jaargang 30, nummer 5/6

Mikroniek

NVFT

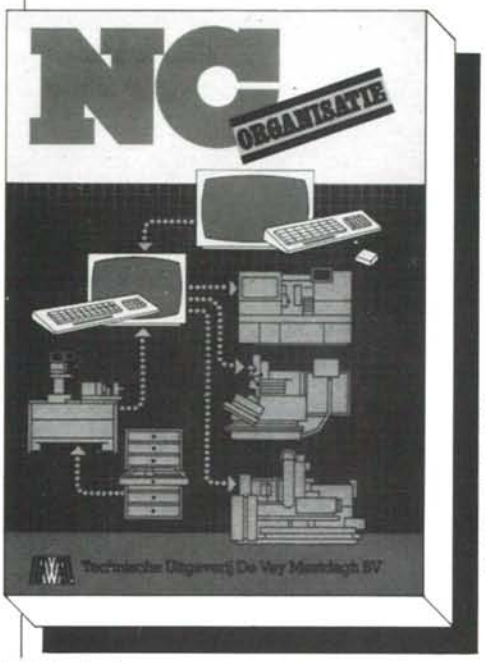
VAKBLAD FIJNMECHANICA

Kunststoffen - Rubbers - Verf - Roestvaststaal

Groeimeting - Telescoop - Piëzoelementen

NC-Organisatie voor produktiebedrijven

- programmeren
- werkplaatsorganisatie
- werkstukkeuze
- gereedschaporganisatie
- spanmiddelenorganisatie
- personele aspecten
- CAD-CAM



Omvang
ca. 150 pagina's A5
Vele afbeeldingen
ISBN 90 6376 021 3

Prijs
f 46,–
incl. BTW

Ook in de boekhandel verkrijgbaar

In België te bestellen bij uitgeverij de Sikkel

de vey mestdagh

Markt 51 • 4331 LK Middelburg • Nederland • Telefoon 01180-81240

LECUREUX

Elektronische schroevedraaiers en schroefautomaten voor kleine schroeven van M0,35 tot M3.

micro montage

Postbus 3108 3760 DC Soest
Tel. 02155-26400 Fax 27200

Technische warmteleer

Uitgangspunt van de auteur

Dit boek 'Technische Warmteleer' - kort en bondig' is in de eerste plaats bedoeld als studieboek voor studenten in de werktuigbouwkunde en daarmee verwante vakken; bovendien is het geschreven als richtlijn voor reeds afgestudeerden die dit vak destijds in het 'technische eenhedenstelsel' hebben geleerd en die bij het overgaan naar het sinds juli 1969 voorgeschreven S.I.-eenhedenstelsel een zekere ommezwaai moeten maken.

Prijs
f 65,–
incl. BTW

Ook in de boekhandel verkrijgbaar

In België te bestellen bij uitgeverij de Sikkel

de vey mestdagh

Markt 51 • 4331 LK Middelburg • Nederland • Telefoon 01180-81240

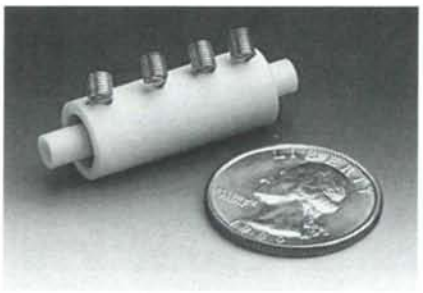
Wij verzoeken u te leveren

_____ **ex. Technische warmteleer**

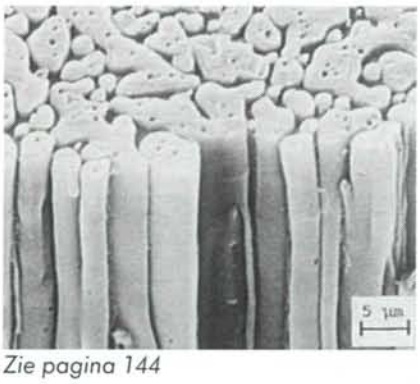
Naam _____
Adres _____
Postkode _____
Plaats _____

Zenden aan De Vey Mestdagh
Markt 51 • 4331 LK Middelburg • Nederland

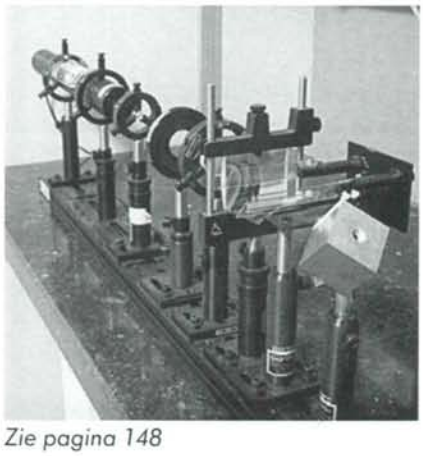
In dit nummer:



Zie pagina 136



Zie pagina 144



Zie pagina 148

125 Editorial
Ir. M. Breuning

126, 161 en 173
Verenigingsnieuws, feiten, data, mensen

131 Piëzo-elektrische elementen en hun toepassingen
Ir. M. Breuning

137 Lichtgewicht kantelspiegel voor telescoop
Dr. ir. J. Verkerk, Werkplaats Fysica, Rijks Universiteit te Utrecht.

141 Kunststoffen in de jaren negentig
J.H. Geesink, DSM Research, Geleen

147 Verf en Fijnmechanische Techniek
Ir. M. Breuning

149 Ontwikkelingen op het gebied van rubberachtige materialen
Ing. W.J. Aben, Centrum voor Polymere Materialen TNO

154 Enkele eigenschappen van roestvast staal
Dr.ir. A.J. Huis in 't Veld, Metaalinstituut TNO, Apeldoorn

157 Enkelstukfabricage op een bewerkingscentrum, utopie of fenomeen?
Ind.Ing. H. Verniest, Gereedschapmakerij Siemens, Oostkamp België

162 Wissel tussen Kennis en Markt
De rol van de toeleverancier:
Samenwerken vanaf de ontwikkeling van een produkt verhoogt kwaliteit en snelheid.

164 Het nauwkeurig meten van de groei van zaailingen en (jonge) planten
W.J.M. Tonk, experimenteel ontwerper bij de Faculteit Algemeen der Landbouw Universiteit Wageningen.

175 Vermoeiingsresponsie van gehard staal

168 Boekennieuws
Vacuümtechniek

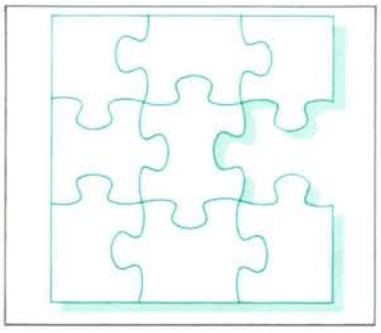
170 Instrumentdraaien op CNC-machines: een haalbare kaart?
Ing. T. Koert, Philips Machinefabrieken Eindhoven

174 Werkplaatsinformatie

Bij de foto op de voorpagina:

Secundaire spiegel van de James Clerck Maxwell-telescoop na de fabricage. De spiegel heeft een diameter van 750 mm en is daarmee de grootste uit aluminium vervaardigde lichtgewicht spiegel. De spiegel is onderdeel van een telescoop, die sinds twee jaar op de 2400 m hoge berg Mauna Kea op Hawaii staat.
De spiegel bestaat uit een dunne bolle schaal die zijn stijfheid ontleent aan een dikke rand. Ontwerp en vervaardiging is tot stand gekomen door een gezamenlijke inspanning van de Rijks Universiteit te Utrecht, De Technische Universiteit Delft en Philips Natuurkundig Laboratorium. Foto E. Landré.

Soms ligt er maar een klein stukje tussen probleem en oplossing.



Soms ontbreekt het aan een specifiek stukje precisiewerk. De oplossing heeft u misschien in uw hoofd, maar niet in uw handen.
Leg uw probleem dan eens voor aan Dinfa, de meedenkende perfectionisten. Opdrachtgevers met uiteenlopende problemen helpen we aan elk gewenst onderdeel of apparaat, waarbij we al heel vroeg meedenken over de beste oplossing. Hoe de specificaties ook worden aangeleverd, Dinfa werkt ermee. Engineering verzorgen of testen? Co-makership? Met Dinfa als partner wordt het een stuk eenvoudiger!

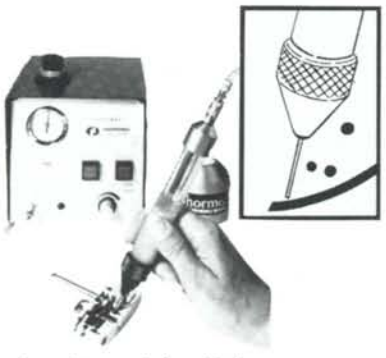
Staaltjes van vaak opvallende oplossingen tonen aan dat we er de mensen en de technische outillage voor hebben.

Dinfa: De passende oplossing voor uw probleem.

dinfa
PRECISIE-ONDERDELEN EN APPARATEN

Fultonstraat 11, Postbus 45, 2690 AA 's-Gravenzande.
Telefoon 01748-14441. Telefax 01748-20100.

hormec technic



Nauwkeurig en lekvrij doseren van olie, vet, lijm en pasta's met de doseerkoppen van Hormec Technic

Komponenten, handapparatuur en doseerautomaten.

micro montage

Postbus 3108 3760 DC Soest
Tel. 02155-26400 Fax 27200

ALS HET ECHT ROND MOET ZIJN

PRECISIEKOGELS VAN 0,3 TOT 50 MM

uit:

- Robijn
- Saffier
- Aluminiumoxyde
- Siliciumnitride
- Titaancarbide

Rondheid-tolerantie: <0,1 micron

- slijtvast
- chemisch bestendig
- licht gewicht en
- temperatuurbestendig

Voor nadere informatie:

ceratec® b.v. technische keramiek

Postbus 66 - 4175 ZH Haaften - Nederland

Tel. 04189-2222 - Telefax 04189-1872

ADVIES - ONTWERP - LEVERING

Mikroniek

Orgaan van de

NMFT

vereniging voor
Fijnmechanische Techniek

Uitgave:
De Vey Mestdagh BV

Redactie:
Ing. H.J. van Agthoven
Ir. S. van de Graaf (hoofd redactie)
H.M.C. Heubers
H.G.J. Rutten
Ir. J.J. Veerman
G.J. Verschragen
D. Blank

Redactiesecretariaat:
J. Snikkers
Klaprooslaan 17
5691 WL Son
Telefoon (04990) 71831

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

Abonnementen:
De Vey Mestdagh BV,
Markt 51, 4331 LK Middelburg
Telefoon (01180) 81240
Postgirorekening 26 06 279
Nederland *f* 100,- per jaar
Buitenland *f* 125,- per jaar
Alle prijzen excl. BTW

Advertentie-acquisitie:
De Vey Mestdagh BV,
Markt 51, 4331 LK Middelburg
Telefoon (01180) 81240
Fax (01180) 81215

Vormgeving:
Jurriaan Bol Design, Son

Tekst en beeld:
Grefo PRE PRESS, Son en Breugel

Druk- en bindwerk:
Den Boer Drukkers

Mikroniek verschijnt zes maal per jaar

ISSN 0026-3699

Editorial

Waarde lezer,

Dit jaar is Uw geduld tot tweemaal toe op de proef gesteld. Nummer 4 verscheen véél later dan het behoorde en nummer 5 ligt voor U, gecombineerd met nummer 6.
De redactie biedt daarvoor haar excuses aan. De vertragingen hadden verschillende oorzaken. Een daarvan was de aanloopmoeilijkheden met nieuwe techniek bij het zetten. Helaas komen aanloopproblemen maar al te vaak voor. Zelfs de meest gerenommeerde Amerikaanse en Europese leveranciers van computer-hardware en -software blijken niet altijd in staat deze problemen te voorkomen.
Juist bij deze geavanceerde produkten is uiterste zorg voor details bij de fabricage van de apparatuur respectievelijk bij de ontwikkeling van de software klaarblijkelijk een absolute vereiste.
Wie zich bezighoudt met de fijnmechanische zal dit niet onbekend in de oren klinken. Maar begrijpen en weten dat dat moet om de klant goed te bedienen betekent nog niet dat dergelijke zorg ook altijd aan het produkt wordt besteed.
Niettemin zal, zeker in de aanstaande, open Europese markt het overleven als onderneming en als ondernemer steeds meer worden bepaald door zulke zorg. Evenzo de werkgelegenheid van de werknemers.
De oude slogan "Perfection pays" werd vaak beantwoord met de vraag "Who pays perfection?"
Naar mijn mening dient de slogan gemoderniseerd te worden tot: "Perfection at a competitive price surely pays!"
Wie de beste prestatie levert tegen de meest concurrerende prijs zal de beste positie in de markt veroveren om te blijven bestaan.
Dat geldt voor ons allemaal.

Redactie en redactie-begeleidings-commissie wensen de lezers een voorspoedig 1991.

ir. M. Breuning.

Verenigingnieuws

Aan de leden van de NVFT

Zoals in onze 10e Algemene Ledenvergadering van 31 mei 1990 is afgesproken, heeft het bestuur van de NVFT met het Mikrocentrum Nederland een voorstel uitgewerkt dat zou kunnen leiden tot een vorm van samenwerking.
In dat voorstel kwamen opleidingen, het uitgeven van een periodiek voor de fijnmechanische techniek en het voeren van een secretariaat aan de orde.

Het voorstel is vervolgens besproken met afgevaardigden van het bestuur van de NVFT en van de Stichting MCNL hetgeen niet tot een positief resultaat heeft geleid. Enerzijds bleek het moeilijk de samenwerking NVFT-MCNL ook budgettair sluitend te krijgen, anderzijds dreigde de identiteit van onze vereniging verloren te gaan. Op deze gronden is besloten van samenwerking af te zien.

