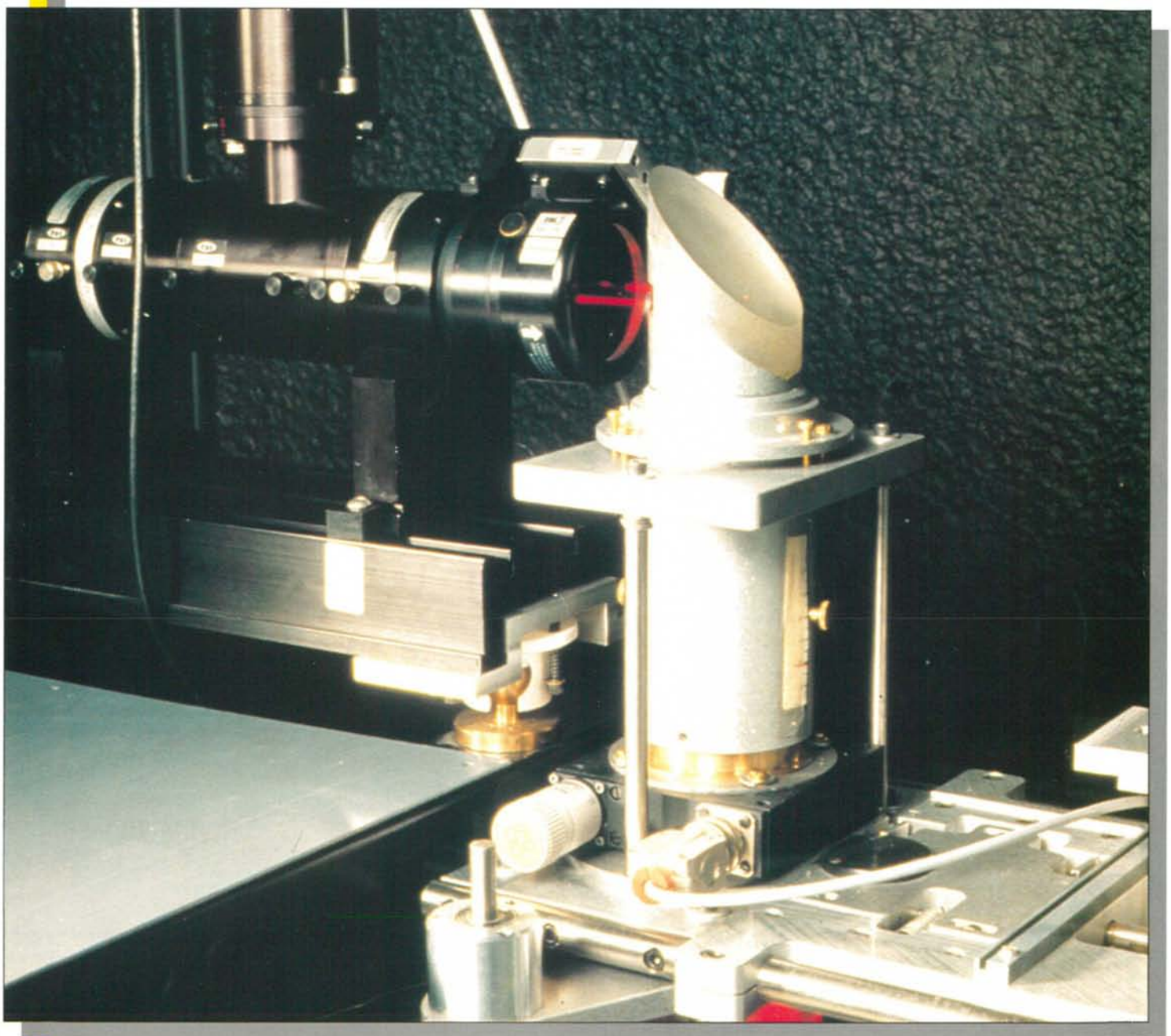
jaargang 33, nummer 1

Mikroniek

NVFT

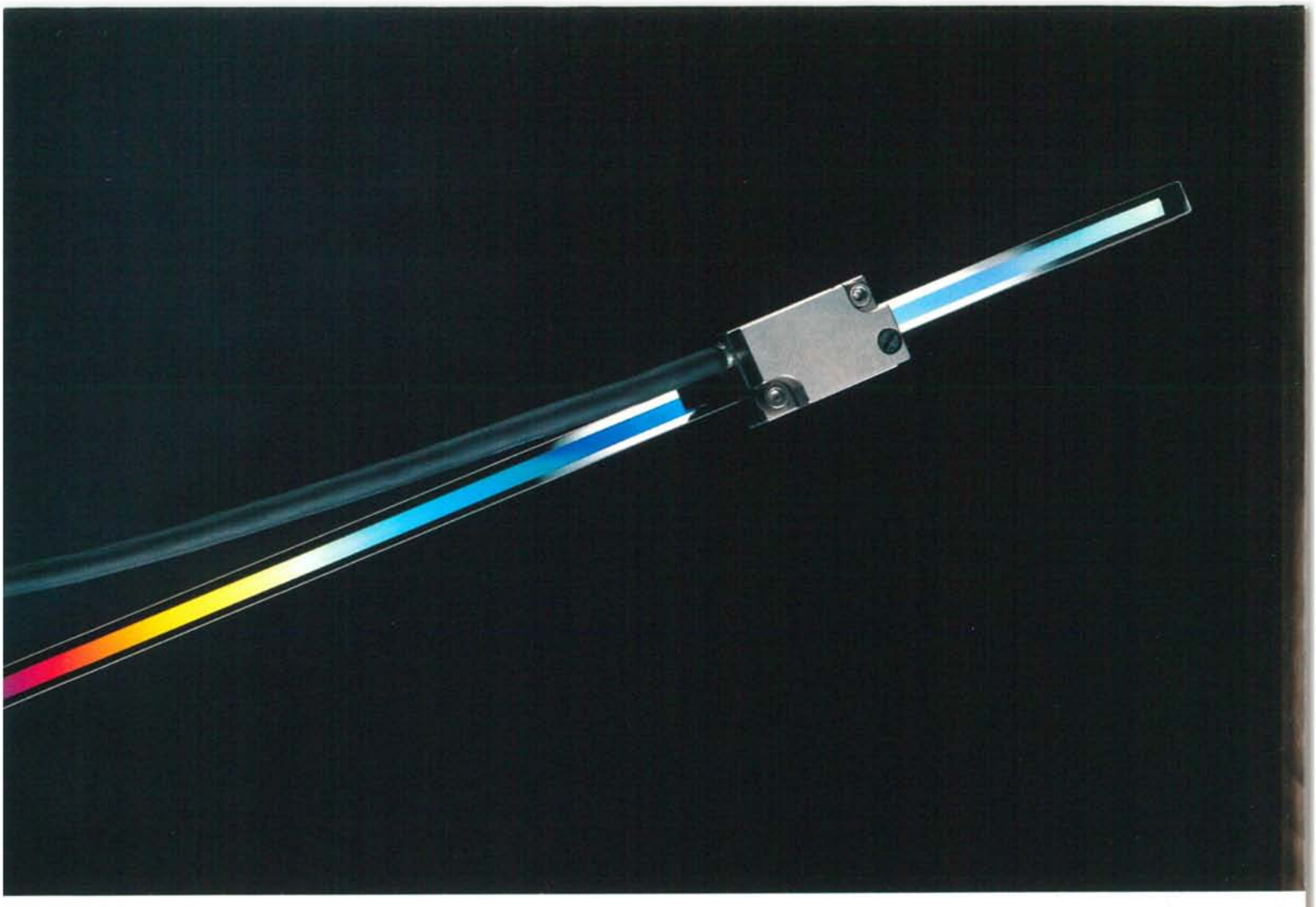
VAKBLAD VOOR FIJNMECHANISCHE TECHNIEK



Manipuleren en instellen – Inhoud 1992

Laser-Doppler-anemometrie – Micropincet

Wasmodelgietwerk

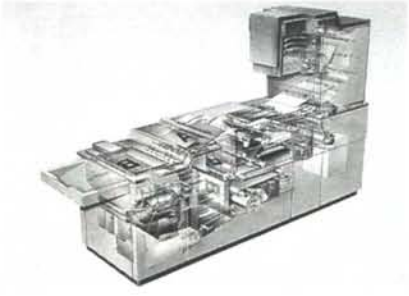


Naast onze LIP kunnen laser-interferometers behoorlijk ouderwets overkomen. Overal daar, waar het op de hoogste nauwkeurigheid aankomt, bijv. bij het diamantdraaien aan ultraprecisie machines of aan installaties in de halfgeleider industrie, is er een nieuwe lineaal: de interferentiële lineaal van HEIDENHAIN. Anders dan bij de laser-interferometers wordt hun nauwkeurigheid niet door brekingsindex schommelingen beïnvloed. Zo bereiken de LIP's nanometer-meetstappen; de nauwkeurigheid bedraagt ± 0,1 µm. En desondanks zijn de LIP's uitermate gemakkelijk te monteren (grote aanbouw toleranties). Ook hebben de laser-interferometers geen referentiepunt, die een meetstap ondubbelzinnig kenmerkt. Om over de prijs maar te zwijgen. Sorry lieve laser-interferometers!

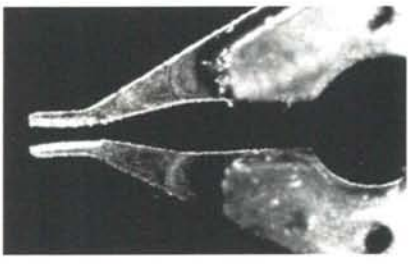
HEIDENHAIN NEDERLAND B.V.
Landjuweel 20 - 3905 PG Veenendaal
Postbus 107 - 3900 AC Veenendaal
☎ (08385) 40300 FAX (08385) 17287

HEIDENHAIN

In dit nummer



Zie pagina 7



Zie pagina 19

Zie pagina 24

2 **Editorial**
Nederland, Transportland?

3 **Verenigingsnieuws, feiten, data, mensen**

7 **Toepassing van laser-Doppler anemometrie in knepen**
G.F.M. Braat, H.G.J. Rutten

16 **Inhoudsopgave 1992**

19 **De ontwikkeling van een micro-pincet gebaseerd op elastische scharnieren**
F.J.I.M. van Rongen

24 **Gietwerk met zeer goede maatnauwkeurigheid (1)**
Ir. M. Breuning

28 **Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren (10)**
M.P. Koster, P.C.N.J. Rosielle, E.A.G. Reker

33 **Produktinfo**

Bij de foto van de voorpagina.

Toepassing van laser-Doppler-anemometrie in een opstelling voor het meten van het vervormingsgedrag van het rubber waarmee de transportwalsen in een kopieerapparaat bekleed zijn.

Instrument-makers

De Koninklijke Schelde Groep B.V. is een industriële onderneming die zich bezighoudt met een reeks van activiteiten op basis van technologische deskundigheid. De Schelde Groep is actief in onder andere de volgende markten: maritiem, (petro)chemie, energieconversie, milieu en utiliteitsbouw. De tien business units van de Schelde Groep hebben samen zo'n 3500 medewerkers. Mannen en vrouwen die ook op de internationale markt samenwerken in handel en dienstverlening.

De business unit Schelde Process & Technology is actief op het gebied van de hoogwaardige apparatenbouw en milieutechnologie. Know-how onder andere op de volgende gebieden is aanwezig: las- en verbindingstechnologieën, chemische processen en systeem-, basic- en detail-engineering.

De afdeling MT Products, onderdeel van de business unit Process & Technology, treedt op als leverancier van componenten voor research-instituten, de lucht- en ruimtevaart alsmede de process-, energie- en milieumarkt.

In verband met uitbreiding van de werkzaamheden van de afdeling Materials Technology Products zoeken wij nieuwe Werktuigbouwkundig Instrumentmakers (m/v).

Functie-inhoud:

De nieuwe instrumentmakers zullen worden ingezet voor de fabricage van en/of werkzaamheden aan: * onderdelen van vacuümkamers ten behoeve van deeltjesversnellers en componenten voor Ultra Hoog Vacuüm-toepassingen in het algemeen * opslag/transportcontainers voor zeer zuivere chemicaliën * hoge temperatuur-vacuümsolderen * electrochemische bewerkingen * pijpsystemen voor de lucht- en ruimtevaart * onderdelen voor zeer geavanceerde energieopwekkers, zoals brandstofcellen of kernfusie.

Het gewenste profiel:

* ervaring als instrumentmaker (bijv. medische instrumenten, instrumenten ten behoeve van vacuümtoepassingen, apparatuur voor lucht/ruimtevaart of voor wetenschappelijk onderzoek * MBO-opleiding instrumentmaker (of door opleiding en ervaring verkregen gelijkwaardig niveau) * bereidheid tot het volgen van cursussen.

Nadere informatie en sollicitatie:

Informatie over deze functie kunt u verkrijgen bij de heer P. Loekemeijer, Bedrijfsleider, tel. 01184-82160. De Schelde Groep kent een goed arbeidsvoorwaardenpakket, waaronder een verhuiskostenregeling. Een informatiepakket is telefonisch aan te vragen bij de afdeling Personeelszaken, tel. 01184-82398.

Uw schriftelijke sollicitatie en CV kunt u sturen naar: Koninklijke Schelde Groep B.V., afdeling Personeelszaken, t.a.v. de heer B. Houben, Postbus 16, 4380 AA Vlissingen.

SCHELDE PROCESS & TECHNOLOGY

SCHELDE GROEP

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:
Buro Jet bv
Postbus 1890
2280 RW Rijswijk
Telefoon: 070-3990000
Fax:070-3902488

Abonnementen:
Mikroniek
J. Verkerk
Postbus 80.004
3508 TA Utrecht
Telefoon: 030-531 710 / 531 639
Fax: 030-522 267
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

Nederland Transportland?

Nederland Transportland is een veel gebezigde slogan, waarmee men probeert aan te geven dat Nederland nog groter moet worden in het transporteren en doorvoeren van goederen. Deze vorm van dienstverlening sluit goed aan bij de visie over het toekomstbeeld van het postindustriële tijdperk.
De huidige geringere toename van de economie en de vaak moordende concurrentie in de transportsector heeft een directe terugslag op de bedrijven die deze diensten verlenen en die transportmiddelen fabriceren. Onze nationale trots de DAF-vrachtwagenfabriek en de Fokker-vliegtuigfabriek zijn in moeilijkheden omdat bestellingen uitblijven en zelfs geannuleerd worden.
In de mechanische industrie is het al evenmin rooskleurig. Overproduktie van staal als gevolg van de geopende grenzen met de Oostbloklanden en het verdwijnen van orders naar het oosten omdat de arbeidskrachten daar goedkoper zijn.

En hoe zit het met de Fijnmechanische Industrie? Ook daar bespeurt men de effecten van de minder sterk stijgende economie. Bedrijven als Fokker en Philips zijn grote opdrachtgevers in deze bedrijfstak. De Fijnmechanische Industrie heeft echter enkele zeer sterke kanten. Door de veelzijdigheid van de produkten opereert ze in praktisch alle sectoren en is daardoor minder kwetsbaar.
Bovendien is ze in sterke mate innovatief en door de beperkte seriegrootte enerzijds en de geavanceerdheid van de produkten anderzijds is uitbesteden naar lage-lonen-landen niet interessant. De grootste toegevoegde waarde komt uit de innovatie die hier plaatsvindt.

Hoe duidelijk die innovatieve kracht aanwezig is blijkt als enkele recente gebeurtenissen op een rij worden gezet. De tweejaarlijkse beurs "het Instrument" is zo in omvang toegenomen dat het elektronicadeel is afgesplitst en nu onder de naam Electronics '93 verder gaat.
Recent toegekende prijzen voor geavanceerde toepassingen op het gebied van micro-electronica (Fuzzy Control Award door het CME toegekend aan de afdeling FMT van de Hogeschool Utrecht) en de mechatronica (Mechatronics Trophy toegekend door het Mechatronicaplatform aan Te Strake voor een onderdeel van een weefmachine) accentueren nog eens dat de FMT in Nederland nog steeds aan de frontlijn van de techniek opereert. Dat geeft optimisme en zelfvertrouwen.

Nederland FMT-land, zou dat niet een passende slogan zijn?

J. Verkerk

Verenigingsnieuws / Actueel

Deelname van de NVFT aan de elektronicavakbeurs "ELEKTRONICS '93"

Van 30 maart tot en met 2 april a.s. wordt in de RAI te Amsterdam de tweejaarlijkse Elektronicavakbeurs "Elektronics '93" gehouden.
Op deze beurs wordt onder meer ook een zogenaamd themapaviljoen ingericht waarbij speciaal aandacht wordt besteed aan:
- Technologisch actuele thema's en
- elektronica-applicaties gericht op marktsegmenten waarin de penetratie van elektronica nog nieuwe kansen biedt.

Op opzet van dit paviljoen beoogt tevens om specifieke nieuwe doelgroepen voor deze beurs te interesseren.
Aansluitend hierop heeft het bestuur van de NVFT besloten aan deze vakbeurs deel te nemen en is op het themapaviljoen een stand gereserveerd om zowel de vereniging als de fijnmechanische industrie te presenteren.
Gezien de relatie –fijnmechanica en elektronica– biedt dit een prachtgelegenheid om wederzijds inzicht in beide vakgebieden en de industriële samenwerking in deze sectoren te bevorderen. Dit sluit bovendien ook aan tij de "trend" in ons vakgebied, waarvan de ontwikkeling voor een groot deel het gevolg is van toepassingen van de technische faciliteiten uit de aangrenzende vakgebieden zoals elektronica, optica, meet- en regeltechniek en informatica.
De inrichting van de stand zal, behalve informatie omtrent de vereniging, bestaan uit een expositie van produkten en systemen waarbij de verwevenheid tussen fijnmechanica en elektronica duidelijk tot uiting komt.
Om dit te realiseren is aan de bedrijfsleden een verzoek gericht om produkten, die aan dit doel beantwoorden, voor expositie op de stand ter beschikking te stellen.
Gezien de grote opkomst bij de laatste jaarvergadering die tijdens de tentoonstelling "Het Instrument" werd gehouden, zal ook dit jaar, gelijktijdig met deze tentoonstelling de **algemene ledenvergadering** worden gehouden en wel op donderdag **1 april a.s.**
Hierna is voor de deelnemers gelegenheid de tentoonstelling te bezoeken.

Fuzzy Control Award

Een geavanceerd model en regelsysteem ontwikkeld aan de afdeling Fijnmechanische techniek van de Hogeschool Utrecht is gehonoreerd met *Fuzzy Control Award*. De studenten Dennis Dunne en René Jansen hebben elk een geldprijs van f 10.000 en een oorkonde gekregen voor het door hen uitgevoerde project. Een oorkonde ging ook naar docent Anton Honders die de studenten bij dit project begeleidde. De prijs was ingesteld door het CME (Centrum voor Micro Elektronica) ter gelegenheid van het 10-jarig bestaan.

Het project was oorspronkelijk gestart als demonstratieproject om de toepassingsmogelijkheden van Fuzzy Logic te onderzoeken in een servobesturing met digitale signaal bewerking. Fuzzy Logic (wazige logica) staat de laatste tijd sterk in de belangstelling. In tegenstelling tot de gangbare (booleaanse) logica die maar twee toestanden kent — aan of uit, waar of niet waar, 0 of 1 — kan men met fuzzy logica tussenliggende waarden definiëren als een beetje meer of een beetje minder.
Om de kwaliteit van de fuzzy regeling te demonstreren werd voor het positioneren van een kogel op een wip gekozen. Het sturen van een evenwichtsysteem zoals het positioneren van een kogel op een wip is een in de regeltechniek erkend lastig probleem dat hoge eisen aan de regelaar stelt.
Dennis en René hebben in hun afstudeerproject het regelgedrag en de regelsnelheid onderzocht en vergeleken met die van een traditionele PID-regelaar. Uit simulatie bleek dat de fuzzy logic regelaar sneller, nauwkeuriger en makkelijker af te regelen was dan de traditionele. Dit resultaat werd bevestigd door de regeling ook daadwerkelijk uit te voeren voor "de kogel op de wip".
Onder de inzenders waren ook bedrijven die fuzzy logic in de besturing van geavanceerde produkten hadden toegepast. Dat de studenten de prijs wonnen was dan ook een grote verrassing. Bij de toekenning van de prijs werd de grote inzichtelijkheid genoemd die door de modelvorming werd verkregen. De jury achtte dit van groot belang, omdat door simulatie zowel de kosten als de ontwikkeltijd belangrijk lager zullen uitvallen dan wanneer geen simulatie wordt toegepast. Docent Honders ervaart in deze prijs tevens erkenning voor de onderwijsinspanning die de afdeling Fijnmechanische Techniek van de Hogeschool Utrecht op het gebied van de mechatronica levert.
De opstelling van kogel met wip en fuzzy besturing zal worden getoond in de stand van de NVFT tijdens de tentoonstelling Electronics '93, die van 30 maart tot en met 2 april wordt gehouden in de RAI te Amsterdam.

Fuzzy Control Award

C E R T I F I C A A T

Het Centrum voor Micro-Elektronica vindt de ontwikkeling van Fuzzy Logic en Fuzzy Control technologie van belang voor het Nederlandse bedrijfsleven, de universiteiten en grote technologische instituten.
Teneinde de bewustmaking van deze vernieuwende drijfveer in het veld van de elektronica kracht bij te zetten kent het CME de Fuzzy Control Award toe aan:

A.H. HONDERS

Hogeschool Utrecht
Studierichting Fijnmechanische Techniek

voor zijn bijzondere bijdrage voor de ontwikkeling van een evenwichtssysteem als demonstratie-projekt voor industrie en onderwijsinstellingen.

Datum: 26-11-1992 Namens de jury:

Plaats: DELFT ing W.A. de Gier

Mechatronics trophy voor Te Strake

Een geavanceerde produktontwikkeling van weef-machine fabrikant Te Strake is gehonoreerd met de Mechatronics Trophy. Te Strake ontving de prijs voor de ontwikkeling van een elektronisch bestuurbaar, pneumatisch inslagsysteem voor weefmachines. Deze technische ontwikkeling maakt zodanig hoge weefsnelheden mogelijk dat het bedrijf uit Deurne daarmee haar voorsprong op de Japanse concurrentie verder heeft vergroot.
De Mechatronics Trophy is ingesteld op initiatief van het Mechatronica platform, het Ministerie van Economischezaken en de branche-organisatie voor Industriële Elektronica met het doel meer bekendheid te geven aan de mechatronicagedachte en een snelle invoering van mechatronicakennis te bevorderen.
Uit tien inzendingen heeft de jury er drie genomineerd. Naast het pneumatisch systeem voor weefmachines waren dat de door Inalfa/Nedap ontworpen optoelektronische besturing voor een auto-schuifdak en de Skwirrel, een mechatronische rolstoel van de firma Huka te Enschede.

Jet Weefsysteem
Bij klassieke weefsystemen werd een draad (inslag) door middel van een spoel tussen vele andere draden (de ketting) ingebracht. De belangrijkste nieuwe weefsystemen, de zogenaamde jet weefmachines, hebben geen mechanisch inslagsysteem meer, maar maken gebruik van een gerichte lucht- of waterstraal om de inslagdraad door het weefvlak te schieten. Door deze manier van weven kunnen de jet-weefmachines wel vier tot vijfmaal zo snel werken als de snelste conventionele schietspoelweefgetouwen. Dat betekent circa veertien inslagdraden per seconde met een lengte van twee meter. De versnelling en vertraging van de inslagdraad is enorm, omdat deze in een fractie van een seconde verhoogd moet worden van 0 naar 11 m/s. Bij het remmen traden zulke grote vertragingen op dat de draad makkelijk kon breken. Te Strake ontwikkelde hiervoor een geregeld remsysteem, waarbij men eerder begon te remmen om zo een minder grote vertragingskrachten op de draad te krijgen. Het moment waarom het remmen begint is afhankelijk van de snelheid van de draad. Omdat de snelheid nog al kan variëren wordt deze met sensoren gemeten bij de afwikkelaar. In de praktijk is gebleken dat de remkrachten met ongeveer 50% gereduceerd kunnen worden. Dit systeem wordt ABS-TE genoemd.
Door de mechatronica-aanpak bleek het mogelijk de kosten niet te laten stijgen terwijl een snelheidsverhoging mogelijk was. Daarmee bleef men de — Japanse — concurrentie een slag voor.

Schuifdakbesturing
Het bedrijf Inalfa, producent van onder andere schuifdaken voor auto's, heeft samen met Nedap een besturingssysteem voor schuifdaken ontwikkeld. Door een slim optisch systeem dat speciaal voor dit doel is ontwikkeld, wordt de positie van het schuifdak uitgelezen. De besturingssoftware zit in een chip (ASIC) opgeslagen omdat een aantal functies voor alle typen schuifdaken hetzelfde zijn. De toe te voegen functies zijn in een gekoppelde microprocessor opgenomen.
Een belangrijke nieuwe eigenschap is de klemkrachtbeveiliging tijdens het sluiten die er voor zorgt dat het dak automatisch weer open gaat als er iets of iemand tussen geklemd zou zitten.

