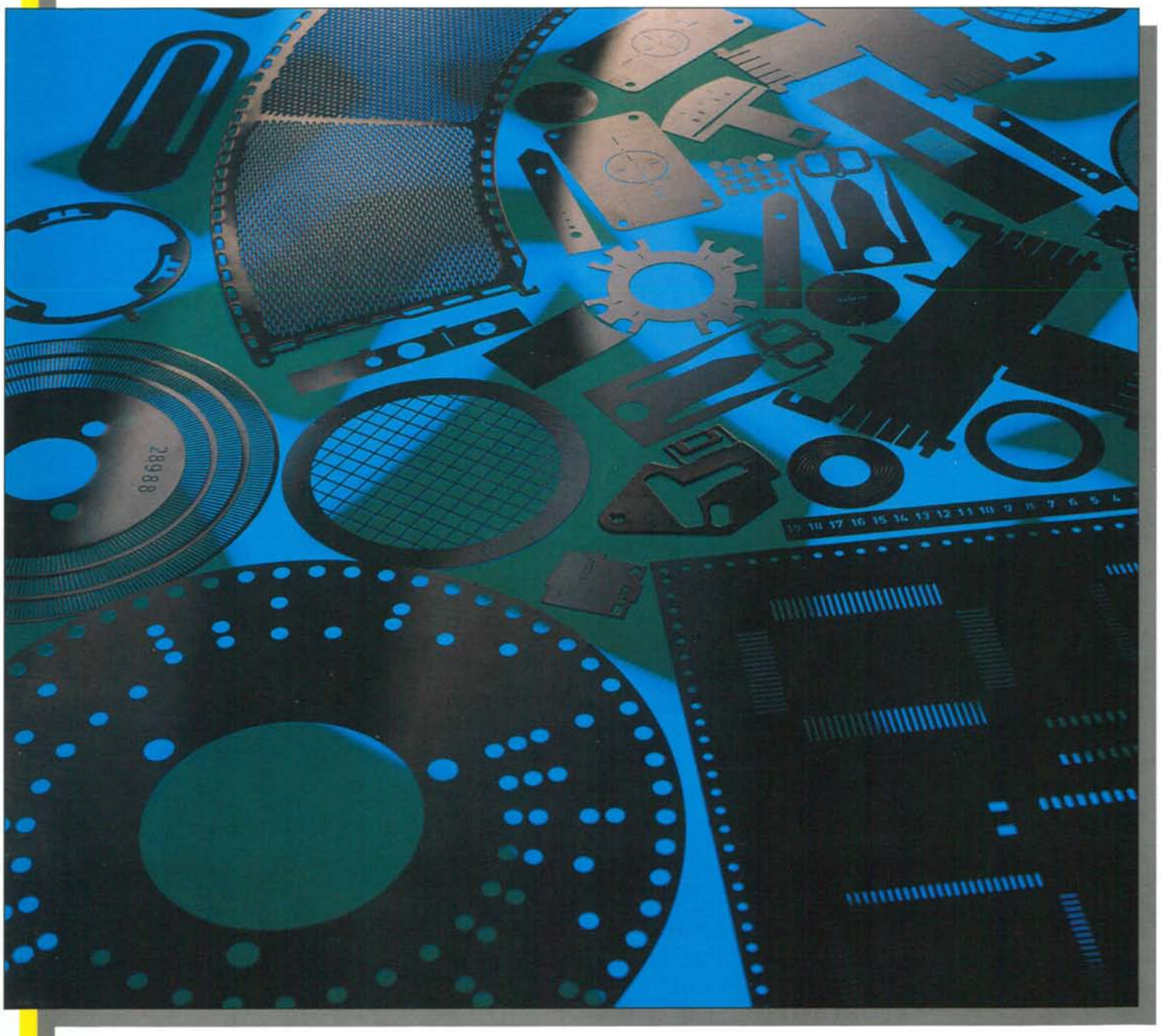
jaargang 35, nummer 3

Mikroniek

NVPT

VAKBLAD VOOR PRECISIE-TECHNOLOGIE



Lineaire motoren – Rondheidsmeting

Precisie-etsen en -aangroeien

Micro-analysesysteem

PRECISIE OPTISCHE COMPONENTEN

Lenzen in standaard waarden of geheel volgens Uw specificatie.
Onze slijperij kan t/m testglas-controle, optische kwaliteits onderdelen leveren.

- Plan-Convex, Bi-Convex, Plan-Concaaf, Bi-Concaaf, Achromaten.
- Miniatuur Lenzen, Ronde Lenzen, Cylinder Lenzen, alles op uw maat of Standaarduitvoering.
- Optische Spiegels, Deel-Spiegels, Achtervlak Spiegels.
- Prisma's als Rechthoek, Retro, 60°, Penta en Wiggen.
- Testglazen in Vlak- Hol- en Bol, Plan-Glazen, Optische Vensters van diverse glasmaterialen, Kwartsglas en Kwartskristal.
- Coaten met metalen en Fluoriden op uw Substraten en Spiegels.
- Precisie glasbewerking in Standaard Glas, Optisch Glas, Kwartsglas en Kwartskristal.

STABILIX

STABILIX B.V.
Burg. Hovylaan 84
2552 AZ DEN HAAG
tel. 070 - 3970061 fax 070 - 3979321

KOPER / MESSING / ALUMINIUM

Als u verzekerd wilt zijn van
een enorme keuze in platen, staven,
buizen, draad, profielen, etc.,
dan hoeft u

niet verder te bladeren

KOPER
E-Cu/SF Cu
- 3 t/m 250 mm
- 4 t/m 200 mm
- 6 t/m 60 mm
- 6 x 2 t/m 100 x 60 mm
- buis t/m 106 mm

MESSING
Ms 58/Ms 60 Pb/Ms 63
- 1 t/m 350 mm
- 2 t/m 150 mm
- 2 t/m 110 mm
- 3 x 2 t/m 100 x 80 mm
- 6 x 3 t/m 40 x 6 mm
- kartel 5 t/m 23 mm
- buis/holstaf t/m 180 mm

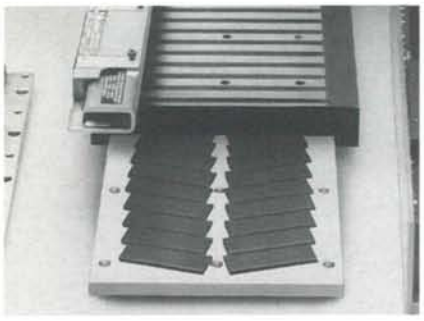
ALUMINIUM
50 ST/51 ST/28 ST/54 S
- 3 t/m 500 mm 51 ST + 28 ST
- 4 t/m 200 mm 51 ST + 28 ST
- 5 t/m 36 mm 28 ST
- 10 x 2 t/m 150 x 75 mm 50 ST + 28 ST
- buis/holstaf t/m 300 mm 50 ST/51 ST/28 ST
- plat + vierkant ook in kortspanig 28 ST

Zaken doen met Salomon's Metalen
betekent zeker zijn van meedenken bij leverschema's,
realisatie en duidelijke afspraken. Salomon's Metalen
zaagt koper, messing en aluminium exact op de
door u gewenste lengte en levert binnen 24 uur.
Bel voor informatie. Wij zijn snel te toetsen!

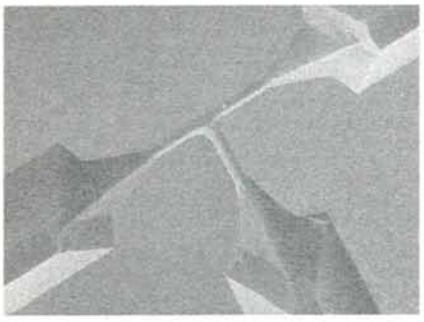
SALOMON'S
METALEN B.V.
Voorsprong door Voorraad!

GOTENBURGWEG 24,
9723 TL GRONINGEN TEL. 050-421200 FAX 050-416892

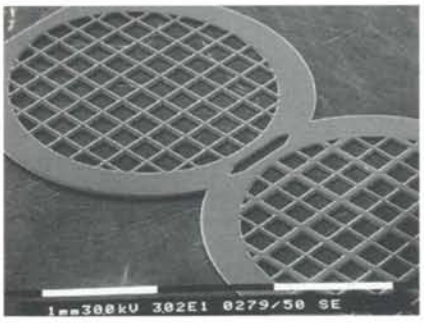
In dit nummer



Zie pagina 68



Zie pagina 74



Zie pagina 78

63 Hoe zit het met onze innovatiekracht?
Editorial

64 Verenigingsnieuws/Actueel

68 Lineaire motoren
M.G.M. Lammers

74 Micro Totaal Analysesystemen (μTas)
A. van den Berg en T. Lammerink

78 Etsen en elektroformeren: weghalen en aangroeien
A. Verhoog en F. Zuurveen

83 Rondheidsmetingen met nanometer-nauwkeurigheid
H. Haitjema

88 Produktinfo

Bij de foto van de voorpagina:
Een scala van produkten gemaakt door precisie-etsen en -aangroeien.
(Foto: Stork Veco, Eerbeek.)

De groep Sensoren en Microsysteemtechnologie ontwikkelt sensoren en actuatoren op basis van technologieën, voortgekomen uit de IC-fabricage.

Het uitvoeren van de projecten gebeurt veelal in teamverband en in samenwerking met de Universiteit Twente, door gebruik te maken van technische faciliteiten en wetenschappelijke en technologische expertise van het MESA Research Instituut.

Door de toenemende vraag naar onze diensten zoeken wij voor deze groep een:

MICROSYSTEEMTECHNOLOOG

met een commerciële instelling

Als deskundige op het gebied van microsysteemtechnologie (MST) zult u betrokken worden bij de realisatie van ontwikkelingsprojecten in opdracht van het bedrijfsleven en de uitvoering van Europese onderzoeksprojecten. Daarnaast vormen studies, bijvoorbeeld op het gebied van milieusensoren, onderdeel van deze functie.

Taken:
- uitvoeren van technische voorstudies en ontwikkelingsprojecten
- ondersteuning geven bij beleidsstudies op het gebied van MST
- coördinatie van projecten

Kandidaten beschikken over de volgende kenmerken en achtergrond:

- "breed georiënteerde" ingenieur, bijvoorbeeld elektrotechniek of technische natuurkunde, eventueel gepromoveerd
- goede kennis van microsysteemtechnologie en sensoren
- voor het vakgebied/de functie relevante werkervaring, bij voorkeur in de industrie
- aantoonbare managementvaardigheden
- business-gedreven instelling
- contactgerichte persoonlijkheid

Meer informatie: Ir. H. Leeuwis, projectleider Sensoren en Microsysteemtechnologie.

Reacties zien wij graag voor 3 juli 1995 tegemoet.

3T is, met 30 medewerkers, een middelgroot ingenieursbureau op het gebied van meet-, registratie- en besturingssystemen. In opdracht worden nieuwe produkten en turn-key systemen ontwikkeld voor de industrie. De aard en omvang van opdrachten loopt uiteen van het doen van haalbaarheidsstudies tot en met levering van complete produkten.

Technische kernwoorden zijn:
- **sensoren en interfaces**
- **micro-elektronica (analoog en digitaal)**
- **fieldbussen**
- **(technische) PC-software**
- **CE-markering, EMC, Technisch Constructie-Dossier**

3T BV
Postbus 3639
7500 DP ENSCHEDE
Telefoon: 053-336633
Fax: 053-336869

NVPT

Nederlandse Vereniging voor precisie-technologie

Uitgave:
NVPT

Redactie:
Dr. ing. D. Blank
Dr. J. Elders
Ir. S. van de Graaf (hoofd redactie)
H.M.C. Heubers
M.N. Koning
Dr. ir. P.C.J.N. Rosielle
H.G.J. Rutten
Ir. J.J. Veerman
Dr. ir. J. Verkerk
G.J. Verschragen

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

Redactie-adviesraad:
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. dr. J. Fluitman
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 ƒ105,-- per jaar
Buitenland ƒ132,-- per jaar
Alle prijzen excl. BTW

Secretariaat NVPT
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., Culemborg

Mikroniek verschijnt zes maal per jaar
© Niets van deze uitgave mag overgenomen of vermenigvuldigd worden zonder nadrukkelijke toestemming van de redactie.
ISSN 0026-3699

Editorial

Hoe zit het met onze innovatiekracht?

Zodra het gaat om innovatiekracht worden landen als Japan, Duitsland en de Verenigde Staten vaak in een adem genoemd, evenals de explosieve ontwikkeling in het Verre Oosten. Ook de multinational in het zuiden van ons land, die zich heeft toegelegd op het produceren van veelsoortige consumenten en professionele produkten, wordt meestal niet vergeten.

Toch zijn er in Nederland een groot aantal bedrijven die unieke hoogwaardige produkten ontwikkelen en produceren. Vaak kennen we ze niet omdat ze voor een beperkte, vaak buitenlandse markt produceren. Maar zou het niet aardig zijn als ook wij van hun kennis en mogelijkheden gebruik zouden maken?

Drie voorbeelden vinden we in deze Mikroniek.
Een bedrijf met een Amerikaanse moeder, die zich heeft toegelegd op het ontwikkelen van lineaire motoren en een licentie heeft verstrekt aan een Japans concern.
Een ander bedrijf dat zich heeft toegelegd op het metaaletsen en -opgroeien. Met name in het vervaardigen van nauwkeurig geprofileerde hardnikkelfolie produkten, door middel van opgroeien, zijn ze uniek.
Een zojuist gestart bedrijf dat microsystemen produceert en het in deze Mikroniek beschreven micro-analysesysteem kan maken.

En er zijn er nog meer. Wat te denken van een bedrijf dat met conventionele middelen micro-elektromotoren maakt met een doorsnede kleiner dan één millimeter, of bedrijven die zelf machines ontwikkelen om contactlenzen van nog betere kwaliteit en naar de opgemeten maat te kunnen fabriceren?

De NVPT vormt een goed platform waar deze hoogwaardige bedrijven elkaar kunnen ontmoeten; ontwikkelaars, producenten en industriële gebruikers.

Zou onze innovatiekracht er niet op vooruitgaan als we beter gebruik zouden maken van de kennis en produkten van deze bedrijven?

J. Verkerk

Verenigingsnieuws/Actueel

Statutenwijziging

Aan de leden van de NVPT,

Tijdens de Algemene Ledenvergadering op 16 juni 1995 zal conform de statuten worden voorgesteld de naam en het logo van de vereniging te wijzigen overeenkomstig de letterlijke tekst ad 2.

Voorstel statutenwijziging NVPT
SB.NVFT./14456B'87
27.919

Bij notariële akte van 11-12-1987 zijn de statuten van de

N.V.F.T. Nederlandse Vereniging voor Fijnmechanische Techniek

gewijzigd in:

N.V.F.T. Nederlandse Vereniging voor Fijnmechanische Techniek
thans genaamd: **NVFT,**
gevestigd te Eindhoven
Verleden: 11 december 1987

De vereniging is ingeschreven bij de KvK onder nr. V 47.96.22.

Met de naamswijziging

van: Nederlandse Vereniging voor Fijnmechanische Techniek NVFT

in: Nederlandse Vereniging voor Precisie-Technologie NVPT
heeft 87% van onze leden ingestemd en dient nu de formele afwikkeling plaats te vinden conform artikel 19, lid 1-4 van genoemde statuten.

Het voorstel van wijziging betreft:

van: **Te Eindhoven is gevestigd de vereniging N.V.F.T. Nederlandse Vereniging voor Fijnmechanische Techniek.**

met als statutenwijziging d.d. 11 december 1987:

N.V.F.T. Nederlandse Vereniging voor Fijnmechanische Techniek
thans genaamd: **NVFT**
gevestigd te Eindhoven

in: Te Eindhoven is gevestigd de vereniging NVPT
Nederlandse Vereniging voor Precisie-Technologie
Dutch Society for Precision Engineering

Namens het bestuur,
ir. G. van Drunen,
secretaris.

NVPT-deelname groot succes

Tijdens de beurs Electronics'95 was de NVPT present met een stand waarin bedrijfsleden hun produkten konden tentoonstellen. Aanvankelijk was er weinig belangstelling van de zijde van de bedrijfsleden, maar naarmate de beurs dichterbij kwam steeg het aantal aanmeldingen. Uiteindelijk hebben 17 bedrijven een plekje in de NVPT-stand kunnen vinden en hun produkten tentoongesteld.

Het voor de donderdagochtend door de NVPT georganiseerde symposium "Management en Precisietechnologie" werd goed bezocht. Door diverse sprekers werd de samenwerking tussen mechanische en elektronische technici belicht. Door een totaal andere manier van werken en een ander begrippenkader verloopt de communicatie vaak niet optimaal en ontstaan regelmatig misverstanden. Het is de kunst van het management dit te onderkennen en ervoor te zorgen dat de beelden die men heeft in overeenstemming worden gebracht. Alle inleiders spraken vanuit een ruime beroepservaring en hadden zelf een elektronische of mechanische opleiding gehad.

Drijvende kracht achter dit alles was Herman Akkerman die met medewerking van vele anderen deze dagen tot een succes maakte.

VAT

Februari 1996 zal de VAT weer plaatsvinden, een tweejaarlijkse beurs van toeleveranciers voornamelijk uit de fijnmechanische industrie. Voor het eerst zal de VAT ook aandachtwijden aan innovatie en produktontwikkeling. Daarmee is het bij uitstek een beurs voor de NVPT om aanwezig te zijn.

In 1994 was de NVPT voor het eerst op de VAT present met een gezamelijke stand die de NVPT met een aantal be-

dijfsleden deelde. Door deze gezamelijke aanpak was een royaal ogende stand ontstaan die een verscheidenheid aan diensten en produkten aanbood. De uitstraling was daardoor vele malen groter dan elk van de leden voor zich zou kunnen realiseren. Bovendien bleven de kosten, doordat ze gedeeld werden, zeer beperkt. De organisatie werd door de heren Akkerman en Bauer van de NVPT verzorgd, zodat de deelnemers zich alleen hoefden in te spannen voor de inrichting van hun eigen deel van de stand.
De aanpak had succes, zodat het overweging verdient weer een gezamelijke stand te organiseren in begin 1996.

Belangstellenden kunnen zich melden bij:
secretariaat van de NVPT
Tel.: 040- 473659.

Congres Fijnmechanische Techniek "Every day"

Vrijdag 22 september 1995, plaats wordt nader bekendgemaakt.

Met ingang van september verhuist de HBO-opleiding Fijnmechanische Techniek van de vertrouwde lokatie in Hilversum naar Oudenoord 700 te Utrecht. De opleiding maakt reeds enige jaren deel uit van de Hogeschool Utrecht, reden waarom een concentratie van activiteiten in Utrecht plaats vindt. Met het congres Fijnmechansche Techniek "Every day" wordt de nieuwe locatie in gebruik genomen.

Technologieoverdracht

Middaglezingen op 15 en 22 juni; 14.00 - 17.30 uur; FME, Boerhavelaan 40, Zoetermeer; organisatie FME-ITC en NIVR.
Ruimtevaartprodukten en -kennis kunnen elders worden gebruikt. Omgekeerd kunnen bepaalde componenten, software en dergelijke middels aanpassingen worden benut in ruimtevaartprojecten. Zowel de ruimtevaartbedrijven als het MKB zouden baat kunnen hebben bij kennisoverdracht, die mogelijk tot onderlinge uitwisseling of samenwerking zou kunnen leiden.
De lezingen zijn gesplitst in twee hoofdonderwerpen:
Mechanische technieken op 15 juni en **Electronische systemen** op 22 juni a.s.

Voor aanmelding en informatie:
FME-ITC, Ing. F. Klok
Telefoon: 079 - 531 291
of
NIVR, Ir. D. de Hoop
Telefoon: 015 - 787 340.

Verpakking: bescherming en Identificatie

Themadag 22 juni 1995; 9.00 - 17.00 uur; Erasmus Expo- en Congrescentrum te Rotterdam; kosten *f* 500,- excl.BTW; georganiseerd door Techno Bridge.
Een overzicht van efficiënte verpakkingstechnieken als bijdrage aan kwaliteitsverbetering. Eeen produkt is niet gereed voor de markt zonder een verpakking die ervoor zorgt dat het herkenbaar, individueel te identificeren en te vervoeren is. Een beschermende, herkenbare en goed te vervoeren verpakking vergroot de marktwaarde van het produkt. maar ook tijdens de produktie kan het al nodig zijn het produkt te verpakken.
Tijdens deze dag worden verscheidene facetten van het verpakken behandeld, van het kiezen en testen tot en met het hergebruik en de functie in een heel logistiek proces.

Voor uitvoerige informatie:
Techno Bridge
Telefoon: 010 - 408 2162

Made in Holland
Nederlandse elektronica over de grenzen.

Themadag op 27 juni a.s.; 9.00 - 17.00 uur; met twee parallelsessies; De Reehorst te Ede; georganiseerd door het Centrum voor Micro-elektronica (CME).
Het behoud van nationale verworvenheden is in een open wereldsysteem steeds minder vanzelfsprekend. Oude posities en zekerheden staan voortdurend ter discussie. Door de verbetering van de internationale verbindingen en de steeds lager wordende kosten hiervan, komt globalisering steeds meer binnen het beriek van het Nederlandse MKB.
Met de organisatie van deze themadag tracht het CME een antwoord te geven op de vraag in hoeverre ondernemingen in Nederland zich op het wereldtoneel kunnen handhaven en hun positie kunnen versterken. Bij dit vraagstuk staan de ontwikkeling, produktie en marketing van Nederlandse produkten centraal.
Aan de hand van successtories wordt deze themadag geïllustreerd. Tevens zullen meer technische onderwerpen, noodzakelijk bij de ontwikkeling van produkten voor de internationale markt, zoals DSP en ASIC's aan de orde komen.

Voor informatie en aanmelding:
Centrum voor Micro-Elektronica
Telefoon: 08385 - 80 200
Fax: 08385 - 80 234.

Bouwers-Van Leerprijs

Evenals voorgaande jaren heeft Delft Instruments weer de Bouwers-Van Leerprijs toegekend aan twee afstuderenden aan een Nederlandse Universiteit. De eerste prijs van *f* 6.000,- gaat naar de heer S.F.C.L. Wetzels voor zijn afstudeerwerk 'Ontwikkeling van een meetlaser voor kalibraties in het nanometergebied'. Zie het artikel in Mikroniek 35(1995)2. De tweede prijs van *f* 4.000,- is voor de heer E. van Dop voor zijn
afstudeerwerk 'Ontwikkeling van een krachtopnemer met nanonewton resolutie ten behoeve van spiercelonderzoek'.
Wetzels studeerde af aan de TU Eindhoven, Faculteit der Werktuigbouwkunde. Hij werd voorgedragen door prof.dr.ir. P.H.J. Schellekens. Van Dop is afgestudeerd aan de TU Delft, Faculteit der Werktuigbouwkunde en Maritieme Techniek. Prof.dr.ir. H.G. Stassen droeg Van Dop voor.
De commissie die de, voor de prijs, ingezonden afstudeerscripties beoordeelt en die bestaat uit prof.dr.ir. H.F. van Beek, TU Delft, Prof.dr. L.H.J.F. Beckmann, Universiteit Twente, dr. J.L.F. de Meijere, werkzaam bij Becton Dickinson en ir. H. Mulder, werkzaam bij Delft Instruments, oordeelde over beide afstudeerscripties dat ze van 'zeer goede kwaliteit waren'.

Mechatronica prijzen

Tijdens de opening van de beurs Electronics'95 vond de prijsuitreiking plaats van de Mechatronics trophy en Electronics trophy 1995. De firma Gascontrol, die door Betronic de thermoelektrische Tega Gasmeter liet ontwikkelen ontving de Mechatronics trophy uit handen van de heer Blankert, vicevoorzitter Vereniging VNO-NCW. De studenten Maarten van den Akker en Fred Theuws van de Hogeschool Eindhoven, ontvingen de Electronics Trophy van de heer Smits, voorzitter van de Stichting Firato. De prijs die bedoeld is voor een mechatronica-afstudeerproject, werd toegekend aan het ontwerp van een lijmdrukmachine die een oplossing bied voor het probleem van het op de juiste plaats aanbrengen van de juiste kleur bij het bedrukken van textiel.