Voor de continuïteit van de NVFT betekent dit dat wij een andere oplossing voor ons secretariaat hebben gevonden en de uitgave van Mikroniek veilig willen stellen.
Het bestuur beoogt daarmee de exploitatiekosten te verlagen en de financiële basis van de NVFT te versterken.
Het belang dat het bestuur hecht aan het stimuleren van de fijnmechanische techniek is reden om zich toch te oriënteren op samenwerking in enig verband met organisaties die overeenkomstige doelstellingen hebben als de NVFT.
Over de resultaten hiervan zult U zo goed mogelijk op de hoogte worden gehouden.

Als voorlopig huisadres van NVFT geldt:
Secretariaat NVFT
Postbus 6367
5600 HJ Eindhoven
Faxnr.: 040-460645
Telefonisch bereikbaar op: 04998-92111
Dagelijks van 9.00 tot 17.00 uur.

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

Regionale werkgroep Twente

De Regionale Werkgroep Twente organiseerde op donderdag 18 oktober 1990 een interessante middagbijeenkomst met als thema: Aandrijftechniek in de fijnmechanische techniek. De ca. 30 deelnemers waren daarvoor te gast bij AKZO-zout- en basischemie in Hengelo.

De bijeenkomst werd geopend door het lid van de werkgroep, de heer P.F. van der Zanden, die de sprekers en de aanwezigen welkom heette.

Als **eerste onderwerp** kwam aan de orde het **gelijkstroommotorenprogramma van Maxon Motor.** Deze Zwitserse fabrikant met een personeelsbestand van ca. 520 mensen is op het gebied van kleine gelijkstroommotoren volgens ISO 9001 marktleider in de Duitse Bondsrepubliek, de USA en Japan.
Na een korte inleiding door de heer J. Borghuis van Sanders-Birnie BV werden door de heren R. van Agen, H. Pit en D. Hoekstra een aantal aspecten van deze motoren besproken. De reeks reikt van 0,5 Watt vermogen tot 80 Watt, in diameters van 12 mm tot 60 mm.
Door de heer van Agen werd de principiële opbouw en constructie van de motoren behandeld. Deze motoren hebben een ijzerloos anker dat draait buiten om de permanente magneet. Het veld daarvan wordt gesloten door het huis van de motor. De constructie van het anker geeft een zeer gelijkmatig koppel en een zeer gering massatraagheidsmoment. Daardoor zijn deze motoren zeer geschikt voor elektronisch gestuurde toepassingen in met name robotachtige constructies. Ze kunnen worden uitgerust met tacho of encoder, voor analoge zowel als digitale besturing - en met vertragingskastjes, voor grotere koppels in planeetuitvoering.

De heer Pit behandelde vervolgens de mogelijkheden van snelheids- en ook positieregeling van de motoren met behulp van de daarvoor ontworpen elektronische besturingen. Voor de snelheidsregeling wordt gebruik gemaakt van de tacho; voor de positie gecombineerd met snelheidsregeling van een encoder.

De derde spreker, de heer Hoekstra, behandelde een applicatie-voorbeeld. Dit betrof de aandrijving en besturing van de diverse bewegingen van de door TNO-Produktcentrum voor het ontspanningspark "De Efteling" ontwikkelde zogenaamde "Trollenkoning". Hierbij zijn met succes een groot aantal motoren, voorzien van encoder en reductiekast, toegepast in diverse vermogens.
De verschillende problemen bij deze toepassing, met name veroorzaakt door de geringe beschikbare ruimte, werden door de heer Hoekstra op een ludieke wijze behandeld. De aangekondigde bespreking van het andere toepassingsvoorbeeld, met name in de nieuwe postsorteermachine, ontwikkeld door het Neher Lab., moet in verband met de nog lopende octrooiaanvragen helaas achterwege blijven.

Het **tweede onderwerp** betrof de **koppelbegrenzers van het fabrikaat Mayer.** Deze werken besproken door de heer H.J. Snellink van Groneman BV.

De koppelbegrenzers zijn bestemd voor de bescherming tegen overbelasting van allerlei machines. Met name kostbare CNC-machines kunnen overbelast worden door onbedoelde botsingen van het gereedschap met het werkstuk, ten gevolge van bijvoorbeeld programmeerfouten. Ook bij fouten met toevoerrobots kunnen dergelijke situaties ontstaan. Machinestilstand en kostbare reparaties kunnen het gevolg zijn.

Daar het grootste deel van het massatraagheidsmoment zich in de veelal snellopende motor bevindt, wordt een koppelbegrenzer bij voorkeur zo dicht mogelijk achter het aan te drijven gereedschap respectievelijk de slede gemonteerd.

Slipkoppelingen zijn voor hun functie afhankelijk van de wrijvingscoëfficiënt van de koppelingdelen. Dit is een systeemgrootheid die sterk van omstandigheden (temperatuur, vochtigheid, vuil etc.) afhankelijk kan zijn. Daarmee is de betrouwbare reproductie van een ingesteld maximumkoppel dikwijls zeer dubieus.

De koppelbegrenzers van Mayer zijn spelingvrij en reageren op een overschrijding van een ingestelde grenswaarde binnen ± 5%. Ze hebben een grote torsiestijfheid, een gering eigen massatraagheidsmoment, geharde op elkaar dragende vlakken en een instelbaar grenskoppel.
Bij overbelasting valt het koppel direct terug door een negatieve karakteristiek

van de aandrukveer. De koppelelementen zijn kogels respectievelijk rollen die in uitsparingen worden gehouden door de veerdruk. Door de axiale mechanische verschuiving van een koppelinghelft bij overschrijden van het ingestelde koppel wordt via een contactloze eindschakelaar tevens een signaal verkregen waarmee de motor gestopt kan worden respectievelijk andere functies kunnen worden bediend.

Mayer bouwt de koppelbegrenzers in een aantal uitvoeringen en verschillende grootten, voor koppels van 2,5 tot 6000 Nm, als doorslipkoppeling, vrijloopkoppeling of als synchrone koppeling. Bij deze laatste is het patroon van rollen en uitsparingen zodanig asymmetrisch dat per 360o slechts in één stand koppeling tot stand komt. Deze uitvoering is speciaal van belang bij de aandrijving van machine-assen die ten opzichte van elkaar een eenduidige stand moeten hebben. Een uitvoering als blokkeringskoppeling wordt geleverd in 10 grootten, van 5 tot 12000 Nm.

De meest recente ontwikkeling is een elektrisch bekrachtigde koppelbegrenzer, waarbij de aandrukkracht wordt opgewekt door een elektromagnetisch veld en de koppeling ontkoppelt door de veerspanning. Met deze uitvoering is het bijvoorbeeld mogelijk een machine met een hoog aandrijfkoppel te laten aanlopen en daarna ten behoeve van beveiliging tegen overbelasting de ingestelde grenswaarde door verandering van de bekrachtigingsstroom lager in te stellen. Naast de reeds genoemde toepassing in CNC-machines worden koppelbegrenzers ook in allerlei andere machines toegepast zoals verpakkingsmachines, machines voor de voedings- en genotmiddelenindustrie, houtbewerkingsmachines en machines voor de verwerking van kunststoffen en nog vele andere.
Op beide onderwerpen reageerden de aanwezigen geanimeerd met verschillende vragen en opmerkingen.

ir. M. Breuning

Regionale Werkgroep Utrecht

Op donderdag 15 november 1990, vond in de regio Utrecht een goed bezochte avondbijeenkomst plaats met een tweetal voordrachten en een demonstratie. Hierbij een korte samenvatting van de voordrachten.

Optical Disk Mastering ODM
De heer E.J. Mulder is ontwerper bij de gelijknamige firma ODM te Eindhoven, een joint-venture van Philips en Du Pont Optical, die is opgericht voor ontwikkeling, verkoop en service van ODM processen en aanverwante hardware voor de commerciële replicatie.
Opticaldisks, laserdisks en compactdisks zijn vooral bekend door de weergave van muziek en beeld. Als compacte betrouwbare gegevensdrager veroveren zijn een steeds breder toepassingsgebied. Voorbeelden zijn de CD-ROM bij computers en de CD als videomedium
Voor de produktie van compactdisks moet men eerst over een origineel van uitzonderlijke kwaliteit beschikken, waarvan de matrijzen worden gemaakt voor het persen van de compactdisks die in de handel komen. Het maken van dit origineel, de zogenaamde master vergt apparatuur die nog een aantal malen nauwkeuriger is dan de compactdiskspeler die wij kennen. De afwijking in radiale richting bijvoorbeeld mag niet meer dan 15 nanometer bedragen, wat overeenkomt met éénveertigste deel van de golflengte van licht. De heer Mulder gaf uitvoerig uitleg hoe deze en andere eisen in een ontwerp verenigd zijn. De mastering-apparatuur is een zeer kennisintensief produkt met een verkoopwaarde die boven een miljoen gulden ligt.

Hoogfrequent frezen
Dit onderwerp werd ingeleid door J. Verkerk van de Werkplaats Fysica van de RU te Utrecht. Het maken van dunwandige werkstukken of smalle gleuven is vaak problematisch. Dunne wanden laten zich tijdens het frezen makkelijk vervormen door de hoge snijkracht, zodat men gedwongen is kleine spaandoorsneden af te nemen. Ook bij het gebruik van kleine gereedschappen kan met maar kleine spaandoorsneden afnemen, met een zeer lange bewerkingstijd als gevolg.
De enige manier om dan een acceptabele verspaningssnelheid te bereiken is het opvoeren van het toerental van het gereedschap. In aluminium zijn hoge toerentallen mogelijk. Deze techniek wordt toegepast in de Werkplaats Fysica bij toerentallen tussen 16.000 en 20.000 omwentelingen per minuut. Afhankelijk van de doorsnede van de spil en de daarin toegepaste lagers liggen maximaal toelaatbare toerentallen tussen 32.000 en 50.000 omwentelingen per minuut. Omdat het voor de verspaning noodzakelijke vermogen meestal niet boven de 1,5 kW komt, is het aantrekkelijk om twee of meer spillen op de machine te monteren, zodat tegelijkertijd een aantal werkstukken gefabriceerd kan worden.

J. Verkerk.

Actueel

Nederlandse laboratoria bundelen zich in "Eurolab-Nederland"

Een aantal laboratoria, waaronder TNO, neemt het initiatief tot oprichting van een "Vereniging Eurolab Nederland".

Het initiatief is een vervolg op de oprichting van "Eurolab", 25 april j.l. in Brussel. Deze club wordt een representatief forum van de laboratoriumwereld in de EG- en EFTA-landen en, ten aanzien van testen en certificeren, gesprekspartner van die twee instellingen. In Eurolab hebben van elk land twee afgevaardigden zitting die representatief zijn voor de overheids- en private laboratoria.

De Nederlandse vereniging in oprichting gaat de belangen van instellingen die meten en beproeven behartigen en gaat fungeren als vertegenwoordiger op nationaal en internationaal niveau, onder meer door de Nederlandse afvaardiging naar Eurolab zowel qua personen als qua mandaat inhoud te geven.
Ook wil "Eurolab-Nederland" de samenwerking tussen de laboratoria onderling en met andere relevante organisaties bevorderen, zodat technische en politieke ontwikkelingen optimaal kunnen worden gevolgd en beïnvloed. Een voorlichtings- en oprichtingsbijeenkomst werd op woensdag 24 oktober in Den Haag gehouden.

Voor nadere informatie:
Dr. H. Kienhuis
Prins Mauritslaboratorium TNO
Postbus 45
2280 AA Rijswijk
Telefoon: 015-843497

Actueel

Elektromuseum Delft krijgt historische computer

De T.U. Delft werd eigenaar van één van de eerste procescomputers. De twintig jaar oude computer, het IBM 1800-systeem, was de eerste industriële computer in de IBM 360-serie. Het karakter van dit systeem is uniek. Er zijn er maar enkele van geproduceerd. De IBM-1800 was een van de weinige systemen die analoge en digitale gegevens kon verwerken. Het apparaat was in de tijd dat het op de markt kwam, in 1965, zo geavanceerd dat kundig bedieningspersoneel nauwelijks voorhanden was.
De IBM-1800 wordt, na twintig jaar dienst te hebben gedaan bij de EPON-Flevocentrale in Lelystad, overgedragen aan de Delftse werkgroep "Geschiedenis der Elektrotechniek".
Namens de T.U. Delft nam de rector magnificus van de universiteit, prof. drs. P.A. Schenck, de historische IBM in ontvangst van EPON, Elektriciteits- Produktiemaatschappij Oost- en Noord-Nederland.
Deze officiële overdracht vond plaats op 7 november j.l. aan de faculteit Elektrotechniek, Mekelweg 1, te Delft.

Eerste NIL-diploma's "lasinstructeur" en "meesterlasser" uitgereikt

Onlangs vond de diploma-uitreiking plaats van de nieuwste kadercursussen van het Nederlands Instituut voor Lastechniek (NIL). De cursussen "Lasinstructeur" en "Meesterlasser" gingen vorig jaar van start bij de Pedagogische Technische Hogeschool (PTH) in Eindhoven en het Metaalinstituut TNO in Apeldoorn. Het doel van deze opleidingen is bezitters van lasvakdiploma's in staat te stellen door te groeien naar kaderfuncties.

Sector Opleidingen
Het werkterrein van de Lasinstructeur is het opleiden van lassers op de verschillende NIL-niveaus. De cursus Lasinstructeur is daarom zeer interessant voor leraren en instructeurs van opleidingsinstituten en bedrijfsscholen.

Lastoezichthouder
De Meesterlasser zal deskundig toezicht gaan houden op het lassen en hierover helder en systematisch kunnen rapporteren. Met name bij de keuringsinstituten en in het bedrijfsleven kunnen deze functionarissen een belangrijke rol spelen.
In beide cursussen wordt theoretische kennis gekoppeld aan reeds opgedane praktijkervaring. Zo ontstaat er een nieuwe generatie kader die gaat bijdragen aan de bevordering van de kwaliteit van de lastechniek in Nederland.

