

jaargang 33, nummer 2

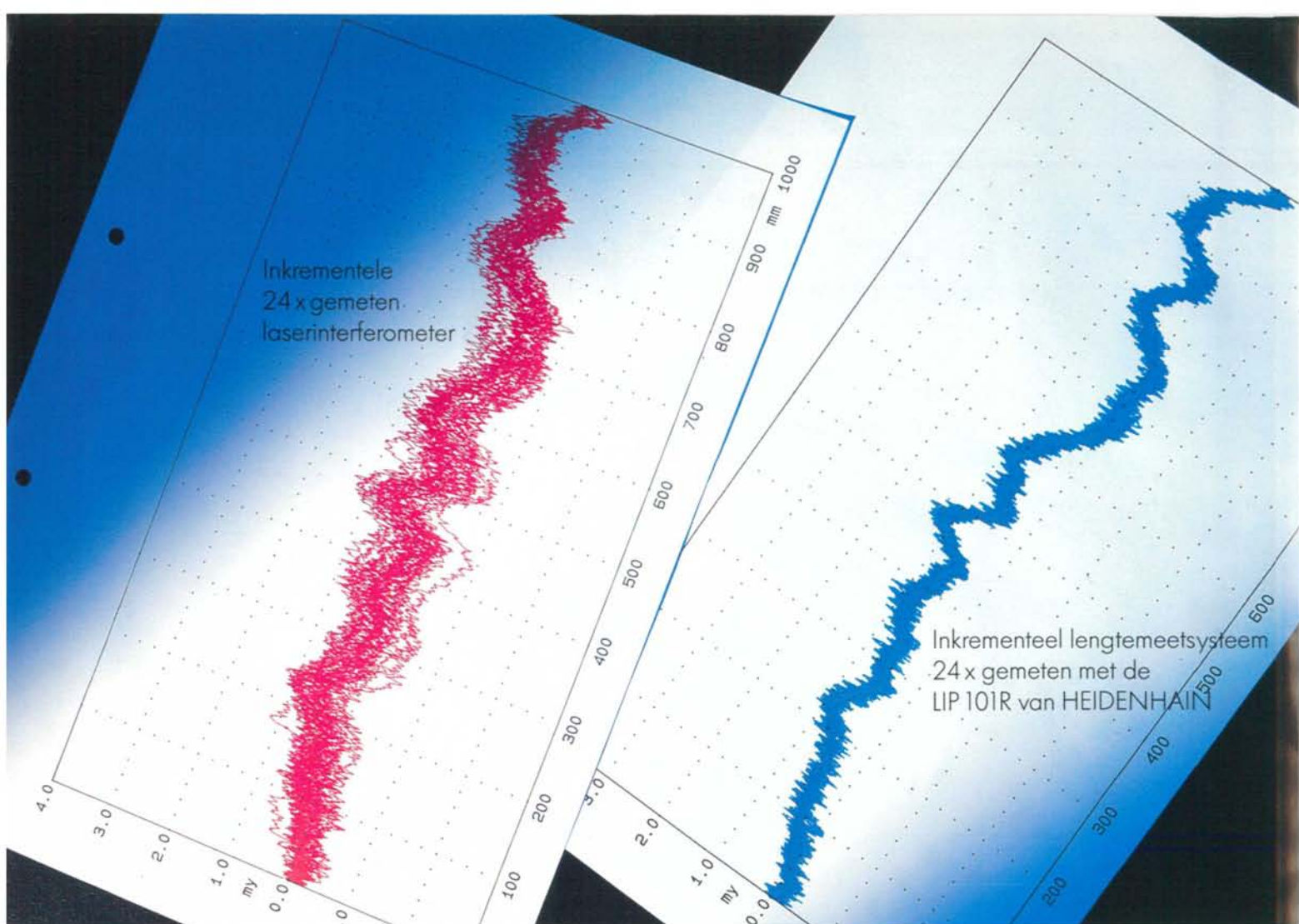
# Mikroniek

NVFT

VAKBLAD VOOR FIJNMECHANISCHE TECHNIEK



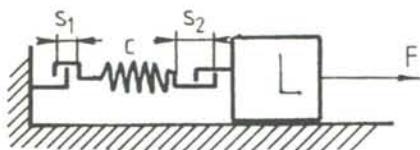
Folie-gieten – Manipuleren en instellen  
Rondheidsanalyse – Keramiek bewerken  
Software voor mechanismen



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

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





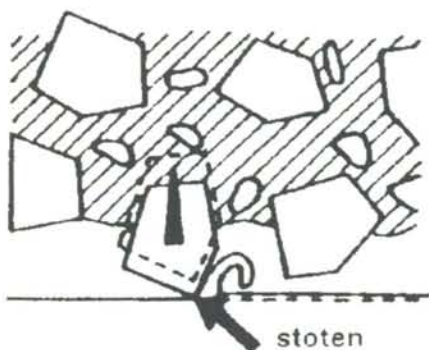
Zie pagina 40



Zie pagina 45



Zie pagina 50



Zie pagina 55

## In dit nummer

- 36 Editorial**  
Electronics '93
- 37 Verenigingsnieuws/Actueel**
- 39 Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren (11)**  
P.C.J.N. Rosielle, E.A.G. Reker, M.P. Koster
- 45 Gietwerk met zeer goede maatnauwkeurigheid**  
Ir. M. Breuning
- 49 Harmonische analyse bij rondheidsmeting**  
J.W. van Beek
- 53 Eigenschappen, fabricage en toepassing van technische keramiek (3)**  
J.J. Saurwalt
- 58 Simulatie-software voor mechanismen**  
Anton Honders
- 61 Produktinfo**

Bij de foto van de voorpagina:

Het dompelen van een wasmodellenboom in de keramische massa (onder) door een robotarm (rechts boven).  
(Foto M. Breuning.)

# BUREAU VAN DE KIEFT

MANAGEMENT CONSULTANTS SEDERT 1945

Onze relatie is een in de provincie Brabant gevestigde, sedert tientallen jaren bestaande

## gereedschappenindustrie

Gespecialiseerd en toonaangevend op het gebied van matrijzen, stempels en fijn-mechanische componenten voor de metaal- en kunststofverwerkende industrie en de micro-elektronica. Het financieelkrachtige en door de jaren heen uitstekend renderende bedrijf is uiterst modern geoutilleerd.

In opdracht van de Directie zoeken wij - in strikt vertrouwelijke sfeer - contact met gegadigden voor de functie van

## produktie manager

(toekomstig technisch adjunct-directeur)

Deze functionaris geeft via een aantal afdelingschefs leiding aan ca. 60 medewerkers en is met een grote mate van zelfstandigheid verantwoordelijk voor de hoogwaardige kwaliteit van de producten en de efficiency van de aan hem toevertrouwde organisatie.

Voor deze belangrijke en dan ook goed gehonoreerde "spil"-functie gaan de gedachten uit naar iemand, die aan de volgende verlangens voldoet:

- leider en organisator door natuurlijk gezag en eigen bekwaamheid;

- door eigen inzet in staat anderen te stimuleren en motiveren;
- voortdurend streeft naar optimale kwaliteit en efficiency;
- aantoonbare, succesvolle ervaring in een vergelijkbare functie;
- uitgebreide kennis van de moderne verspaningstechnieken;
- technisch HTS-niveau door opleiding en/of ervaring;
- leeftijd tot omstreeks 45 jaar;
- bereidheid zich in de regio van het bedrijf te vestigen.



Wij verzoeken belangstellenden (m/v) zich, bij voorkeur schriftelijk, te wenden tot de heer F.J.C. van de Kieft, Bureau Van de Kieft B.V., Herengracht 414, Postbus 19751, 1000 GT Amsterdam. Tel.: 020-6266838. Ons bureau, gespecialiseerd in executive search en rekrutering van top- en middenkader (lid O.A.W.S.), garandeert volledige discretie. Alleen na goedkeuring vooraf van de betrokkene worden gegevens aan onze opdrachtgevers verstrekt.



vereniging voor  
Fijnmechanische Techniek

**Uitgave:**  
NVFT

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

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

**Redactie-adviesraad:**  
Prof. Ir. A. Anemaat  
Prof. L.H.J.F. Beckman  
Prof. Dr. Ir. H.F. van Beek  
Prof. Dr. Ir. J. Bleeker  
Ing. H. Bosch  
Ir. P. Brinkgreve  
Ing. M.F. Dierselhuys  
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. Sniijders  
Ir. G. Vaessen  
Prof. Dr. Ir. A.J.A. Vandenput  
Ir. D. van't Veen

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

**Abonnementen:**  
Mikroniek  
J. Verkerk  
Postbus 80.004  
3508 TA Utrecht  
Telefoon: 030-531 710 / 531 639  
Fax: 030-522 267  
Abonnementskosten Mikroniek:  
Nederland f 100,- per jaar  
Buitenland f 125,- per jaar  
Alle prijzen excl. BTW

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

**Vormgeving:**  
Jurriaan Bol Design, Son

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

**Mikroniek verschijnt zes maal per jaar**  
ISSN 0026-3699

© Niets van deze uitgave mag overgenomen  
of vermenigvuldigd worden zonder nadruk-  
kelijke toestemming van de redactie.

## Editorial

# ELECTRONICS '93:

## Mechatronica tussen technéut en commercie

Wat is het verschil tussen een beurs en een museum? Een Picasso als lokkertje in een stand van Philips of Océ als sponsor voor het Van Gogh museum. Branchevervaging of waardetoevoegende synergie, volksverlakkerij of verheldering van een eerlijke boodschap. De marges zijn klein! De reacties blijken soms heftig, emotioneel.

Wanneer Hans Rietdijk, voorzitter van het Mechatronica Platform, bij de perspresentatie van de Mechatronics Trophy roept dat de beurs Electronics in de toekomst moet worden gekoppeld aan een Mechatronics-manifestatie, dan is dat een doorbraak. Een doorbraak voor mechatronica in het schemergebied tussen de technéut en de commercie, de verkoper.

De kreet "mechatronica" werd uitgevonden om schotten te doorbreken. Schotten tussen technéuten, tussen technische disciplines moeten (en moeten) weg om met de bestaande technieken betere resultaten te behalen. Als zodanig leek dat een probleem te zijn van de technéuten, zij communiceerden niet voldoende, niet goed met elkaar. Echter, de kreet "mechatronica" blijkt ook commerciële, marketing waarde te bezitten. En dat gaat vele kanten op.

Het innovatiegerichte, technische ontwikkel- en ontwerp bureau heeft nu eindelijk iets om zich mee te onderscheiden in de markt, om duidelijk te maken wat het betekent om "probleemoplossend" bezig te zijn. De elektronica- en de mechatronica-, werktuigbouw-, georiënteerde componentenleveranciers hebben nu eindelijk iets gemeenschappelijks als basis om met elkaar zaken te doen, in plaats van elkaar als concurrerende substituten te zien.

En, misschien wel het belangrijkste, de marketeers van Sony en Philips hebben met mechatronica een wapen in handen om te ontwikkelen en te produceren vanuit de vraag in de markt. Als de markt haar eisen stelt, de marketeer die eisen samen met de mechatronische ontwikkelaar vertaalt, dat kan geen enkele monodisciplinaire technéut meer zeggen dat zijn techniek eist dat de markt iets anders accepteert. Dankzij de mechatronica staan er immers twee of drie andere technische disciplines klaar om die eigenwijze technéut te passeren en wél te voldoen aan de marktvraag!

Zo illustreert de opkomst van het begrip mechatronica de omslag in de industriële ontwikkeling sinds, pakweg, 1960. Decennia lang zijn we vertrouwd geraakt met de technology push; nu krijgt de market pull-benadering weer de overhand. Maar laten we het gevaar onderkennen: de pull benadering vraagt minstens zoveel innovatiekracht. Misschien minder frequent, maar wel diepgaander, in het laboratorium. Zeker meer en vaker "in de markt", bij de toepasser. Nederland is daar traditioneel sterk in, vooral in de industriële markt.

Dáár ligt dus de uitdaging, bij de industriële toepassing van de nu voorhanden zijnde technieken en technologieën. Mechatronica kan daarbij een perfect hulpmiddel zijn tussen markt en techniek. Dat is ook de uitdaging waaraan bij de presentatie van Electronics '93 werd gerefereerd. Van 30 maart t/m 2 april moet in de RAI in Amsterdam blijken of de Nederlandse industrie zo alert is om dit op te pakken, juist nu!

drs. J.C. Groeneveld

## Verenigingsnieuws / Actueel

### Regionale Werkgroepen Noord en Twente

Themadag op 13 mei 1993.

In samenwerking met Innovatie Centrum Groningen

#### Fijnmechanische Constructies.

door ir. P.C.J.N. Rosielle en ir. P.

Brinkgreve, TU Eindhoven.

Een praktische dag met de volgende onderwerpen:

- Statisch bepaald construeren
- Het beheersen van vrijheidsgraden
- Manipuleren en instellen
- Elastische elementen
- Het verwijderen van speling
- Construeren op stijfheid
- Voorbeelden van constructies

Voorbeelden, modellen en gerealiseerde constructies zullen worden besproken.

Kosten inclusief lunch: leden NVFT f 125, studenten f 50, niet-leden f 250. Aanmelding: Secretariaat NVFT, tel: 040-473659 fax: 040-460645

### Regionale Werkgroep Utrecht

#### Matrijzen voor kunststofoptiek

door Ing. J.L. Broers.

Themaavond op 11 mei te Hilversum.

Hogeschool Utrecht, afd. Fijnmechanische Techniek

Kolhornseweg 25, 1213 RS HILVERSUM

#### Stereolithografie

Themamiddag op 8 juni.

Bedrijfsbezoek aan Modeling & Image Centre Nederland BV te Breukelen. Maximaal 20 deelnemers.

Aanmelding:

Secr. Regionale Werkgroep Utrecht,

Ir. A.A. van Oostveen,

Tel: 035-241951 of bij het secretariaat NVFT.

### Rectificatie

In het laatste nummer van vorig jaar, 32(1992)6, zijn enkele fouten geslo-

pen waar een attente lezer ons op heeft gewezen; van harte dank.

Het betreft het artikel "Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren (9).

Op pagina 161 in het kader, linker kolom onderaan, staat:

$$A13 = -\frac{b}{a} \cdot A14; \text{ dit moet zijn } \frac{b}{a} \cdot A14$$

$$A15 = \frac{b}{a}; \text{ dit moet zijn } -\frac{b}{a}$$

Verder zijn de maatlijnen b in de figuren 87 en 88 aan de onderkant verkeerd gepositioneerd, maar dit laat zich gelukkig gemakkelijk corrigeren.

In dit zelfde artikel bleek achteraf een tekstdeel niet te zijn geplaatst, dat wij, met excuses van de auteurs nu hieronder plaatsen. Het moet worden gelezen op pagina 161 in het verlengde van het hoofdstuk "Transformatiematrix":

Als in  $[q_u] = [T] [q_i]$  de matrix  $[T]$  de transformatie aangeeft van de ingaande coördinaten  $[q_i]^T = [u1, u2, u3, v1, v2, w]$  naar de uitgaande coördinaten  $[q_u]^T = [x, y, z, \phi, \psi, \theta]$  dan moeten de actuatoren worden gestuurd door het algoritme

$$[u1 \ u2 \ u3 \ v1 \ v2 \ w] = [T]^{-1T} [x \ y \ z \ \phi \ \psi \ \theta]$$

Aangezien de verplaatsingen  $x, y, z$  klein zijn t.o.v. de afmetingen ( $\ell$ ) en ook de hoeken  $\phi, \psi$  en  $\theta$  klein zijn, gedraagt zich de manipulator bij benadering lineair en worden de elementen van  $[T]$  constant genomen.

### Reologie

Workshop/seminar op 18 en 19 mei, Novotel te Brugge (B).

Verwerkbaarheid en fysische eigenschappen van veel produkten en half-fabrikaten in kunststof hangen nauw samen met het reologisch gedrag.

De kern van het seminar wordt gevormd door vier theorieblokken: inleiding reologie, reometrie, toepassingen reometrie en oscillatie-reologie. De

theorie blokken worden afgewisseld met practica. Meegebrachte produkten kunnen worden geanalyseerd en met een reoloog worden besproken.

Kosten: f 1450 inclusief overnachting en maaltijden, exclusief btw.

#### Voor nadere informatie:

Thermo Instrument Systems

Tel.: 076 - 713 717

Fax: 076 - 812 028

Mevrouw L. Graumans

of voor België:

Tel.: 09 - 3291 - 485 841

Fax: 09 - 3291 - 485 575

Mevrouw M. Audenaerd.

### Transferpunt voor ruimtevaart-technologie in Nederland

Ondernemingen in Nederland en elders in Europa kunnen voortaan gemakkelijker profijt trekken van technologie, ontwikkeld voor de ruimtevaart. Het European Space Agency (ESA) start een programma om de aanwezige know-how beschikbaar te stellen aan bedrijven buiten de ruimtevaartindustrie. In de verschillende Europese landen worden binnenkort transferpunten in het leven geroepen om de overdracht van kennis te bevorderen. Het Nederlandse transferpunt, dat deze maand operationeel wordt, staat onder beheer van de Vereniging FME.

Het TEST-programma (Transfer of European Space Technologies) van ESA beoogt ontwikkelde ruimtevaart-technologie beter toegankelijk maken voor derden. De transferpunten hebben tot taak om informatie te verschaffen over de aard en toepassingsmogelijkheden van specifieke technologieën. Daarbij streven zij ernaar het aanbod van technologie zo goed mogelijk af te stemmen op de behoeften van de industrie.

Het aanbod van ruimtevaarttechnologie is zeer breed en omvat onder meer materialen en constructies, mechanische componenten en systemen, auto-

mativering en robottechniek, elektrische en elektronische componenten en systemen, software, telecommunicatie, sensoren, medische technologie en energie.

Het Nederlandse transferpunt van ESA is bij de Vereniging FME ondergebracht vanwege de prominente intermediaire positie die FME reeds inneemt binnen de Nederlandse industrie. Aangesloten bij FME zijn ca. 1300 grote en middelgrote ondernemingen in de metaal-, elektronica- en elektrotechnische industrie en aanverwante sectoren.

Het ESA-transferpunt verleent haar diensten aan alle industriële ondernemingen in Nederland die daarvoor belangstelling hebben. Geïnteresseerde ondernemingen kunnen er terecht voor uitgebreide informatie over alle beschikbare ruimtevaarttechnologie.

Een catalogus met beschikbare technologieën kan **kosteloos** worden aangevraagd bij het transferpunt.

Het adres van het Nederlandse ESA-transferpunt luidt: postbus 190, 2700 AD Zoetermeer. Telefoon: 079 - 531 282, fax: 079 - 531 365. Coördinator van het transferpunt is de heer J.A. van der Spek.

## Technologische inspanning in Nederland te klein

Sedert het opheffen van de honoringsstop in april 1992 heeft de Stichting voor de Technische Wetenschappen, STW, ruim 250 aanvragen voor subsidie van technisch-wetenschappelijke onderzoeksprojecten ontvangen. Dat is rond 25 procent meer dan in normale jaren. Op 31 december 1992 was over 183 van deze aanvragen een besluit genomen. Het minimaal noodzakelijke budget om op verantwoorde wijze het technisch-wetenschappelijke onderzoek en de toepassing ervan te bevorderen, is naar schatting meer dan f 70 miljoen. De STW beschikt echter over nog geen tweederde daarvan. De technologische inspanning in Nederland is te klein en andere landen lopen steeds weer op ons uit.

Dat schrijft het bestuur van de STW in het zojuist verschenen jaarverslag 1992 van de Stichting. De werkgevers waarschuwen keer op keer, aldus het

bestuur, dat de toestand op technologiegebied zorgelijk is. En de Minister van Economische Zaken is op hun lijn als hij bepleit dat een opwaartse trendwijziging noodzakelijk is. Alhoewel in het zojuist verschenen Wetenschapsbudget 1993 van het Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen gesteld wordt dat het onderzoek beter op maatschappelijke vraag moet worden gericht – een prioriteit van de STW – is er in dat Wetenschapsbudget niet voorzien in een versterking van de STW door verschuiving van middelen. Dat stelt teleur.

### Programma

Het normale STW-programma is verdeeld in negen gebieden, die elk een eigen budget hebben voor de komende vijf jaar:

Biotechnologie (5 miljoen), Instrumentatie (30 miljoen), Milieutechnologie (20 miljoen), Kunstmatige zintuigen (10 miljoen), Computerondersteund Mechanica-onderzoek (7 miljoen), Spectroscopie (10 miljoen), Sensortechnologie (10 miljoen), Gewasbescherming (6 miljoen) en Micro-elektronisch ontwerpen (20 miljoen). De STW is van mening dat individuele projecten binnen deze programma-onderdelen de hoeksteen vormen van het onderzoeksbeleid. "Er gaat niets boven bilaterale contacten tussen onderzoekers en gebruikers en netwerkvorming rondom projecten", aldus het Bestuur.