Mechatronicaplatform blijft na 1995

Het Mechatronicaplatform, dat zich eind 1994 conform de uitgangspunten heeft opgeheven, gaat in 1995 in enigszins gewijzigde vorm door. Dit hebben de drie branche-organisaties Het Instrument, de Vereniging FME en de Metaalunie afgesproken. Dr.ir. J.A. Rietdijk blijft de (onafhankelijke) voorzitter.
Het Mechatronicaplatform is in 1991 ontstaan op initiatief van het ministerie van Economische zaken, met de bedoeling de invoering van mechatronica in het Nederlandse midden- en kleinbedrijf te stimuleren. In 1993 en 1994 is daarom een campagne gevoerd, met als doelen bewustwording van en enthousiasmering voor mechatronica. Het Campagneteam zette de grote lijnen uit, terwijl de InnovatieCentra voor de uitvoering verantwoordelijk waren.
De resultaten van een grootschalige interessepeiling onder meer dan 2600 bedrijven, gaven blijk van veel belangstelling voor informatie. Op deze behoefte is onder meer ingespeeld met regionale voorlichting, adviesbezoeken door mechatronicadeskundigen en de aanbieding van een videoband. De vooraf gestelde doelen waren:

- 25% van de doelgroep dient voor eind 1994 bekend te zijn met het begrip mechatronica – het resultaat was ruim 40%;
- 10% van de doelgroep dient dan een begin gemaakt te hebben met het toepassen van mechatronica – het resultaat was ruim 9%.

Gezien dit succes is het Platform vervolgens eind 1994 statutair opgeheven.

Waarom doorgaan?

In de afgelopen drie jaar is een goede samenwerking ontstaan tussen brancheorganisaties, technologische instituten, onderwijs en bedrijven. Ook is gebleken dat er momenteel nog behoeft bestaat aan voorlichting op het gebied van mechatronica aan het bedrijfsleven. Dit zijn dan ook de redenen voor voortzetting van het Platform na 1995.
Het Mechatronicaplatform 'nieuwe stijl' wil een platform zijn voor kennisuitwisseling voor geïnteresseerden. Het platform is tevens het centrale aanspreekpunt voor wat betreft mechatronica voor overheid, bedrijfsleven en anderen. Daarnaast worden technologische trends binnen het vakgebied gevolgd en wordt voorlichting gegeven.
In 1995 zijn onder meer de volgende activiteiten gepland: de Mechatronics Trophy, deelname aan de beurs Electronics/Mechatronics, een seminar, ledenbijeenkomsten en de uitgave van een nieuwe Infogids. Ook zal op Electronics/Mechatronics het eerste deel van het handboek Mechatronica gepresenteerd worden.

Matige groei technologiebranches

De vier Nederlandse technologie-branches, Industriële Elektronica, Industriële automatisering, Laboratorium technologie en Medische technologie boekten in 1994 samen voor 3,5% meer aan orders dan in het jaar daarvoor. De omzet van de circa 800 bedrijven die deze branches tellen, was in '94 2,5% groter dan het jaar daarvoor en kwam op bijna 8,1 miljard gulden.
De Federatie Het Instrument, overkoepelende bedrijfstakorganisatie van de genoemde branches, maakte deze jaarcijfers bekend op een persconferentie in de RAI te Amsterdam.
De gerealiseerde groei steekt weliswaar gunstig af tegen de cijfers van 1993, toen de orderontvangst met 1,4% en de omzet met 1,6% terugliepen, maar komt nog nauwelijks boven het niveau van de inflatie van 2,9% over 1994. Bovendien rapporteerde Het Instrument een differentiatie in groeicijfers tussen de verschillende branches. De Industriële elektronica deed het relatief het beste met voor 5,3% meer orders en 8,4% meer omzet. In de Industriële automatisering werd voor 4,0% meer aan orders geboekt en voor 1,3% meer omgezet. De branche voor Laboratorium technologie groeide nauwelijks: 3,7% meer orders en 0,5% meer omzet. In de Medische technologie branche is nog geen herstel zichtbaar; de orderontvangst liep verder terug, met 5,5%, evenals de omzet, met 4,8%.
De branche Industriële elektronica heeft over het jaar 1994 een groei in orders gerealiseerd van 5,3% ten opzichte van 1993. De omzet groeide in dezelfde periode met 8,4%. Ten opzichte van de cijfers over 1993 betekent dit een duidelijke verbetering. Toen liep de orderontvangst zelfs iets terug (-0,3%) en steeg de omzet nauwelijks (+0,7%).
Belangrijk voor de branche is, dat de terugkeer van de groei niet alleen het gevolg is van meer vraag naar, en hogere prijzen voor halfgeleiders. De groei blijkt veel meer in de breedte te worden gerealiseerd, ook bij passieve en elektromechanische componenten, behuizingen en (sub)systemen, met name voor tele/datacom en industriële toepassingen.
De totale omzet over 1994, gerealiseerd door de circa 195 bij de branche aangesloten Industriële elektronica bedrijven, bedroeg op basis van dit onderzoek bijna 2,5 miljard gulden.
Uit een trendonderzoek van Het Instrument blijkt een gematigd optimisme voor 1995: 85% van de bedrijven verwacht dat de groei van de orders aanhoudt of stabiliseert. Begin 1994 was niet meer dan 76% zo optimistisch.

Herstel MKB-metaal structureel

Uit de laatste conjunctuurenquête van de Metaalunie - de organisatie van ondernemers in het MKB in de metaal, waarbij 8.300 bedrijven zijn aangesloten - blijkt dat in bijna alle sectoren van

het midden- en kleinbedrijf (MKB) in de metaal in het vierde kwartaal van 1994 de orderposities en de bedrijfsresultaten per saldo zijn verbeterd. Het beste deden het de sectoren onderhoud en service, verspanende toelevering en elektronica, direct gevolgd door de constructiesector en de machinebouw. Veel minder goed ging het in de oppervlaktebewerking, al waren ook daar de resultaten per saldo nog positief. Meer dan 65% van alle bedrijven meldt nu winst te maken. In het vorige kwartaal was het percentage nog 58.

Meer personeel

Het aantal personeelsleden in het MKB-metaal is weer gestegen, behalve in de sectoren oppervlaktebewerking en landbouwmechanisatie. De grootste toename viel te constateren in de sectoren machinebouw, elektronica en constructie. Bij per saldo ruim 8% van alle bedrijven in het MKB-metaal is het aantal personeelsleden in het vierde kwartaal 1994 toegenomen. Daarmee levert het MKB-metaal een duidelijke bijdrage als motor van de werkgelegenheid. Ook de exportposities zijn opnieuw verbeterd: bij per saldo 21% van de exporterende bedrijven. Met de investeringen gaat het nog langzaam. Per saldo meldde bijna 2% van de bedrijven in 1994 meer geïnvesteerd te hebben dan in 1993. Langzaam gaat het ook met de verbetering van de tarieven en afzetprijzen. Die zijn in het vierde kwartaal 1994 per saldo slechts heel weinig gestegen. Van de bedrijven draait nu 27% quitte, terwijl 8% vooralsnog verlies lijdt.
Voor het eerste kwartaal 1995 wordt een verdere verbetering van de orderpositie verwacht.

'Wer liefert was?' als CD-ROM

'Wer liefert was?' is een internationaal naslagwerk met bedrijfsinformatie, specifiek gericht op de industriële en dienstverleningssector. 'Wer liefert was?' is in Duitsland, Oostenrijk en Zwitserland sinds jaar en dag het standaard naslagwerk. In Nederland is de uitgave sinds 1994 op de markt. In de nieuwe edities (1995/1996) hebben afnemers de keuze: een achtdelig boekwerk met gegevens van ruim 180.000 Europese bedrijven of één CD-BOOK met exact dezelfde informatie. De informatie is in beide uitgaven beschikbaar in zes talen.
CD-BOOK is een CD-ROM waarvan in 1994 reeds 10.000 exemplaren werden verkocht; verwacht wordt dat dit er in 1995 20.000 zullen worden. CD-BOOK draait onder Windows 3.1 of hoger en heeft minimaal 4 Mb geheugen nodig. De prijs bedraagt *f* 298,- excl. BTW. Demonstratiediskettes zijn verkrijgbaar.

Voor nadere informatie:
Bex/van der Schans Public Relations BV
Telefoon: 040 - 518 488
Fax: 040 - 518 572.

CE-Markering: Laagspanningsrichtlijn - Drukvaten

De Directie Voorlichting Economische Zaken maakt ons attent op het volgende:

Apparaten die voldoen aan de "Laagspanningsrichtlijn", respectievelijk aan de richtlijn "Drukvaten van eenvoudige vorm", moet de producent of handelaar voorzien van een CE-markering (Conformité Européene). Alle goederen die wel onder de richtlijn vallen, maar die niet zijn voorzien van de CE-markering, mogen in de toekomst niet meer in de handel worden gebracht en in gebruik worden genomen.
– *Laagspanningsrichtlijn*
De Laagspanningsrichtlijn geldt voor produkten voor een nominale wisselspanning tussen 50 en 1000 V (gelijkspanning resp. 75 en 15000 V). Enkele produkten vallen niet onder de richtlijn, zoals elektriciteitsmeters, contactdozen en -stoppen en liftinstallaties. Het is mogelijk dat een produkt onder een aantal Nieuwe Aanpak Richtlijnen valt. Eén van die richtlijnen is de Machinerichtlijn. Voorbeelden van machines die onder de Laagspanningsrichtlijn vallen zijn vleessnijmachines, verpakkingsmachines en kettingzagen. De Machinerichtlijn, die op 1 januari 1995 definitief van kracht is geworden, bepaalt dat machines met gevaren die hoofdzakelijk van elektrische oorsprong zijn, uitsluitend onder de Laagspanningsrichtlijn vallen. Veel huishoudelijke apparaten vallen derhalve niet onder de Machinerichtlijn en wel onder de Laagspanningsrichtlijn. Er bestaan ook richtlijnen voor onder meer niet-automatische weegwerktuigen, gastoestellen, speelgoed en elektromagnetische compatibiliteit.
– *Drukvaten*
Onder een 'drukvat van eenvoudige vorm' verstaat de richtlijn een gelast drukvat met een inwendige druk van 0,5 bar, bestemd voor het bevatten van lucht of stikstof. Het vat mag niet bestemd zijn om aan vlambelasting te worden onderworpen. In feite geldt de richtlijn voor alle drukvaten die voorkomen in compressie-eenheden. Dat is nieuw, want voorheen bestonden er geen voorschriften voor kleine toestellen (voor grote toestellen gold het regime van de Hinderwet. Het Stoomwezen moest hiervoor de keuring verrichten). Bovendien dienen de drukbelaste delen vervaardigd te zijn uit niet-gelegeerd kwaliteitsstaal dan wel uit niet-gelegeerd aluminium of geen dispensatieharding vertonende aluminiumlegeringen. De richtlijn geldt alleen voor drukvaten die bestaan uit een cilindrisch gedeelte met een cirkelvormige dwarsdoorsnede, afgesloten door gewelfde bodems met de holle zijde naar binnen en/of door platte bodems. Deze bodems hebben eenzelfde omwentelingsas als het cilindrisch gedeelte; ofwel twee gewelfde bodems met eenzelfde omwentelingsas. De richtlijn schrijft voor ieder drukvat voor, dat de maximum bedrijfsdruk 30 bar is. Bovendien dient het produkt van deze druk en de inhoud van het vat (PS.V) niet groter dan 10.000 bar te zijn en moet de bedrijfstemperatuur bij stalen drukvaten liggen tussen 150°C en 300°C. Bij drukvaten van aluminium of aluminiumlegeringen mag de maximum bedrijfstemperatuur niet hoger zijn dan 100°C.

Nadere informatie:
Wilt u meer weten over de Nieuwe Aanpak Richtlijnen en CE-markering? Neem dan contact op met de intermediairs bij u in de regio: het Euro Info Centrum, Het InnovatieCentrum, de Kamer van Koophandel of het Instituut voor het Midden- en Kleinbedrijf. Of maak gebruik van de videotextdienst van het Ministerie van Economische Zaken, inbelnummer 06-7400 en naam "EZ" van Videotex Net.

Lineaire motoren voor precisie bewegingen

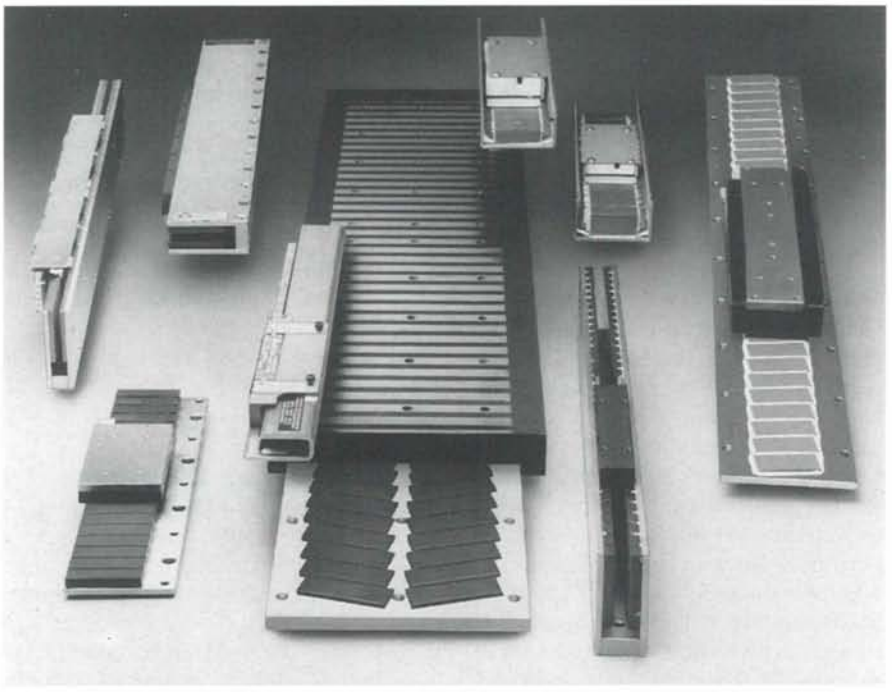
M.G.M. Lammers

Hoewel ooit voornamelijk gebruikt in lichtbelaste ultraprecisie-instrumenten, worden lineaire motoren (zie figuur 1) tegenwoordig steeds vaker gebruikt in positioneersystemen voor zeer verschillende toepassingen. Omdat de prijzen ervan dalen en omdat de krachtdichtheid toeneemt, worden deze motoren voor veel constructeurs een interessant alternatief ten opzichte van conventionele aandrijvingen.

Enkele toepassingen waarbij lineaire motoren momenteel met succes worden ingezet zijn:

- Het testen van silicium plakken met honderden IC's: Een elektronische sensor beweegt met hoge snelheid over de plak en gaat in enkele milliseconden van het ene testpunt naar het andere; de testpunten liggen slechts enkele micrometers uit elkaar.
- Het met hoge snelheid plaatsen van IC's of andere elektronische componenten op printplaten en substraten. Een door een lineaire motor aangedreven robot plaatst de componenten met een nauwkeurigheid van enkele micrometers.
- Het etsen van lijnen op glaslinialen, welke worden gebruikt voor het meten van posities in meet- en bewerkingsmachines. De lijnen moeten met submicron-precisie en met een verdeling van 10 µm of kleiner worden aangebracht.
- Het met hoge snelheid bewerken van metalen. Onder hoge snelheid wordt hier niet alleen een hoge bewegingssnelheid verstaan maar tevens een combinatie van grote aanzetten, hoge versnellingen en vertragingen en hoge spiltoerentallen. Het vervangen van conventionele kogelomloopspillen kan voor deze toepassing leiden tot 10 à 20 maal hogere versnellingen/vertragingen en 3 à 4 maal hogere snelheden [1].

Met "high force" lineaire motoren kunnen zeer hoge positielus- en snelheidslus-versterkingen worden bereikt waardoor de produktiviteit en de nauwkeurigheid van verspanende machines aanzienlijk hoger kunnen zijn. Daarnaast resulteren de hoge snelheden/versnellingen tot een langere levensduur van het bewerkingsgereedschap en leidt de volledig contactloos werkende motor tot een hogere betrouwbaarheid van de machine [2].



Figuur 1. Standaard borstel- en borstelloze lineaire motoren zijn beschikbaar in verschillende krachtcategorieën; typisch vanaf 65 N continukracht tot 4000 N. Speciale motoren zijn leverbaar met krachten tot 12.000 N.

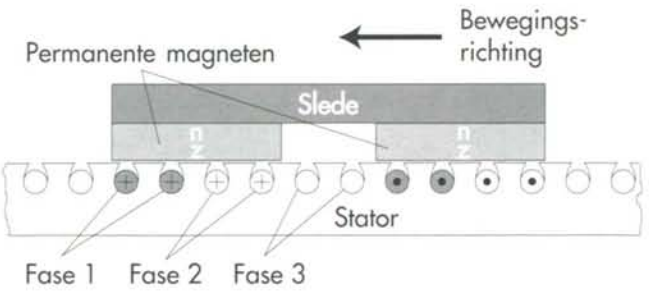
Motortype	Kernmateriaal		Gebied continukracht (N)		
		Commutatie	krachtklasse	laag	hoog
borstel	staal	-	gemiddeld	65	248
borstelloos	aluminium	trapezium	laag	-	28
borstelloos	aluminium	trapezium	gemiddeld	65	258
borstelloos	aluminium	sinus	gemiddeld	55	220
borstelloos	epoxy	sinus	gemiddeld	86	430
borstelloos	epoxy	sinus	hoog	105	645
borstelloos	staal	trapezium	gemiddeld	124	468
borstelloos	staal	sinus	hoogst	710	4260

Tabel 1. Een lineaire motor voor iedere toepassing.

Inleiding

Constructeurs hebben bij het ontwerpen van precisie lineaire positioneersystemen doorgaans twee opties.
Ze kunnen kiezen voor een rotatiemotor in combinatie met een kogelomloopspil, tandheugel, tandriem of andere mechanische overbrenging, die alle in meerdere of mindere mate hysterese en/of speling veroorzaken. Of ze kunnen kiezen voor een lineaire servomotor, die de last direct verplaatst zonder tussenkomst van een overbrenging.
Op basis van technische criteria is de keuze in veel gevallen snel gemaakt. De lineaire motor wint op het gebied van (dynamische) positioneernauwkeu-

righeid, geometrische nauwkeurigheid (rechtheid en vlakheid van de beweging), snelheid, betrouwbaarheid, levensduur, onderhoud, herhalingsnauwkeurigheid en snelheidseenparigheid.
Hoewel het principe van een lineaire motor identiek is aan dat van een rotatiemotor hebben lineaire motoren enkele opvallende en unieke eigenschappen. Een lineaire servomotor komt het best tot zijn recht in toepassingen waar een combinatie wordt gevraagd van een grote slaglengte, een uitstekend dynamisch gedrag, hoge snelheden en versnellingen, hoge nauwkeurigheden en korte respons- en uittriltijden.



Figuur 2. Motor met bewegende magneten en stationaire spoelen. Het magnetische veld dat in de spoelen wordt gegenereerd zorgt in wisselwerking met het magneetveld van de magneten voor een aandrijvende kracht van de slede. Deze versie van een borstelloze lineaire motor heeft een stator waarbij in groeven een driefasen winding gewikkeld is. De interactie tussen de beide velden van spoelen en magneten laat de slede bewegen. Op het moment dat de slede een afstand, overeenkomend met twee groeven heeft afgelegd, wordt fase 3 bekrachtigd en fase 1 uitgeschakeld, zodat een continue beweging in dezelfde richting wordt gerealiseerd. Door het omkeren van de richting van de stroom zal tevens de bewegingsrichting omkeren.

Werkingsprincipe van lineaire motoren

Lineaire servomotoren functioneren op dezelfde wijze als rotatie-servomotoren. Beide motoren bestaan uit twee hoofdcomponenten: een kern met spoelen en een magneetgedeelte. Als er een stroom wordt gestuurd door de spoelen ontstaat een magnetisch veld rond de windingen, wat in wisselwerking met het veld van de magneten resulteert in een kracht (Lorentzkracht). De kracht is evenredig met de hoeveelheid stroom door de windingen en de richting van de kracht is afhankelijk van de richting van de stroom [3].

Er zijn lineaire motoren met ijzerkernen en ijzerloze kernen (bijvoorbeeld aluminium of epoxy). De eerste hebben een hogere fluxdichtheid en daarmee een hoger rendement maar zijn zwaarder. De laatste zijn geschikt voor extreem hoge snelheidseenparigheid, zowel bij zeer langzame (enkele µm's per seconde) als zeer hoge snelheden, omdat het zogenaamde "cogging" ontbreekt. Cogging is een krachtsvariatie die veroorzaakt wordt door variaties in de magnetische flux tengevolge van de spoelwikkelingsgroeven in de ijzeren kern. Deze treedt zowel op bij rotatiemotoren als bij lineaire motoren. Voor ijzerkern motoren bedraagt de coggingkracht typisch 4 tot 5 % van de continukracht.

Bij de motoren met ijzerkernen worden de twee motorcomponenten naar elkaar toe getrokken met een kracht van circa 8 tot 12 maal de continukracht. Deze kracht wordt meestal gebruikt om de constructie (lagers/luchtlagers) voor te spannen. De aantrekkingskracht is constant en varieert dus niet met de toegevoerde stroom. Bij ijzerloze kernen is de aantrekkingskracht 0 en er is dus geen cogging.

Het inbouwen van de motoren is over het algemeen eenvoudig. Het stationaire deel wordt met schroeven vastgezet op de geleiding, het beweeglijke deel wordt gemonteerd aan de slede. Er worden alleen eisen gesteld met betrekking tot de parallelliteit van de beweging van de slede ten opzichte van het montagevlak van de motor. De luchtspleet is typisch 0,6 mm µ 0,3 mm, maar kan groter of kleiner gekozen worden. De motor parameters zullen daarmee echter ook enigszins wijzigen.

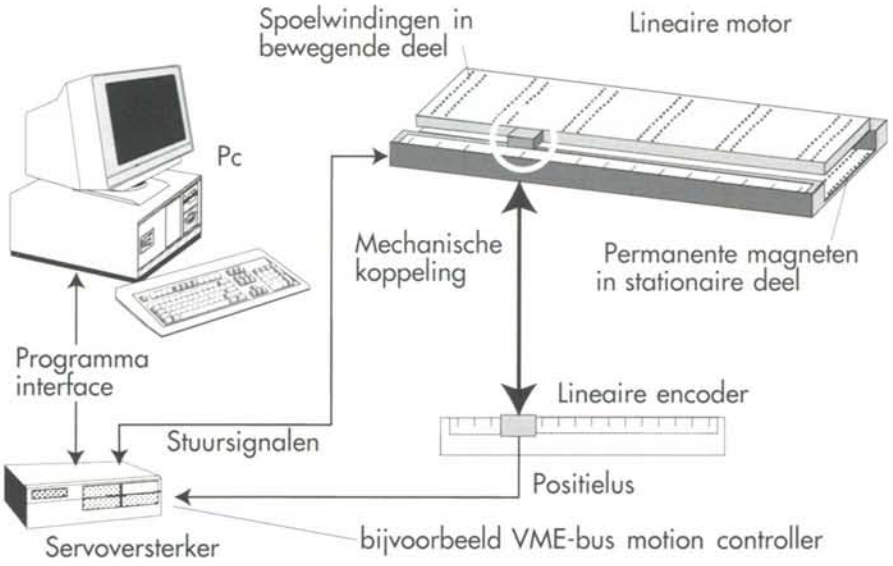
Communicatie

Er zijn DC-borstelmotoren en DC-borstelloze motoren. Bij een borstelmotor bevinden zich de wikkelingen in het stationaire deel en de magneten aan de slede, zie figuur 2. De commutatie (het tijdig bekrachtigen van de juiste windingen) gebeurt mechanisch met koolborstels. De typische levensduur van de borstels en de commutatie-strip is 2500 km. Als magneetmateriaal wordt samarium kobalt en neodymium ijzer borium gebruikt. De motor is een eenfase gelijkstroommotor.
Bij een borstelloze motor vormen de magneten (magnet assembly) het stationaire deel en is de spoeleenheid (coil assembly) aan de slede verbonden. De borstelloze motoren hebben drie fasen, 120 elektrische graden verschoven. Bij een borstelloze motor is er dus geen mechanisch contact tussen het stationaire en het bewegende deel en er is dus ook geen wrijving.
Gecombineerd met een contactloos meetsysteem en eventueel een contactloze lagering (luchtlagers) ontstaat een volledig wrijvingsloos systeem, wat uitermate geschikt is voor zeer hoge, eventueel submicrometer-nauwkeurigheden. Door het ontbreken van wrijving vindt er ook geen slijtage plaats, met als grote voordeel dat de gespecificeerde nauwkeurigheid niet alleen gehaald wordt maar gedurende de levensduur ook gewaarborgd blijft.