Europese erkenning
Bij de opzet van de cursussen is sterk rekening gehouden met de situatie in Duitsland waar vergelijkbare opleidingen reeds langer bestaan. De achterliggende gedachte hierbij is de wens om, met het oog op 1992, te komen tot een Europese erkenning van de diploma's.

Weer van start
De cursusleiders, de examencommissie en de NIL-begeleidings-commissie zijn zeer verheugd met het slagingspercentage van 82. Ze tekenen hierbij aan dat de deelnemers een grote inzet toonden bij een als pittig ervaren cursus. In september zijn de cursussen met een goede bezetting weer opnieuw gestart bij PTH en TNO. Vanaf september '91 worden ze op meerdere lokaties gegeven.

Informatie
Voor nadere informatie over de NIL-kadercursussen Lasinstructeur en Meesterlasser, kan men contact opnemen met het Nederland Instituut voor Lastechniek, afdeling Onderwijs, telefoon: 070-3600937.

Nadere informatie:

Nederland Instituut voor Lastechniek
Laan van Meerdervoort 2-B
2517 AJ 's-Gravenhage
Telefoon: 070-3600937.

De geslaagden van de nieuwe NIL-kadercursussen "Meesterlasser" en "Lasinstructeur": pittige cursus, grote inzet, veel geleerd en goed geslaagd.

Corrosie en corrosiebestrijding

Bij de aanpak van corrosieproblemen blijkt, kennis een succesbepalende factor. Daarom verzorgt de stichting Post Tertiaire Onderwijs-Utrecht (PTO-U), in nauwe samenwerking met het Nederlands Corrosie Centrum (NCC) in Bilthoven, vier cursussen over de onderwerpen:

- Corrosiemechanismen,
- Corrosiepreventie en -bestrijding,
- Scheurvormende corrosievormen en schade-analysemethoden,
- Deklagen.

De theorie wordt geïllustreerd met videobanden en andere audiovisuele hulpmiddelen, terwijl in de practica de opgedane kennis geoefend wordt. Elke cursus wordt afgesloten met een examen, dat recht geeft op een post HBO-deel-certificaat.

Bestemd voor:
Ontwerpers, constructeurs, materiaalkundigen, inspectie- en keuringsdeskundigen, technici, belast met onderhoud en/of instandhouding of betrokken bij (niet-destructief) onderzoek en anderen die in hun werk regelmatig te maken hebben met corrosie en corrosiebestrijding.

Aanmelding en informatie:
Voor meer informatie kunt u contact opnemen met het secretariaat van:
PTO-U, Tiberdreef 8
3561 GG Utrecht
Telefoon: 030-660254/660264.

Corrosiemechanismen
Data: woensdag 27 februari, 6 en 13 maart 1991 van 9.00-17.00 uur.
Kosten: *f* 1.575, per deelnemer.

Corrosiepreventie en -bestrijding
Data: woensdag 20 en 27 maart 1991 van 9.10-17.00 uur en 10 april 1991 van 9.10-12.50 uur.
Kosten: *f* 1.325,- per deelnemer.

Scheurvormende corrosievormen en schade-analysemethoden
Data: woensdag 10 april 1991 van 13.20-17.00 uur, 17 en 24 april 1991 van 9.10-17.00 uur.
Kosten: *f* 1.325,- per deelnemer.

Deklagen
Data: woensdag 1 en 8 mei 1991 van 9.10-17.00 uur.
Kosten: *f* 1.050,- per deelnemer.

NCC Secretariaat
Postbus 120
3720 AC Bilthoven
Telefoon: 030-287773.

Trends in materialen en hun verwerking

De Bond voor Materialenkennis organiseert in opdracht van het ministerie van Economische Zaken in de eerste vier maanden van 1991 een groot aantal voorlichtingsavonden. De bijeenkomsten zijn gericht op ondernemers en technici van kleine en middelgrote bedrijven, waarvoor kennis van materiaaleigenschappen van belang is.

Het doel van deze avonden is trends aan te geven in de toepassing van nieuwe materialen en verwerkingstechnieken bij fabricage en constructie.

Per regio worden steeds twee avonden belegd. De eerste avond wordt aandacht besteed aan de industriële toepassing van nieuwe lijmsoorten en aan het omvormen van plaatmateriaal. De tweede avond staat in het teken van het (precisie)spuitgieten van kunststoffen en het bewerken van stoffen door middel van lasers en water. Voor bedrijven uit de regio bestaat de gelegenheid deel te nemen aan een tentoonstelling.

Bij de organisatie van deze avonden wordt nauw samenwerkt met een aantal specialistische verenigingen, Innovatie Centra en Kamers van Koophandel.

De bijeenkomsten, die bijna alle om 19.00 uur beginnen, worden gehouden op de volgende plaatsen en data:

Heerhugowaard	22-01-91 1)
Amsterdam	24-01-91 2)
Haarlem	29-01-91 1)
Rijswijk	31-01-91 2)
Rotterdam	05-02-91 1)
Dordrecht	07-02-91 2)
Vlissingen	19-02-91 1)
Breda	21-02-91 2)
Thorn	26-02-91 1)
Heerlen	28-02-91 2)
Eindhoven	05-03-91 1)
's-Hertogenbosch	07-03-91 2)
Arnhem	12-03-91 1)
Utrecht	14-03-91 2)
Apeldoorn	19-03-91 1)
Enschede	21-03-91 2)
Zwolle	26-03-91 1)
Emmen	28-03-91 2)
Leeuwarden	09-04-91 1)
Groningen	11-04-91 2)

1) onderwerpen: lijmen en omvormen
2) onderwerpen: spuitgieten en laserbewerking

Nadere inlichtingen kunnen worden verkregen bij het
Bureau van de Bond
voor Materialenkennis,
Postbus 390, 3330 AJ Zwijndrecht,
Tel.: 078-192655.

TNO onderzoekt wrijvings- en slijtagegedrag van keramische materialen

Het Metaalinstituut TNO in Apeldoorn start binnenkort een onderzoek naar de wrijvings- en slijtage-eigenschappen van een aantal keramische materialen. Een projectbeschrijving van die strekking is voorgelegd aan potentiële sponsors in de kring van leveranciers en gebruikers van technisch keramiek. Aan het onderzoek wordt meegewerkt door het Centrum voor Technische Keramiek TNO-TUE in Eindhoven.
Het aanbod van keramische materialen voor tribotechnische toepassingen als lagers, tandwielen, geleidingen etc. is de afgelopen jaren sterk toegenomen, ook voor toepassingen bij hoge temperatuur. Daardoor is behoefte ontstaan aan systematisch geordende informatie over de loopeigenschappen onder uiteenlopende gebruikscondities. Pas als daar meer van bekend is, wordt een betrouwbare vergelijking met andere materialen en materiaalgroepen mogelijk en zal duidelijk worden welke materialen geschikt zijn als bijvoorbeeld lagermateriaal.
In het onderzoek worden de volgende gesinterde bulkmaterialen betrokken: aluminiumoxyde, zirkoonoxyde, siliciumcarbide en -nitride, en hardmetaal. In totaal worden 15 materialen en materiaalcombinaties 'tegen zichzelf' of tegen elkaar beproefd. De volgende condities worden aangelegd: lucht en water van 20°C, hydraulische olie van 80°C (onder stikstof en lucht) en lucht van 400°C.
Leverancier en gebruikers van technisch keramiek die geïnteresseerd zijn in het onderzoek kunnen de projectbeschrijving aanvragen bij het secretariaat van de groep Tribotechniek van het Metaalinstituut TNO in Apeldoorn, Produktietechniek en materiaalonderzoek.
Postbus 541
7300 AM Apeldoorn
Laan van Westenenk 501
7334 DT Apeldoorn
Telefoon: 055-493347

Bedrijven hebben functionaris nodig voor Europese produkteisen

"Voor veertig procent van alle produkten zullen eisen worden gesteld aan kwaliteit en effecten op gezondheid en milieu. Deze eisen worden vastgelegd in richtlijnen van de Europese Gemeenschap en uitge-

werkt in Europese normen. Bijna elk bedrijf krijgt hiermee te maken. Die bedrijven zullen een "sensorfunctie" moeten instellen: op de hoogte zijn van wat op je afkomt. De eisen kunnen immers vergaande consequenties hebben voor het produktontwerp."

Dit betoogde ir. M.C. Vrolijk, hoofd externe normalisatie bij Philips, in de cursus "Produkteisen 1992" van het Nederlands Normalisatie-instituut (NNI). Deze cursus werd op 21 augustus in Delft voor het eerst gehouden.

Volgens ir. Vrolijk zal elk bedrijf iemand moeten aanwijzen, die zich met normen en normalisatie gaat bezighouden. De heer W. Winter, adviseur bedrijfsnormalisatie bij het NNI, wees erop dat bedrijven hier van de "nood" van de bindende produkteisen een deugd kunnen maken. Door principes van bedrijfsnormalisatie consequent toe te passen zal men zich niet alleen aan de Europese regels houden, maar ook veel efficiënter kunnen produceren.

NNI, Postbus 5059, 2600 GB Delft.

DIS '91 toont nieuwste ontwikkelingen informatieverwerkingssystemen

Volgend jaar worden in Nederland 32 miljard documenten beheerd, hiermee is jaarlijks een bedrag gemoeid van anderhalf miljard gulden. Elk jaar groeit de papierstroom met vijftien procent. DIS '91, met als ondertitel Beurs voor Informatie-, Beeld en Documentverwerkingssystemen, geeft inzicht in de nieuwste ontwikkelingen om deze informatiestromen te beheersen. De organisatie is in handen van de Jaarbeurs in samenwerking met de VIFKA sectie DIS en het NMA Associatie voor Informatie Management.

De beurs wordt gehouden in de Jaarbeurs te Utrecht van dinsdag 5 tot en met vrijdag 8 maart 1991.

De hoeveelheid informatie waarmee een bedrijf te maken krijgt is gigantisch. Voor een efficiente bedrijfsvoering is het van belang om snel en op elke gewenste plek over de juiste informatie te beschikken. De meeste informatie staat nog steeds op papier. Twee tot vijf procent wordt opgeslagen op microfilm; vijf tot tien procent is terug te vinden via een computer. Uit onderzoek blijkt voorts dat informatiestromen de komende jaren, mede onder invloed van verdere computerisering, alleen nog maar zullen toenemen. Tegen deze achtergrond is een goed toegankelijk archief van strategisch belang. Een slecht archief staat daarentegen gelijk aan kapitaalvernietiging. Saillant detail; twintig procent van de opgeslagen rapporten is onvindbaar.

Beursmanager Rob Schotema verwacht dat de grootste investeringen de komende jaren gedaan zullen worden door bedrijven die op dit moment nauwelijks op de hoogte zijn van het bestaan van de verschillende documentverwerkingssystemen. Schotema: "Dit betekent dat we ons voor DIS '91 gaan richten op een nieuw segment van de markt. Dit zijn met name de kleine en middelgrote instellingen en bedrijven. Deze uitbreiding van de doelgroepen manifesteert zich ook in het expositieprogramma." In 1989 kwam het totaal bezoekcijfer uit op 3400, naar verwachting zal DIS '91 bezocht worden door 5000 personen.
Dit programma omvat onder meer:

- Archiveringssystemen;
- Beeldplaten;
- Camera's;
- CD-I;
- Computer hardware;
- Databanken;
- Digitaliseringssoftware;
- Electronic Mail;
- Image processing;
- Microfilm;
- Optical Video Discs;
- Scanners.

De toegang is gratis voor iedereen die binnen de eigen organisatie met informatiestromen te maken heeft. Gratis toegangskaarten kunnen vanaf nu bij de Jaarbeurs (Postbus 8500, 3503 RM Utrecht, telefoon: 030-955600) worden aangevraagd.

Naar één gezamenlijk NIL-SOM examen voor de handvaardigheidsopleidingen van lassers

De besturen van de Stichting Opleidingen Metaal en het Nederland Instituut voor Lastechniek hebben zich uitgesproken voor een vergaande samenwerking op het gebied van de lasopleidingen voor de niveaus 1 t/m 4 in de verschillende lasprocessen, die zal moeten leiden tot één NIL-SOM examen.

Deze samenwerking is bedoeld om de in het verleden ontstane onduidelijkheid over de twee examens weg te nemen, doublures ongedaan te maken en daardoor kostenbesparend te werken, een betere kwaliteit te leveren door inbreng van de lastechnische expertise van het NIL en de pedagogische expertise van de SOM en - met het oog op "Europa 1992" - internationaal een sterkere positie in te kunnen nemen.
De samenwerking heeft betrekking op:

- de inhoud van de opleiding;
- de examenopgaven;
- de beoordelings-systematiek;
- de diplomering en;
- de lesstofontwikkeling.

De besturen hebben besloten daartoe tevens de bestaande programma- en examencommissies van de SOM en van het NIL samen te voegen.

Het is niet de bedoeling de examens te verzwaren.
De kaderopleidingen blijven een NIL-aangelegenheid, maar kunnen in de toekomst wellicht eveneens in een samenwerkingsovereenkomst worden ondergebracht.

Een SOM-NIL werkgroep is ingesteld die voorstellen aan de besturen moet doen over de verdere invulling van de samenwerking.

Nadere inlichtingen:
NIL Den Haag; telefoon 070-3658900.
SOM Woerden; telefoon 03480-10955.

AWF-Machinekaarten

Is uw produktie optimaal georganiseerd?

Natuurlijk moet u op elk moment van elke dag heel precies weten hoe het staat met uw machinepark.

Het AWF*) kaartsysteem is daar onmisbaar voor, want het heeft voor elke machine een stam-, een onderhouds- en een smeerkaart. Zo hebt u alles bij elkaar.

