de machine te bevestigen, zodat direct op de werkplek het werkstuk gecontroleerd kan worden. Op deze manier kan de sensor niet alleen gebruikt worden voor meting van de ruwheid van het werkstuk, maar kan tegelijkertijd de actuele vorm vergeleken worden met de gewenste vorm. Voorts is het met behulp van een Fourier-analyse van het ruwheidsprofiel mogelijk een analyse van te maken van de vibraties die in de machine optreden. In figuur 2 is een ruwheidsprofiel van een met diamant gedraaid oppervlak weergegeven, en figuur 3 toont het resultaat van de Fourier-analyse. In dit voorbeeld blijkt bij een frequentie van 71.4 Hz een maximum in het spectrum op te treden.

Het meten van onregelmatigheden in lakoppervlakken

Het beoordelen van lakprocessen en lakoppervlakken vraagt een evaluatie die zo objectief mogelijk is. Vooral wanneer onregelmatigheden in verticale richting optreden voldoet een visuele inspectie niet meer, en is een topografische meting vereist. Omdat de laklaag gewoonlijk niet al te hard is en dus gemakkelijk beschadigd raakt, is een contactloze meting eigenlijk de enige die voor de inspectie in aanmerking komt. Bovendien kan met de autofocussensor aan zowel gedroogde als aan nog natte laklagen gemeten worden. Zelfs is het mogelijk aan transparante laklagen te meten, mits de reflectie van het lakoppervlak groter is dan die van de onderliggende basislaag.
Figuur 4 toont een duidelijk voorbeeld van een lakoppervlak dat ten gevolge van steenslag beschadigd is.



Figuur 6. Driedimensionale weergave van een veercontact.



Figuur 7. Weergave van de ruwheid van een veercontact.

Het bepalen van de ruwheid en vorm van glasvezelverbindingen

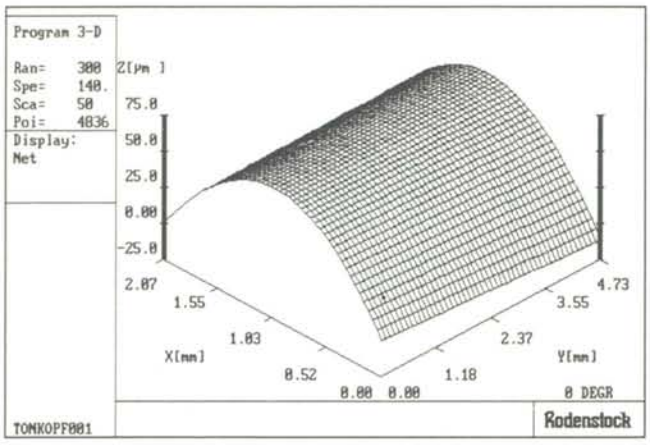
Om ervoor te zorgen dat de transmissieverliezen bij verbindingen van glasvezels tot een minimum beperkt worden, is het van groot belang dat fibers met grote precisie gefabriceerd worden. Factoren, die in dit proces van belang zijn, zijn onder andere:

- de diameter van de plug-pin,
- de concentriciteit van de fiberkern,
- de vorm en ruwheid van het fiber-uiteinde.

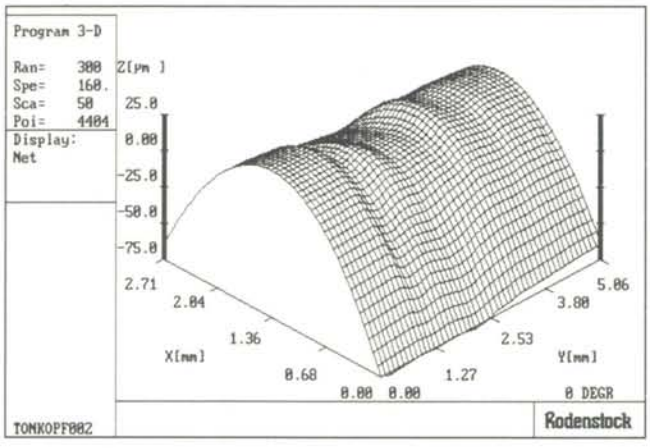
Met name aan de single-mode fibers worden eisen gesteld die in het submicron-gebied liggen. Een normale eindcontrole van de plugverbindingen geeft niet voldoende informatie over de vraag waardoor de verliezen veroorzaakt worden. Daarom is een geometrische controle van de fiber vak gewenst. Met behulp van de autofocussensor kan bijvoorbeeld de vorm en de ruwheid van het fiber-uiteinde gemeten worden, zoals weergegeven in figuur 5. Hier gaat om de bepaling van de bolvorm aan het uiteinde van de fiber.

Bepaling van de ruwheid van glassubstraten voor fotomaskers

Fotomaskers worden gebruikt in de produktie van halfgeleiderschakelingen voor de belichting van fotogevoelige lagen. De maskers bestaan uit een glazen substraat met daarop een (metaal) laag in de vorm van een masker. Om er zeker van te zijn dat de fotogevoelige laag in de belichte delen compleet verwijderd wordt zonder achterlating van een residu, mag de ruwheid van het oppervlak van het substraat niet groter zijn dan circa 1 nanometer. Deze minimum ruwheidswaarden kunnen alleen bereikt worden wanneer het glas in een aantal stappen bewerkt wordt. Na elke stap moet de ruwheid van het substraat tot een zekere minimumwaarde gereduceerd zijn. Tot dusver werd voor de me-



Figuur 8.
Driedimensionale weergave van een nieuwe magnetische leeskop.



Figuur 9.
Driedimensionale weergave van een gebruikte magnetische leeskop.

ting van de oppervlakteruwheid gebruik gemaakt van tasters en interferentie-microscopen. Beide instrumenten zijn duur en niet eenvoudig te bedienen. Met behulp van de autofocussensor kan eenzelfde precisie bereikt worden, waarbij de meting eenmaal voorafgegaan wordt door een referentiemeting aan een substraat met een bekende ruwheidswaarde. Vervolgens kan een betrouwbare meting uitgevoerd worden, op alle oppervlakten en in elk produktiestadium.

Bepaling van de ruwheid van relaiscontacten

De kwaliteit van het contact van een relais is afhankelijk van de ruwheid van de beide contactveren. Als de ruwheid hiervan een zekere waarde overschrijdt, zijn er feitelijk maar een klein aantal contactpunten tussen de veren. De contactweerstand en de kans op corrosie van de veren neemt hierdoor substantieel toe. Ook hier werd tot dusver veel gebruik gemaakt van de meettaster, die steeds weer opnieuw op elke veer aangebracht moest worden. Met gebruik van de contactloos metende autofocussensor kan zeer snel een driedimensionaal beeld van een relaiscontact gevormd worden, en kunnen langere strips met veren snel en doorlopend bemeten worden; zie de figuren 6 en 7.

Bepaling van de slijtage van magnetische leeskoppen

Magnetische leeskoppen worden gebruikt in bandrecorders, cassetterecorders en tape-streamers. De mate van slijtage van de leeskoppen is onder andere afhankelijk van het oppervlaktemateriaal en de druk van de magnetische band. Ook voor de slijtagebepaling kan de autofocussensor uitkomst bieden door hiermee een driedimensionale meting van het oppervlak uit te voeren. In de figuren 8 en 9 zijn de resultaten van zo'n meting weergegeven, waar een duidelijk verschil herkenbaar is tussen een nieuwe en een gebruikte magnetische leeskop. De diepte en de vorm van de slijtagesporen kunnen met de autofocussensor eenvoudig en snel bepaald worden.

Dikke-film en SMD technologie

- Controle van sporenpatronen,
- Opsporen van kratervorming bij multi-layers,
- Meten van de positie van componenten,
- Controle en regeling van zeefdrukparameters.

Conclusies

De in dit artikel beschreven meettoepassingen van de autofocussensor zijn slechts een greep uit een groot aantal mogelijke toepassingen. Het is duidelijk dat met de komst van dit type sensor veel nieuwe metingen mogelijk worden, en een aantal conventionele meettechnieken verbeterd kunnen worden, net name wat betreft kostprijs, kwaliteit en snelheid.

Ing. G.J.J.M. Dalessi,
Applied Laser Technology
De Hommelberg 3, P.O.B. 2690
6026 ZH Maarheze
Telefoon: 04959 - 3300.
Fax: 04959 - 1153.
Vertegenwoordigers voor de Benelux van de Firma Rodenstock, leveranciers van de hier beschreven apparatuur.

Gevoelige robothand

Chr. Schwartzinger e.a.*

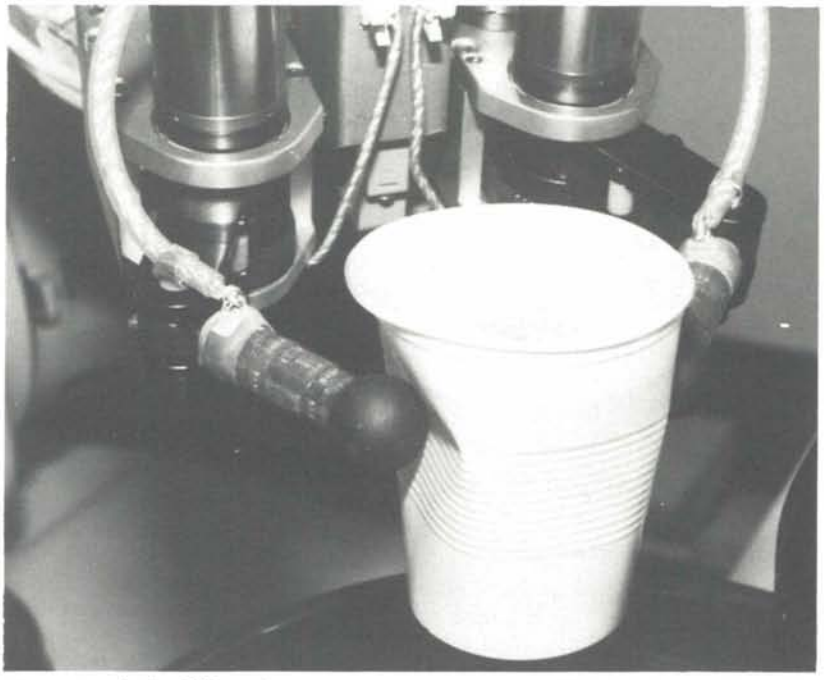
In het bijzonder voor toepassing in de ruimtevaart is door de firma 'Österreichische Raumfahrt und Systemtechnik' een universele grijper met twee vingers ontwikkeld voor robots. Zonder optische sensoren wordt met behulp van rekstroken richting, grootte en aangrijpingspunt van de grijpkracht bepaald. Nasturen van de grijpkracht bij een veranderende uitwendige kracht is mogelijk.