Verscheidene spoeleenheden kunnen willekeurig in serie of parallel geschakeld worden om grotere aandrijfkrachten te verkrijgen. De keuze om in serie dan wel parallel te schakelen wordt voornamelijk bepaald door de keuze van de versterker (aanpassing motorweerstand, inductiviteit, motorconstante, tegen-EMF constante). Bij borstelloze motoren gebeurt de commutatie elektronisch in de versterker. Het moment van schakelen wordt typisch bepaald met behulp van Hall sensoren, die zich aan de spoeleenheid bevinden (Hall sensoren leveren een uitgangssignaal wat afhangt van de magnetische fluxdichtheid).

We onderscheiden twee commutatieprincipes bij borstelloze motoren:
- trapeziumvormige commutatie en
- sinusvormige commutatie.

Bij trapeziumvormige commutatie levert de motor een trapeziumvormige te-



Figuur 3. Een compleet servorsysteem bestaat typisch uit een PC, een elektronische besturing en servoversterker voor het besturen van de lineaire motor, en uit de positioneertafel.

gen-EMK bij constante snelheid; de Hall- sensoren fungeren alleen als schakelaar. Op het moment dat het magneetveld een bepaalde waarde overschrijdt wordt geschakeld. De stroom wordt geschakeld tussen de fasen in een zestrapscyclus. Bij een driefase motor is er steeds een fase stroomloos. Trapeziumvormige commutatie gaat altijd gepaard met wat krachtsvariaties van 5 – 10 %.

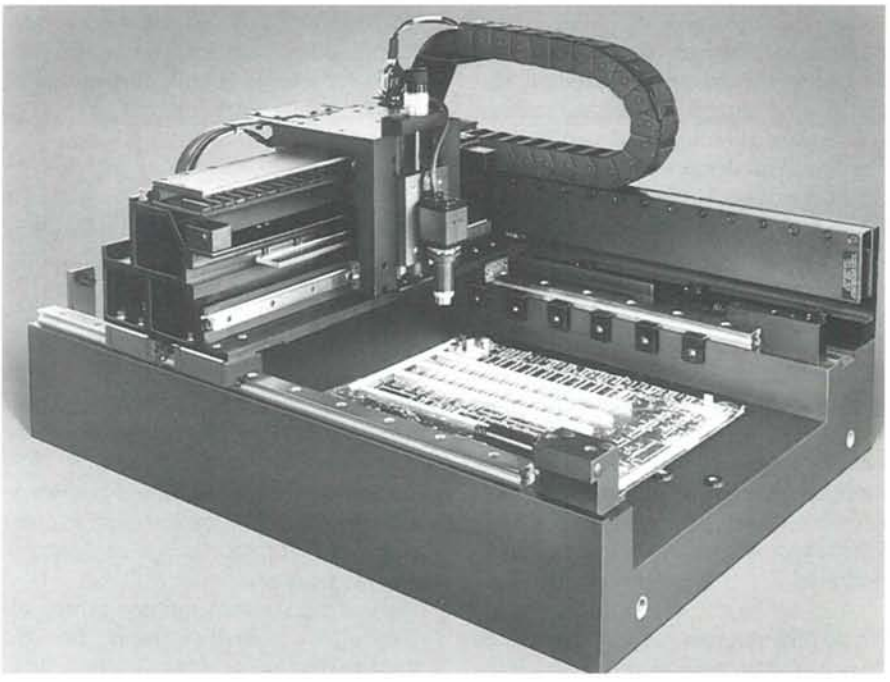
Bij sinusvormige commutatie levert de motor een sinusvormige tegen-EMK bij constante snelheid: de output van de Hall-sensoren varieert sinusvormig met het magneetveld en de drie fasen worden ook voorzien van een sinusvormige stroom. Bij sinusvormige commutatie is de resulterende kracht theoretisch exact constant. De Hall-sensoren en magneten moeten zich dan echter wel nauwkeurig op de juiste locatie bevinden. Sinusvormige commutatie wordt gebruikt als erg "gladde" en trillingsarme bewegingen gemaakt moeten worden, bijvoorbeeld voor nauwkeurig scannen. Sinusvormige commutatie is wat minder efficiënt dan trapeziumvormige – tot circa 25 % minder continue kracht –. De sinusvormig gecommuteerde borstelloze motor wordt ook wel AC synchrone servomotor genoemd.

Bij de huidige digitale DSP-(Digital Signal Processor) besturingen wordt momenteel vaak softwarecommutatie toegepast. De commutatieschakelsignalen worden hierbij direct afgeleid van het positiemeetsysteem, veelal een glasliniaal, zodat de Hall-sensoren kunnen vervallen. Tijdens een opstartprocedure zorgt de software voor het "uitlijnen" van het magneetveld ten opzichte van de glasliniaal. Met behulp van een zogenaamde Look Up Table is het zelfs mogelijk de toegevoerde sinusvormige stromen enigzins aan te passen. Dit kan nodig zijn afhankelijk van eventuele onvolkomenheden in de sinusvorm van de tegen-EMK van de motor, bijvoorbeeld door montagetoleranties van de magneten.

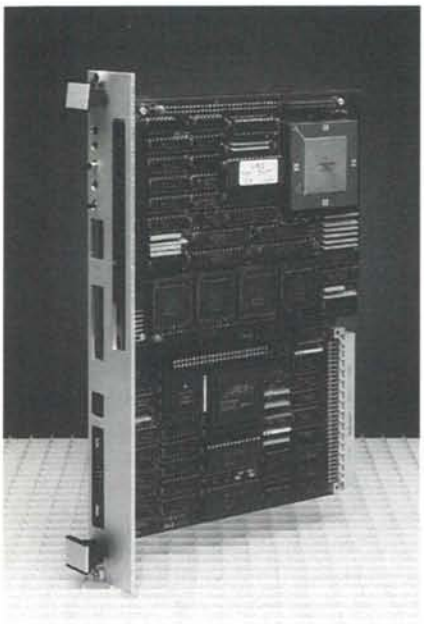
Nauwkeurigheid

Figuur 3 toont een typisch servosysteem voor de aandrijving van een positioneertafel met een lineaire motor. Op een aantal functies hiervan zal in dit en volgende hoofdstukken nader worden ingegaan.

De resolutie en de nauwkeurigheid van een door een lineaire motor aangedreven slede wordt niet bepaald door de motor zelf, maar is afhankelijk van het gebruikte positiemeetsysteem, de kwaliteit van de mechanische geleiding en de besturing. Met behulp van een precisie opto-elektronische lineaire encoder (glasliniaal) is bijvoorbeeld een nauwkeurigheid haalbaar van 2 á 3 µm per meter. Voor hogere nauwkeurigheden over korte afstanden -tot circa 250 mm- komen optische interferentielinialen in aanmerking. Voor submicron nauwkeurigheden over grotere afstanden wordt overwegend gebruik gemaakt van positieterugkoppeling van een laserinterferrometer in combinatie met een



Een zogenaamd "gantry" (bewegende brug) x-y-positioneersysteem met borstelloze lineaire motoren voor x- en y-as.Lineaire motoren voor precisie bewegingen



Standaardisatie is het kenmerk van de toekomst. Voor besturingen vormt dit geen uitzondering. Dit 4-assige model is VME-bus formaat en is voorzien van een bibliotheek met high level ANSI C bewegingssubroutines.

luchtgelagerde slede. De maximaal haalbare absolute positioneernauwkeurigheid wordt in dit geval beperkt door de meetnauwkeurigheid van het lasersysteem en ligt in de ordegrootte van 0,1 µm/150 mm. Positiemeting met behulp van een laser heeft het voordeel dat de verplaatsingen direct op werkstukhoogte gemeten kunnen worden, waardoor gecompenseerd kan worden voor eventuele kantelfouten van de, veroorzaakt door onvolkomenheden in de sledegeleidingen (Abbe fouten).

Niet alleen de nauwkeurigheid in de bewegingsrichting is belangrijk, maar ook de nauwkeurigheden loodrecht op de bewegingsrichtingen. Daarom wordt tijdens het ontwerp van een precisie-positioneersysteem veel aandacht besteed aan het minimaliseren van afwijkingen in de rechtheid en vlakheid van de beweging. Met name bij meer-assen systemen (xy, xyz) is het belangrijk dat de sledebewegingen een goede rechtheid en vlakheid hebben. Enerzijds om sledekantelingen te beperken, anderzijds vanwege het feit dat een rechtheids- of vlakheidsafwijking in de ene as (x) tot uitdrukking komt als positioneerfout in de andere assen (y respectievelijk z), zie figuur 4.

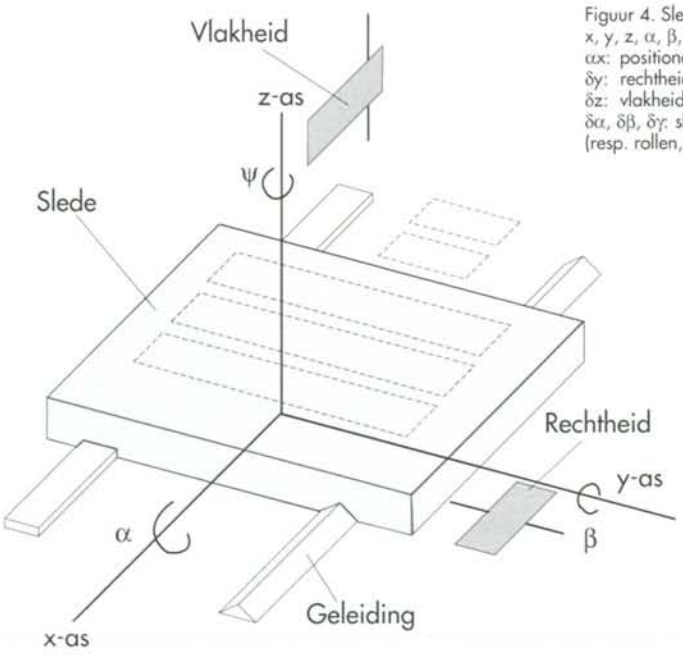
Betrouwbaarheid

Naast een uitzonderlijk hoge nauwkeurigheid, herhalingsnauwkeurigheid en resolutie hebben lineaire motoren ook een hoge betrouwbaarheid. Borstelloze lineaire servomotoren maken geen gebruik van mechanische (via koolborstels) commutatie, zodat er geen mechanisch contact is tussen het stationaire en het bewegende motoronderdeel. Er is dus geen wrijvind en ze zijn spelingsvrij, hetgeen trillingen en slijtage elimineert. De motoren zijn danook volledig onderhoudsvrij en hebben in principe een onbeperkte levensduur, waardoor de afschrijvingskosten minimaal zijn. Zolang men ervoor zorgt dat de omgevingstemperatuur en de temperatuur van de motorspoelen niet te hoog oplopen – dit laatste door een juiste afstemming van motor en last – zullen de machineprestaties gedurende de levensduur constant blijven. Ter vergelijking: met een kogelomloopspil aangedreven systemen vragen periodiek smering en afstelling van de voorspanning in lagers en spilmoer en zullen ondanks regelmatig onderhoud veel sneller slijten dan systemen met lineaire motor.

Alle lineaire motortypes hebben alleen een variërende kracht in de bewegingsrichting (x). De kracht in verticale richting (z) loodrecht op de bewegingsrichting is hetzij een constante, aantrekkende magneetkracht, hetzij volledig afwezig. Dit laatste is het geval bij zogenaamde gebalanceerde borstelloze motoren met twee rijen, elkaar compenserende, magneten. De kracht in horizontale richting loodrecht op de bewegingsrichting (y) is nul. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld een kogelomloopspilaandrijving, die ook loodrecht op de aandrijfrichting vrij sterk variërende krachten op bijvoorbeeld de slede uitoefent. Deze variërende krachten, in combinatie met de eindige stijfheid van bijvoorbeeld lagering en slede, leiden tijdens de beweging tot hoekverdraaiingen van de slede en tot verplaatsingen in richtingen waarin ze niet gewenst zijn. De constante of afwezige dwarskrachten bij een lineaire motor maken het dus mogelijk bijzonder hoge bewegingsnauwkeurigheden te bereiken.

Dynamisch gedrag

Stijfheid, stabiliteit en bandbreedte zijn in hoge mate bepalend voor het dynamisch gedrag van servosystemen. De bandbreedte is gedefinieerd als de frequentieband waarin de responsieamplitude niet meer afneemt dan 3 dB. De maximum haalbare bandbreedte wordt beperkt door de laagste mechanische eigenfrequentie van het systeem, welke



Figuur 4. Slede met 6 vrijheidsgraden: x, y, z, α, β, γ en afwijkingen:
αx: positioneernauwkeurigheid,
δy: rechtheidsnauwkeurigheid,
δz: vlakheidsnauwkeurigheid,
δα, δβ, δγ: slede-hoekverdraaiingen (resp. rollen, stampen en gieren).

afhankelijk is van de bewegende massa en de stijfheid van de aandrijving. Zonder een voldoende hoge stijfheid zal een servosysteem traag reageren; het systeem zal een lange uittriltijd ("settling time") hebben evenals een lage nauwkeurigheid en bandbreedte.

Bij een lineaire motor is er geen mechanische stijfheid tussen de beide motoronderdelen (magneetdeel en spoelendeel). Deze beide delen kunnen echter wel met zeer hoge stijfheid verbonden worden met respectievelijk de geleiding en de slede.
Ter vergelijking: bij een spilaandrijving is de haalbare stijfheid beperkt door de serieschakeling van een groot aantal elastische onderdelen, de moer, de moerbevestiging, de lagering, de lagerblokken, de lagerblokkenbevestiging, de spil, de koppeling en de motoras. De resulterende mechanische stijfheid van deze serieschakeling zal in veel gevallen belangrijk lager zijn dan die van een lineaire motor in bedrijf. Bovendien varieert deze stijfheid met de positie van de slede – dicht bij een lagerblok hoger dan bij een ver verwijderde positie van een lagerblok – waardoor een optimale servoafregeling niet goed mogelijk is, omdat de frequentieoverdrachtsfunctie varieert met de positie. Bovendien zal de resulterende stijfheid verder afnemen bij toenemende spillengte.
Bij een lineaire motor is de stijfheid (en de frequentieoverdracht) echter constant en onafhankelijk van de sledepositie. Zelfs bij een slaglengte van enkele tientallen meters zal het dynamisch gedrag dus ongewijzigd blijven en niet verslechteren.

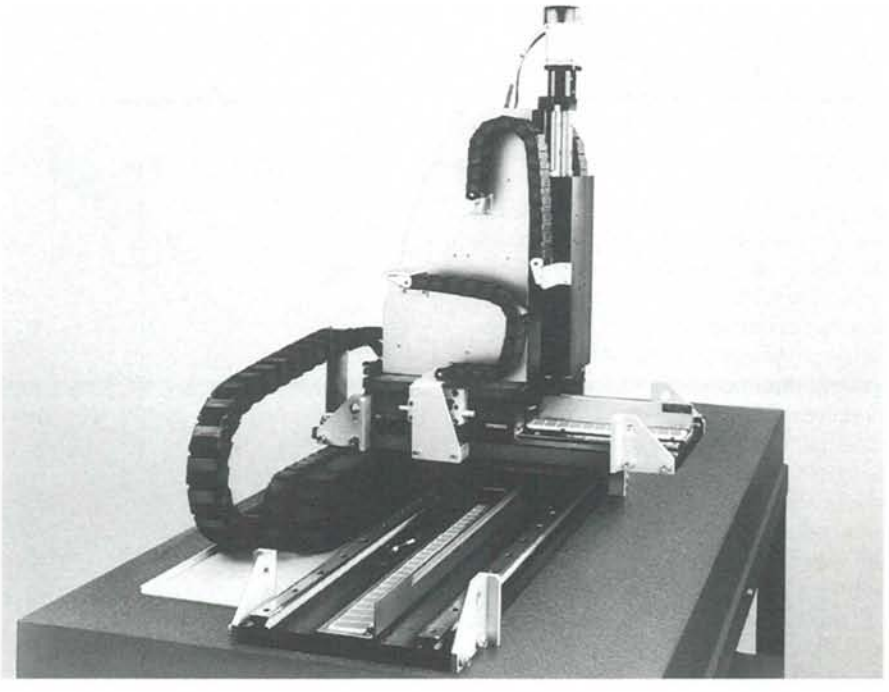
Besturingsaspecten

Door de hoge stijfheid bij een aandrijving met lineaire motor kan de versterking in de servobesturing hoog worden opgevoerd zonder dat instabiliteiten optreden. Naarmate de versterking hoger is zullen de positioneernauwkeurigheid en de responsiesnelheid van het servosysteem toenemen.

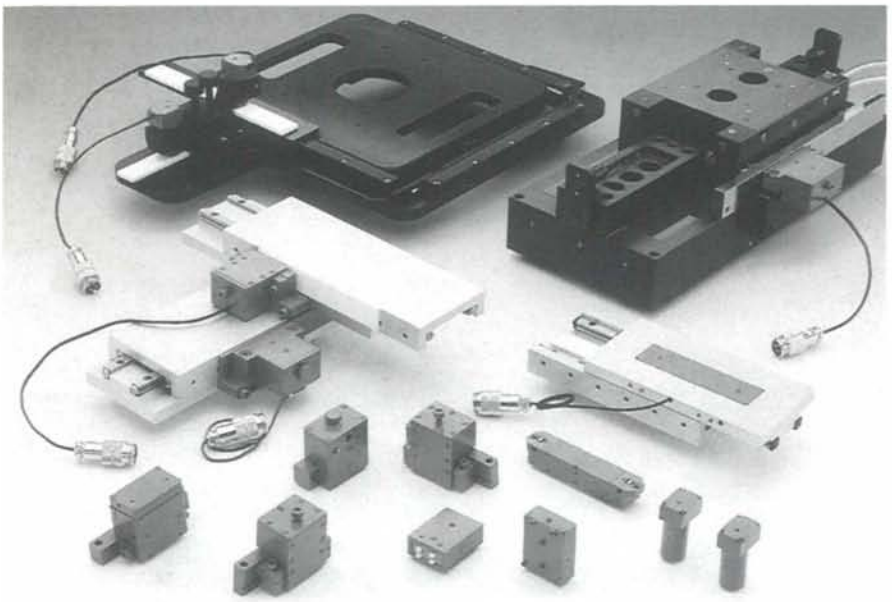
Bij sterk wisselende massabelastingen is het moeilijk een systeem met lineaire motor optimaal af te regelen omdat de massa, in tegenstelling tot bijvoorbeeld een aandrijving met spil, niet gereduceerd wordt door een overbrenging. Het servosysteem zal dus beter presteren indien bij een hoge sledebelasting (bijvoorbeeld 200 kg) andere regelparameters worden gebruikt dan bij een lage sledebelasting (bijvoorbeeld 5 kg). Met de tegenwoordig digitaal uitgevoerde servobesturingen is dit wisselen van servoparameters echter eenvoudig in software, en automatisch uit te voeren.

Besturing

Eén van de functies van de besturing is het sluiten van de positielus, waarvoor de Anorad-servobesturingen vaak direct werken met de sinus/cosinus-uitgangssignalen van het positiemeetsysteem. In de besturing vindt daarna een digitale interpolatie van de meetsysteem-resolutie plaats met een factor 256 of zelfs een factor 1024. Deze hoge interpolatie resulteert enerzijds in een hoge resolutie en daarmee hoge herhalingsnauwkeurigheid. Anderzijds is een hoge resolutie bij een lineaire motor noodzakelijk om ook bij erg lage snelheden voldoende regelinformatie binnen te krijgen om een hoge snel-heidseenparigheid te realiseren – bijvoorbeeld bij nauwkeurig scannen met snelheden van enkele µm's per seconde –.
Om bij deze hoge resolutie ook hoge snelheden (enkele meters per seconde) mogelijk te maken dient de besturing een hoge encoder-ingangsfrequentie te hebben (tot 16 MHz). De nieuwste digitale besturingen werken met een servo update time van 50 µs (20 KHz).
Het gebruikte regelalgoritme is van het PID-type (proportionele, integrerende en differentiërende actie) met snelheids- en versnellingsvoorwaartskoppeling. Met toenemende proportionele actie ("gain") is het mogelijk de nauwkeurigheid en de bandbreedte van het systeem te vergroten (= verhoging van stijfheid). Een te hoge gain echter resulteert in overshoot en lange uittriltijden. De integrerende actie zorgt voor extra versterking bij lage frequenties en zorgt ervoor dat de statische restfout tot nul wordt gereduceerd. Een integrator zorgt echter tevens voor fase-achterstand, hetgeen het systeem instabiel kan maken. Voor hoge frequenties gedraagt de PI-regelaar zich als een P-regelaar.
Met de differentiërende actie neemt de versterking en de demping bij hoge frequenties toe, zodat een vergroting van de bandbreedte mogelijk is. Overshoot en uittriltijd nemen af. Een differentiator zorgt tevens voor een fasevoorsprong, hetgeen positief kan zijn voor de stabiliteit van het systeem. Voor la-



Voorbeeld van een drie-assig positioneersysteem, waarbij de x- en y-as zijn uitgevoerd met lineaire motoren.



Figuur 5. Microline ultraprecisie piëzokeramische lineaire motoren.

gere frequenties gedraagt de PD regelaar zich als een P regelaar.

Sommige besturingen zijn geen werkelijke PID-regelaar maar hebben een zogenaamd "lead-lag" filter. Lead-compensatie is de praktische uitvoering van de PD-regelaar, terwijl lag compensatie een benadering is van een PI-regelaar.

Om de dynamische nauwkeurigheid verder te vergroten zijn extra mogelijkheden ingebouwd zoals voorwaartskoppeling (velocity en acceleration feedforward) en selectieve filters.
Voorwaartskoppeling wordt toegepast om volgfouten te verkleinen. Tijdens de opzetfunctie zal het servosysteem altijd iets achterblijven bij het gewenste profiel. Er moet een voldoende grote volgfout zijn om een regelactie te kunnen opbouwen. De volgfout is te verkleinen door de gain te verhogen of door gebruik te maken van een integrator. Beide methoden kunnen echter tot instabiliteit leiden. Een andere methode is om met behulp van snelheids- en/of versnellingsvoorwaartskoppeling een signaal gelijk aan de benodigde volgfout te genereren en naar de DA-convertor te sturen zodanig dat de uitgang gelijk wordt aan de ingang. Het grote voordeel is dat voorwaartskoppeling geen deel uitmaakt van de gesloten lus, waardoor het geen invloed heeft op de stabiliteit.