Het systeem telt ruim dertig kaarten en het kan ook dienst doen voor laboratorium-apparaten, kantoormachines, transportmiddelen enz.

Het is altijd goed om even na te gaan of uw voorraad blanko kaarten nog voldoende is en of alle machines en apparaten er in ondergebracht kunnen worden en er ook werkelijk in zitten.

Een goede kontrolemaatregel: laat een of meer proefstellen machinekaarten dan ziet u wat er allemaal of wat u er nog meer mee kunt doen.

*) Allegemeines Werkschaftverband Frankfurt, voor Nederland aangepast in samenwerking met het Centrum voor Metaalbewerking TNO.

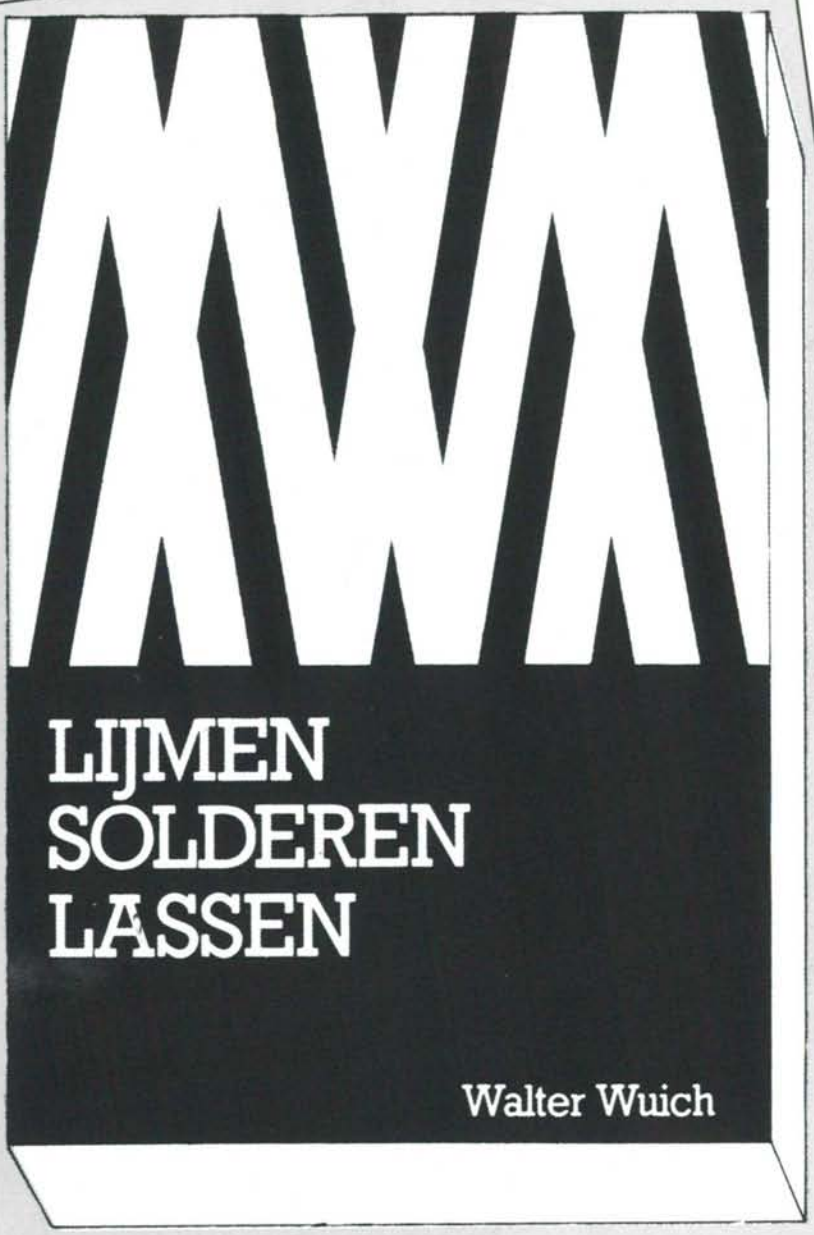
Technische Uitgeverij De Vey Mestdagh BV
Markt 51, 4331 LK Middelburg
Tel. 01180-81240

LIJMEN SOLDEREN LASSEN

Walter Wuich
ISBN 9063760124

Het verbinden wordt in de moderne produktietechniek steeds belangrijker. Hierbij dient opgemerkt te worden dat in het kader van de technische vooruitgang en van de systematische ontwikkeling van speciale bewerkingsmethoden en -technieken, de grenzen van de toepassingen vervagen. Vroeger waren deze grenzen duidelijker en hadden de verschillende verbindingsmethoden hun eigen toepassingsgebied. Thans komt het bijvoorbeeld dikwijls voor dat machine-onderdelen worden gelijmd, die vroeger uitsluitend gelast werden.
In dit licht is het dus zeer belangrijk de verschillende verbindingsmethoden niet los van elkaar te behandelen, maar om deze vergelijkend te beschouwen.
Dit boek voldoet aan deze opvatting en behandelt de verbindingstechnieken lijmen, solderen en lassen met hun speciale voordelen en toepassingen "naast elkaar".
Om het geleerde snel op te kunnen nemen, worden vele onderlinge afhankelijkheden met verhelderende grafieken toegelicht.
Ter controle van de mate waarin de lezer zich de te bestuderen stof heeft eigen gemaakt, volgt na elke paragraaf een aantal opgaven. De oplossingen hiervan staan achter in het boek.

190 pagina's, vele afbeeldingen, merendeels in twee kleuren.



de vey mestdagh
Markt 51 • 4331 LK Middelburg Nederland • Telefoon 01180-81240

Prijs
f 75,–
incl. BTW

Wij verzoeken u te leveren

_____ ex. **LIJMEN, SOLDEREN, LASSEN**

Prijs **f 75,–** incl. BTW

NAAM _____

ADRES _____

KODE _____

PLAATS _____

Zenden aan
De Vey Mestdagh
Markt 51 • 4331 LK Middelburg Nederland

Piëzo-elektrische elementen en hun toepassingen

Ir. M. Breuning.

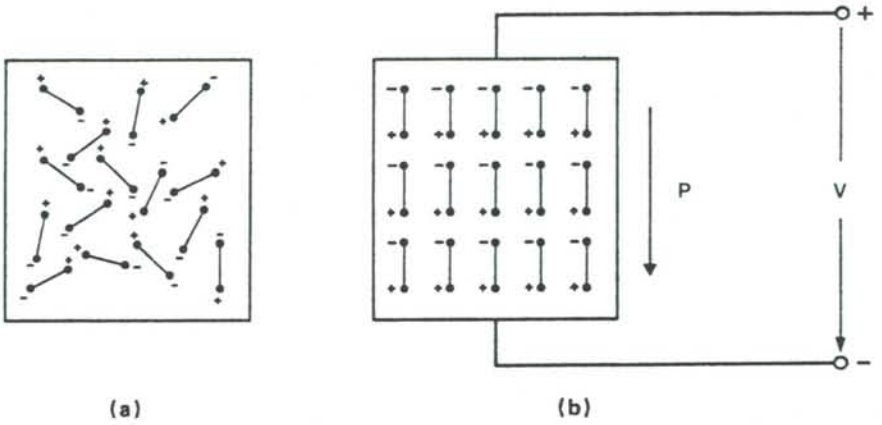
Ferro-electricity and the piezo-electric effects are briefly described. Natural materials having such properties are mentioned. But the main attention is given to the relatively young, man-made piezo-electric ceramic materials and (PZT: lood-titasaat-zirkonaat) the different shapes in which they are available. The most recent development of these is the multilayer configuration. The dynamic behaviour is briefly mentioned. Its application in vibrating systems for various purposes discussed. Finally a number of different, well known as well as recently developed, applications is surveyed.

Piëzo-elektriciteit

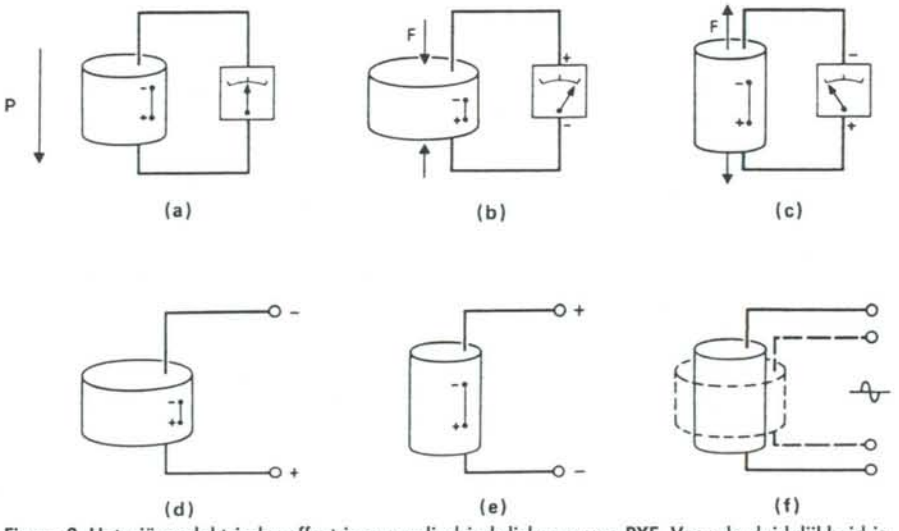
Piëzo-elektriciteit is het verschijnsel dat in sommige niet-metallische kristallen een elektrische polarisatie wordt opgewekt wanneer zulke kristallen mechanisch worden belast door druk- of schuifspannigen.
Dit verschijnsel werd in 1880 ontdekt door de gebroeders Pierre en Paul-Jacques Curie.
Op gemetalliseerde eindvlakken loodrecht op de drukrichting vertonen die kristallen onder drukbelasting een elektrische lading; de ladingen van de tegenover elkaar liggende vlakken hebben een tegengesteld teken. Het kristal wordt gepolariseerd. De grootte van de lading is evenredig met de drukkracht. De richting van de polarisatie keert om als men de druk vervangt door trek.
Het rendement waarmee mechanische energie wordt omgezet in elektrische is 25 tot 40%.
Het verschijnsel wordt verklaard doordat een verschuiving respectievelijk verdraaiing optreedt van de positieve en negatieve ionen ten opzichte van elkaar door de vervorming van het kristal onder belasting.
Ook het omgekeerde effect kan worden opgeroepen. Wanneer een elektrische spanning op de eindvlakken van een kristal wordt aangebracht, is een vormverandering te meten.

Materialen

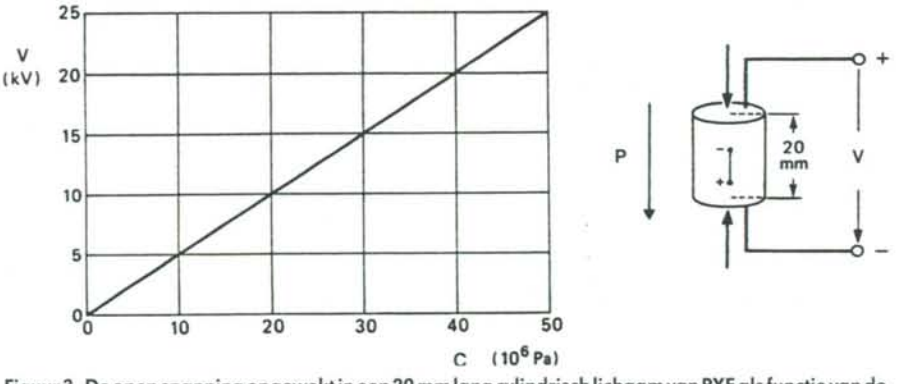
Bekende materialen met piëzo-elektrische eigenschappen zijn: kwarts, toerma-



Figuur 1 De polair georiënteerde gebiedjes in piëzo-elektrisch materiaal vóór (a) en na (b) polarisatie, ideaal voorgesteld. In (b) is P de polarisatierichting en V de polarisatiespanning.



Figuur 2 Het piëzo-elektrische effect in een cylindrisch lichaam van PXE. Voor de duidelijkheid is slechts één dipool getekend. In (a) is P de polarisatierichting; (b) op druk belast; (c) op trek belast; (d) onder elektrisch veld tegengesteld aan P; (e) onder elektrisch veld in dezelfde richting als P; (f) onder wisselend elektrisch veld.



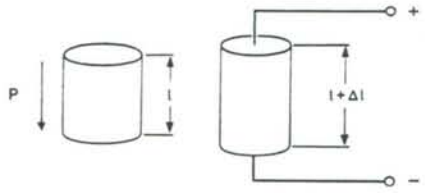
Figuur 3 De open spanning opgewekt in een 20 mm lang cylindrisch lichaam van PXE als functie van de drukspanning (gegeven in Pascal). P is polarisatierichting, V is open spanning, C is de drukspanning.

Piëzo-elektrische elementen en hun toepassingen

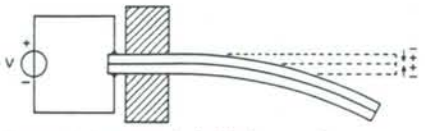
lijn, seignettezout, galliumarsenide, zinksulfide en bariumtitanaat.
Bij deze materialen is van nature een elektrische polarisatie van kleine gebieden aanwezig. De polarisatie kan worden gericht door een sterk elektrisch veld, soms bij hoge(re) temperaturen. Na afkoeling en verwijdering daarvan blijft een oriëntatie in de veldrichting over. De remanente polarisatie veroorzaakt ook een permanente deformatie in het materiaal: het wordt anisotopisch. Zo'n blijvende polarisatie kan worden opgeheven door het aanbrengen van een elektrisch veld in tegenovergestelde richting als het oorspronkelijke, verhoging van de temperatuur boven de Curie-temperatuur of te hoge mechanische druk.
Dit diëlektrisch gedrag van deze materialen is analoog aan de magnetische eigenschappen van ferro-magnetische materialen. In analogie worden ze dan ook ferro-elektrisch genoemd.