Inleiding

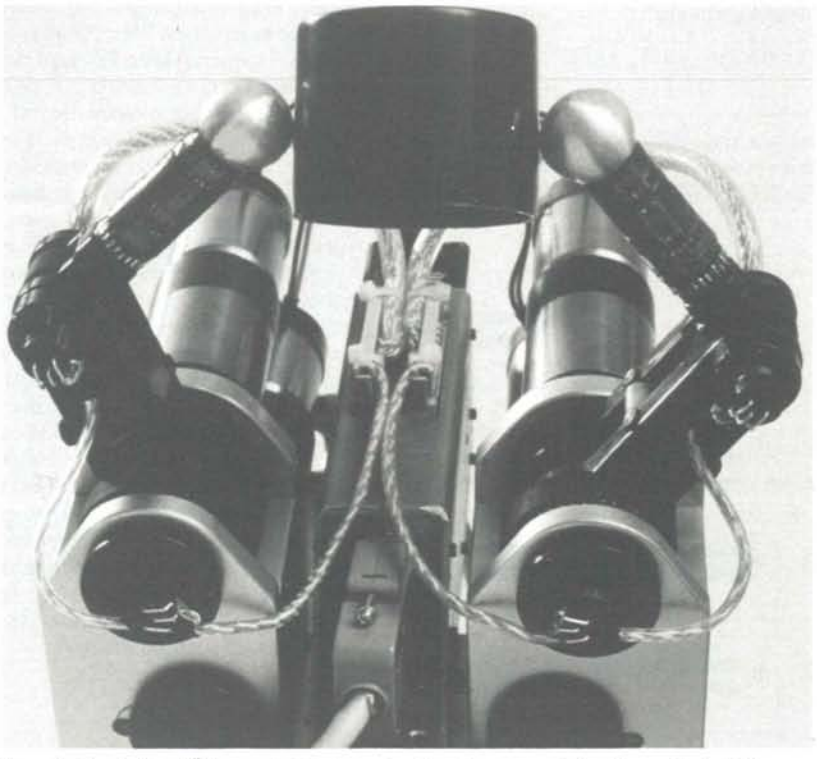
De vrij te programmeren sturing van een robot maakt het mogelijk dat deze verschillende taken kan vervullen zonder dat er eerst mechanische wijzigingen nodig zijn. Echter, voor de grijper van een robot is de huidige techniek nog niet zo ver, zodat voor de meeste manipulatie- en montagetoepassingen de grijpers speciaal moeten worden geconstrueerd. Er zijn wel snelwissel-grijpersystemen en modulair opgebouwde grijpers. Maar het wisselen kost altijd tijd en meer grijpers betekenent ook meer gewicht. In de ruimtevaart, waarvoor de hier beschreven grijper werd ontworpen, is echter het besparen van gewicht een eerste eis. Bij het ontwerp is gekozen voor detectie zonder optische sensoriek – vandaar de projectnaam 'Ödipus', naar de blind geworden mythologische figuur. Het kunnen grijpen en vasthouden van voorwerpen is gebaseerd op het vaststellen en beheersen van de daarbij in de robotvingers optredende krachten. In feite zijn de mogelijkheden van onze vingers nagestreefd. In figuur 1 is te zien hoe de hand tussen twee vingertoppen een gevuld plastic bekertje optilt.

Uitvoering

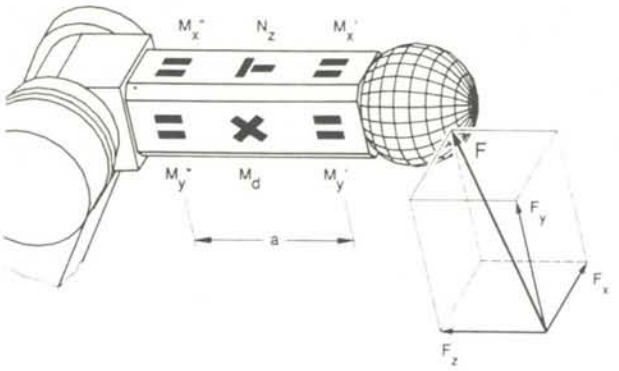
Op de bolvormige tip van het eindlid van een grijpervinger van de robothand (figuur 2) kunnen krachten in willekeurige richtingen aangrijpen. Zij veroorzaken zowel in het eindlid als in het eerste lid, waarop het eindlid draaibaar is bevestigd, buig- en torsiebelastingen en trek- en drukbelasting in de langsrichting. Hoewel de momenten van alle krachten het grootste zijn in het eerste lid, worden toch de kleinere krachten gemeten die optreden in het eindlid; dat de meetleidingen over een draaipunt moeten worden gevoerd, wordt hierbij voor lief genomen. Dit omdat door de variabele stand van het eindlid ten opzichte van het eerste lid de gezochte kracht- en momentverhoudingen in het eerste lid moeilijk zijn te ontrafelen.



Figuur 1. De robothand Ödipus tilt tussen twee vingertoppen een gevuld plastic bekertje op (foto ORS).



Figuur 2. De robothand Ödipus met zijn bolvormige vingertoppen en rekstrookjes op de eindleden van de vingers (foto ORS).



Figuur 3. Plaatsing van de rekstrookjes voor het meten van de langskracht N en de momenten M in de eindleden van een grijpervinger. Ontbinding van een willekeurige op het eindlid werkende kracht in een toegevoegd x-y-z- coördinatenstelsel.

Trek-druk-spanning:

$$\sigma_N = f(F_z) = \frac{1}{A}[F_z]$$

Buigspanningen in het y-z-vlak:

$$\sigma'_{bx} = f(M'_x) = \frac{1}{W_x}[yF_z + zF_y]$$

$$\sigma''_{bx} = f(M''_x) = \frac{1}{W_x}[yF_z + (z+a)F_y]$$

Buigspanningen in het x-z-vlak:

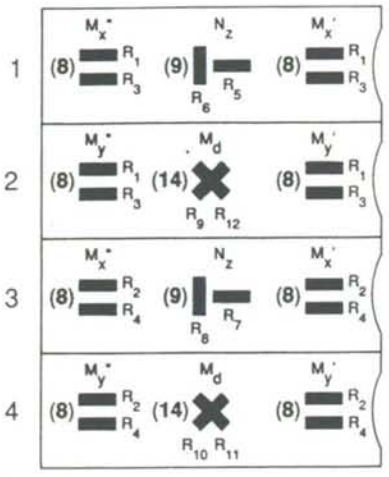
$$\sigma'_{by} = f(M'_y) = \frac{1}{W_y}[xF_z + zF_x]$$

$$\sigma''_{by} = f(M''_y) = \frac{1}{W_y}[xF_z + (z+a)F_x]$$

Torsiespanning:

$$\tau = f(M_d) = \frac{1}{W_p}[xF_y + yF_x]$$

Figuur 4. Spanningen die door de in figuur 2 aangegeven componenten van de kracht F ontstaan in het eindlid. A oppervlak doorsnede; W_x, W_y, W_p = weerstandsmomenten.

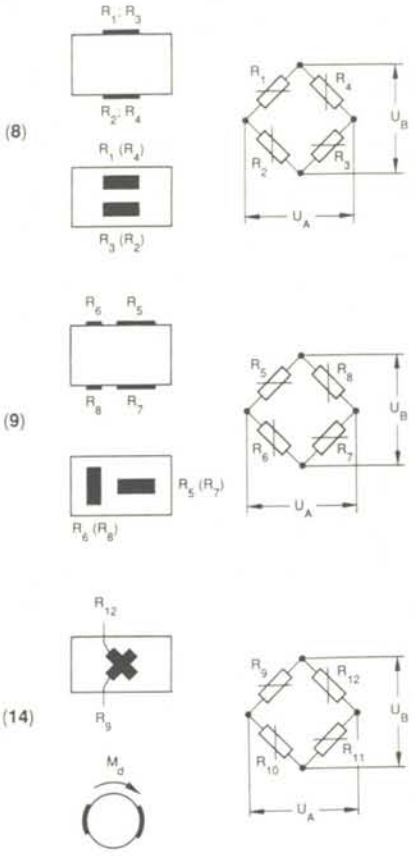


Figuur 5. Plaats- en meetrichting van de op het eindlid van de vinger aangebrachte rekstroken, afgewikkeld voorgesteld.