Selectieve filters worden gebruikt om bandbreedte beperkende dominante mechanische eigenfrequenties te compenseren. Deze eigenfrequenties behoeven niet noodzakelijkerwijs bij het positioneersysteem zelf te behoren, maar kunnen ook van de omgeving komen. Deze zogenaamde parasitaire massa-veer systemen (bijvoorbeeld slappe en lichte freems met weinig demping) kunnen een funeste uitwerking hebben op het systeemgedrag, met name wanneer de eigenfrequentie van het parasitaire systeem in de buurt ligt van de gewenste bandbreedte van het servosysteem.

Slotwoord

Lineaire motoren worden steeds frequenter voor een veelvoud van toepassingen als aandrijvend element toegepast. Als voornaamste drijfveer geldt de noodzaak voor snellere, produktievere machines bij een hogere kwaliteit. De recente grote belangstelling uit de hoek van de verspanende bewerkingsmachines is hiervan een goed voorbeeld. Uiteraard zal toepassing op grote schaal tevens bepaald worden door de prijs van lineaire motoren in vergelijking tot conventionele aandrijvingen.
Voor een eerlijke prijsvergelijking tussen bijvoorbeeld een kogelomloopspilaandrijving en een lineaire motor, moeten alle componenten worden meegerekend. Dus naast de spil moeten ook de rotatiemotor, de koppeling, de lagers en de lagerblokken worden meegeteld. Voor een realistische prijsvergelijking ("cost of ownership") zouden echter tevens de ontwerp-, montage-, onderhouds- en vervangingskosten, betrouwbaarheid en levensduur moeten worden meegenomen. Juist op deze kostenposten biedt de (borstelloze) lineaire motor belangrijke voordelen. Bovendien zal de tendens van dalende prijzen voor lineaire motoren zich in de toekomst voortzetten doordat de aantallen sterk toenemen.

Noten

[1] Bron: Ingersoll Cutting Tool Comp. U.S.A.
[2] De Japanse firma FANUC, 's werelds grootste producent van CNC-besturingen, heeft zeer recentelijk een licentie-overeenkomst gesloten voor het bouwen van Anorad's lineaire motoren en heeft de exclusieve verkooprechten verworven voor de Aziatische markt. Het ontwikkelen van "high speed bewerkingscentra" is hierbij de achterliggende doelstelling.
[3] Een recente nieuwe ontwikkeling op het gebied van lineaire motoren is Anorad's "Microline" serie van piëzokeramische lineaire motoren (zie figuur 5) die hun werking ontlenen aan hoog frequente, sub-micron, elastische trillingen (50-100 kHz) van piëzokeramische elementen. Deze oscillerende elementen worden in contact gebracht met een keramische strip, die tegen de slede is bevestigd, waardoor de slede symmetrisch heen en weer kan worden "geduwd". Deze lineaire motor heeft dezelfde voordelen als normale piëzoelementen (ultrahoge resoluties tot in het nanometer gebied, gladde bewegingen, hoge herhalingsnauwkeurigheid) maar niet het nadeel van de zeer korte slag. De maximale slag van deze nieuwe piëzokeramische motor is in principe onbeperkt. Er zijn snelheden haalbaar van enkele nanometers/s tot 250 mm/s en aandrijfkrachten tot 30 N. De motor heeft zeer compacte afmetingen, kan geschikt voor de cleanroom of vacuüm worden gemaakt, is geruisloos en kan in open- of geslotenlus bedreven worden. Typische toepassingen: Halfgeleiderindustrie, LCD produktie en inspectie, precisie-bewerkingen, microscopie, plotters, scanners, R& D etc.

Auteursnoot

De heer M.G.M. Lammers is directeur van Anorad Europe bv te Valkenswaard. Dit artikel is een bewerking door de auteur van zijn artikel in Machine Design van September 1994.

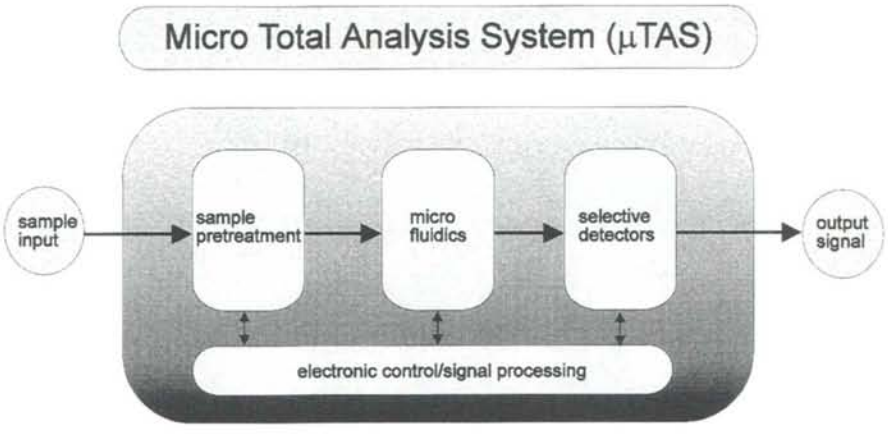
Chemische laboratoria van zakformaat met behulp van micromechanica

Micro Totaal Analysesystemen (μTAS)

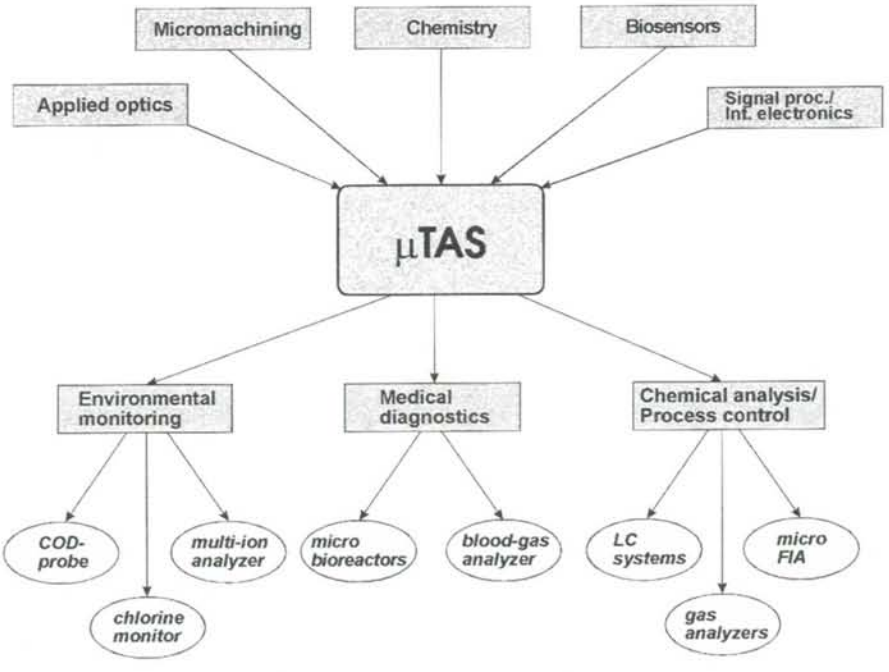
Albert van den Berg en Theo Lammerink

Revolutionaire ontwikkelingen op het gebied van de (silicium) micromechanica en chemische microsensoren maken het mogelijk analysers op zakformaat te realiseren. De te ontwikkelen apparatuur wordt kleiner, terwijl de prestaties gelijk blijven of zelfs verbeteren. Er komt een heel scala van nieuwe toepassingen in zicht, variërend van draagbare gaschromatografen tot milieumonitoren op creditcard-formaat.

Al gedurende meer dan twintig jaar vindt aan de Universiteit Twente onderzoek plaats naar chemische microsensoren. Deze sensoren, gefabriceerd met behulp van siliciumtechnologie, bestaan meestal uit een gevoelige transducer gecombineerd met een chemisch selectieve laag, en bieden in een beperkt aantal gevallen een goede oplossing voor een meetprobleem.
Zo is er bij MESA een groot aantal chemische (CHEMFETs) [1] en biochemische [2] sensoren ontwikkeld op basis van de ISFET. Vaak echter moet de sensor regelmatig gekalibreerd worden, of is het meetprobleem te gecompliceerd voor een simpele sensor. In dergelijke gevallen zou men gebruik willen maken van een miniatuur analysesysteem, dat op microschaal een conventioneel systeem vervangt. Omdat in zo'n microsysteem alle aspecten van de bepaling, van monstername tot signaalverwerking, in één instrument verenigd worden, wordt het ook wel een Micro Totaal Analysesysteem (μTAS) genoemd, zie figuur 1. Naast een kleinere afmeting biedt μTAS ook voordelen, zoals een klein verbruik van monster en chemicaliën en gering elektrisch vermogen (draagbare apparaten). Verder blijkt dat in een aantal gevallen door miniaturisatie ook een betere of snellere meting mogelijk wordt. Dit voordeel komt met name naar voren in de chromatografie, waar snelheid en monstervolume kritieke parameters zijn.



Figuur 1. Schematisch diagram van in μTAS verenigde functies.



Figuur 2. Samenwerkende disciplines en toepassingsgebieden van μTAS.

μTAS is een typisch geval van een multidisciplinair onderwerp, zie figuur 2. Zo zijn er bij de realisatie ervan verschillende vakgebieden zoals analytische chemie, organische chemie, optica, elektronica en micromechanica betrokken. De analytische chemie bepaalt de te volgen meetmethodiek; organische chemie, optica en elektronica dragen bij tot het ontwikkelen van detectoren, en de micromechanica regelt de micromanipulatie van de vloeistoffen of gassen. Ook het toepassingsgebied is zeer divers. De milieumonitoring, (bio)medische instrumentatie, ruimtevaart en procesindustrie zijn hier een aantal voorbeelden van.
Voor het realiseren van μTAS is binnen MESA het zogenaamde Micro Fluidic System (MFS) concept ontwikkeld. Dit

OPTICON

EEN EIGEN OPTISCHE WERKPLAATS?

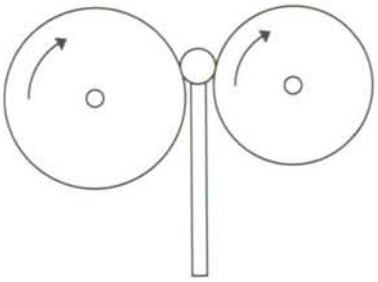
OPTICON is gespecialiseerd in de ontwikkeling en produktie van optische systemen en componenten, en kan u van dienst zijn bij de ontwikkeling van prototypes.
Door jarenlange ervaring is een potentieel aan praktische kennis ontstaan die OPTICON ter beschikking stelt, zodat u in feite over een eigen optische werkplaats kan beschikken.

Neem contact op voor meer informatie.

OPTICON
Hoendiep 244
9745 EG Groningen
Tel.: 050-567072 ● Fax: 050-566430

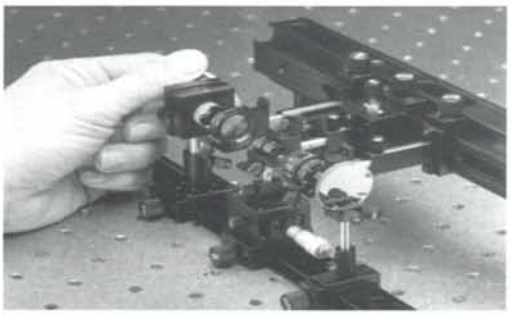
FIRMA CENTERLESS

Middenweg 145F - 1394 AH Nederhorst den Berg -
Telefoon 02945 - 4269 - Fax 02945 - 1751



- Numeriek draaien.
  (500 tussen de centers X ∅ 400)
  tot ∅ 65 mm vanaf staf.
- Centerloos slijpen - doorvoeren tot ∅ 100.
- Läppen-insteken en profileren
  tot ∅ 80 mm.
- Numeriek langdraaien
  t/m ∅ 20 mm.
- Numeriek frezen met palletwisselaar
  op bewerkingscentra.

IT IS A SMALL WORLD:
TAKE A CLOSER LOOK AT
MICROLAB OPTICS AND HARDWARE



Melles Griot, your supplier of
- Optical Research Equipment
- Lasers
- Components

Call one of our Application Engineers for assistance in specifying Optics for your requirement
call: 08360 - 33041

Melles Griot B.V.
P.O. Box 272
6900 AG ZEVENAAR
The Netherlands

HARTMAN SLIJPTECHNIEK BV

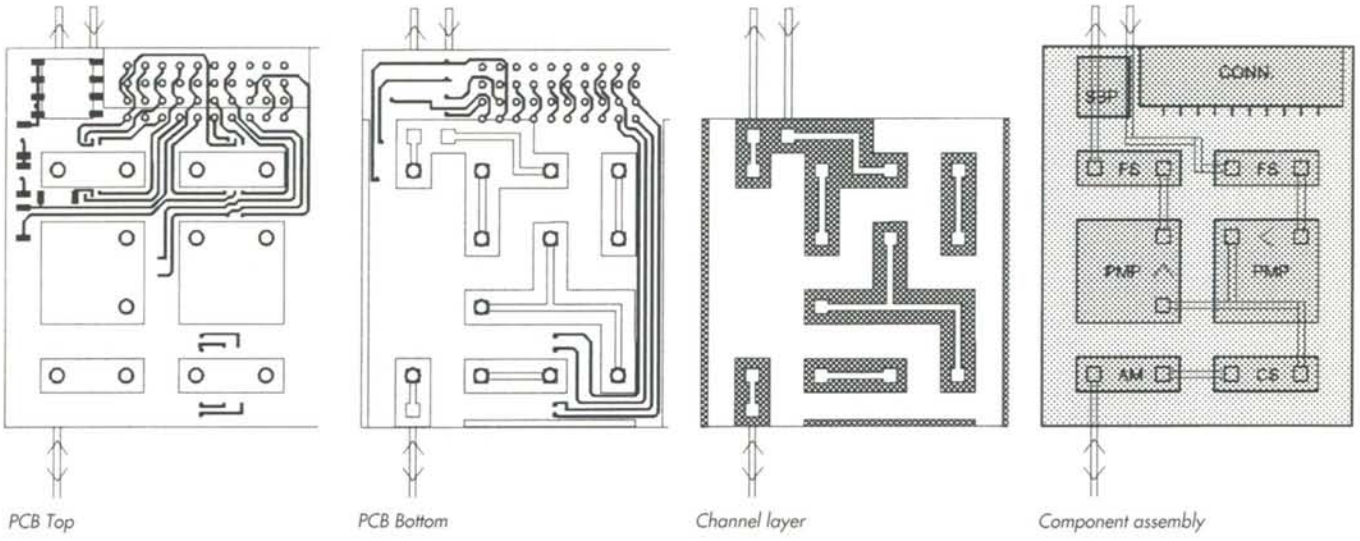
Hartman Slijptechniek bv maakt deel uit van de Hartman toeleveringsbedrijven-groep.

Als slijperij van hoogwaardig precisiewerk zijn wij gespecialiseerd in:
– rondslijpen (zowel binnen als buiten),
– schroefdraadslijpen.

Wij slijpen voor gereedschapmakerijen, matrijzenbouwers (draadkernen, collapsible cores, etc.) en verder ook voor de hydraulische, xerografische en meet- en regelindustrie.

Onze kracht is gelegen in fabricage van kleinserie- tot enkelstuks-werk, uitzonderingen hierop komen echter ook regelmatig voor.

H.S.T. BV
Kwinkweerd 100[a], 7241 CW Lochem.
Tel.: 05730-57838, Fax: 05730-57544

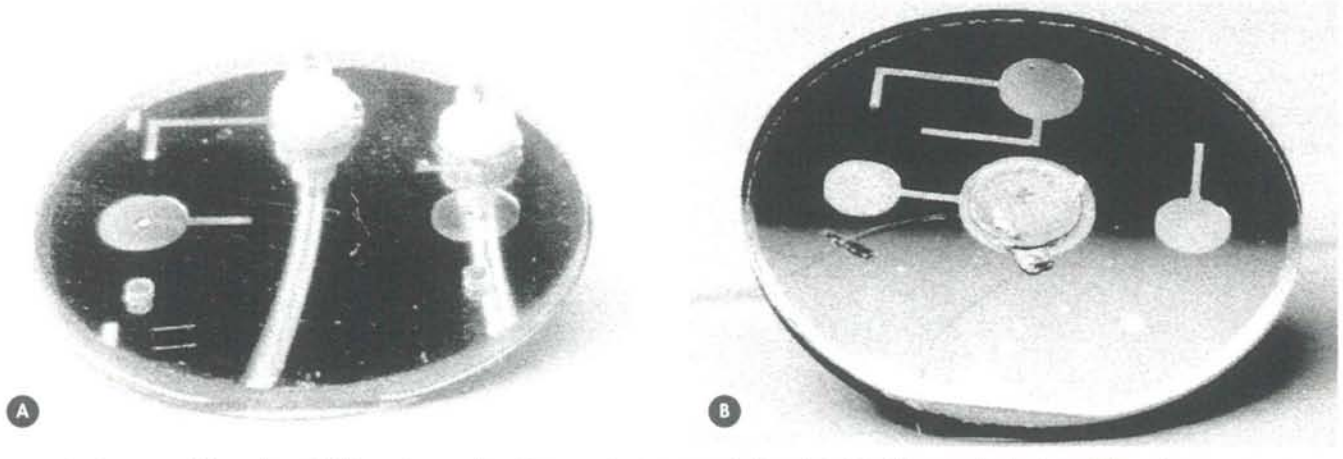


Figuur 3. Schema van de bodemplaat-layout met gemengde elektrische en vloeistof connecties.

concept gaat uit van een vlakke bodemplaat waarin zowel de microkanalen zijn geëtst alswel het elektrische circuit is aangebracht, zoals op een elektronische printplaat. Deze bodemplaat wordt Mixed Circuit Board (MCB) genoemd omdat deze zowel het vloeistof- als het elektronische circuit bevat. Op deze bodemplaat zijn de verschillende componenten bevestigd [3]. Gelet op de grote variëteit aan componenten die bij µTAS-realisaties benodigd zijn, is het van groot belang dat deze componenten of modules *gestandaardiseerd* zijn. MESA is op dit moment coördinator van een Europees cluster van bedrijven en instituten dat standaardiseren als één van zijn hoofdtaken ziet. Een schematische weergave van de geschetste opbouw is te zien in figuur 3.

Het is duidelijk dat de interconnectietechniek een belangrijke rol speelt bij de realisatie van µTAS. Ze moet mechanisch stabiel zijn, een water- of gasdichte verbinding geven, elektrisch betrouwbaar zijn en dit alles bij toleranties in de orde van enkele µm's. Duidelijk is dat ook hierbij methodes uit de siliciumtechnologie gebruikt zullen worden (fotolithografie), mogelijk gecombineerd met geavanceerde zeefdruktechnieken en technieken als reflow-soldering of precisie lijmstempelen. Ook voor het bonden staat een groot aantal technologieën ter beschikking: silicium/silicium, silicium/glas (anodisch), silicium/goud/silicium (eutectisch), silicium/glas/silicium. Hierbij speelt de bonding-temperatuur een grote rol. In veel gevallen is deze enkele honderden graden Celcius, en zijn deze technologieën niet toe te passen op chemische sensoren.

Zoals eerder gezegd vormen de "fluidhandling"-componenten de basis voor µTAS. Eén van de belangrijkste componenten is de micropomp. Deze werd zo'n kleine tien jaar geleden voor het eerst aan de UT gedemonstreerd, en was gebaseerd op het membraanpomp-principe met twee passieve kleppen, geëtst in silicium en aangedreven met een piëzoelement, zie figuur 4. Hoewel deze pomp goed voldeed, en drukken tot 0,2 bar bij een opbrengst van enkele tientallen µl/min kon halen, had de pomp enkele nadelen. Het piëzoelement moest namelijk apart op de pomp gelijmd worden en de benodigde spanning bedroeg enkele honderden volts.



Figuur 4. Foto's van voor- (a) en achterzijde (b) van de eerste bij MESA gemaakte piëzopomp. In figuur b is duidelijk het opgelijmde piëzoschijfje te zien.

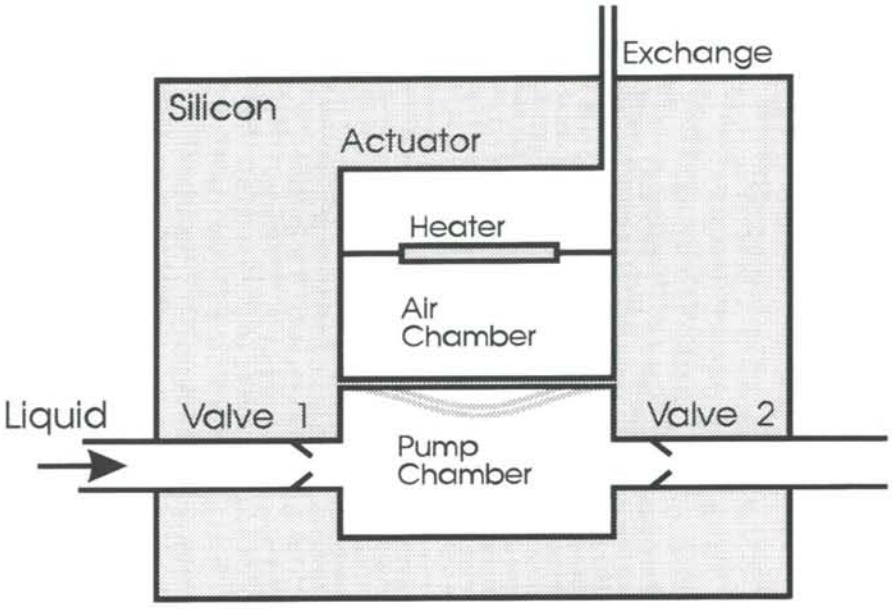
Micro Totaal Analysesystemen (μTAS)

Een nieuw ontwerp was gebaseerd op een ander principe, de zogenaamde thermopneumatische actuatie [4], zie figuur 5. Hierbij wordt een met gas gevulde afgesloten microkamer kortstondig verhit, en met behulp van de daardoor opgebouwde druk het pompmembraan aangedreven. Voordeel: IC-compatibele fabricage en lage actuatiespanning. Nadeel: veel warmtedissipatie waardoor een vrij groot vermogen benodigd is. Momenteel wordt de mogelijkheid van een bi-fase actuator onderzocht, waarbij de verhitting in een gas/vloeistofmengsel plaatsvindt en het rendement veel groter is; internationaal is ook met elektrostatische actuatie succes geboekt [5].

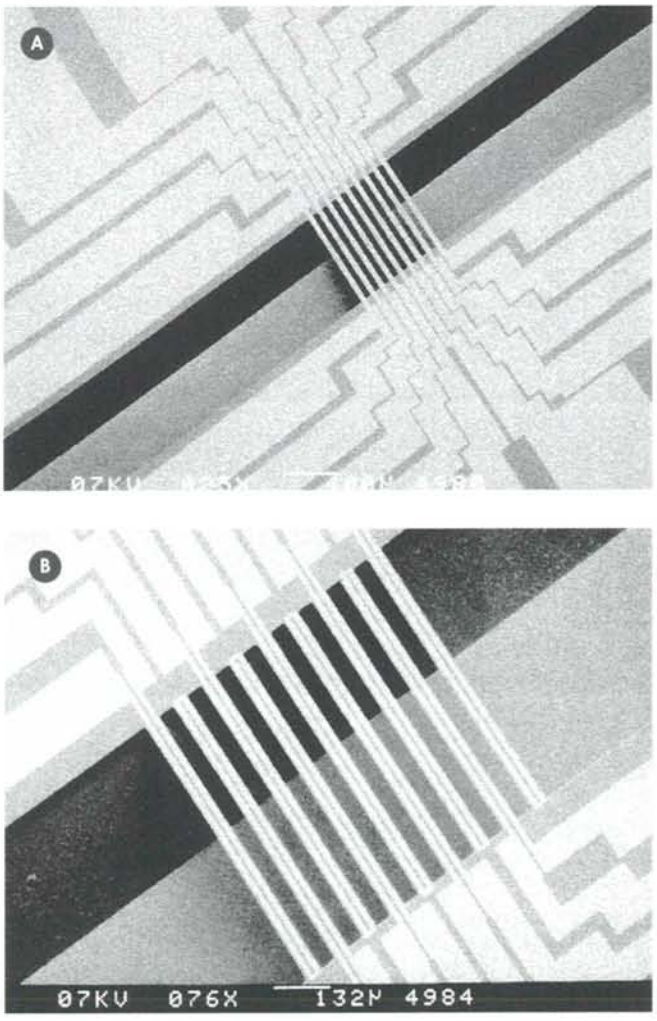
Het spreekt voor zich dat voor het controleren van de stroming een stromingsmeter een essentieel onderdeel is. Gebruikmakend van de technologie voor de micropomp is daarom een volledig compatibele flow-sensor ontworpen, zie figuur 6 [6]. Deze flow-sensor bestaat uit een aantal over een microkanaal gespannen "verwarmingsdraadjes". Er kan nu gekeken worden naar de warmteoverdracht van deze draadjes naar hun buren, wat een functie is van de stromingssnelheid (maar afhankelijk van het type vloeistof of gas). Ook kan een korte temperatuurpuls worden gegeven op één van de draadjes, waarna gekeken kan worden naar de tijdsduur totdat de puls op een andere draad aankomt (zogenaamde "time-of-flight"), wat onafhankelijk van het medium is.