Skwirrel
De Skwirrel is een elektrisch aangedreven rolstoel voor gehandicapte kinderen, met een grote manouvreerbaarheid zowel in huis als buiten op oneffen terrein. De hoogteverstelling zorgt voor een extra dimensie. Twee van de vier aandrijfmotoren worden gestuurd door een op een microprocessor gebaseerde regeling. De skwirrel is een leuk gedesigned karretje waar je goed mee voor de dag kunt komen.
Aan de Skwirrel werd reeds uitgebreid aandacht besteed in Mikroniek 30(1990)3, pp. 71-75.

De drie genomineerde projecten zullen te zien zijn op de tentoonstelling Electronics '93 in het "technologie en applicatie paviljoen" die van 30 maart tot en met 2 april wordt gehouden in de RAI te Amsterdam.

Cursussen Mikrocentrum Nederland

Tekening lezen in de produktfabricage en de machinebouw
Cursus; 8 avonden eens per week; Eindhoven 22 februari; LBO met ervaring/MBO; kosten *f* 875,-.
Geometrische meettechniek
Cursus; 15 avonden eens per week; Almelo 23 februari, Eindhoven 25 februari; LTO met ervaring/MTO; kosten *f* 1325,-.
Vorm en plaatstoleranties
Cursus; 5 avonden eens per week; Eindhoven 22 februari, Zwolle 23 februari; LTO met ervaring/MTO; kosten *f* 690,-.
Omvormtechnologie
Cursus; 10 avonden eens per week; Eindhoven 25 februari; HTO; kosten *f* 1350,-.
Basiscursus stanstechniek
Cursus; 11 avonden eens per week; Antwerpen 24 februari, Eindhoven 25 februari; LTO met ervaring/MTO; kosten *f* 1120,-.
Stanstechniek
Cursus; 12 avonden eens per week; Antwerpen 22 februari, Eindhoven 23 februari; LTO met ervaring/MTO; kosten *f* 1390,-.

Voor nadere informatie:
Mikrocentrum Nederland
Kruisstraat 74
5612 CJ Eindhoven
Telefoon: 040 - 432 503
Fax: 040 - 450 169.

Inspectie van gereedschapwerktuigen
Cursus van 3 t/m 10 maart te Apeldoorn.
Bestemd voor: medewerkers die de zorg dragen voor het instandhouden van een betrouwbaar en voldoende nauwkeurig machinepark, als onderdeel van integrale kwaliteitszorg (ISO 9000) of preventief onderhoud.
Inhoud: het o.a. leren bepalen van nauwkeurigheid van leibanen, machinetafels, hoofdspillen en andere machine-onderdelen en het verwerven

van inzicht in de factoren die een bedreiging vormen voor de produktnauwkeurigheid.
Organisatie: Instituut voor Produktie en Logistiek TNO (IPL).

Voor nadere informatie:
IPL-TNO
Telefoon: 055 - 493 088

Technische keramiek - speerpunttechnologie

Symposium; dinsdag 6 april 1992 te Petten; georganiseerd door de Bond voor Materialenkennis, de Nederlandse Keramische Vereniging en het Energieonderzoek Centrum Nederland.
Door de unieke eigenschappen van technische keramiek is dit materiaal uitstekend te gebruiken in allerlei constructies en processen. Het is slijtvast, drukvast, hittebestendig, geometrisch stabiel, corrosiebestendig, elektrisch- en warmte isolerend (of juist geleidend) en heeft een lage soortelijke massa.
Deze dag is bedoeld om toekomstige gebruikers en constructeurs hiermee bekend te maken.

Voor nadere informatie:
C. Koning
Telefoon: 02246 - 4303.

Verkorting van de doorlooptijd

CAPE Nederland '93-congres; dinsdag 16 maart 1993; Congrescentrum "De Eenhoorn" in Amersfoort.
De CAPE-congressen vinden om het jaar plaats en staan uitgebreid stil bij de ontwikkelingen en toepassing van de industriële automatisering.
Hoofdthema van het congres van dit jaar is het fenomeen "Verkorting van de doorlooptijd".
De volgende aspecten komen aan bod:

1 Simultaneous engineering.
Het zoveel mogelijk simultaan uitvoeren van activiteiten in produkt- en produktie-ontwikkeling.
2 Integrale planning.
Het aansturen van alle functies die van belang zijn voor het voortbrengingsproces.
3 Logistieke samenwerking.
Het verkorten van de totale doorlooptijd door afstemming van de logistieke processen tussen leveranciers en afnemers.
4 Flexibele fabricage.
Het terugdringen van omsteltijden e.d.

Voor nadere informatie en toezending inschrijfkaart:
Telefoon: 01720 - 66 825 / 66 418.

Industriële Automatisering 93 dit jaar samen met CIM Europe congres

Vakbeurs, 11 t/m 14 mei 1993, dagelijks van 10.00 tot 17.00 uur; RAI Tentoonstellingscentrum Amsterdam.
en
CIM Europe congres, 12 t/m 14 mei 1993; RAI Congrescentrum Amsterdam.
Industriële Automatisering 93, vakbeurs voor de automatisering van ontwerp, produktie en logistiek, krijgt ondersteuning van het vooraanstaande CIM Europe congres.
"Computer Integrated Manufacturing" (CIM) bevindt zich nog in een stadium, waarin technologische vernieuwingen elkaar in snel tempo opvolgen. Daarom wil het congres de mogelijkheid bieden om ervaringen uit te wisselen, die verworven zijn bij het ontwikkelen en invoeren van CIM technologieën.

Voor nadere informatie
Telefoon: 020 - 5 491 212
Fax: 020 - 6 464 469.

NKO en STERIN/STERLAB fuseren

Op 1 januari 1993 zijn de Nederlandse Kalibratie Organisatie, tot die datum een activiteit van het Nederlands Meetinstituut (dat is voortgekomen uit de Dienst van Ijkwezen), en STERIN/STERLAB gefuseerd.
De nieuwe stichting draagt de naam "Nederlandse Stichting voor de Erkenning van Kalibratie- en Testlaboratoria en Inspectie-instellingen" en opereert vanuit het Groothandelsgebouw te Rotterdam onder de namen NKO, STERIN en STERLAB.
De grote overeenkomst tussen de te hanteren criteria en toegepaste werkwijzen van NKO en STERIN/STERLAB heeft dus geleid tot de beslissing om de accreditatiesystemen in één nieuwe organisatie onder te brengen.
De directie van de nieuwe stichting wordt gevormd door dr. P.J.T.A.M. van de Leemput en dr. ir. J.G. Leferink.
Voordelen van de nieuwe organisatie:

- Eén aanspreekpunt vergemakkelijkt de contacten voor de laboratoria, want op dit moment hebben veel laboratoria een relatie met zowel NKO als STERLAB.
- Eén bureau verzekert een betere continuïteit.
- Eén kenniscentrum op het gebied van de accreditatie van laboratoria en inspectie-instellingen zal de dienstverlening voor het bedrijfsleven aanzienlijk verbeteren.
- Een nog sterkere vertegenwoordiging in Europese en internationale overlegorganen is in het belang van alle marktpartijen.

In de meeste Europese landen zijn de organisaties voor het accrediteren van kalibratielaboratoria en testlaboratoria inmiddels samengevoegd, of er is van oudsher al sprake van één organisatie.

Voor nadere informatie:
NKO/STERIN/STERLAB
Postbus 29512
3001 GD Rotterdam
Telefoon: 010 - 4 136 011
Fax: 010 - 4 133 557
Kantooradres:
Conradstraat 18E
Groothandelsgebouw E 7e verdieping
3013 AP Rotterdam.

PATO-cursussen

Milieubewust produktontwikkelen

Driedaagse cursus op 2, 9 en 16 maart in Utrecht.
Doelstelling: inzicht geven in de factoren die in het proces van industriële produktontwikkeling de toe-

komstige milieu-effecten van een produkt kunnen beïnvloeden..
Bestemd voor: ingenieurs (TU of HTO) die zich bezig houden met produktontwikkeling en/of produktbeleid.
Cursusleider: ir. M. Goedkoop (Pré Amersfoort).
Deelnamekosten: *f* 2.200.

Warmteoverdracht en stromingsleer

Zesdaagse cursus op 15, 22, 29 maart en 5, 19 en 26 april in Enschede.
Doelstelling: overzicht verschaffen van de theoretische grondslagen van warmteoverdracht door geleiding, straling en convectie; ook fase-overgangsverschijnselen als stollen, condensatie, koken, etc.
Bestemd voor: ingenieurs die te maken krijgen met warmte-overdrachtsproblemen en zich in de analyse en benodigde model-vorming willen bekwamen.
Cursusleider: ir. G.J. de Bruin (UT).
Deelnamekosten: *f* 2.990.

Analyse van organisatieproblemen

Vijfdaagse cursus op 26 april en 3, 10, 17 en 24 mei 1993 in Delft.
Doelstelling: deelnemers vertrouwd 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.
Bestemd voor: 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 (TUD).
Deelnamekosten: *f* 2.750,— p.p.

Strategisch management

Driedaagse cursus op 16, 17 en 18 maart 1993 in Enschede.
Doelstelling: deelnemers inzicht te verschaffen in het strategisch denken van organisaties, zodat zij in staat zullen zijn een bijdrage te leveren aan de formuleren van nieuwe strategieën op ondernemingsniveau.
Bestemd voor: leidinggevende staf- of lijnfunctionarissen met een technische achtergrond (TU, HTO), die ten behoeve van hun verdere loopbaan geconfronteerd worden met vraagstukken van algemeen bedrijfsbeleid.
Cursusleiding: prof.dr. P.J. Idenburg en drs. J. Moëd (UT).
Deelnamekosten: *f* 2.650,— p.p. (inclusief overnachting).

Uw bedrijfsorganisatie gezien vanuit NEN-ISO 9000

Driedaagse cursus op 22, 23 en 24 maart in Utrecht.
Doelstelling: deelnemers inzicht geven in de samenhang tussen bedrijfsorganisatie en het kwaliteitssysteem volgens NEN-ISO 9000.
Bestemd voor: leidinggevenden en kwaliteitszorgfunctionarissen, die verantwoordelijk zijn voor opzet en invoering van een kwaliteitssysteem, danwel voor de beslissing staan om een ISO-certificaat te gaan halen.
Cursusleider: ir. H.J. van Wijk.
Deelnamekosten: *f* 2.995,—.

Dynamica van machines

Vierdaagse cursus op 22, 23, 29 en 30 maart 1993 in Delft.

Doelstelling: deelnemers een algemeen overzicht te verschaffen van de grondslagen van de dynamica van machines en moderne methoden voor de analyse van het dynamisch gedrag van zowel lineaire als ook niet lineaire mechanische systemen.
Bestemd voor: ingenieurs die in hun functie te maken hebben met het dynamische gedrag van machines en behoefte hebben aan verdieping en verbreding van hun kennis op dit gebied.
Cursusleiding: prof.dr.ir. J.F. Besseling en prof.dr.ir. P. Meijers (TUD).
Deelnamekosten: *f* 2.495,—.

Experimentele en numerieke technieken voor de analyse van visceuse stromingen

Vijfdaagse cursus op 20 en 27 april en 4, 11 en 18 mei 1993 in Eindhoven.
Doelstelling: deelnemers een overzicht geven van belangrijke experimentele en numerieke technieken binnen de vloeistofmechanica voor de analyse van met name laminaire, incompressibele stromingen.
Bestemd voor: ingenieurs die hun kennis over experimentele en numerieke technieken in de vloeistofmechanica willen opbouwen of verbreden.
Cursusleider: dr.ir. F.N. van de Vosse (TUE).
Deelnamekosten: ca. *f* 2.800,—.

Nadere informatie over deze cursussen:
Stichting PATO
Postbus 30424
2500 GK Den Haag
Telefoon: 070 - 3 664 257

Contractactiviteiten Hogeschool Utrecht

De Stichting Technologisch Centrum Utrecht (TCU) beëindigt thans haar activiteiten. Gedurende een aantal jaren is TCU opgetreden als transferbureau voor de contractactiviteiten van de Hogeschool Utrecht (HU). Voortaan voert de Hogeschool Utrecht deze activiteiten in eigen beheer uit.
Binnen de Hogeschool Utrecht zijn nu op dit gebied "post Tertiair Onderwijs Utrecht (PTO-U)" en "HU-Consultancy" actief:
PTO-U:
- post HBO-cursussen met een open inschrijving;
- onderwijs op specificatie van de opdrachtgever: contractonderwijs.

HU-Consultancy:
- toegepast onderzoek in industriële bedrijven, o.a. door het inzetten van studenten en specifieke expertise op het gebied van kwaliteit, innovatie, dunneplaat-technologie, milieu en micro-elektronica.

Het adres:
PTO-U/HU-Consultancy
Tiberdreef 8
3561 CG Utrecht
Telefoon: 030 - 660 254
Fax: 030 - 628 418.

Toepassing van laser-Doppler anemometrie in knepen

G.F.M. Braat, H.G.J. Rutten

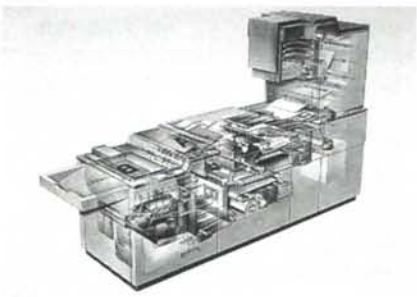
In kopieermachines en laserprinters komen veel zogenaamde knepen voor. Een kneep is het contactgebied tussen twee met rubber beklede metalen cilinders: de walsen. Figuur 1 geeft een goede indruk van het aantal knepen dat in een kopieerapparaat voorkomt. De belangrijkste taak van een kneep is het transporteren van papier. Andere functies zijn het schoonmaken (cleanen) van walsen waar toner (inktbolletjes) op achtergebleven is en het "fusen" van het beeld op het papier.

Een bron van storingen in kopieermachines en laserprinters ontstaat doordat er in een kneep iets mis gaat. Enkele voorbeelden hiervan zijn: vel papier blijft vastzitten aan een wals, papier wordt vervormd, kopie is te donker, te licht of glimt teveel. Deze problemen zijn het gevolg van eigenschappen van de walsen, zoals straal, rubberlaagdikte, elasticiteitsmodulus of van belastingen zoals normaalkracht, koppels en snelheid.

Het is dan ook van groot belang voor de goede werking van kopieerapparaten en laserprinters om een goed inzicht te hebben van dat wat er in een kneep gebeurt.

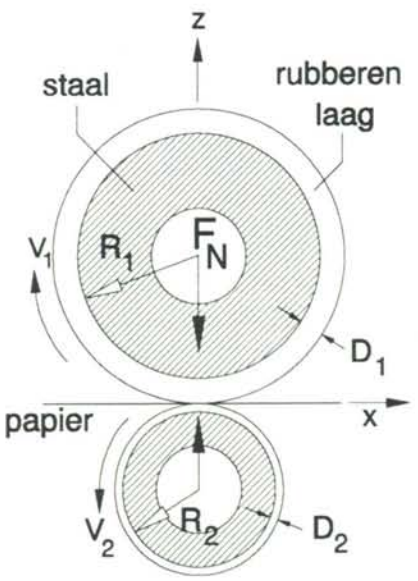
Op experimenteel gebied zijn tot nu toe niet veel resultaten beschikbaar die nauwkeurig met de praktijkbevindingen overeenkomen. Vandaar dat een onderzoek is gestart, waarvoor een meetopstelling is ontwikkeld waarin laser-Doppler anemometrie als methode wordt gebruikt om rubbervervormingen contactloos te kunnen meten.

Een kneep in *onvervormde* toestand, zie figuur 2, is al vaak theoretisch benaderd. Het eenvoudigste model, gebaseerd op de halfruimtebenadering is van Hertz (1882) [1] en is uitvoerig beschreven door Johnson (1985) [2]. Het model van Kalker, gebaseerd op de gelaagde structuur - Kalker, 1990, 1991 [3, 4] en Braat, 1990 [5] - is gebruikt om de rubbervervormingen in een kneep te berekenen. De resultaten van deze berekeningen zijn verkregen met het zelf ontwikkelde programma MULTILAYER.



Figuur 1. Knepen in een kopieerapparaat.

In dit artikel worden de meetopstelling, het principe en de toepassing van de laser-Doppler anemometrie en de onderzoeksresultaten beschreven. Tevens worden de verkregen meetresultaten vergeleken met de resultaten van de berekeningen op theoretische grondslag.



Figuur 2. Schematische voorstelling van een kneep in onvervormde toestand.

Beschrijving van de kneep

De kneep is het contactgebied tussen twee met rubber beklede metalen cilinders, de walsen, en dient (voornamelijk) om papier te transporteren. Dit contactgebied ontstaat doordat de walsen met een normaalkracht F_N tegen elkaar worden gedrukt, zie figuur 3. Aangenomen wordt dat de cilinders onvervormbaar zijn.

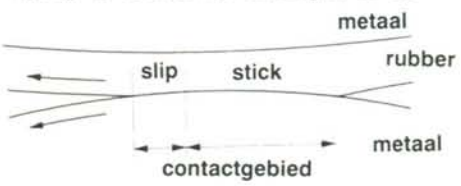
De walsen worden aangedreven door een koppel op iedere as en draaien in de in figuur 2 aangegeven richting. Aangenomen wordt dat de walsen stationair draaien, hetgeen wil zeggen dat de contactfenomenen niet in de tijd veranderen. Er kan een tangentiale kracht in het contactgebied uitgeoefend worden door de koppels op een bepaalde manier in te stellen.

Het contactgebied (figuur 3) wordt verdeeld in een stick-gebied en een slipgebied (de rubberoppervlakken hebben een snelheidsverschil ten opzichte van elkaar). Dit kunnen ook enkele slipgebieden zijn. Meestal is echter één slipgebied aanwezig, namelijk aan de kant waar het rubber het contactgebied verlaat.

Het gedetailleerde doel van het onderzoek is nu om de contactfenomenen, contactbreedte, grootte van stick- en slipgebied, rekprofielen in het contactgebied en in het inwendige, te bepalen. Met rek wordt bedoeld de rek of vervorming van het rubber in de x-richting (transportrichting). Opgemerkt wordt dat temperatuurinvloeden buiten beschouwing blijven.

Waarom laser-Doppler anemometrie?

Een studie is verricht naar de wijze waarop de rubbervervormingen in de

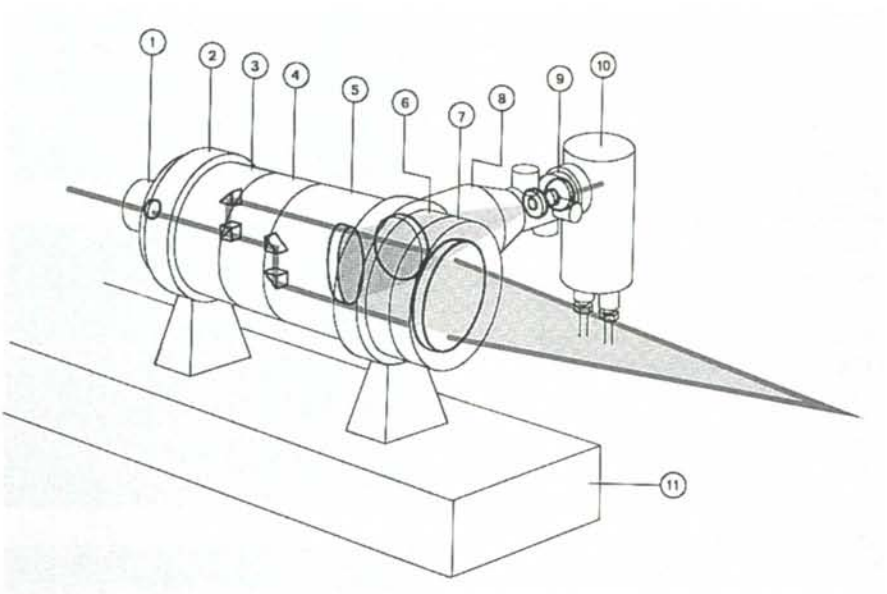


Figuur 3. Het contactgebied in een belaste kneep.

kneep, verantwoordelijk voor de in het vorige hoofdstuk genoemde contactfenomenen, kunnen worden gemeten. In aanmerking komen druksensoren en contactloze meetmethoden.

Meten met druksensoren
De dikte van de rubbers is doorgaans niet meer dan één à twee millimeter. Als in een zo dunne rubberlaag druksensoren zouden worden aangebracht, dan beïnvloeden deze de vervorming van het rubber dusdanig dat de nauwkeurigheid van de meting in twijfel getrokken mag worden. Een ander probleem bij het werken met druksensoren is de beperkte resolutie als gevolg van de afmetingen van een druksensor, die relatief groot zijn in verhouding tot de dikte van de rubberlaag. Een hinderlijk effect is ook dat, tengevolge van de rotatie van de wals, de sensor slechts enkele delen van een seconde per omwenteling in de kneep verblijft. Als de kneep geen continue constante krachtverdeling heeft, dient verder de positie van de sensor in de kneep uiterst nauwkeurig bekend te zijn. Een laatste probleem is nog dat de signalen op een betrouwbare manier naar "buiten" gebracht moeten worden door middel van sleepringen.

Contactloos meten
Al met al is het geen ideale oplossing om door middel van contact metingen te verrichten. Gezocht is dan ook naar een contactloze meetmethode waarvoor een optische, de laser-Doppler anemometrie, de meest geschikte bleek te zijn. Deze meetmethode wordt in de industrie al op diverse plaatsen toegepast.
Bij de laser-Doppler anemometrie is het mogelijk in zeer kleine meetvolumes (minder dan 0,025 mm^3) contactloos snelheden te meten. In het vorige hoofdstuk is aangenomen dat we te maken hebben met een stationair contactprobleem, dus tijdsonafhankelijk. Dit betekent dat de tijd t omgezet kan worden naar de plaatscoördinaat x door de transformatie $x = V \cdot t$, waarin V de constante rolsnelheid is. Indien de verplaatsing voorgesteld wordt door u is de snelheid gelijk aan $\frac{du}{dt}$.



Figuur 4. De laser-Doppler anemometer. Verklaring: 1 HeNe-laser; 2 bevestigingsverloopstuk; 3 bundeldeler; 4 bundelverplaatser; 5 detectie-optiek; 6 lenshouder; 7 projectie-objectief; houder; 9 interferentiefilter; 10 fotomultiplier; 11 optische tafel.

Uit $x = V \cdot t$ volgt dan dat:

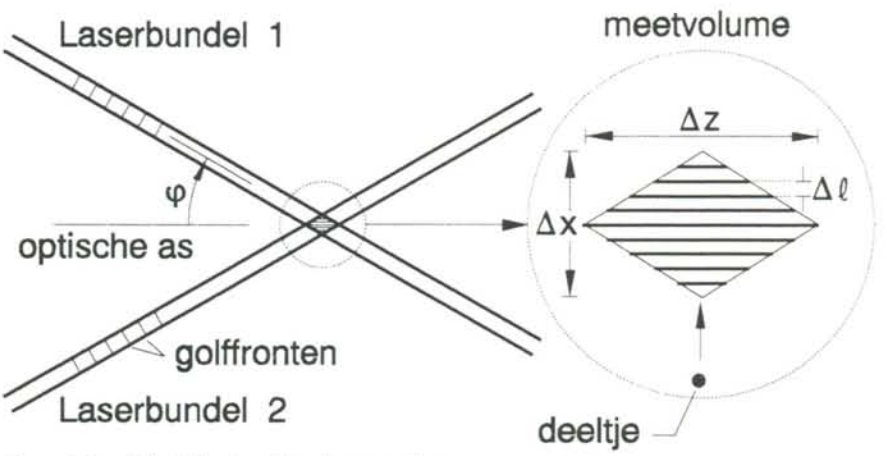
$$\frac{du}{dt} = V \cdot \frac{du}{dx} \stackrel{\Delta}{=} V \cdot \varepsilon_x \qquad (1)$$

Deze formule geeft de relatie tussen de *gemeten* snelheid V en de *berekende* rek εx.
In het volgende hoofdstuk zal de theorie van de laser-Doppler meettechniek behandeld worden. Vervolgens wordt duidelijk gemaakt hoe het mogelijk is gemaakt deze techniek voor het onderzoek toe te passen.