Figuur 3 schetst de plaats van de rekstrookjes op het eindlid, waarop een willekeurig gekozen kracht F werkt. Deze kracht oefent in het lid een langskracht N_z uit, buigmomenten M om de x- en y-coördinaten en torsie om de langsas van het lid. Doordat er zes onbekende grootheden zijn in de robothand, te weten de krachten F_x, F_y en F_z, zowel als de coördinaten x, y en z, dienen zes rekstrookbrugschakelingen te worden toegepast. Deze dienen zo aangebracht te zijn dat er vergelijkingen ontstaan die onafhankelijk van elkaar gedefinieerd zijn, zie de zes vergelijkingen in figuur 4. Figuur 5 laat het afgewikkelde patroon van de rekstrookjes op het eindlid zien. De brugschakelingen van de respectievelijke rekstrook-combinatie zijn in figuur 6 weergegeven. Brugschakelingen (8) meten de buigmomenten M_b in het x-z-vlak en in het y-z-vlak, brugschakeling (9) meet de normaalkracht N_z in de richting z en de schakeling (14) meet het torsiemoment M_d. Het rekstrookpatroon is zodanig gekozen, dat het signaal van elke brugschakeling alleen afkomstig is van de soort belasting die de betreffende brug moet meten. Zo meten bijvoorbeeld de bruggen (8) alleen buigspanningen. Volledige temperatuurcompensatie is toegepast. De aanname dat elke schakeling uitsluitend op één bepaalde belasting (kracht of moment) reageert, is een illusie. Geringe afwijkingen bij het positioneren van de rekstroken, toleranties in de geometrie van het eindlid en materiaal-inhomogeniteit betekenen onvoorziene stoorinvloeden door overspreken. Zij kunnen echter worden gemeten. De daarbij verkregen gegevens worden gebruikt voor een correctiesysteem. Het wordt ontkoppelen genoemd en gebeurt met behulp van een in eigen huis ontwikkeld software-moduul.

Regelprincipe

Om bij het grijpen een bepaald verloop van de bewegingen te bereiken, respectievelijk een gedefinieerd uitgeoefende



Figuur 6. Schakeling van de rekstroken.
(8) Schakeling voor meten buigmomenten.
(9) Schakeling voor het meten van de langskracht.
(14) Schakeling voor het meten van het torsiemoment. De getallen tussen haakjes corresponderen met de in figuur 5 getoonde brugschakelingen.

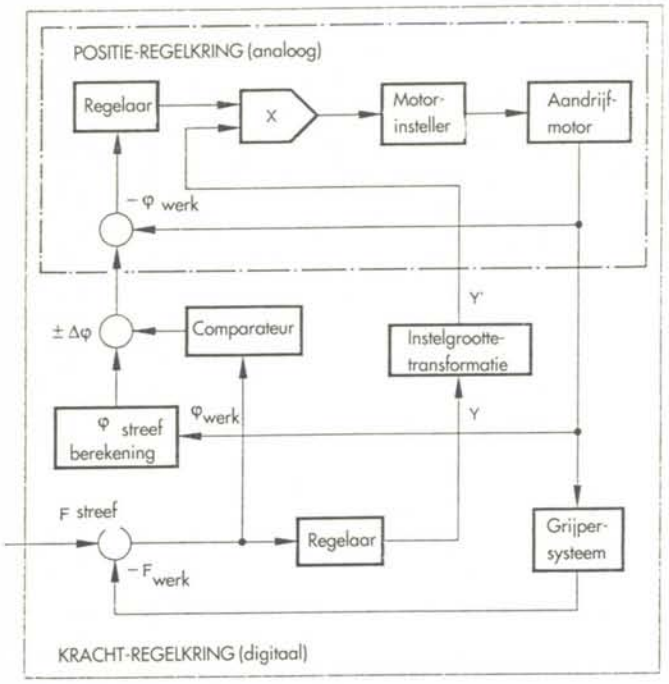
kracht, is het noodzakelijk zowel de snelheid als de positie van de grijper-vingers te regelen. Om het geheel binnen redelijke proporties te houden, is voor de regelstructuur het volgende concept opgesteld:

- Positieregeling: vergelijken van de ingestelde met de werkelijke waarde van de positie en lineaire positieregeling (analoog).
- Krachtregeling: vergelijken van de ingestelde met de werkelijke waarde van de kracht en lineaire krachtregeling (digitaal); hieraan is een tweepuntsregelaar vermenigvuldigend parallel geschakeld. Over de gehele krachtregeling is een positieregeling geschakeld.

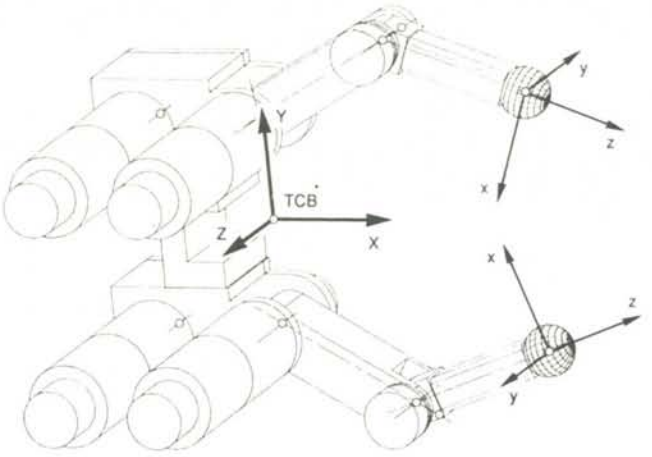
Bij de krachtregeling wordt het genereren van gedefinieerd aan het object optredende krachten tot een positieregeling teruggebracht.

Het uitgevoerde principe van de krachtregeling is bijgevolg te zien als een digitale krachtregeling met daar overheen een analoge positieregeling.

Het blokschema van de regeling geeft figuur 7 en kan als volgt worden toegelicht:

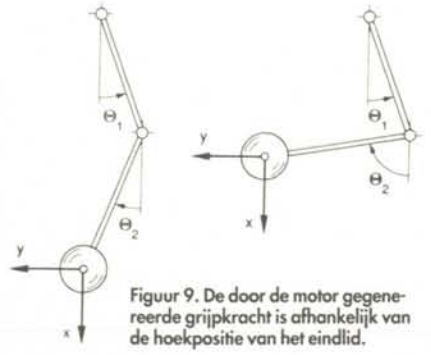


Figuur 7. Blokschema van de toegepaste krachtregeling: Dit is een analoge regeling van de positie met daarovereen een digitale krachtregeling.



Figuur 8. Het van de TCP van de grijper afgeleide x-y-z-coördinatenstelsel, waarop de op de eindleden werkende krachten en momenten worden betrokken.

Op het ogenblik van aanraken wordt de werkelijke positie van de grijper vastgehouden. Gelijktijdig geschiedt het bepalen van de op het grijpersysteem werkende krachten F_x, F_y, F_z, respectievelijk momenten M_x, M_y, M_z, betrokken op een van het Tool Centre Point (TCP) van de grijper afgeleid coördinatensysteem, getoond in figuur 8. Dit TCP is een, door de robotontwikkelaar, gedefinieerd punt waar de plaats van het coördinatenstelsel 0 is. De overdrachtsfunctie tussen motorspanning en gegenereerde grijpkracht bezit naast een afhankelijkheid van de tijd, respectievelijk frequentie, ook een significante afhankelijkheid van de stand, respectievelijk vorm, van het grijpersysteem. Hierdoor is het noodzakelijk geworden de instelgrootte als adaptieve grootheid te behandelen, en wel afhankelijk van de geometrische vorm. Dit is in te zien aan de hand van figuur 9. De overdrachtsverhouding tussen de motorspanning en bijvoorbeeld F_y in de linker tekening, is minder stug dan in de rechter tekening. Het omgekeerde geldt voor de kracht F_x. De proefondervindelijk verkregen, toegevoegde regelparameters zorgen voor mechanische soepelheid bij verschillende hoekinstellingen van het grijpersysteem. De op deze wijze berekende grootte van de instelsignalen wordt direct naar de snelheidsingang van de vermenigvuldiger in de positie-regelkring gevoerd. Het doorslaggevende voordeel van deze quasi-gedeelde, digitale krachtregeling ten opzichte van een lineaire digitale krachtregeling is het gevoeliger en sneller reageren op regelafwijkingen.



Figuur 9. De door de motor gegenereerde grijpkracht is afhankelijk van de hoekpositie van het eindlid.

Algemeen

De beschreven rekstrookapplicatie maakt deel uit van een totale robotsturing, zie schema figuur 10.

Een voorwerp kan hiermee worden herkend door zijn:

- grootte – positie van de vingers,
- gewicht,
- elastische vervormbaarheid – vergelijk een tennisbal met een honkbal.

Het project beperkte zich tot een tweevinger-grijper met vier vrijheidsgraden. De verkregen ervaringen zijn tezijnertijd te gebruiken bij een drievinger-grijper, een gecompliceerdere variant met negen vrijheidsgraden. Het gewicht, inclusief elektronica is door het gebruik van aluminium en miniatuur-gelijkstroommotoren niet meer dan 6,5 kg. De speling is, niettegenstaande de grote overbrengingsverhouding, klein gehouden door het gebruik van planeetwielen en tandriemen. De motor voor het eerste gewricht is in het tweede lid gelagerd, daarmee is voldaan aan de eis van ontkoppeling van de aandrijving en een, ondanks de sensoren, zo slank mogelijke vinger. De spanningsversterker voor de rekstrook-signalen is tussen de motoren geplaatst om lange, storingsgevoelige leidingen te vermijden. De beperkingen van conventionele grijpers worden bij de ORS-grijper vermeden. Het grijpen kan zowel symmetrisch als asymmetrisch en daardoor excentrisch geschieden. De richting van het openen en sluiten van de grijper is binnen zekere grenzen te variëren. Evenzo is het maximale bereik van de greep aanmerkelijk vergroot. Door het gebruiken van verschillende software-programma's kan Ödipus snel worden aangepast aan geheel verschillende opdrachten.

Figuur 10. De vingerbesturing vormt een aanvulling op de robotbesturing.

*Redactionele samenvatting en vertaling door H. Heubers van het artikel "Dehnungsmesstreifen als Sensoren' in 'Messtechnische Briefe' 1991 nr. 1, door Dipl. Ing. Chr. Schwartzinger e.a., Österreichische Raumfahrt- und Systemtechnik (ORS) Ges.m.b.H., Wien.

Deze firma heeft de door hun ontwikkelde robothand met de daarbij behorende software en alle nodige know-how voor belangstellenden beschikbaar (tel.: 0943-1-588-140).