Overigens is het vanzelfsprekend dat voor bovengenoemde microstructuren de te verpompen vloeistoffen schoon moeten zijn, dat wil zeggen stof- en (indien mogelijk) gasbel vrij. Omdat dit in de praktijk lang niet altijd zo is, is er bij MESA in samenwerking met de firma Aquamarijn een microfilter ontworpen, zie Mikroniek 35(95)2. Teneinde verstopping te voorkomen, is een speciale μTAS module gemaakt, waarmee kruisstroming mogelijk is ter reiniging van het filter.

Een andere kritisch aspect bij het miniaturiseren is het vermengen van vloeistoffen. Dit is op macroscopische schaal met een roerder te realiseren. In μTAS-structuren zijn echter de kanaalafmetingen erg klein (in de orde van honderden micrometers) waardoor de bijbehorende Reynolds-getallen een la-



Figuur 5. Schematische doorsnede van de thermopneumatisceh micropomp. Het pompmemmbraan wordt bewogen door de met de heater opgewekte drukverhoging in de luchtkamer boven het membraan.



Figuur 6. Foto van een rij van negen over een microkanaal gespannen balkjes die als stromingssensor fungeren. In de bovenste foto liggen de contacten per balk aan weerskanten; op de onderste daarentegen aan één zijde.

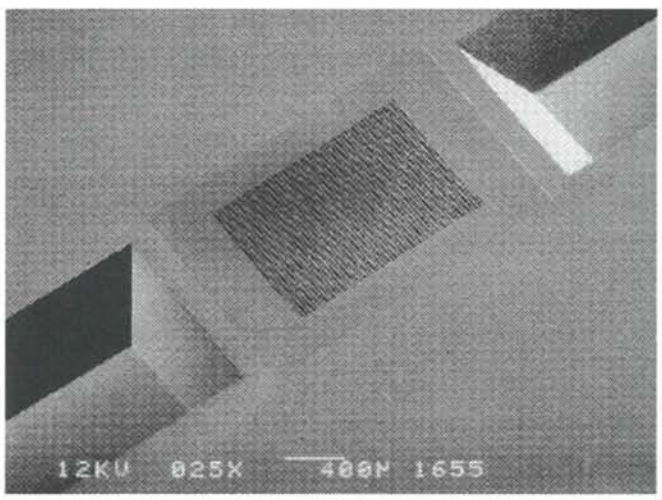
minaire stroming totgevolg hebben. In dat geval is het enige effectieve mengproces dat van diffusie. Teneinde toch een snelle en volledige menging te kunnen realiseren is bij MESA in samenwerking met Hitachi een zogenaamde micromenger ontwikkeld [7]. Deze gaat uit van het principe dat, wanneer vloeistof A via een microfilter met zeer kleine porieafstand in vloeistof B wordt geïnjecteerd, het diffusieproces snel genoeg is om te mengen. In figuur 7 is een uitvoering van de micromenger te zien die geschikt is voor het MFS-concept en een kruisstromingsoptie bevat.

Voor de chromatografie is het kunnen injecteren van zeer kleine monstervolumes in een drager van groot belang. Speciaal hiervoor is een micro-T-stuk gerealiseerd, dat een goede aansluiting met de chromatografiecapillairen heeft, zie figuur 8. Het theoretische dode volume van de kruising is kleiner dan 1 nl.

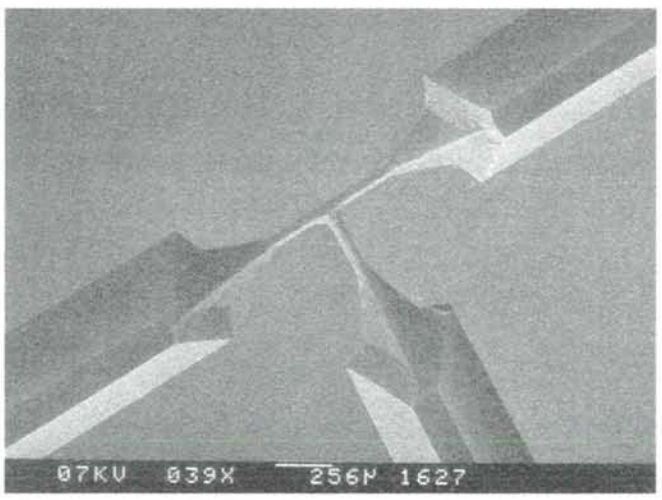
Meer kritisch zijn waarschijnlijk de dode volumina bij de capillairaansluitingen. Daarnaast biedt ook het gebied van de capillairelektroforese veelbelovende perspectieven voor het toepassen van µTAS. Zowel onderzoeksgroepen bij Ciba Geigy als bij de Universiteit van Alberta hebben hier goede resultaten geboekt met in kwarts geëtste microkanalen (typische afmeting: 30 µm) [8,9]. Met behulp van dergelijke structuren is men in staat om monstermengsels in enkele seconden te scheiden, iets waarvoor in een conventionele opstelling enkele minuten nodig is.

Het ontwerpen van Micro Totaal Analysesystemen vereist meer dan normaal een systeembenadering. Door de geringe afmetingen kunnen de verschillende componenten elkaar in verschillende domeinen gaan beïnvloeden. De piëzoactuator werkt bijvoorbeeld bij enkele honderden volts wisselspanning, maar kan vlak naast een potentiometrische sensor zitten die gevoelig is voor slechts enkele mV. Daarnaast gaan bij zeer kleine kanaalafmetingen de wandoppervlakken een steeds grotere rol spelen in verhouding tot de massa, waardoor de chemie hierdoor ook beïnvloed zou kunnen worden

In de allernieuwste ontwikkelingen wordt gekeken in hoeverre vacuüminstrumenten geminiaturiseerd kunnen worden. Op de recent gehouden workshop µTAS en bij de laatste Micro Electromechanical Systems (MEMS) conferentie werden als voorbeeld hiervan ontwikkelingen om een massaspectrometer te miniaturiseren gepresenteerd [10,11]. Het voordeel van miniaturisatie van dit instrument ligt in het feit dat de in microsystemen aan de orde zijnde kleine vrije weglengtes voor gasdeeltjes slechts een beperkt vacuum vereisen. Zo'n vacuum zou dan mogelijk weer via een microvacuümpomp kunnen worden opgewekt. Samen met een ander recent onderzoek naar de realisatie van een micro-optische spectrometer, geeft deze trend een veelbelovende toekomst aan voor miniatuur analysers en instrumenten.



Figuur 7. Foto van een (onafgedekte) micromenger met kruisstroming. De vloeistof wordt van één van de twee ingangen (boven en onder op de foto) via het filter (midden) naar de uitgang gepompt. Door de vloeistof niet door maar over het filter te sturen wordt het filter van verontreinigingen ontdaan.



Figuur 8. Foto van een micro T-stuk voor gebruik in de vloeistofchromatografie. Drie glascappillairen worden in de grote groeven ingelijmd.

Literatuur

[1] P.L.H.M. Cobben, R.J.M. Egberink, J.G.Bomer, R. Schouwenaar, Z. Brozka, M. Bos, P. Bergveld, D.N. Reinhoudt; Anal. Chem. Acta, 276, (1993), 347-352.
[2] P.Bergveld, D.R. Thevenot; Advances in Biosensors, eds. A.P.F. Turner, JAI Press Ltd., London, (1993) p.27-90.
[3] J.H.J. Fluitman, A. van den Berg, T.S.J. Lammerink; Micro Total Analysis Systems; eds. A. van den Berg, P Bergveld, Kluwer Academic Press, Dordrecht, The Netherlands, (1994) p.73-85.
[4] F.C.M. van de Pol; Ph.D. thesis, Univ. of Twente, Enschede, The Netherlands, 1989.
[5] R. Zengerle, S. Kluge, M. Richter, A. Richter; Proc. IEEE MEMS, Amsterdam, The Netherlands, (1995) p.19-25.
[6] T.S.J. Lammerink, A. van den Berg, J.H.J. Fluitman, Proc. Sensor Technology 1994, National Conference, ISBN 90-73461-06-5 p.173-177.
[7] R. Miyake, T.S.J. Lammerink, M. Elwenspoek, J.H.J. Fluitman; Proc. MEMS-Workshop 1993 p.248-253.
[8] A. Manz, E. Verpoorte, D.E. Raymond, C.S. Effenhauser, N. Burggraf, H.W. Widmer; Micro Total Analysis Systems; eds. A. van den Berg and P Bergveld, Kluwer Academic Press, Dordrecht, The Netherlands, (1994) p.5-29.
[9] D.J. Harrison, K. Fluri, Z. Fan, K. Seiler; Micro Total Analysis Systems; eds. A. van den Berg and P Bergveld, Kluwer Academic Press, Dordrecht, The Netherlands, (1994) p.105-117.
[10] A. Feustel, J. Müller and V. Relling; Micro Total Analysis Systems; eds. A. van den Berg and P Bergveld, Kluwer Academic Press, Dordrecht, The Netherlands, (1994) p.299-304.
[11] H.C. Nathason, I. Liberman and C. Freidhoff; Proc. IEEE MEMS, Amsterdam, The Netherlands, (1995) p.72-77.

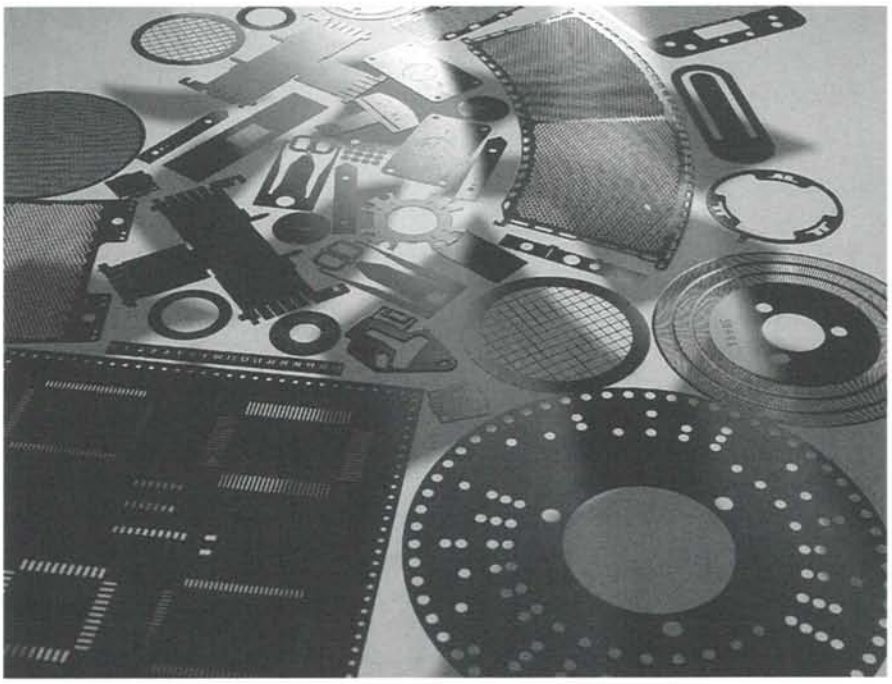
Etsen en elektroformeren: weghalen en aangroeien

Arjo Verhoog, Frans Zuurveen

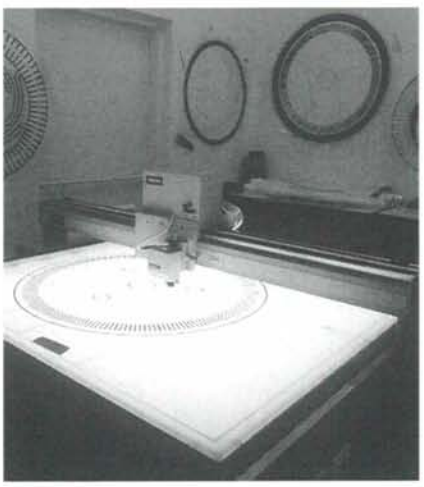
Aan het begin van de zestiende eeuw paste Lucas van Leyden al de techniek van het etsen toe. Hij was een vroegrijp talent, want reeds op achtjarige leeftijd hanteerde hij de burijn. De etstechniek vond zijn hoogtepunt in het werk van Rembrandt van Rijn, die ruim driehonderd wereldberoemde etsen vervaardigde. Een van de kenmerken van de etstechniek in de beeldende kunst is dat artistieke creaties kunnen worden gereproduceerd. Dat geldt ook voor de creaties van Stork Veco bv in Eerbeek. Dat bedrijf is al meer dan veertig jaar een vroegrijp talent in de chemische metaalbewerking. Daarbij gaat het niet alleen om de kunst van het etsen: weghalen van datgene dat niet is gewenst. Want Stork Veco is ook expert in elektroformeren: het maken van een produkt door aangroeien van dat wat wel is gewenst. Met beide technologieën is een hoge precisie haalbaar, die praktisch oneindigvoudig kan worden herhaald. Redenen genoeg dus om Stork Veco eens voor het voetlicht te halen.

Zo'n 150 personen werken in het landelijke Eerbeek aan het maken van precisieprodukten òf uit dun plaatmateriaal òf met behulp van een bad met metaalverbindingen, zie figuur 1. Vlakke precisieprodukten kan men natuurlijk maken met conventionele technieken als boren, frezen en stampen en met een moderne techniek als lasersnijden. Bezwaren daarvan kunnen zijn dat het produkt bramen vertoont, waarvan de verwijdering een kostbare aangelegenheid is, en dat er in veel gevallen duur gereedschap nodig is.

Bij etsen en elektroformeren is het belangrijkste gereedschap alleen maar een fotolithografisch masker, dat aangeeft waar materiaal moet worden verwijderd of juist moet aangroeien. Met moderne CAD-systemen, die hun resultaten kunnen leveren via laserplotter of snijtafel, zie figuur 2, worden zulke maskers snel en nauwkeurig gemaakt. Vooral die nauwkeurigheid is van belang, want de precisie die uiteindelijk wordt gehaald, hangt voor het grootste deel af van de nauwkeurigheid van het masker. Een bezwaar van elektrochemische technieken is dat ze een aanslag kunnen betekenen op onze leefomgeving. Maar door een groot aantal milieumaatregelen en de bijbehorende voorzorgen heeft Stork Veco dat bezwaar grotendeels ondervangen. We zullen daar aan het eind van dit artikel nog op terugkomen.



Figuur 1. Diverse Veco-produkten.



Figuur 2. Het maken van een fotomasker met een Aristo snijtafel.

Precisie bij elektroformeren en etsen

De vlakke metalen precisieprodukten van Veco kunnen niet alleen veel gelijkvormige gaten maar ook allerlei complexe patronen bevatten. Het maken van een filmmasker is door de al genoemde CAD-technieken relatief eenvoudig, zodat de grote ontwerpvrijheid niet leidt tot hoge investeringen. Vandaar dat etsen en elektroformeren zich niet alleen uitstekend lenen voor het vervaardigen van enkele prototypen, maar zeer zeker ook voor grote tot zeer grote produktieseries. De uitstekende herhaalnauwkeurigheid van de patronen en de beheersing van de procestechnologie spelen daarbij een belangrijke rol.
Een belangrijk voordeel van beide bewerkingstechnieken is dat het braamvrij zijn van het eindprodukt niet ten koste

SATIS FACTORY ®

TEVREDEN KLANTEN - RATIONELE PRODUKTIE

Precimetal, toeleverancier gespecialiseerd in verloren was gietwerk, vervaardigt stukken van 1 g to 30 kg, in praktisch alle staal- en roestvaste staalsoorten, alsmede in de voornaamste koper-, nikkel- en kobaltlegeringen.

Precimetal heeft zich de modernste produktiemiddelen verschaft voor een « Just in Time » produktie in getrokken doorstroming. Tevredenheid van de klanten is ons hoofddoel. Hiervoor garandeert Precimetal :

Kwaliteit en betrouwbaarheid
Korte en betrouwbare levertijden
Flexibiliteit en reaktiviteit
Ontwerp, ontwikkeling en metallurgisch advies
Bewerkte stukken, klaar voor gebruik
Kwaliteitssysteem volgens de norm ISO 9002

PRECIMETAL
PRECISIEGIETWERK

Parc Industriel
B - 7180 Seneffe - België
Tel : +32 - 64.540500 Fax : +32 - 64.540507

Exclusieve houten kisten en koffers...

Soms vragen produkten of premiums om een exclusieve verpakking.

Segerink maakt exclusieve houten kisten en koffers die jarenlang meegaan.

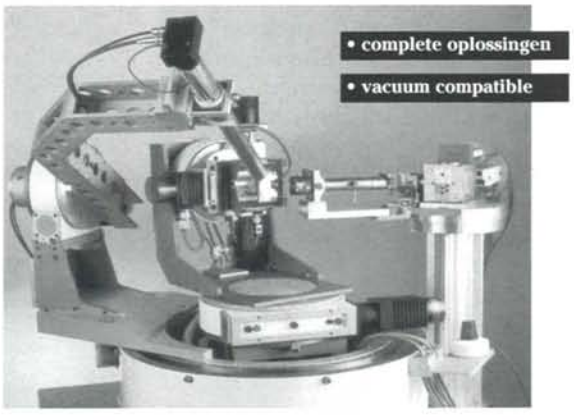
HOUTBEWERKING
SEGERINK BV
Kloppendijk 58, 7591 BV Denekamp
Tel. 05413-51436, Fax 05413-54293

UW botte HM-frezen als NIEUW geslepen!!

Maakt u kennis met onze perfecte slijpmethode, het is beslist de moeite waard. Tevens nieuwe frezen en coaten van frezen.

Kafra Hard Metal Tools, Precisieslijperij
Tel. (05450) 9 49 45. Fax (05450) 9 51 17.
Postbus 79, 7160 AB Neede

High Precision Turn-Key Systemen



Newport
MICRO-CONTROLE

Newport B.V., Regulierenring 9, 3981 LA Bunnik, Tel: 03405 - 70101, Fax: 03405 - 70242
Micro-Controle Benelux NV, Interleuvenlaan 62, 3001 Leuven, Tel: 016 - 40.29.22, Fax: 016 - 40.22.27

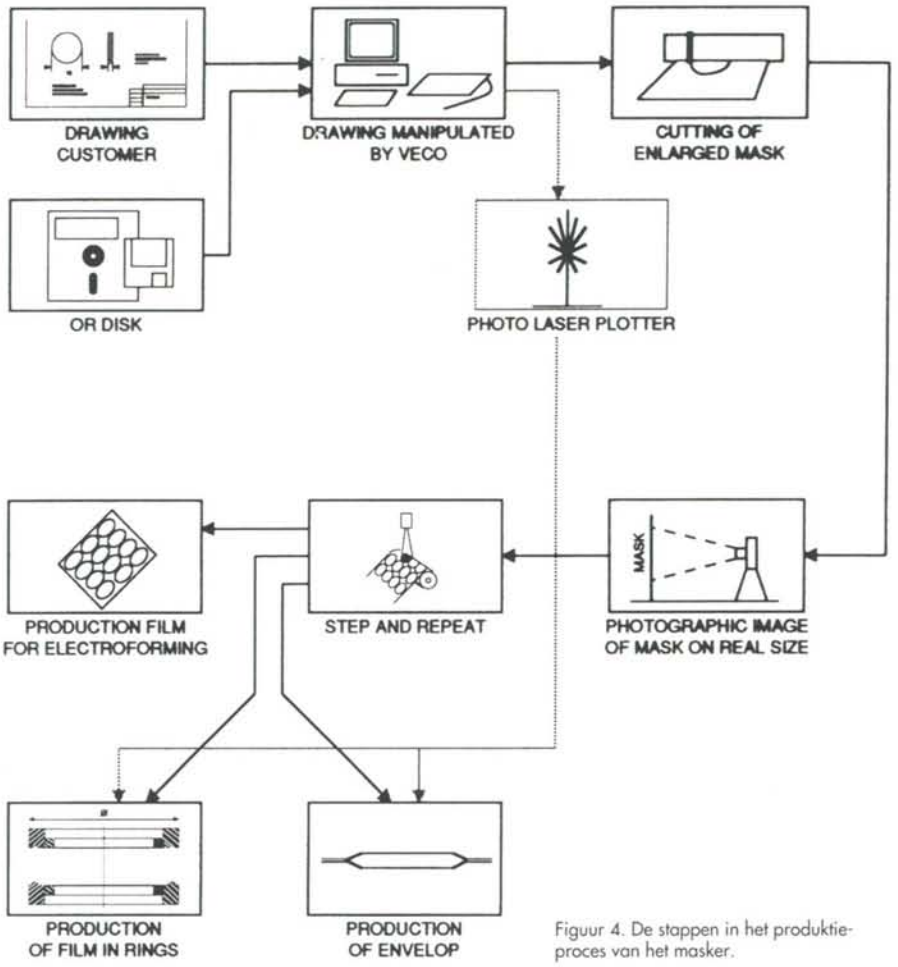
Etsen en elektroformeren: weghalen en aangroeien

Figuur 3. In overleg met de klant zijn produktwijzigingen eenvoudig te realiseren.

gaat van de materiaaleigenschappen. Bovendien voldoen de toleranties die worden gehaald doorgaans aan de meest stringente eisen. Daar komt nog bij dat het ontwerp eenvoudig kan worden gewijzigd, zie figuur 3, zodat elektroformeren en etsen zeer flexibele bewerkingstechnieken zijn.
Het filmmasker vormt de basis voor een nauwkeurig eindprodukt. In dit masker liggen ook de procesparameters vast die een juiste maatvoering van een precisiedeel garanderen. De verschillende stappen in het produktieproces van het masker, zie figuur 4, leiden tot de juiste definitie van die procesparameters, waarmee de oorspronkelijke ontwerpgegevens worden gecorrigeerd.

Het elektroformeer-proces

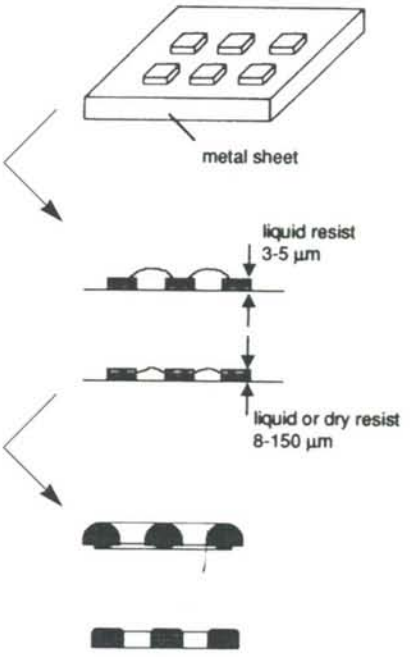
Het elektroformeren begint met het aanbrengen van een lichtgevoelige laklaag op een metalen plaat, de zogenaamde matrijs. Met behulp van het filmmasker wordt de lichtgevoelige laag volgens het gewenste patroon plaatselijk belicht. Door de laklaag daarna te ontwikkelen ontstaan er openingen in die laag. Het metaal komt dus plaatselijk vrij, zodat het oppervlak van de matrijs daar elektrisch geleidend wordt, zie figuur 5. De matrijs kan nu in het produktiebad met nikkelzouten worden gehangen en fungeert daar als kathode. Op de open plaatsen slaan er vervolgens metaalionen neer. Die zijn afkomstig van de anode, die in de meeste gevallen uit zuiver nikkel bestaat.