Keramische piëzo-elektrische materialen (PZT's)

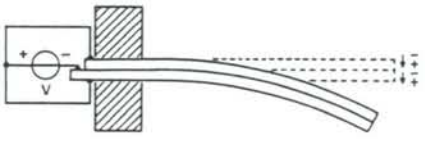
In de laatste paar decennia (sinds de jaren vijftig) zijn keramische piëzo-elektrische materialen tot ontwikkeling gekomen en hebben snel vele toepassingen van het piëzo-elektrische effect mogelijk gemaakt. Deze polykristallijne materialen bestaan uit mengkristallen van loodtitanaat ($PbTiO_3$) en loodzirconaat ($PbZrO_3$) waarvan kleine hoeveelheden van andere materialen worden toegevoegd. Ze worden onder andere door Philips Components onder de handelsnaam PXE geproduceerd en kunnen in allerlei vormen worden geleverd.
Kenmerkend voor deze ferro-elektrica is een hoge diëlektrische constante (5000) en een zeer sterk piëzo-elektrisch effect (ca. 200 maal sterker dan bijvoorbeeld in kwarts).
Bij het afkoelen van de gesinterde keramiek tijdens de eerste fasen van de fabricage vormen zich gebiedjes met een polaire oriëntatie. Het materiaal vertoont in deze toestand nog geen piëzo-elektrische eigenschappen. Het laat zich echter goed polariseren in een sterk gelijkspanningsveld, vooral bij temperaturen tussen de 100 en 200°C. De polarisatieveldsterkte bedraagt ca. 3 kV/mm; zie *figuur 1*. De polarisatie verdwijnt boven de zogenaamde Curietemperatuur; voor de gebruikelijke PXE's varieert deze van ca. 165 tot 325°C, afhankelijk van de samenstelling.
Om depolarisatie te voorkomen dient bij gepolariseerd materiaal een aangebrachte wisselende veldspanning of een



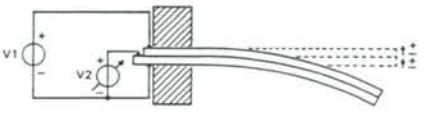
Figuur 4 Verlenging van een cylindrisch lichaam van PXE onder invloed van een gelijkspanning. In de figuur is P de polarisatierichting.



Figuur 5 Seriegeschakelde bi-morph.



Figuur 6 Parallelgeschakelde bi-morph.



V2 < V1
Figuur 7 Tegen depolarisatie beveiligende schakeling van een bi-morph bekrachtiging.

gelijkspanningsveld met tegengesteld teken als het oorspronkelijke polarisatieveld tot enkele honderden V/mm beperkt te blijven. Ook de toelaatbare drukspanning is begrensd. Voor gegevens met betrekking tot deze grenswaarden raadplege men de documentatie van de fabrikanten.

Het piëzo elektrisch-effect wordt in *figuur 2* schematisch verduidelijkt; het effect is hierbij in de figuur sterk overdreven. Om een idee te geven van de orde van grootte van het effect worden hier twee voorbeelden gegeven.
In *figuur 3* is weergegeven de open spanning indien een 20 mm lang element wordt onderworpen aan drukspanning.
In *figuur 4* is schematisch (en overdreven) de verlenging aangegeven die in een cylindrisch proefstuk van 20 mm lengte wordt veroorzaakt door een gelijkspanningsveld van 1000 V/mm; deze bedraagt ca. 10 µm.
De door de remanente polarisatie veroorzaakte anisotropie leidt niet alleen tot een vormverandering in de richting van die polarisatie, maar ook tot een vormverandering in het vlak loodrecht daarop.Bij het aanbrengen van een elektrisch veld op een gepolariseerd PXE kan dan ook van vervorming in meer dan één richting gebruik gemaakt worden. Men spreekt van d_{31} indien de vervorming in het vlak loodrecht op de polarisatie wordt gebruikt; van d_{33} indien de vervorming in de richting van de polarisatie wordt gebruikt.

Multilayer PXE's

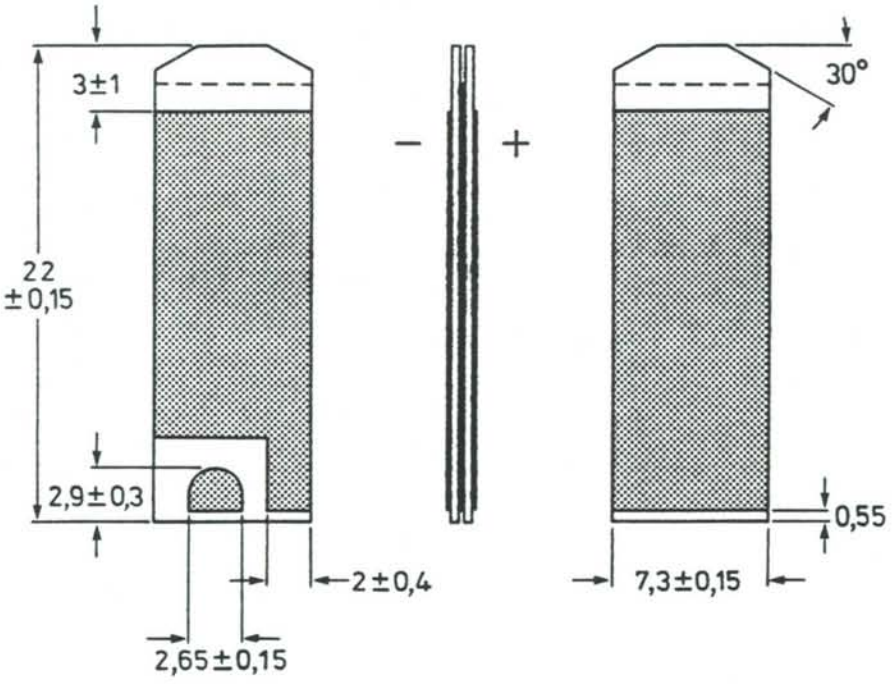
De meest recente ontwikkeling in de PXE-technologie is de fabricage van multilayer-elementen. Deze fabricagewijze van elementen is om een aantal redenen zeer aantrekkelijk. Ten eerste komt ze sterk overeen met die van keramische multilayer condensatoren. In de tweede plaats is de polarisatiespanning bij dunne lagen beperkt. Bij 3 kV/mm is deze voor een laagdikte van 0.02 mm (20 µm) slechts 60 V. Ook is de aanstuurspanning lager omdat de benodigde veldsterkte eerder wordt bereikt ($E \cdot d = V$).
Als Curietemperatuur voor de multilayer PXE's wordt 220°C opgegeven.

Uitvoeringsvormen van PXE-produkten

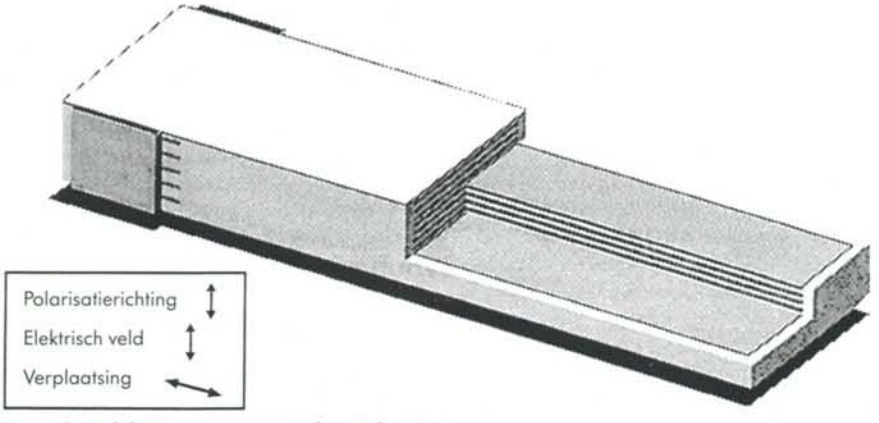
Philips levert de PXE materialen in verschillende samenstellingen met overeenkomstig verschillende eigenschappen, zodat een optimale keuze kan worden gedaan voor verschillende toepassingen.
De uitvoeringsvormen kunnen zijn:
- ronde schijven van 5 tot 25 mm diameter en diktes van 0,3 tot 2 mm;
- rechthoekige platen van 4 x 4 tot 12 x 6 mm, diktes van 0.3 tot 1 mm.

Boven- en ondervlak zijn voorzien van een dunne elektrodelaag van nikkel. Overigens worden ook andere materialen voor de elektroden gebruikt. Bijvoorbeeld een zilver-glas emaille, dat opgedrukt of gespoten wordt en na gestookt te zijn een zeer goed elektrisch contact met het keramisch materiaal oplevert. Voor goed geleidende zeer dunne elektroden wordt ook goud toegepast. Platina en palladium elektroden laten zich met het keramisch materiaal mee uitstoken.

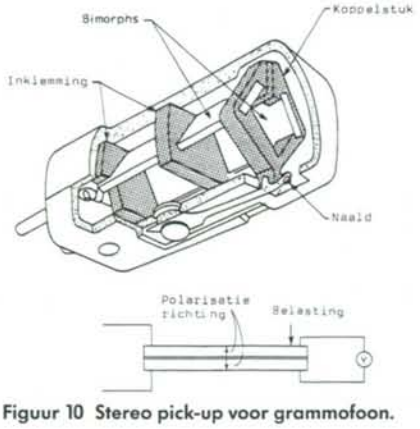
Bij veel toepassingen, bijvoorbeeld als actuator[1], is een grotere verplaatsing of uitslag gewenst dan kan worden verkregen met eenvoudig gebruik van de d_{31} of d_{33}-richting. Bovendien zijn voor enigszins bruikbare uitslagen zeer hoge spanningen nodig.
Door toepassingen van de zogenaamde bi-morph (analoog aan een bi-metaal) en gebruik van de d_{31} verplaatsingsrichting kunnen veel grotere uitslagen worden ge-



Figuur 8 Parallel geschakelde bi-morph van Philips' PXE5 materiaal als toegepast voor de "dynamic track sensing" in de Philips VCR 2000. Resonantiefrequentie tussen 900 en 1300 Hz. Vrije lengte 15.2 mm. Uitslag tussen 25 en 100 Hz bij 300 V : 215 tot 280 μm.



Figuur 9 Multilayer-actuator voor d_{31} verplaatsing.



Figuur 10 Stereo pick-up voor grammofoon.

realiseerd. Een bi-morph bestaat uit twee op elkaar bevestigde XE-strippen, aan één einde ingeklemd en vrij uitkragend (cantileverd); zie de *figuren 5 en 6*.
Men onderscheidt een seriegeschakelde opstelling en een parallel geschakelde. Bij serieschakeling hebben de buitenste contactvlakken van de bi-morph hetzelfde spanningsteken; bij parallelschakeling een tegengesteld spanningsteken.
Bij bekrachtiging zal, door de tegengestelde polarisatierichting, de ene laag inkrimpen en de andere uitzetten. Dit heeft hetzelfde mechanische effect als de ongelijke uitzetting van de lagen van een bi-metaal.

Met een schakeling als in *figuur 7* worden beide lagen in hun polarisatierichting bekrachtigd, zodat langzame verandering van eigenschappen door depolarisatie wordt vermeden.
Gewoonlijk wordt de serie-uitvoering alleen passief, als opneemelement, gebruikt om mechanische beweging of trilling te detecteren (pick-up element, accelerometers, e.d.).
Vooral de parallel geschakelde uitvoering wordt actief, als actuator, gebruikt; dus met spanning bekrachtigd. Bijvoorbeeld voor het volgen van het signaalspoor door de video (beeld)signaalaftastkop in videotaperecorders: dynamic track sensing; zie *figuur 8*.

De multilayer elementen worden tot nu toe uitgevoerd als veellaagse rechthoekige strippen; afmetingen 3.5 x 17 mm, dik 1 mm. Tussen de lagen zijn elektrodelagen aangebracht, die afwisselend naar beide zijkanten doorlopen en worden voorzien van contactvlakken; zie *figuur 9*. Bij een even aantal lagen is de uitzetting in d_{31}-richting rechtlijnig. In *figuur 10* is de verplaatsingskarakteristiek gegeven als functie van de bekrachtigingsspanning voor verplaatsing in de d_{31}-richting, dat wil zeggen loodrecht op de polarisatierichting.
Een als bi-morph uitgevoerde combinatie van twee strippen levert een buigende actuator als eerder beschreven.
Overigens kan de multilayer ook worden gebruikt voor verplaatsing c.q. uitslag in de polarisatierichting, dus d_{33}.