Wij bedanken graag de heer ing. L. Daas van de firma J.L. Bienfait Aerdenhout, importeur van de door ORS gebruikte HBM-rekstrookjes, voor zijn hulp ondervonden bij het totstandkomen van deze bewerking.

Geïntegreerde optica voor sensoren en actuatoren

Dave Blank en Alfred Driessen

De afgelopen jaren heeft de toepassing van licht in de telecommunicatie- systemen, computers en sensoren een grote vlucht genomen. Zo heeft een optische component zoals de laser zijn weg gevonden in ons dagelijks gebruik en vindt veel informatietransport plaats door middel van lichtpulsen door glasvezels. Onder andere bij dit transport en routeren zijn elektro-optische of opto-optische componenten nodig. Ook talloze sensortoepassingen zijn gebaseerd op het verschijnsel licht. Dit artikel geeft, naast de algemene fysische kenmerken van licht, enkele voorbeelden van mogelijke toepassingen van geïntegreerde optica in sensoren en actuatoren. Het artikel is hoofdzakelijk gebaseerd op gepubliceerd werk van dr. A. Driessen en dr. P.V. Lambeck van de vakgroep Transductie Techniek en Materiaalkunde van de Universiteit Twente en is in samenwerking met hen tot stand gekomen.

Het verschijnsel licht

Voor het verklaren van de werking van geïntegreerde optica moeten we het verschijnsel licht nader beschouwen. In het begin van de achttiende eeuw was het Isaac Newton die beredeneerde dat licht zich gedroeg als ware het kleine deeltjes. Meer dan een eeuw later werd duidelijk dat deze kleine deeltjes geen massa en lading bezitten. Deze zogenoemde fotonen hebben een energie van enkele elektro-volt (eV). Op complementaire manier kan men licht beschrijven als elektro-magnetische golven $E(\omega) = E_0\sin(\omega t)$ met zeer hoge frequentie $\omega = 5.10^{14}$ Hz (500 THz) de intensiteit I van het licht is dan evenredig met E^2. De golflengte in vacum is daarbij in de grootte orde van micrometers. In figuur 1 staan de energie, frequentie en golflengte van een foton weergegeven.

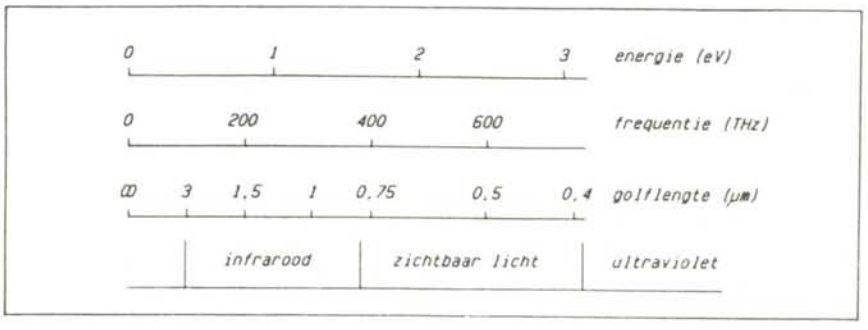
Geïntegreerde optische componenten maken gebruik van deze zeer hoge frequenties, de uitstekende overdrachts- en lichtgeleidingseigenschappen van optische materialen en hebben kleine afmetingen in de orde grootte van de golflengte van het licht. De lichtgeleidende glasvezel is een bekend voorbeeld. De glasvezel is een goedkope dunne vezel met een diameter van het optisch relevante deel van zo'n 5 tot 100 micrometer en laat over honderden kilometers transport van informatie toe. De demping ligt in het nabije infrarood lager dan 0,2 dB/km.

Voor telecommunicatie over lange afstand via optische glasvezels zijn sinds kort glasvezelversterkers commercieel beschikbaar die volledig optisch werken. In de praktijk wordt het signaal vanuit het elektrisch domein omgezet naar het optisch domein, vervolgens getransporteerd, waarna het signaal weer naar het elektrisch domein wordt omgezet, versterkt eventueel verdeeld om daarna weer als optische puls overgezonden te worden om uiteindelijk bij de eindgebruiker weer in het elektrisch domein te worden gebruikt. Het frequentiebereik van elektronische componenten is veel lager dan die van de mogelijke modulatie van het gebruikte licht (tot boven Tbit/sec). Boven enkele GHz wordt het steeds moeilijker en kostbaarder om betrouwbare elektronische schakelingen te realiseren. Ziehier het belang van optisch actieve elementen, die de volle bandbreedte van het optisch signaal kunnen verwerken. Voordat echter optisch actieve elementen op uitgebreide schaal toegepast kunnen worden, moeten vooral materiaalproblemen opgelost worden. Het soort materiaal dat hiervoor nodig is moet optisch niet-lineair zijn, dat wil zeggen zijn optische eigenschappen dienen door licht beïnvloedbaar te zijn. Een voorbeeld van niet-lineair optisch materiaal zijn de varilux-brilleglazen die bij zonlicht donkerder worden. Hierbij is het effect groot, maar zeer traag. Men is juist op zoek naar materialen, waarvan de niet-lineariteit zowel groot als ook snel is.

Voor het vervaardigen van optische sensoren en actuatoren maakt men gebruik van optische glasvezels en/of planaire dunne-film technologie (optisch geïntegreerde schakelingen). Beide technieken zijn gebaseerd op vergelijkbare principes en zijn daarmee ook gedeeltelijk verwisselbaar. In tabel 1 staat een aantal voorbeelden van optische transducenten (sensoren en actuatoren) weergegeven. In dit artikel zullen we vooral de mogelijkheid van het toepassen van geïntegreerde optica dat wil zeggen planaire structuren bekijken.

De geïntegreerde optica

In een geïntegreerd optisch circuit plant het licht zich voort in een lichtgeleider in de vorm van een kanaal niet groter dan enkele fm in doorsnede ($f=10^{-15}$). Voor het maken van dergelijke geïntegreerde optische lichtgeleiders is een technologische infrastructuur nodig vergelijkbaar aan die voor de elektronische chiptechnologie. Binnen een stofarme ruimte wordt met behulp van depositietechnieken de gewenste meerlagenstructuur vervaardigd. Deze lagen worden met standaard submicrometer-lithografie en etsprocessen lateraal gestructureerd. De

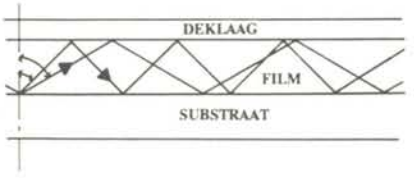


Figuur 1. Energie, frequentie en golflengte van een foton.

OPTISCHE TRANSDUCENTEN (sensoren en actuatoren)		
ingangs-domein	uitgangs-domein	voorbeelden
optisch	optisch	frequentieverdubbelaar, logicapoort
elektrisch	optisch	laser, LED, modulator, luminiescentie-display
optisch	elektrisch	fotodiode, sensor
chemisch	optisch	sensor
optisch	chemisch	photochemische moleculaire devices
mechanisch	optisch	(micro)deflector, schakelaar
optisch	mechanisch	sensor
thermisch	optisch	optische thermometer
optisch	thermisch	bolometer
optisch	akoestisch	foto-akoestische detectie
magnetisch	optisch	data-opslag (lezen/schrijven)

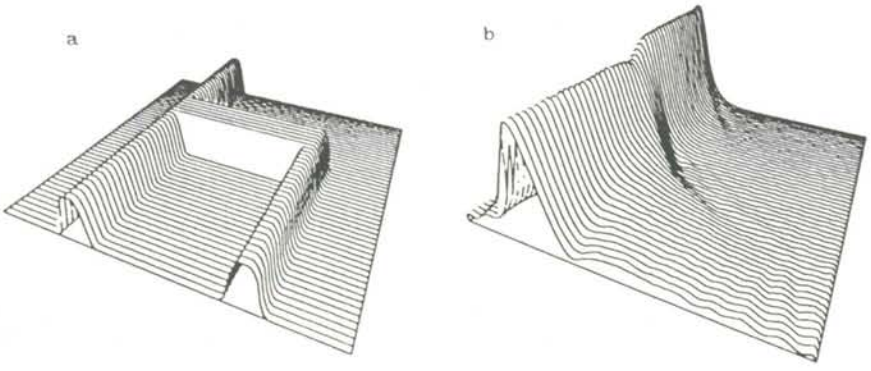
Tabel 1

meerlagen-structuur bevat minstens een zogenaamde kernlaag (dikte 0,5 - 5 fm) die aan boven- en onderzijde omgeven is door een laag met een lagere brekingsindex. Het verschil in brekingsindex zorgt ervoor dat die lichtstralen die onder een voldoend grote hoek vanuit de kernlaag op de grensvlakken invallen volledig worden gereflecteerd. De lichtstralen zijn als het ware opgesloten tussen de lagen met lagere brekingsindex. In Twente wordt veel aandacht besteed aan het maken van SiO_xN_y-lagen. Deze lagen bieden de unieke mogelijkheid de brekingsindex in te stellen tussen 1,46 en 2,0, afhankelijk van de waarde van x en y. Door ook in laterale richting de (effectieve) brekingsindex te veranderen, door bijvoorbeeld met behulp van etstechnieken een strip te maken, ontstaat er een kanaal waarbinnen de lichtbundel zich voortplant. Een dergelijke strip is te vergelijken met een platgeslagen en op een substraat vastgezette glasvezel. Een lichtstraal zal zich zig-zag door het kanaal in de sandwichstructuur voortplanten waarbij voor sommige invalshoeken constructieve interferentie en daarmee weinig verzwakking plaatsvindt (de zogenaamde modi), zie figuur 2. Iedere mode wordt gekarakteriseerd door een propagatiekonstante ß. Als de elektrische dan wel magnetische veldvector van de lichtgolf in het vlak van de lagenstructuur ligt, spreekt men van respectievelijk een TE- en TM-mode. Net als bij de glasvezel volgt het licht het kanaal ook in (niet te scherpe) bochten, kan het gesplitst worden of juist weer bij elkaar gebracht worden. Inmiddels zijn geavanceerde simulatieprogrammatuur voor componenten en ontwerpprogrammatuur voor het technisch realiseren van eenvoudige structuren ontwikkeld. Als voorbeeld is de simulatie van een splitsing in een optische geleider weergegeven in figuur 3. Deze splitsing is op een naïeve manier analoog aan dat van een elektronische splitsing nagebootst. computersimulatie laat de ontoereikendheid van deze benadering zien. De tweede tak van de planaire structuur wordt gewoonweg geïgnoreerd, het licht gaat grotendeels rechtdoor, de rest verspreidt zich op een ongecontroleerde wijze over de chip. De berekende spreiding van het licht geeft duidelijk het probleem aan waarmee we in het geval van optisch geïntegreerde circuits te maken krijgen.