Figuur 4. De stappen in het produktieproces van het masker.

De laklaagdikte bedraagt slechts enkele micrometers. Tijdens het opgroeiproces zal het nikkel allereerst de vrije ruimten tussen de lak opvullen. Daarna groeit de nikkellaag over de randen van de lak heen, zie figuur 5, boven. Doordat de groeisnelheid in horizontale en verticale richting gelijk is, krijgt de produktdoorsnede plaatselijk de vorm van een paddestoel.

Als de gewenste dikte van de nikkellaag is bereikt, kan het produkt los worden gemaakt van de matrijs. De openingen in het produkt blijken dan aan de kant die van de matrijs af is gericht, enigszins conisch en afgerond van vorm te zijn. Dat verloop van de doorsnede is vooral bij zeefprodukten zeer gunstig, want het oppervlak is daardoor makkelijk te reinigen.
Als een afronding ongewenst is, kan men op de matrijs een dikkere laklaag aanbrengen, zie figuur 5, onder. Er groeit dan alleen nikkel tussen de wan-



Figuur 5. Schema van het elektroformeerproces.

produkt	
	tolerantie op steek
spuitopeningen voor inkjets tot een dikte van 100 µm	± 0,25
scheerfolies	± 50 µm
	tolerantie op gatdiameter
zeven van maximaal 1 m²	tussen ± 10 en ± 50 µm
precisiezeven	tussen ± 2 en ± 4 µm
spuitopeningen voor inkjets	± 3 µm
codeerschijven	± 10 µm
scheerfolies	± 30 µm
	tolerantie op spleetbreedte
	(betrokken op midden spleet)
precisiezeven	tussen ± 2 en ± 4 µm
codeerschijven	± 10 µm

Tabel 1. De toleranties die bij elektroformeren haalbaar zijn.

den van de laklaag, waardoor de produktdoorsnede rechte wanden verkrijgt. Voor bepaalde produkten, zoals spuitopeningen voor inkjet-printers of maskers voor het aanbrengen van soldeerpasta op printplaten, is zo'n cilindrisch verloop van de openingen beslist noodzakelijk. De produktietechniek met een dikke laklaag is toepasbaar tot een produktdikte van ongeveer 0,15 mm. Door de betere procesdefinitie kunnen er nauwere toleranties worden gerealiseerd, zie tabel 1.

De opgroeisnelheid en de uiteindelijke produktdikte zijn een functie van stroomsterkte en tijd. De materiaaleigenschappen van het opgegroeide nikkel kan men variëren door de samenstelling van de vloeistof in het produktiebad te veranderen. In tabel 2 zijn enkele eigenschappen van verschillende nikkelsoorten weergegeven.

Het etsproces

Het voordeel van etsen is dat verschillende soorten materiaal kunnen worden bewerkt. (Het elektroformeer-proces is alleen geschikt voor het maken van produkten uit zuiver metaal, meestal nikkel, maar ook wel koper.) De materialen die bij het etsproces het meest worden toegepast, zijn diverse soorten roestvast staal, koper en zijn legeringen, aluminium en zilver.

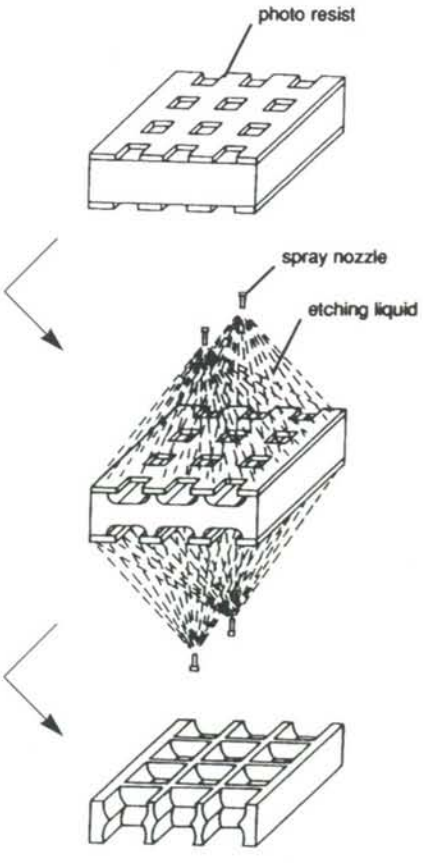
De eerste stap om te komen tot een geëtst produkt is het maken van een film. Ook hier worden de ontwerpgegevens gecorrigeerd met de procesparameters met het doel exact het gewenste eindprodukt te verkrijgen. Omdat zowel de boven- als de onderzijde van het foliemateriaal gelijktijdig worden belicht, maakt men van de film een tweetal afdrukken. Die moeten dan wel exact ten opzichte van elkaar worden gepositioneerd, zie de onderste rij van figuur 4.

Na het belichten van de lichtgevoelige lak op beide kanten van het materiaal, wordt de lak ontwikkeld. Vervolgens gaan de aldus voorbehandelde platen door de etsmachine, waar de etsvloeistof het materiaal ter plaatse van de openingen wegbeitst, zie figuur 6. Die etsvloeistof bevat in de meeste gevallen ferrichloride, dat gedurende het proces wordt omgezet in ferrochloride en het chloride van het verwijderde metaal. De etsmachine sproeit etsvloeistof tegen de boven- en onderzijde van het folie, waardoor het metaal aan beide kanten gelijkmatig wordt weggenomen. Het etsproces verloopt niet alleen loodrecht op de twee materiaaloppervlakken, maar ook in de richting van die oppervlakken. Dat effect noemt men onderetsing. De mate waarin dat effect wordt beheerst, bepaalt in hoge mate de kwaliteit van het eindprodukt. Door tweezijdige belichting kan men de nadelige effecten van onderetsing sterk tegengaan.

Een ander voordeel van tweezijdige belichting is dat men op eenvoudige wijze aan één kant een tekst of codering kan aanbrengen. Ook is het mogelijk een bijzondere gatdoorsnede te creëren door een van beide films aan te passen of door de sproeidruk aan weerskanten verschillend te maken. De in figuur 6 schematisch aangegeven etsflank, die altijd in meerdere of mindere mate aanwezig is, bepaalt de uiteindelijke afmeting van de opening, omdat de maten

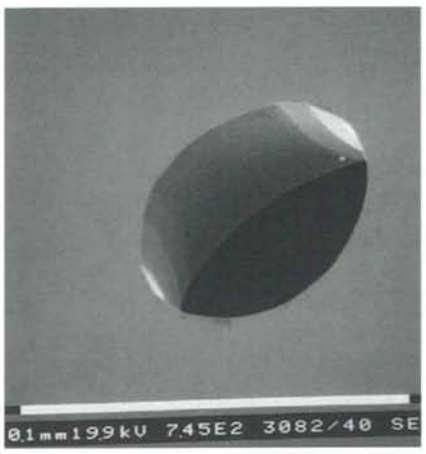
	Sulfamat Ni	Sulfamat meta Ni	hard Ni
hardheid Vickers	circa 200	350-400	650-700
soldeerbaarheid	+	+/-	-
lasbaarheid met laser	+	-	-
buigeigenschappen	+	+/-	-
vlakheid	-	-	+

Tabel 2. De eigenschappen van de verschillende soorten nikkel die bij het elektroformeer-proces kunnen ontstaan.



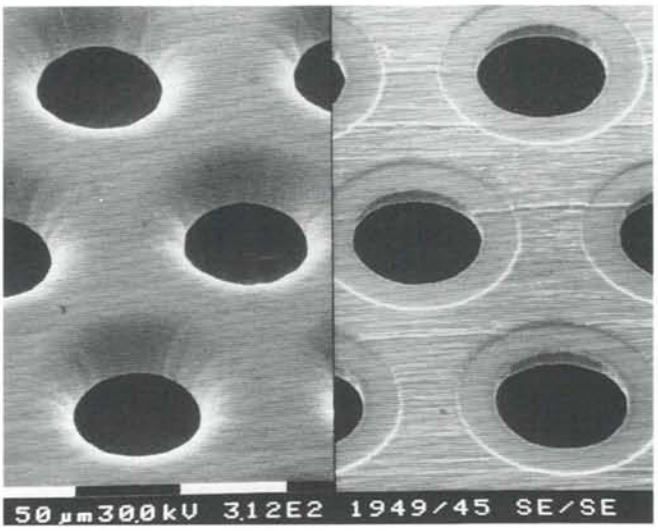
Figuur 6. Schema van het dubbelzijdige etsproces.

Etsen en elektroformeren: weghalen en aangroeien



Figuur 7. Een spuitopening in opgegroeid nikkel voor inkjetprinters. De lengte van de witte balk bedraagt 0,1 mm.

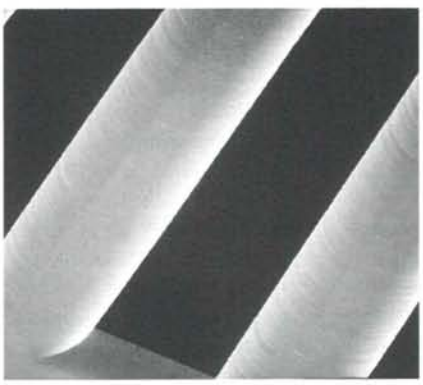
Figuur 8. De bovenzijde (links) en onderzijde van een zeef van opgegroeid nikkel. De lengte van de witte balk bedraagt 50 mm.



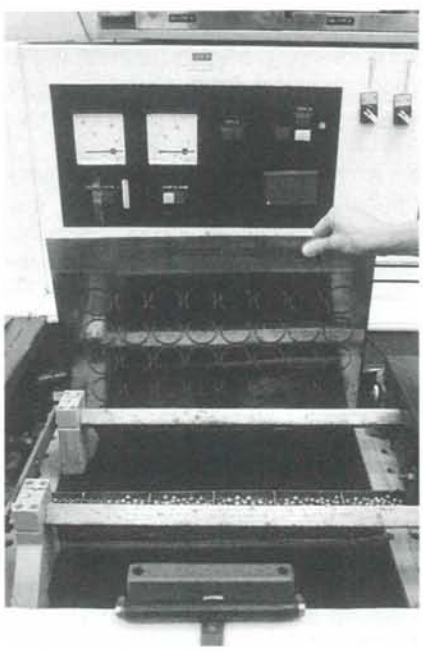
met doorvallend licht worden gecontroleerd. De tabellen 3 en 4 geven een overzicht van de materialen, de etsbare dikten en de minimale afmetingen van gaten, spleten en de dammen ertussen.

Enkele voorbeelden van produkten

Belangrijke precisieprodukten van Stork Veco zijn de al genoemde spuitopeningen voor inkjet-printers, zie figuur 7. Een moeilijk probleem wordt daarbij gevormd door de bevestiging in de spuitkop van de printer van het plaatje met de uiterst kleine spuitopening. Dat probleem wordt veroorzaakt door het gladde oppervlak van het opgegroeide nikkel en de microstructuur ervan, zodat solderen en lassen niet in aanmerking komen. Daarom zijn er in het produkt (niet in de figuur zichtbare) verankeringsgaten aangebracht, waardoor het plaatje met de spuitopeningen met lijm kan worden bevestigd. Die oplossing is niet alleen simpel maar ook goedkoop, omdat een dergelijke aanpassing van de film nauwelijks meerkosten met zich meebrengt.
Als men fijnmazige roosters, afschermrasters en zeven weeft uit metaaldraad, zijn zulke produkten kostbaar. Weven is immers een tijdrovend en moeilijk proces. Bovendien bestaat de kans dat de draden verschuiven, zodat het patroon vervormt en de maaswijdte nog minder constant wordt dan die oorspronkelijk al was. Produkten die gemaakt zijn door etsen of elektroformeren hebben al die bezwaren niet.



Figuur 9. Het sporenpatroon in een codeerschijf van hardnikkel.



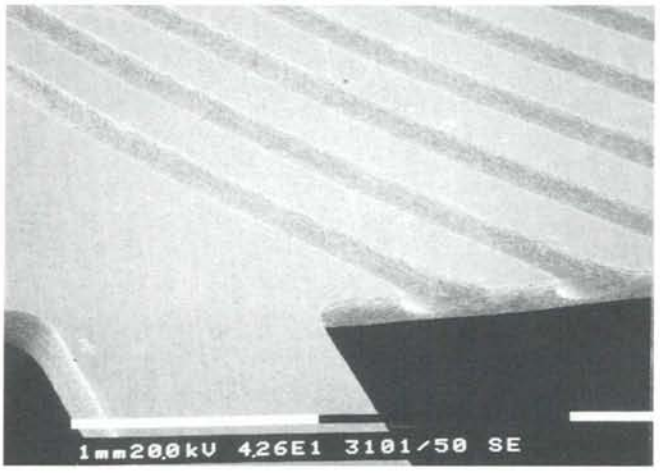
Figuur 10. Het uitnemen van geëlektroformeerde codeerschijven.

materiaal	diktegebied [mm]
koper en zijn legeringen (CuZn, fosforbrons, CuBe, enz.)	0,02 – 1
nikkellegeringen (mu-metaal, kovar e.a.)	0,02 – 0,5
roestvaststaal (b.v. de series AISI-300 en -400)	0,025 – 1
verenstaal	0,025 – 1
zilver	< 0,35
molybdeen	< 0,3
aluminiumlegeringen	< 1

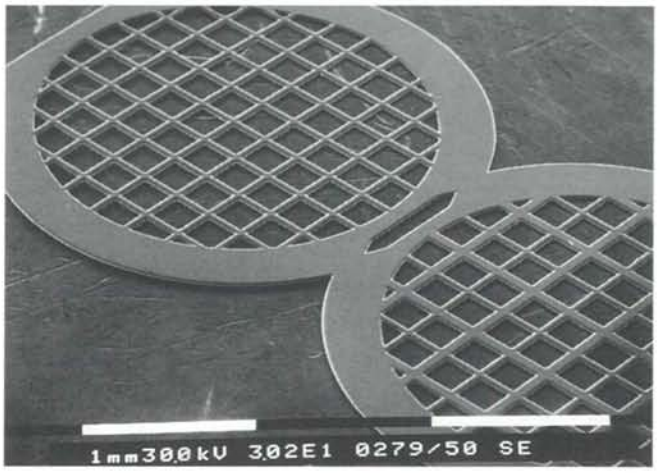
Tabel 3. Materiaaldikten waarvoor het etsproces bruikbaar is, aangegeven voor diverse materiaalsoorten.

materiaaldikte d in mm	gat	spleet	dam
< 0,025	empirisch	empirisch	0,8 d – 0,1
0,025 - 0,125	1,5 d	1,2 d	0,8 d – 0,1
0,125 - 0,2	1,3 d	1,1 d	0,8 d – 0,1
0,2	1,1 d	d	0,8 d – 0,1
> 0,2	d	0,9 d	0,8 d – 0,1

Tabel 4. Minimum maten van gaten, spleten en dammen voor verschillende materiaaldikten d.



Figuur 11. Een combinatie van tweezijdig etsen (de openingen) en enkelzijdig etsen (het strepenpatroon).



Figuur 12. Preparaatgaasjes voor transmissie-elektronenmicroscopie.

Figuur 8 toont de onder- en bovenzijde van een opgegroeide nikkelen zeef. De randen aan de onderzijde zijn het gevolg van het opgroeien van nikkel over de randen van de openingen in de afdeklak heen, zie figuur 5, boven.

Nauwkeurige codeerschijven voor het meten van hoeken in bij voorbeeld stappenmotoren vereisen een zeer fijn spletenpatroon, zie figuur 9. Die fijnheid betekent ook dat het geëlektroformeerde produkt erg dun zou moeten zijn. Het is echter mogelijk aan het elektroformeren een tweede processtap toe te voegen. Daarbij wordt een tweede laag nikkel (niet zichtbaar in de figuur) op het massieve gedeelte aangebracht, die voor extra stevigheid zorgt. Figuur 10 laat het uitnemen van geëlektroformeerde codeerschijven zien.
Bij ieder produktieproces is het belangrijk het produkt te merken, zodat het tijdens dat proces en erna kan worden geïdentificeerd. Het fotografisch gereedschap dat bij etsen en elektroformeren onontbeerlijk is, maakt het coderen van een produkt bijzonder eenvoudig. Bovendien kunnen daar bijzondere coderingen volgens klantenwens aan worden toegevoegd. Bij zulke geëtste produkten past men meestal verschillende maskers voor de onder- en bovenzijde toe, zie figuur 11.

Andere interessante produkten van Stork Veco zijn preparaatgaasjes voor elektronenmicroscopen, zie figuur 12. Deze worden door elektroformeren gemaakt van koper, nikkel, zilver of goud en hebben een uitwendige diameter van 2,3 of 3,05 mm. Voor de nauwkeurige analysetechnieken die in de elektronenmicroscopie steeds gebruikelijker worden, is de zuiverheid van het metaal voor de preparaatondergrond van het grootste belang. Daarom is elektroformeren eigenlijk het enige proces dat voor de vervaardiging ervan in aanmerking komt. Bovendien is de maatvastheid van de openingen in de preparaatgaasjes belangrijk, omdat die een houvast bieden bij lengtebepalingen in het preparaat.

Milieu-aspecten

Voor de processen die bij Stork Veco worden toegepast, is de beschikbaarheid van voldoende proceswater essentieel. Vandaar dat het oorspronkelijke bedrijf gevestigd was in Loenen aan de Veluwerand. Er was daar immers overvloedig helder water ter beschikking uit beken (de zogenaamde sprengen), zodat daar van oudsher ook al vele wasserijen en papierfabrieken bestonden.
Zo'n 45 jaar geleden verhuisde het bedrijf naar het enkele kilometers verder gelegen Eerbeek. In die tijd vormde het vrijelijk lozen van proceswater op het oppervlaktewater nauwelijks een probleem, maar vandaag de dag is die situatie – gelukkig – grondig veranderd. Stork Veco heeft daarom sinds 1971 een eigen installatie voor de zuivering van het spoel- en afvalwater. Daarin wordt het proceswater zoveel mogelijk geregenereerd. Met name wordt het ferrochloride weer omgezet in ferrichloride, dat zo opnieuw kan worden gebruikt, zie figuur 13. Er blijft een filterkoek over, die allerlei zware metalen bevat. Dat restprodukt wordt verwerkt, waarbij de zware metalen worden teruggewonnen.

Figuur 13. Het regenereren van de etsvloeistof.

Het gereinigde water, dat voldoet aan landelijke en lokale lozingsnormen, wordt op het openbare riool gestort. Pas na het passeren van de gemeentelijke rioolzuiveringsinstallatie bereikt het gereinigde restwater van Veco het oppervlaktewater. Wat betreft lucht- en bodemverontreiniging, kan worden gemeld dat de lucht die boven de baden wordt afgezogen, een gaswasinstallatie passeert en dat de fabrieksvloeren zo zijn uitgevoerd dat chemicaliën niet in de bodem kunnen dringen.

Kortom, degene die overweegt Stork Veco in te schakelen voor de vervaardiging van zijn vlakke precisieprodukten, behoeft zich beslist niet geremd te voelen door milieubezwaren. Want bij Stork Veco is goed nagedacht over de milieutechniek. Over de rest van de techniek trouwens ook!

Rondheidsmeting met nanometer-nauwkeurigheid

H. Haitjema

Een van de belangrijkste soorten van vormmeting is het meten van rondheid. Ten behoeve van een rondheidsmeting welke herleidbaar is tot afwijkingen ten opzichte van een mathematische cirkel zijn rondheidsstandaarden ontwikkeld. De nauwkeurigste rondheidsstandaarden bestaan uit glazen halve bollen, keramische bollen of stalen kogels. Deze standaarden dienen om de rondloopnauwkeurigheid van rondheidsmeters te bepalen. Moderne rondheidsmeters hebben een rondloopnauwkeurigheid van circa 0,05 µm. De meeste in omloop zijnde rondheidsstandaarden hebben een rondheidsafwijking van 0,05 µm of kleiner. Voor een zinvolle kalibratie van deze standaarden is dus een methode vereist met een onzekerheid van 0,02 µm of minder. Een dergelijke nauwkeurigheid is ook noodzakelijk voor de meting van hogeprecisiekogels en cilinders. Dit artikel geeft weer hoe dit bij het NMi Van Swinden Laboratorium (VSL) is bereikt.

Rondheidsmeter

De rondheidsmeter waarmee de kalibraties worden uitgevoerd is een Rank Taylor Hobson type Talyrond 200 rondheidsmeter. Het instrument is van het type waarbij het werkstuk roteert ('rotating workpiece') en de taster stilstaat. Het instrument is uitgerust met een inductieve taster met een effectieve armlengte van 60 mm. Het tastelement is een saffieren kogel met een diameter van 2 mm. De meetkracht is circa 0,05 N. De radiale spilafwijking (de rondlooponnauwkeurigheid) is ongeveer 0,05 µm; de axiale spilafwijking (het op-en-neer gaan van de tafel tijdens het roteren) is circa 0,02 µm.

Verwerking

Het tastersignaal wordt verwerkt door een commercieel verkrijgbaar data-acquisitiesysteem genaamd 'Circom'. Hiermee worden per rotatie 1024 meetpunten ingelezen. Met de bijbehorende software kunnen rondheidsdiagrammen worden weergegeven volgens diverse referentiecirkels: minimum zone, kleinste kwadraten, grootste ingeschreven cirkel en de kleinste omgeschreven cirkel. De maximale vergroting bedraagt 20.000 maal. Ook wordt het signaal gefilterd met een gesimuleerd dubbel RC-filter met een afsnijfrequentie van naar keuze 500, 150, 50 of 15 golvingen per omwenteling (gpo).

Eigen software

Naast het 'Circom'pakket is er eigen software geschreven die de metingen verder kan verwerken. De mogelijkheden zijn:

- centreren van een meting volgens het kleinste-kwadraten middelpunt; Hierbij wordt gecorrigeerd voor de vervorming van het profiel door het profiel aan te passen aan een limaçon volgens de methode beschreven in [1].
- meetpuntsgewijs middelen van een aantal gecentreerde profielen met berekenen van de standaardafwijking per meetpunt;
- roteren van een profiel over een bepaalde hoek;
- het verschilprofiel berekenen tussen twee profielen;
- vermenigvuldigen van een profiel met een bepaalde factor;
- harmonische analyse (Fourier-analyse) van een profiel. Het belang van harmonische analyse van rondheidsmetingen is in dit blad eerder behandeld door J.W. van Beek [2].
- digitaal filteren van een profiel volgens een dubbel RC-filter of een Gaussische filterkarakteristiek met elke willekeurige bandbreedte;
- berekenen van de onrondheid (variatie in straal) en ook van de variatie in diameter.

De aldus bewerkte metingen kunnen weer worden ingelezen in het Circom programma en daarnaast in het grafische pakket 'AXUM', waarmee onder andere een rondheidsdiagram met een willekeurige vergroting kan worden gemaakt. De rondheidsdiagrammen in dit artikel zijn met dit pakket vervaardigd.

Bronnen van onzekerheid

De onzekerheid van een rondheidsmeting wordt in hoofdzaak bepaald door drie factoren:

- de kalibratie van de taster;
- de 'ruis' afkomstig van de taster, mechanische trillingen of van de rondheidsmeter;
- de rondloopnauwkeurigheid van de rondheidsmeter.