Theorie van de laser-Doppler anemometrie

De term laser-Doppler anemometrie (afgekort LDA) betekent, vrij vertaald: Meten van snelheden door gebruik te maken van het Doppler-effect van een bewegend deeltje (of een aantal deeltjes). We kennen het Doppler-effect voornamelijk bij geluidsgolven. Het fenomeen is dat, wanneer een bepaald object beweegt ten opzichte van een frequentiebron, door het object een andere frequentie wordt waargenomen dan door de bron wordt uitgezonden. Uiteraard treedt dit effect ook op bij (elektromagnetische) lichtgolven.

Het principe van de LDA laat zich het gemakkelijkst begrijpbaar uitwerken aan de hand van het zogenaamde in-



Figuur 5. De snijdende laserbundels en het meetvolume.

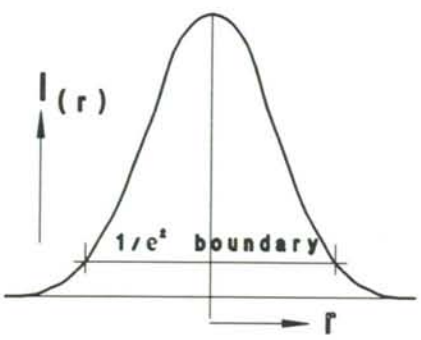
terferentiemodel. In figuur 4 is een schema gegeven van de laser-Doppler anemometer.
Figuur 5 toont twee elkaar snijdende laserbundels. Zij snijden elkaar onder een hoek $\Phi = 2\varphi$. Het snijpunt van de laserbundels wordt het meetvolume genoemd. Door deze coherentie ontstaat een interferentiepatroon. De interferentielijnen (fringes) hebben een onderlinge afstand $\Delta\ell$, die berekend kan worden (Durst, 1981, [6]), indien de golflengte van het laserlicht bekend is (golflengte HeNe laser $\lambda_0 = 632{,}8$ nm):

$$\Delta\ell = \frac{\lambda_0}{2} \sin^{-1}\left(\frac{\Phi}{2}\right) \qquad (2)$$

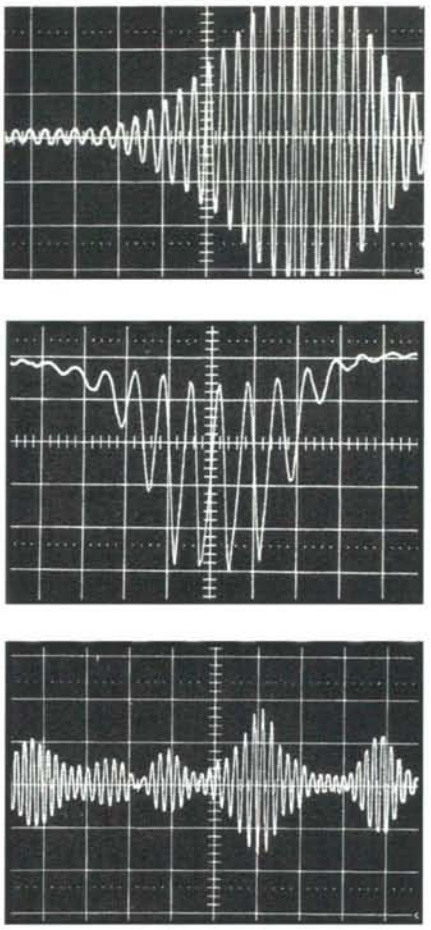
Indien nu een deeltje met de snelheid v door dit interferentiepatroon beweegt zal het licht met een bepaalde frequentie verstrooid worden. Deze Doppler-frequentie is gegeven door:

$$f_D = \frac{v}{\Delta\ell} = \frac{2v}{\lambda_0} \sin\left(\frac{\Phi}{2}\right) \qquad (3)$$

Indien dus de frequentie van het teruggekaatste licht gemeten kan worden, kunnen we met (3) de snelheid van het deeltje bepalen.
De voorstelling van het meetvolume door een ruit en de interferentielijnen als rechte lijnen is fictief. In werkelijkheid (driedimensionaal) is het meetvolume een ellipsoïde en zijn de interferentievlakken gekromd en wel zodanig dat de vlakken aan de uiteinden dichter bij elkaar liggen (Durst, 1981). Dit wordt veroorzaakt door het feit dat de laserbundels in werkelijkheid niet recht zijn, maar gekromd. De kleinste diameter van de laserbundels, de waist, moet in het meetvolume vallen, omdat de golffronten van de laserbundels daar vlak zijn.



Figuur 6. Een laserbundel met een Gaussische intensiteitsverdeling.



Figuur 7. (a) Het Dopplersignaal van de fotodetector, (b) na het hoogdoorlaatfilter en (c) een 'multi-particle' signaal.

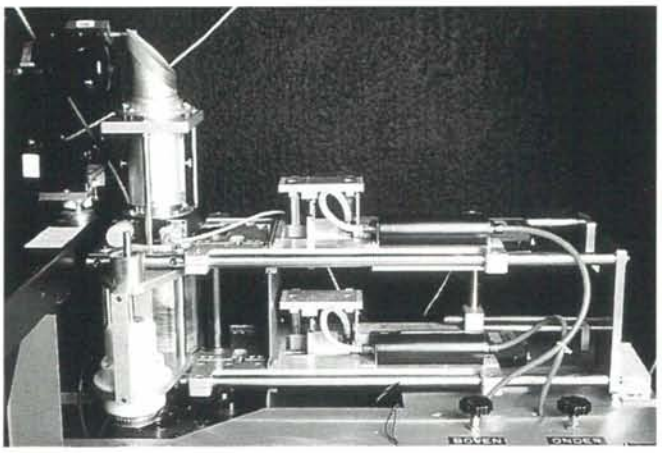
De intensiteit van de laserbundel is niet uniform verdeeld als functie van de straal, maar Gaussisch; zie figuur 6. Als gevolg hiervan zal de intensiteitsverdeling van de interferentielijnen in het meetvolume ook Gaussisch zijn. Indien nu het gereflecteerde licht van een deeltje wordt opgevangen door een fotodetector, zien we het signaal gegeven in figuur 7a. Dit signaal wordt gefilterd door een hoogdoorlaatfilter en wat we dan overhouden is de zogenaamde Doppler-burst; zie figuur 7b.
De frequentie van dit signaal is de Doppler-frequentie, die gerelateerd is aan de snelheid van het deeltje en is het inputsignaal voor de signaalverwerking. De kwaliteit van het Doppler-signaal is afhankelijk van de grootte en de concentratie van de reflecterende deeltjes:

- De grootte van de reflecterende deeltjes.
  De signaalkwaliteit is het beste indien de diameter van de deeltjes kleiner dan of gelijk is aan de afstand tussen de interferentielijnen, maar nog wel groot genoeg om voldoende licht te kunnen reflecteren. In de praktijk zullen de deeltjes echter van verschillende grootte zijn. Het resulterend signaal zal daardoor een combinatie zijn van signalen met hoge en lage signaalruisverhouding. Het signaalverwerkingssysteem is zodanig opgebouwd dat alleen 'goede' signalen verwerkt worden.
- De concentratie van deeltjes.
  Indien de concentratie te hoog is zal de signaalkwaliteit slecht zijn. Immers, wanneer zich twee deeltjes in het meetvolume bevinden die uit fase zijn, zal hun resterende signaal een lagere modulatiediepte hebben dan het signaal van ieder deeltje apart. In de praktijk worden echter vele snelheidsmetingen op één punt gedaan. Het gemiddelde is dan de uiteindelijke snelheid. Indien de concentratie van de deeltjes te laag is zal een dergelijke meting lang gaan duren.

Indien er meer deeltjes tegelijk in het meetvolume aanwezig zijn, krijgen we een zogenaamd multi-particle Doppler-signaal, gegeven in figuur 7c.

De meetopstelling; zie figuur 8

Het principe van de meetmethode is als volgt ontwikkeld. De metalen cilinders, doorgaans vervaardigd uit stalen buis of massief staaf, zijn vervangen door een holle glazen cilinder en een zwart geanodiseerde aluminiumcilinder, beide voorzien van een transparante rubberlaag.
Op de rubberlaag van de glazen wals zijn kleine deeltjes aangebracht (Iriodine Feinsatin van de firma Merck), die sterk reflecteren en goed plakken aan de ondergrond. De laser-Doppler anemometer "kijkt" via spiegels naar de binnenkant van de glazen wals, "ziet" de rubberlaag en reageert wanneer een dergelijk deeltje door het meetvolume beweegt. Door met de zwart geanodiseerde (druk)wals tegen de glazen wals te drukken is het mogelijk bepaalde kneepdrukken en koppels te genereren. De drukwals is gematteerd met een laagje grafiet (Aqua-

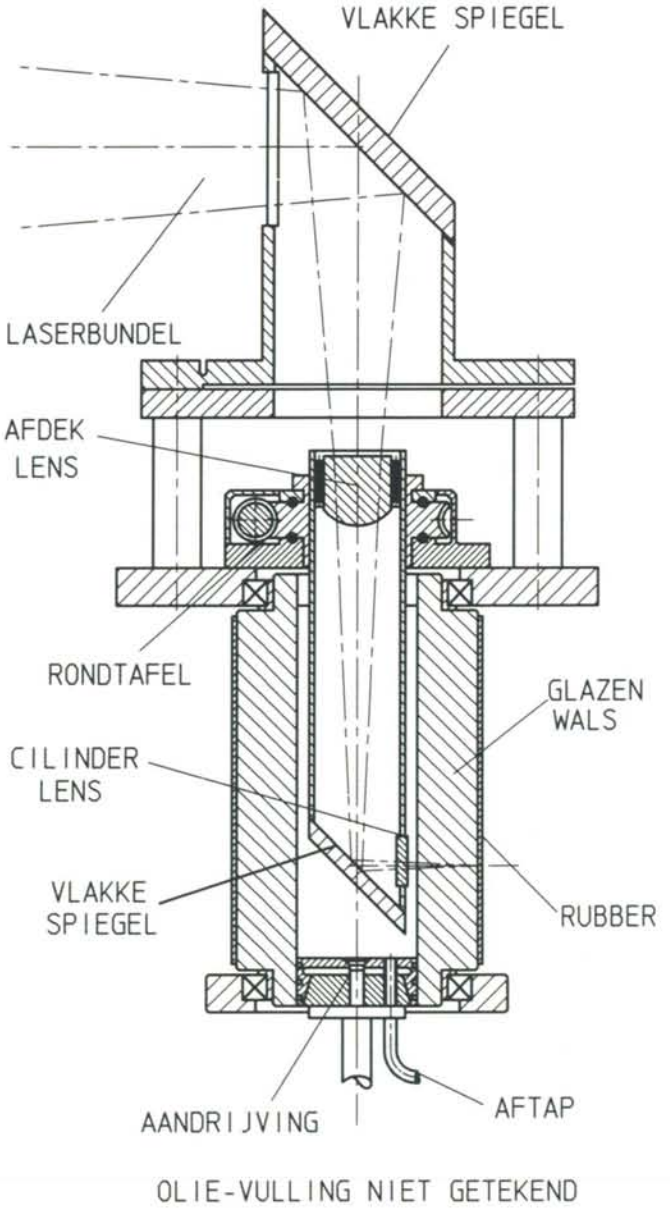


Figuur 8. De totale proefopstelling.

dak Colloid Graphite), om reflecties te voorkomen als gevolg van zijn oorspronkelijk glimmende zwarte oppervlak. Deze reflecties treden het sterkst op indien één van de laserbundels loodrecht op dit glimmende oppervlak valt, waardoor zogenaamde multiple-fringes ontstaan.
Dit eenvoudige principe is omgezet in een meetopstelling, die te verdelen is in vier elementen, ieder met een eigen functie:

- de laser-Doppler anemometer,
- het "optische-wals" systeem,
- het drukkrachtsysteem, en
- het koppel-, meet- en regelsysteem.

De laser-Doppler anemometer is reeds eerder behandeld; de andere drie elementen worden hierna beschreven



Figuur 9. Het "optische-wals" systeem.

Het "optische-wals" systeem; zie figuur 9
De twee bundels die van de laser-Doppler anemometer afkomen moeten nu precies in de transparante rubberlaag hun snijpunt hebben. Het optische-wals systeem is daartoe opgebouwd uit een spiegelsysteem met een kijktubus en de optische holle wals.
Het spiegelsysteem is uitgevoerd als een periscoop. De bundels van de laser-Doppler anemometer komen horizontaal binnen. Een grote, optische, ellipsvormige vlakke spiegel is onder 45 graden geplaatst. De bundels worden daardoor vertikaal naar beneden gebogen waar een kleinere, optische, ellipsvormige vlakke spiegel onder 45 graden geplaatst is, die de bundel weer horizontaal projecteert. De eisen die aan deze spiegels gesteld worden zijn zeer hoog. De vlakheid ervan is beter dan 1/12 van de golflengte van de laser. Deze hoge eis is om een aantal redenen noodzakelijk, waarvan een van de belangrijkste is dat geen vorm- en richtingsverandering mag optreden van de bundels die van de laser-Doppler anemometer komen. Een andere belangrijke is dat de camera die in de laser-Doppler anemometer is ingebouwd, geen vervormd beeld mag zien. Dit zou leiden tot verschillen in frequenties van de interferentielijnen die in het meetvolume ontstaan.
Door de afstand tussen de beide spiegels te veranderen kan de buitenmantel van het rubber overal waargenomen worden.

De afgesloten kijktubus is geheel gevuld met immersie-olie om een aantal redenen. Op de eerste plaats wordt de convergentie van de twee bundels minder, waardoor de weglengte die mogelijk is, groter wordt. Een andere reden is dat het aantal glas-lucht overgangen wordt gemini-

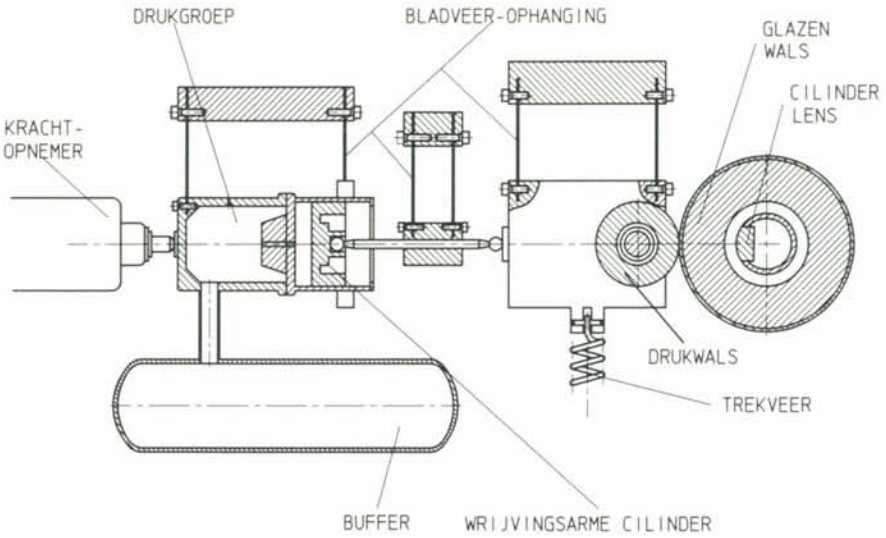
maliseerd. Een derde reden is dat een open immersie-oliebad altijd een trillend oppervlak zal hebben, hetgeen de bundels en beelden dermate sterk zou vervormen, dat van betrouwbare metingen in de verste zin van het woord geen sprake meer kan zijn. Om deze reden is de kijktubus aan de bovenzijde voorzien van een venster, de afdeklens, dat de tubus afsluit. Dit venster is een sterke plan-convexe (platbolle) lens waarvan de vlakke zijde ook hier een zeer hoge vlakheid heeft van beter dan 1/12 golflengte. De bolle zijde zit in het immersie-oliebad. Tijdens het vullen van de kijktubus met immersie-olie ontstaan luchtbellen, die zeer gemakkelijk naar boven komen. Bij een vlak venster krijgt een luchtbel geen impuls om onder het venster vandaan te komen. Door de sterke bolvorm van lens bewegen de luchtbellen zich nu langs het glasoppervlak naar boven. Aan de onderzijde is de kijktubus afgesloten met een plan-convexe cilinderlens, die een kromtestraal heeft gelijk aan radius van de kijktubus.

De optische holle wals is vervaardigd van hoogwaardig optisch glas (BK-7 grade A). Deze kwaliteit van het glas is nodig om vervormingen van bundels en beelden te voorkomen. In gewoon vensterglas bijvoorbeeld komen schlieren voor. Dit zijn verschillen in brekingsindices in het glas. Doordat de wals ronddraait zouden deze schlieren zich door de bundels bewegen met als gevolg dat de bundels van richting veranderen.
De wals is voorzien van astappen voor het kunnen opnemen van een lager. De concentriciteiten en coaxialiteiten van de astappen, de binnen- en buitendiameter moeten zeer hoog zijn, wat nog extra werd bemoeilijkt doordat de lagers via een teflonbus op de astappen dragen. Bereikt is beter dan 0,02 mm. Deze hoge nauwkeurigheid is nodig om te voorkomen dat er snelheidsverschillen ontstaan aan het oppervlak van de wals en dat de kracht die van buitenaf aangebracht wordt gaat variëren.
De binnen- en buitendiameter van de optische wals zijn met zeer hoge vormnauwkeurigheid en oppervlaktegesteldheid uitgepolijst. De rondheid ervan aan de buitenzijde is beter dan 0,001 mm, terwijl de "scratch and dig" overeenkomt met 40/20. Dit wil zeggen dat de krasjes, die op het oppervlak mogen zitten niet langer mogen zijn dan 40 µm en niet dieper dan 20 µm. De wals wordt voorzien van een daarvoor speciaal ontwikkelde optische transparante rubber. Rubber hecht echter niet aan glas zodat er ook weer een speciaal optisch transparant hechtmiddel ontwikkeld moest worden. Dit zijn allemaal eigen recepturen van Océ. Het speciale rubber wordt in speciale matrijzen aangebracht, waarbij de glazen wals dan als kernstuk dient.

Door deze wijze van het aanbrengen van het rubber is een hoge centriciteit wel mogelijk, maar perfect is het nooit. De rubberlaag kan dus dikker en dunner zijn, zij het slechts enkele honderdsten millimeters. Deze dikteverschillen beïnvloeden echter weer het elastisch gedrag van de rubberlaag. Daar waar de rubberlaag dikker is, zal deze bij eenzelfde kracht verder ingedrukt worden, dan op een plaats waar hij dunner is. Nadat een wals voorzien is van een laag is het echter niet meer mogelijk de dikte op een non-destructieve wijze te bepalen. Variaties in dikte geven een variatie van de neutrale lijn van de rubberlaag. Om nauwkeurig te kunnen meten is het nodig de tengevolge van de rotatie optredende periodieke variaties exact op elkaar te kunnen leggen. Niet alleen in relatie tot de omtrek van de wals, maar ook in relatie tot de wisselende plek waar de laser-Doppler anemometer "kijkt". Door een groot aantal metingen op elkaar te leggen wordt elke positie gemiddeld en is het mogelijk ruis eruit te filtreren. Het mechanisme dat gebruikt is om metingen op elkaar te leggen is heel eenvoudig. De optische wals drijft door middel van een tandriemoverbrenging met een verhoogde nauwkeurigheid een pulsenschijf aan die 18000 pulsen per omwenteling geeft (resolutie 0,2 graad). Experimenteel wordt bepaald waar de nulpuls van deze pulsenschijf zit ten opzichte van de wals. Bij het verdraaien van de waarneemperiscoop (zie het hoofdstuk "Resultaten") verandert echter de plaats van het waarneemveld in de kneep. Natuurlijk is het rekenkundig mogelijk te bepalen wanneer de nulpuls weer exact door het meetvolume gaat. Om dit te lastige rekenkarwei te besparen is een staalbandoverbrenging van precies 1:1 tussen de waarneemperiscoop en het huis van de pulsenschijf aangebracht, die het huis exact hetzelfde verdraait als de waarneemtubus. Dus de nulpuls geeft dan precies aan welk deel van de optische wals zich op dat moment in het meetvolume bevindt. Op deze manier wordt de meetnauwkeurigheid zonder veel rekenwerk sterk verhoogd.

Het drukkrachtsysteem; zie figuur 10
Het doel van de opstelling is het elastische vervormingsgedrag van een kneep te meten en te bepalen welke mechanismen daarbij werkzaam zijn.
De kneep ontstaat doordat twee walsen met een bepaalde kracht tegen elkaar gedrukt worden. De mate waarin het rubber vervormt is afhankelijk van de kracht. In de meetopstelling moet het dus mogelijk zijn verschillende krachten aan te brengen. Nu zijn er diverse methoden om de beide walsen tegen elkaar te drukken. De walsen dienen echter ook op hun plaats te blijven en de kracht moet onafhankelijk van de indrukking even groot blijven. Door onrondheid van de walsen gaan deze op en neer, wat ook gebeurt als er een velletje papier tussen de beide walsen wordt doorgevoerd. Deze veranderingen in de hartafstand tussen de beide walsen mag geen invloed hebben op de grootte van de aangebrachte kracht. Daarbij komt ook nog dat er geen hystereses mogen optreden. De hoofdoorzaak van een hysterese is wrijving. Door de hysterese ontstaat bij de meting een gebied (ruis) waardoor niet exact bekend is wat de optredende kracht is. Kleine krachtvariaties met hoge frequentie kunnen dan ondergaan in deze ruis. De ruis is door veelvuldig meten wel te reduceren, maar in principe blijft er altijd een meetfout bestaan.

Om al deze redenen is extra aandacht besteed aan het systeem dat de kracht aanbrengt. De maximale kracht waarmee een kneep samengedrukt wordt in ongeveer 3N per millimeter kneep-



Figuur 10. Het drukkrachtsysteem.

lengte. De lengte van de optische wals is 150 mm, zodat de totale kracht neerkomt op circa 450 N.
Veel constructies hebben allerlei onvoorspelbare en daardoor ontoelaatbare eigenschappen. Vandaar dat een oplossing is gekozen waarbij de optredende wrijvingen minimaal zijn
De drukwals is opgehangen in een houder die gelagerd is in bladveerscharnieren. De zuiger van een wrijvingsarme luchtcilinder drukt nu de zwarte drukwals tegen de optische, met rubber beklede, glazen wals. Deze wrijvingsarme luchtcilinder is vervaardigd uit glas met een zuiger van gegrafiteerde kunststof. De wrijvingskracht die optreedt in minder dan 0,01 N. De reactiekracht wordt opgenomen door een krachtopnemer.
Een luchtcilinder is echter ook een veer, waardoor eventuele onregelmatigheden toch weer zouden leiden tot krachtveranderingen. Daarbij komt ook nog dat de lucht door een reduceerventiel wordt toegevoerd. Een standaard reduceerventiel heeft ook weer een hysterese die snel in de buurt van 0,1 bar komt, wat bij een zuigerdiameter van 40 mm al een krachtvariatie geeft van 12 N per bar druk. Om deze reden is gekozen voor een precisie-reduceerventiel (niet getekend) dat een hysterese heeft van slechts 1 mbar. Om elk compressie-effect te voorkomen is tussen de luchtcilinder en het regelventiel een buffer aangebracht met een klein lek.
Het is onmogelijk de luchtcilinder zonder neveneffecten aan de krachtopnemer te bevestigen. Om deze tot een minimum te beperken, is de luchtcilinder opgehangen in een juk dat door middel van bladveren als parallelscharnier aan een tussenfreem is bevestigd. De druklichamen, die de kracht naar de walshouder via de drukgroep naar de krachtopnemer doorgeven, zijn voorzien van bolvormen die tegen glazen drukstukken werken. Door de manier van ophangen zijn er geen dwarsverplaatsingen mogelijk. De krachtvariaties die nog optreden zijn in de orde van 3 tot 6 N bij een kracht van ca. 300 N.