Figuur 2. De verschillende modi in een golfgeleider.

Willen we de mogelijke toepassing van geïntegreerd optische sensoren beter begrijpen dan moeten we de veldverdeling van het elektro-magnetisch veld (E) nader bekijken. Het licht plant zich voor elke golflengte voort in een beperkt aantal patronen: de reeds eerder genoemde geleide modi. Het veldprofiel en de voortplanting van deze modi zijn afhankelijk van de geometrie en de diëlektrische constanten van de lagenstructuur. Uit toepassing van de relevante natuurkundige vergelijkingen (de Maxwell-vergelijkingen) volgt dat een klein gedeelte van de lichtenergie zich buiten het gebied met de hoge brekingsindex (de kernlaag of kanaal) voortplant, zie figuur 4. Hoewel de lichtenergie exponentieel met de afstand tot het grensvlak afneemt kan het zich tot enkele fm van dit grensvlak uitspreiden. Men noemt dit het evanescente veld. Het houdt in dat optische eigenschappen in de omgeving van de kernlaag, zoals substraat en toplaag, van invloed kunnen zijn op de mode-parameters. Bij het bouwen van optische sensoren dient men daarom met de invloed van substraat en toplaag rekening te houden of, indien mogelijk, juist gebruik ervan te maken door de toplaag bijvoorbeeld zo te kiezen dat zijn optische eigenschappen door de te meten parameter beïnvloed kunnen worden. De mode-parameter wordt met slim ontworpen structuren (CAD) in een intensiteit en daarna in een elektrische spanning omgezet. Vaak vereist het sensor-

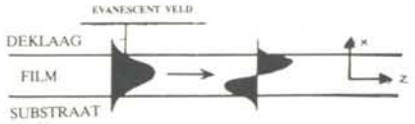


Figuur 3. Computersimulatie van een splitsing in een planaire optische golfgeleider:
a: geometrie van de golfgeleider b: berekende veldverdeling

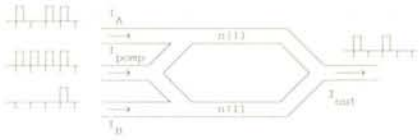
principe licht van een bepaalde frequentie of maar één polarisatierichting. In de lichtweg kunnen daarom na de lichtbron, vaak een gewone LED, op het IO-circuit de hiervoor nodige (geïntegreerde) optische functies aangebracht worden.

Voorbeelden van geïntegreerde optische sensoren.

Geïntegreerde optische sensoren zijn vaak een geminiatuurde versie van reeds bestaande meetsystemen, zoals de Michelson- en de Mach-Zehnder interferometer. De eerst genoemde interferometer is toegepast (in IO-vorm) voor het zeer nauwkeurig meten van verplaatsingen met een bereik van 0-20 cm en een resolutie van 0,1fm. Ze is een van de weinige geïntegreerde optische sensoren die reeds commercieel verkrijgbaar zijn. Het principe staat aangegeven in figuur 5. Een bundelsplitser stuurt de aangeboden lichtbundel in twee richtingen. Beide bundels worden gereflecteerd en bij hun terugkeer weer door diezelfde splitser samen en tot interferentie gebracht. De intensiteit van de resulterende lichtbundel welke door de fotodetector gemeten wordt hangt af van het verschil in weglengte welke beide lichtbundels doorlopen hebben. Stellen we het verschil in optische weglengte gelijk aan l, dan wordt de resulterende intensiteit I_{uit} gegeven door:



Figuur 4. De veldverdeling van geleide modi, respectievelijk 0e en 1e orde mode van een planaire lichtgeleider.



Figuur 6. Niet-lineaire Mach-Zehner-interferometer als logisch exclusieve-OR-poort.

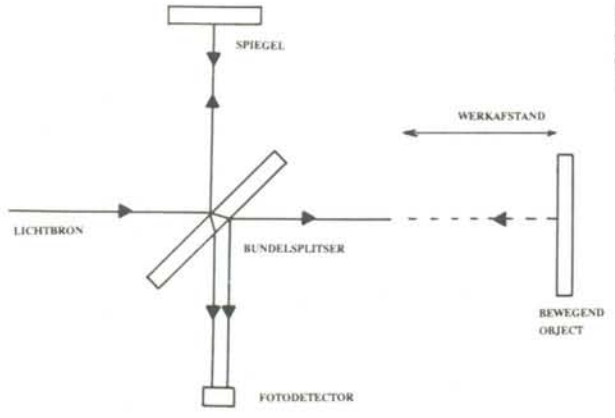
$$I_{uit}/I_{in} = {}^{1}/_{2}\cos^2(2\pi.\Delta l/l)$$

waarbij l de golflengte van het gebruikte licht is. In de uiteindelijke versie worden een faseverschuiver en bundelverdeler aangebracht om zodoende de richting van de verplaatsing te meten. In het geïntegreerde optisch circuit zorgt de lens voor de conditioneringsfunctie, de rest zorgt voor de uitlezing. De lens, spiegel, fase-verschuiver en bundelverdeler zijn alle gerealiseerd door lokaal de (effectieve) brekingsindex te verhogen. Deze plaatselijke verhoging van de brekingsindex is in feite niets anders dan het al dan niet weghalen van een toplaag. In dit circuit is het licht alleen in de richting loodrecht op het substraat opgesloten en worden er geen kanaalgeleiders gebruikt. Het te meten object bevindt zich buiten het circuit, evenals de elektronische signaalverwerking.

De Mach-Zehnder interferometer kan wegens zijn gevoeligheid in het detecteren van kleine brekingsindexverschillen uitstekend dienst doen als optische sensor. Hiervoor wordt op een van de takken een laag aangebracht die voor een bepaalde grootheid gevoelig is en waarvan hierdoor de brekingsindex verandert. De sensor maakt gebruik van het feit dat er een evanescent veld aanwezig is. In dit type sensoren vindt de modulatie plaats in de lichtgeleider en wordt daarom ook een intrinsieke sensor genoemd. Met deze sensor is het ook mogelijk om zeer kleine verplaatsingen van een lichaam in het evanescente veldgebied te meten. Zo'n verplaatsing is immers equivalent met een lokale verandering van de diëlektrische constante.

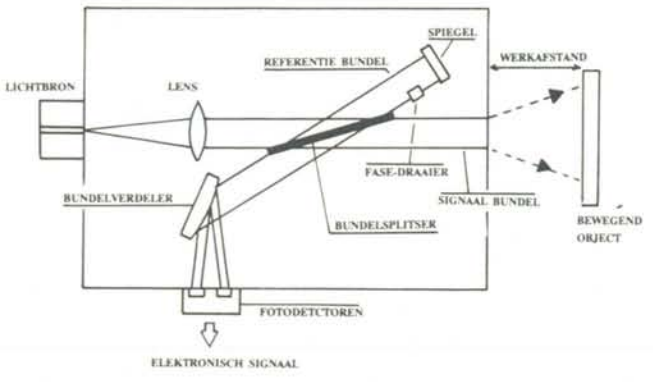
De M-Z- interferometer is een voorbeeld van een device, dat met geschikte niet-lineaire materialen niet alleen als sensor maar ook als versterker en logische poort kan worden gebruikt. In figuur 6 staat een schematische weergave van de interferometer als logische poort. Het "pomp"-lichtsignaal met willekeurige intensiteit en golflengte wordt gesplitst en weer samengebracht. De beide takken zijn zo ontworpen dat bij samenkomst beide bundels een faseverschil van precies π hebben. Het resultaat is volledige uitdoving: de intensiteit aan de uitgangspoort is gelijk nul. Wordt er echter een signaal bij A of B aangeboden, dan wordt de intensiteit in de betreffende tak hoger, waardoor ter plaatse ten gevolge van het niet-lineaire karakter van het materiaal de brekingsindex verandert. Hierdoor is het faseverschil tussen de twee takken aan de uitgangspoort niet meer gelijk π, waardoor er een uitgangssignaal ontstaat. Wordt aan beide ingangspoorten A en B hetzelfde lichtvermogen aangeboden, dan is het faseverschil weer gelijk π. Brekingsindexverschillen kleiner dan 10^{-4} tussen de takken kunnen al leiden tot het faseverschil π. De interferometer in deze vorm werkt

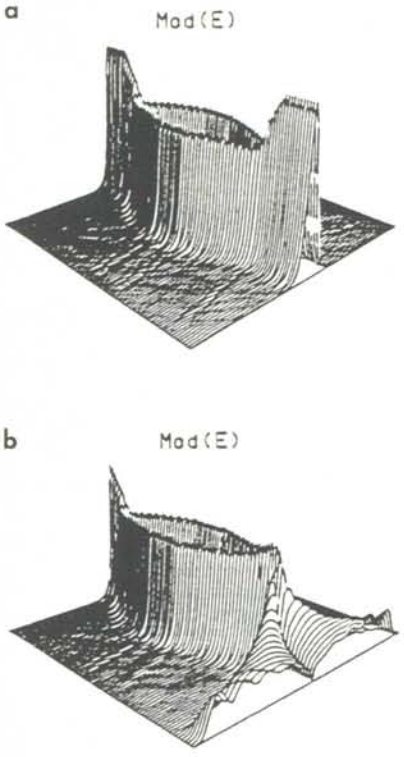
b



Figuur 5. Michelson-interferometer; geïntegreerde optische versie (a) en basisprincipe (b).