Eigenschappen die voor de toepassing als actieve elementen van belang kunnen zijn

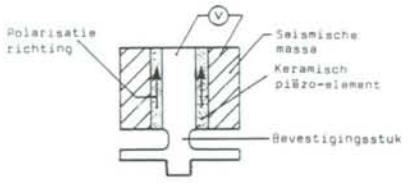
De keramische piëzo-elektrische materialen vertonen een aantal eigenschappen die bij bepaalde toepassingen van belang kunnen zijn.Voor actuator-toepassingen kan de niet-lineairiteit van de uitzetting als functie van de bekrachtigingsspanning soms van belang zijn. Deze varieert voor verschillende samenstellingen van enkele procenten tot ca. 10%. Verder is sprake van een zekere hysterese, dat wil zeggen dat de genoemde relatie bij toename van de bekrachtigingsspanning en bij afname daarvan niet geheel identiek is. Ook dit is afhankelijk van de samenstelling en varieert van ca. 2% tot ca. 15%.
Tenslotte is er een zekere na-kruip van de uitzetting bij de bekrachtiging en ook na het wegnemen daarvan. Ze varieert, wederom afhankelijk van samenstelling, van

Piëzo-elektrische elementen en hun toepassingen

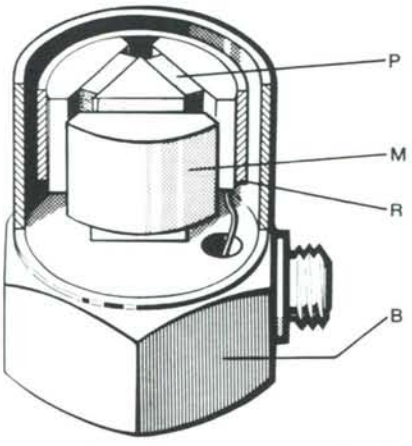
1 tot 20% van de in eerste instantie verkregen uitzetting, over een tijdsduur van 10 tot 100 seconden.
Verder dient men rekening te houden met de lineaire uitzettingscoëfficiënt, die van 1 tot 5 x 10^{-6} per °C kan bedragen.
Bij gebruik bij hogere temperaturen, vooral dicht bij de Curietemperatuur, bestaat gevaar voor langzame depolarisatie. Anderzijds kunnen de keramische piëzomaterialen zowel in vacuüm als bij zeer lage (cryogene) temperaturen functioneren. Vochtige atmosfeer kan tot overslag of lek langs het oppervlak aanleiding geven. Een goede bescherming tegen vocht is daarom noodzakelijk.
Piëzo-elementen hebben een zekere capaciteit (analoog aan een condensator), gepaard aan een meestal lage weerstand. Voor het elektrisch circuit waarin zo'n element is opgenomen kan de aldus resulterende lage impedantie tot grote stroomsterktes aanleiding geven.
Eenmaal bekrachtigd wordt vrijwel geen vermogen opgenomen en wordt geen warmte door verliezen gegenereerd.
De lading en daarmee de uitzetting kan na het verwijderen van de bekrachtiging uren behouden blijven; om de uitzetting op te heffen moet dus ontladen worden.
De reactiesnelheid bij het omzetten van een bekrachtigingsspanning in een uitzetting c.q. vormverandering is zeer hoog; ze hangt af van de mechanische resonantie frequentie van de te bewegen delen. De kortste reactietijd is $\frac{1}{4}\tau$, waarbij τ = 1/freq.
In vergelijking met elektromagnetische actuators kunnen relatief grote krachten worden geleverd door relatief kleine volumes piëzo-elektrisch materiaal. De grootte van de uitzetting c.q. slag is echter zeer beperkt.

Voorbeelden van toepassingen

Met behulp van piëzo-elementen laten zich mechanische trillingen omzetten in een elektrisch signaal. Dit vond onder ander toepassing in pick-ups voor het afspelen van traditionele grammofoonplaten. In *figuur 10* is een stereo pick-up als voorbeeld afgebeeld. Hierin zijn twee bimorphstrippen toegepast, onder 90° ten opzichte van elkaar en 45° ten opzichte van het plaatoppervlak. De beweging van de naald ten opzichte van de beide flanken van de groef in de plaat wordt via een koppelstuk omgezet in een beweging van ieder van de twee strippen, die aldus een linker en rechter stereosignaal leveren. De toepassing van bi-morphs levert voor de kleine naaldbewegingen relatief hoge mechanische spanningen in de



Figuur 11 Doorsnede van een versnellinsopnemer met cylindrisch piëzo-element.



Figuur 12 Versnellingopnemer met vlakke piëzo-elementen (Brüel & Kjaer); M = seismische massa, P = piëzoelectrisch element, B = voet, R = klemring.

strippen en daarmee een hoge signaalsterkte (orde van grootte 0.5 V).

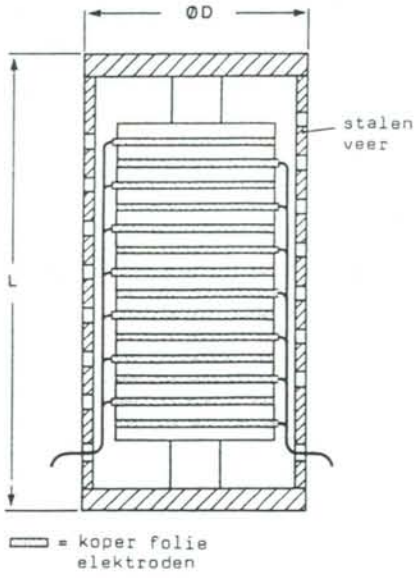
In *figuur 11* is een uitvoeringsvorm van een versnellingsopnemer (accelerometer) geschetst. Verticale versnellingskrachten op de seismische massa veroorzaken afschuifspanningen in het piëzo-element en aldus een elektrisch signaal. Een andere uitvoering, van de bekende Deense fabrikant Brüel & Kjaer laat *figuur 12* zien.
Ook detonatie (klop)detectoren, die in door turbo-oplading hoog opgevoerde benzinemotoren worden toegepast, werken op overeenkomstige wijze.

Voor vele wel bekend is het kwartskristal, zoals toegepast in stabiele frequentiegeneratoren. Zo'n kwartskristaloscillator maakt gebruik van één der eigen trillingfrequenties, die bepaald worden door de vorm en afmeting van het kristal. Een wisselspanning brengt het kristal in mechanische trilling. Wordt in de eigen frequentie aangestoten, dan wordt het trillingscircuit op die frequentie gestabiliseerd; een stabiliteit van 1 : 10^9 is goed bereikbaar. Dit wordt onder andere toegepast voor stabilisatie van de draaggolf van radiozenders en in elektrische uurwerken, waarmee een afwijking van slecht enkele seconden per jaar bereikt kan worden.
Met behulp van piëzo-elementen laten zich ook hoogfrequente transformatoren realiseren. Een excitatiewisselspanning wordt daarbij via mechanische trilling omgezet in een ander spanning.

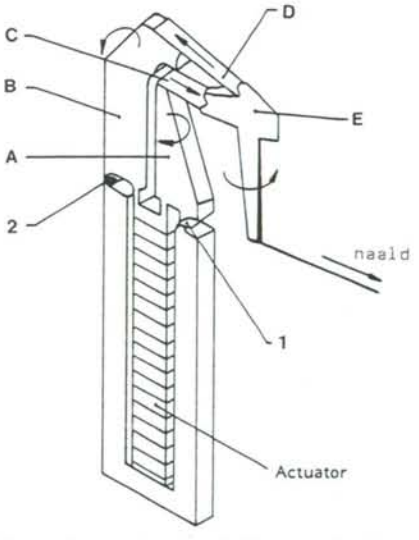
Voor de meeste lezers is ook de toepassing van piëzo-elementen voor het opwekken van ultrasone mechanische trillingen niet onbekend.
Hiervoor worden meestal axiaal gepolariseerde schijven of ringen van keramisch materiaal (PXE) gebruikt. De te kiezen samenstelling wordt afgestemd op de specifieke toepassing en de daarvoor geschikte frequentie.
Eén van dergelijke toepassingen is die voor onderwaterechopeiling: sonar. Hiervoor wordt veelal een schijf gebruikt in de d_{33} trillingsrichting, ondergebracht in een beschermend kunststoffen omhulling. De gebruikelijke frequentie ligt tussen 150 en 200 kHz, waarmee een compacte omzetter (transducer) met een goede richtingsvoorkeur en redelijk bereik te realiseren is. De detectie van het echosignaal geschiedt eveneens met behulp van een piëzoelement.

Een eenvoudige ultrasone omzetter voor ultrasone reinigingsbaden wordt verkregen met een schijf die gelijmd is aan een metalen schijf die weer wordt gelijmd op de onderkant van een, meestal kleine, tank of vat. De schijf wordt voor radiale trilling in d_{31} richting gebruikt bij frequenties van 40 tot 60 kHz. Ze doet de bodem van de tank of het vat trillen in velerlei gecompliceerde patronen, waardoor ultrasone energie op de vloeistof van het bad wordt overgedragen.

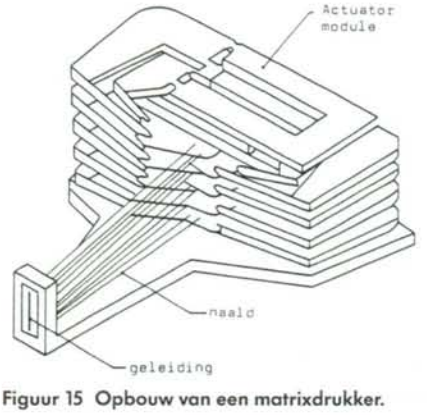
Voor hoge ultrasone trillingsintensiteiten wordt bij voorkeur een op druk voorgespannen sandwich-constructie toegepast van twee schijven of ringen, gescheiden door een dunne metalen plaat en gevat tussen twee metalen blokken. De schijven worden gebruikt in de d_{33} trillingsrichting; de gehele samenstelling is gedimensioneerd als een halvegolflengte-resonator. Ze wordt bijeengehouden door één of meer schroefbouten die de piëzo-schijven onder drukspanning houden om te voorkomen dat daarin tijdens het trillen een trekspanning kan ontstaan.
Deze opbouw heeft het voordeel van een goede warmte-afvoer en minder verliezen door de goede mechanische eigenschappen van de metalen delen, waarbij de piëzo-elektrische omzettingsfactor niet minder is dan van een enkelschijfomzetter. Een dergelijke transducer werkt meestal met een frequentie van 20 tot 50 kHz.



Figuur 13 Uit een stapel PXE-schijven opgebouwde krachtige actuator.



Figuur 14 Actuator met hefboommechanisme voor naalddrukker.

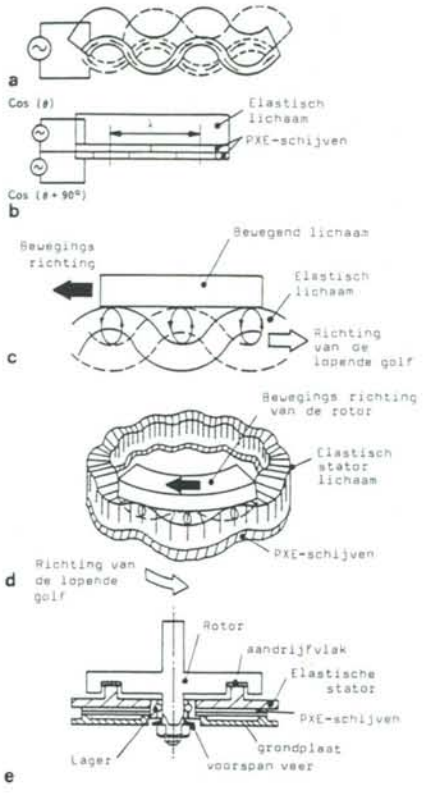


Figuur 15 Opbouw van een matrixdrukker.

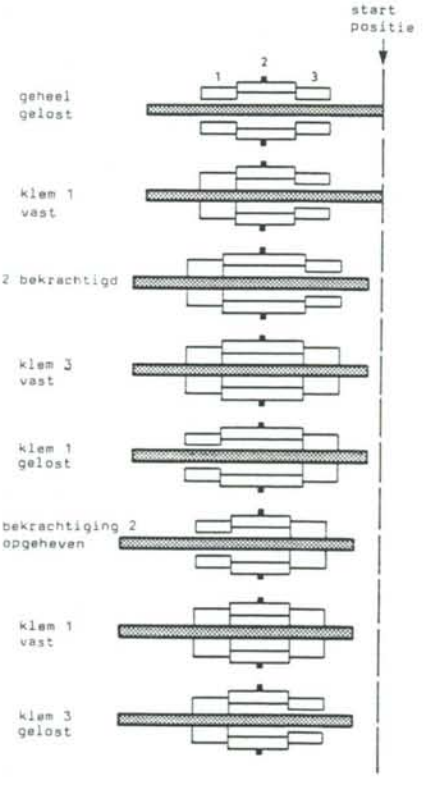
Ze worden zowel voor ultrasone reinigingsbaden gebruikt als, vooral, voor het ultrasoon lassen van kunststoffen. Voor het laatste toepassingsgebied wordt in de regel gebruik gemaakt van een mechanische amplitude-omvormer. Dit is een trompetvormig metalen koppelstuk van bij voorkeur een materiaal met lage akoestische impedantie zoals aluminium. Voor diepgaande studie van ultrasone transducers en hun toepassing voor het lassen van onder andere kunststoffen raadplege men [4] uit de bij dit artikel gevoegde literatuurlijst.

Met een stapel PXE-schijven, waarbij de d_{33} beweging wordt gebruikt, zijn actuators te bouwen die grote krachten kunnen leveren. Een dergelijke constructie is afgebeeld in *figuur 13*. Ze worden in een aantal afmetingen geleverd. De stapel wordt daarbij door het als drukveer uitgevoerde stalen huis voorgespannen met ca. 1000 N. Tussen de schijven zijn elektrodes van koperfolie aangebracht.
De hoge voorspanning, die elke speling tussen de schijven opheft, geeft de constructie grote stijfheid. De in de figuur afgebeelde actuator heeft een reactietijd van 200 µsec. Bij afmetingen D = 32 mm en L = 100 mm is de slag bij 500 V ca. 50 µm, bij 800 V ca. 80 µm en de maximale drukkracht 5000 N.
De maximale drukkracht wordt geleverd als geen slag gemaakt wordt; ze neemt af tot vrijwel nul aan het einde van de slag.

Zoals eerder is besproken, kan een vergroting van de beperkte uitzetting c.q. slag van PXE-elementen worden bereikt door een zogenaamde bi-morphconfiguratie. Deze wordt daar toegepast waar een relatief grote uitslag bij een relatief geringe kracht nodig is.
Ook door slimme hefboommechanismen kan de beperkte slag van PXE-elementen worden vergroot. Dit wordt bijvoorbeeld toegepast bij de aandrijving van de druknaalden van matrixdrukkers waarmee sommige typen printers en elektronische schrijfmachines zijn uitgerust.
In *figuur 14* is een dergelijk mechanisme afgebeeld. Wanneer de PXE-actuator wordt bekrachtigd en uitzet, kantelen de armen A en B om hun scharnierpunten 1 en 2. Hierdoor worden de koppelstangen C en D respectievelijk naar rechts (in de figuur) geduwd en naar links getrokken, waardoor de arm E kantelt. Deze doet op zijn beurt de naald bewegen (in de figuur naar rechts) en met behulp van het inktlint een puntje op het papier drukken.
De gehele module is zeer plat en compact zodat een complete naalddrukker zich uit



Figuur 16 Lopende-golf motor.