### Zorgwekkend

Uit een recente evaluatie van de STW door de Nederlandse organisatie van Wetenschappelijk Onderzoek, NWO, mede onder verantwoordelijkheid van Economische Zaken, blijkt een positief oordeel over het werk van de STW. Het percentage tevreden onder projectindieners en gebruikers is zeer hoog. Uit eigen ervaring weet de STW, dat de aandacht en tijd die er in Nederland wordt besteed aan beleid en controle, zorgwekkende vormen aanneemt. Talloze onderzoekers in het veld verdoen een groeiend deel van hun tijd aan vergaderen en stukken schrijven, zonder dat het beleid daardoor aanmerkelijk verbetert. De STW is bereid haar bijdrage aan vergroting van de doelmatigheid te leveren.

## De computer in SOM-opleidingen

In 1990 heeft de SOM het eerste Computer Ondersteunende Onderwijspakket (COO) voor de SOM-opleidingen ingevoerd. De computer werd ingezet ter ondersteuning van het onderwijs in tekeningelezen. De gebruikmaking van de computer in SOM-opleidingen zet door. In de meest primaire gemoduleerde opleidingen zijn oriëntatiemodulen nieuwe technologieën verplicht. Voor deze modulen: *Oriëntatie Robots*, *Oriëntatie CNC Plaatwerken* en *Oriëntatie CNC Verspanen* (draaien) zijn nu naast de schriftelijke leermiddelen computer ondersteunende onderwijspakketten (COO) gemaakt. Elk pakket is opgebouwd uit modulen met een uitleg-, een oefen- en een toetsgedeelte. De cursist kan zelfstandig de onderdelen doorlopen. De resultaten van de toetsen worden in de computer opgeslagen.

### Voor nadere informatie:

Afdeling Specifieke Opleidingen van de sector Onderzoek en Innovatie van de SOM. Telefoon: 03480 - 109 55.

## SAM 2.1.

Vanaf april is de nieuwe versie SAM 2.1 verkrijgbaar voor de simulatie op de PC van willekeurige stangen-, riemen en planetaire mechanismen. De belangrijkste uitbreidingen zijn de zoom-optie, het importeren van CAD-informatie via het DXF-formaat en de mogelijkheid de rekennauwkeurigheid vrij te kiezen. Daarnaast kunnen door toevoeging van een nieuw element ook de lagerkrachten in bewegende scharnierpunten bepaald worden. Het geheugengebruik is geoptimaliseerd waardoor beduidend grotere mechanismen geanalyseerd kunnen worden. SAM is een goedkoop pakket, voor onderwijsinstellingen en studenten gelden speciale tarieven. Een bespreking van dit softwareprogramma vindt u elders in dit blad.

### Voor nadere informatie:

ARTAS - Technical Application Software, Het Puyven 162  
5672 RJ Nuenen  
Tel/Fax: 040 - 837 552.

# Fijnmechanische Constructies

**Themadag op donderdag 13 mei 1993 te Utrecht**

**voor de regio's Noord en Twente**

Een praktische dag waarbij theorie en praktijk naast elkaar worden gezet.

Waardoor wordt nauwkeurigheid bepaald?

Hoe worden ongewenste vervormingen in een constructie voorkomen?

Oplossingen die gelden ongeacht de grootte van de constructie worden aan de hand van de volgende onderwerpen besproken en met voorbeelden en gerealiseerde constructies verduidelijkt:

- Statisch bepaald construeren
- Het beheersen van vrijheidsgraden
- Manipuleren en instellen
- Elastische elementen
- Het verwijderen van speling
- Construeren op stijfheid
- Enkele bijzondere constructies

De inleiders, ir. P.C.J.N. Rosielle en ir. P. Brinkgeve (TU Eindhoven) hebben een ruime ervaring in het ontwerpen en fabriceren apparaten en systemen volgens deze principes.

Aanmelding bij het secretariaat van de NVFT, Postbus 6367, 5600 HJ Eindhoven of

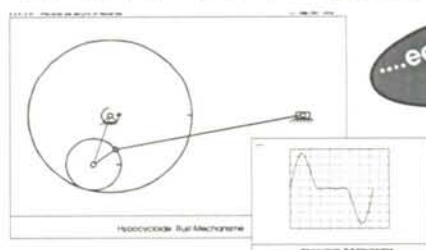
Fax: 040 - 460 645

Kosten inclusief lunch: NVFT-leden f 125, studenten f 50, niet-leden f 250

## MECHANISMEN ANALYSE OP DE PC

### SAM 2.1

Analyse van willekeurige stangen-,  
riemen en planetaire mechanismen



...eenvoudig  
uniek !!

v.a. hfl. 599,-

Onderwijsinst.  
Studenten  
Demo

hfl. 250,-  
hfl. 75,-  
hfl. 10,-

ARTAS - Technical Application Software Het Puyven 162 - 5672 RJ Nuenen - Nederland - tel/fax +31 (0)40 837552

Adverteren in  
**Mikroniek**

bel Buro Jet bv

tel: 070 - 3990000

fax: 070 - 3902488

## Wrijving, hysteresis, fixeren en microslip (deel 1)

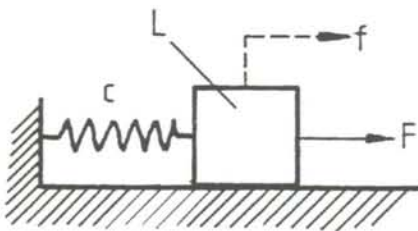
## Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren (11)

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

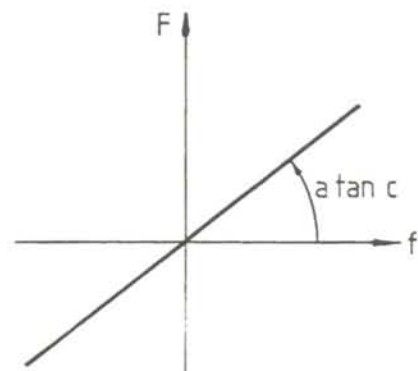
### Wrijving, hysteresis, fixeren en microslip

#### Hysteresis

Is een lichaam op zijn plaats gebracht, bijvoorbeeld door de in Mikroniek 32(1992)6 en 33(1993)1 beschreven werkwijze toe te passen, dan wil men het in die positie fixeren. Een belangrijke vraag die zich dan voordoet is of de gefixeerde positie ook inderdaad wordt gehandhaafd. Hierbij moet men denken aan de vraag of het lichaam in de originele positie terugkomt nadat het lichaam of het freem waarop het is gemonteerd, belast is geweest of nadat een inhomogene temperatuur-verdeling is opgetreden. In beide gevallen is er namelijk sprake van (elastische) vervorming van het lichaam ten opzichte van zijn omgeving. Treedt in de belaste situatie verschuiving op ter plaatse van de verbindende elementen,



Figuur 108.



Figuur 109.

dan is het vrijwel zeker dat in de onbelaste toestand de positie is veranderd. Een fraai voorbeeld is de c.v.-installatie, menigmaal zeker niet wrijvingsloos opgehangen en elke keer na het aanslaan van de ketel weer luideuchtig meedelend dat er warm water doorstroomt.

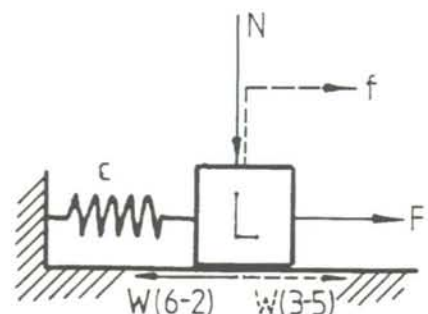
Hysteresis is hier het leidende begrip.

In figuur 108 is het lichaam (L) met een stijfheid (c) wrijvingsloos aan een freem verbonden.

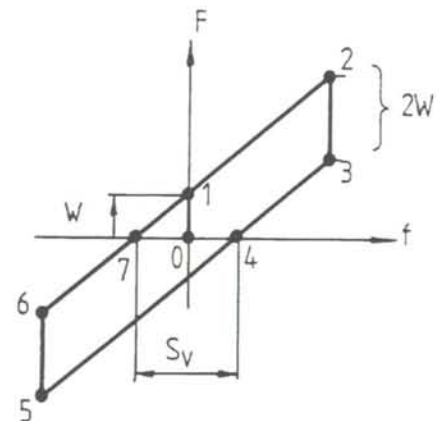
Het verband tussen de (elastische) verplaatsing (f) en de belasting (F) op L wordt in statische karakteristiek van figuur 109 weergegeven:  $c = dF/df$ .

Is er sprake van wrijving tussen het lichaam (L) en het freem, parallel aan de verbinding (met stijfheid c), zoals in figuur 110 aangegeven, dan moet eerst de wrijving overwonnen zijn,  $F > W$ , voordat L in beweging komt.

In figuur 111, de statische karakteristiek, stijgt de kracht van (0) naar (1), waarbij  $f=0$  blijft. Daarna wordt de verbinding elastisch vervormd bij toenemende  $F > W$ . Laten wij, vanaf (2), de belasting afnemen, dan blijft L in evenwicht (dus geen beweging) totdat het belastingsniveau  $2W$  is gedaald. De wrijvingsvector (W) is nu in zijn volle omvang van richting omgekeerd; het "inkrimpen" van de elastische constructie (c) kan nu beginnen, tot, bij (4) de belasting  $F=0$  geworden is. In (4) is (L) onbelast in evenwicht.



Figuur 110.  $W = \mu N$



Figuur 111.

Er is dan een uitwijking  $f_4 = W/c$ . Terugschuiven naar de uitgangspositie kan alleen door de kracht te veranderen tot  $F=-W$  (duwen dus). De volledige lus van figuur 111 wordt voltooid door de kracht in de negatieve richting op te voeren tot (5). Tenslotte sluit men vanaf (1) aan op het reeds getrokken deel van de hysteresislus.

De grootte van het deel 0-1 hangt af van de voorgeschiedenis van de constructie en is absoluut onvoorspelbaar. Bij het registreren van een hysteresislus is het raadzaam in elk geval door te gaan tot het eerste deel van de lus (1-2-3-4) een tweede keer is doorlopen, om er zeker van te zijn dat men de voorgeschiedenis kwijt is. Men kan de hysteresis immers zien als een geheugenmechanisme. Alle punten tussen 4 en 7 op de lijn  $F=0$  geven posities aan, waarin L in evenwicht is zonder externe belasting.

Deze plaatsonbepaaldheid noemt men de virtuele speling:

$$s_v = 2W/c,$$

omdat hij zich manifesteert als een plaatsonbepaaldheid zoals die zich ook voordoet in een mechanisme met speling.

De virtuele speling, tweemaal de wrijving gedeeld door de stijfheid, is klein als de wrijving klein is respectievelijk als de constructie stijf is.

## Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren (11)

Het mechanisme met de spelingen  $s_1$  en  $s_2$  van figuur 112 vertoont de statische karakteristiek van figuur 113, met een plaatsonbepaaldheid ter grootte van de som der spelingen.

Een mechanisme of constructie kan op meer plaatsen lijden aan hysteresis. Figuur 114 toont een statisch model van een mechanisme.

Aanbrengen van de aangroeiende kracht  $F$  zal, tot  $F = W_1$  slechts  $c_1$  doen uitrekken. Vanaf (1) begint  $L_1$  te slippen, nu wordt ook  $c_2$  uitgerekt; de stijfheid is  $1/(1/c_1 + 1/c_2)$ , tot in  $c_2$  een krachtniveau gelijk aan  $W_2$  is bereikt (2). Vanaf dat punt slipt ook  $L_2$ ; nu wordt bovendien  $c_3$  uitgerekt; de stijfheid is  $1/(1/c_1 + 1/c_2 + 1/c_3)$ .

Laten wij, vanaf (3) de kracht geleidelijk dalen, dan zal alleen  $c_1$  "inkrimpen" tot de kracht  $2W_1$  is afgenomen (4). Dan is de wrijvingsvector  $W_1$  volledig omgekeerd en slipt  $L_1$  zodat nu ook de stijfheid  $c_2$  kan "inkrimpen"; de stijfheid is nu  $1/(1/c_1 + 1/c_2)$ . Is in  $c_2$  de kracht met  $2W_2$  gedaald dan is  $W_2$  volledig omgekeerd; vanaf (5) slipt ook  $L_2$ .

De stijfheid is nu  $1/(1/c_1 + 1/c_2 + 1/c_3)$ , enz. De virtuele speling is  $s_v = 2(W_1 + W_2) \cdot (1/c_1 + 1/c_2 + 1/c_3)$ . Vergelijken wij figuur 115 met figuur 111 dan is duidelijk dat de aanwezigheid van hysteresis op meer plaatsen in de constructie aanleiding geeft tot verschillende hellingen na de krachtomkeerpunten.

**Voortschrijdend slipfront**

In het algemeen is de hysteresis over de gehele constructie verdeeld. Men zal dan ook een karakteristiek als

die van figuur 115a registreren, samenhangend met een door de constructie *voortschrijdend slipfront*, dat optreedt als de belasting vanaf nul toeneemt (punt 0), en na de omkeerpunten (3) en (7).

Het slipfront begint op de plaats waar de belasting aangrijpt en schrijft voort, in figuur 114 naar links. Een steeds groter deel van de constructie slipt. Als de krachtsverandering voldoende doorzet slipt op de duur de gehele constructie.

**Hysteresis in klemverbindingen**

In klemverbindingen, zoals die van figuur 116 wordt een belasting door middel van wrijving doorgeleid. Hierbij wordt in een wrijvingsvlak, belast door een normaalkracht, de belasting geleidelijk overgedragen. Aan weerszijden van de wrijvingsvlakken zal de belasting daarom niet dezelfde zijn.

Ook zal er in het algemeen geen gelijke stijfheid zijn van de aangrenzende constructiedelen. Deze beide redenen leiden ertoe dat er een ongelijke rekverdeling ter weerszijden van het wrijvingsvlak heerst. Uit het onderstaande zal dan ook blijken dat belastingsdoorleiding in een klemverbinding in het algemeen gepaard gaat met micro-slip.

In de constructie van figuur 116 is een relatief dunne plaat (p) ingeklemd tussen twee relatief dikke blokken (b), die in langsrichting (x) veel stijver zijn dan de ingeklemde plaat. De dwarscontractie bij het inklemmen laten we buiten beschouwing.

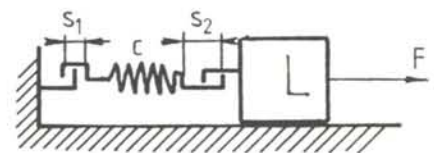
We nemen aan dat de normaalkracht in het wrijvingsvlak homogeen ver-

deeld is in de lengte- en breedterichting en dat de wrijvingscoëfficiënt uniform is.  $W$  is de wrijvingskracht per eenheid van inklemlengte.

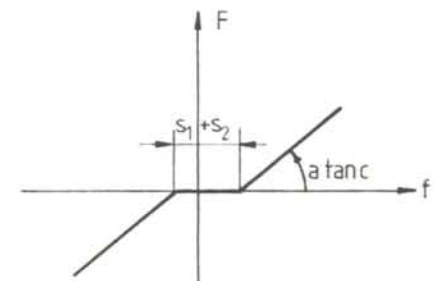
Voorts hanteren wij het aan de hand van figuur 115a geïntroduceerde begrip "voortschrijdend slipfront".

**Belastingstoename vanuit de spanningsloze toestand**

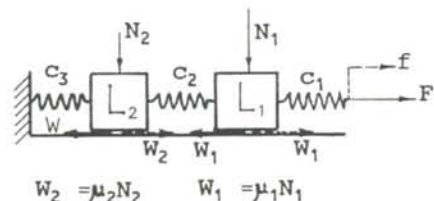
Als in figuur 116 de kracht  $F$  vanuit de spanningsloze toestand wordt opgevoerd, begint de strip vanuit C uit te rekken; er is vanaf  $F > 0$  onmiddellijk micro-slip. Bij een zekere  $F$  is het slipfront gevorderd tot een afstand  $s$ . In de



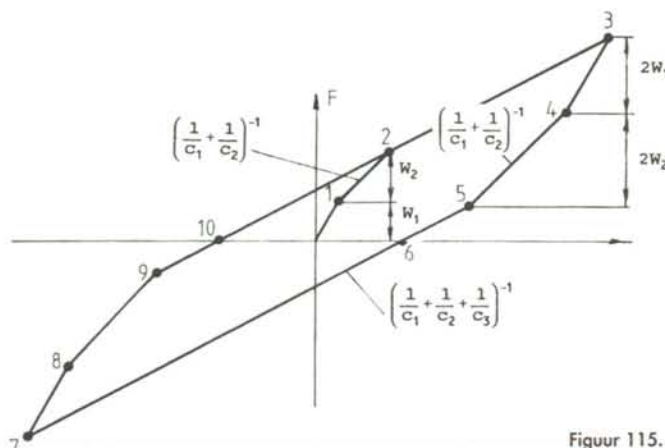
Figuur 112.



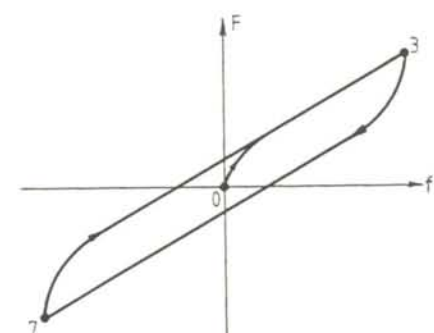
Figuur 113.



Figuur 114.



Figuur 115.



Figuur 115a.

doorsnede van de strip ter plaatse  $s$  geldt  $\sigma=0$ .

In het deel  $s$  van het wrijvingsvlak heerst de homogeen verdeelde wrijvingskracht ( $W$ ), immers in elk deel van dat vlak is slip opgetreden.

De stijfheid van de inklemming is gelijk aan die van het slippende plaatdeel. Dit geldt tot  $s=\ell$ , (figuur 116), waarbij  $\ell$  kleiner moet blijven dan de lengte van de bekken. Zodra de slipzone ( $s$ ) zich over de hele bek uitstrekt is er sprake van macro-slip. Dan glijdt de plaat uit de bekken en is de stijfheid gelijk aan nul.

#### Afname van de belasting

Als in figuur 117 na een top de belasting afneemt, begint vanaf  $P$  onmiddellijk het "krimpen" van de strip. De micro-slip en dus de wrijving zijn nu van richting omgekeerd. Er loopt nu een nieuw slipfront de constructie in, een front dat de grens vormt tussen de twee micro-sliprichtingen. Bij een belasting  $F < |W|\ell$  is het tweede slipfront gevorderd tot  $s$ . De doorsnede van de strip ter plaatse  $s$  is deze keer niet spanningsloos.

Ook nu is de stijfheid in de inklemming gelijk aan die van het slippende plaatdeel.

Alleen als de belasting varieert precies tussen  $-|W|\ell < F < |W|\ell$  ontstaat een gesloten hysteresislus. Dan is de virtuele speling gelijk aan:  
 $s_v = |W|\ell^2/(2EA)$ .

De virtuele speling is gelijk aan de helft van de rek in een plaat met een lengte gelijk aan de afstand waarover het slipfront bij de piekbelasting is doorgedrongen.

Een hysteresisarme inklemconstructie wordt bevorderd door de indringdiepte ( $\ell$ ) van het slipfront klein te houden. De in langsrichting verdeelde normaalkracht  $n=dN/dx$  moet dus groot zijn, hetgeen wordt gerealiseerd door een hoge vlaktedruk in de wrijvingsvlakken toe te laten.

#### Hysteresisvrije verbinding

Kenmerkend voor de met hysteresis behepte inklemming is het voortschrijdende slipfront. Als wordt gerealiseerd dat elk deeltje van het contactvlak op elk moment in gelijke mate bijdraagt aan de belastingoverdracht, dan treedt nergens micro-slip op. Eventuele

(macro-)slip treedt dan overal tegelijkertijd op.

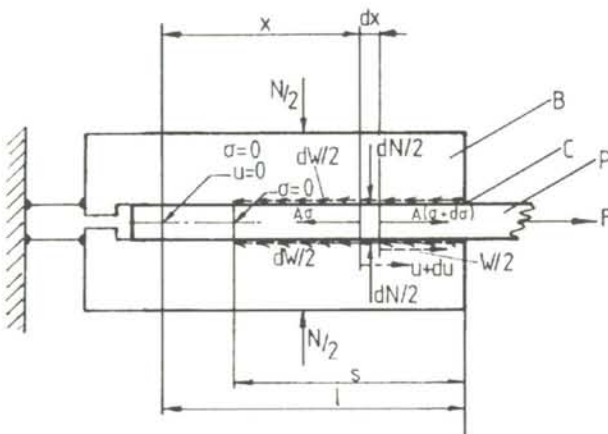
De plaatdikten dienen lineair te verlopen, zoals in figuur 118 is aangegeven. De verhouding der ongestoorde plaatdikten is de omgekeerde van die der respectievelijke elasticiteitsmoduli.