Het koppel-, meet- en regelsysteem

In een kopieerapparaat werkt niet alleen de kracht waarmee de walsen op elkaar gedrukt worden. Er wordt ook een koppel overgebracht. In een werkelijk kopieerapparaat ontstaat dit koppel door de kracht die nodig is om de fotogeleidende band gedurende de beeldoverdracht aan te drijven. Dit koppel geeft aan de kneep een vormverandering, waardoor mogelijk een beeldvervorming optreedt. Ook dit wordt in de meetopstelling gesimuleerd.
De walsen worden ieder door een gelijkstroommotor aangedreven. De ene motor wordt op snelheid geregeld en de andere op koppel. De regelcyclus dient zeer snel te zijn en de snelheidsvariaties zo gering mogelijk. Het snelle regelgedrag wordt bereikt door gelijkstroommotoren te gebruiken met een ijzerloze rotor, ook welk klokankermotoren genoemd. De regelfrequentie waar de motor nog op reageert is ca. 30 Hz. De snelheidsvariaties die optreden zijn zeer gering door gebruik te maken van nauwkeurige planeetwieloverbrengingen. Een nog hogere loopnauwkeurigheid kan bereikt worden met wrijvingsoverbrengingen.
De combinatie van snelheid- en krachtgestuurde motoren geeft vaak complicaties. De snelheid die een gelijkstroommotor krijgt is rechtstreeks afhankelijk van de spanning die over de motor staat. Het koppel daarentegen is rechtstreeks afhankelijk van de stroom die door de motor gaat. Dat betekent dus dat de wals die de snelheid bepaalt een spanninggestuurde motor is, terwijl de motor die het koppel bepaalt een stroomgestuurde motor is.
In de meetopstelling wordt de optische wals aangedreven door de stroomgestuurde motor en de drukwals door de snelheidgestuurde. De reden hiervoor is duidelijk. Zou de optische wals door de snelheidgestuurde motor aangedreven worden, dan zouden ten gevolge van de indrukking van het rubber snelheidsvariaties ontstaan. De metalen drukwals heeft daar geen last van. Wel treden er, ook weer ten gevolge van de indrukking van het rubber, kleine koppelvariaties op, die echter verwaarloosbaar klein zijn.
Ofschoon de stroom die door een motor gaat, samen met de spanning die erover staat, een maat is voor het koppel, is dit niet voldoende nauwkeurig. Vooral thermische en inloop-effecten in de tandwieloverbrenging zijn moeilijk voorspelbaar. Dit is dus te onnauwkeurig om betrouwbare waarden te krijgen. Het koppel dat door de gelijkstroommotor aan de drukwals wordt toegevoerd, wordt daarom gemeten met behulp van een koppelmeter. Deze koppelmeter zit via een Schmidt-koppeling direct gekoppeld aan de wals. Gekozen is voor een Schmidt-koppeling omdat deze koppelingen zeer stijf zijn en bij verschillende asafstanden geen extra rotatie introduceren.
Bij de optische wals is om de volgende reden eveneens een koppelmeter

Toepassing van laser-Doppler anemometrie in knepen

tussen de wals en de motor aangebracht. Als de neutrale diameters van de drukwals en de optische wals exact gelijk zijn, dan wijzen beide koppelmeters hetzelfde koppel aan indien er geen energie verloren zou gaan in de kneep. In de kneep is echter vervormingsvermogen nodig. De diameterverschillen zijn bekend, zodat, door de beide koppels te verrekenen met de diameters, bekend is wat het vervormingsvermogen is. De enige onnauwkeurigheid die hierin optreedt is de wrijving van de lagers van de walsen en van de Schmidt-koppeling (deze bevat naaldlagers).

Resultaten

De numerieke gegevens van de laser-Doppler anemometer zijn als volgt:

brandpunt lens:	f_L	=	349,8 mm
diameter laserbundel:	d	=	1,1 mm
golflengte HeNe laser:	λ_0	=	632,8 nm
afstand van de laserbundels vóór de convexe lens:	δ	=	50,0 mm
brekingsindex lucht-olie:	n_G	=	1,52
lucht-rubber:	n_R	=	1,40
factor bundelverbreder:	B	=	2,27

De gegevens die hiervan afgeleid kunnen worden zijn:

diameter waist: $d_w = \frac{4 f_L \lambda_0}{\pi B d}$ $\quad d_w = 0{,}113$ mm

afmetingen van het meetvolume:

$d_x = d_w / \cos(\varphi)$	d_x	=	0,113 mm
$d_y = d_w$	d_y	=	0,113 mm
$d_z = d_w / \sin(\varphi)$	d_z	=	2,222 mm

afstand interferentielijnen (vergelijking (1)): $\Delta\ell = 4{,}4\mu m$

aantal interferentielijnen: $N_f = \frac{d_x}{\Delta\ell} = 25$

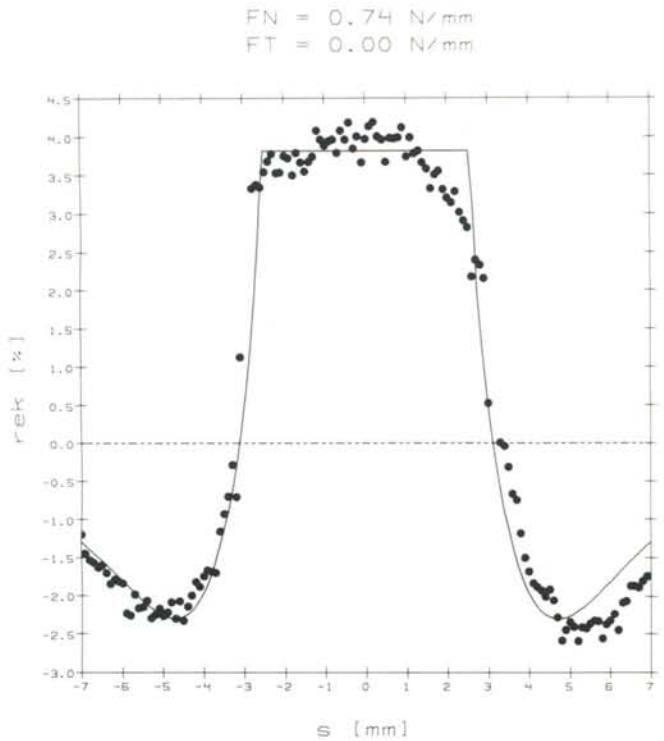
aantal cycles per Doppler-burst:	N_{CPB}	=	16
halve hoek tussen laserbundels in lucht:	φ_L	=	4,09°
halve hoek tussen laserbundels in glas:	φ_G	=	2,69°
halve hoek tussen laserbundels in rubber:	φ_R	=	2,92°

De gegevens van het mechanische gedeelte zijn:

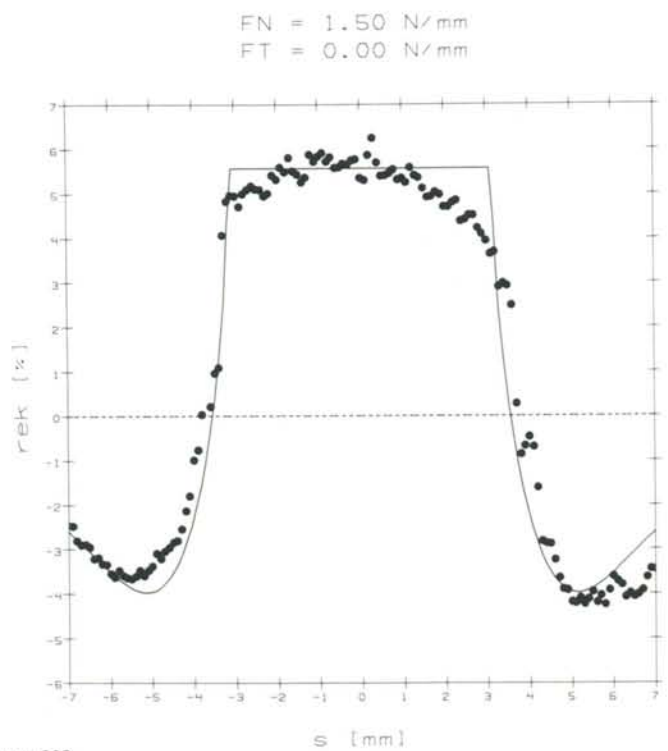
straal glazen wals:	R_1	=	50,0 mm
straal zwarte (druk)wals:	R_2	=	25,0 mm
dikte rubberlaag:	D_1	=	2,0 mm
lengte van de walsen:	L	=	150,0 mm
elasticiteitsmodulus rubber:	E	=	0,91 N/mm^2
Poissongetal:	ν	=	0,49
omtreksnelheid:	V	=	60,0 mm/s

metingnr.	F_N	F_T
1	0, 74	0
2	1, 50	0
3	1, 50	0, 05
4	1, 50	0, 15
5	1, 50	0, 30

Tabel 1. Normaal- en tangentiale krachten [N/mm] tijdens de metingen.

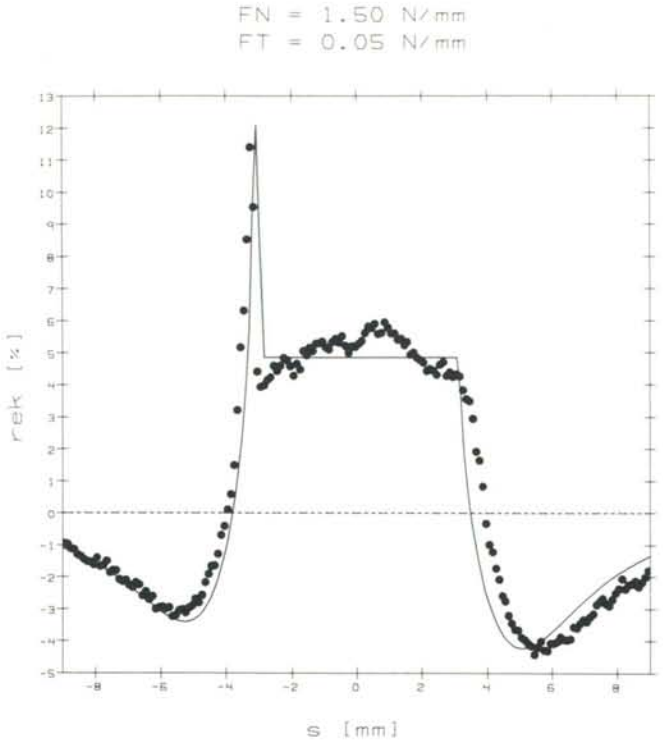


Figuur 11A.

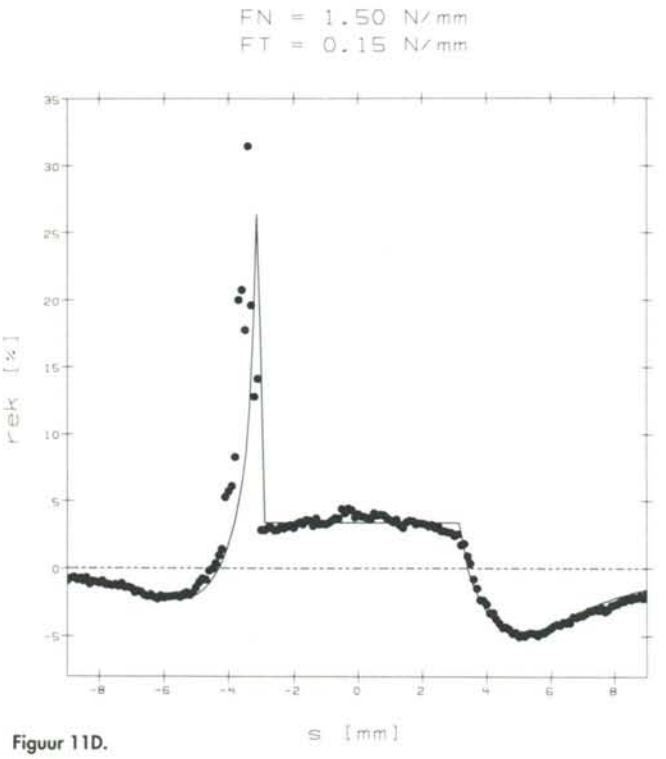


Figuur 11B.

Figuur 11. Meetresultaten van het rekprofiel bij variabele normaalkracht en tangentiale kracht.

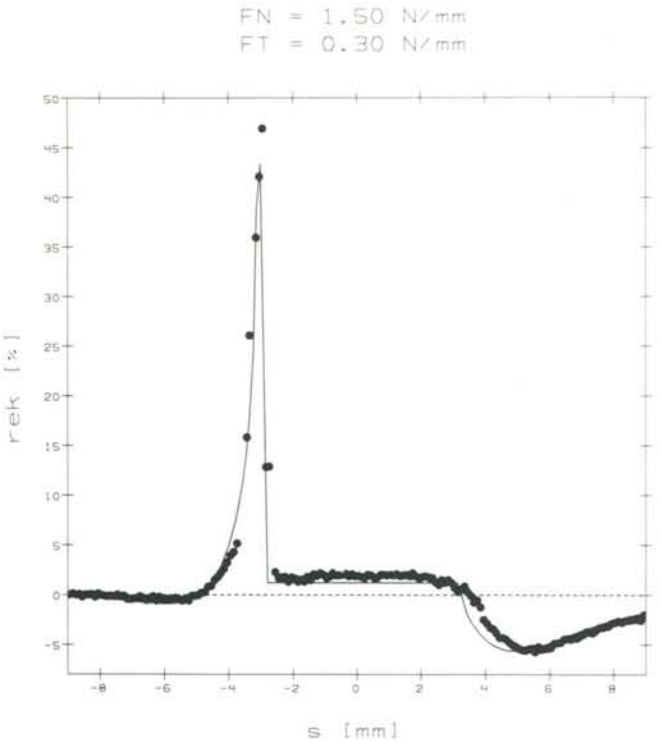


Figuur 11C.



Figuur 11D.

Met deze instellingen worden vijf snelheidsprofielen of rekprofielen gemeten. Hierbij worden de normaalkracht en tangentiale kracht gevarieerd volgens tabel 1.
De dimensie van F_N en F_T in de tabel is N/mm, omdat de kracht per millimeter walslengte wordt opgenomen



Figuur 11E.

(de analyse is tweedimensionaal). Het meetvolume wordt tangentiaal over de rubberen buitenmantel van de optische wals verdraaid van α = -10,0 graden naar + 10,0 graden in stappen van 0,1 graad (201 meetpunten). Per meetpunt wordt 512 keer de snelheid gemeten en in een histogram uitgezet, waaruit de gemiddelde snelheid wordt bepaald in dat punt. De resultaten zijn gegeven in figuren 11A tot en met 11E.
In deze figuren is de lokale snelheid uitgezet als functie van de coördinaat s (y-richting) langs het oppervlak. Dit is dan tevens de rek ε_x in procenten, vanwege de relatie tussen snelheid en rek die in het hoofdstuk "waarom laser-Doppler anemometrie" is aangetoond. De rek ε_x geeft de procentuele afwijking van de lokale snelheid ten opzichte van de omtreksnelheid (= snelheid van het onvervormde rubber). Het relatieve verschil tussen deze snelheden wordt ook wel kruip genoemd. In de figuren geeft de getrokken lijn het resultaat van de theoretische berekeningen en de lijn met bolletjes het resultaat van de metingen weer. De snelheden zijn gecorrigeerd voor de hoekverdraaiing α omdat door deze verdraaiing de oriëntatie van de interferentielijnen over eenzelfde hoek α verandert. Hierdoor wordt niet de werkelijke deeltjessnelheid v gemeten, maar v cos(α). De meetwaarden zijn dus eerst gedeeld door cos(α). De rechterkant van de figuren is de plaats waar de deeltjes het contactgebied naderen en dus afgeremd worden. In het contactgebied (horizontale rechte stuk van de theoretische berekeningen) is de snelheid groter dan de omtreksnelheid. Dit is een gevolg van het feit dat het rubber ingedrukt wordt en bij benadering geen volumeverandering kan ondergaan (ν = 0,49). De rek in de transportrichting is dus positief. Na de kneep relaxeert het rubber weer.

Toepassing van laser-Doppler anemometrie in knepen

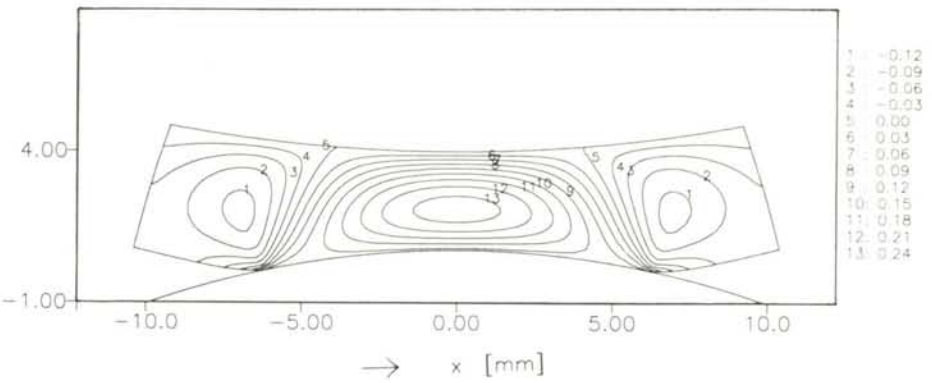
Indien geen tangentiale kracht wordt uitgeoefend, is het rekprofiel symmetrisch; zie de figuren 11A en 11B. In het geval dat de tangentiale kracht ongelijk aan nul is ontstaat een gebied waar de snelheid omhoog schiet. De tangentiale kracht is zodanig gericht dat de optische wals afgeremd wordt. Het rubber op de optische wals heeft een relatieve snelheid ten opzichte van de zwarte drukwals: er ontstaat een slipgebied. Naarmate de tangentiale kracht groter wordt, wordt het slipgebied groter. De grootte van het contactgebied en van het slipgebied die volgen uit de theoretische berekeningen, zijn gegeven in tabel 2. Deze gegevens zijn ook uit de metingen te halen, zij het niet zo nauwkeurig.

Twee punten verdienen nog de aandacht:

- De metingen vertonen geen horizontaal recht stuk. De berekeningen doen dit wel. Dit is grotendeels te verklaren uit het feit dat niet alleen aan de oppervlakte, maar ook in het inwendige van het rubber deeltjes door het meetvolume gaan. In radiale richting immers is de afmeting van het meetvolume ruim 2 mm. Deze deeltjes kunnen verontreinigingen of luchtbelletjes zijn. In figuur 12 is te zien dat de rek in het midden van de laag groter is dan in het contactgebied. Buiten de zone van het contactgebied wordt de rek kleiner. Er wordt dus eigenlijk een gewogen snelheid in radiale richting gemeten.
- In de figuren 11A en 11B is duidelijk te zien dat het minimum aan de rechterkant lager ligt dan aan de linkerkant. Dit wordt veroorzaakt door viscoëlastische eigenschappen van het rubber.

nr.	contact-gebied [mm]	slip-gebied [mm]	kruip [%]
1	4,8	0,0	3,8
2	6,1	0,0	5,6
3	6,0	0,024	4,9
4	5,9	0,081	3,4
5	5,7	0,155	1,2

Tabel 2. Resultaten van de theoretische berekeningen voor enkelvoudige grootheden.



Figuur 12. De rekverdeling over de gehele rubberlaag in de kneep. De bovenkant van de profiellijnenfiguur is de radius van de optische wals en de onderkant die van de zwarte drukwals. Rechts van het kader is de rek in mm gegeven.

Conclusies

Gezien de resultaten mag geconcludeerd worden dat de LDA-methode zoals zij hier is toegepast een uitstekende methode is om lokaal rubbersnelheden te meten in knepen. Met name de metingen van de slipgebieden vereisen een hoge nauwkeurigheid en daaraan wordt geheel voldaan. Tevens is aangetoond dat het theoretische model, gebaseerd op de lineaire elasticiteitstheorie en de invloedsfuncties voor gelaagd viscoëlastisch rubber, een goed bruikbare benadering van de realiteit is. In de slipgebieden, waar de rek kan oplopen tot 40%, is de lineaire elasticiteitstheorie toepasbaar, hetgeen men op grond van de grote vervorming niet zou verwachten.

In de toekomst zal een configuratie met meer lagen op één wals bestudeerd worden. Ook hiervoor is het programma MULTILAYER geschikt. Meten midden in de laag vereist een kleiner meetvolume in radiale richting. Door een bundelverbreder met factor 8,5 te nemen worden de afmetingen van het meetvolume ruwweg met een factor 4 verkleind, wat met name voor configuraties met meer lagen interessant is. Er kan dan gemeten worden op een overgang tussen twee lagen om bijvoorbeeld hechtingsonderzoek te verrichten. Dit zal in de toekomst plaatsvinden.

Ondanks dat er in de literatuur zeer weinig geschreven is over meetopstellingen voor het meten van rubbervervormingen in een kneep, is een meetopstelling goed realiseerbaar gebleken. uit de grote nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid van de metingen blijkt dat een betrouwbare meetopstelling is gerealiseerd met op zich een eenvoudige opbouw. Natuurlijk zijn enkele nauwkeurige optische en mechanische onderdelen nodig. Aan elektronica zijde is de nodige aandacht gegeven aan het verkrijgen van een goed regelgedrag van de motoren om een zo constant mogelijk koppel in de kneep aan te kunnen brengen. Natuurlijk is dit onmogelijk zonder gebruik te maken van moderne sensoren, koppelmeters en positie-encoders.

Literatuur

[1] H. Hertz, (1882), Über die Berührung fester elastischer Körper; Journal für reine und angewandte Mathematik. 92, pp. 156-171.

[2] K.L. Johnson, (1985), Contact mechanics; Cambridge University Press, Cambridge U.K.

[3] J.J. Kalker, (1990), Three dimensional elastic bodies in rolling contact; Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

[4] J.J. Kalker, (1991), Viscoelastic multilayered cylinders rolling with dry friction; Journal of Applied Mechanics, 58, pp. 666-679.

[5] G.F.M. Braat, J.J. Kalker, (1990), Deformations of viscoelastic layered rubber coated on two stationary rolling cylinders; Integration of Theory and Applications in Applied Mechanics, Edited by J.F. Dijksman and F.T.M. Nieuwstadt, pp. 103-111, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

[6] F. Durst, A. Melling, J.H. Whitelaw, (1981), Principles and practice of laser-Doppler anemometry; Academic Press, London.

Auteursnoot

Ir. G.F.M. Braat en H.G.J. Rutten zijn werkzaam bij Océ Nederland B.V., Afdeling R & D, Postbus 101, 5900 MA Venlo, Nederland.