We gaan eerst in op de bepaling van de rondloopnauwkeurigheid van de rondheidsmeter en de reductie van de invloed hiervan. Hiervoor zijn twee methoden in gebruik die hieronder kort worden behandeld. Deze methoden zijn ook beschreven in ISO 4291 [3].

Stappenmethode

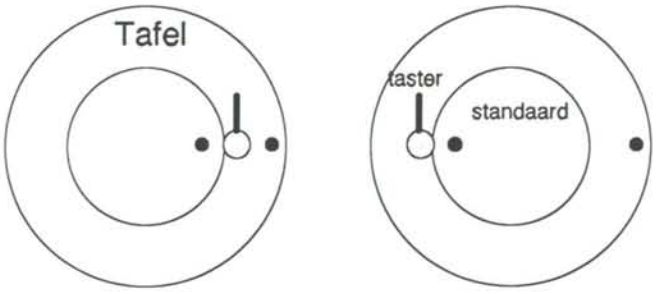
De stappenmethode reduceert zowel radiale als axiale spilafwijkingen. Deze methode bestaat eruit dat de te meten standaard wordt gemeten in een bepaalde oriëntatie, waarna de meting wordt herhaald met de standaard over een bepaalde hoek (een geheel deel van 360°). De standaard wordt gedraaid tot in een aantal stappen 360° is doorlopen. In elke stand is de meting een andere combinatie van afwijkingen van zowel de spil als de standaard.
De spilafwijking wordt nu gevonden uit het middelen van alle profielen. Het profiel van de standaard wordt gevonden door eerst de profielen te roteren zodanig dat de oriëntatie van de standaard dezelfde is en daarna de profielen te middelen. Deze methode elimineert grotendeels de spilafwijking met de beperking dat alle harmonische componenten van een veelvoud van het aantal genomen stappen niet worden geëlimineerd. Bijvoorbeeld: bij twee stappen van 180° worden alle oneven harmonischen geëlimineerd, dus de 3-,5-,7-,9-

punts, enzovoorts, onrondheid van de spilafwijking. Bij twaalf stappen blijven over de 12-punts onrondheid alsmede de 24-punts, 36-punts etc. In het algemeen bevatten zowel de spilafwijking als rondheidsstandaarden voornamelijk lage harmonischen (< 10), zodat deze beperking bij een voldoende aantal stappen in de praktijk geen merkbare afwijkingen geeft. Deze procedure is vooral geschikt voor een rondheidsmeter met een roterende taster, omdat dan bij het roteren van de standaard de rondheidsspil kan blijven draaien. Toepassing van deze methode wordt onder andere beschreven in [4] en [5].

Omslagmethode

De omslagmethode elimineert alleen radiale spilafwijkingen. Hierbij wordt een rondheidsstandaard wordt gemeten (situatie A), waarna nog een meting wordt gedaan na draaiing van de standaard over 180°, terwijl ook de taster 180° verdraaid is vanuit zijn normale positie ten opzichte van de spil (situatie B). Een en ander is geïllustreerd in figuur 1.
De spilafwijking heeft in situatie B een tegengestelde invloed op het profiel vergeleken met situatie A. Daarom kan het profiel van de standaard worden gevonden door het gemiddelde te nemen van profiel A en B. De spilafwijking is de helft van het verschil tussen profiel A en B.
Als voorbeeld zijn in figuur 2 en 3 meting A en B weergegeven van een rondheidsstandaard met een ongeveer even grote rondheidsafwijking als de spil.
In figuur 4 en 5 zijn de hieruit afgeleide rondheidsafwijking van de standaard en de spilafwijking weergegeven. De onregelmatigheid bij -20° is een effect van de elektronica.
Merk op dat de vergroting circa 350.000 maal bedraagt in plaats van de 20.000 maal die bij conventionele rondheidsmeters het maximum is.

Deze procedure elimineert de radiale spilafwijking volledig. Nadeel is dat axiale afwijkingen niet worden geëlimineerd. Bij het VSL is deze afwijking maximaal 0,02 µm. Dit effect beïnvloedt het meetresultaat alleen als de meetrichting niet loodrecht op de rotatie-as staat, zoals bij glazen halve bollen.

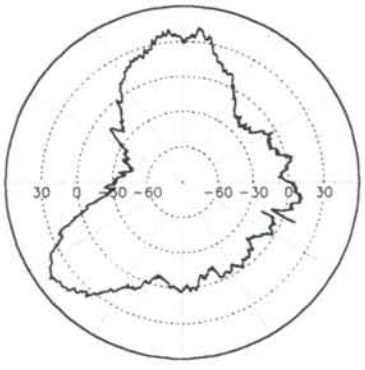


Figuur 1. Configuratie van standaard en taster bij de omslagmethode.

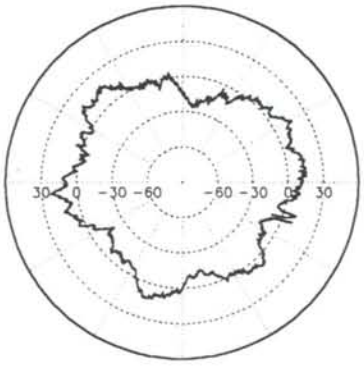
Methode gebruikt bij NMi-VSL

De standaardprocedure bij het VSL bestaat uit een combinatie van de omslagmethode en de stappenmethode. De omslagmethode wordt twee maal toegepast waarbij de standaard 180° wordt verdraaid. De oriëntaties van taster en standaard ten opzicht van de rondheidstafel (spil) zijn weergegeven in figuur 6.
De volgorde van meten is:
- meting van standaard in normale positie (situatie A in figuur 6);
- meting met taster 180° gedraaid (situatie B in figuur 6);
- meting met taster en standaard 180° gedraaid (situatie C in figuur 6);
- meting met taster in normale positie, standaard 180° gedraaid (situatie D in figuur 6).

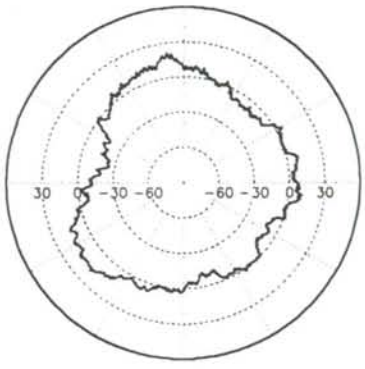
Voor deze volgorde is gekozen omdat tussen meting A en B en tussen meting C en D de rondheidsstandaard gecentreerd in dezelfde positie kan blijven staan en de rondheidstafel kan blijven draaien.
In elke combinatie van de positie van tasterstandaard worden tien metingen uitgevoerd die worden gecentreerd en gemiddeld. Daarna wordt van deze gemiddelden het gemiddelde genomen van enerzijds de metingen in positie A en C en anderzijds van de metingen in de positie B en D. Het rondheidsdia-



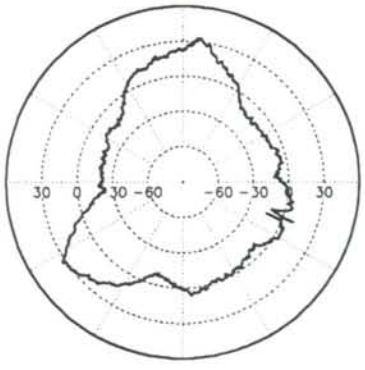
Figuur 2. Meting (nm) in configuratie A.



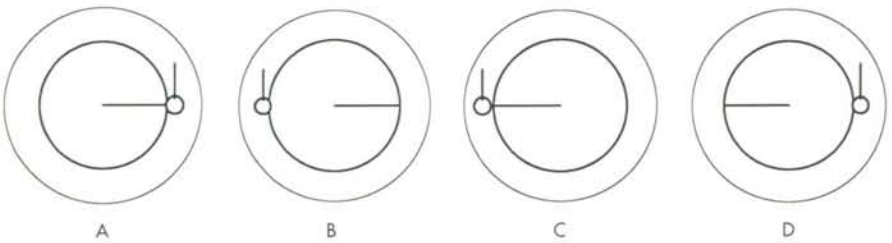
Figuur 3. Meting (nm) in configuratie B.



Figuur 4. Uit A en B afgeleid rondheidsdiagram van de standaard: (A+B)/2 (nm).



Figuur 5. Uit A en B afgeleid diagram van de spilafwijking: (A-B)/2 (nm).



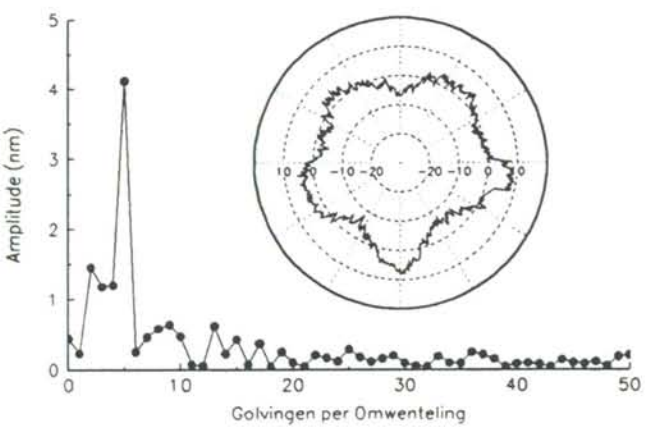
Figuur 6. Configuratie van taster en standaard bij NMi-methode.

gram van het gemiddelde van metingen B en D wordt 180° gedraaid en gemiddeld met het gemiddelde van de metingen A en C.
Schematisch samengevat geldt dus voor het rondheidsdiagram van standaard S:
$S = 0{,}25 \cdot (A + C + B^R + D^R)$.
Hierbij staat ^{R} voor het 180° geroteerde diagram. Het resultaat S is een rondheidsdiagram van 1024 meetpunten dat de rondheidsafwijkingen van de standaard weergeeft. Elk van deze 1024 meetpunten is een gemiddelde van veertig metingen.

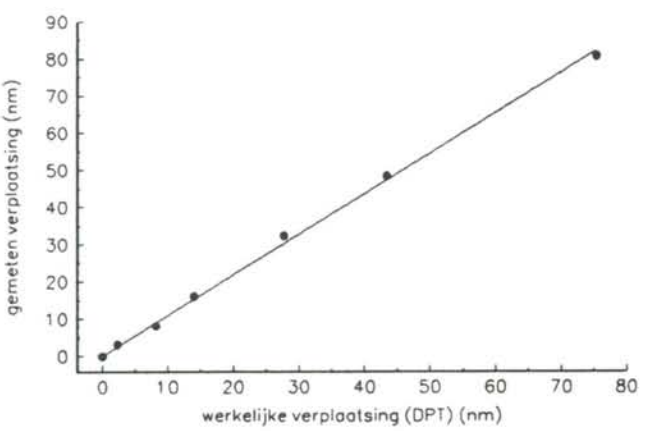
Kalibratie van de taster

Bij het meten van rondheidsstandaarden maakt, na goed centreren, de taster heen- en weergaande bewegingen met een maximale uitwijking van circa 80 nm (0,08 µm). Daarbij introduceren zowel de elektronica als de spil een 'ruis' die kan worden gekarakteriseerd met een standaardafwijking van circa 8 nm. De kalibratie van de taster moet zodanig gebeuren dat deze ruis wordt uitgemiddeld op dezelfde wijze als dit tijdens een meting gebeurt.
Hiervoor wordt de volgende methode gebruikt.
De kalibratie wordt uitgevoerd met een digitale piëzoverplaatser (DPT) die een verplaatsing kan genereren tot 15 µm. Binnen dit bereik is de DPT gekalibreerd over 6 µm met een onzekerheid van 2 nm. De taster wordt van de rondheidsmeter genomen en in een opstelling geplaatst waarmee door de DPT een verplaatsing aan de taster wordt opgelegd. De DPT wordt door een functiegenerator aangestuurd, zodanig dat door de rondheidsmeter vijf sinusgolven per omwenteling worden gemeten. Het signaal wordt over tien metingen gemiddeld, waarna fourieranalyse wordt toegepast. De amplitude van de 5^e fouriercomponent wordt nu vergeleken met de door de DPT geleverde amplitude van de verplaatsing. Ter illustratie is in figuur 7 het gemeten rondheidsdiagram weergegeven. Het signaal, dat zich laat weergeven als een 5-punts onrondheid, is nauwelijks van de ruis te onderscheiden. In het fourier-spectrum is de 5^e component echter duidelijk te onderscheiden van de andere componenten die als ruis zijn te beschouwen. De herhaalbaarheid (standaardafwijking) in deze meting bedroeg 0,2 nm voor het gemiddelde van tien metingen.

Het resultaat van de kalibratie tot 80 nm is weergegeven in figuur 8. In deze figuur is te zien dat de lineariteitsafwijking binnen de 2 nm blijft indien rekening wordt gehouden met een kalibratiefactor van 1,09. Gecombineerd met de onzekerheid van 2 nm in de DPT leidt dit tot een maximum afwijking van 3 nm bij gebruik van de taster en na vermenigvuldiging van de rondheidsafwijkingen met 1,09.
De rondheidsmeter kan volgens de specificaties rondheid meten tot een frequentie van 500 golvingen per omwenteling (gpo). Vaak ook worden filters toegepast om hogere frequenties te onderdrukken. Door verschillende frequenties aan de DPT op te leggen kunnen deze filters worden gecontroleerd en kan ook worden nagegaan tot welke frequentie het systeem taster-uitlezing-digitale verwerking, een rondheidsafwijking kan volgen. De DPT zelf heeft een afsnijfrequentie van 300 Hz, hetgeen overeenkomt met 3000 gpo. Dat zal op deze meting dus geen effect hebben.
De controle is uitgevoerd op het filter (in de standaardsoftware) ingesteld op afsnijfrequenties van 50 en 500 gpo. Met de DPT is een sinusgolf met steeds dezelfde amplitude gegenereerd met toenemende frequentie. De karakteristiek wordt vergeleken met de theoretische karakteristiek van een overeenkomstig dubbel RC-filter. Het resultaat is weergegeven in figuur 9.
De figuur laat zien dat de taster in combinatie met de elektronica hogere frequenties niet kan volgen. Als gevolg hiervan bedraagt de effectieve afsnij-



Figuur 7. Rondheidsdiagram met amplitudespectrum. De aangeboden sinus heeft een amplitude van 4,2 nm.



Figuur 8. Resultaat van de tasterkalibratie met behulp van een digitale piëzoverplaatser (DPT).

frequentie in plaats van de nominale 500 gpo circa 70 gpo en in plaats van de nominale 50 gpo bedraagt deze circa 40 gpo. Dit hoeft geen probleem te zijn zolang objecten worden gemeten met een lage frequentie-inhoud, zoals instelringen en rondheidsstandaarden. Bij ruwe oppervlakken kunnen echter grote afwijkingen optreden. Dit resultaat illustreert tevens de noodzaak van een dynamische kalibratie van tasters van rondheidsmeters en van andere vormmeetinstrumenten.

Voorbeeld van een meetresultaat

Als voorbeeld geven we de meetresultaten van metingen aan een keramische kogel, die bij het VSL is gemeten in het kader van een internationale ringvergelijking. Deze ringvergelijking is het vervolg op een eerdere ringvergelijking waarbij tussen standaardenlaboratoria verschillen tot 25 nm waren gevonden [6]. Om te komen tot een zo verantwoord mogelijke benadering van de onzekerheid, is de meting uitgevoerd in vier posities van de standaard op de rondheidstafel: de twee posities zoals geschetst in figuur 6 (A,B en C,D) en twee posities met de standaard ten opzichte hiervan 90° gedraaid. Deze procedure leidt tot vier metingen volgens de omslagmethode, waarbij in elke meting de spilafwijking en de rondheidsafwijking van de standaard op een andere manier waren samengesteld. Afgezien van de taster zijn deze metingen dus onafhankelijk. De metingen zijn weergegeven in figuur 10 bij een vergroting van circa 500.000 maal.

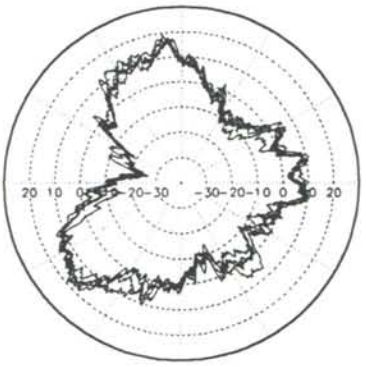
De standaardafwijking in de enkele meetpunten bedroeg 8 nm. Aangezien elke meting volgens de omslagmethode het gemiddelde is van 2x10 metingen is de verwachte standaardafwijking in een meting volgens de omslagmethode $8/\sqrt{20} = 1{,}8$ nm. Bij het middelen van de vier rondheidsdiagrammen is de standaardafwijking echter 3,1 nm. Deze grotere waarde dan verwacht zal het gevolg zijn van het niet precies reproduceren van de spilafwijking nadat de rotatietafel tussen twee metingen wordt stilgezet en/of van hysterese van de taster.

Een indruk van de onzekerheid in de componenten van de harmonische analyse wordt verkregen door deze van de vier metingen te vergelijken. Dit is gedaan in figuur 11. Uit de figuur blijkt dat de verschillende metingen tot vrijwel hetzelfde spectrum leiden; de spreiding ligt in de orde van 1 nm voor de lagere harmonische componenten (n<10) en beneden circa 0,5 nm voor de hogere (n>20). De figuur geeft tevens aan dat de harmonische componenten boven circa 25 gpo een geringe amplitude hebben (<0,5 nm). Dit geeft aan dat de filtering door het systeem zelf boven circa 70 gpo het resultaat niet zal beïnvloeden.

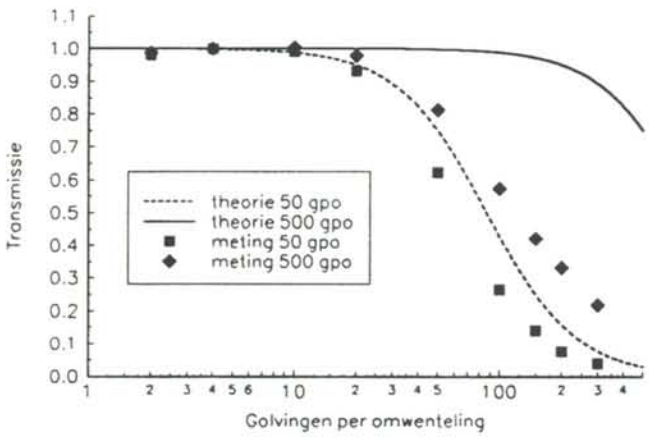
Onzekerheidsanalyse

Bovenstaande gegevens bevatten alle benodigde elementen voor een onzekerheidsanalyse conform de ISO 'Guide to the expression of uncertainties'. De hierin beschreven werkwijze komt erop neer dat de invloed van elke onzekerheidsbron wordt herleid tot een 'standaard onzekerheid'. Als uit het experiment op statistische gronden een standaardafwijking kan worden bepaald is deze standaardafwijking de 'standaard onzekerheid'. Men noemt dit dan een 'type A evaluatie'. Bij de hier besproken metingen kan deze evaluatie worden toegepast op de 'ruis' van de taster en van de spilbeweging. Wanneer een onzekerheidsbron niet kan worden bepaald door statistiek op de metingen uit te voeren spreekt men van een 'type B evaluatie'. Bij de hier besproken metingen moet deze evaluatie worden toegepast op de kalibratie van de taster en op een eventuele invloed van de axiale spilbeweging. Deze evaluatie betekent dat uit bekende gegevens (de kalibratiecurve van de taster, de axiale spilafwijking) een karakteristieke standaardafwijking wordt afgeleid die de standaard onzekerheid voor de betreffende onzekerheidsbron vormt.

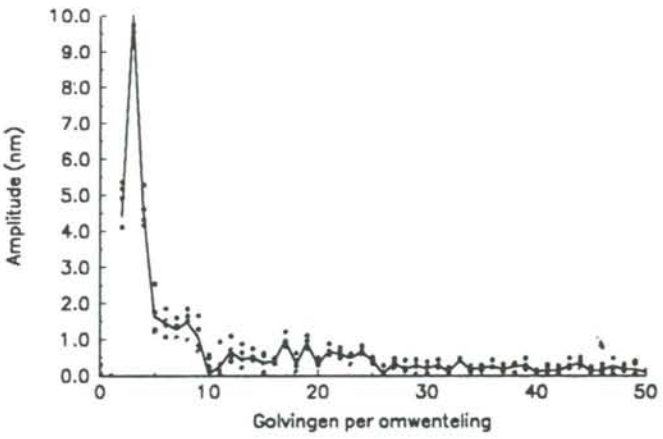
De standaardonzekerheid behorend bij



Figuur 10. Rondheidsdiagrammen van vier onafhankelijke metingen.



Figuur 9. Frequentiekarakteristiek van de taster.



Figuur 11. Amplitudespectrum van vier onafhankelijke metingen.

elke onzekerheidscomponent, indien de meetmethode zoals geschetst in figuur 6 wordt gebruikt, wordt als volgt berekend:

- 'ruis' in de taster (type A);
  De standaardafwijking in elk meetpunt bedraagt 8 nm per meting. Wanneer een gemiddelde uit 40 metingen wordt genomen wordt dit $8/\sqrt{40} = 1{,}3$ nm.
- niet-reproducerende spilbeweging na stilzetten (type A);
  Hiervoor vonden we een waarde van 3,2 nm per meting volgens de omslagmethode (figuur 1). De procedure volgens figuur 6 leidt tot twee van deze bepalingen, hetgeen de standaardonzekerheid reduceert tot $3{,}2/\sqrt{2} = 2{,}3$ nm.
- kalibratie van de taster (type B);
  In het voorgaande werd geconcludeerd dat de maximum afwijking van de taster 3 nm (top-top) bedraagt. Wanneer we dit opvatten als een onzekerheid op basis van een dubbele standaardafwijking, volgt hieruit een standaardonzekerheid van 1,5 nm.
- axiale spilbeweging (type B);
  Bij metingen aan glazen halve bollen moet nog rekening worden gehouden met een component van de axiale spilbeweging. Aangezien de standaard onder een hoek van 30° wordt aangetast zal de axiale spilafwijking van 0,02 µm nog een invloed hebben van 0,01 µm (0,03 µm . sin(30°)). Deze wordt verder gereduceerd met een factor 2, dus maximaal 5 nm. Als we deze 5 nm opvatten als het maximum van een onzekerheidsverdeling met een rechthoekige vorm, wordt de standaardonzekerheid $5/\sqrt{3} = 2{,}9$ nm.

Bovenstaande beschouwing kan worden samengevat in het volgende onzekerheidsbudget voor de kalibratie van een glazen halve bol in de posities van figuur 6:

Onzekerheidsbron	Standaard-onzekerheid(1σ)	Invloed op eindresultaat (1σ)
kalibratie taster	1,5 nm	1,5 nm
herhaalbaarheid meting	8 nm	$8/\sqrt{40} = 1{,}3$ nm
reproduceerbaarheid spilbeweging	2,5 nm	$2{,}5/\sqrt{2} = 1{,}8$ nm
axiale spilbeweging	12 nm	2,9 nm
totaal (kwadratische som)		4,1 nm

Het resultaat is een standaardonzekerheid van 4 nm in elk van de 1024 punten van een rondheidsdiagram. De onzekerheid gebaseerd op de dubbele standaardafwijking (2σ) wordt daarmee 8 nm. De onzekerheid in de totale rondheidsafwijking, de top-top waarde, gebaseerd op 2σ, wordt dan $8 \cdot \sqrt{2} = 12$ nm. Bij de meting van een kogel (geen invloed van axiale spilbeweging) wordt dit 8 nm; met de kogel ook 90° en 270° gedraaid wordt het 6 nm.

De onzekerheid in de componenten van de harmonische analyse is moeilijk te bepalen. Hoewel de herhaalbaarheid, met name bij hogere harmonische componenten, binnen enkele tienden van een nanometer ligt, is de herleidbaarheid (via de tasterkalibratie) beperkt tot 3 nm. Een uitgebreider analyse zou per harmonische component moeten plaatsvinden en valt buiten het kader van dit artikel.