#### Lijmen

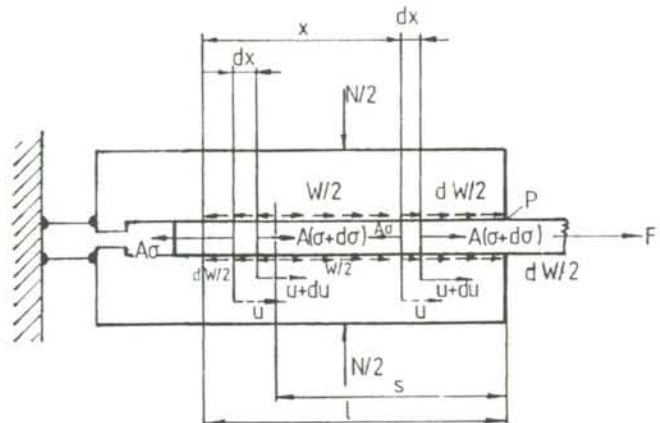
Een constructief probleem in figuur 118 is, hoe de gelijkmatig verdeelde normaalkracht aan te brengen met behulp van bekken met een naar nul verloopende doorsnede. Een lijmverbinding kan hier goed tot zijn recht komen. Immers, het gehele gelijmde oppervlak wordt in gelijke mate belast en een normaalkracht is niet nodig.

#### Het vlinderdasje

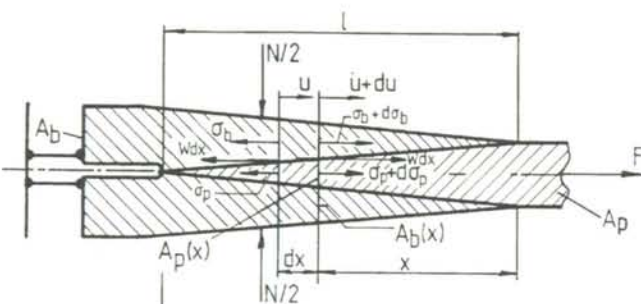
In figuur 111 en figuur 114 is de wrijving constant van grootte. Een veel voorkomend geval is echter dat de wrijving een functie is van de belasting op de constructie. Figuur 119 geeft zo'n geval schematisch weer. Bij aangroeiende belasting geldt:  $F \uparrow = f \uparrow c/(1-2\mu b/a)$ ; de stijfheid is dan  $c/(1-\mu')$ . Hierin is  $\mu$  de wrijvingscoëf-



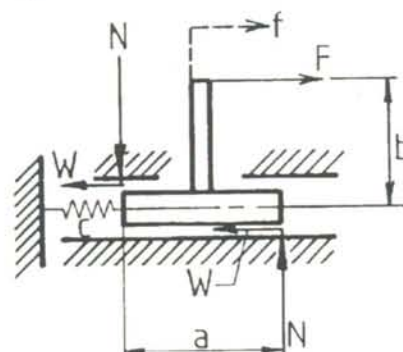
Figuur 116.



Figuur 117.



Figuur 118.



Figuur 119.

## Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren (11)

ficiënt en  $\mu' = 2\mu b/a$  de fictieve wrijvingscoëfficiënt.

Bij afnemende belasting geldt  $F \downarrow = f \downarrow c/(1+2\mu b/a)$ ; de stijfheid is dan  $c/(1+\mu')$ .

In het geval van de belastingsafhankelijke wrijving is de stijfheid afhankelijk van de vervormingrichting en van de (fictieve) wrijvingscoëfficiënt.

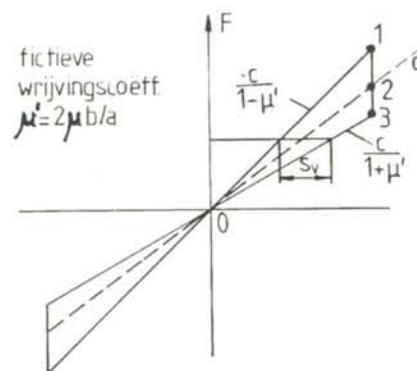
De virtuele speling is belastingsafhankelijk:  $s_v = F \cdot 2\mu'/c$ .

De eigenlijke stijfheid ( $c$ ) is ook in figuur 120 aangegeven. In deze figuur is 1+2 ongelijk aan 2+3!  $s_v$  is klein als

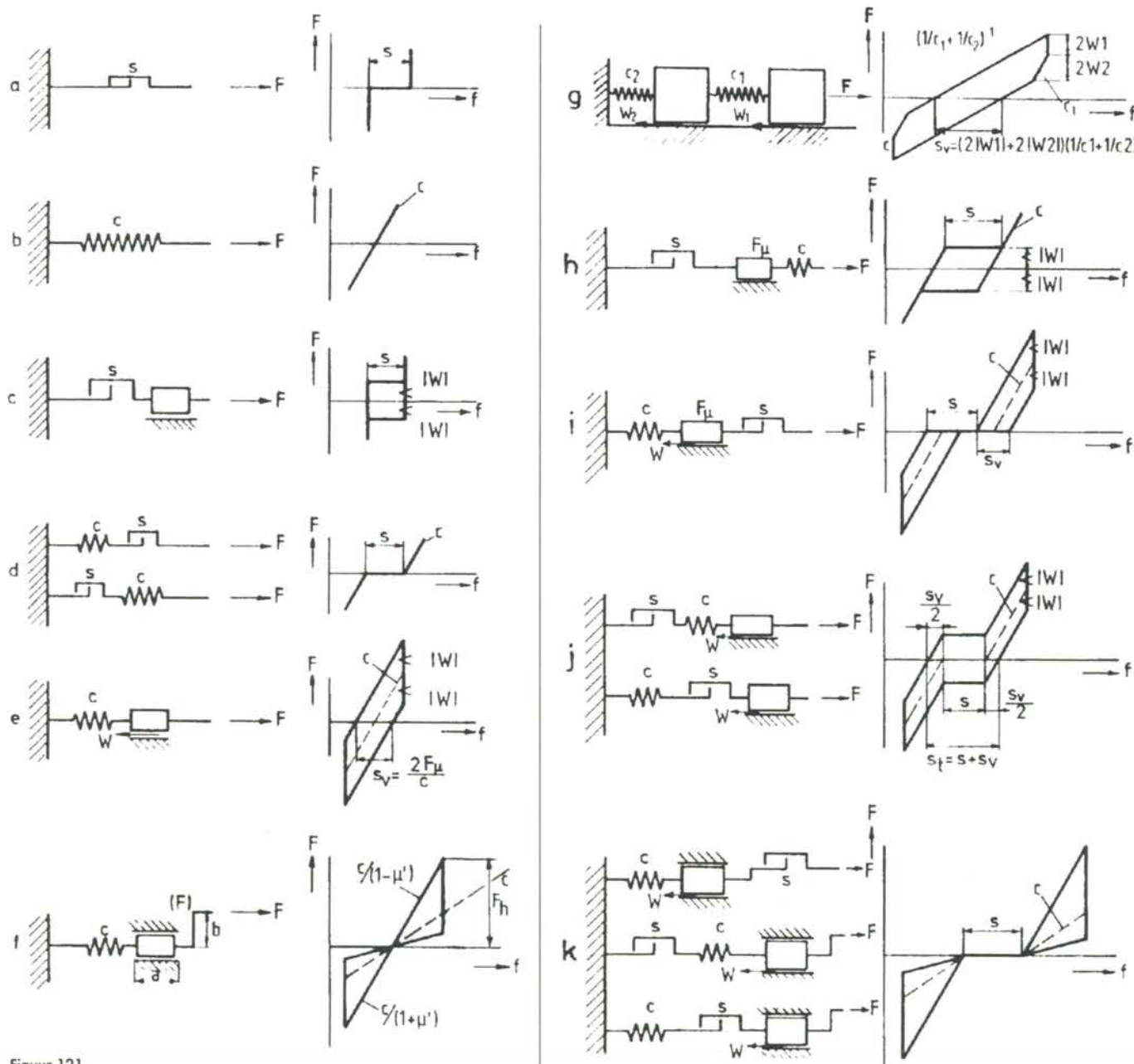
het niveau van de (voorspan)kracht ( $F$ ) laag is, respectievelijk als de constructie stijf is en natuurlijk als men met de constructie ver uit de buurt van zelfremmendheid (schranken) blijft. Dit laatste treedt op als  $2\mu b/a \geq 1$ .

### Statische karakteristiek als beoordelingsmaatstaf

Statische karakteristieken vormen een effectief hulpmiddel bij het beoordelen van de statische eigenschappen van een constructie of een mechanisme. Figuur 121 toont enkele karakter-



Figuur 120.



Figuur 121.

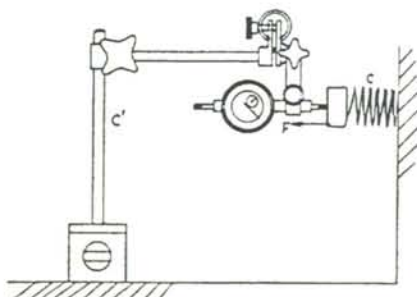
ristieken en de schema's die de bijbehorende constructies of mechanismen representeren.

Nadat een mechanisme aan zijn ingang geblokkeerd is, wordt aan de uitgang de verplaatsing gemeten als functie van de aan de uitgang aangebrachte belasting.

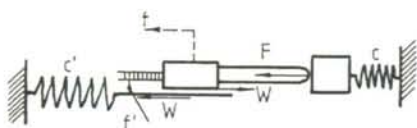
Men kan de stijfheid, de speling, en de hysteresis uitdrukken in een statische karakteristiek. Men geeft bijvoorbeeld in het F-f-vlak de contouren aan waarbinnen de statische karakteristiek van een nieuwe machine bij aflevering dient te liggen of men geeft aan bij de overschrijding van welke contour er revisie moet plaatsvinden.

#### Het meten van de statische karakteristiek

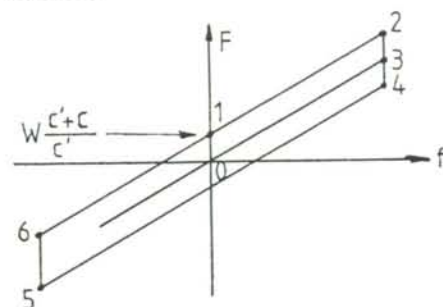
Het meten van hysteresislussen vereist een zekere routine. Zo is het, vooral bij het meten van grote stijfheden van belang een lichtlopende meetklok te gebruiken en deze heel stijf op te stellen. De opstelling van figuur 122, schematisch weergegeven in figuur



Figuur 122.



Figuur 123.



Figuur 124.

123, is er een waarbij de relatief lage stijfheid  $c'$  van het statief en de eigen wrijving van de meetklok ertoe kunnen leiden dat men ten onrechte een wrijving in de machine meent te constateren.

Een perfecte statische meting van het mechanisme met de stijfheid  $c$ , zou de statische karakteristiek  $0+3$  in figuur 124 hebben opgeleverd. Helaas wordt niet de verplaatsing  $f$  (figuur 123) gemeten; de meetklok registreert  $f'$ . Bij het opvoeren van de kracht ( $F$ ) belet de wrijving ( $W$ ) in eerste instantie de (relatieve verplaatsing)  $f'$ .

De meetklok beweegt pas vanaf  $f=W/c'$ . Dan is de belasting

$$F=W+fc = f(c'+c) = W(c'+c)/c'.$$

Tot dat punt is de verplaatsing, gemeten op de klok, nog steeds gelijk aan nul (punt 1 in figuur 122).

Ten onrechte wordt zo de statische karakteristiek  $2+4+5+6$  geregistreerd, terwijl  $0+3$  de werkelijke is.

Voor een goede meting is het dus belangrijk de meetklok stijf op te stellen ( $c'$  hoog) en te werken met een lichtlopende meetklok ( $W$  klein).

#### Voorbeelden van hysteresis-arme constructies

##### As-naaf-verbindingen

Het vastzetten van een naaf, een hefboom of tandwiel op een as geeft meestal aanleiding tot afwijkingen van de gewenste plaats. Immers, elke voor het vastzetten noodzakelijke aandrukking of klemming is het gevolg van een met kracht opgedrongen verplaatsing en deze verplaatsing brengt de naaf vrijwel steeds uit de ingestelde positie. De enige goede methode is in principe gebruik te maken van de alzijdige krimp van de naaf of uitzetting van de as. Voorbeelden hiervan zijn: opkrimpen van heetgestookte naven, inschuiven van in vloeibare lucht gekoelde assen, de hydraulische opgepompte krimpstof en het radiaal indrukken van dunwandige of als spantangen gedeelde naven door een klemconus, eventueel op enigszins conische schroefdraad of zelfs op zich in een spoed tegen de conus oprollende lagernaalden.

Is de plaats in axiale richting niet kritisch, dan kan men de voor het klemmen benodigde verplaatsing in axiale

richting leggen; bijvoorbeeld het vasttrekken van een schepsschroef of vliegwiel op een conische as en de klemconussen gebruikt voor het vastzetten van kogellagers.

In feite heeft de naaf ten opzichte van de as zes graden van vrijheid:  $x$ ,  $y$  en (axiaal)  $z$  en drie hoeken:  $\phi$ ,  $\psi$  en rotatie om de as  $\theta$ . De fout in  $x$  en  $y$  wordt meestal geïnterpreteerd als radiale slingering of excentriciteit  $e$ , de fout in  $\phi$  en  $\psi$  als een grootste axiale slingering  $s$  aan de omtrek. Gewoonlijk wenst men zowel  $e$  en  $s$  binnen zekere perken te houden; daarbij is de aspositie waaronder ze optreden niet van belang. In dit geval is het aantal relevante vrijheidsgraden nog slechts vier, te weten:  $e$ ,  $z$ ,  $s$  en  $\theta$ .

Het ligt nu voor de hand de "naaf-functie" op te splitsen over twee afzonderlijke onderdelen. Elk slechts verantwoordelijk voor twee vrijheidsgraden, zodat per onderdeel voldoende vrijheid overblijft voor de vóór het vastzetten noodzakelijke verplaatsing. In figuur 125 is een dergelijke oplossing getekend. Het ene onderdeel, de eigenlijke naaf, is een klemblok, bijvoorbeeld uitgevoerd als V-blok, met een zijvlak dat voldoende nauwkeurig loodrecht op de hartlijn van de te klemmen as staat. Men kan een goede nauwkeurigheid bereiken door bijvoorbeeld een asprop op een draaibank tot ongeveer de juiste asmaat af te draaien, dan het voorbereide klemblok erop te klemmen en vervolgens het zijvlak daarvan vlak te draaien. Een dergelijk klemblok is uitgesproken ongevoelig voor afwijkingen in asdiameter of rondheid; de as moet wel voldoende cilindrisch zijn want tapsheid leidt tot slingeren van het zijvlak.

Men stelt de gewenste  $z$ -coördinaten in en klemt het V-blok dan vast. Het eigenlijke tandwiel neemt de informatie omtrent  $z$  en  $s$  automatisch over van het V-blok als men het tegen het zijvlak aanschroeft. De boring is zo nauwkeurig uitgevoerd dat deze de excentriciteit binnen de gestelde perken houdt (hoewel "uitklokken" ook mogelijk is) terwijl de nauwkeurige waarde van  $\theta$  nog ingesteld kan worden alvorens men de schijf definitief op de naaf vasttrekt.

De diameter van de as in figuur 125 is

Het vacuümvormproces in folie (V.P.F.)

## Gietwerk met zeer goede maatnauwkeurigheid (2)

**Ir. M. Breuning**

### Inleiding

Het V.P.F. is van oorsprong een Japanse vinding (Sinto Kogyo Ltd). Het werd in dat land in 1971 voor het eerst toegepast voor het gieten van aluminium; in het begin uitsluitend voor gietstukken met een decoratieve functie. Het proces bleek zeer succesvol en de toepassing ontwikkelde zich voorspoedig.

Toepassing in de West-Europese industrielanden heeft enige tijd op zich laten wachten, wat waarschijnlijk aan zowel het voor traditionele zandvormgieterijen revolutionaire karakter van het proces heeft gelegen, als aan de noodzakelijke investeringen in nieuwe uitrusting.

Sinds 1981 hebben in Europa zo'n 33 gieterijen, hoofdzakelijk in Duitsland, een licentie via Wagner Sinto. De meeste passen het proces toe voor staal en gietijzer.

In 1986 startte een Nederlandse gieterij in Weert met de toepassing voor het gieten van aluminiumprodukten. Deze gieterij is overigens niet de enige in Nederland die het proces toepast; zie kader.

### Het principe van het V.P.F.

Net als in deel 1 van dit artikel voor het wasmodelgietproces is gedaan,

geven wij hier een beschrijving van het principe aan de hand van de verschillende processtappen.

Allereerst dient te worden opgemerkt dat bij dit proces, net als bij traditioneel zandgietwerk, gebruik gemaakt wordt van een positief, al dan niet gedeeld, model van het te gieten produkt. Voor dit model kunnen de gangbare materialen worden gebruikt, zoals hout, kunststof, metaal of combinaties hiervan.

De volgende processtappen kunnen worden onderscheiden, zie figuur 1.

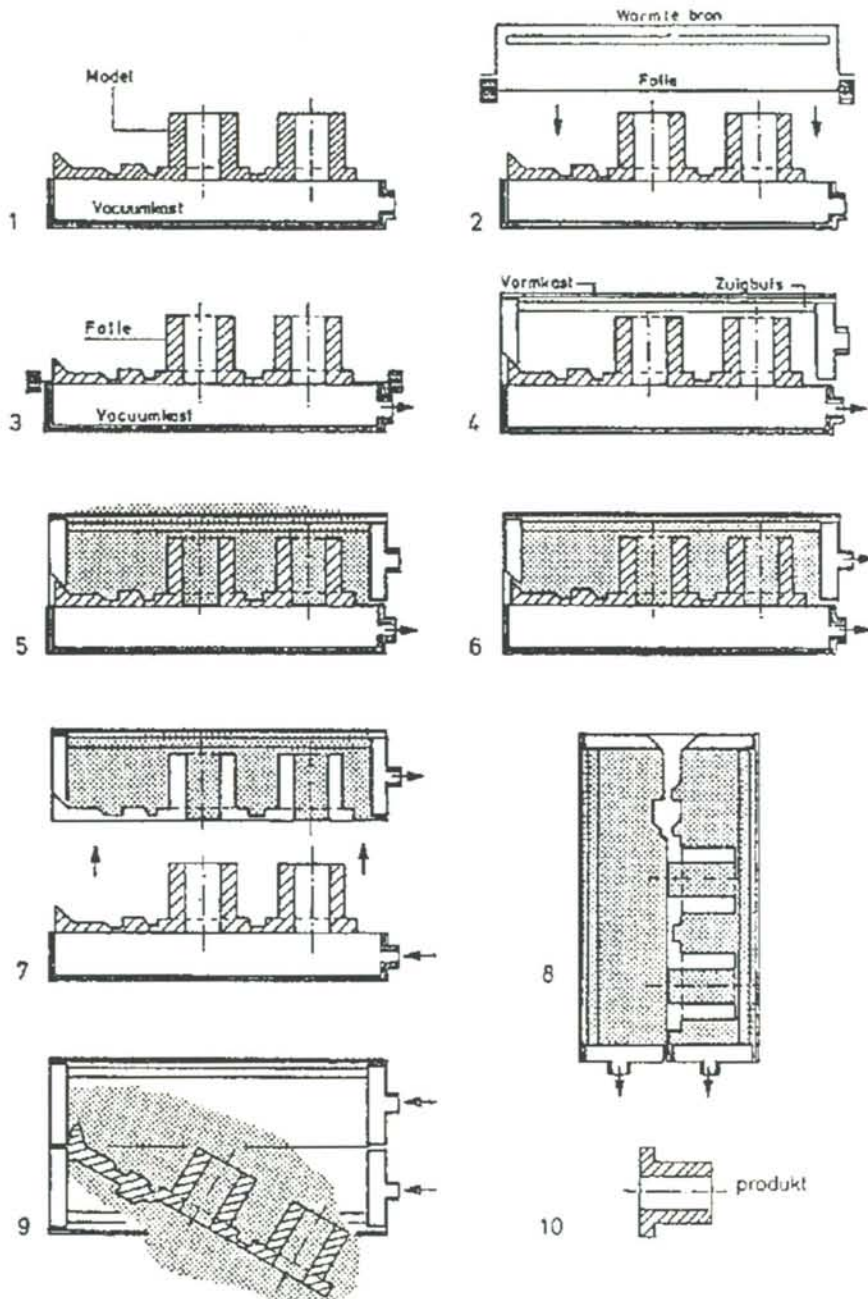
1. Een plaat met daarop het model, respectievelijk een modelhelft, wordt op een vlakke vacuümkast bevestigd. De bovenkant van het model staat met de kast in verbinding door een groot aantal kanaaltjes.
2. Met behulp van een warmtebron wordt een kunststoffolie kortstondig verwarmd. Zodra de gewenste plastische vervormbaarheid is bereikt, wordt de folie over het model gespreid.
3. Door vacuüm te trekken in de vacuümkast via de kanaaltjes wordt de in alle richtingen gelijkmatig rekbaar plastische folie strak sluitend om het model getrokken. Daarvoor is een onderdruk van slechts 500 mBar voldoende. Men gebruikt een polyethyleenfolie (82% polyethyleen, 18% ethylvinylacetaat) met een dikte van 0,05 tot 0,1 mm.
4. Vervolgens wordt over het met folie bedekte model een dubbelwandige vormkast op de vacuümkast geplaatst, die via de ruimte tussen binnenwand en buitenwand en de afzuigkanalen in de vormruimte vacuüm gezogen kan worden.
5. Deze vormkast wordt gevuld met droog fijn zilverzand zonder bindmiddel, waarna door kort vibreren de verdichting wordt bewerkstelligd.
6. Hierna wordt deze vormkast met folie bedekt en de zandmassa vacuüm gezogen. Daardoor wordt de vorm blijvend stabiel.
7. De vorm komt van het model los nadat de onderdruk in de vacuümkast is opgeheven en vervangen door (lichte) overdruk met behulp van perslucht. Daardoor is "lossing" aan het model niet nodig.
8. Nadat ook de andere vormkast-helft op dezelfde manier met behulp van de andere modelhelft (indien aanwezig) is gevormd, worden de beide kasthelften op elkaar gezet en met de gebruikelijke centreerpenen nauwkeurig ten opzichte van elkaar gepositioneerd. Daarbij blijven beide helften onder vacuüm, ook tijdens het gieten en stollen. De



Stuurkolomdrager, afmetingen 180x180x80 mm, (prototype voor spuitgietwerk); Metaalgieterij Kinheim BV.