a





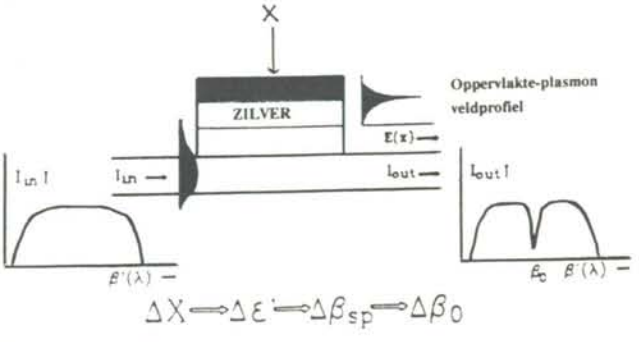
Figuur 7. Computerberekeningen van de lichtintensiteit in een Mach-Zehnder- interferometer;
a: AAN-toestand, faseverschil 0°;
b: UIT-toestand, faseverschil 180°.

dus als een exclusieve-OR-poort. Figuur 7 geeft als voorbeeld de met de bundelpropagatie-methode berekende lichtintensiteit in een uit twee tegenovergestelde Y-juncties samengestelde Mach-Zehnder-interferometer, met een faseverschil van 0 (AAN) en een faseverschil van 180 (uitdoving of UIT).

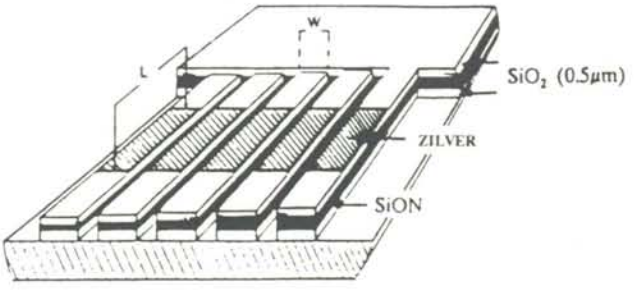
Naast deze twee voorbeelden van geminiaturiseerde uitgaven van bestaande meetprincipes zijn er ook in de geïntegreerde optica meetprincipes mogelijk die geen (volledig) macro-optisch equivalent kennen. Zoals we gezien hebben loopt van een gewone lichtgeleider-mode slechts een paar procent van de lichtenergie buiten de kernlaag. Voor sommige toepassingen, zoals het aftasten van een gevoelige laag, wil men dat percentage vergroten. Dit is mogelijk door gebruik te maken van oppervlakteplasmonen. Zo'n oppervlakteplasmon is een geleide mode, die langs het grensvlak van een metaal (bijvoorbeeld zilver) en een diëlektricum kan propageren. Het blijkt dan dat vrijwel de helft van de lichtenergie in het diëlektricum kan lopen, resulterend in een sterk vergrootte gevoeligheid voor veranderingen van de optische eigenschappen van dit materiaal. Het nadeel is dat het gebruik van de oppervlakteplasmonen in combinatie met de Mach-Zehnder interferometer niet mogelijk is, daar binnen enkele tientallen micrometers alle energie door de metaallaag wordt geabsorbeerd.
Voor de uitlezing echter kan worden gebruik gemaakt van het zogenaamde mode-koppeling principe. Op een monomode lichtgeleider wordt een meerlagenstructuur aangebracht, zie figuur 8. In deze structuur plant het plasmon zich voort langs het grensvlak van de zilver- en de sensorlaag. Een bron genereert een band van verschillende golflengtes in de onderliggende lichtgeleider Voor elke golflengte kan er een mode door het kanaal lopen, waarvan de propagatieconstante met de golflengte verloopt. Door mode-koppeling gaat alleen de energie van de kanaal-mode met dezelfde propagatieconstante als het bij de uitgang "ontbrekende" plasmon over naar het oppervlakteplasmon en wordt daarin gedissipeerd. De golflengte van het licht (de dip in de golflengteband) is een maat voor de te meten parameter.
In figuur 9 is een andere uitvoeringsvorm van het bovengenoemde principe weergegeven. In elk van de mono-mode-kanalen wordt vanuit een monochromatische lichtbron een mode gelanceerd. Door onderlinge geometrieverschillen van de kanalen in deze array heeft elke kanaal een verschillende propagatieconstante. Het nummer van het kanaal waarin de uitdoving van de lichtintensiteit optreedt is bepalend voor de waarde van de te meten parameter. Op basis van dit oppervlakteplasmon-principe is een (prototype) chemo-optische vochtsensor gemaakt. De sensorlaag bestaat uit gelatine, die met vocht opzwelt en daarmee verandering van de brekingsindex veroorzaakt.

Toekomstperspectief

Algemeen wordt aangenomen dat de ontwikkeling van geïntegreerd optische componenten aan het begin van een explosieve groei staat. Voor zo een succesvolle ontwikkeling van geïntegreerde optica is een samenwerking uit diverse disciplines noodzakelijk. De chemie speelt in deze een belangrijke rol. Met name de Molecular Engineering, het manipuleren van de eigenschappen van materialen op atomair niveau, is van essentieel belang. Hierbij kan men denken aan niet-lineaire organische materialen of aan zogenoemde fotochemische moleculaire componenten waarin op moleculair niveau veranderingen door licht kunnen plaatsvinden.
De natuurkunde zorgt voor het begrijpen en berekenen van de lineaire en niet-lineaire wisselwerking tussen het licht en de materie, maar ook voor de optische principes waarin deze toegepast wordt. Daarnaast is materiaalkunde nodig om materialen te ontwikkelen, waarin de fysische effecten optimaal zijn. De elektrotechniek draagt zorg voor technologie en ontwerp-gereedschappen voor vervaardigen van een concreet device of systeem. Onderlinge samenwerking moet uiteindelijk leiden tot innovatieve componenten gebaseerd op nieuwe op-



Figuur 8. Oppervlakteplasmon-resonantiesensor. De positie van de "dip" in de uitgaande band is een maat voor de te meten grootheid.



Figuur 9. Schets van een geïntegreerd optische oppervlakteplasmon sensor in array- uitvoering. Op elk kanaal ligt over een afstand L de "gevoelige" laag.

tisch (niet-lineaire) materialen, nieuwe technologieën of nieuwe principes. In toenemende mate zullen optische transducenten worden toegepast in gebieden, waarin tot nu toe alleen elektronische componenten beschikbaar waren. Een schematisch overzicht is gegeven in figuur 10. Het belangrijkste toepassingsgebied is de optische telecommunicatie. Naar schatting zullen in het jaar 2000 meer dan een miljoen bedrijven binnen Europa toegankelijk zijn via de glasvezel. Daarnaast worden de Compact Discs en magneto-optische diskettes, in feite ook optische transducenten, al veelvuldig gebruikt als data-opslagmedium met hoge informatiedichtheid. Het illustreert de grote opkomst van de optische technologie.

Literatuur

[1] P.V. Lambeck, Chemo-optical micro-sensing systems, SPIE Vol. 1511, Fiber Optic Sensors: Engineering and Applications (1991) 100-113.

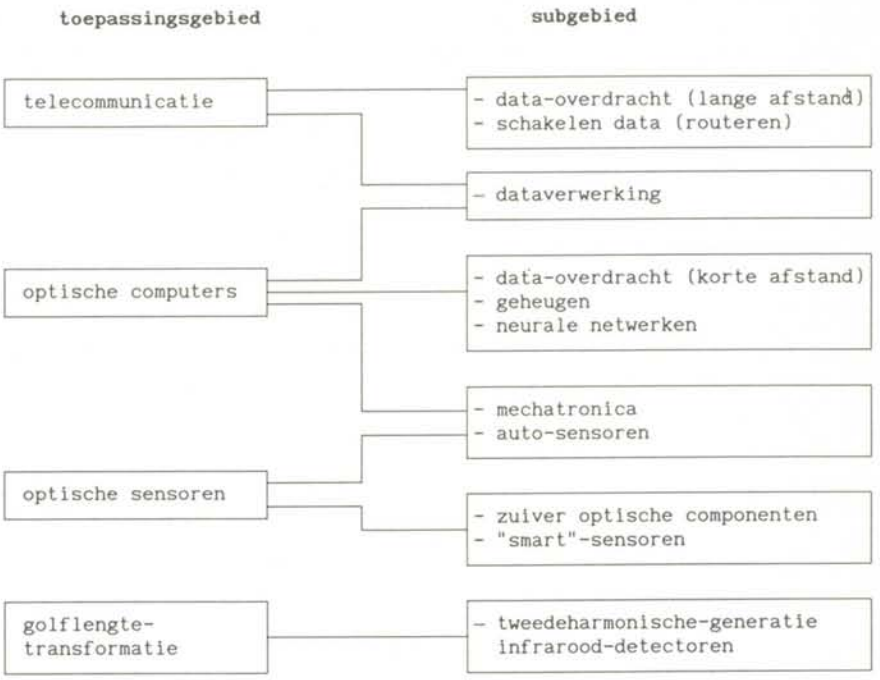
[2] A. Driessen en P.V. Lambeck, Optical Transducers, Sensors & Actuators: edited by A. Driessen, Kluwer Techn. Books, Deventer (1990).

[3] H.J.M. Kreuwel, Planar waveguide sensors for the chemical domain, Proefschrift, Universiteit Twente (1988).

Dr. D. Blank is werkzaam bij de vakgroep Technische Natuurkunde van de Technische Universiteit Twente.