Ringvergelijkingen

Begin 1994 is deelgenomen aan een ringvergelijking van rondheidsstandaarden. Hierbij zijn gemeten: een glazen halve bol met een rondheidsafwijking van circa 20 nm; een keramische kogel met een rondheidsafwijking van circa 45 nm (van deze kogel zijn de voorbeelden in dit artikel afkomstig) en een keramische kogel met een rondheidsafwijking van circa 900 nm. Omdat de ringvergelijking nog niet officieel is beëindigd zijn alleen informeel resultaten bekend. Deze resultaten geven aan dat bij de 20- en 40 nm standaarden het NMi hooguit enkele nanometers verschilt met het gemiddelde van de 'beste laboratoria'. Bij de '900 nm' kogel was dit minder dan 10 nm; hiervoor geldt echter een andere onzekerheidsberekening dan de bovenstaande.
Een tweede bevestiging van de berekende onzekerheid werd gevonden uit een ringvergelijking met Taiwan: als object diende hierbij een glazen halve bol waarbij een rondheidsafwijking werd gemeten van 9 nm. Het is uiterst onwaarschijnlijk dat een zo kleine rondheidsafwijking kan worden gemeten indien de onzekerheid van de meetmethode groter is.
Deze ringvergelijkingen geven een onafhankelijke bevestiging van het feit dat nu rondheidsmetingen mogelijk zijn met een onzekerheid van rond circa 10 nm.

Conclusie

De in dit artikel besproken methode voor de kalibratie van rondheidsstandaarden en zeer vormzuivere objecten leidt tot een herleidbare meting met een onzekerheid in de rondheidsafwijking van maximaal 12 nm. De onzekerheid is in ringvergelijkingen bevestigd en is vergelijkbaar met het best haalbare in andere standaardeninstituten. De kalibratie is beperkt tot standaarden waarbij de rondheidsafwijking bepaald wordt door harmonische componenten met een frequentie beneden circa vijftig golvingen per omwenteling.

Literatuur

[1] J.D. Whitehouse; A best fit reference line for use in partial arcs; Journal of Physics E 6(1973) pp 921 – 924.
[2] J.W. van Beek; Harmonische analyse bij rondheidsmetingen; Mikroniek 2(1993) pp 49 – 52, 1993.
[3] NEN-ISO 4291; Meting van variaties in straal; NNI, 1987.
[4] R. Thalmann en J. Spiller; Rundheitsmessung mit Nanometer-Genauigkeit; OFMET-info 2(1994) pp 10 – 13.
[5] A. Leistner and W. Giardini; Fabrication and testing of Precision Spheres; Metrologia 28(1992) pp 503-506.
[6] A. Sacconi; Intercomparison of high accuracy roundness measurements; BCR information applied metrology, Report EUR 14662 EN, Brussel, 1993.
[7] Guide to the expression of uncertainties; ISO, Geneve (1993) ISBN 32-67-10188-9.

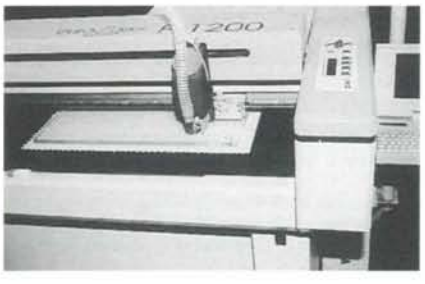
Auteursnoot

De auteur, Dr. H. Haitjema is als wetenschappelijk medewerker werkzaam bij het Nederlands Meetinstituut, Van Swinden Laboratorium BV, Afdeling Fysische Standaarden te Delft.

Produktinfo

CO_2 lasersnijsystemen

Optilas BV brengt CO_2 lasersnijsystemen op de markt gebaseerd op de combinatie van een plottertafel en een laser. De compact gebouwde machines zijn leverbaar met verschillende tafelafmetingen en laservermogens en kunnen CAD-CAM worden gestuurd via een PC.
De gebruikte lasers zijn van het zogenaamde Waveguide CO_2 type, die geen lasergas verbruiken en waarvan de spiegels niet schoongemaakt hoeven te worden.
De laserplotter is geschikt om te snijden, graveren, boren/perforeren en zelfs lassen van plaatmateriaal, kunststoffen, papier/karton, hout, keramiek, staal en vele andere materialen kunnen ermee worden bewerkt. Met laserbewerking kunnen complexe vormen worden gerealiseerd, zonder nabewerking. Het is een schoon proces met een minimum aan afval, hoge precisie en zeer weinig lawaai.
Voorbeelden van toepassingen zijn: prototyping, 3D-modelling, graveren, snijden van verpakkingen, puzzels, etc.



Voor uitvoerige info:
Optilas BV
Postbus 222
2400 AE Alphen a/d Rijn
Telefoon: 01720 - 31 234
Fax: 01720 - 43 414.

Compacte precisieverplaatsers

Newport / Micro-Controle voert een nieuwe compacte precisieverplaatser die een resolutie heeft van 0,05 micrometer; te verkrijgen met stappen- of servomotoren. De snelheid is maximaal 0,2 mm/s bij een slag die kan variëren van 4 tot 25,4 mm; uit te oefenen kracht maximaal 120 N. De afmetingen zijn 115 x 46 x 22 mm; bevestiging met M12 x 0,5.
Het aansturen kan indien gewenst gebeuren vanuit de PC-bus.

Nauwkeurige draaitafels

Newport / Micro-Controle levert draaitafels die een massa tot 420 kg kunnen verdraaien met nauwkeurigheden van 0,01° of 0,001° met een snelheid van 40°/s.
Door een dubbele rij voorgespannen recirculerende kogellagers wordt een grote stijfheid gegarandeerd. De concentriciteit bedraagt 2 micrometer. De as van rotatie is binnen enkele microradialen evenwijdig aan de theoretische draaias. Niet alleen voor test- en meetsystemen, maar ook voor produktie zijn deze tafels geschikt. Uitvoeringen met servomotor en met stappenmotor zijn standaard te verkrijgen.

Voor uitvoerige informatie:
Newport / Micro-Controle
Regulierenring 9
3981 LA Bunnik
Telefoon: 3405 -70 101.

Filters voor siliconenvrije perslucht

In veel industriële toepassingen kampt men met het probleem dat de gebruikte perslucht niet voldoende zuiver is. De aanwezige olie- en vetdeeltjes worden meestal met filters uit de perslucht verwijderd. Een groot probleem vormen echter de vrij in de lucht voorkomende siliconendeeltjes. Vooral in lak- en verfspuitinrichtingen en in de elektronica-industrie is een volkomen siliconenvrij fabricageproces een noodzaak, omdat siliconendeeltjes slechte lak- en verfresultaten veroorzaken en de produktkwaliteit van de elektronica-componenten beïnvloeden.
Door Ultrafilter is, in samenwerking met Mercedes Benz, Audi, Volkswagen en Opel, een serie anti-siliconenfilters ontwikkeld die borg staat voor perslucht de volkomen vrij is van siliconen, olie en vet.

Voor uitvoerige informatie:
Ultrafilter International
Zoomstede 16
3431 HL Nieuwegein
Telefoon: 03402 - 30 049
Fax: 03402 - 55 294.

Instrument makerij

Leitec Instruments

Tomatenstraat 4, 2321 HG
Leiden, tel 071-76 55 07

metaal
kunststof

tevens
micro
argon/arc

main supplier

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

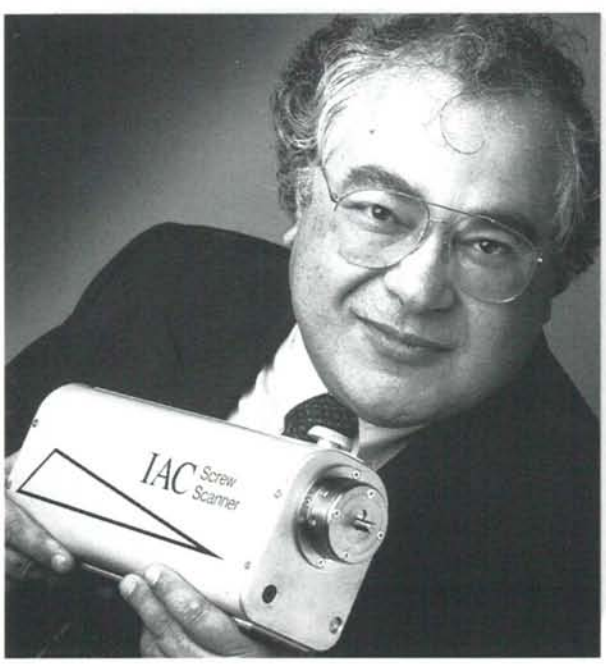
Onze fijnmechanische kennis van serieproductie en assemblage is gebaseerd op onze intensieve contacten met de Zwitserse fijnmechanische industrie. Daardoor zijn wij tevens in staat u bij de engineering en product-optimalisatie ter zijde te staan.

GROOT IN HET KLEINE

micro montage

Postbus 3108 - NL 3760 DC SOEST - Holland

DE NIEUWE IAC SCREW SCANNERS MAKEN HET ONMOGELIJKE NU TOCH MOGELIJK



De IAC SCREW SCANNERS maken definitief een einde aan het traditionele meten van schroefdraden.
Eén Screw Scanner vervangt honderden kalibers, driedraads-meetbanken, tweekogel binnenmeetinstrumenten, spoedmeet-inrichtingen, microscopen met meetmesjes, etc.

Eenvoudig te bedienen
Door onze krachtige technologie kan iedereen direct met één druk op de knop inwendige en uitwendige schroefdraden meten met een nauwkeurigheid en een snelheid waarmee de meest ervaren meet-technicus niet kan wedijveren, zelfs niet met de beste conventionele apparatuur. De hele meting verloopt volautomatisch in 10 tot 15 seconden. Ook de verwerking van de meetresultaten tot spoed, flankendiameter, tophoeken, kerndiameter, buitendiameter en de profielcontrole wordt volledig automatisch uitgevoerd.

Te meten objecten:
Inwendige en uitwendige schroefdraden, conisch of cilindrisch. Alle bekende soorten: Metrisch, Whitworth, Unified, R, BSP, PG, S, etc. Er zijn Screw Scanners voor werkplaatsmetingen aan werkstukken en er zijn Screw Scanners voor de meest nauwkeurige kalibraties van kalibers.

Meetbereiken: vanaf M3 inwendig en groter.

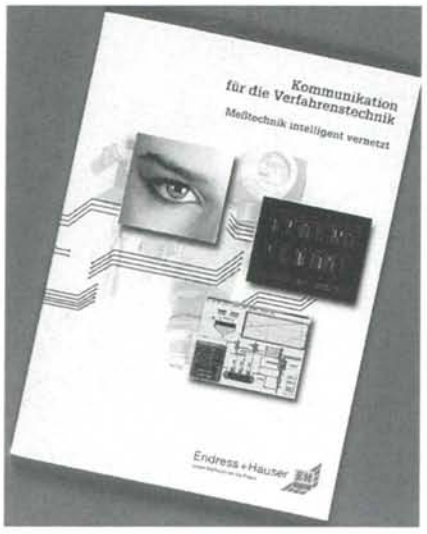
Neem contact op met de UITVINDERS.

IAC

MEET BEDRIJF VOOR DE INDUSTRIE

GEOMETRISCHE INGENIEURS – NKO ERKENDE MEETTECHNICI
POSTBUS 2115 7801 CC EMMEN HOLLAND
TELEFOON 05910 – 42721/44103 FAX 05910 – 43139

Communicatie handboek

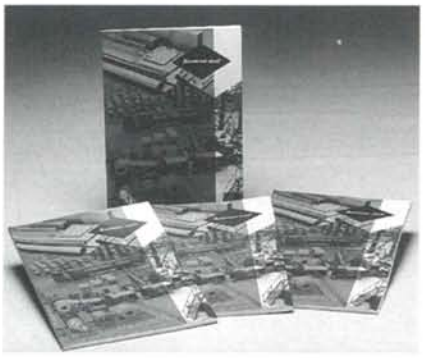


Voor degenen die te maken hebben met digitale communicatie bij instrumentatie brengt Endress + Hauser het Communicatie handboek, Duitse taal, 144 pagina's dik. Het geeft een overzicht van de basisbegrippen van de communicatie techniek, zoals het ISO referentiemodel, verschillende communicatiemedia en interfaces. ook wordt aandacht geschonken aan de smart protocollen (compacte intelligente sensoren met een 4-20 mA signaal en daarop een gesuperponeerd communicatieprotocol), zoals Intensor en DE.
Daarnaast worden veldbusprotocollen, zoals CAN, Profibus, FIP, Interbus-S en ASI, die tegenwoordig een behoorlijk marktaandeel in de industrie bezitten, op overzichtelijke wijze weergegeven.
Prijs: *f* 25,- per stuk.

Voor uitvoerige informatie:
Endress + Hauser BV
Postbus 5102
1410 AC Naarden
Telefoon: 02159 - 58 611
Fax: 02159 - 58 825.

Roestvaststaal brochure

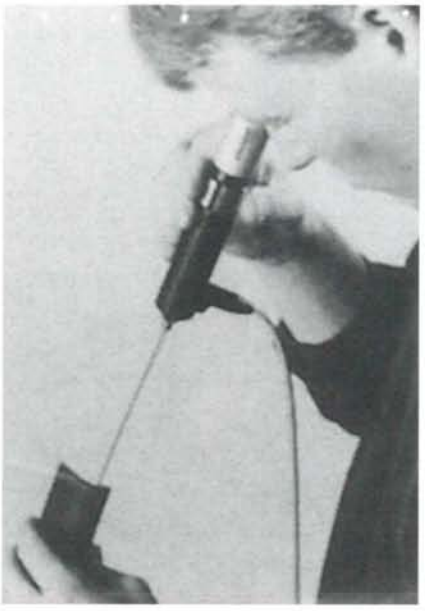
Metaalcompagnie Brabant BV heeft een nieuwe roestvaststaal brochure die een compleet overzicht geeft van het voorraadprogramma en de af-fabriek mogelijkheden van de volgende produktgroepen: warmvervaardigde staf, blanke staf, buizen, platen, bevestigingsartikelen, toevoegmaterialen voor het lassen.
De brochure bevat ook een hoofdstuk Technische gegevens waarin zaken als normalisatie, oppervlaktebehandeling, verbrossing en vele andere zaken uitvoerig aan de orde komen.



Voor kosteloze toezending:
Marketing Services MCB
Telefoon: 04902 - 88 333
Fax: 04902 - 43795.

Endoscopen

Als u binnenin een apparaat wilt kijken voordat het helemaal gedemonteerd wordt kan een flexibele endoscoop een eerste oplossing zijn. Starre, flexibele en video-endoscopen maken het onzichtbare binnenste zichtbaar. Corrosie, scheurtjes en sedimentatie kunnen zo tijdig worden ontdekt en verholpen. Starre verlengbare endoscopen zijn leverbaar tot 30 meter; verder heeft het Mera-programma starre endoscopen met glasvezelverlichting, met diameter vanaf 1 mm, flexibele endoscopen met diameter vanaf 1 mm en video-endoscopen tot 30 meter.



Voor uitvoerige informatie:
Mera Benelux BV
Postbus 77
5056 ZH Berkel-Enschot
Telefoon: 013 - 334 411
Fax: 013 - 332 039.

Optische en inductieve sensoren

Met haar inductieve en optische naderingsschakelaars beschikt Festo BV over een breed programma van veelzijdige toepasbare signaalgevers. Contactloos en dus storingvrij als ze zijn, vormen ze uitstekende vervangers voor mechanische eindschakelaars. Voorbeelden: registreren van toerentallen, herkennen van metalen objecten.

De optische sensoren registreren tevens objecten waar geen metaal in zit. Tevens zijn ze ongevoelig voor mechanische storingen. Ook hebben ze als voordeel dat ze afstanden tot 10 meter kunnen overbruggen. Voor veel problemen heeft men een oplossing, zoals het detecteren op moeilijke plaatsen met behulp van vezeloptiek.

Voor uitvoerige informatie:
Festo BV
Postbus 530
2600 AM Delft

MECHANICAL PARTS PRODUCTION
Delft Instruments

MPP DELFT INSTRUMENTS

Röntgenweg 1, 2624 BD Delft
Postbus 483, 2600 AL Delft
Telefoon: 015 - 698500
Fax: 015 - 571352

MPP
MPP (Mechanical Parts Production) is een dynamisch bedrijf met tientallen jaren ervaring op het gebied van fijnmechanische fabricage en comakership, een ervaring opgedaan bij de vervaardiging van onderdelen voor de apparatuur van Delft Instruments.

Kwaliteit
Inzet, toewijding en kunde staan bij MPP hoog in het vaandel. Zo kan MPP een uitstekende kwaliteit van haar produkten waarborgen. Bij MPP wordt dan ook volgens ISO 9002 gewerkt.

Co-makership
Dankzij de jarenlange ervaring in het samenwerken met anderen voor fabricage van onderdelen, bouwden de MPP-medewerkers een grote expertise op in het projectmatig werken, waarbij het co-makership altijd als uitgangspunt geldt. Dit betekent dat al bij de ontwikkelingsfase van een produkt wordt meegedacht.

Doelstelling
MPP wil met de klanten Comakership relatie opbouwen. Een relatie die gebaseerd moet zijn op een wederzijds vertrouwen in elkaars mogelijkheden en die gericht is op zo gunstig mogelijke marktcondities voor die klant. Nauwe samenwerking en goede afspraken moeten leiden tot de juiste prijs/prestatie verhouding.

Kontaktpersonen:
W.H.H. Evertsz
tel: 015 - 698666
H.J. Berbée
tel: 015 - 698538

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

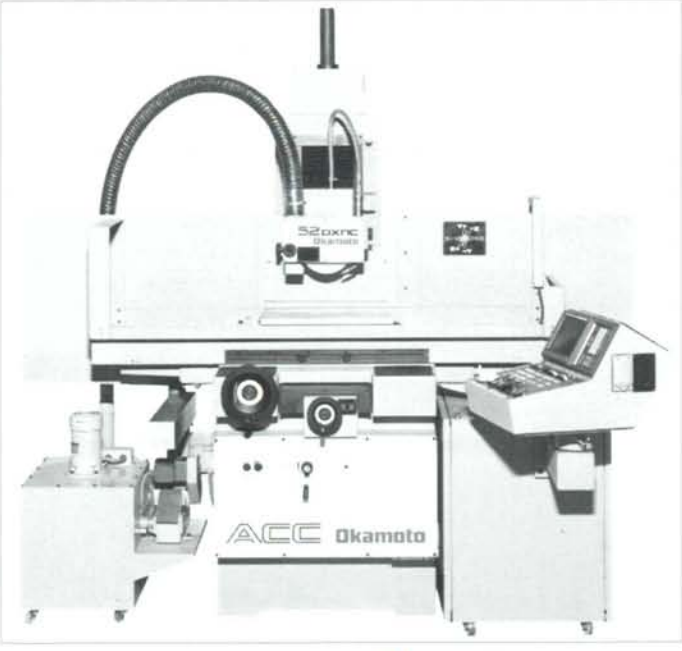
PHYSIK INSTRUMENTE
is uw partner

Laat u uitnodigen tot een oriëntatie.
Voor uitgebreide informatie en produktkatalogus:
Tel. (31) 4998 75375
Fax (31) 4998 75373

APPLIED **LASER** TECHNOLOGY

De DXNC high-precision slijpmachine van Okamoto

Een volbloed onder de werkpaarden



Met Okamoto zet u een stuk high-tech op de werkvloer, waarmee u bijzonder snel en extreem nauwkeurig hardmetaal, keramiek en andere geharde en ongeharde materialen kunt bewerken, met als resultaat lagere kosten en een hogere kwaliteit.

De kompleetheid van de ingebouwde technologie, de eenvoud van de bediening, de stabiliteit en de precisie **(programmeerbaar vanaf 0,0001 mm !)** maken de DXNC-serie van Okamoto tot juweeltjes in uw machinepark.

Slijpbereik:

52 DXNC:	500 x 200 mm	84 DXNC:	800 x 400 mm
63 DXNC:	600 x 300 mm	95 DXNC:	900 x 500 mm
64 DXNC:	600 x 400 mm	105 DXNC:	1000 x 500 mm
65 DXNC:	600 x 500 mm		

De machine is in produktie te bezichtigen.

Bel voor meer informatie over deze unieke machines:

delba® **08362-21112**

Delba Precisie Techniek BV, Fax: 08362-27883, Postbus 108, 6940 AA DIDAM.

EXCELLENCE

IN MOTION

Kies uw specificatie... Anorad heeft de oplossing!

Anorad biedt u het meest uitgebreide assortiment van positioneersystemen in de industrie.

Als leverancier van totaaloplossingen levert Anorad alle essentiële componenten voor uw toepassing, met een uitgebreid aanbod van:

- Lineaire en roterende positioneertafels
- Luchtgelagerde produkten
- Lineaire servomotoren
- PC en CNC digitale servo-besturingen
- Constructiematerialen
- Software
- Klantspecifiek ontwerp en constructie

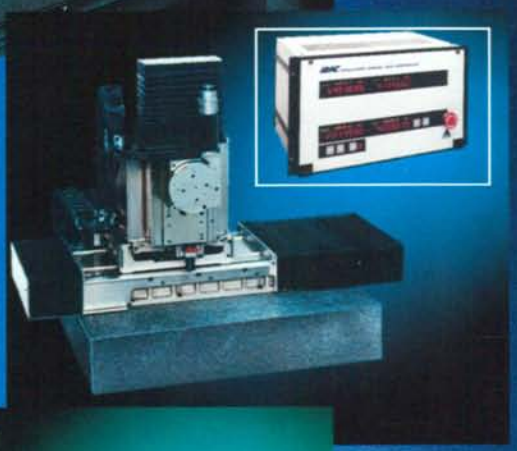
Anorad. Wij leveren meer dan standaardprodukten

Met een groep deskundige toepassingstechnici, die klaar staan om u van dienst te zijn, bent u verzekerd van een zodanige technische ondersteuning dat de meest geschikte technologie voor uw toepassing gekozen wordt.

Dus kies uw specificatie en vraag Anorad naar de oplossing...
Bel 04902-89238.

Microglide submicron luchtgelagerde systemen
- Resolutie tot 0,005 µm
- Nauwkeurigheid < 1 µm
- Laser interferometer positie terugkoppeling
- Constante snelheidregeling van 5 µm/s tot 250 mm/s
- Cleanroom compatibel

IDAC 2-assige, compacte, digitale servo-besturing



Anoride lineaire tafels
- Resolutie tot 0,04 µm
- Nauwkeurigheid 1-10 µm
- Gekruiste rollagers
- Hoge stijfheid/lange levensduur

Anoround rotatietafels
- Resolutie tot 1 µrad
- Nauwkeurigheid tot 5 µrad

IDAC 4-assige, compacte, digitale servo-besturing

Gantry (Portaal) positioneersystemen
- Resolutie tot 0,08 µm
- Nauwkeurigheid 4-20 µm
- Snelheid tot 2,5 m/s
- Korte bewegings- en uittriltijden

Anomatic III/DSP CNC-besturing

Anoguide linaire tafels
- Resolutie tot 0,1 µm
- Nauwkeurigheid 4-20 µm
- Snelheid tot 3 m/s
- Lange slaglengtes/hoge belastingen
- Industriële toepassingen

I-SERV voordelige servo/drive-combinatie

Anoline lineaire motoren
- Met/zonder borstels
- Onbeperkte slaglengtes
- Snelheid tot 3 m/s
- Versnellingen tot 40 m/s²
- Cleanroom/ vacuüm compatibele modellen

ANORAD

Anorad Europe bv
Waalreseweg 17, Valkenswaard
Postbus 792, 5550 AT Valkenswaard
Tel.: 04902-89238; Fax: 04902-46862