Kleppendecksel, afmetingen 440x190x75 mm, (prototype voor spuitgietwerk); Metaalgieterij Kinheim BV.



Figuur 1. Het V.P.F. in processtappen.

gietloop en aangietopening zijn beide in het vormdeelvlak aangebracht (in tegenstelling tot de traditionele praktijk) doordat ze geïntegreerd zijn met het model. De aangieting kan daarbij op eenvoudige wijze aan de onderkant van het produkt plaatsvinden, zodat een rustige gecontroleerde vormvulling en ontluchting mogelijk wordt en een beheerste stolling. Overigens wordt

ook de traditionele opstelling met het deelvlak van de vorm in horizontale positie toegepast.

9. Na het gieten en voldoende afkoeling wordt het vacuüm opgeheven. Zand en gietstuk komen nu gemakkelijk uit de vormkast. Het zand kan zonder verdere behandeling weer worden hergebruikt. De folie verbrandt en verdampst volledig tijdens het gieten.

### Het V.P.F. nader beschouwd

De aard van het proces levert een aantal voordelen, namelijk het werken met droog zilverzand zonder bindmiddel (gemiddelde korrelgrootte 30 - 90  $\mu\text{m}$ , AFS waarde ca. 150), met folie en met vacuüm, factoren waarvan de eigenschappen gemakkelijk constant te houden zijn.

Een zeer goede reproduceerbaarheid en nauwkeurige detaillering van het gietstuk wordt erdoor mogelijk gemaakt. Het model en de nauwkeurigheid daarvan is dan ook de bepalende factor voor maatvoering, oppervlaktekwaliteit en uiterlijk van het produkt. Het eenmalig te maken model is vrijwel niet aan slijtage onderhevig doordat het niet in aanraking komt met het zand. In de maatvoering van het model dient uiteraard rekening gehouden te worden met de stollingskrimp. Mede doordat zonder "lossing" aan het model gewerkt kan worden en door de goede stabiliteit van de vorm kunnen geringe wanddikten goed gerealiseerd worden. Een belangrijke rol speelt ook de goede oppervlaktegesteldheid van de vorm door het gebruik van folie en fijn zilverzand, waardoor een zeer goed vormvullingsvermogen wordt bereikt.

Wanddikten van 3 mm zijn mogelijk en, afhankelijk van de vorm van het gietstuk, zelfs minder; een onderste grens is ca. 2 mm. Daarmee wordt ook op het gewicht van het gietstuk bespaard.

Het resultaat komt dicht in de buurt van hagedrukgietswerk en is soms zelf beter dan bij coquilletgietswerk. Met het V.P.F. laten zich zowel gietijzer en gietstaal als koper- en aluminiumlegeringen uitstekend gieten.

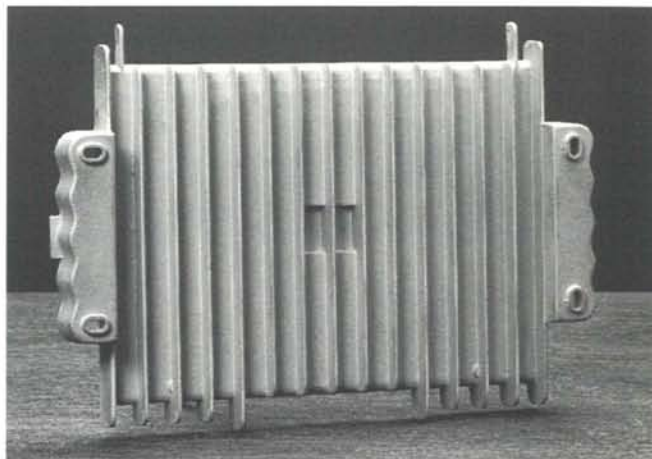


Onderdeel voor een montage-machine voor elektronische schakelingen (Philips Machinefabrieken); V.P.F. Gieterij Weert.

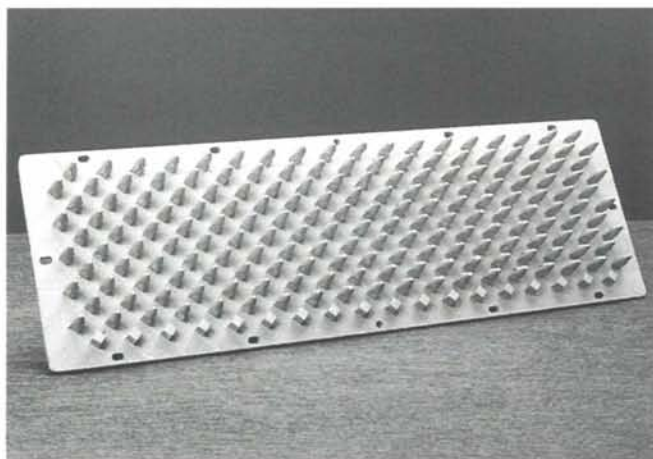
## Gietwerk met zeer goede maatnauwkeurigheid (2)



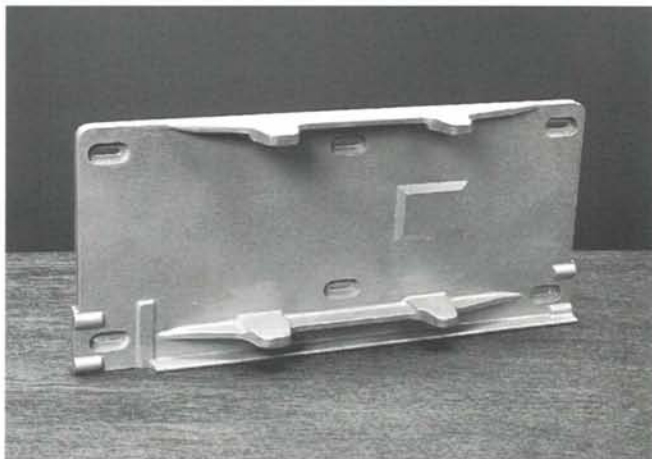
Deksel (front) met openingen voor toetsen en een display van een behuizing voor een elektronisch apparaat; V.P.F. Gieterij Weert.



Behuizing voor een zender voor een oproepsysteem (Ericson); V.P.F. Gieterij Weert.



Warmtewisselaar voor een C.V.-ketel (Faber, Groningen); V.P.F. Gieterij Weert.



Tafel voor een vleessnijmachine (van Berkel's Patent); V.P.F. Gieterij Weert.

De realiseerbare maattoleranties bedragen  $\pm 0,9\%$  van de nominale maat voor wat betreft de voorspelbaarheid en  $\pm 0,4\%$  voor wat betreft de reproduceerbaarheid. Meer gedetailleerde informatie levert tabel 1. De haalbare oppervlaktekwaliteit wordt voornamelijk bepaald door de fijnheid van het gebruikte vormzand en is vergelijkbaar met die van coquilletgietwerk; de ruwheid  $R_a$  ligt tussen 3 en 6. Voor vergelijkende waarden: zie tabel 2. De goede oppervlaktekwaliteit maakt in de meeste gevallen een oppervlaktebehandeling, respectievelijk -afwerking, zonder verdere voorbehandeling mogelijk.

Het V.P.F. kent ook enkele beperkingen. Deze worden hoofdzakelijk bepaald door de vervormbaarheid van de

folie. Zo is de verhouding van diepte van opstaande wanden in verhouding tot de onderlinge afstand, respectievelijk de diepte van blinde gaten en holt- es tot de diameter, in het algemeen beperkt tot 1:1. Met hulpgereedschap ter ondersteuning van de vervorming van de folie is echter in meer extreme gevallen van moeilijke vormen nog veel te bereiken. Een andere beperking kan worden veroorzaakt door de meestal trage stolling, vooral bij dikwandige gietstukken. Hierdoor kunnen bij veredelde legeringen wat andere materiaaleigenschappen ontstaan, met name een geringere hardheid en lagere treksterkte. Wel is de dichtheid dan juist groter en wordt de geringere sterkte daardoor geheel of gedeeltelijk gecompenseerd en is ook de taaiheid meestal groter. In overleg met

de betrokken gieterij kunnen echter andere legeringen worden gekozen die de genoemde bezwaren minder of in het geheel niet vertonen.

#### Toepassingen en voorbeelden

De goede oppervlaktekwaliteit, de gladheid, maakt het V.P.F. zeer geschikt voor gietstukken voor decoratieve toepassingen. Ook voor het uiterlijk van machines en apparaten is dit van belang. Het is daarmee tevens goed geschikt voor het maken van gereedschappen zoals modellen en matrijzen. Voor gietstukken met veel nabewerking kunnen door de zeer goede maatnauwkeurigheid aanzienlijke besparingen op bewerkingskosten worden bereikt of kan zelfs een deel van de nabewerking vervallen.

Het V.P.F. leent zich in het bijzonder

| Afmetingen [mm]                      |     | V.P.F.            |
|--------------------------------------|-----|-------------------|
| van                                  | tot |                   |
|                                      | 6   | ± 0,3             |
| 6                                    | 10  | ± 0,36            |
| 10                                   | 18  | ± 0,44            |
| 18                                   | 30  | ± 0,52            |
| 30                                   | 50  | ± 0,62            |
| 50                                   | 80  | ± 0,74            |
| Komt overeen met norm vlgs DIBN 1680 |     | GTA 14 tot GTA 15 |

Tabel 1. Maattoleranties van V.P.F., ontleend aan [3].

|                | Ruwheid Ra (µm) |     |     |     |     |      |    |    |
|----------------|-----------------|-----|-----|-----|-----|------|----|----|
|                | 0,4             | 0,8 | 1,6 | 3,2 | 6,3 | 12,5 | 25 | 50 |
| Zandgieten     |                 |     |     |     |     |      |    |    |
| V.P.F.         |                 |     |     |     |     |      |    |    |
| Coquillegieten |                 |     |     |     |     |      |    |    |
| Wasmodelgieten |                 |     |     |     |     |      |    |    |
| Spuitgieten    |                 |     |     |     |     |      |    |    |

Tabel 2: Ruwheid van het gietwerkoppervlak bij verschillende vormmethoden ontleend aan [2].

voor dunwandig gietwerk, ook indien gasdichtheid wordt vereist. Voor draagbare meet- en controleapparatuur, voor handgereedschap, verplaatsbare bedieningspanelen en voor geisers en aan de muur te bevestigen C.V.-ketels is een laag gewicht van belang. Daarvoor is een zo gering mogelijke wanddikte een voordeel. Daar de kwaliteit van gietstukken gemaakt met het V.P.F. die van spuit- of coquille gietwerk dicht benadert en veelal zelfs evenaart is het ook zeer geschikt voor snelle vervaardiging van prototypen en test-serie producten. Levertijden van enkele weken zijn daarbij realiseerbaar en door de relatief geringe model- en gietkosten kunnen wijzigingen in de testperiode snel worden aangebracht om het product te perfectioneren. Daarmee is de ontwikkelingsperiode voor een nieuw product aanmerkelijk te verkorten. Het model voor de prototypen kan bovendien gebruikt worden voor een aanloopserie om snel de reactie van de markt te toetsen. De mogelijkheden illustreren wij hier aan de hand van de bijgaande figuren.

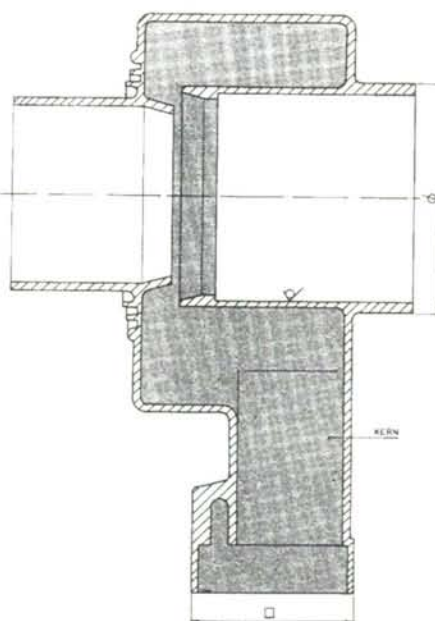
### Slotbeschouwing

De voordelen van zandgietwerk met relatief geringe investering in modelkosten worden in het V.P.F. gecombineerd met een geavanceerde vormmethode die zeer goede oppervlaktekwaliteit en maatnauwkeurigheid mogelijk maakt.

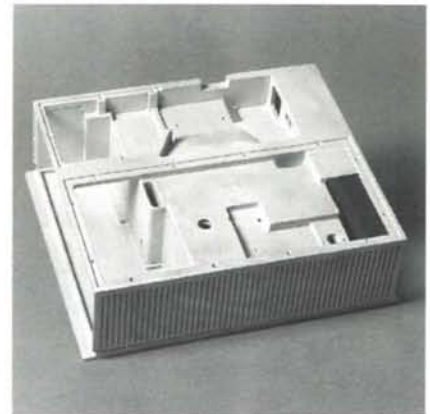
Voor gecompliceerde freems of behuizingen voor allerlei fijnmecha-

nische apparatuur van niet al te grote afmetingen, waaraan bovendien de eis van gering gewicht wordt gesteld, lijkt het V.P.F. als fabricagemethode zeker het overwegen waard. Ook voor wat meer gecompliceerde onderdelen voor mechanismen geldt dit.

Door de mogelijkheid geringe wanddikten te realiseren kan het gieten met het V.P.F. een alternatief zijn voor plaatwerk, dat veelal bewerkelijker is, of de toepassing van kunststof wat dure matrijzen vereist.



Een gietstuk waarbij toepassing van een kern noodzakelijk is. Afmetingen: rond 95 mm, vierkant 67 mm.



Behuizing voor barcodelezer voor supermarkten gegoten in aluminium, waardoor de elektronica wordt afgeschermd voor E.M.-straling (Scantec B.V. Amersfoort); V.P.F. Gieterij Weert.

### Literatuur.

- [1] Het vacuümvormproces in folie (V.P.F.). Een grensverleggende methode van vloeibare vormgeving; Dipl. ing. J.J.A. Kurstjens; Aluminium (1990)3.
- [2] Het vacuümvormproces in folie; Dipl. Ing. J.J. A. Kurstjens, Kurstjens Gieterij Advies B.V.; de Constructeur (1991)6.
- [3] Voordelen en mogelijkheden van het vacuümvormproces in folie (V.P.F.); ing. P.H.M. Jacobs; Gietwerk Perspectief 10(1990)6.
- [4] Brochure V.P.F. Gieterij Weert B.V.
- [5] J. Schokkenbroek, Metaalgieterij Kinheim B.V., Boxmeer; Gietwerkperspectief 10(1990)6.
- [6] Brochure Metaalgieterij Kinheim B.V., Boxmeer.

Gieterijen in Nederland die het V.P.F. toepassen.

1. V.P.F. Gieterij Weert B.V.  
Parallelweg 170, 6001 HM  
Postbus 565, 6000 AN Weert.  
Gespecialiseerd in het gieten van alle aluminiumlegeringen. Ingericht voor prototypen en kleine tot middelgrote series van 10 en veelvouden daarvan tot enkele honderden. Gietgewicht tot 50 kg. De beschikbare vormkasten laten gietstukken toe met maximale afmetingen van ca. (l x b x h) 550 x 500 x 400 mm (verdeeld over twee vormkasten). Voor meer gedetailleerde informatie zie [4].
2. Metaalgieterij Kinheim BV  
Kleinebroekstraat 7, 5831 AP  
Postbus 21, 5830 AA Boxmeer.  
Gietaluminiumlegeringen met het V.P.F. Ingericht voor prototypen en kleine series. Zowel verticale als horizontale plaatsing van het deelvlak van de gietvorm worden toegepast. Gebruikt voor hol gietwerk keramische kernen. Maximale gietstukafmetingen bij verticaal gedeelde vormkast: (l x b x h) 550x400x400 mm (200 mm in elk van de twee vormkasten). Indien bij horizontaal gedeelde kast: (l x b x h) 700 x 700 x 400 mm (200 mm in elk van de twee vormkasten).

## Harmonische analyse bij rondheidsmeting

J.W. van Beek

Een rondheidsmeting geeft de afwijking van de ideale ronde vorm van een produkt weer. Grove afwijkingen als ovaliteit en driepuntsondheid kunnen vaak makkelijk in een rondheidsgrafiek herkend worden. Ze zijn het gevolg van afwijkingen in het fabricageproces die hun sporen ("vingerafdruk") op het produkt hebben afgebeeld. Kleinere afwijkingen zijn moeilijk of in het geheel niet met het blote oog in een rondheidsgrafiek te herkennen. Door toepassing van harmonische analyse kan het rondheidsmetingsignaal worden geanalyseerd naar grootte en frequentie. Aan de hand van de frequentie en met de nodige kennis van de bewerkingsmachines en -processen blijkt het mogelijk een vermoedelijke oorzaak voor de afwijkingen aan te geven. De meting is zo gevoelig dat men door regelmatig meting van produkten die met dezelfde machine gefabriceerd zijn, de verandering in kwaliteit (bijvoorbeeld door lagerslijtage) van de machine kan waarnemen.

### Rondheidseigenschappen

Een rondheidsgrafiek herhaalt zich per definitie eenmaal per omwenteling, en is dus te ontbinden in harmonischen. Gesuperponeerd op die ene omwenteling zijn kortgolfiger verschijnselen waarneembaar, die eveneens repeteren zodat het rondheidssignaal nog steeds in harmonischen te ontbinden is.

De eerste harmonische van het complete verschijnsel — het gemeten rondheidssignaal — is een maat voor de *excentriciteit* van de onderzochte doorsnede, de tweede vooral voor de *ovaliteit*. *Driepuntsondheid* komt vooral tot uiting in de derde harmonische, enz.; zie figuur 1.

Naarmate een gemeten doorsnede meer afwijkt van de ideale rondheid

### Harmonische analyse

Harmonische analyse is een rekenmethode waarmee periodiek optredende signalen kunnen worden ontbonden in harmonische trillingen.

De voorstelling berust op een door Fourier aangegeven rekenwijze om een repeterend signaal te analyseren (uiteen te rafelen, ontbinden) in een aantal harmonischen, de *Fourier-reeks*. Harmonische analyse heet daarom ook wel *Fourier-analyse*. De som van alle door analyse gevonden harmonischen levert weer het oorspronkelijke, repeterende signaal op.

#### Definities

Een *periodiek* of *repeterend signaal* is een signaal dat zich met tussenpozen herhaalt. Een zaagtand is een voorbeeld van een periodiek signaal, een blokspanning zoals getekend in figuur A ook.