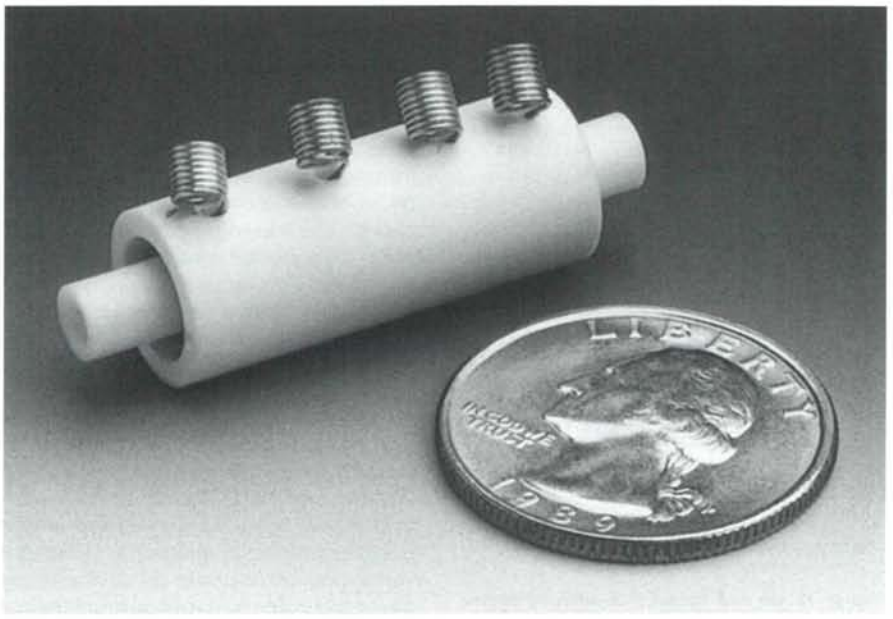


Figuur 17 "Inchworm" lineaire aandrijving.

een stapel laat opbouwen; zie figuur 15. Deze naaldaandrijving kan hogere druksnelheden realiseren dan een vergelijkbare elektromagnetische. Doordat warmteontwikkeling te verwaarlozen is, kan de complete naalddrukker goed worden afgeschermd en is daardoor veel geruislozer.

Een interessante roterende motor is onder andere ontwikkeld door de Japanse firma Matsushita. Het principe en de bouw zijn weergegeven in *figuur 16*.
Het piëzo-elektrisch aandrijfelement bestaat uit twee PXE-ringen met afwisselend gepolariseerde sectoren. Deze zijn bevestigd aan een elastische schijf en worden met wisselspanning bekrachtigd. De verschillend gepolariseerde sectoren trekken samen of verlengen en vervormen de elastische schijf (zie *figuur 16a*). De twee PXE-schijven zijn ten opzichte van elkaar de halve steek van de sectoren verschoven, (zie *figuur 16b*). Ze worden met twee, 90° in fase verschoven wisselspanningen bekrachtigd. Daardoor ontstaat een lopende golf. Sectoren van de elastische schijf bewegen daardoor in een elliptisch patroon, zie *figuur 16c*, zodanig dat een daarop rustende schijf (*figuur 16d*) wordt bewogen in een richting tegengesteld aan die van de lopende golf. De praktische uitvoering laat *figuur 16e* zien.
Een middelgrote motor heeft een diameter van 40 mm en is 12 mm dik. Bij 30 V 70 kHz heeft deze een onbelast toerental van 800 omw/min; bij 400 omw/min wordt een koppel van 0,06 Nm geleverd. De kleinste motor in de serie heeft een diameter van 17 mm en een dikte van 6 mm. Een levensduur van 1,5 x 10^4 uur schijnt bereikbaar te zijn.
Ze zijn licht, relatief langzaam lopend, hebben een relatief hoog koppel, zijn goed te regelen en reageren snel. Door de hoge frequentie van de wisselstroom zijn ze voor het menselijk oor geruisloos. Ze worden onder andere door Panasonic toegepast in hun autofocus videocamera's.
Ook door AEG zijn dergelijke motoren ontwikkeld. Inplaats van piëzo-ringen wordt ook een combinatie van èèn in sectoren afwisselend gepolariseerde ring en een messing statorring toegepast die eenzelfde bi-morph werking heeft.

Een lineaire aandrijving met grote slag is ontwikkeld door Burleigh Instuments en is commercieel verkrijgbaar in een aantal uitvoeringen onder de naam "Inchworm". De langste verkrijgbare slag is 250 mm.



Figuur 18 Kleine uitvoering van een "Inchworm" lineaire aandrijving.

De aandrijving bestaat uit drie cylindrische PXE-elementen, waarvan de twee buitenste met een nauwe passing om de as of stang sluiten; ze klemmen de stang vast indien bekrachtigd. Het middelste is vrij van de stang en zet bij bekrachtiging uit parallel daaraan.

Bij een juiste volgorde van bekrachtiging wordt de stang met zeer kleine stapjes van 4 nanometer verplaatst; zie *figuur 17*, waarin de cyclus van bekrachtiging van de drie elementen is aangegeven. Op deze wijze kan de stang over haar hele lengte worden verplaatst. Ook kan, door de volgorde van bekrachtiging om te keren - dat wil zeggen eerst element 3 te bekrachtigen - de beweging in de ander richting plaats vinden.

Het systeem wordt elektronisch gestuurd. De bekrachtiging van element 2 wordt met stapjes verhoogd zodat iedere cyclus uit maximaal 500 stapjes van 4 nm bestaat. Op deze wijze kunnen zowel de snelheid als de positie nauwkeurig geregeld worden (door middel van terugkoppeling). Ook wordt slijtage tot een minimum beperkt doordat 1 en 3 gelost worden als 2 niet beweegt. De snelheid kan variëren van 4 nm tot 2 mm per sec; de duwkracht bereikt 1,5 N. Een levensduur van 2 x 10^{12} stapjes is reeds geconstateerd.

Figuur 18 laat een kleine uitvoering van zo'n aandrijving zien; ter vergelijking van de afmetingen is er een dollar naast gelegd.

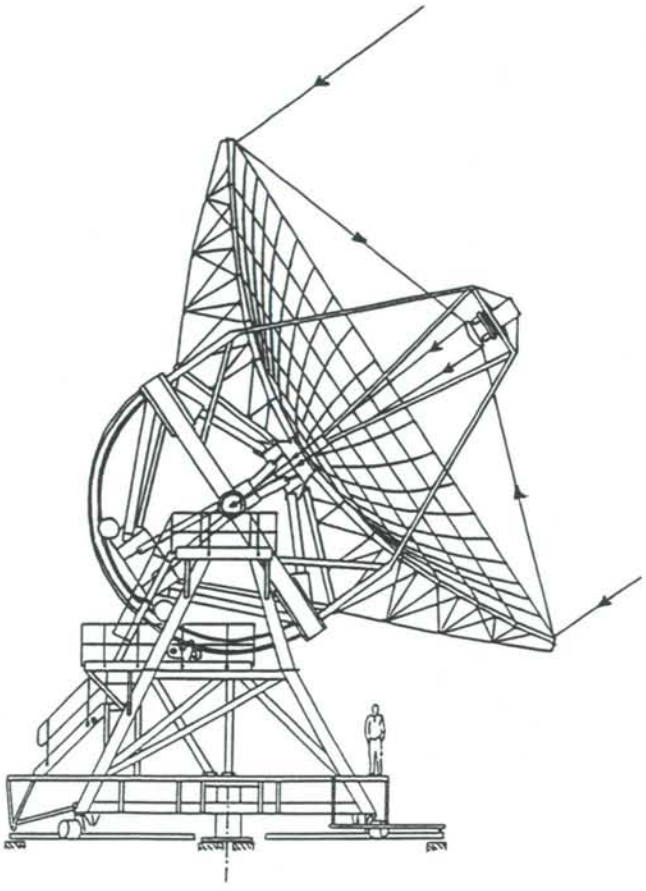
Ook manipulatoren voor kleine bewegingen, X-Y tafels met kleine precieze slag of de nauwkeurige verplaatsing van optische elementen, laten zich zeer elegant met piëzo-elementen realiseren.

Literatuur

[1] Piezo-electric ceramic actuators: a review of machinery applications.
T.G. King, M.E. Preston, B.J.M. Murphy* and D.S. Cannell[1+]
* Department of mech.Eng., Loughborough University of tech. UK
+ Unilator Division, Morgan Matroc Ltd., UK.
Precision Engineering July '90 Vol. 12 No. 3
[2] Philips Piezoelectric Ceramics Data Handbook, Philips Components Division
[3] Ceramic Multilayer Actuator and Applications, Philips Components Division
[4] Piezoelectric Ceramic Designers Guide, Philips Component Division
[5] Piezoxide (PXE): Eigenschaften und Anwendungen, Philips Bauelemente VALVO / Philips
[6] The Design of ultrasonic resonators with wide output cross-sections, Proefschrift TUE dr.ir P.L.L.M. Derks
[7] Piezoelectric Accelerometers Product Information and Catalogue; Bruël & Kjaer.
[8] Micropositioning Systems The Micropositioning Book; Burleigh Instruments (Optilas BV, Alphen a/d Rijn).

[1] Een actuator is een omzetter die electrische bekrachtiging omzet in een beweging die een bepaalde kracht uitoefent.

Lichtgewicht kantelspiegel voor telescoop



Figuur 1 Straling uit het heelal wordt door de parabolische hoofdspiegel gefocusseerd. Voor het focus van de hoofdspiegel staat de bolle secundaire spiegel die de straling kaatst naar de waarnemingsinstrumenten achter de hoofdspiegel. Daartoe is een gat uitgespaard in het midden van de hoofdspiegel.
Door een snelle kleine kanteling van de secundiare spiegel kan afwisselend naar en naast het te bestuderen object worden gekeken. Het eerste beeld bevat informatie met ruis, het tweede beeld bevat alleen ruis. Door beide beelden van elkaar "af te trekken" ontstaat een scherper beeld.

Dr. ir. J. Verkerk, Werkplaats Fysica, Rijks Universiteit te Utrecht.

Op 27 april 1987 werd op de meer dan 4000 m hoge vulkaan Mauna Kea op Hawaii de grote Brits-Nederlandse James Clerck Maxwell-telescoop in gebruik genomen. De telescoop is ontworpen voor het bestuderen van straling in submillimeter gebied (golflengten van 0,3 mm en langer). De golflengte is vrij klein, zodat hoge eisen worden gesteld aan de vormnauwkeurigheid van de spiegels.

Een belangrijk onderdeel is de secundaire spiegel die in Utrecht is ontworpen en gefabriceerd. Doordat de 750 mm grote secundaire spiegel een snelle kantelbeweging kan uitvoeren is zij uniek in de wereld, en kunnen door de daaraan gekoppelde beeldverwerking bijzondere waarnemingsresultaten worden behaald.

De Maxwell-telescoop

De telescoop dankt zijn naam aan de grondlegger van de elektromagnetische theorie van licht- en radiogolven. De telescoop bestaat uit twee spiegels, een hoofdspiegel van 15 meter diameter en een secundaire spiegel van 0,75 meter. De telescoop is ontworpen voor het bestuderen van golflengten rondom één millimeter die informatie kunnen bevatten over het ontstaan van sterren, doordat wel millimeterstraling wordt uitgestraald, maar nog geen licht.

De telescoop lijkt op een radiotelescoop. Sub-millimeterstraling is niet eenvoudig waar te nemen, de golflengte is nog vrij klein, zodat hoge eisen worden gesteld aan de vormnauwkeurigheid van het spiegeloppervlak. Dat moet veel nauwkeuriger bewerkt worden dan dat van een radiotelescoop. Maar om bij deze golflengten nog een scherpe afbeelding te krijgen is het nodig dat het spiegeloppervlak groot is. Hoe langer de golflengte, des te groter moet de telescoop zijn om nog "scherp" te kunnen zien.
Deze straling wordt voornamelijk door waterdamp in de atmosfeer geabsorbeerd, zodat de waarnemingen van een zo groot mogelijke hoogte moeten worden gedaan zoveel mogelijk boven de atmosferische waterdamp. Zulke grote telescopen kunnen (nog) niet in de ruimte worden gebracht, zodat ze op een zo hoog mogelijke berg worden geplaatst.

De werking van de telescoop blijkt uit *figuur 1.* Straling vanuit de ruimte wordt door de hoofdspiegel in het brandpunt gefocusseerd. Juist voor het brandpunt staat de secundaire spiegel, die door zijn bolle vorm de straling naar het uiteindelijke brandpunt achter de hoofdspiegel kaatst. Daarom zit er een groot gat in het centrum van de hoofdspiegel. Achter de hoofdspiegel is de waarnemingsapparatuur opgesteld.
In een dergelijke opstelling fungeert de hoofdspiegel als objectief en de secundaire spiegel als oculair, zoals bij een gewone verrekijker het geval is. De lenzen zijn nu echter door spiegels vervangen.