Orgaan van de

NMFT

vereniging voor
Fijnmechanische Techniek

Mikroniek

Inhoudsopgave 1992

Paginaverdeling (alleen redactionele pagina's zijn genummerd)

Nummer 1992-1: van pagina 1 tot en met pagina 31
Nummer 1992-2: van pagina 32 tot en met pagina 62
Nummer 1992-3: van pagina 63 tot en met pagina 93
Nummer 1992-4: van pagina 94 tot en met pagina 125
Nummer 1992-5: van pagina 126 tot en met pagina 154
Nummer 1992-6: van pagina 155 tot en met pagina 184

Editorials

Anti-cyclisch denken 156
M.F. Dierselhuis
Computer beeld, het juiste beeld? 2
D. Blank
Kleine elektrische aandrijvingen 127
A.J.A. Vandenput
Met FMT-produkten meer kans op succes 96
E.J.C. Ottevanger
Replicatietechniek 33
H. Rutten
Technische Keramiek 64
C.A. van Luttervelt

Artikelen

Construeren voor het nauwkeurig bewegen en positioneren 8, 39, 68, 100, 132, 160
M.P. Koster, P.C.J.N. Rosielle, E.A.G. Reker
Contactloos meten van oppervlaktestructuren 17
F.W.B.M. Galjee
DE/Mec, een computerprogramma voor het ontwerpen van stangenmechanismen 26
A. Honders
De autofocussensor: een nieuwe benadering van contactloze oppervlakte-metingen 49
G.J.J.M. Dalessi
De röntgenastronomie-satelliet ROSAT 141
D. Reinhardt
Een nieuwe schone kamer faciliteit voor SRON-Utrecht 77
RU Utrecht
Eigenschappen, fabricage en toepassingen van technische keramiek 81, 106
P.J. van Tilborg
Geïntegreerde optica voor sensoren en actuatoren 56
D. Blank, A. Driessen
Gemetalliseerde Engineering Plastics 73
A.F.P.M. van Veggel
Gevoelige robothand 53
Chr. Schwartzinger e.a.
Het ontwerpen van een krimpmachine 20
C. Rietveld
Jubileum Heidenhain Nederland 111
M. Breuning
Leerstoel milieukundig ontwerpen aan de TU Delft 140
TU Delft
Machinaal uitsorteren van nagemaakte en versleten Nederlandse bankbiljetten 86
P. Kroeze
Matrijzen voor de vervaardiging van kunststofoptiek 46
J.J. Broers
Mechatronica in historisch perspectief 76
J.A. Rietdijk
Micromechanica in de (bio-)medische wereld 78
J.H. FLuitman
Microverbinden van metaal 116
NIL
NIL-Researchdag, Van onderzoek naar praktijk 147
NIL
Prijs voor de beste uitvinding 122
anoniem
Regelend voorspannen van tandwielen 117
C.W. Kruijer
Replicatietechniek voor asferische optische oppervlakken 42
J.J. Broers
Saffier en robijn als modern constructiemetaal 168
M.F. Dierselhuis
Simultaanspectrometer 112
M. Mächler, H. Schlemmer
Statisch bepaalde rechtgeleidingen berustend op afrolling bedoeld voor nauwkeurig positioneren 149
E.A.G. Reker
Supergladde spiegelvlakken voor de röntgenastronomie-satelliet ROSAT 177
E. Heynacker, B. Aeschenbach
Toekenning van herkalibratietermijnen 165
J.W. van Beek
Veilig werken met lasers 172
J.G. Siekman
Verbetering van bewerkingsnauwkeurigheid bij ultraprecisie-verspanen 135
J. Franse
Zoeken in technische tijdschriftenbestanden geautomatiseerd via CD-ROM 134
TU Delft

Her en Der

Kogel als afstandhouder 60
Anoniem
Nieuw leven voor oude cirkelzagen 45
H. Heubers
On-line meten van de zethoek 148
Anoniem
Oude maten sterven niet 29
H. Heubers

Auteurs

Aeschenbach, B. 177
Beek, J.W. van 165
Blank, D. 2, 56
Breuning, M. 111
Broers, J.J. 46
Dalessie, G.J.J.M. 49
Dierselhuis, M.G. 156, 168
Driessen, A. 56
Fluitman, J.H. 78
Franse, J. 135
Galjee, F.W.B.M. 17
Hynacker, E. 177
Heubers, H. 29, 45
Honders, A. 26
Koster, M.P. 8, 39, 68, 100, 132
Koeze, P. 86
Kruijer, C.W. 117
Luttervelt, C.A. van 64
Mächler, M. 112
Neumann, W. 42
NIL . 116, 147
Ottevanger, E.J.C. 96
Reker, E.A.G. 8, 39, 68, 100, 132, 149
Reinhardt, D. 141
Rietdijk, J.A. 76
Rietveld, C. 20
Rosielle, P.C.J.N. 8 , 39, 68, 100, 132
Rutten, H.G.J. 33
RU Utrecht 77
Schlemmer, H. 112
Schwartzinger, Chr. e.a. 53
Siekman, J.G. 172
Tilborg, P.J. van 81, 106
TU Delft 134,140
Vandenput, A.J.A. 127
Veggel, A.F.P.M. van 73

Produktinfo

3M Opent nieuwe produktievestiging voor luchtfilters 30
Brochure over lensmeetsystemen 182
Compacte vacuümgeneratoren 30
Doseerregelaar met speciale eigenschappen 62
Digitale geheugenoscilloscoop 183
Eerste railgeleidingswagen met zelfinstelling 182
Elektromechanische indexeertafels 30
Elektronische draaimomentsleutel 125
Gaslekzoeker met directe uitlezing 154
Grijper met spreidvingers voor het hanteren van kwetsbare onderdelen 125
Industriële modulaire montagesystemen 125
Meerbanig toevoeren 61
Meetinstrument voor lengte-, rondloop- en positieafwijkingen 31
Modulaire pick & place voor kleine onderdelen 92
Nauwkeurig en robuust lineair maatafleessysteem 154
Nauwkeurige universele indexeertafels 61
Nieuw CNC-bewerkingscentrum 92
Nieuw fijnmechanisch handgereedschap 93
Nieuwe fotoschakelaars 61
Nieuwe Personal Machinist CAM Software 62
Oppervlakteruwheidsmeter 93
Persluchtventielen met grote doorstroomcapaciteit bij minimale afmetingen 183
Pneumatische draaivleugelcilinders voor rotatie tot 280° 31
Profielcilinder met interne luchtdoorvoer 92
Schreuder presenteert omvangrijk programma van precisie-slijpspillen 184
Snelle meerkleuren recorder 182
Stork Mufac verlaagt drempel voor toepassing van DNC 184
TME Components vertegenwoordigt SGS-Thomson 183
Veiligheids-blaaspistool 183
Vingerzetbank 31
Zuigerstangloze cilinder met kogelbusgeleiding 92

Rectificaties

Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren (4) en (8) 38, 129
Her en Der. Kogel als afstandhouder 38

Verenigingsnieuws

Berichten NVFT

Activiteiten van de Regionale Werkgroepen 95
Algemene Ledenvergadering d.d. 8 april 3, 65
In memoriam W. te Gussinklo 3
Nieuwe leden 3, 34, 66
NVFT-themadag 128

Regionale werkgroep Amsterdam

Composieten 3
Lasermeettechniek 96, 128, 158

Regionale werkgroep Utrecht

Bedrijfsbezoek Fokker 128
Construeren met precisie-componenten 3

INDUSTRIËLE MEETTECHNIEK

CARL ZEISS

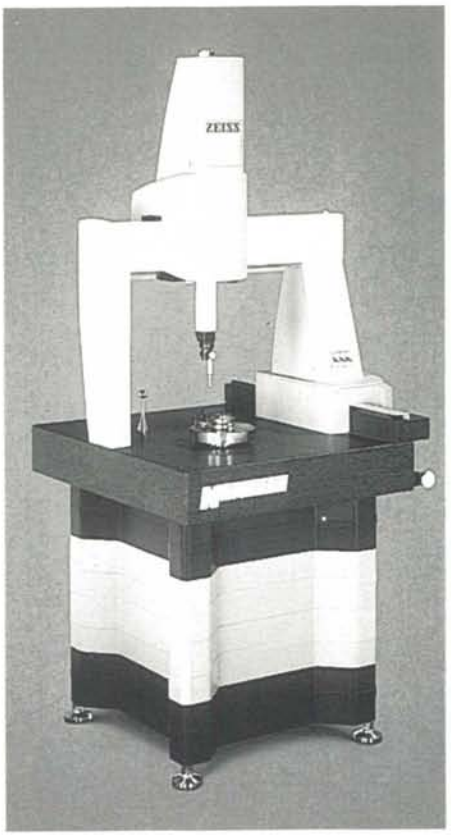
Met ingang van 1 januari 1993
is de 3-D meettechniek van

NUMEREX
EN CARL ZEISS

onder één dak bij:

CARL ZEISS B.V.
postbus 323
1380 AH Weesp

Voor nadere informatie,
02940-66660,
afd. Industriële Meettechniek



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.

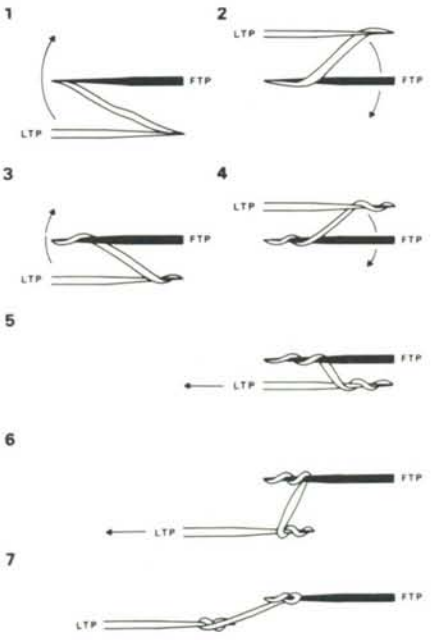
- De NVFT informeert haar leden over ontwikkelingen in het vakgebied door regionale bijeenkomsten, cursussen, symposia en publikaties in Mikroniek.
- Een speciale service is de **Mikropool**. Door onderlinge dienstverlening heeft men de beschikking over bijzondere, moeilijk in kleine hoeveelheden verkrijgbare 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.

De ontwikkeling van een micro-pincet gebaseerd op elastische scharnieren

F.J.I.M. van Rongen

De sectie Micro-techniek van de Faculteit der Werktuigbouwkunde en Maritieme Techniek van de Technische Universiteit Delft heeft de beschikking over een uitgebreide faciliteit voor fotochemische metaalbewerking.
In dit artikel komen de verschillende fasen van het ontwerpen van een micro-pincet aan de orde. De micro-pincet is nodig in een samenwerkingsproject dat Micro-techniek heeft met de Erasmus Universiteit te Rotterdam. Bij de vakgroep Urodynamica van de EUR wordt onderzoek gedaan aan de kracht-snelheid relatie van geactiveerde losse spiercellen. De spiercellen hebben geringe afmetingen, een lengte van ca. 200μm en een diameter van ca. 20μm. De te onderzoeken spiercel moet met beide uiteinden ingespannen kunnen worden in een krachtopnemer. Dit moet snel en eenvoudig kunnen plaatsvinden. De tot op heden gebruikte methode maakte gebruik van twee glaspipetten met uiteinden van enkele micrometers waaraan de spiercel wordt geknoopt, zie figuur 1. Deze methode is zeer tijdrovend en slokt een groot deel van de werkzame lengte van de spiercel op. Op zoek naar alternatieven kwam de vakgroep Urodynamica in contact met de sectie Micro-techniek te Delft. Op dit moment wordt in het kader van een promotie-onderzoek onder andere gezocht naar de mogelijkheden om de spiercellen met kleine knijpers of micro-pincetten beet te pakken. Om de pincet te maken is met name de etstechniek zeer geschikt. Deze techniek is bij uitstek geschikt om op snelle wijze (binnen een dag) fijnmechanische constructie-elementen te vervaardigen.



Figuur 1 Schematische voorstelling van het knopen van spiercellen (niet op schaal).

Randvoorwaarden die aan de micro-pincet gesteld worden en de consequenties daarvan

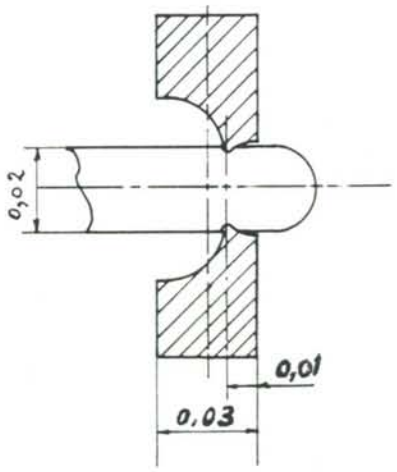
a. De massa moet gering zijn.
Consequentie: kleine afmetingen.
b. De bekken moeten reproduceerbaar en spelingvrij ten opzichte van elkaar kunnen bewegen.
Consequentie: constructie met elastische scharnieren.
c. De bekken moeten zo glad mogelijk en in ieder geval braamvrij zijn.
Consequentie: spaanloze bewerking, bijvoorbeeld etsen.
d. De ruimte die de knijpers nodig hebben om de spiercel te pakken dient zo klein mogelijk te zijn, met andere woorden het effectieve deel van de spiercel dient zo lang mogelijk te blijven.
Consequentie: bekken van dun plaatmateriaal, eventueel verjongd geëtst.
e. Zichtcontrole door een microscoop moet mogelijk zijn. Dit houdt in dat de tipafmetingen van de bekken dezelfde orde van grootte moeten hebben als de diameter van de spiercel.
Consequentie: kleine afmetingen.
f. De pincet moet corrosiebestendig zijn.
Consequentie: roestvaststaal.

Het ontwerp van de micro-pincet

Volgens de randvoorwaarden a en e is het gewenst dat de afmetingen klein zijn. De enige beperking die hier een rol speelt is de smalste nog te etsen sleuf en dam bij een bepaalde materiaaldikte.
Daarom is het nodig de bekken van een zeer dun plaatmateriaal te vervaardigen. Gekozen wordt voor materiaal van 30μm dik, want dit is tijdens het proces nog redelijk te hanteren en kan op de plaats van de tip nog verjongd (asymmetrisch) geëtst worden naar een dikte van ca. 10μm; zie figuur 2.
Door de tip asymmetrisch te etsen wordt namelijk meer vrije lengte van de tussen de bekken getekende spiercel verkregen.

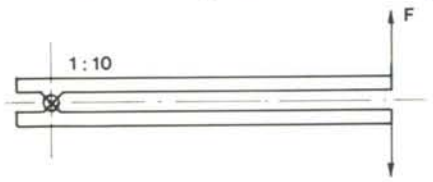
Elastische scharnieren

Volgens de randvoorwaarde b moeten de bekken spelingvrij ten opzichte van elkaar kunnen bewegen. Het ligt daar-

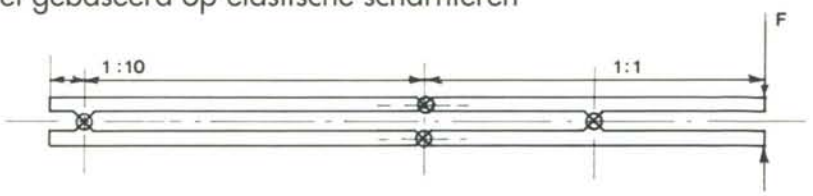


Figuur 2 Doorsnede van de tip van de pincet; asymmetrisch etsen van de tip is nodig om een zo groot mogelijke effectieve lengte van de spiercel te kunnen benutten. De materiaaldikte bedraagt 30μm.

De ontwikkeling van een micro-pincet gebaseerd op elastische scharnieren



Figuur 3a Zeer eenvoudige pincet uitgevoerd met een scharnier.



Figuur 3b Ontwerp van een pincet uitgerust met een aantal scharnieren.

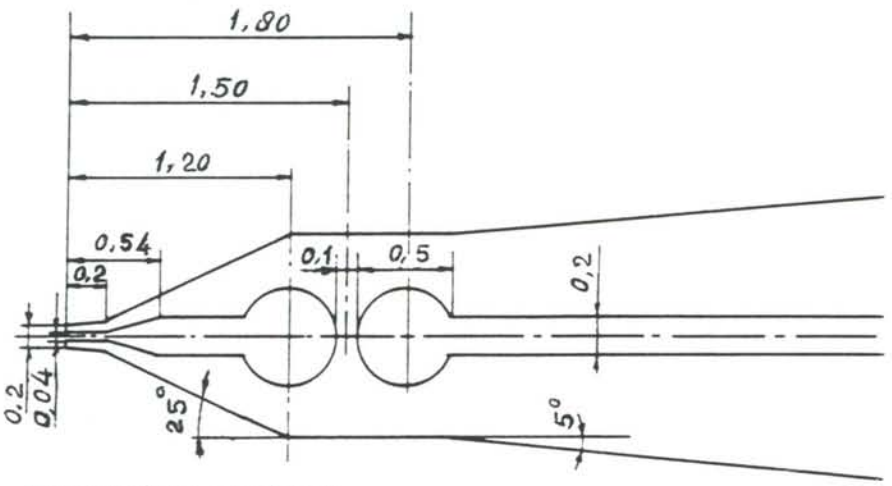
om voor de hand om hier gebruik te maken van elastische scharnieren, geplaatst kort bij de bekken; zie voor schematische weergave figuur 3a.
De dikte van het materiaal bedraagt 30µm; voor een goede werking van het scharnier is het gewenst dat de breedte van de dam van het scharnier ca. 15µm moet zijn. Dit zou het geëtste produkt erg kwetsbaar maken tijdens het etsproces en verdere inpassing. Om deze reden is de pincet van extra scharnierpunten voorzien, zie figuur 3b. Bovendien is de pincet aan weerskanten verlijmd met 80µm dikke plaat met daarin een identieke scharnierconstructie, hetgeen hem robuuster maakt. Deze steunplaten hebben geen tip.
De totale dikte bedraagt nu 190µm.
Uitgebreide experimenten hebben aangetoond dat geëtste gatscharnieren in verenstaal met een damdikte- en -breedte verhouding van 2:1 goede resultaten geven. Dat betekent in het geval van de gelijmde constructie een scharnierbreedte van ca. 100 µm.

Omdat er geen ervaring was met gelaagd gelijmde gatscharnieren en hun gedrag en er ook geen ervaring was met het asymmetrisch etsen in materaal van 30µm, is besloten prototypen te vervaardigen. Figuur 4a toont de tekening van de tip met de gewenste afmetingen en figuur 4b geeft het totaalbeeld van het gehele ontwerp.
Op het moment dat tot vervaardiging van het eerste prototype besloten werd, was bekend dat dit ontwerp geen goed gedefinieerde " vaste wereld " heeft. In het volgende ontwerp is dit probleem op een eenvoudige wijze opgelost.

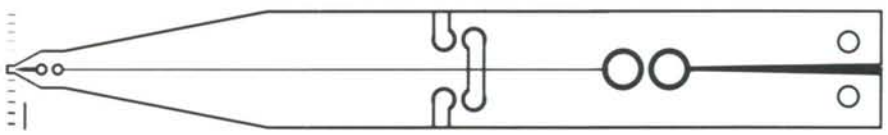
Vervaardiging van het eerste prototype.

Maskerfabricage

Gelet op de geringe afmetingen van de tip – bekopening ca. 40µm en de totale

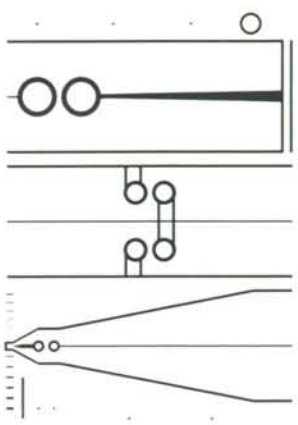


Figuur 4a Tipafmetingen van de pincet.



Figuur 4b Configuratie van het eerste prototype (schaal 3,5:1).

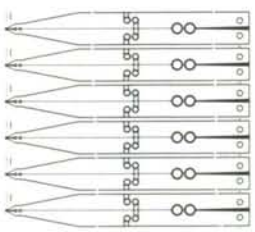
tipbreedte 120µm, zie figuur 4a – is het noodzakelijk het etsmasker van het produkt eerst 25 maal vergroot te snijden in de pelfolie. Deze vergroting vloeit voort uit de kleine details van het te vervaardigen produkt en de vaste reducties van de reductiecamera van 5:1 en 10:1. Bij deze vergroting is de lengte van het produkt op de pelfolie 800 mm. Dit is te groot voor de beschikbare fotografische apparatuur. Daarom wordt het produkt uiteen genomen en in drie delen naast elkaar gesneden op een bekende onderlinge afstand; zie figuur 5. Dit tussenmasker bevat ook de informatie voor het asymmetrisch etsen van de tip en het etsen van het dikke pincetgedeelte. Voor de juiste afmetingen van het definitieve masker moet er tweemaal gereduceerd worden. Een voordeel van tweemaal reduceren is dat na de eerste keer reduceren al gebruik gemaakt kan worden van de step and repeat camera om het



Figuur 5 Verkleind tussenmasker van de pincet (schaal 3,5:1). Opgedeeld in drie delen.

te etsen produkt samen te stellen. Dit maakt het mogelijk om met de informatie die dit tussenmasker bevat een aantal maskers samen te stellen, bijvoorbeeld voor wat betreft de te gebruiken lijnbreedtes om de bekopening

van de tip te etsen en de maskerset voor het etsen van het dikke knijpergedeelte zonder de tip.
Deze verschillende lijnbreedtes zijn links en rechts van de tip al op het tussenmasker aanwezig evenals de gaten voor het lijmen; zie eveneens figuur 5.
Er wordt tweezijdig geëtst, wat betekent dat bij het verjongd etsen van de tip de maskers van de maskerset verschillende informatie bevatten. Uitgebreide etsproeven hebben aangetoond dat de lijnbreedtes waarmee de tip verjongd geëtst kan worden ca. 27 en 68µm moeten zijn.
Indien de beide maskers verschillende informatie bevatten is het tweemaal gebruiken van de step and repeat camera noodzakelijk.
Bijvoorbeeld: Van het eerst vervaardigde masker bevat het tip- gedeelte een lijnbreedte van 27µm. Van dit masker wordt een gespiegeld duplicaat gemaakt. Het tweede masker wordt verkregen door opnieuw gebruik te maken van de step and repeat camera. Op de plaats van de tip wordt nu de lijnbreedte van 68 µm inbelicht.
Door meervoudig het totale produkt naast elkaar te belichten met behulp van de step and repeat camera, ontstaat



Figuur 6 Gedeelte van een 1:1 werkmasker.

et uiteindelijke werkmasker; zie figuur 6.
Figuur 7a toont het verjongd geëtste gedeelte van de tip. Figuur 7b laat één van beide dikke delen van de pincet zien. Deze ondersteunen zoals eerder vermeld, de kwetsbare bekken aan weerskanten als een sandwich-constructie; zie figuur 8 voor de schematische voorstelling. Bij het etsen van het dunne deel (dat van 30µm dik) is het belangrijk dat de etsvloeistof een zeer constante temperatuur heeft. De etssnelheid is ≈ 0,5µm per sec.

Lijmen

De drie lagen van de pincet worden nu verlijmd; de gebruikte lijm is Black Max 380 van Loctite. Voor de positionering wordt gebruik gemaakt van de gatscharniergaten.
In het volgende ontwerp worden in het subfreem aparte positioneringsgaten meegeëtst.
De gelaagde pincet voldoet goed en de gatscharnieren gedragen zich overeenkomstig de verwachting.

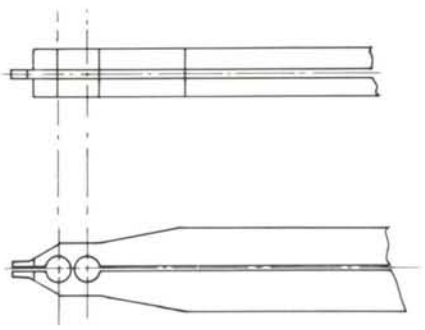
Het tweede prototype

De ervaring opgedaan met het eerste prototype is verwerkt bij de vervaardiging van het volgende prototype.
Een van de problemen die nog opgelost moest worden is het goed definiëren van de vaste wereld. De oplossing hiervoor is gevonden door een been van de pincet aan de vaste wereld te koppelen. Dit been wordt bevestigd aan de krachtopnemer; de consequentie hiervan is dat een andere configuratie van de elastische scharnieren nodig is; zie figuur 9a. Door een andere overbrengverhouding aan te brengen wordt bereikt dat het openen en sluiten van de bekken goed gedoseerd kan worden. De pincet kan bovendien wat korter worden.

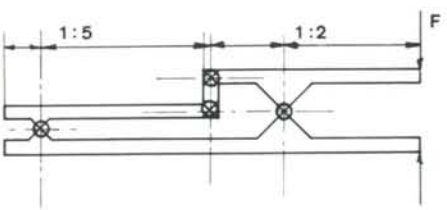
Vervaardiging van het tweede prototype

Maskerfabricage

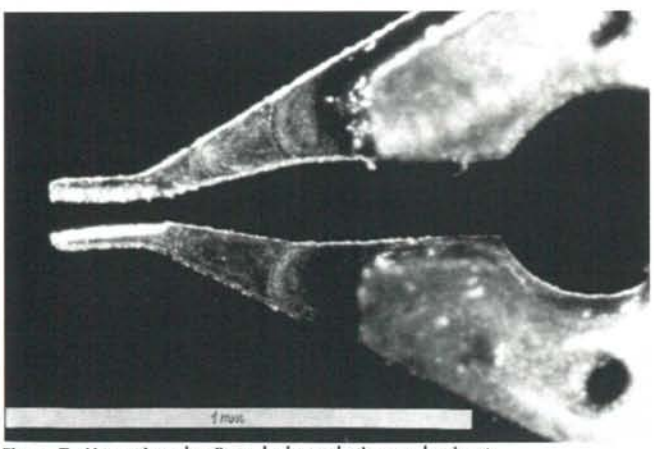
Figuur 9b laat het tussenmasker inclusief de produktelementen 1 t/m 10 zien. De functie van deze elementen is:



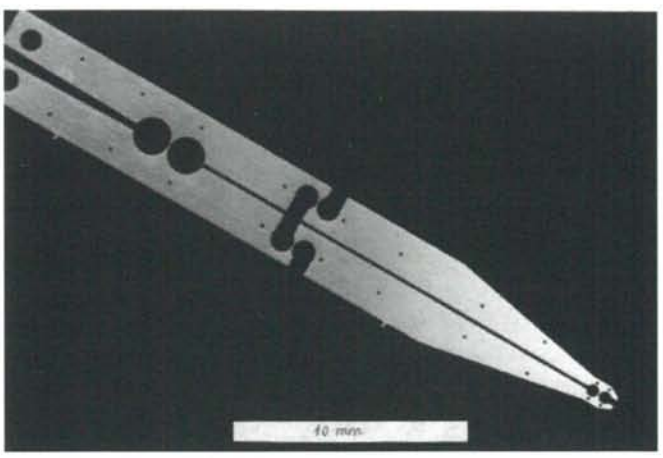
Figuur 8 Zij- en bovenaanzicht van de sandwichconstructie.



Figuur 9a Schematische voorstelling van het tweede prototype.



Figuur 7a Het verjongd geëtste deel van de tip van de pincet.



Figuur 7b Het 80 µm dikke deel van de pincet zonder tip.