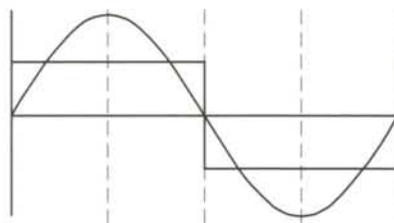
Een *harmonische trilling*, in dit verband kortweg ook wel "harmonische" genoemd, is een zuiver sinusvormige trilling met constante frequentie, die formeel genomen ook nog oneindig lang zal voortduren. In de praktijk betekent dit dat de trilling geen dempings- of opslingeringsverschijnselen mag vertonen, met andere woorden dat ook de amplitude strikt constant is.

zijn er meer harmonischen, en vaak ook een aantal harmonischen met grotere amplitude (uitgedrukt in  $\mu\text{m}$ ), in het spel. Omgekeerd valt er op het gebied van de harmonischen minder te beleven, naarmate een doorsnede perfect rond is.

### Harmonisch profiel

De presentatie van de analyse - resultaten gebeurt in een zogenaamd *harmonisch profiel*, dat is een histo-

De harmonische met de laagste frequentie, die in eerste aanleg op het repeterende signaal past, heet de *eerste harmonische* of *grondharmonische*. De verdere, samenstellende harmonischen zijn alle *hogere harmonischen*.



Figuur A.

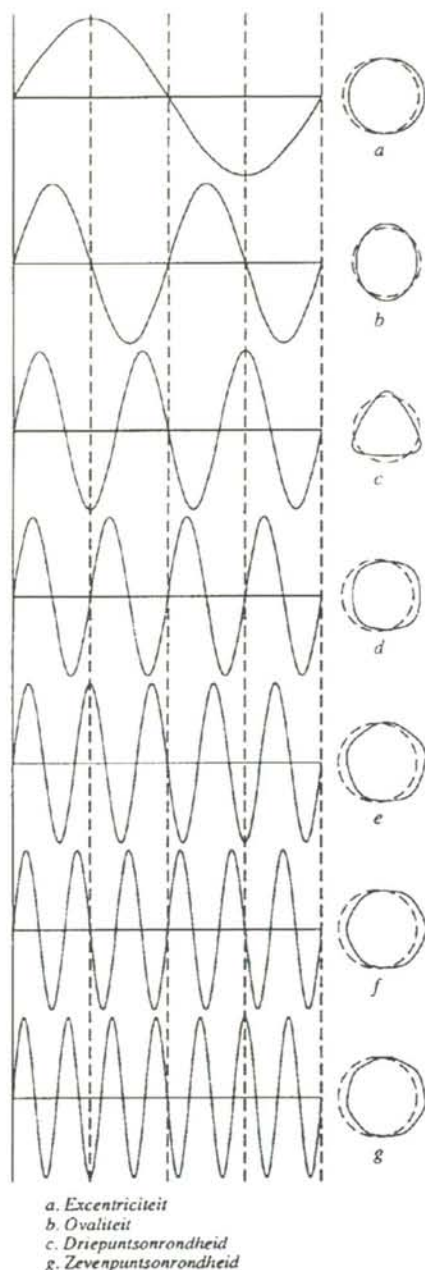
#### Van frequentie naar repentie

In het bovenstaande heeft "frequentie" de letterlijke betekenis "aantal per tijdseenheid".

In de geometrische meettechniek hebben we vaak te maken met een equivalent hiervan, "aantal per lengte eenheid". Dat aantal heet dan *repentie*. In dat verband zijn harmonischen zuiver sinusvormige golven met een zodanige frequentie, dat het beschouwde interval juist een geheel aantal golfperiodes bevat. De repentie wordt overeenkomstig uitgedrukt in golven per omwenteling (*upr = undulations per revolution*).

gram of *kolommendiagram* dat de amplitudes van de optredende harmonischen toont als functie van de frequentie.

Daarnaast kunnen de resultaten ook weergegeven worden in een *amplitude-tabel* en in een *fase-tabel*. De amplitude-tabel geeft de groottes van de amplituden die een bepaald, vooraf ingesteld drempelniveau te boven gaan. De fase-tabel geeft informatie over de plaats van optreden van de betrokken amplitude.



Figuur 1.

Het drempelniveau is een hulpmiddel om de in het histogram optredende pieken te selecteren en numeriek af te drukken. Het kan tevens een hulpmiddel zijn bij het onderling vergelijken van meetresultaten, waarbij men de amplituden en frequenties vergelijkt die het gekozen drempelniveau te boven gaan.

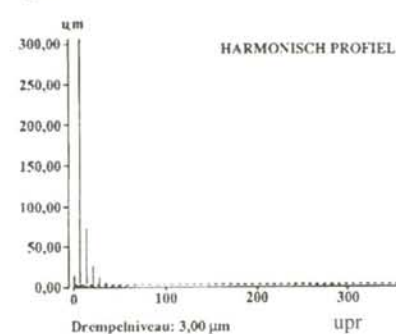
In figuur 2b is te zien dat alleen de eerste harmonische het ingesteld drempelniveau te boven gaat met een amplitude van 0,15  $\mu\text{m}$ .

Zevenpuntsonrondheid zoals getekend in figuur 1g komt onder andere voor bij het Britse 50 pence-stuk, zie figuur B, lengtemeettechnisch gezien een van de meest interessante munten ter wereld. De doorsnede van de munt is in alle richtingen dezelfde, wat licht tot de foute conclusie zou kunnen leiden dat zij zuiver rond is. Harmonische analyse van de rondheidsgrafiek levert echter een krachtige 7e harmonische op, in overeenstemming met de werkelijke vorm, zie figuur C. Daarnaast zijn ook de 14e, 21e, 35ste en 42ste harmonische nadrukkelijk aanwezig, terwijl tussenliggende harmonischen geheel ontbreken.

Dat zo'n prachtig produkt met zulke bijzondere meettechnische eigenschappen voor minder dan f 1,50 in ieders bezit kan komen is óók bijzonder. Een aanbeveling voor de praktica in geometrische meettechniek.



Figuur B.



Figuur C

Enkele punten van houvast bij de beoordeling van het harmonisch profiel van een rond voorwerp:

- 1<sup>e</sup> Harmonische: Louter een gevolg van de meting. De amplitude van deze harmonische is gelijk aan de *excentriciteit* van het meetstuk ten opzichte van de spilhartlijn van de rondheidsmeter.
- 2<sup>e</sup> Harmonische: Gevolg van de meting of de bewerking. Beschrijft het effect dat gewoonlijk met "ovaliteit" wordt aangeduid. Treedt op als de as van het meetstuk niet evenwijdig is aan de spilhartlijn van de rondheidsmeter, of als tijdens de vervaardiging het werkstuk niet haaks op de rotatie-as van de gereedschapsmachine was opgespannen.
- 3<sup>e</sup> - 7<sup>e</sup> Harmonische: Gevolg van de bewerking, met name van de inspanning van het werkstuk. Goed herkenbaar zijn bijvoorbeeld de drie lobben zoals die ontstaan als gevolg van inklemming in een klauwplaat met drie bekken.
- 7<sup>e</sup> - 15<sup>e</sup> Harmonische: Meestal een gevolg van de bewerkingmethode en van de stabiliteit van het bewerkingproces.

- 15<sup>e</sup> - 500<sup>ste</sup> Harmonische: Meestal een functie van het materiaal en het bewerkingproces. Instabiliteit van het laatste, trillingen veroorzaakt door haperende lagers, slijtage van het snijdend gereedschap en onvoldoende effect van het smeermiddel komen hier tot uiting.

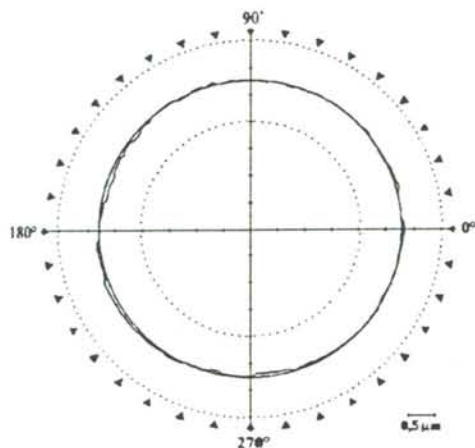
## Experimenten

Ter toetsing van het bovenstaande voeren we nu enkele elementaire exercities uit met de cilinder van figuur 2. De resultaten daarvan zijn samengevat in tabel 1. Zowel de excentriciteit als

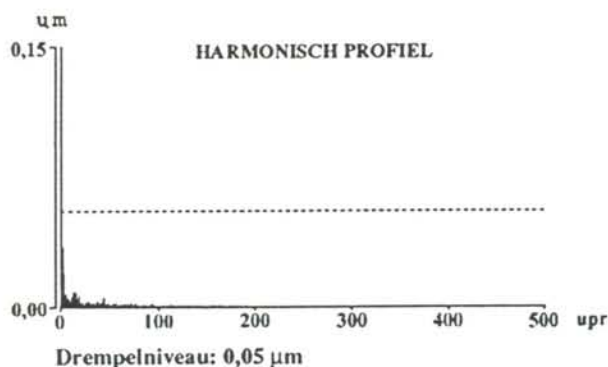
|                             | Excentriciteit<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Amplitude<br>[ $\mu\text{m}$ ] |                |
|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|----------------|
|                             |                                     | 1 <sup>e</sup>                 | 2 <sup>e</sup> |
| Optimale uitrichting        | 0,15                                | 0,15                           |                |
| Opzettelijke excentriciteit | 1,55                                | 1,55                           |                |
| Kanteling                   | 0,00                                | < 0,05                         | 0,10           |
| Excentriciteit en kanteling | 3,05                                | 3,05                           | 0,10           |

Tabel 1

## Harmonische analyse bij rondheidsmeting



a. Rondheidsgrafiek van een heel mooi ronde cilinder, die perfect is uitgericht



b. Het bijbehorende harmonische profiel

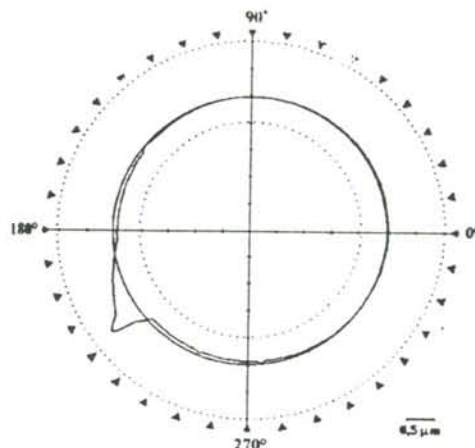
Figuur 2.

de kanteling zijn veroorzaakt door een geringe verdraaiing van de stelschroeven van de steltafel op de rondheidsmeter. Een minimale kanteling wordt direct zichtbaar in de amplitude van de tweede harmonische.

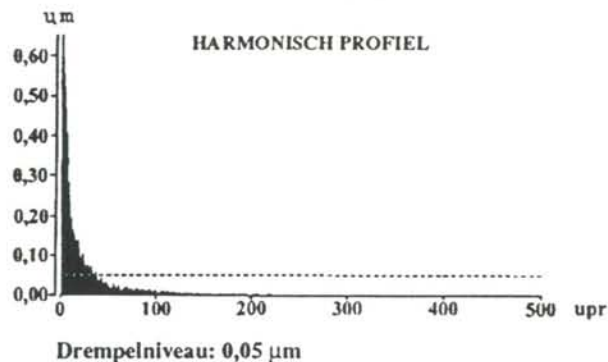
Harmonischen als gevolg van excentriciteit en kanteling van de cilinder in figuur 2.

Dat het spreekwoordelijk verband tussen kleine oorzaken en grote gevolgen zeker opgaat voor harmonische analyse, moge blijken uit figuur 3.

Hoe kritisch harmonische analyse is, blijkt ook uit figuur 4, waarin de invloed van verschillende wijzen van beitel-aanzet op het werkstuk tot uitdrukking komt. Let bij de vergelijking van beide profielen vooral op de schaal, en op de ligging van het drempelniveau ("discrimination level").



a. Rondheidsgrafiek



b. Harmonisch profiel. Vele harmonischen (t/m de 38ste!) overschrijden het drempelniveau

Figuur 3.

### Nauwkeurigheid

Door strikte toepassing van het Fourier-algoritme is tot 100 upr de onzekerheid in de bepaling van de harmonischen verwaarloosbaar. Daarboven, van 100 - 500 upr, gaan door de kleine amplitudes de meetonzekerheden in het signaal een significantere rol spelen en loopt de onzekerheid op van nul tot bijna  $\pm 5\%$ .

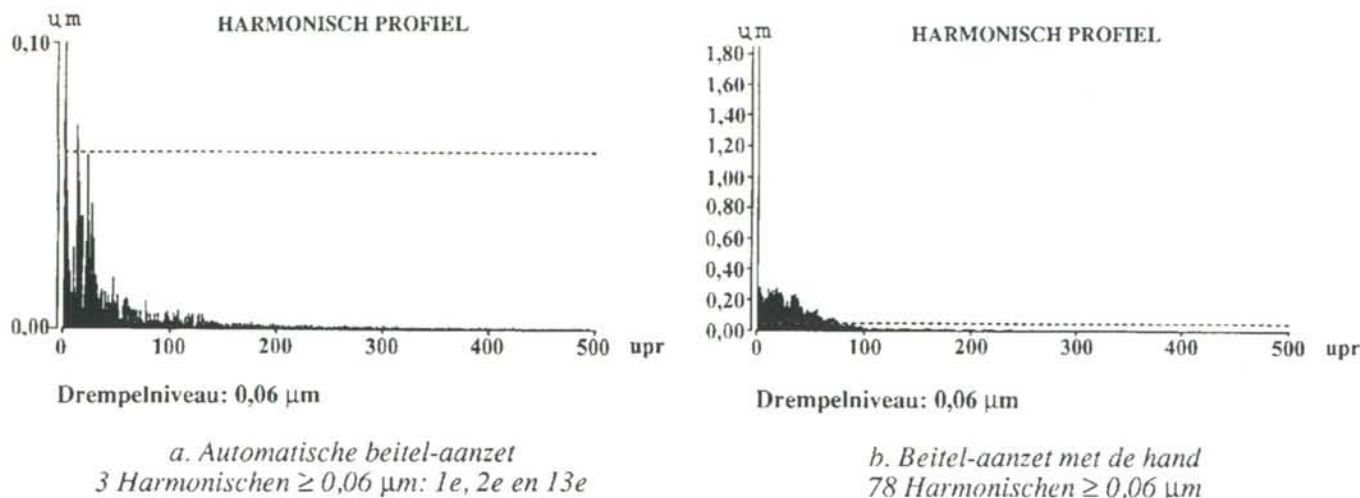
### Diagnose door harmonische analyse

De harmonische analyse van rondheidsgrafieken is een zo krachtig en belangrijk gereedschap voor de beoordeling van bewerkingsprocessen, dat Rank Taylor Hobson het standaard in de software van rondheidsmeters met PC meeleverd.

Lagers die niet meer optimaal functioneren gaan hogere frequenties produ-

ceren. Altijd! Soms zo erg dat het te horen is.

Met harmonische analyse in huis behoeven we echter niet op de hoorbare signalen te wachten voordat we ingrijpen. De micro-haperingen van een niet meer perfect werkend lager worden, reeds lang voordat van een echte storing sprake is, afgebeeld op het werkstuk. In de frequentiegrafiek, verkregen via harmonische analyse, blijkt dan dat er behalve de standaard lage frequenties – die er altijd zijn – plotseling in het hoge frequentiegebied ook signalen optreden. Dit is een zekere aankondiging dat er op termijn, misschien zelfs pas na maanden, een lager kapot zal gaan. Met deze voorkennis kunnen opsporing en vervanging van het lager gepland worden nog voordat schade, waaronder produktieuitval, optreedt.



Figuur 4.

### Harmonische analyse als vingerafdruk

Met harmonische analyse in huis kan men nog een stap verder gaan. Van draaimachines, slijpmachines enz. kan het gedrag in nieuwtoestand vastgelegd worden door onder bepaalde condities een cilinder te fabriceren, en die op rondheid te meten en te analyseren. Het harmonisch profiel wordt zo een soort van identiteitsregistratie, een vingerafdruk van het produktiemiddel. Met die vingerafdruk als referentie zijn bij volgende metingen uit een

van de beschouwde machine vroegtijdig te herleiden.

Daarnaast zal die originele registratie haar nut bewijzen na calamiteiten zoals een exploderende slijpsteen of een geblokkeerde hoofdas. Harmonische analyse geeft dan een indicatie of de schade echt hersteld is, of dat de ramp nog groter is dan zich op het oog laat vaststellen. Van niet te onderschatten belang ook bij verzekeringszaken!

Van de algemeen aanvaarde noodzaak tot periodieke herkalibratie van standdaarden, naar de noodzaak om roteren-

de gereedschapsslijpmachines via harmonische analyse periodiek op hun merites te beoordelen (kwaliteitshandboek!) is niet zo'n grote stap. Wel een stap die veel uitval kan voorkomen.

#### Auteursnoot

Dr. ir. ing. J.W. van Beek is directeur van het Meet- en Kalibratielaboratorium Schut Rotterdam (MKL), de Rotterdamse vestiging van Schut Geometrische Meettechniek BV. Het artikel is een voordruk uit de nieuwe Atlas der Geometrische Meettechniek, die in 1994 zal verschijnen. Daarin wordt ook de berekening van de Fourier-coëfficiënten behandeld.

## Actueel

### "DEAL": elektronische informatie-uitwisseling binnen bedrijven

Vooraanstaande leveranciers van software op het gebied van computer-aided design (CAD) en logistieke systemen werken samen met TNO aan de ontwikkeling van standdaarden voor informatie-overdracht tussen ontwerp- en productieafdelingen van bedrijven. Dit gebeurt in het DDesign And Logistics-project "DEAL", dat zich in eerste instantie richt op vaste afspraken voor de elektronische uitwisseling van artikel- en stuklijstgegevens. "DEAL" wordt uitgevoerd in het kader van de regeling Telematica Gidsprojecten van Economische Zaken. Informatie-uitwisseling tussen ontwerp- en productiesystemen verloopt in veel bedrijven stroef door een ge-

brek aan afstemming tussen de betrokken groepen. Een deel van de door (eiland-)automatisering verworpen voordelen gaat daardoor weer verloren in de vorm van tijdverlies en fouten bij het overnemen of vertalen van de gegevens voor het productiesysteem. De in veel gevallen toegepaste "maatwerkkoppelingen" zijn specifieke, relatief kostbare oplossingen van de systeemleveranciers en dragen niet bij aan standaardisatie. Zowel bij leveranciers als afnemers bestaat dan ook grote behoefte aan een neutraal afsprakenstelsel voor het overdragen van ontwerpgegevens. In het DEAL-project wordt nu een begin gemaakt met de ontwikkeling daarvan, waarbij rekening wordt gehouden met de internationale ontwikkelingen op het gebied van Product Data Interchange (PDI, ISO/STEP).

DEAL moet leiden tot "communicatiemodules" die deel gaan uitmaken van het assortiment van de pakketleveranciers. De modules moeten gemakkelijk en tegen geringe kosten in bedrijven kunnen worden ingevoerd. In het project werken samen Baan Info Systems, CYCO Software, EDS Unigraphics, Inter Access Infostore, Intergraph Benelux en Rocomp.

In opdracht van dit collectief van leveranciers voert het Instituut voor Productie en Logistiek TNO (IPL) in Eindhoven de gemeenschappelijke activiteiten uit gericht op het consolideren en uitdragen van het afsprakenstelsel.

#### Voor nadere informatie:

Ir. A.L. Bulder (IPL - TNO)  
Telefoon: 040 - 474 736  
Fax: 040 - 436 535.

Richtlijnen voor het slijpen van technisch keramiek

## Eigenschappen, fabricage en toepassing van technische keramiek (3)

J.J. Saurwalt

Een van de meest toegepaste nabewerkingsmethoden voor technische keramiek is het slijpen met diamantschijven. In vergelijking met andere bewerkingsmethoden kan hiermee met een relatief hoge afnamesnelheid een goede eindkwaliteit behaald worden.

Thermische processen gaan meestal gepaard met hoge vermogensdichtheden waardoor ongewenste veranderingen van de oppervlaktekwaliteit door smelten, stollen, scheuren en fase-overgangen kunnen plaatsvinden.

Mechanisch bewerken met gedefinieerde snijkanten, zoals bij draaien en frezen, is moeilijk zo niet onmogelijk vanwege de hoge hardheid van keramische materialen.

Polijsen en leppen zijn vooral geschikt als nabewerkingstechniek vanwege de geringe afnamesnelheid.

In het algemeen kan gesteld worden dat de slijptechniek moeilijk vastgelegd kan worden vanwege het brede scala van beschikbare slijpmethoden enerzijds, zie figuur 1, en het grote aantal procesparameters anderzijds, zie figuur 2.

In de praktijk wordt het slijpproces parallel sterk beïnvloed door slijtage, verstopping, toenemende onrondheid en temperatuurstijging van de slijpschijf en de veelal niet constante kwaliteit van de te bewerken keramische materialen.