Dr. A. Driessen is werkzaam is bij de vakgroep Transductie Techniek en Materiaalkunde van de Technische Universiteit Twente.

Het artikel is hoofdzakelijk gebaseerd op gepubliceerd werk van dr. A. Driessen en dr. P.V. Lambeck van de vakgroep Transductie Techniek en Materiaalkunde van de Universiteit Twente en is in samenwerking met hen tot stand gekomen.



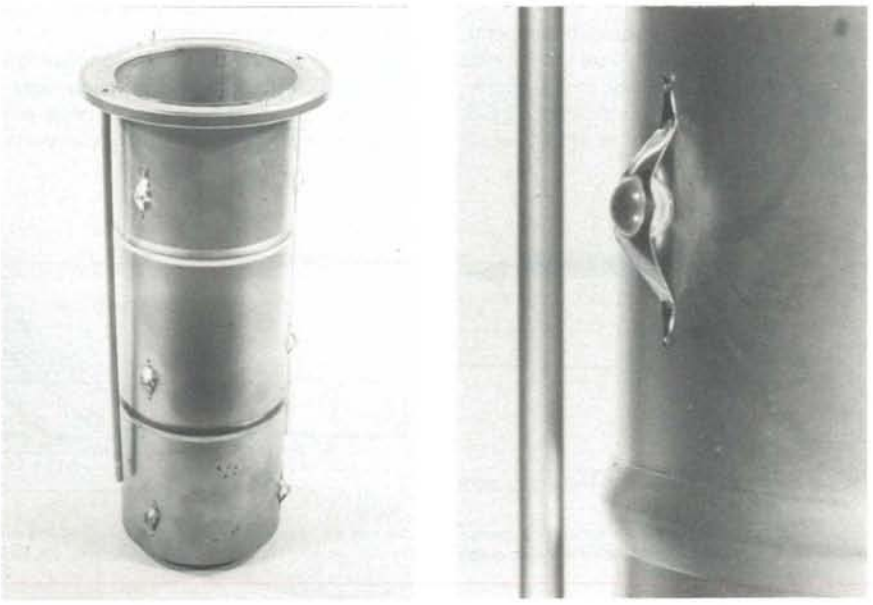
Figuur 10. Toepassingsgebieden van optische transducenten.

Her en Der

H. Heubers

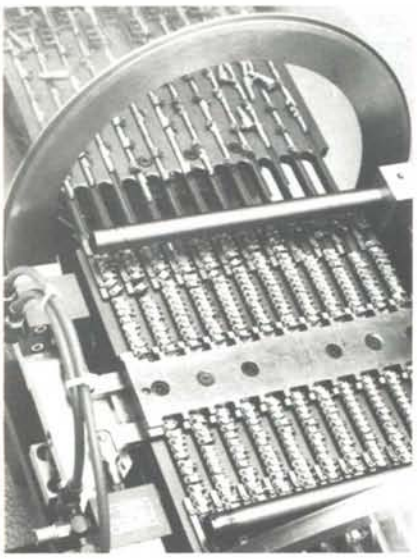
Kogel als afstandhouder

Wat doe je als een bus op 5 mm afstand van de wand van een buitenbus moet worden geplaatst en zowel thermisch als elektrisch geïsoleerd moet zijn? Instrumentmaker T. Vos van de Werkplaats Fysica, RUU bedacht daar het volgende op. Hij nam kwartskogels van 5 mm en een stukje plaat van 0,1 mm dikte. In de plaat ponste hij gaatjes van 4,5 mm en knipte ruitvormige stukjes af. Met deze plaatjes, die op de bodem en de wand van de bus zijn gepuntlast, worden de kogels geklemd, zie de figuur. De kogels isoleren de bus thermisch en elektrisch en verzorgen een goede positionering.



Produktinfo

Meerbanig toevoeren



Ter completering van haar toevoerprogramma heeft MICRO*MONTAGE onlangs de Beneluxvertegenwoordiging van MAFU op zich genomen. Tot voor kort was meerbanig toevoeren alleen mogelijk door het toevoersysteem meervoudig uit te voeren. Speciaal voor het meervoudig toevoeren heeft MAFU een serie toevoersystemen ontwikkeld, en gepatenteerd, waarbij alleen het richtingselement produktspecifiek is. Behalve de mogelijkheid om onderdelen toe te voeren in maximaal 25 banen, kent het systeem nog een aantal specifieke voordelen ten opzichte van conventionele systemen: hoge opbrengst, laag geluidsniveau, geïntegreerd buffertraject, gering benodigd vloeroppervlak en geschikt voor kwetsbare en/of verhakende delen (bijvoorbeeld veren). Tijdens de Technishow zijn een tweetal systemen op de stand van MICRO*MONTAGE te bezichtigen.

Voor uitvoerige info:
MICRO*MONTAGE BV
Ing. W. de Boer
Postbus 3108, 3760 DC Soest
Telefoon: 02155-26400
Fax: 02155-27200

Nauwkeurige universele indexeertafels

Een grote nauwkeurigheid bij de machinale bewerking vergt niet alleen een hoge mate van precisie van de gereedschapwerktuigen, maar stelt ook steeds hogere eisen aan de hulpmiddelen die daarbij worden ingezet. Met name wordt hier gedoeld op de indexeertafels, die op tal van moderne bewerkingsmachines worden gebruikt. Speciaal voor dit doel ontwikkelde het Duitse bedrijf Fibro een compleet programma van precisie-indexeertafels. Deze zogenaamde Fibrotakt-units (in pneumatische, hydraulische of elektrische uitvoering) worden als drager van enkelvoudige of samengestelde werkstukken, dan wel als drager voor gereedschappen gebruikt. Kenmerkend voor deze tafels is dat het aandrijfsysteem volledig gescheiden is van de positionering. Het werkingsprincipe berust op de vergrendeling en zelfcentrering van een dubbele precisietandkrans. Bij het positioneren licht de tafel enkele millimeters uit de vertanding, indexeert, zakt weer en wordt tenslotte

pneumatisch of hydraulisch vergrendeld. Samengeklemd grijpen de tanden dusdanig in elkaar, dat te allen tijde exact gepositioneerd wordt. Belangrijk is hierbij dat men de units dermate robuust heeft uitgevoerd, dat ze tegen forse bewerkingskrachten bestand zijn.

Binnen het Fibrotakt-programma is een breed scala van bouwvormen en uitvoeringen beschikbaar. Zo zijn er allereerst de standaardtypen voor - overwegend - horizontaal gebruik. Daarnaast presenteert men de zogenaamde Wendespanners, die zowel horizontaal als verticaal toegepast kunnen worden. Voorts levert Fibro speciale pallet-uitvoeringen en meerassige modellen voor meerspillige bewerking. Ook levering van planeettafels (combinaties van een standaard-indexeertafel met horizontale of verticale planeten) behoort tot de mogelijkheden. De indexeertafels kunnen uitgerust zijn met een tafelblad met een diameter variërend van 100 mm tot 1.350 mm, al dan niet voorzien van T-gleuven. Alle typen zijn ook in een aangepaste inbouwuitvoering leverbaar.

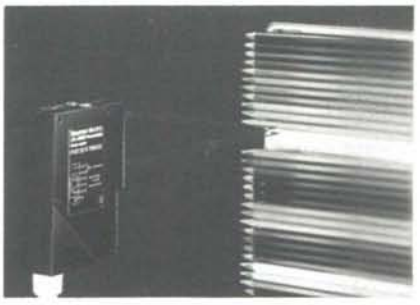
Afhankelijk van het gewenste resultaat kan voor verschillende nauwkeurigheidsklassen gekozen worden. Een maximale afwijking van slechts ± 1.5" is haalbaar; bij een diameter van 400 mm komt dit neer op een afwijking van ± 1,5 µm. Bovendien valt te kiezen uit verdelingen van twee tot niet minder dan 1.440 stappen. Voor het verdraaien van de tafel wordt gebruik gemaakt van een tandheugel/tandwiel- of een worm/wormwieloverbrenging. In het eerste geval is links- of rechtsom verdraaiing tot 180° mogelijk, terwijl bij de tweede een onbeperkte rotatie uitvoerbaar is. Al naar gelang de belasting wordt de indexeertafel uitgerust met een pneumatische, hydraulische of elektrische aandrijving.

Voor uitvoerige info:
Technische Bureau Meininger
Postbus 743, 2280 AS Rijswijk
Telefoon: 070-3 401 780
Fax: 070-3 401 602

Nieuwe fotoschakelaars

Soms is het moeilijk bepaalde voorwerpen te signaleren indien de afstand tot de achtergrond zeer klein is, omdat de gebruikelijke fotoschakelaars de achtergrond niet kunnen elimineren. Daarom heeft Baumer Electric twee totaal nieuwe fotoschakelaars, de FHDM 35 en de FHDK 25 ontwikkeld, die dit nadeel niet hebben. Beide werken ze volgens het-

zelfde principe, waarbij door driehoeksmeting de voorgrond en de achtergrond met elkaar vergeleken kunnen worden.
De FHDM 35 is een robuuste metalen uitvoering met een maximum meetafstand van 40 cm en kan een object op een afstand van 5% van de schakelafstand herkennen.



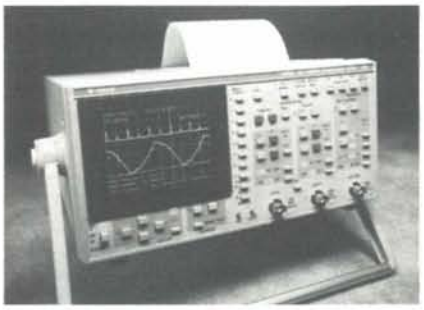
De FHDK 25 is een vrijwel identieke schakelaar, echter in een gunstig geprijsde kunststofuitvoering, die een object kan "zien" op 10% van de schakelafstand. Beide zijn IP 67, leverbaar in uitvoering met kabel of steker. De FHDM heeft als optie instelhulp en/of instelbare tijdvertraging.