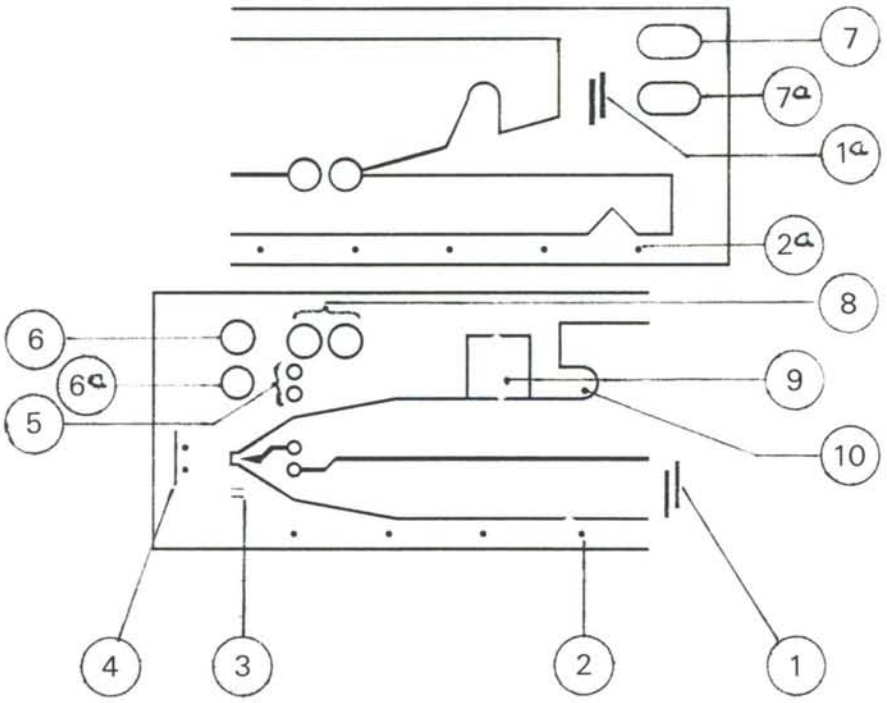
De ontwikkeling van een micro-pincet gebaseerd op elastische scharnieren

1, 1a Elastisch scharnier dat het verlengen van de poot mogelijk maakt.
2, 2a Lijmgaten; deze worden ingefotografeerd voor het masker van de steunplaat van 80µm.
3 Lijnen van 27 en 68µm breed. Deze dienen om het verjongd etsen van de tip mogelijk te maken.
4 Lijn voor het afetsen van de tip van de steunplaat.
5 Gaten voor het elastische scharnier van het 30µm pincetdeel. Omdat deze gaten groter zijn kunnen die over de reeds bestaande heen gefotografeerd worden
6, 6a Positioneergat voor de 30 en 80µm delen.
7, 7a Positioneersleuf voor de 30 en 80µm delen.
8 Gaten voor het achterste elastische scharnier van de 30µm deel.
9 Uitbreeklip. De lip wordt na het lijmen van de pincetdelen rondgedraaid totdat deze uitbreekt. Dit is nodig om de pincet onvervormd uit het freem te halen.
10 Freem.

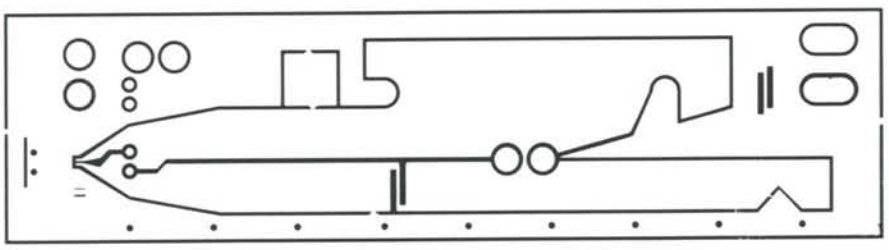
Figuur 9c toont het samengestelde masker (ca. 5:1). De afmetingen van het masker van figuur 9c zijn voor onderetsing gecompenseerd voor een materiaaldikte van 80µm (steunplaten).
Het tussenmasker (figuur 9b) kan ook gebruikt worden voor het etsen van het pincetdeel met een materiaaldikte van 30µm. Bijvoorbeeld: de onderetsing bedraagt ca. 1/2 maal de plaatdikte en is in het dikke materiaal 40µm en in het dunne materiaal 15µm. Dit betekent dat de gaten van de elastische scharnieren en de paspengaten in het al samengestelde ontwerp kleiner zijn – vanwege de grote onderetsing – dan die van de losse elementen.
Dit geeft de mogelijkheid om de losse elementen over de bestaande heen in het masker te fotograferen. Zo ontstaat het masker voor 30µm. Figuur 9d laat de 1:1 versie voor 80µm zien en figuur 9e de versie voor 30µm.

Afwerking

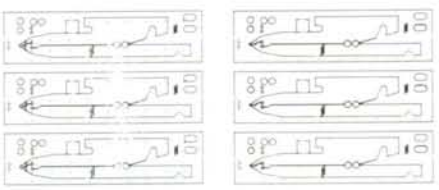
Na het etsen worden de pincetten vrijgemaakt door de lip in figuur 9b, produktelement 9, rond te draaien. Deze breekt dan uit zodat de pincet nog aan een breekpunt vast zit; na een paar keer heen en weer bewegen breekt ook dat punt uit. De afmetingen van de uitbreekpunten zijn zo gekozen dat deze, na het op maat etsen van het produkt, onder een hoek van 90° met de halve plaatdikte nog aan het produkt vastzitten. De uitbreekpunten zijn noodzakelijk omdat bij het dooretsen de produkten vrij en over elkaar kunnen komen te liggen, wat dan weer consequenties kan hebben voor de nauwkeurigheid.
Deze hechtpunten, meestal twee, kunnen op de meest geschikte plaats vastgelegd worden.
Figuur 10a toont de geëtste versie van het tweede prototype en figuur 10b een deel van de tip.



Figuur 9b Tussenmasker met losse produktelementen, in tweeën gedeeld om fotografische redenen.



Figuur 9c Samengesteld masker, 80µm steunplaat 4,5:1.

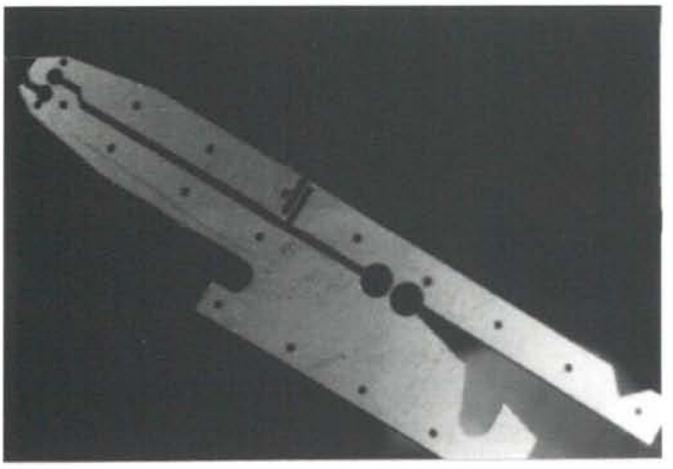


Figuur 9d Samengesteld masker, 80µm steunplaat 1:1. (links)

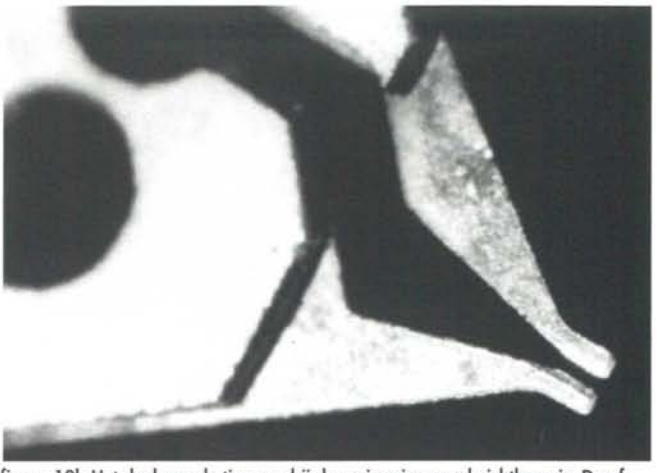
Figuur 9e Samengesteld masker, 30µm pincetdeel 1:1. (rechts)

Resultaat

Na inbouwen in de proefopstelling bij de Erasmus Universiteit Rotterdam is gebleken dat in korte tijd spiercellen gepakt kunnen worden, zie figuur 11. Dat deze foto niet optimaal is komt mede doordat de cellen in een zoutachtige oplossing in leven gehou-



Figuur 10a Het tweede prototype, samengestelde gelijmde versie.

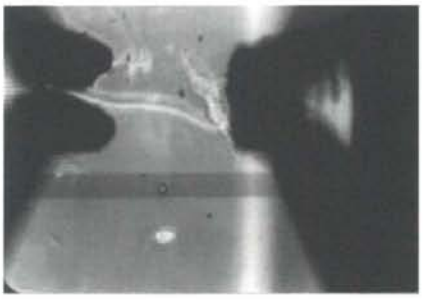


figuur 10b Het deel van de tip waarbij de verjonging goed zichtbaar is. De afmeting tussen de bekken bedraagt ca. 40μm.

den worden en de opstelling niet erg toegankelijk was om er een foto van te maken.

Ik hoop dat ik met dit en de vorige artikelen, de lezer een inzicht heb gegeven in de flexibiliteit en de mogelijkheden die het foto-etsproces biedt.

Met dank aan ir.P.V.Pistecky, van de sectie Micro-techniek , voor zijn redactionele bijdrage. Verder de heer J. van Bruggen en de studenten J.C.C van Kuijk, H. van der Wulp, J.J.M. Bekelaar, E.P. van der Rijst en F.J.A. van der Burg, die in het kader van het prakticum, mee hebben gewerkt aan het totstandkomen van de micro-pincet.



Figuur 11 Spiercel aan beide zijden ingeklemd door een pincet.

Zie ook de artikelen in de Mikroniek van jaargang 31 (1991) nummer 3 en 6.

Moderne CAD-CAM-technieken

Dinsdag 9 maart 1993 te Utrecht.
Themamiddag en -avond georganiseerd door de regionale werkgroepen Utrecht en Gelderland met medewerking van CAD-Services.

Middagprogramma
14.45 Ontvangst met koffie
15.00 - 17.00 uur CAD + CAM.
De voordelen van een geïntegreerde werkwijze en het werken met één produktmodel. Voordracht en demonstratie met Personal Designer (CAD) en Personal Machinist (CAM). Deze 3D CAD-CAM-software is zowel geschikt voor gebruik op werkstations als op PC's. In een netwerk kunnen datafiles van de tekeningen door beide systemen verwerkt worden.

Avondprogramma
17.30 - 19.00 uur Nieuwe CAD modelleertechnieken.
Een overzicht van de nieuwe trends aan de hand van CADDS 5:
- *parametergestuurde CAD modellen (parametric modelling)*
- *standaard bewerkingen, tapgat, etc. (feature based modeling)*
- *CAD-model getuurde parametrische relaties (constraint based modelling)*
- *standaard onderdelen genereren met parameters voor families van varianten (variant based modeling).*

19.00 - 19.30 uur Discussie.

Kosten: *leden f 25, niet-leden f 50.*
Voor broodjes en koffie wordt gezorgd.

Vorm- en plaatstoleranties

Cursus op twee nader te bepalen dagen in maart te Utrecht.
Regelmatig worden onnodig hoge kosten gemaakt door verkeerde interpretatie van de door vorm- en plaatstoleranties gestelde eisen of door verkeerde interpretatie in relatie tot meetgegevens. De cursus is gericht op praktische toepassing, wat onder andere van belang is bij kostencalculaties en uitbesteding.

Programma
Doel van vorm- en plaatstoleranties,
Symbolen en hun toepassing
Effecten op fabrikagemethode en kosten
Training in de betekenis van de symbolen op tekening
De begrippen E en I
Het maximum en minimum materiaal-principe,
Het referentiesysteem,
Toegepaste meettechniek voor het controleren van de eisen
Het interpreteren van de meetwaarden naar de eisen op tekening

Bestemd voor *technici, constructeurs, werkvoorbereiders en leidinggevenden in de fijnmechanische industrie.*

Kosten*: leden f 525, niet-leden f 650.*

Inlichtingen bij:
Secretariaat NVFT, Postbus 6367, 5600 HJ Eindhoven
Tel: 040 - 473659, fax: 040 - 460645.

Gietwerk met zeer goede maatnauwkeurigheid (1)

Ir. M. Breuning

Vooral bij kleine aantallen ingewikkelde werkstukken, zoals freems voor instrumenten e.d., wordt in de Fijnmechanische Techniek dikwijls uit massief materiaal "gebeeldhouwd", dat wil zeggen door verspaning het werkstuk gerealiseerd.
Ook in de werkplaatsen van laboratoria is de verleiding daartoe zeer groot door de aanwezigheid van CNC-freesmachines.
Wanneer het werkstuk licht van gewicht moet worden, betekent dat echter dat zèèr veel materiaal moet worden "verspaand". Daarbij zijn dan allerlei voorzorgen noodzakelijk om spanningen en vormafwijkingen te voorkomen.
Ook bij zeer kleine aantallen of enkelstuks verdient daarom realisering door middel van vloeibare vormgeving overweging, dat wil zeggen door gieten. Zeker nu met moderne vorm- en gietmethoden zeer goede maatnauwkeurigheid is te bereiken.
In veel gevallen behoeven voor de functie van een werkstuk niet àlle maten aan zeer nauwe toleranties te voldoen. Des te groter de nauwkeurigheid van een gietstuk, des te minder nabewerking is er nodig voor het realiseren van het meestal beperkte aantal maten dat aan zeer nauwe toleranties moet voldoen.
Bij gietwerk heeft men bovendien ten aanzien van de materiaalkeuze in het algemeen een zeer grote vrijheid. Deze laat een zo optimaal mogelijke keuze toe als voor de functie van het werkstuk nodig is.
Voor gietwerk waarbij een zeer goede maatnauwkeurigheid wordt geëist komen tegenwoordig twee gietprocessen in aanmerking.
De eerste is het voor vele lezers wel enigszins bekende "wasmodel (lost wax)"-gietproces. Hierbij wordt een model, gemaakt van was, eenmalig gebruikt teneinde een keramische schaalvorm te maken, die ook eenmalig wordt gebruikt.
Het tweede is een niet zo erg bekend, uit Japan afkomstig, proces teweten: het "vacuüm vorm proces in folie", VPF.
In dit deel I zal op het eerstgenoemde proces nader worden ingegaan, terwijl deel II van dit artikel gewijd zal zijn aan het VPF.

Het "wasmodel"-gietproces

Voor een goed begrip van de mogelijkheden laten wij de verschillende processtappen hier nog eens de revue passeren. Zie figuur 1 (ontleend aan [3]).

Fase 1.
Op basis van het werkstuk c.q. produktontwerp wordt een positief model in een "was"-soort vervaardigd: het wasmodel. Hiertoe wordt een matrijs gemaakt, meestal van aluminium of eventueel een ander non-ferro materiaal dat zich relatief gemakkelijk laat bewerken.
In deze matrijs wordt de was geïnjecteerd, hetgeen vergelijkbaar is met het spuitgieten van bijvoorbeeld kunststof. Daar dit gietproces meestal voor niet erg grote werkstukken wordt toegepast, wordt een aantal wasmodellen gemonteerd aan een gezamenlijke gietloop door aansmelten, zodat een "boom" ontstaat.
De boom is voorzien van een gietrechter van was, eventueel van keramiek.
Opmerking: het is evident dat bij de maatvoering van het wasmodel, dus ook van de matrijs daarvoor, rekening dient te worden gehouden met zowel de krimp van de was bij het stollen als met de krimp van het te gieten metaal bij het stolproces dààrvan.

Fase 2.
De volgende processtap is de bekleding van het wasmodel c.q. de boom met een keramische vormmassa.
Dit gebeurt door herhaald onderdompelen in een keramische slurrie en het daarna bestrooien met keramisch zand van iedere laag. Na iedere laag volgt een droogtijd van een paar uur.
Is aldus een voldoende stevige schaalvorm ontstaan, dan wordt de was in een autoclaaf met behulp van stoom van circa 120°C uitgesmolten. De was kan worden hergebruikt na een geschikt regeneratieproces. Vervolgens wordt de keramische schaalvorm, inclusief de gietloop en giettrechter, gebakken bij circa 1000°C gedurende tenminste een uur. Daarna is de vorm gereed om er het gesmolten materiaal in te gieten.

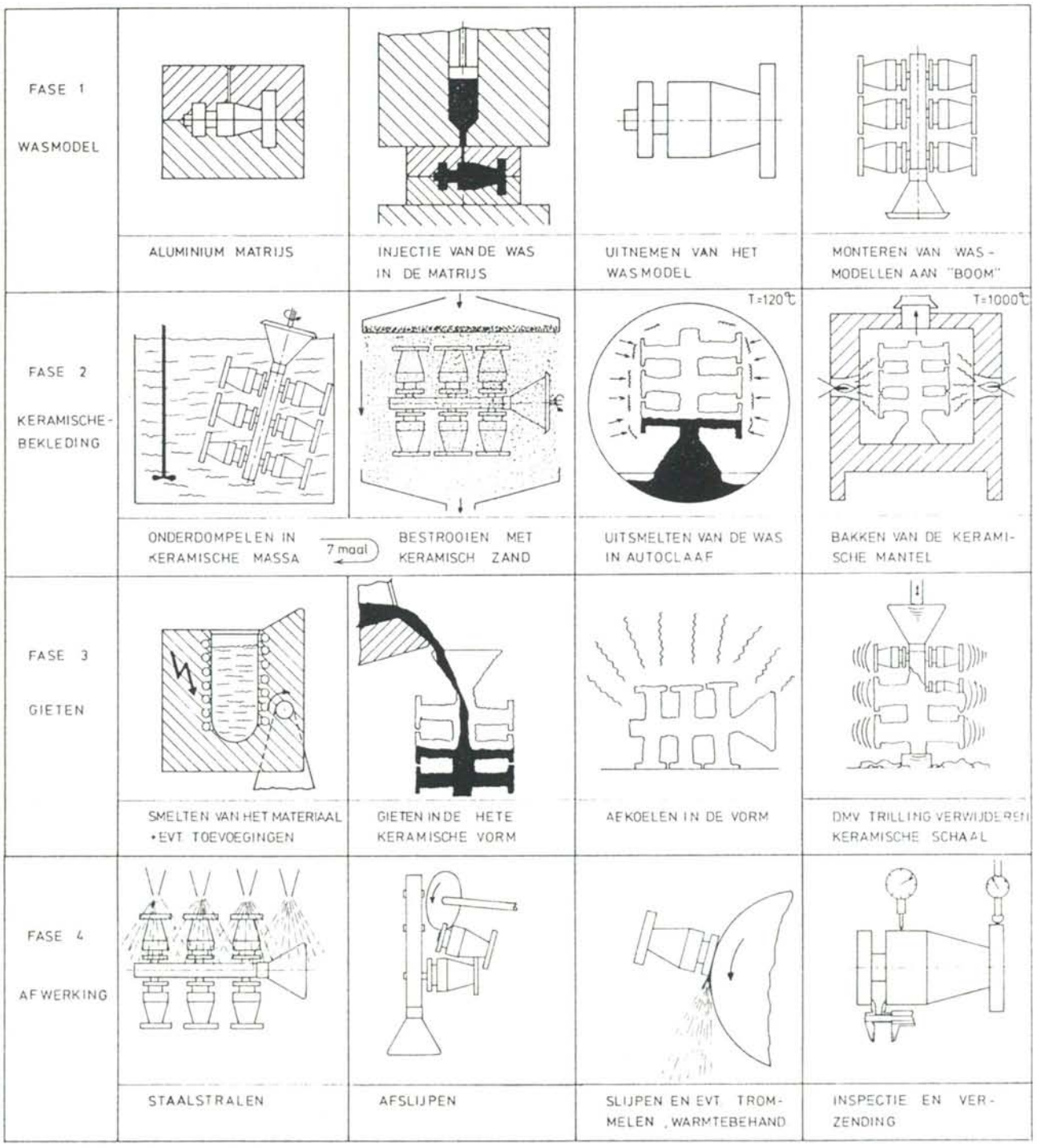
Fase 3.
Het eigenlijke gieten vindt plaats in de nog hete vorm, waarna men de gegoten produkten in de vorm laat afkoelen. De relatief dunwandige kerami-

Het principe van het "wasmodel"-gietproces is al zeer oud. Het was reeds bekend in de Egyptische oudheid en is onder andere naar India en Zuid-Oost-Azië verbreid geraakt. De zeer fijn gedetailleerde beeldjes van 10 cm en kleiner, die in het voorjaar van 1992 te zien waren in de Grote Kerk te Amsterdam op de tentoonstelling "Het Goddelijk Gezicht van Indonesië" kunnen vrijwel zeker niet anders dan volgens dit proces zijn gemaakt.
Het is ook al zeer lang in Europa bekend onder de naam "cire perdu" en werd hoofdzakelijk toegepast voor het gieten van kleine beeldjes in brons en andere metalen en voor sieraden in zilver of goud.
Tijdens, en vooral na de Tweede Wereldoorlog heeft het proces, verder ontwikkeld met behulp van moderne wassoorten en vorm-materialen, een grote vlucht genomen; vooral voor het gieten van bijzondere, moeilijk bewerkbare legeringen.

sche schaalvorm is voldoende poreus voor een goede ontgassing en ontluchting van de gietholten.
Na het afkoelen wordt het gietstuk (of de boom met een aantal, al dan niet gelijke, gietstukken) ontdaan van de keramische schaalvorm. Dit gebeurt in eerste instantie door trillen.

Fase 4.
Eventuele resten worden door staalstralen verwijderd, waarna gietstukken door middel van doorslijpen van de aangieting worden gescheiden van de boom. De resten van de aangieting worden tenslotte van het gietstuk afgeslepen.

Daarna kan een eventueel noodzakelijke warmtebehandeling plaatshebben.
Uiteraard volgt controle van het gietstuk. Als er veel kritische maten zijn kan dit in een speciale meetopstelling gebeuren.
De totale doorlooptijd van het proces bedraagt ca. drie weken, namelijk: een



Figuur 1. Overzicht van het wasmodel- gietproces (Precisiewerk, Zierikzee).

Gietwerk met zeer goede maatnauwkeurigheid (1)

bedraagt ca. drie weken, namelijk: een week voor de modelbomen in was, een week voor de keramische vorm en ca. een week voor het gieten.

De eigenschappen van het proces nader beschouwd

De keramische schaalvorm heeft door de zeer goede oppervlaktekwaliteit van het wasmodel èn het gebruik van zeer fijn korrelige keramische slurrie ook een zeer goede oppervlaktekwaliteit van de gietholte.
Mede door de goede ontgassing krijgen dan ook de gietstukken een zeer goede oppervlaktekwaliteit.
Afhankelijk van de gebruikte legering, het gietstukgewicht en zijn wanddikte en de eventuele afwerkingstechniek zal de ruwheid R_a variëren van 1,6 tot circa 6 micrometer. Gebruikelijk is een R_a van 3,2 micrometer overeenkomend met klasse N8 volgens ISO norm R468.
De hittebestendigheid, de relatieve sterkte en de poreusiteit van de schaalvorm maken het mogelijk zeer veel verschillende metalen en legeringen te gieten, waaronder hooggelegeerde staalsoorten en kobaltlegeringen. Het proces leent zich temeer daarvoor omdat dergelijke staalsoorten en legeringen dikwijls zeer moeilijk te bewerken zijn en het gietstuk dus zoveel mogelijk aan de juiste maat moet zijn zodat nabewerking (meestal door slijpen) nauwelijks nodig is.
Ook non-ferro-legeringen, waaronder aluminium, laten zich overigens met dit proces goed gieten.

Het model in was laat nauwkeurige reproductie toe van kleine details. Ook wanddikten van 1 mm over grotere oppervlakken zijn mogelijk, afhankelijk van vormgeving en grootte van het produkt. Dunne delen in overigens dikwandige gietstukken zijn echter niet aan te bevelen.
De tegenwoordig toegepaste was blijft hard tot temperaturen boven 40°C en heeft een beperkte warmteuitzetting.
Ook ingewikkelde, niet "lossende", vormen laten zich in het wasmodel realiseren. Hetzij met behulp van schuiven of uitneembare delen in de matrijs voor het wasmodel, hetzij door het model op te bouwen uit een aantal op zich wèl lossende delen uit eenvoudiger matrijzen. Het opbouwen geschiedt door lijmen met een soort nagellak, een lijm op acetonbasis, of met gesmolten was van circa 100°C. Men realisere zich echter wel dat het opbouwen van het model tijdrovende en dus kostbare handarbeid vraagt.

Voor wat betreft de haalbare maatnauwkeurigheid kunnen de volgende richtwaarden worden genoemd (ontleend aan [3]).
Toleranties op lineaire maten bedragen ± 0,1 mm tot lengtes van 20 mm; daarboven ± 0,7% van de maat.
Toleranties op hoekmaten worden gesteld op ± 1/2°.
Gattoleranties: ± 0,1 mm tot diameters van 12 mm; daarboven ± 1% van de diametermaat.
Voor ovaliteit en concentriciteit wordt circa 1% van de maten opgegeven.
Bij langere gietstukken met gaten c.q. boringen, waarbij de hartafstand kritisch is, kunnen de maatafwijkingen tengevolge van de krimp worden verminderd door het plaatsen van keramische kernen in de gaten.
Bijgaande Tabel I (ontleend aan [2]) levert wat meer gedetailleerde informatie.