Een aantal van deze aspecten wordt nader toegelicht, waarbij tevens een aantal praktisch toepasbare richtlijnen wordt gegeven.

### De invloed van de kwaliteit van het keramiek

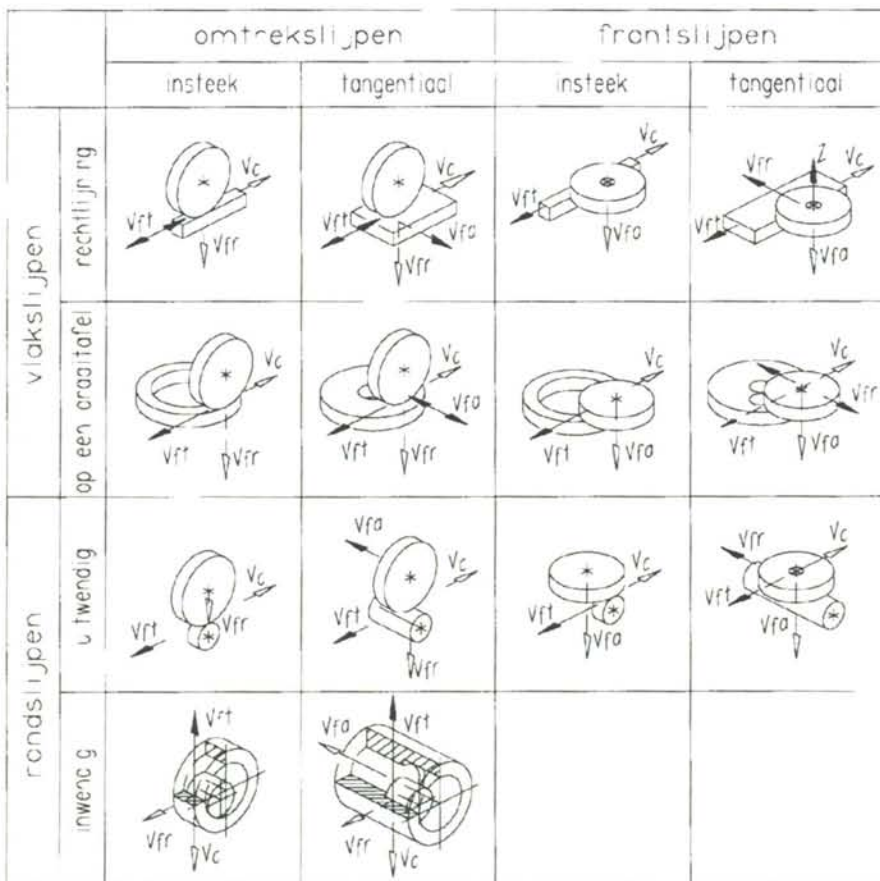
Alvorens een bewerking te starten dienen de eisen ten aanzien van de nauwkeurigheden en ruwheden te worden bekeken. Bij het slijpen van keramiek is het verstandig daarbij dan ook de

noodzakelijke oppervlakte-betrouwbaarheid en de microstructuur van het keramiek te betrekken. Het heeft bijvoorbeeld geen zin een contour met veel moeite uit te slijpen als de afwerking van een laser-gesneden produkt

al voldoet. Zo hoeft men bij een grof korrelig keramiek niet extra veel moeite te doen om beschadigingen (scheuren) te voorkomen, omdat enerzijds de korrelgrootte zelf al een defectstructuur voor het keramiek is, en

| gemiddelde grootte van de slijpkorrel [ $\mu\text{m}$ ] | richting | ruwheid $R_a$                |             |
|---------------------------------------------------------|----------|------------------------------|-------------|
|                                                         |          | NKA- $\text{Al}_2\text{O}_3$ | Alsint 99,7 |
| D126                                                    | langs    | 0,52                         | 1,38        |
|                                                         | dwaars   | 0,77                         | 1,09        |
| D46                                                     | langs    | 0,21                         | 0,49        |
|                                                         | dwaars   | 0,44                         | 0,65        |

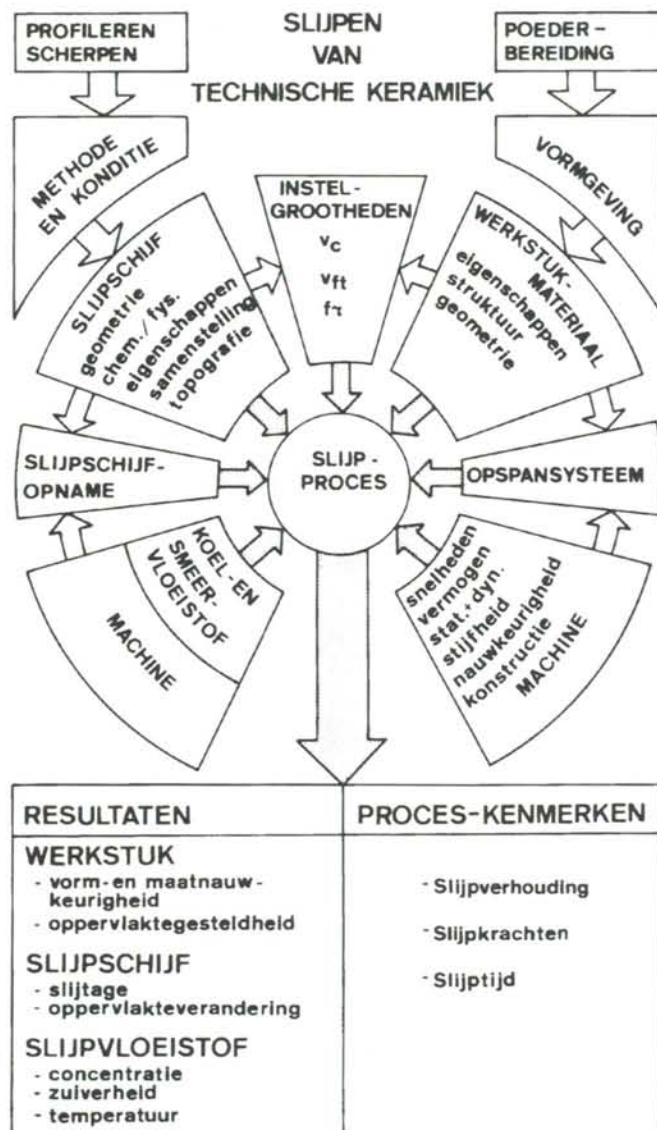
Tabel 1.  $R_a$ -ruwheden zijn afhankelijk van keramiekstructuur en slijpkorrel. Ze zijn bepaald met mechanische taster  $r = 2,5 \mu\text{m}$ ,  $LT = 4,80 \text{ mm}$ , cut-off =  $0,80 \text{ mm}$ .



Figuur 1. Illustratie van de indeling van de belangrijkste slijpbewerkingen. Hierin is  $v_c$  de snijsnelheid en  $v_{fr}$ ,  $v_{rr}$ ,  $v_{fa}$  de snelheid van de tafelvoeding in respectievelijk axiale, radiale, tangentielle richting.

anderzijds het slijpen vooral op het uitbreken van korrels zal berusten wat niet snel in beschadigingen groter dan het korrelniveau zal resulteren. De korrelgrootte is ook direct van invloed op de ruwheid, zie tabel 1. Bij

grofkorrelig keramiek met een dichtheid van circa 96% is alleen een superglad oppervlak te verkrijgen door het dicht(ver)smeren van het oppervlak. Tijdens het bewerken blijkt direct al



Figuur 2.

de invloed van de verschillende kwaliteiten. De slijpkrachten die optreden bij het slijpen van *grof*korrelig aluminiumoxyde, zoals bijvoorbeeld de Al-sint-kwaliteit, liggen op hetzelfde niveau als die bij het slijpen van vensterglas. Vergeleken met *fijn*korrelig aluminiumoxyde krijgt men een heel ander verloop van de slijpkrachten als functie van het verspaande volume per eenheid slijpschijfbreedte, zie figuur 3. Daarnaast dient rekening gehouden te worden met de thermische geleidbaarheid van de verschillende soorten keramiek. De oxydische keramieken zijn in het algemeen isolatoren, terwijl nitriden en carbiden goede warmtegeleiders zijn.

Belangrijke mechanische eigenschappen, die een indicatie van de "slijpbaarheid" geven, zijn hardheid gecombineerd met de scheurweerstand ( $K_{Ic}$ ). Globaal gezien geeft de volgende reeks de bewerkbaarheid van moeilijk tot relatief gemakkelijk weer: composieten op basis van  $Al_2O_3$  en  $ZrO_2$  - heet geperst  $Si_3N_4$  -  $Si_3N_4$ ,  $ZrO_2$ ,  $SiAlon$  -  $SiC$  -  $Al_2O_3$ .

### Slijpcondities en slijptechnieken

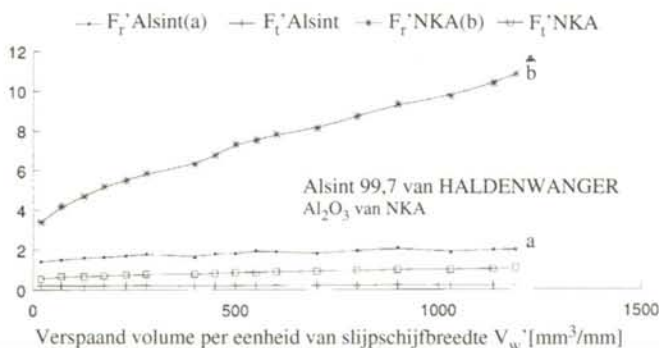
De soort slijpschijf en de slijpcondities staan direct in relatie met de gebruikte slijpmachine en het werkstukmateriaal. In principe wordt een compromis gezocht tussen totale slijpdruk, de slijpkracht (snededikte) per korrel, het trillingsniveau, de thermische belasting en de constantheid van het slijpproces.

Om keramiek zo min mogelijk te beschadigen zijn slijpcondities nodig met een kleine snededikte per slijpkorrel [1].

In principe kan dit worden gerealiseerd door:

- het gebruik van slijpschijven met een kleine korrelgrootte;
- het slijpen met een hoge slijpsnelheid;
- het kruipslijpen.

Het gebruik van een fijnere slijpkorrel bij dezelfde concentratie levert veel meer slijpkorrels op. Hierdoor ontstaat per korrel een kleinere snededikte, zie figuur 4 [2]. Een nadeel van fijnere slijpschijven is dat de toepasbare aanzet en daarmee de afnamesnelheid ook



Figuur 3. Pendelslijpen van twee kwaliteiten  $Al_2O_3$ . Slijpschijf: 1A1, D126, C75, Bz387;  $v_c = 30$  m/s,  $v_f = 10$  m/min,  $f_r = 10$   $\mu$ m.

## Eigenschappen, fabricage en toepassing van technische keramiek (3)

sterk afneemt. Om dit te ondervangen deelt men het slijpen op in de stappen voorslijpen en naslijpen. Bij het naslijpen dient de beschadigde laag van het voorslijpen te worden verwijderd. Dit kan betekenen dat dan 50 tot 100  $\mu\text{m}$  afgeslepen moet worden.

Het voorslijpen gebeurt in het algemeen met een korrelgrootte groter dan of gelijk aan 126  $\mu\text{m}$  (codering D126) en het naslijpen met een korrelgrootte kleiner dan of gelijk aan 46  $\mu\text{m}$  (codering D46). In de praktijk wordt dit uitgevoerd met een pendelslijpinstelling, waarbij per keer een laagdikte variërend van 0,5 tot 50  $\mu\text{m}$  wordt afgeslepen.

De slijpkrachten per eenheid (1 mm) slijpschijfbreedte liggen met deze methode tussen 5 en 35 N/mm (in normaalrichting).

In principe zijn alle slijpschijven voor

deze methode geschikt. Vaak worden echter kunststofgebonden diamantschijven gebruikt met een vrij brosse, van een nikkellaagje voorziene diamantkorrel. De reden hiervoor is dat de krachten per korrel bij pendelend voorslijpen hoger zijn dan bij kruipslijpen, op grond waarvan de korrels sterker in de binding verankerd moeten zijn.

Bij het verhogen van de omtreksnelheid van de slijpschijf worden meer korrels gebruikt om hetzelfde materiaalvolume te verwijderen. Per korrel neemt de snededikte hierdoor dus af.

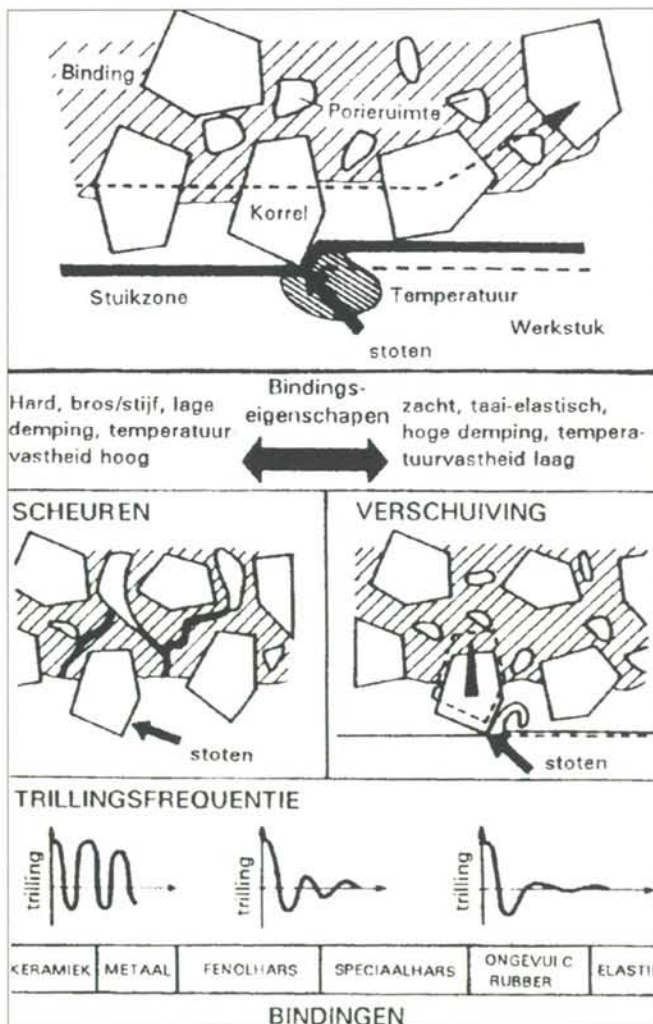
Het gebruik van hogere slijpsnelheden wordt in feite begrensd door thermische effecten, grafitiseren of sterk afronden van de diamantkorrels en het optreden van nadelige effecten aan het keramiek. Toch zijn voor het doorslijpen van wafers snijsnelheden van 70 m/s

niet ongebruikelijk. Een slijpmachine moet hiervoor wel geschikt zijn omdat bij conventionele slijpmachines boven ca. 35 à 40 m/s allerlei ongewenste trillingen optreden [3].

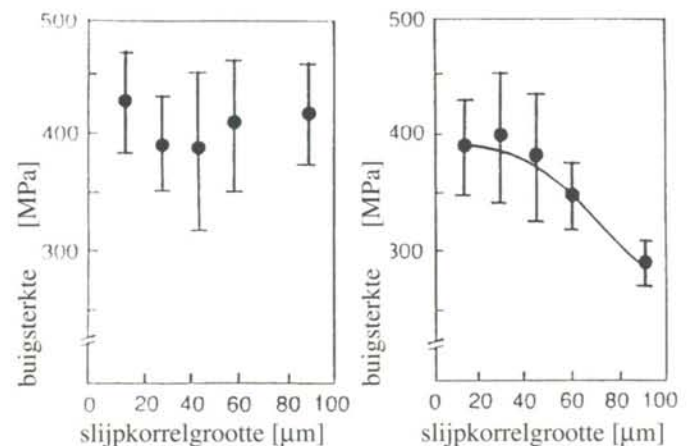
**Kruipslijpen**

Slijpen met een zeer grote snededikte gecombineerd met een langzame voeding van het werkstuk wordt kruipslijpen of diepslijpen genoemd. Hierbij ontstaat een groot contactvlak tussen schijf en werkstuk. Op korrelniveau wil dit zeggen dat erg veel slijpkorrels gelijktijdig in het slijpproces actief zijn. Hierdoor is de snededikte per korrel gering.

Het grote voordeel van kruipslijpen is dat de afnamesnelheid niet kleiner is dan bij het pendelend voorslijpen, en vaak zelfs hoger doordat geen tijd verloren gaat aan de loze pendelslag. Bij het kruipslijpen van keramiek liggen de praktisch bruikbare snededikten tussen 0,1 en 10 mm.



Figuur 5. Elastisch gedrag van bindstoffen



Figuur 4. Buigsterkte van aluminiumoxyde afhankelijk van de slijpkorrelgrootte bij loodrechte (links) en parallelle slijprichting (rechts). Specificatie van het  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : gemiddelde korrelgrootte 2-4  $\mu\text{m}$ ; maximum korrelgrootte 10 - 12  $\mu\text{m}$ ; dichtheid 3,83 g/cm<sup>3</sup>; zuiverheid 99,56%; sintertemperatuur 1610 - 1630 oC.

| materiaal          | hardheid<br>HB (N/mm <sup>2</sup> ) | E-modulus<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | contact-<br>stijfheid<br>(N/ $\mu\text{m}$ ) | contact-<br>slapheid<br>( $\mu\text{m}/\text{N}$ ) | damping |
|--------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------|
| Sintermetaal       |                                     |                                   |                                              |                                                    | 0,003   |
| Al                 |                                     |                                   |                                              |                                                    | 0,010   |
| Al-fenol           |                                     |                                   |                                              |                                                    | 0,015   |
| Fenol              |                                     |                                   |                                              |                                                    | 0,060   |
| PU-hard-<br>schuim |                                     |                                   |                                              |                                                    | 0,090   |

Figuur 6. Eigenschappen van enige dragermaterialen voor slijpschijven.

### Problemen bij het kruipslijpen

Een nadeel van deze techniek is dat de totale krachten ongeveer een 10 maal hoger niveau liggen als bij het pendelslijpen en daarna nog sterk toenemen. Deze hoge krachten veroorzaken grote slijpproblemen. Niet alleen buigt de slijpmachine uit, maar ontstaan ook vaak zelf-exciterende trillingen, waardoor een steeds sterkere onrondheid van de slijpschijf wordt opgebouwd. Bij een statische stijfheid van de slijpmachine van 30 N/ $\mu$ m, gecombineerd met een slijpkracht van 120 N/mm en een active snedebreedte van 5 mm, ontstaat een uitbuiging van de machine van 20  $\mu$ m. Deze maatafwijking is niet te corrigeren zonder na te pendelen en is zeer groot ten opzichte van de minimale verplaatsing van 0,5  $\mu$ m die moderne slijpmachines kunnen realiseren.

De trillingen vormen echter een groter probleem. Wanneer een slijpschijf door trillingen onrondheid opbouwt in de orde van micrometers, is dat meer dan de lokale snededikte per korrel. De gewenste geringe snededikte door het grote aantal actieve korrels treedt niet meer op en het proces wordt "frezet met één snijtand" wat tot ernstige beschadiging van het keramiek kan leiden [1].

Voor het wel of niet optreden van deze trillingen (de dempingskarakteristiek) en de statische stijfheid zijn erg machineafhankelijk [3]. Uit eigen proefnemingen bleek een machine, volledig uitgevoerd met voorgespannen hydrostatische lageringen, tot nu toe het minst gevoelig voor de vorming van deze trillingen en bijbehorende onrondheid. Zelfs met niet gebalanceerde schijven bleken hiermee zeer goede slijpresultaten mogelijk.

Een tweede probleem bij kruipslijpen is de koeling en de afvoer van het verspaande materiaal. In het algemeen wordt daarom met niet te hoge slijpsnelheden gewerkt, veelal kleiner dan 35 m/s. Om trillingsproblemen te minimaliseren worden veelal kunststofgebonden slijpschijven gebruikt die in verhouding goede dempende eigenschappen hebben, zie figuur 5 [3]. Ook het dragermateriaal van de slijpschijf speelt hierbij een belangrijke rol, zie figuur 6 [3]. Omdat de dia-

mantkorrel slechts zeer ondiep langs en door het materiaal slijpt, rondt deze zeer sterk af. Om deze reden wordt een borste, ongecoate diamant gebruikt die makkelijk versplintert of uit de binding komt. Nadeel van de kunststofgebondenschijven is echter de slechte warmtegeleiding en de geringe ruimte voor verspaand materiaal en koelvloeistof. Het is mogelijk dat relatief poreuze keramisch gebonden slijpschijven hiervoor een betere oplossing kunnen bieden. Ook zouden bij zeer stijve slijpmachines met zeer goede dempende eigenschappen metaalgebonden slijpschijven aantrekkelijk kunnen zijn in verband met de slijvastheid gecombineerd met de goede warmtegeleiding. De beide mogelijkheden worden nog nader onderzocht.