Voor uitvoerige info:
B.V. Laumans
Postbus 60, 6000 AB Weert
Telefoon: 04950-21067
Fax: 04950-42457

Nieuwe Personal Machinist CAM Software

Computervision Corporation heeft de nieuwe Personal Machinist CAM Software vrijgegeven. Personal Machinist bestaat uit een serie modulaire, desktop CAM produkten. Vrijgegeven zijn Personal Machinist $2^1/_2$-assig en Personal Machinist 3-assig. De Personal Machinist produkten zijn de stand van de techniek wat betreft draaien, frezen en boren.
De Personal Machinist software is ontwikkeld op basis van de volgende uitgangspunten: eenvoud in gebruik door een intuïtieve, grafische gebruikersinterface; desktop-gebruik met PC of Sun werkstation; volledige integratiemogelijkheid met CAD, één database en één gebruikersinterface; een zeer goede prijs/prestatie verhouding.
De strategie van Computervision is het creëren van zeer snelle, krachtige en eenvoudig te gebruiken software, ook voor niet-CAM professionals.
Personal Machinist wordt in twee versies geleverd:
- *als stand-alone CAM pakket voor bedrijven die reeds een CAD systeem hebben;*
  Interfacing via DXF en IGES of de directe converter voor CADDS gebruikers. De CAM software biedt uitgebreide mogelijkheden voor het verder modelleren en editen van werkstukgeometrie.
- *als geïntegreerde oplossing, van 2D-CAD met Personal Drafter tot 3D-CAD met Personal Designer.*
  Personal Designer biedt onder andere uitgebreide mogelijkheden voor 3D-modelleren, oppervlak-modelleren op basis van NURBS en Bezier oppervlakken, Shading en 2D-ontwerpen en detailleren.

Personal Machinist heeft een geïntegreerde Post-Processor-Generator, waarmee gebruikers via een eenvoudig vraag- en antwoord sessie hun eigen post-processoren kunnen schrijven. Voor alle gangbare besturingen zijn standaard post-processoren beschikbaar. DNC utilities zijn standaard aanwezig.



Voor nadere info:
CAD Services Nederland BV
Postbus 146, 2130 AC Hoofddorp
Telefoon: 02503-26340

Doseerregelaar met speciale eigenschappen

Philips Industriële Automatisering introduceert een veelzijdig en compact doseerapparaat voor het wegen en doseren van verscheidene componenten in zowel stand-alone als systeemtoepassingen. Dit apparaat is de jongste uitbreiding van de Philips PR 1600-reeks elektronische weeginstrumenten. Het nieuwe doseerapparaat is ontwikkeld voor en in samenwerking met de diverse takken van industrie, zoals voedings- en genotmiddelen, chemie en farmacie.
Het nieuwe doseerapparaat, de PR 1615, kan werken met maximaal dertig componenten en dertig recepten en is ontwikkeld voor een groot aantal industriële toepassingen. De bediening en de programmering van dit doseerapparaat zijn zeer gebruikersvriendelijk. Op twee alfanumerieke displays worden in een door de gebruiker gekozen landstaal alle handelingen en statusaanduidingen in dialoogvorm afgebeeld
Tijdens elk stadium krijgt de gebruiker een aantal opties gepresenteerd, waaruit met behulp van vier toetsen een keuze kan worden gemaakt. Buiten deze toetsen beschikt de PR 1615 nog over vier programmeerbare functietoetsen, die snelle en foutloze bediening mogelijk maken.
De PR 1615 is zowel geschikt voor het besturen van enkelvoudige doseeropdrachten als voor het herhaald uitvoeren van complete recepten. Het apparaat geeft volledige informatie over de produktiehoeveelheden en over het verbruik van de componenten en geeft deze gegevens naar keuze weer op het heldere alfanumerieke display of op een aangesloten printer.
Naast de eenvoudige handbediening via het 10.000 delen display en het ingebouwde toetsenbord beschikt de PR 1615 ook over alle communicatie-protocollen die nodig zijn voor toepassing in meer complexe supervisiesystemen of in volledig geautomatiseerde processen. Gegevens en besturingsopdrachten gebruiken de ingebouwde seriële communicatiepoort via standaardprotocollen zoals EW en DUST 3964R.
Speciale functies en opties zorgen voor een makkelijke integratie in complete op computer gebaseerde industriële produktiesystemen.
Dankzij de gebruikte '6-draads'-techniek van de Philips krachtopnemers levert het compacte doseerapparaat ook over grote afstanden (tot 300 m) nog nauwkeurige meetresultaten. Het 10.000 delen display maakt het mogelijk het gewicht nauwkeurig weer te geven.

Voor uitvoerige info:
Philips Nederland BV
Industriële Automatisering, Eindhoven
Telefoon: 040-788053

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. Evenmin 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.

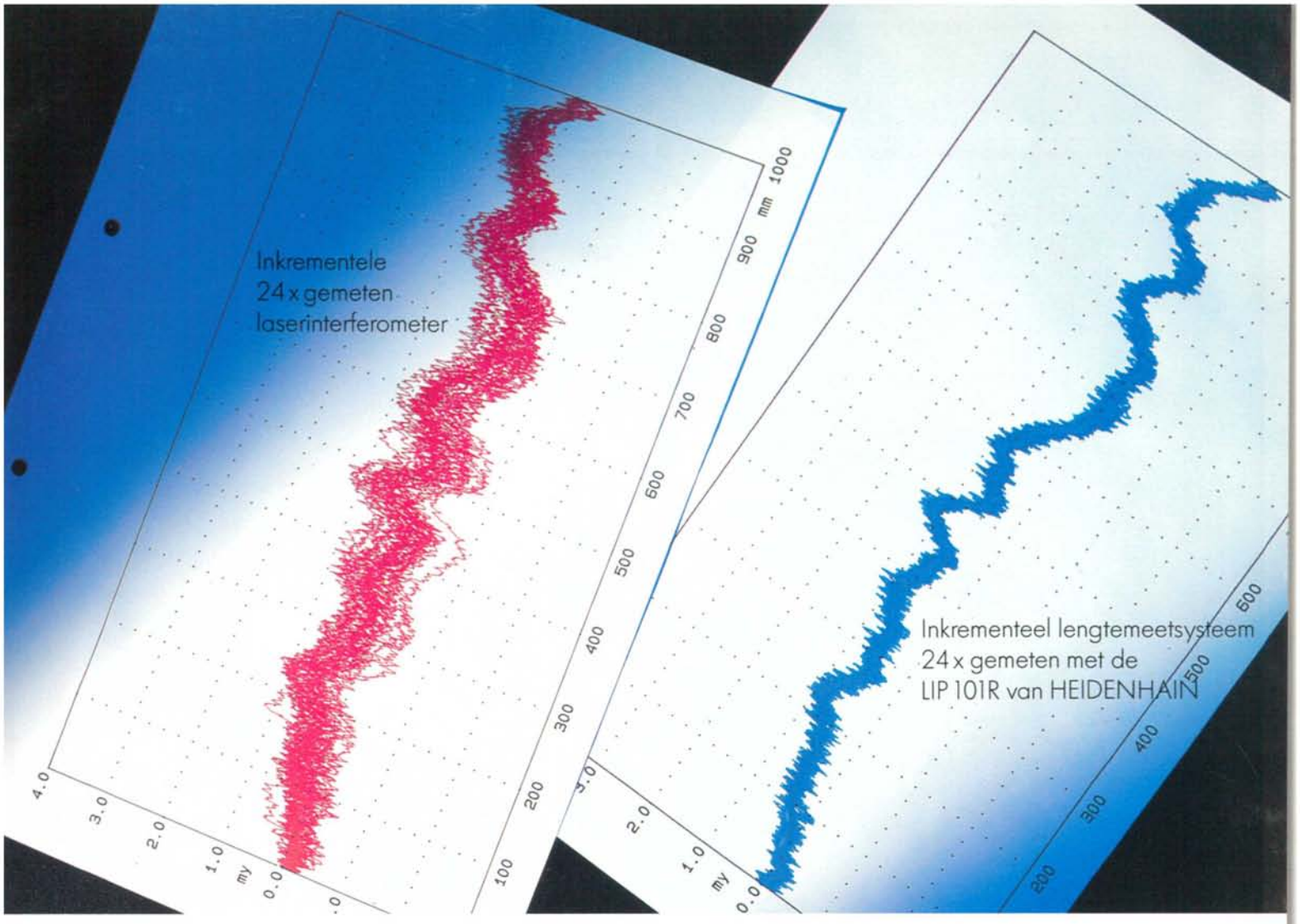
OPTICS & POLISHING TECHNIQUES

P O L G R O N

OPTICS & POLISHING TECHNIQUES

Het grove onderscheid op 0,002 micrometer.

Zernikepark 2-4, 9747 AN Groningen, tel. 050-745738/fax 050-634596



Bijna elke laserinterferometer krijgt naast een LIP 101R de bibbers. Zoals bekend, zijn laserinterferometers gebaseerd op een interferentievlak, dat schommelt met de brekingsindex van lucht. Het HEIDENHAIN-lengtemeetsysteem LIP 101R heeft als maatdrager een solide stalen meetliniaal met een buigingsrooster. Derhalve is de LIP 101R "systematisch" nauwkeuriger dan de meeste laserinterferometers. Nog een paar gegevens: de meetlinialen zijn er in meetlengten tot 1020 mm. Tesamen met de HEIDENHAIN-elektronika EXE 660 bedraagt de meetstap 10 nm, verplaatsingssnelheden tot 5m/min. Precisie tot in de puntjes. HEIDENHAIN-lengtemeetsystemen.

HET INSTRUMENT
UTRECHT
5.4. – 10.4.1992
BERNHARDHAL 2
STAND B 7200

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

HEIDENHAIN
HEIDENHAIN NEDERLAND B.V.