Nominale maat [mm]		Lengte, breedte, hoogte				Hartafstand	
groter	t/m	tolerantieklasse					
		D1		D2		D1	D2
dan		tolerantie	veld	tolerantie	veld	tolerantie	tolerantie
	6	± 0,10	0,20	± 0,08	0,16	± 0,25	±0,16
6	10	± 0,12	0,24	± 0,10	0,20		
10	14	± 0,15	0,30	± 0,12	0,24		
14	18	± 0,20	0,40	± 0,14	0,28		
18	24	± 0,25	0,50	± 0,17	0,34	± 0,32	± 0,20
24	30	± 0,30	0,60	± 0,20	0,40		
30	40	± 0,37	0,74	± 0,25	0,50	± 0,50	±0,30
40	50	± 0,44	0,88	±0,30	0,60		
		wanddikte van vlakken ≤ 100 × 100 mm					
	10					0,6	0,4
meetlengte		rechtheid, vlakheid en evenwijdigheid					
tot	25	0,15		0,10			
25	50	0,25		0,20			
boven 50		0,6 %		0,4%			

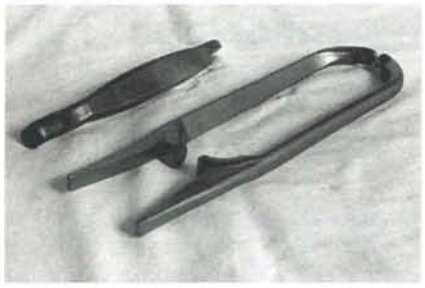
Tabel 1. Maattoleranties
Klasse D1: toleranties van maten (mm) waaraan geen speciale eisen worden gesteld.
Klasse D2: toleranties van maten (mm) waaraan tolerantie-eisen worden gesteld.
Opmerking: de afwijkingen van verschillende partijen gietwerk onderling dienen apart met de leverancier te worden overeengekomen (Cirex, Almelo).

Enkele voorbeelden

Bijgaande foto's, zie de figuren 2 t.m. 7, tonen een aantal voorbeelden van produkten, gegoten in verschillende materialen. Nadere gegevens zijn in de bijschriften vermeld.
Deze voorbeelden werden ter beschikking gesteld door Precisiewerk Zierikzee.

Procesvariant voor grotere werkstukken met dunne wanden

Voor werkstukken met wat grotere afmetingen, zoals bijvoorbeeld behuizingen in lichtmetaal voor elektronica in vliegtuigen, wordt wel een enigszins andere vormtechniek toegepast.
Over het wasmodel wordt een heel dunne keramische schil gevormd, die vervolgens wordt verstevigd met be-

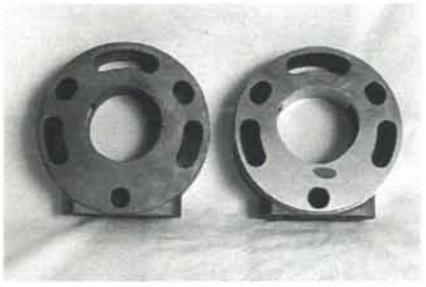


2

3

4

5



6

7

Figuur 2. Links een onderdeel voor een striptang voor infuusleidingen; roestvaststaal, ca. 120 mm lang (NPBI). Rechts onderdelen van een slachtmachine; eveneens roestvaststaal.
Figuur 3. Houder (raam) voor een elektronisch apparaat, uitgevoerd in niet-magnetisch messing; ca. 100 mm vierkant. (Nederlandse Philips Bedrijven, Machinefabrieken, Almelo.)
Figuur 4. Huis voor elektronisch meetapparaat; aluminium legering, afmetingen ca. 100 x 70 x 60 mm. (Nederlandse Philips Bedrijven, Machinefabrieken, Almelo.)
Figuur 5. Tweetakt modelvliegtuigmotortje, cilinders en krukkast geïntegreerd; aluminium, ca. 80 mm hoog. (De Ridder Fijnmechanica, Veenendaal.)
Figuur 6. Huis voor rotor, diameter 42 mm, voor vloeistof meetapparaat; gelegeerd staal, buitendiameter ca. 100 mm. (VAF-Instruments B.V., Dordrecht.)
Figuur 7. Diverse rotoren. Aan het linker, onbewerkte exemplaar is aan de aftekening te zien dat het wasmodel is opgebouwd uit twee helften. Maten: diameter 87 mm onbewerkt, 72 mm bewerkt, 43 mm onbewerkt en 34 mm onbewerkt.

hulp van vormvast gips in een metalen vormkast. Dit wordt wel "blockmould" genoemd.
In sommige gevallen wordt de schil opgebouwd met behulp van keramische "lijm" en van lijmtangen. De vorm wordt uitgestookt na het samenstellen. Bij het verder vullen c.q. opbouwen van de "blockmould" kan vacuümtrekken worden toegepast; dit bevordert verdichting en verhoogt de sterkte door het onttrekken van overtollig water.
Deze techniek is onder andere door een Israëlische gieterij toegepast voor produkten voor de vliegtuigindustrie. Ook in Engeland is er tenminste één gieterij die dit toepast, de firma "Finecast" [4].

Slotbeschouwing

Het wasmodelproces levert weliswaar gietstukken met zeer goede maatnauwkeurigheid; voor precisie in het tolerantiegebied van 5 micrometer of minder blijft nabewerking echter noodzakelijk.

Voor werkstukken uit materialen die zich zeer moeilijk laten bewerken, zoals de reeds genoemde hooggelegeerde staalsoorten en kobaltlegeringen, is het een zeer goede produktiemethode. De aard van het proces, in dit geval de relatief kostbare methode om het "model" te produceren, maakt het proces minder geschikt voor het maken van enkel-stuks of zeer kleine aantallen.
De gieterij, die het meest gespecialiseerd is in zulke kleine aantallen, indiceert toch een minimum van tien stuks en een kleinste economisch aantrekkelijke seriegrootte van vijftig stuks voor relatief gecompliceerde werkstukken.

Wasmodel-gieterijen in de Benelux:

- B.V. Precisiewerk, Zierikzee.
  Dit kleine maar zeer produktieve bedrijf is gespecialiseerd in kleine tot middelgrote series. Men kan alle staalsoorten en legeringen gieten alsmede koper-, aluminium- en magnesiumlegeringen.
- CIREX in Almelo (behorend tot de Hoogovens Groep).
  Deze gieterij is gespecialiseerd in grote tot zèèr grote produktseries. Men giet alle staalsoorten en -legeringen (constructie-, zuur- en roestvaste, hittevaste), kobaltlegeringen en zacht magnetisch staal. Men giet geen non-ferro metalen.
- Eurocast B.V. (Mifa Aluminium) te Apeldoorn.
  Deze middelgrote gieterij levert gecompliceerde produkten in staal-, koper- en aluminiumlegeringen.
- Precimetal te Seneffe, België.
  Ook deze gieterij biedt een uitgebreide keuze in ferro- en non-ferro legeringen. Werkt onder andere voor de luchtvaartindustrie en is daarvoor gecertificeerd.

Literatuur:

[1] Precisiegieten: De verloren wasmodeltechniek; ir. F. Nuyts, ir. W. Polloni (Précimetal); Tijdschrift Technisch Management Juni 1989.
[2] Brochure "De Cirex Formule"; Publikatie van Gieterij Cirex, Almelo.
[3] Brochure Precisie gietwerk; Publikatie van BV Precisiewerk, Zierikzee.
[4] "Finecast", Clivemount Road, Cordwallis Estate Maidenhead, Berks SLG 7 BK, England.

Manipuleren en instellen (deel 2)

Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren (10)

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

Manipulator voor twee translaties

In de uitvoering volgens figuur 95 kan een rotatie worden voorgeschreven (of vastgelegd). Als de plaat dun genoeg is wordt alleen de hoekverdraaiing θ vastgelegd en blijven alle andere coördinaten vrij.

Dezelfde constructie kan worden uitgevoerd in dikke plaat (draadgevonkt) Hij legt dan alle vrijheidsgraden vast behalve x en y en kan zo vaak een traditionele opbouw met afzonderlijke x- en y-slede vervangen.

Hierbij geeft de uitvoering volgens figuur 96 een grotere symmetrie dan figuur 95, met bijvoorbeeld bij vastgezet middendeel (gearceerd) een zeer goede rechtgeleiding van het middelpunt van het tussenkader T en van het middelpunt in de x-y manipulatorplaat, terwijl bij een koppel alle "stangen" alleen op trek (of alleen op druk) belast worden. De hoekverdraaiing van het tussenkader is echter $y^2/(a.b)$. In de uitvoering volgens figuur 95 is deze hoekverdraaiing in principe nul maar de "rechtgeleiding" is een boog; hij heeft dus een afwijking $y^2/(2a)$ enz.

Evenwijdige fijninstelling

Figuur 97 geeft de fijninstelling van de verticale hoofdspil van een zeer nauwkeurige vlakslijpbank. De werking wordt met behulp van figuur 98 verduidelijkt. Met een zeer kleine overbrengingsverhouding wordt het deel AA zuiver evenwijdig, door de stelschroef S verplaatst.

Het vlak AA kan met behulp van de gegeven fijninstelling nog (nauwkeurig evenwijdig) over plus tot min 20 µm versteld worden ten opzichte van de gearceerde plaatdelen die vastgebout zitten tegen het vaste freem.

De slag van de stelschroef is plus tot min 1 mm, de eerste hefboomoverbrenging is ca. 1 op 4, de tweede trap is ca. 1 op 12,5.

De hoeken zijn respectievelijk 1/70 en 1/500.

Alle gaten zijn 8mm in diameter; de damhoogte is 1 mm in de twee scharnieren van de eerste hefboom (σ_{max} daar ca. 630 N/mm^2) en verder overal 2 mm.

De verticale stijfheid in het vlak AA is circa $3{,}5.10^8$ N/m bij de plaatdikte van 25 mm. (Na fijnverstelling wordt het spilhuis tegen het freem geklemd met circa 5.10^9 N/m.)

Kniehefboom als instelmechanisme

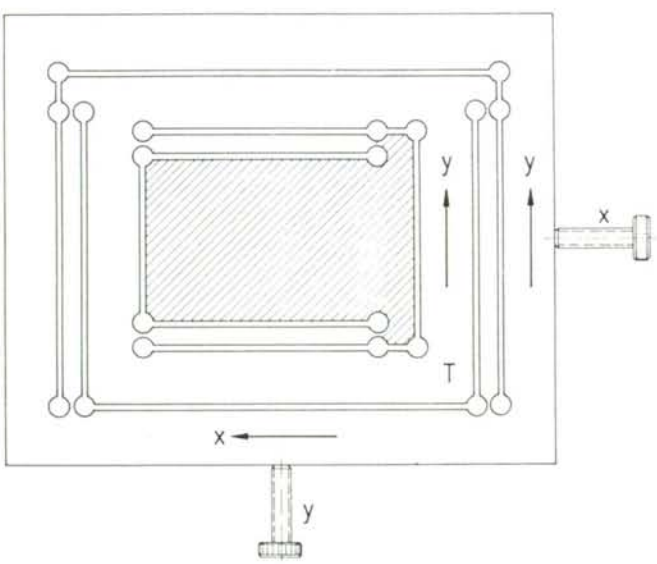
Figuur 99 toont een voorziening om in een optisch apparaat de spiegels onder een zeer nauwkeurig bepaalde hoek op te stellen. Het instrument heeft een, grof- en fijninstelling. De fijninstelling is niet lineair. Het nadeel is dan dat een vaste verdraaiing van schroef 1 geen vaste verandering van de hoek φ_m geeft. Het voordeel is dat men de overbrenging vrijwel willekeurig kan kiezen.

Als $x << \ell_1 = \ell_2 = \ell$ dan geldt:

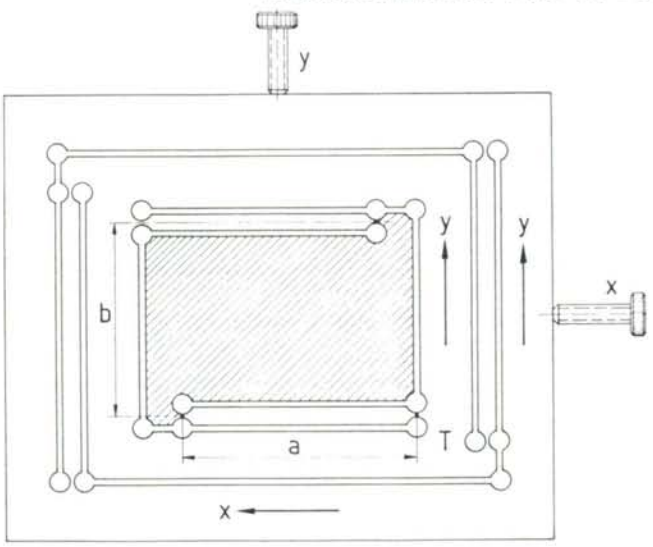
$u/2x = x/(2\ell)$, dus $u = 2x^2/(2\ell)$
$y = u/\sin\alpha$
$\varphi_m = u/(\ell_3 \sin\alpha)$, en
$\alpha = \pi/4$ *rad*

Hierin is u de verkorting over het traject $\ell_1\ell_2$ bij verplaatsing x.

Tabel 1 geeft een praktisch voorbeeld: het bereik van schroef 1 (0,5 < x < 1,5,



Figuur 95.



Figuur 96.

y > 0,0141 mm) overlapt de nauwkeurigheid van schroef 2 (0,01 mm).

Meertrapsinstelmechanisme

Figuur 100, waarin x de in te stellen coördinaat is, geeft een indruk van de mogelijkheden met meer insteltrappen. De buitenomtrek van de vlakke plaat van figuur 101 waarin de constructie is uitgefreesd en gezaagd, is vaste wereld. De uitgang U moet een fijn instelbare verplaatsing hebben in x-richting over 40 μm (de vóórinstelling gebeurt door het in te stellen instrument in de juiste stand ten opzichte van de wereld op U vast te zetten).

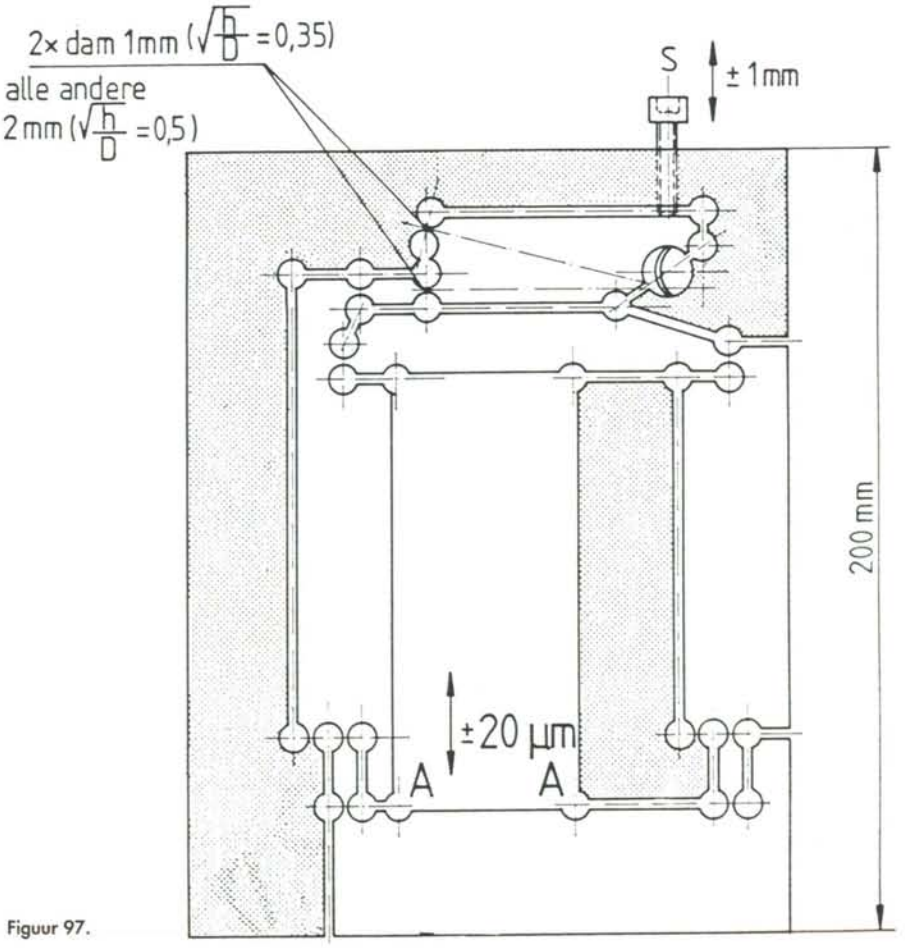
Hefboom 1 kan met de schroeven S_1 op 0,1 mm ingesteld worden (slippend door de rem F1). Op U betekent dit bij een hefboomverhouding 1/20 een plaatsnauwkeurigheid van 5 μm. Daarna wordt S_1 losgesteld. Hefboom 2 geeft voor S_2 en F_2 een fijnregeling $(1/20)^2$x0,1 mm = 1/4 μm; hefboom 3 (S_2F_2) brengt die desgewenst op 1/80 μm.

Tabel 1.

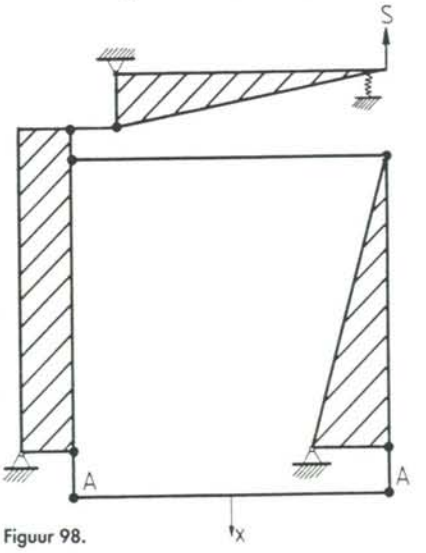
Bij ℓ=100 [mm] en een vóórinstelling x van	1	mm
hebben we een overbrengingsverhouding i van	0,0282	
en aan de top een verplaatsing van y	0,0141	mm
en daaruit resulterend een begin-helling φ_m van	10^{-4}	rad
Bij een instelnauwkeurigheid van schroef 1 van 0,01 mm geldt bij benadering een Δx van	0,01	mm
Bij de geldende overbrengingsverhouding geeft dat een Δy van	0,000282	mm
en een hoek-instelstap $\Delta\varphi$ van	10^{-6}	rad
Bij een werkgebied van 0,5 x_u tot 1,5 x_u is het instelgebied dan φ_m	100.10^{-6}	rad

Met "flink knijpen" in de staaf U, gebruikmakend van de dwarscontractie is hetzelfde te bereiken maar het is moeilijk om tijdens het bedienen van klemschroeven het systeem vrij van dwarskrachten en momenten te houden.

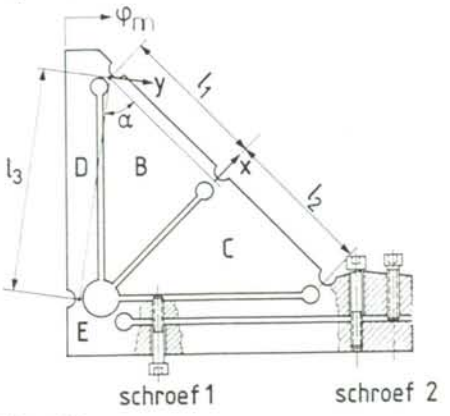
Men realisere zich dat een trekkracht van 25 N op een staaf U van 4 x 10 x



Figuur 97.

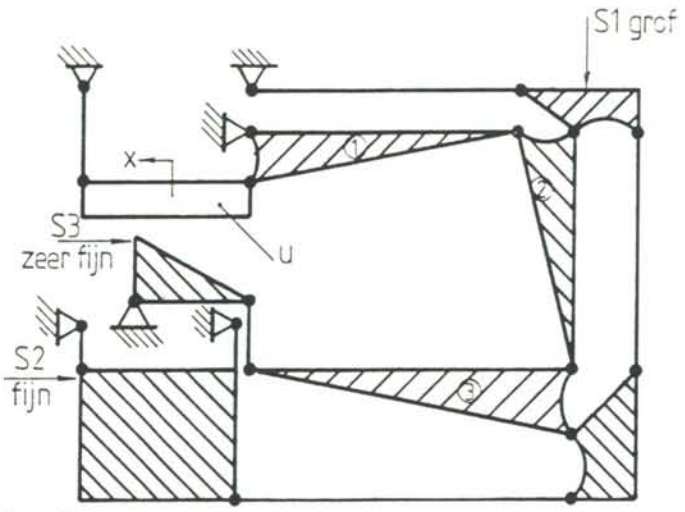


Figuur 98.

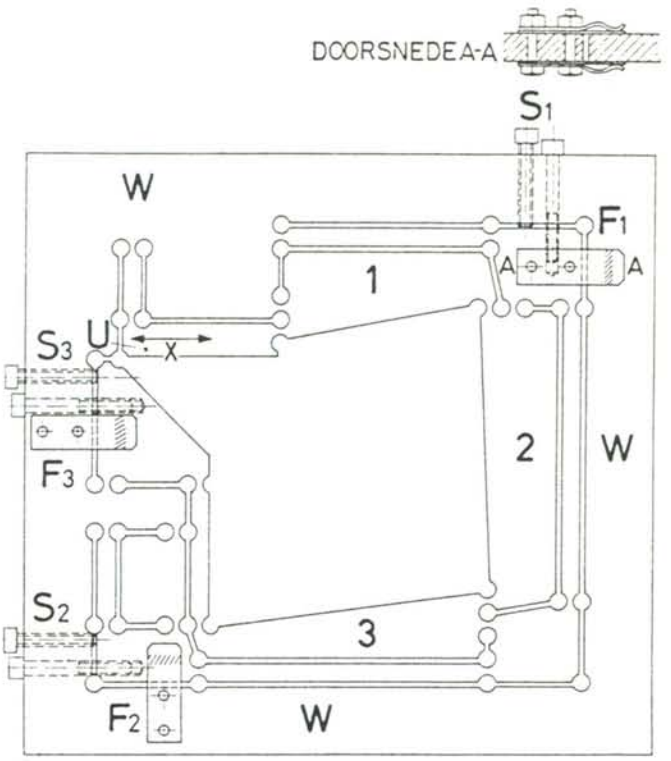


Figuur 99.

Manipuleren en instellen (deel 2)



Figuur 100.



Figuur 101.

40 mm een verlenging geeft van 1/80 μm, hetzelfde als een temperatuurverhoging van 1/40 K. Dit, als indicatie dat de met figuur 101 in principe aangetoonde "onbeperkte haalbaarheid van nauwkeurigheden" gemakkelijk vastloopt in temperatuurgradiënten en deformatie tengevolge van uitwendige belastingen. Toch zijn er toepassingen – onder andere het positioneren van preparaten onder een elektronenmicroscoop – waar de plaats op enkele Angstrom (= 10^{-10}m) beheerst wordt: plaatsnauwkeurigheden van minder dan 10^{-3} μm!

Coördinatentransformatie in manipulatoren

In figuur 102 is afgebeeld een manipulator die dient om een star lichaam in zijn 6 graden van vrijheid op zijn plaats te brengen. Dit moet met een nauwkeurigheid van $\pm$ 0,1.10^{-6}m in het x-y vlak en met $\pm$ 0,5.10^{-6} m loodrecht daarop, ten opzichte van een ander lichaam worden gepositioneerd.

Voor het instellen van de uitgaande coördinaten, zoals die hier zijn gedefineerd, levert deze manipulator een *onafhankelijke instelprocedure*. Hij is echter zeer gecompliceerd. Bovendien zal het moeilijk blijken hem in de x- en y-richting voldoende stijf te maken.

Stijfheidseis

De stijfheidseis behoeft een toelichting. Tijdens het instellen glijden de naderhand te fixeren elastische bevestigingspootjes van de te positioneren component langs het vaststaande lichaam. De normaalkracht is N=1N, de wrijvingscoëfficiënt wordt gesteld op μ=0,2. Om binnen een virtuele speling te komen van s_v=0,2μm is een stijfheid van de manipulator nodig ter grootte $c=2\mu N/s_v$ = 2.10^6N/m . Het ontwerp van figuur 102 is daarvoor niet erg geschikt.

Figuur 103 is een aantrekkelijk ontwerp. Het is eenvoudiger dan het voorafgaande, maar vooral geschikt om *zeer stijf* uit te voeren. Immers van de elastische elementen wordt slechts trekstijfheid gevraagd als het er om gaat in het punt U een grote stijfheid te krijgen.