### Slijprichting

De slijprichting, mee- of tegenlopend, kan het beste gekozen worden aan de hand van eigenschappen van het keramiek. Zirconiumoxyde – dit lijkt zich bij kruipslijpen min of meer als een metaal te gedragen omdat er daadwerkelijk sprake is van spaanvorming – kan het best tegenlopend geslepen worden, waarbij de korrel geleidelijk steeds dieper gaat snijden. Dan wordt niet het gros van het afgeslepen materiaal tussen schijf en werkstuk meegevoerd. Het meer borste aluminiumoxyde kan het best meelopend geslepen worden. De korrel treedt dan met de volle snededikte in en heeft zodoende de grootste kans te versplinteren, waardoor zich weer nieuwe scherpe snijkanten vormen, terwijl het pulverachtige slijpsel minder problemen geeft.

### De slijpschijf en voorbereiding

Uit voorgaande paragraaf bleek reeds dat de slijpschijf voor wat betreft binding, structuur, diamantsoort en concentratie afgestemd moet zijn op de soort en de kwaliteit van het te slijpen keramiek, de slijpmethode en de eigenschappen van de slijpmachine. In de glasbewerking bestaat een sterke traditie om bronsgebonden slijpgezeedschap te gebruiken. Voor het slijpen van technische keramiek is dit gezeedschap minder geschikt. In een bronsbinding worden namelijk meest-

al regelmatige monokristallijne diamantkorrels gebruikt die sterk de neiging hebben tot afronden en daardoor hoge normaalkrachten opbouwen. Omdat in Nederland voornamelijk lichte slijpmachines gebruikt worden, leiden deze harde schijven tot opbouw van onrondheid en daardoor tot een stotende belasting op het keramiek. Dit effect wordt versterkt door het moeilijk profileerbaar zijn van deze harde binding, waardoor deze schijven niet snel op de machine te profileren zijn voor aanvang van de slijpbewerking.

In het algemeen zullen kunststofgebonden schijven, met polykristallijne diamantkorrels, zijnde een agglomeratie van kristallen, de voorkeur genieten. Voor algemeen gebruik geeft de uitvoering met vernikkelde diamanten de beste resultaten, terwijl bij kruipslijpen of bijzondere temperatuurkritische bewerkingen onbedekte diamanten de voorkeur genieten.

Voor de aanvang van het slijpen en vooral bij kruipslijpen is het van essentieel belang om de slijpschijf exact rond te maken, te scherpen en te balanceren. De bestaande traditie om met de hand met een scherpsteen te scherpen geeft veelal aanleiding tot onrondheid, omdat de scherpteconditie over de gehele omtrek van de slijpschijf ongelijkmatig kan worden. Het verdient de voorkeur om met behulp van een kruipslijpinstelling de slijpschijf te scherpen, of een automatische scherpsysteem toevoeren aan te brengen waarmee ook tijdens het slijpen scherpen mogelijk is. Voor het rondmaken van een slijpschijf is het "overslijpen" van zacht staal een aantrekkelijke methode omdat aan het slijpbeeld direct afgeschat kan worden of de schijf rond is. Zodra het "vlakjes" patroon verdwenen is, wat kenmerkend is voor onrondheid, is de schijf goed. De beste resultaten worden verkregen door een lage snijsnelheid te gebruiken (10 à 15 m/s) waardoor veel spaan ontstaat en hiermee pendelend (aanzet circa 30  $\mu$ m) met een continue dwarsvoeding een plaat te overslijpen. Wanneer veel schijven per dag gewisseld worden of er zwaardere metaalgebonden schijven gebruikt worden, is een automatische balanceren aan te bevelen.

## Beheersing van het slijpproces

De grootste problematiek bij het slijpen wordt veroorzaakt door het feit dat het slijpen geen stationair proces is. Bij het slijpen van keramische materialen zijn vooral de continu oplopende slijpkrachten een probleem. Dit probleem kan gedeeltelijk ondervangen worden door een goede reiniging van de slijpschijf met een koelvloeistofstraal onder hoge druk tegen de draairichting in. Wanneer dit niet voldoende is kan met behulp van een continue scherpsteentoevoer gezorgd worden voor uitbreuk van afgesleten diamant. In figuur 7 [4] wordt dit gedemonstreerd. Zonder toevoer van de scherpsteen,  $Q'_{sb}=0$ , neemt de normaalkracht toe als functie van het verspaand volume. Bij  $Q'_{sb}=0,2 \text{ mm}^3/\text{mm.s}$  is de toename minder sterk, terwijl in alle gevallen door een tijdelijke verhoging van de scherpsteentoevoer de slijpkrachten weer afnemen. Bij serieproductie kan tevens de diamantschijf afgestemd worden op het slijpproces. Of met deze technieken de opbouw van trillingen bij kruipslijpen voldoende onderdrukt kan worden is nog onderwerp van nader onderzoek.

### Filtratie van koelvloeistof

Een zeer belangrijk maar moeilijk te beheersen punt bij het slijpen is de koeling. In de eerste plaats kan het soort koelvloeistof het gedrag van het keramiek beïnvloeden. Ten tweede kan men zich afvragen of het hittebestendige keramiek wel gekoeld moet worden. Fliettemperaturen ontstaan, mede door de geringe smerende werking van water, toch wel. De directe afkoeling van het materiaal door het water, na passage van de slijpkorrel, veroorzaakt wel een temperatuurschok waar verschillende keramische kwaliteiten slecht tegen kunnen. Principeel lijkt het om beide redenen dan ook beter om met olie te slijpen. Het materiaal gedraagt zich taaiër en er ontstaan door de betere smering minder hoge fliettemperaturen en het materiaal wordt daarna minder snel afgekoeld. Praktische bezwaren zoals gebruiksgemak, filtratie, brandgevaar en milieubelasting zijn een belemmering voor

het gebruik van slijpolie.

In de praktijk is de filtratie van de koelvloeistof bij het slijpen van keramiek een probleem. Het grootste gedeelte van het keramiekslijpsel bevindt zich in de orde grootte van 1 – 10  $\mu\text{m}$ , wat met een bandfilter niet verwijderd wordt. Het filteren vindt dan ook pas plaats als de deeltjes onderling zijn gaan agglomereren, waardoor ze alsnog uitgefilterd worden. De beste ervaring tot nu toe is bereikt met centrifugeren. Het belang van filtratie is zeer groot. Het is niet alleen het behoud van de hele slijpinstallatie, maar ook van het slijpproces, opdat de schijf niet nodeloos verstopt raakt met keramisch slijpsel.

## Conclusies en opmerkingen

Concluderend kan gesteld worden dat voor het slijpen van keramische materialen de slijpcondities en het slijpschijftype afgestemd dienen te worden op de eigenschappen van het te bewerken materiaal en de te gebruiken slijpmachine.

Voor de opbouw van de hiervoor noodzakelijke kennis wordt bij het Energieonderzoek Centrum Nederland te Petten sinds 1986 onderzoek uitge-

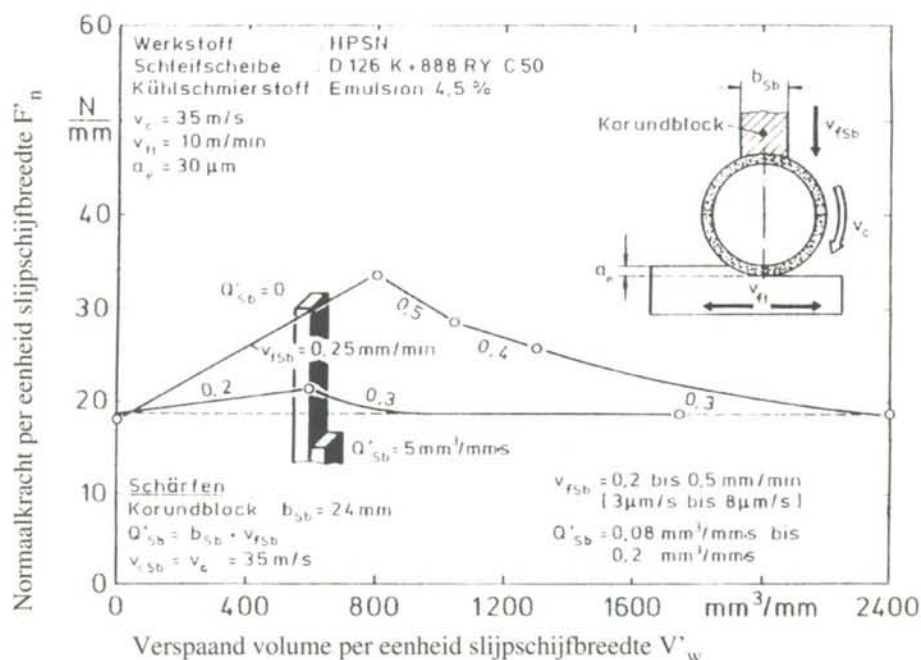
voerd op het gebied van het bewerken en met name het slijpen van technische keramiek. Dit onderzoek wordt gedeeltelijk in samenwerking met de TU Delft en met ondersteuning van het Innovatiegericht Onderzoekprogramma Technische Keramiek (IOP-TK) uitgevoerd.

## Literatuur

- [1] Saurwalt, J.J.: Kwaliteitsbeheersing bij het bewerken van keramische onderdelen voor structurele toepassingen; *Klei Glas Keramiek* 10(1991).
- [2] Matsuo, Y., Ogasawara, T., Kimura, S., Yasuda, E.: Statistical analysis of the effect of surface grinding on the strength of alumina using Weibull's multi-modal function; *Journal of Materials Science*, No. 22, 1987, p. 1482-1488.
- [3] Lutz, G., "Einfluss von Schwingungen beim Flachpendelschleifen", *Schleifen und Trennen*, 115(1991) p. 16, tijdschrift van TYROLYT.
- [4] Tio, T.H.: Neueste Erkenntnisse in der Bearbeitung von Keramiken durch Pendelplanschleifen. Vortrag anlässlich des Arbeitskreises "Keramikbearbeitung", Produktionstechnisches Zentrum Berlin, Oktober 1988.

## Auteursnoot

Dr. ir. J.J. Saurwalt is verbonden aan het Nationaal Keramisch Atelier NKA, Service Unit Technologie van het Energieonderzoek Centrum Nederland.



Figuur 7. Invloed van de scherpsteentoevoer op het verloop van de normaalkracht als functie van het verspaandvolume per eenheid slijpschijfbreedte.  $Q'_{sb}$  is de afnamesnelheid van de scherpsteen per eenheid slijpschijfbreedte.

## main supplier

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

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



micro  montage

Postbus 3108 - NL 3760 DC SOEST - Holland

## FOTOCHEMISCH ETSEN BIEDT VEEL VOORDELEN.

*Kent u ze?*

Fotocchemisch etsen is op zich geen onbekende techniek. Alleen, technici staan soms niet stil bij de voordelen die deze techniek biedt.

Zo kan er braam- en spanningsvrij geproduceerd worden, met volledig behoud van de materiaal eigenschappen. Er kan door-, maar ook ingeëts worden. U heeft een vrijwel onbeperkte keuze in materiaal in dikten van 0,005 mm tot 2 mm. Hierdoor is het juist voor dunne materialen een ideale techniek. Ook complexe ontwerpen vormen geen enkel probleem. En, omdat er geen stanswerktuig nodig is, kan goedkoop en snel geproduceerd worden. Series, maar ook prototypes!

Toepassingen zijn o.a. codeerschijven, connectoren, grids, veren, decoratieve- en modelbouw, maar ook lead-frames en SMD-stencils. Kortom klein, fijn en precies, dat kunt u bereiken met fotocchemisch etsen.

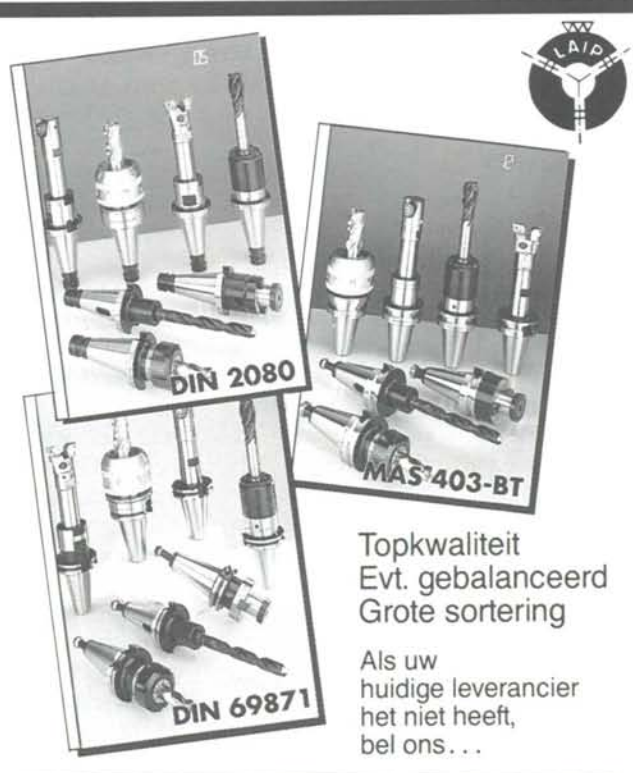
Meco Etchform is gespecialiseerd in fotocchemisch etsen, ook van moeilijk te etsen materialen zoals beryllium, molybdeen, titaan, wolfram en zilver, waarbij een hoge kwaliteitsnorm wordt gehanteerd.



MECO ETCHFORM B.V.

Mussenstraat 49. Postbus 4025, 1200 LA Hilversum.

Telefoon: 035-855194, Fax: 035-835616.



**DIN 2080**

**MAS 403-BT**

**DIN 69871**

Topkwaliteit  
Evt. gebalanceerd  
Grote sortering

Als uw  
huidige leverancier  
het niet heeft,  
bel ons...

Technische Handelsonderneming  
**J. Krijgsman**

v. Blommesteijnstraat 25 - 3087 BX Rotterdam  
Tel. 010-4950933\* - Fax 010-4950494



## SAM 2.1

## Simulatie-software voor mechanismen

Anton Honders

Het berekenen van positie, snelheid en versnelling van stangenmechanismen is een zaak van de computer geworden. In een eerder geplaatst artikel in Mikroniek van januari 1992 is een beschrijving opgenomen van De/Mec. Met de nieuwste versie van SAM, waarmee Artas uit Nuenen is uitgekomen, is het mogelijk te rekenen aan stangenmechanismen, die aangedreven worden door een kruk en een reductie-element. Voor de constructeur betekent dit een tijdsbesparing en een verbetering van de nauwkeurigheid.

**Het kinematisch gedrag van mechanismen** kan met SAM berekend worden. "Kinematisch gedrag" wil zeggen dat we kunnen rekenen met versnellingen, snelheden en verplaatsingen in het mechanisme. Deze bewegingsgrootheden kunnen betrekking hebben op translaties en rotaties. Bovendien kan SAM rekenen met krachten of momenten als belasting op het mechanisme.

De beperking ligt in het feit dat we niet kunnen rekenen aan mechanismen die gekoppeld zijn door verende of dempende elementen, dus alleen aan star gekoppelde mechanismen. Het is echter wel mogelijk veren en dempers als belasting op te nemen. Ook heeft SAM de mogelijkheid om krachten uit te rekenen die het gevolg zijn van massa's en massatraagheidsmomenten, veren en dempers of droge wrijving bij translerende en roterende elementen.

Het bijzondere aan SAM is dat het mogelijk is om reductie-elementen op te nemen in het mechanisme zoals (planetaire) tandwieloverbrengingen en snaaroverbrengingen.

### Hardware

SAM stelt weinig eisen aan de benodigde computer-hardware. Diverse kleurenschermen, printers en plotters met een DOS-machine zijn bruikbaar. Een coprocessor verhoogt de rekensnelheid aanzienlijk.

### Werking van SAM

SAM werkt volgens een eindige elementen-methode. Hiermee is het mogelijk complexe mechanismen snel en redelijk nauwkeurig te berekenen.

Met behulp van een editor worden de draaipunten van de diverse elementen en hun onderlinge stand opgegeven. Verder moet het programma weten welke krachten en bewegingsgrootheden berekend moeten worden en welke ingangsgrootheden er zijn.

Het programma kan nu de gewenste bewegingsgrootheden en krachten berekenen in een aantal standen van het mechanisme. Bij het bepalen van de inwendige krachten wordt rekening gehouden met traagheden, wrijving en uitwendige belasting.

De invoerfile van het mechanisme dat afgebeeld staat in dit artikel ziet er als volgt uit, zie figuur 1:

Eerst worden de knooppunten (nodes) benoemd en voorzien van coördinaten. Hier worden dus de afmetingen van een mechanisme vastgelegd.

Vervolgens worden hoeken (angles) benoemd om de beginstand van stangen, rechtgeleidingen, tandwielen en snaaroverbrengingen vast te leggen. Als twee stangen bij een knooppunt dezelfde hoek krijgen betekent dit een doorlopende stang.

Door het beperken van de vrijheidsgraden (fix) van knooppunten ontstaan rotaties en translaties. Het beperken van de verticale vrijheidsgraad van een rechtgeleiding laat dus een beweging toe in horizontale richting. Een rechtgeleiding kan dus alleen maar werken in horizontale of verticale richting. Een kruk met een beperking van de bewegingsvrijheid in twee richtingen zal dus een rotatie uitvoeren. Dit geldt natuurlijk ook voor tandwielen of snaarwielen.

In de invoerfile komen nu de elementen zoals kruk, tandwiel en stang met hun knooppunten en hoeken. Bij tandwielen moeten men nog stralen en drukhoek opgeven.

Het vastleggen van het mechanisme

vereist nog een ingangsbeweging, bijvoorbeeld een constante snelheid en een aanduiding voor het eind van de definitiefase (endbloc).

Om grafieken te maken is het noodzakelijk de te berekenen variabelen te declareren (file). In elk knooppunt van het mechanisme zijn positie, snelheid en versnelling opvraagbaar. Als in de invoerfile traagheid, wrijving, veerwerking of demping is opgenomen, dan zijn er ook krachten te berekenen in de knooppunten, mits deze variabelen ook gedeclareerd zijn.

Na het opslaan van de invoerfile kan de statische afbeelding van het mechanisme bekeken en gewijzigd worden. Deze afbeelding is als voorbeeld toegevoegd, zie figuur 2. In het hoofdmenu is ook duidelijk aangegeven hoe het mechanisme berekend kan worden. Bovendien is een help-functie aanwezig om daar waar nodig nog een verduidelijking te geven.

Van de berekende variabelen kan nu een grafiek of een lijst met getallen gepresenteerd worden. Hiervoor moet de gebruiker wel eerst opgeven welke combinatie gewenst is. Als voorbeeld is een grafiek opgenomen met de verplaatsing van ingang en uitgang als functie van de tijd, zie figuur 3.

### SAM elementen

Om een mechanisme te kunnen bouwen zijn de volgende elementen aanwezig:

Een *kruk* met een variabele hoek en/of variabele lengte om de aandrijving van het mechanisme vast te leggen.

Aan de kruk kan een roterende of een translerende beweging worden meegegeven; de gebruiker moet zelf versnelling, snelheid en positie opgeven of gebruik maken van de mogelijkheden binnen SAM. Er is een keuze mogelijk uit een beweging met constante snelheid of een sinusvormige beweging, ook een 3<sup>e</sup>-4<sup>e</sup>-5<sup>e</sup> graads polynoom is standaard aanwezig.

Een *stang* als verbindingselement, een *rechtgeleiding*, een *tandwieloverbrenging* en een *snaaroverbrenging* zijn de

## CASE 6 : Double Crank Mechanism

TITLE Double Crank Mechanism

```

NODE 1 0.00 0.00      *)
NODE 2 -0.50 -0.50    *)
NODE 3 -1.50 -1.00    *)
NODE 4 -3.00 0.00     *)
NODE 5 -2.60 0.40     *)
NODE 6 -1.50 3.00     *)
NODE 7 5.00 1.00      *)

ANGLE 11              *)
ANGLE 21              *)
ANGLE 31              *)
ANGLE 41              *)
ANGLE 51              *)

FIX 1 1               *)
FIX 1 2               *)
FIX 3 1               *)
FIX 3 2               *)
FIX 4 1               *)
FIX 4 2               *)
FIX 7 2               *)

BEAM 1 1 11 2 21      *)
GEAR 2 1 11 3 31 10 5 20 *)
GEAR 3 3 31 4 41 5 10 20 *)
BEAM 4 4 41 5 51      *)
TRUSS 5 5 6           *)
TRUSS 6 2 6           *)
TRUSS 7 6 7           *)
XINPUT 11 1          *)
LINEAR 6.2831 6.2831 36 *)
ENDBLOC

FILE                  *)
U 11 1               *)
U 7 1                *)
V 7 1               *)
A 7 1               *)
ENDBLOC

```

\* First Crank  
 \*) Gear Transmission  
 \*) Second Crank  
 \*)  
 \*) Angle 11 is given an  
 \*) angular motion of  
 \*) 6.2831 [rad] in  
 \*) 6.2831 sec (→  
 \*) vel. = 1) divided  
 \*) into 36 equal time  
 \*) intervals

\* Store the following  
 \*) results for postproces  
 \*) - angle 11  
 \*) - displacement of node  
 \*) 7 in direction 1  
 \*) - velocity of node 7  
 \*) in direction 1  
 \*) - acceleration of node  
 \*) 7 in direction 1

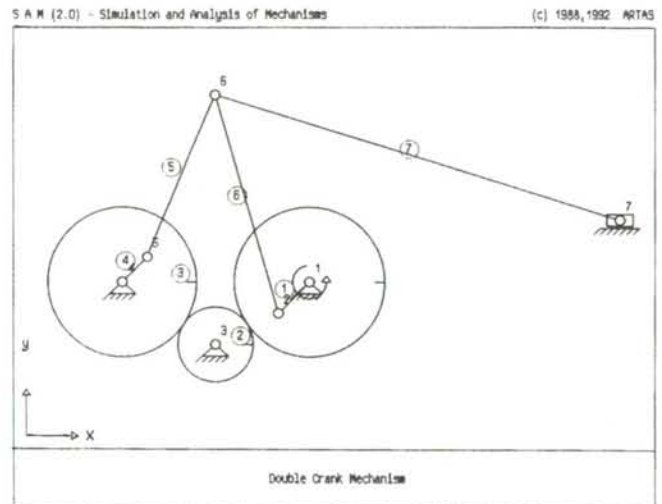
Figuur 1.

elementen die beschikbaar zijn om vlakke mechanismen te bouwen. Om een belasting aan te brengen kunnen we kiezen uit een *externe kracht*, *veren* en *dampers* en een *massa* om de traagheid van een rechtgeleidingselement aan te geven. Een *massatraagheid* voor een roterend element kan of rechtstreeks worden opgegeven of door enkele massapunten te definiëren. De mogelijkheid om droge *wrijving* mee te nemen is erg interessant. Indien ook visceuse wrijving nodig is voor de bepaling van krachten in draaipunten dan is hiervoor de dem-

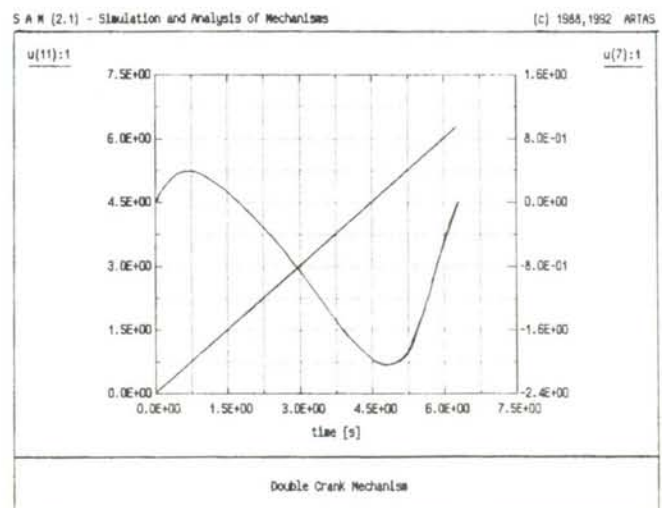
per te gebruiken. Verder is er nog een *sensor* aanwezig om de afstand tussen twee draaipunten te meten.

**SAM commando's**

SAM kan met de hand of met een muis bestuurd worden. Er is een uitgebreide help-functie aanwezig. Het hoofdmenu van SAM ziet er als volgt uit:  
*File* is een groep functies om de structuur van een mechanisme op te slaan of op te vragen.  
 Met *Edit* kan een tekstfile gemaakt of bewerkt worden zodat we een mecha-



Figuur 2.



Figuur 3.

nisme kunnen bouwen of wijzigen.

Met *Analysis* kunnen we de berekeningen uitvoeren en met *Display* kunnen we de stand van het mechanisme en zijn bewegingen op het beeldscherm laten verschijnen. Een bijzondere optie van SAM is de *Hodograph*, waarmee kan de snelheid langs de baan van het mechanisme getekend worden. Het *List*-menu geeft de mogelijkheid om de numerieke gegevens te bekijken, te printen of op te slaan. De *Plot*-functie kan grafieken tekenen van alle berekende grootheden (tijdens *Edit* vastgelegd).

## Simulatie-software voor mechanismen

### SAM handleiding

De engelstalige handleiding leest gemakkelijk door de logische opbouw. Eerst wordt behandeld hoe met SAM gewerkt moet worden en vervolgens hoe men een mechanisme kan bouwen. Hierna komen veel voorbeelden aan de orde.

Er wordt uitgebreid ingegaan op menustructuur en mogelijkheden. In de appendix staat een handig overzicht met de complete menustructuur en alle elementen om een mechanisme te bouwen met de gedetailleerde beschrijving.

### Gebruikerservaringen

SAM is een gemakkelijk te gebruiken programma waarmee al na korte tijd flinke mechanismen zijn te bouwen en te analyseren.

De aandrijving van een mechanisme vereist naast de invoer van posities ook snelheden en versnellingen voor ingewikkelde bewegingen moet de gebruiker dan zelf enig rekenwerk verrichten.

Eenvoudige bewegingen kunnen binnen het programma zelf gekozen worden.

Het vastleggen van de vorm van het mechanisme en de belastingen vindt plaats in een edit-omgeving. Wijziging van afmetingen, aandrijfgegevens of grootte van de belasting werkt wat omslachtig omdat geen separate menu's aanwezig zijn voor het invoeren van deze gegevens.

De handleiding is overzichtelijk en geeft een aantal aardige voorbeelden van niet alledaagse stangenmechanismen.

Het aanbrengen van massa's door middel van verdeling van massa's is niet eenvoudig uit de handleiding op te maken.

De rekennauwkeurigheid van het programma is met een paar eenvoudige mechanismen gecontroleerd. Verder zijn de voorbeelden in de handleiding voorzien van grafieken met bewegingsgrootheden die eveneens een betrouwbaar beeld geven.

### Samenvatting

Een programma om stangenmechanismen te berekenen is voor ontwerpers een uitkomst. Het beschreven programma heeft een aantal interessante mogelijkheden. SAM kan bijvoorbeeld krachten berekenen zodat sterkte en stijfheid van stangen en draaipunten direct bepaald kunnen worden. Verder is deze krachtenberekening heel handig bij het kiezen van de aandrijfmotor. Het reductie-element kan door SAM meeberekend worden.

De mogelijkheid om rekening te houden met droge wrijving is zeker voor fm'ters heel handig omdat kleine en lichte mechanismen nu nauwkeurig bepaald kunnen worden.

Verder zal de prijs nauwelijks een probleem zijn om dit programma te gebruiken.

### Auteursnoot

Anton Honders is docent aan de Hogeschool Utrecht studierichting Fijnmechanische Techniek te Hilversum. Hij houdt zich bezig met de vakgebieden aandrijftechniek, regeltechniek, simulatie en modelvorming.



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

Polgron Optics and Polishing Techniques is de enige onderneming in Nederland die zelfstandig hoognaauwkeurig polijstwerk verricht. Het polijsten van produkten met een oppervlakteruwheid van Ra 0,001 tot 0,002 micrometer en een vormnaauwkeurigheid van 0,05 micrometer is met de door ons ontwikkelde techniek niet alleen haalbaar voor vlakke, maar zelfs voor sferische en a-sferische vormen. Die kunst laten we niet atkijken. Evenmin gunnen we u een blik op prototypes of matritzen van de meest gerenommeerde bedrijven die bij ons op de werkbank kunnen staan. Wellicht voor u juist de verzekering dat uw opdracht bij Polgron in goede handen is.



**POLGRON**  
OPTICS & POLISHING TECHNIQUES  
Het grove onderscheid op 0,002 micrometer.

Zernikepark 2-4, 9747 AN Groningen, tel. 050-743738 fax 050-635596

### 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 produktcatalogus:

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



**APPLIED LASER  
TECHNOLOGY**

## Produktinfo

### Keramische filterelementen

Gezien de steeds hogere milieu-eisen wordt men in tal van industrieën geconfronteerd met aanzienlijke kosten voor het op een verantwoorde wijze afvoeren van olie/wateremulsies, dieptrek- en wasoliën en verontreinigde vloeistoffen.



Een afdoende zuivering en scheiding van de verschillende media is voor bedrijven de laatste jaren dan ook steeds aantrekkelijker gebleken door besparingen op afvoerkosten en terugwinnen van kostbare vloeistoffen.

Een oplossing biedt Groneman B.V. met de recentelijk speciaal voor dit doel ontwikkelde filterinstallaties, die onder de naam Hydrocleaner op de markt worden gebracht. Het betreft hier een serie volautomatisch werkende installaties die zowel te gebruiken zijn voor het scheiden van olie/wateremulsies, als voor het filteren van procesvloeistoffen en het recyclen van waswater en ontvettings- en fosfateringsmiddelen.

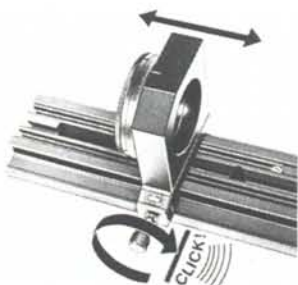
Voor het filteren worden speciale keramische membraanbuizen gebruikt, die verontreinigingen en geëmulgeerde olie tegenhouden en alleen water doorlaten. Een automatisch werkende terugspoelunit zorgt ervoor dat regelmatig een

kleine hoeveelheid reeds gefilterd medium met een korte drukpuls tegen de filtratierichting in door de keramische membraanbuizen wordt teruggedrukt, zodat de binnenkant hiervan gereinigd wordt. Aldus wordt permanent een hoge filtratie-opbrengst gegarandeerd, terwijl extreem lange reinigingsintervallen worden bereikt.

De membraanbuizen zijn chemisch bestand tegen onder meer gechloreerde koolwaterstoffen, zuren en logen en tegen hoge temperaturen en drukken. De complete Hydrocleaner-serie omvat negen uitvoeringen met ver uiteenlopende capaciteiten. Zo wordt bij koelsmeermiddel (met 3-5% olie-aandeel) een wekelijkse capaciteit aangegeven van 690 dm<sup>3</sup> bij het kleinste model en 69.000 dm<sup>3</sup> bij de grootste installatie.

**Voor uitvoerige info:**  
Groneman B.V.  
Postbus 24  
7550 AA Hengelo  
Telefoon: 074 - 434 545  
Fax: 074 - 430 178.

### Opto-click systeem



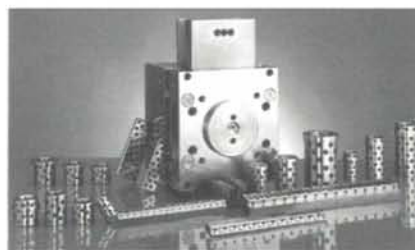
Onlangs patenteerde MEOS haar nieuwe "opto-click" systeem voor optische toepassingen; dit bestaat uit meer dan honderd componenten.

De ruiters – dit zijn de onderdelen voor het opnemen van optische componenten – moeten zonder speling over de bijbehorende rail verschoven kunnen worden. Dit geschiedt door de vastzetschroef van een ruiters te ver-

draaien tot men "klik" hoort. Door het spelingloos zijn kan vervolgens de ruiters door aandraaien van de schroef worden vastgezet zonder positieverandering.

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

### Zelfsmerende glijelementen voor matrijzenbouw



SANKYO Oilless Industry brengt een programma zelfsmerende hardbronsen glijelementen voor de matrijzenbouw op de markt die onderhoudsvrij zijn en een aanzienlijk langere levensduur hebben dan stalen glijelementen. Dit is te danken aan de hoge mechanische eigenschappen van het hardbrons in combinatie met de eigenschappen van het gebruikte vaste smeermiddel. Vet en olie worden bij een belasting van ca. 50 N/mm<sup>2</sup> tussen twee vlakken uitgedrukt. Het vaste smeermiddel dat in de glijelementen geïntegreerd is kan echter een belasting boven ca. 100 N/mm<sup>2</sup> verdragen. Daarnaast heeft het smeermiddel de eigenschap dat een eenmaal opgebouwde smeerfilm niet meer verdwijnt, dus onderhoudsvrij zijn. De elementen kunnen worden toegepast bij temperaturen tot 300 °C. SANKYO levert een zeer uitgebreid standaardprogramma, zoals bussen voor het geleiden van uitwerppennen, geleidepennen, commanderpennen en schenen. De bussen zijn inzetbaar in alle standaardmatrijshuizen. Daarnaast

## Produktinfo

is er een programma hoeklijsten, strip- en platen voor het geleiden van schuiven in matrijzen leverbaar. Glijelementen naar klantenspecificatie zijn leverbaar. Een catalogus geeft alle informatie.

**Voor uitvoerige info:**  
SANKYO Oilless Industry  
Postbus 14042  
2501 GA Den Haag  
Telefoon: 070 - 3 563 320  
Fax: 070 3 647 407.

## Diepgraveren van metalen

Het diepcoderen van (hard)metalen produkten gaat over het algemeen door middel van inslaan/indrukken met behulp van stempels. Deze conventionele technieken houden in dat over het algemeen veel kracht op het produkt overgebracht dient te worden. Daarnaast kunnen gebogen oppervlakken vaak moeilijk op een goede wijze gecodeerd worden. De uiteindelijke kwaliteit van de codering laat vaak te wensen over.

Alternatief voor bovenstaande technieken is het diepgraveren met behulp van lasers. Het beschrijven gaat contactloos en zonder het overbrengen van krachten waardoor het stevig vastzetten van produkten niet nodig is. Met deze techniek zijn codeerdieptes mogelijk van 0,2 mm. en dieper en de kwaliteit van de codering is zeer goed te noemen.



De nieuwe techniek kan een uitkomst zijn voor produkten die, vaak met de hand, van diepliggende codering moeten worden voorzien. Bijvoorbeeld omdat een laklaag wordt aangebracht

en de code leesbaar moet blijven of wanneer de code wordt blootgesteld aan een omgeving die een snelle slijtage van een ondiepe markering teweeg zou brengen.

Voor ieder metaal of een specifieke taak kan de laser optimaal worden aangepast door verandering van enkele parameters.

Wanneer men de laserpulsen langzaam en elkaar overlappend verplaatst dan is hiermee de graveersnelheid en -diepte bepaald. Afhankelijk van het te markeren materiaal zijn snelheden tot 20 mm/sec mogelijk waarbij de diepte over het algemeen varieert tussen 100 en 600 µm, maar dieper kan ook.

De foto van het versnellingsbakonderdeel toont een diepgravering. De naam "BAASEL LASERTECH", waarvan de karakterhoogte 4 mm bedraagt, is in 9,3 seconde aangebracht.

Naast het "diepschrijven" van de karakters zijn er ook nog andere mogelijkheden met de laser:

- aanbrengen van karakters die zijn opgebouwd uit punten (de DOT matrix code);
- Voordeel is dat hierbij een dubbele snelheid mogelijk is.
- graveren door het leggen van een las op de oppervlakte.

In tegenstelling tot het diepgraveren wordt het materiaal hierbij gesmolten in plaats van verdampt. Het karakter komt hierbij op het oppervlak te liggen. De snelheid is hier meestal ongeveer 30 mm/sec.

**Voor uitvoerige info:**  
Baasel Lasertech Benelux B.V.  
Rotterdam  
Telefoon: 010 - 4 625 980.

## Monteren in beperkte ruimte met haakse schroevendraaier

Haakse schroevendraaiers zijn onontbeerlijk indien er iets gemonteerd of aangedraaid moet worden in of op moeilijk toegankelijke plaatsen. Gedacht moet worden aan opstaande kanten, werkstukken met beperkte ruimten, geprofileerde stalen balken, etc. Onze leverancier ontwikkelde hiervoor een nieuwe reeks haakse schroevendraaiers met een slipkoppeling voor

zeer nauwkeurige koppelaafstelling en één voor alle gangbare toepassingen. De toerentalreeks loopt van 300 tot 1400 omw/min met een koppelreeks van 2 tot 27 Nm. Maximum capaciteit tot M10. Alle modellen zijn rechts en links draaiend.

Met betrekking tot de ergonomische uitvoering van de machines kan met name de nadruk worden gelegd op het lage geluidsniveau (78 dB) en de beschikbaarheid (op aanvraag) van olievrije uitvoeringen.

De haakse koppen zijn robuust en hebben een zeer hoge standtijd.



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

## Boriumnitride composiet

Gimex technische keramiek B.V. introduceert in de Benelux een nieuw materiaal te weten boriumnitride composiet inzetbaar tot 1800 °C in zowel lucht als beschermde atmosfeer.

Het is met normaal gereedschap te bewerken, heeft uitstekende thermische eigenschappen en is chemisch inert. Het materiaal kan geleverd worden in staf, blokken of platen, volgens klantspecificaties en als een soort kneedbare massa ("deeg"), zodat het ter plaatse in elke gewenste vorm gebracht kan worden.

Het staf-, blok- en plaatmateriaal is gebakken en kan met conventionele machines bewerkt worden als grafiet.

**Voor uitvoerige info:**  
Gimex technische keramiek B.V.  
Postbus 220  
4191 CE Geldermalsen  
Telefoon: 03455 - 74 255/74 893  
Fax: 03455 - 74 866.

# De juiste weg naar superieure precisie

Licht in gewicht, roestvrij en lange levensduur—**IKO** roestvrij stalen rechtgeleidingen zijn eenvoudigweg beter.



**BWU**



**BSP/BSR**



**LWL/LWLF**

Nippon Thompson biedt u meer mogelijkheden dan ooit voor rechtgeleidingen. Allen van roestvrijstaal.

IKO miniatuur geleidingen bieden niet alleen eerste klas lineaire nauwkeurigheid, maar zijn tevens gefabriceerd van superieure materialen en met hoogwaardige productietechnieken die uitmuntende prestaties met een lange levensduur garanderen.

#### Lange levensduur en zeer betrouwbaar.

Kogels, rail en wagen van roestvrijstaal voor superieure corrosiebestendigheid en schone werking.

#### Eenvoudig, compact en lichtgewicht ontwerp.

Eenvoudige m.b.v. computers geanalyseerde structuren verzekeren compactheid met minimale potentiële fouten in fabricage door geringe toleranties.

Hoge belastingscapaciteit en buitengewoon sterk in het opnemen van complexe en momentbelastingen.

#### Rustige en stille loop.

M.b.v. computers geanalyseerde ontwerpen garanderen een optimaal functioneren.

#### Eenvoudige en accurate installatie.

Gebaseerd op 40 jaar ervaring in het fabriceren van lagers en precisie geleidingen. Kunnen wij u daarmee van dienst zijn?

Wilt u meer advies? Wij staan altijd voor u klaar.



**NIPPON THOMPSON EUROPE B.V.**

Sheffieldstraat 35-39, 3047 AN Rotterdam Telefoon: 010-462 68 68 Telex: 26025 (IKO NL) Fax: 010-462 60 99

• Mündelheimer Weg 56, 4000 Düsseldorf 30, F.R. Duitsland

• Polig. Ind. AIDA, A-8 Ofic 2, 1<sup>a</sup> 19200-Azuqueca de Henares (Guadalajara), Spanje

• 2 Vincent Avenue, Crownhill, Milton Keynes Bucks MK8 0AB, Groot-Brittannië

Telefoon: 0211-414061 Telex: 8586242 (IKO D) Fax: 0211-427693

Telefoon: 911-26 33 90

Telefoon: 0908-566144

Fax: 911-26 31 13

Fax: 0908-565458

# Wat maakt die 0,01 mm nou uit?



**P**roduceren op 0,01 mm kan erg tijdrovend en kostbaar zijn. Maar is dat wel een reden om het dan maar wat minder nauw met de pasvorm te nemen?

Het antwoord op deze vraag kan een volmondig "ja" of een absoluut "neen" zijn. Alleen uw klanten, elk met hun eigen eisen en specificaties kunnen u het antwoord geven.

Hoe hoog de eisen van uw klant ook zijn, u zult altijd uw producten snel en eenvoudig willen meten. En dat kan bijvoorbeeld met een digitale schroefmaat van Mitutoyo.

De Digimatic schroefmaten leest u af op 0,001 mm en zijn

leverbaar in meetbereiken tot en met 1000 mm. En als u met een schroefmaat niet uit de voeten kunt dan is er altijd nog ons uitgebreide aanbod van digitale meetklokken, schuifmaten en hoogtemeters!

Voor informatie en advies:  
Mitutoyo Nederland, afd. Verkoop  
Tel: 08385-34911, Fax: 08383-16568

# Mitutoyo