Passieve isolatie

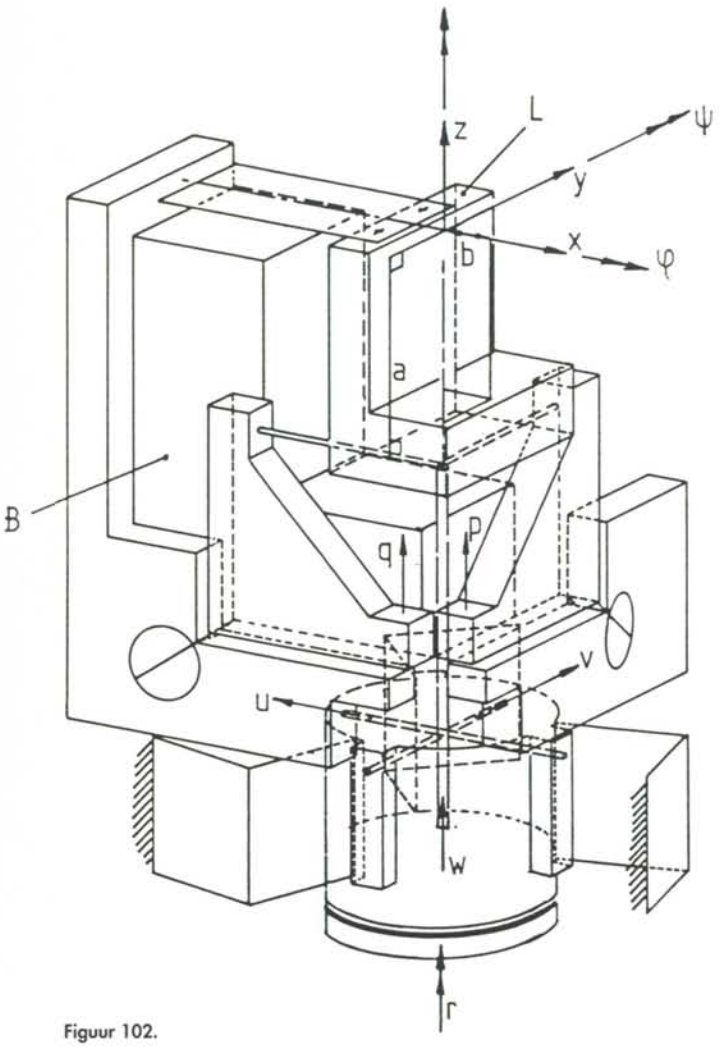
Verkleining van de "stoorsnelheden" – impulsoverdracht uit de omgeving – kan op goedkope wijze worden bereikt door de gehele apparatuur op te hangen aan elastische galgen, of door ze op de in figuur 104 getekende wijze op te leggen op stukken binnenband. Men realisere zich dat zelfs de zwaarste machines kunnen worden opgelegd met behulp van slechts een relatief kleine overdruk in de banden!
Figuur 104 toont een methode om demping te introduceren. De binnenbanden zijn hiertoe via slangen verbonden met een ruim reservoir (als de banden niet op de juiste wijze ten opzichte van het zwaartepunt zijn gerangschikt, moet men meer reservoirs nemen, elk met een aangepaste druk). Als de slangen een stromingsweerstand nul zouden hebben, dan zou de slingering van de opstelling ongedempt zijn. Bij een oneindig grote stromingsweerstand geldt hetzelfde. Daartussen ligt een weerstandswaarde die optimale demping geeft

Opmerking 1

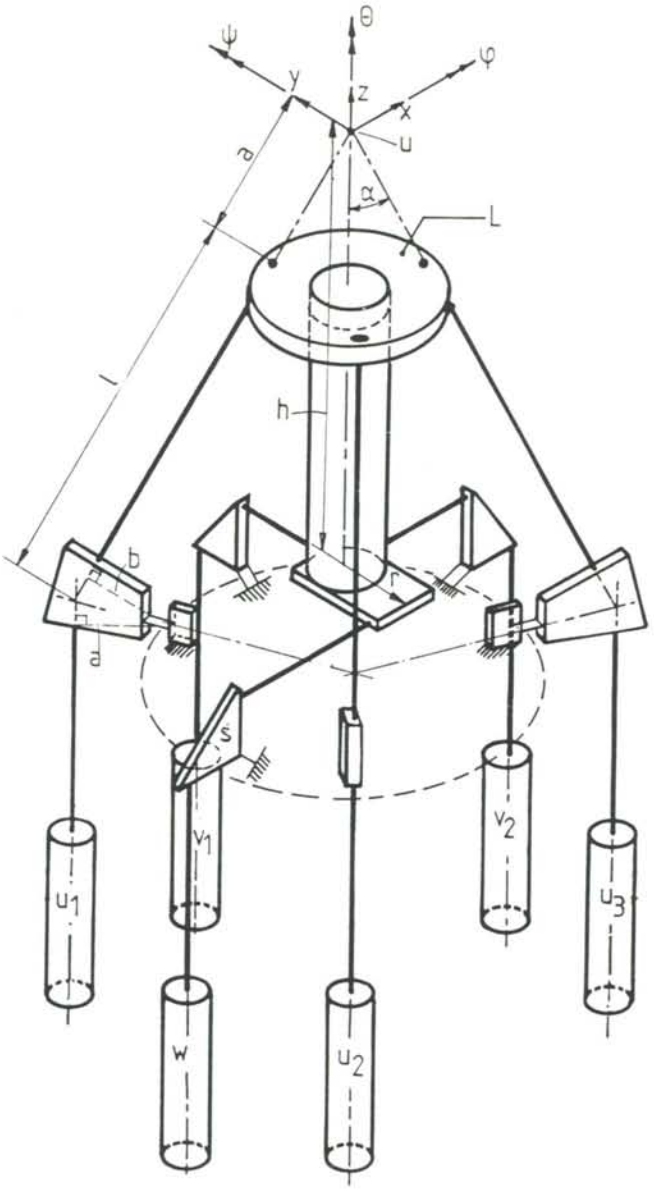
De stabiliteit van de ondersteuning vertoont analogie met die van een schip ("metacenterhoogte" enz.).
Voor stabiliteit tegen kapseizen moet de afstand tussen de banden (a in figuur 104) groot zijn en de ligging van het zwaartepunt ten opzichte van de oplegvlakken voldoende laag.
In het geval van figuur 10 is de voorwaarde voor stabiliteit om de lengteas:

$$a^2 > 4b.z\,(\ell_1 + \ell_2)/(\pi.\ell_1)$$

In verband met veiligheid tegen overbelasting (reserve in draagvermogen) en bewegingsbereik (slag in hoogte of hoek) moet de band nog tamelijk "rond" staan in normaal belaste toestand, zodat bij plaatselijke indrukking het draagvlak nog snel toeneemt (nominale breedte b in de orde van de halve diameter van de onbelaste band). De stijfheid is onafhankelijk van de breedte:



Figuur 102.

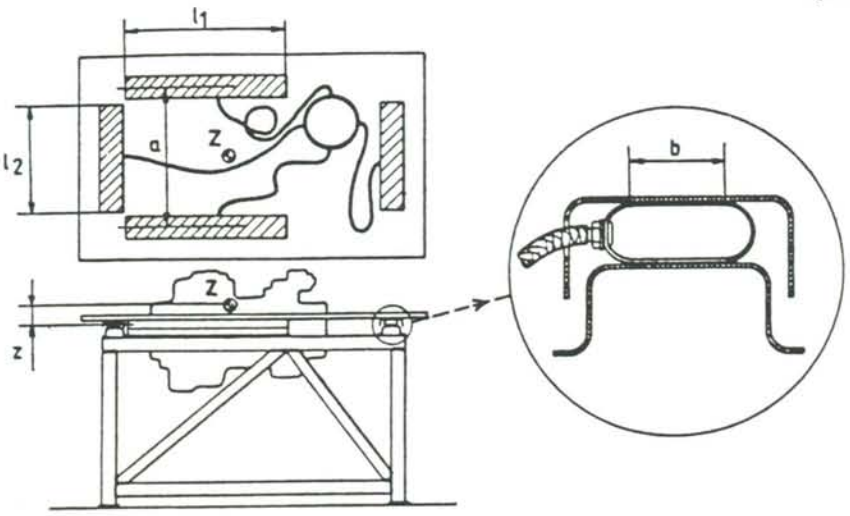


Figuur 103.

$dF/dh = -\pi p \ell/2$, waarin h de inzakking van de band en p de luchtdruk is.
De stijfheid in langrichting van de bandstukken heeft men vooral in de hand met de keuze van de banddiameter: grote diameter gaat gepaard met korte lengtes en lage axiale stijfheid.
Ideaal is de situatie dat het zwaartepunt ver onder de banden ligt.

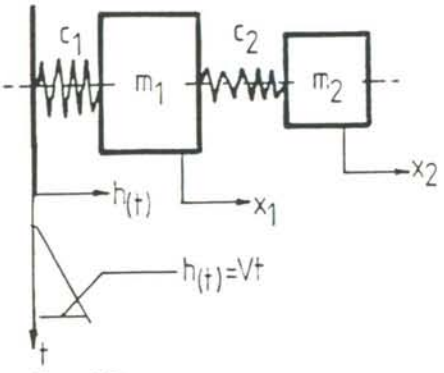
Opmerking 2
Men vergete niet enkele massief rubberen aanslagblokjes toe te voegen die in geval van onverhoopte klapband het instrument opvangen om zo schade te voorkomen!

Effect van de ondersteuning
Wat is nu het effect van een dergelijke elastische ondersteuning van het freem op de gevoeligheid van de erop gemonteerde micromanipulator voor stoorsnelheden uit de omgeving?

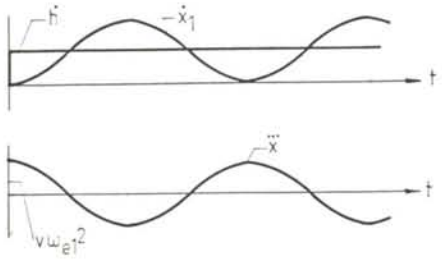


Figuur 104.

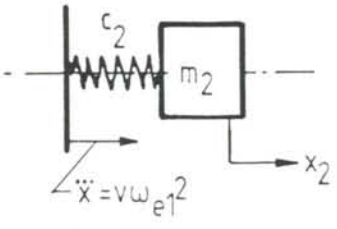
Manipuleren en instellen (deel 2)



Figuur 105.



Figuur 106.



Figuur 107.

Stel de massa van het freem m_1, de massa van de micromanipulator m_2 ($m_1 >> m_2$), de stijfheid van de elastische ondersteuning c_1 en de stijfheid van de micromanipulator c_2; zie figuur 105.

Stel dat de elastische ondersteuning zo slap is dat geldt:

$$\frac{c_1}{m_1} << \frac{c_2}{m_2}$$

Dan kan men voor de beide eigenfrequenties van het systeem van figuur 105 schrijven:

$$\omega_{e1} = \sqrt{(c_1/m_1)},\ \omega_{e2} = \sqrt{(c_2/m_2)}$$

De responsie van het systeem op een sprong in de snelheid, $h_{(t)} = vt$, is bij benadering:

$$x_1 = v(t-(1/\omega_{e1})\sin \omega_{e1} t) \qquad (1)$$
$$x_2 \approx x_1.$$

Toch is er een verschil tussen x_2 en x_1 dat kleiner is naarmate de beide eigenfrequenties verder uit elkaar liggen.
Uit (1) volgt:

$\dot{x}_1 = v(1-\cos \omega_{e1}t);\ \dot{x}_1(0) = 0$
$\ddot{x}_1 = v\omega_{e1} \sin \omega_{e1}t;\ \ddot{x}_1(0) = 0$
$\dddot{x}_1 = v\omega_{e1}^2 \cos \omega_{e1}t;\ \dddot{x}_1(0) = v\omega_{e1}^2$

zie figuur 106.

De manipulator van figuur 107 krijgt dus op het tijdstip t=0 een sprong in de derde afgeleide $\dddot{x}_1$ ter grootte $v\omega_{e1}^2$. De amplitude û van de responsie van de manipulator daarop is

$$\hat{u} = \dddot{x}_1/\omega_{e2}^3$$

$$\hat{u} = v\omega_{e1}^2/\omega_{e2}^3$$

Als de manipulator van figuur 107 direct op de vloer zou hebben gestaan dan zou de plaatsamplitude zijn geweest:

$$\hat{u} = v/\omega_{e2}.$$

De passieve isolatie door middel van het slap opgestelde freem geeft dus een reductie van de amplitude van de responsie op een stoorsnelheid uit de omgeving met een factor $(\omega_{e1}/\omega_{e2})^2$.

"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. Door ir. P.C.J.N. Rosielle en E.A.G. Reker (TU-Eindhoven) is speciaal 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.

Adverteren in
Mikroniek
Buro Jet bv
tel: 070 - 3990000
fax: 070 - 3902488

Mechanismen Analyse op de PC
SAM 2.0
nu ook krachten-analyse
Gebruikersvriendelijke analyse van willekeurige stangen- en planetaire mechanismen
v.a. hfl. 599,-
ARTAS - Technical Application Software Het Puyven 162 * 5672 RJ Nuenen * tel/fax 040-837552

Produktinfo

Objecttafel op luchtlagers

Het Model 5480 van Anorad bestaat uit een zeer nauwkeurige Anoglide-17 luchtgelagerde tafel en een IDAC digitale besturing. De slede bestaat uit een L-vormig, stijf, bewerkt gietwerk van aluminium met ribben voor extra stevigheid en stabiliteit. De Anoglide-17 wordt ondersteund en kinematisch geleid door zeer stijve, contactloze luchtlagers.

De nadruk van het ontwerp ligt op betrouwbaarheid en onderhoudsvriendelijkheid. Het systeem is volledig contactloos. Luchtlagers worden gebruikt voor de geleiding en een borstelloze lineaire motor met sinusvormige commutatie zorgt voor gelijkmatige schokvrije bewegingen. De vrijwel centraal bevestigde motor beperkt momentbelastingen tot een minimum. Gecombineerd met een positieterugkoppeling, met behulp van een centraal bevestigde contactloze lineaire glasliniaal, verschaft het Model 5480 de hoogste mate van betrouwbaarheid.
De geoctrooieerde luchtlagers van Anorad bewegen over het nauwkeurig gelepte en gepolijste oppervlak van de granieten brug, en zijn ver uit elkaar geplaatst om kleine oneffenheden in het graniet uit te middelen. Dit resulteert in een uiterst gelijkmatige beweging met minimale rol, knik en gierfouten. De luchtlagers zijn gemaakt van speciale materialen en zijn voorzien van een unieke restrictie alsook een speciaal ontworpen lagerkamer voor het verkrijgen van een in hoge mate gedempte, trillingvrije beweging. De magnetische aantrekkingskracht van permanente zeldzame-aarde-magneten zorgen voor een contactloze voorspanning voor luchtlagers.

Voor uitvoerige info:
Anorad Europa B.V.
Postbus 792
5550 AT Valkenswaard
Telefoon: 04902 - 89 238
Fax: 04902 - 46 862

Catalogus boren

Bij hardmetaalproducent Hertel Nederland is onlangs een nieuwe catalogus 1006 D "boorgereedschappen" uitgekomen.
Het 114 pagina's tellende boekwerk bevat gedetailleerde gegevens van het leveringsprogramma volhardmetaal- en wisselplaatboren, gecombineerde boorverzinkgereedschappen en de bijbehorende gereedschapopnamen.
Van de diverse gereedschaptypen zijn uitvoerige produktbeschrijvingen, bewerkingsvoorbeelden en technische gegevens opgenomen.

In deze catalogus introduceert Hertel tevens haar Tool Expert Software system (TESS). Met behulp hiervan kunnen, aan de hand van aangegeven specificaties door de klant, gecombineerde boor-verzinkgereedschappen worden ontwikkeld.

Voor uitvoerige info:
Hertel Nederland
Postbus 159
6800 AD Arnhem
Telefoon: 085 - 699 611
Fax: 085 - 615 309

Opto-elektronische kijker

Electrophysics introduceert een nieuwe opto-elektronische kijker, met de naam Astrolight Viewer, waarmee beelden van lage intensiteit omgezet worden in heldere, scherpe beelden. Het hart van de kijker is een zeer geavanceerde beeldversterker die bestaat uit "microchannel plates", en een fosforscherm. Hierdoor worden beelden van lage intensiteit en van het infraroodgebied van 500-900 nm omgezet in helder groene, contrastrijke beelden met een hoge resolutie.
De "Astrolight Viewer" is compact (13 cm x 7 cm), licht van gewicht en eenvoudig in gebruik. De aluminium behuizing is stevig geconstrueerd, schokbestand en met epoxy gecoat. Verder is er een 1/4"-20 aansluiting voor een pistoolgreep of een driepootstandaard. Met behulp van een

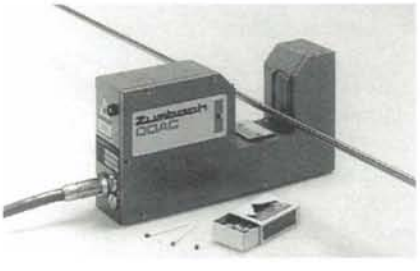
schroefdraad kunnen gemakkelijk oogloepen en andere toebehoren gemonteerd worden.
Applicaties:
- onopvallende bewaking en opsporingsdoeleinden,
- nachtzichtapparatuur (luchtvaart en zeevaart),
- wetenschappelijke studies (fluorescerende beeldvorming).

Electrophysics wordt in de Benelux vertegenwoordigd door TE LINTELO SYSTEMS B.V.

Voor uitvoerige info:
TE LINTELO SYSTEMS B.V.
Postbus 45
6900 AA Zevenaar
Telefoon: 08360 - 40 804.

Contactloos meten van diameters en andere maten

ZUMBACH Electronic introduceert een nieuw ontwerp voor het met lage kosten en hoge precisie meten van diameters, lengtes, hoeken en andere afmetingen.
Het systeem bestaat uit een miniatuur lasermeetkop en een zeer compacte uitlees- en verwerkingsunit. Deze twee units kunnen tot op 50 meter van elkaar geplaatst worden.
Verschillende meetkoppen zijn beschikbaar voor het meten van 1 as, 2 assen of een rotatie. Afmetingen tot ongeveer 200 mm kunnen gemeten worden.



Met dit concept is het mogelijk de units te integreren in bestaande fabricageprocessen. De units kunnen echter ook off-line gebruikt worden. De te meten produkten kunnen niet-doorzichtig of doorzichtig, meer of minder reflecterend zijn.
De verwerkingsunit kan de gegevens statistisch bewerken, controleert het proces, kan zonodig met een computer communiceren en informeert over actuele waarden, afwijkingen, enz.

Technische specificatie van meetkop ODAC 16:
- meetveld: 16 mm,
- repeteernauwkeurigheid (± 3 sigma): ± 0,4 µm,
- lineariteit: ± 0,5 µm (± 0,1),
- resolutie: 0,1 µm.

Voor uitvoerige info:
ZUMBACH Electronic S.A.
J.P. Ballingslaan 1, B-1090 Jette, België
Telefoon: 02/478 16 88.
Fax: 02/478 27 68.

Programmeerbaar hoogtemeetinstrument met vergroot meetbereik

Viba NV te Zoetermeer heeft haar programma geometrische meettechniek uitgebreid met de Digimar 817Cl-1100. Dit is de grotere uitvoering van de reeds enkele jaren op de markt zijnde Digimar 817 Cl.
Enkele kenmerken van de Digimar 817Cl-1100 zijn:
- Probleemloos heen en weet schuiven van het hoogtemeetinstrument over de vlakplaat door ingebouwd luchtlagersysteem.
- De meetkop blijft op iedere willekeurige plaats over het volle meetbereik staan door een contragewicht.
- Een duidelijke numerieke uitleeseenheid in de meetkop met ingebouwd toetsenbord en microcomputer. De microcomputer bevat een groot aantal functies voor het oplossen van de meest gecompliceerde meetklussen. Allerlei hoogtematen kunnen zo worden gemeten, hartafstanden van zowel binnen- als buitendiameters alsmede de diameter zelf in één handeling.
- Er kan met een tweede referentiepunt worden gewerkt.
- Er zijn metingen mogelijk in een x-y coördinatensysteem en het hoogtemeetinstrument kan worden gebruikt om de haaksheid van werkstukken te bepalen.
- Mogelijkheid tot het instellen van tolerantiebewaking voor herhalingsmetingen en het samenstellen van meetprogramma's.
- Aansluitmogelijkheden voor een meetwaardedrukker of pc voor het documenteren van de meetresultaten of voor statistische berekeningen.

Technische gegevens:
- Meetbereik: 0 – 1100 mm
- Meetkopverplaatsing: 1000 mm
- Oplossend vermogen (omschakelbaar): 10 µm, 1 µm
- Meetonzekerheid: 3 + ℓ/300 µm
- Meetkracht (instelbaar): 0,7 - 3N
- Herhaalbaarheid: 1 µm

Voor uitvoerige info:
Viba N.V.
Bleiswijkseweg 41
2712 PB Zoetermeer
Telefoon: 079 - 418 881
Fax: 079 - 418 031

DC Motor Controller board

+

DC Mike Drive

=

PRECISIE POSITIONEREN

- Met de C 812, DC motor controller insteekkaart is een 4-assige programmeerbare precisie positionering mogelijk
- 4 DC motoren, 12V-3W, kunnen worden aangestuurd
- programmering middels ASCII
- DC Mike Drives in 10, 25 en 50 mm uitvoering
- reproduceerbaarheid van 0,1 micron

PHYSIK INSTRUMENTE

is uw partner

Laat u uitnodigen tot een oriëntatie.

Voor uitgebreide informatie en produktkatalogus:

Tel. (31) 4959 3300
Fax (31) 4959 1153

APPLIED **LASER** TECHNOLOGY

main supplier

Onze specialiteit is micro-assemblage van functionele componenten met buitenafmetingen tot maximaal 40x42x50 mm. Liefst met electronica/optica geïntegreerd.

Onze fijnmechanische kennis van serieproductie en assemblage is gebaseerd op onze intensieve contacten met de Zwitserse fijnmechanische industrie. Daardoor zijn wij tevens in staat u bij de engineering en product-optimalisatie ter zijde te staan.

micro montage

Postbus 3108 - NL 3760 DC SOEST - Holland

GROOT IN HET KLEINE

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.

P O L G R O N

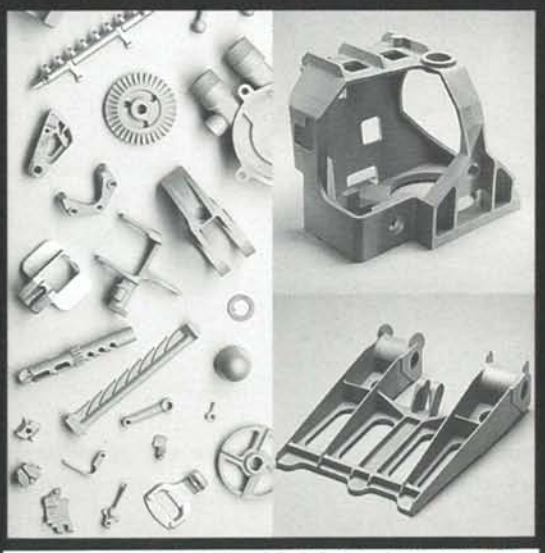
OPTICS & POLISHING TECHNIQUES

Het grove onderscheid op 0,002 micrometer.

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

PRECIMETAL

Precisiegietwerk



PARTNERSHIP - TOTAL QUALITY

PRECIMETAL, toeleveringsbedrijf gespecialiseerd in verloren was gietwerk, vervaardigt stukken van 1 gr tot 10 kg in praktisch alle staalsoorten en in de voornaamste koper-, nikkel- en kobaltlegeringen.

Parc Industriel - B - 7180 Seneffe - België
Tel.: (32) (0) 64.54.05.00 - Telex: 57243 - Fax: (32) (0) 64.54.05.07

We're always working at the edge...

ULTRA-PRECISION CUTTING TOOLS

Professional Diamond Tools, formerly part of Philips, is a dependable supplier of ultra-precision diamond cutting tools to optical and electronics industries throughout the world. *PDT* also supplies diamond wire guides to the machine-tool industry and diamond drawing dies to cable and wire manufacturers. Its products are available in standard ranges (or can be custom-designed) and are manufactured to the highest standards of precision, quality and reliability.

Complete details are available on request. Let us show what we can do.

PROFESSIONAL DIAMOND TOOLS (PDT)

Geenhovensedreef 22, 5552 BD Valkenswaard. The Netherlands.
Telephone: +31 4902 823211. Telefax: +31 4902 44715. Telex: 51579 pdt nl.