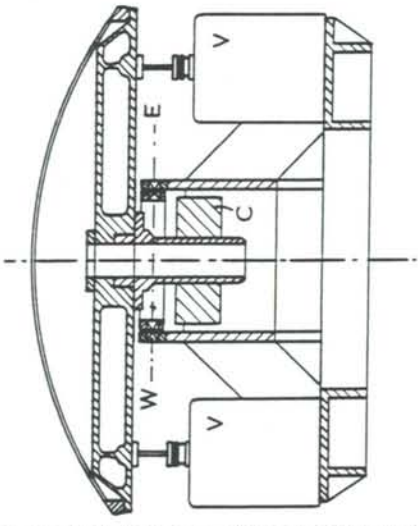
Snel bewegende spiegel

Zelfs op het topje van de berg Mauna Kea heeft men nog last van waterdamp in de atmosfeer. De hoeveelheid kan door de wind en de grilligheid van de atmosfeer van seconde tot seconde sterk wisselen. Dat is erg storend voor de waarnemingen, zodat men daarvoor naar een bruikbare oplossing heeft gezocht. Door afwisselend naar en naast het te bestuderen object te kijken, wordt het mogelijk voor storingen te corrigeren door het aftrekken van signalen. De telescoop zelf is veel te zwaar om een tiental malen per seconde heen en weer te bewegen, maar door een geringe kanteling van de secundaire spiegel om een vast punt blijkt het mogelijk het zelfde resultaat te bereiken. Omdat door het kantelen de waarnemingstijd zeer klein wordt, moet de kanteling zelf in een zo kort mogelijke tijd worden uitgevoerd. Daarom moet de secundaire spiegel een geringe massa hebben.

Gewoonlijk worden telescoopspiegels van glas gemaakt. Daarbij moet de dikte tenminste éénzevende deel van de diameter zijn om voldoende stevigheid en

Lichtgewicht kantelspiegel voor telescoop

vormvastheid te garanderen. Een glasspiegel van 75 cm diameter zou in dit geval meer dan 100 kg wegen en dat is te veel om snel te kunnen bewegen.
Daarom is door de Fijnmechanische Werkplaats van de Faculteit Natuur- en Sterrenkunde van de Rijksuniversiteit te Utrecht een nieuwe spiegel ontworpen. Deze spiegel bestaat uit een slechts 3 mm dunne schaal met een stevige rand. Omdat de spiegel bol is, is de vorm enigszins te vergelijken met een zeepbel op een ring, zoals die bij het bellenblazen wordt gemaakt. Het zeepvlies is zeer dun. maar ontleent zijn stabiele vorm aan de ring waarop hij wordt gevormd. Op dezelfde wijze ontleent de dunne aluminium schaal zijn stijfheid aan de stevige rand, zie *figuur 2*.

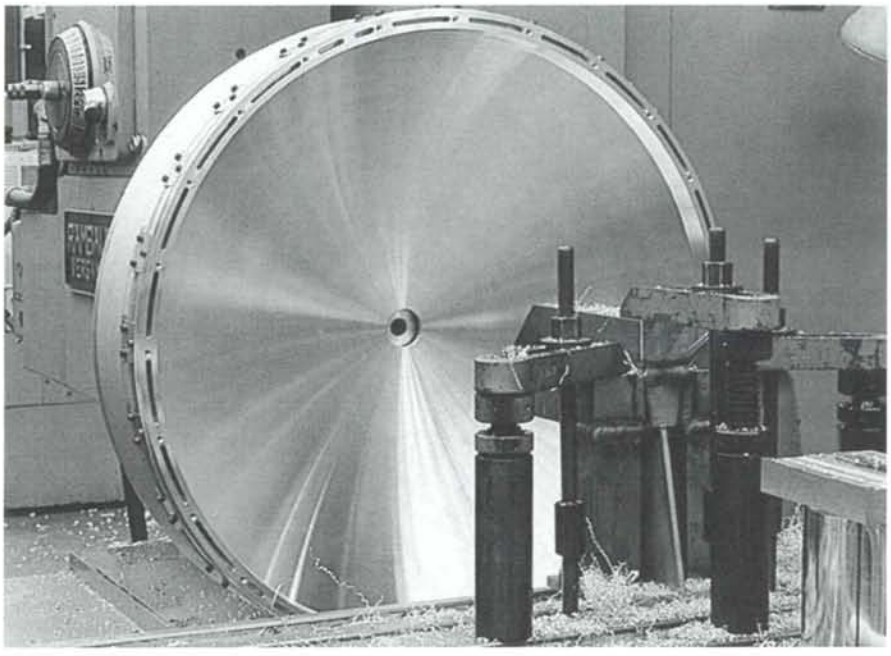


Figuur 2 De bolle secundaire spiegel kantelt om as W - E en en een as daar loodrecht op, aangedreven door de actuators V die afwisselend duwen en trekken. Het contragewicht C houdt de spiegel in balans. Met behulp van verplaatsingsopnemers (niet getekend) op deze beide assen kan de stand van de spiegel worden teruggekoppeld.

Berekeningen uitgevoerd door de vakgroep Technische Mechanica van de afdeling Werktuigbouwkunde aan de Technische Universiteit te Delft hebben aangetoond dat de spiegel onder invloed van de versnelling van zwaartekracht en aandrijving niet meer dan 1 micrometer zou vervormen.

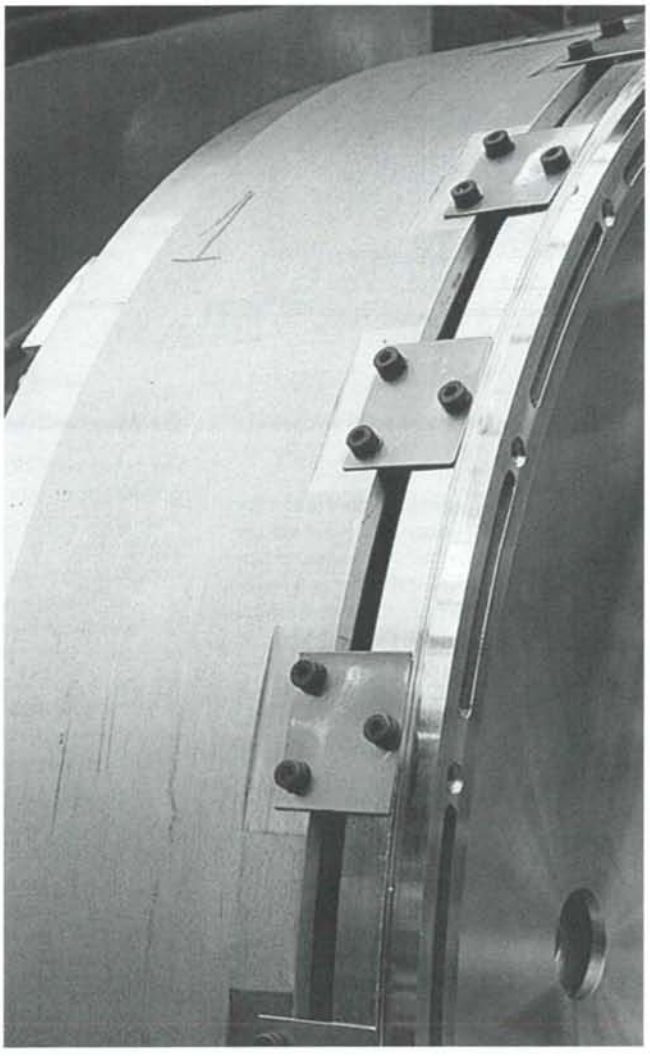
Vervaardiging van de spiegel

Het oppervlak van de spiegel wordt gedefinieerd door een hyperboloide met een hoogte van 105 mm en een diameter van 750 mm.
Het bleek mogelijk een plak spanningsvrij aluminium te kopen waar de spiegel in

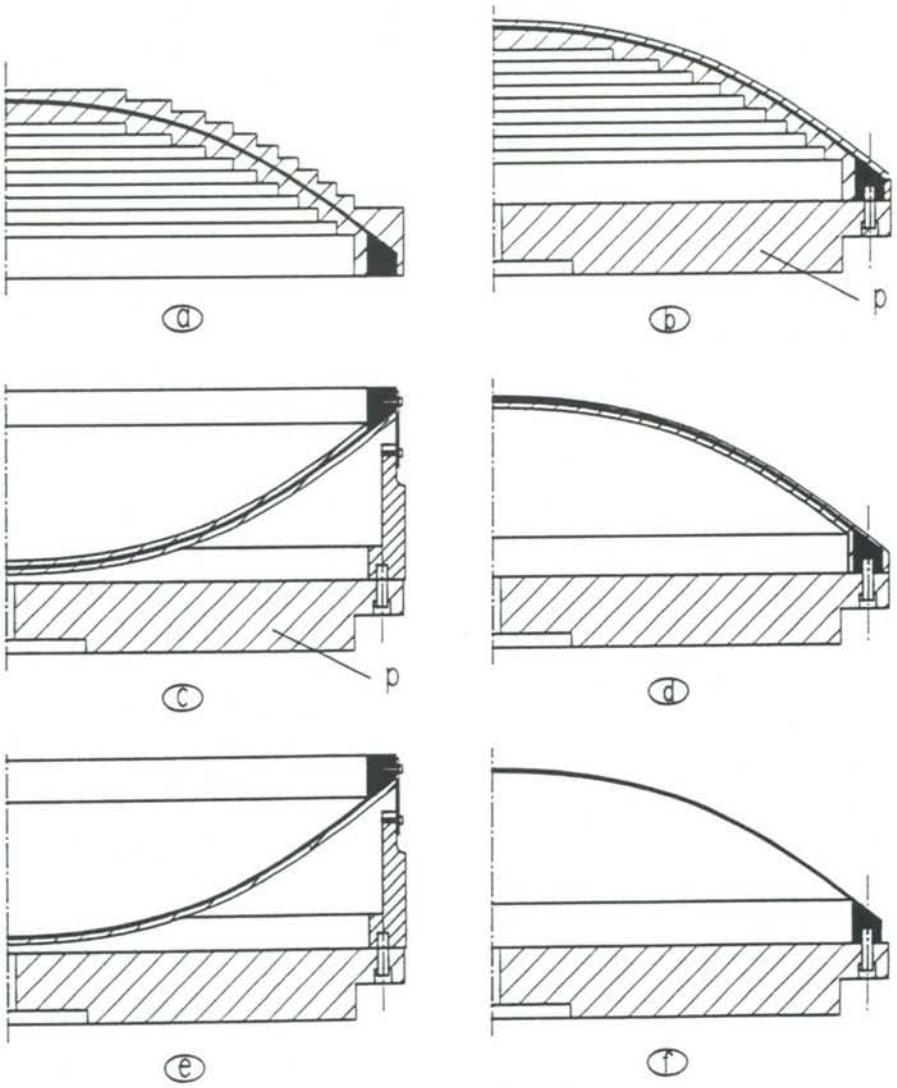


△ a

b ▷



Figuur 3
a: Het bewerken van de spiegel op de tot draaimachine omgebouwde freesbank. Aan de rand van de spiegel zijn de 24 bladveren te zien.
b: Detail van de ophanging van de spiegel in bladveren op de mal.

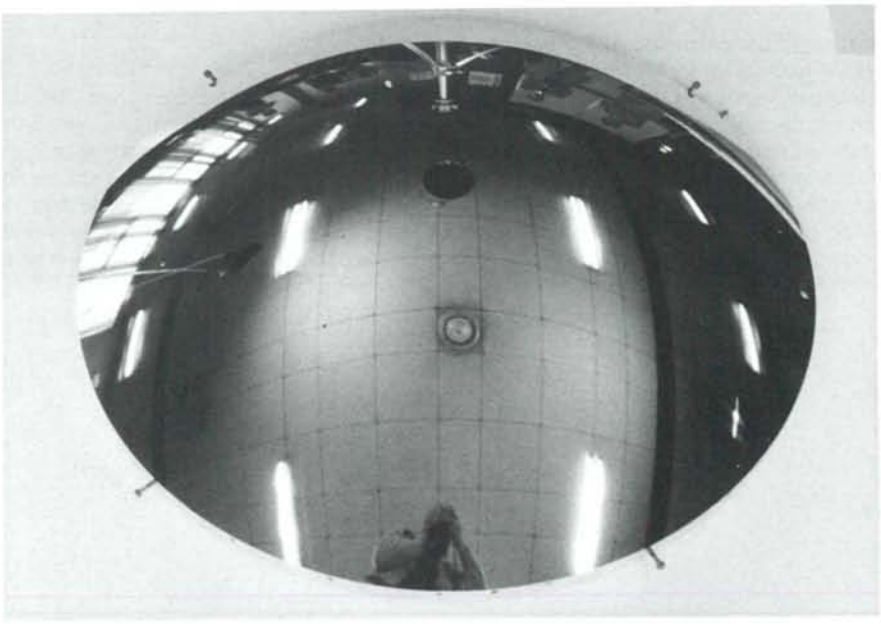


◁ **Figuur 4 Bewerking van de spiegel uit vol materiaal. Na deze bewerkingen is gewicht afgenomen van ruim 200 kg naar 7.5 kg.**
a: de ruwe vorm nadat met frezen het meeste materiaal was verwijderd;
b: na het draaien van de bolle kan;.
c: het draaien van de holle kant terwijl de spiegel met bladveren is vastgezet.
Voordat de spiegel wordt gekeerd, wordt de bovenrand vlakgedraaid en een referentierand gedraaid juist boven de bladveren. Daarmee wordt de spiegel na het keren op zijn plaats uitgericht.
d: In een aantal stappen wordt de spiegel afgedraaid totdat de schaal een dikte van 3 mm heeft.

zijn geheel uit kon. Hieraan is de voorkeur gegeven boven het materiaalbesparende persen in een ruwe vorm. Bij het persen zijn meer restspanningen in het materiaal aanwezig en daardoor zullen eerder grotere vormveranderingen optreden bij relaxatie. Mede daardoor zou ook een extra gloeibehandeling noodzakelijk zijn. Het bewerken uit een massieve plak spanningsvrij materiaal geeft daarentegen meer zekerheid over het behoud van de vorm, ook na langere tijd.

De eerste voorbewerking van de ruim 200 kg zware plak bestond uit het wegfrezen van zoveel mogelijk materiaal, waarna de voorbewerkte vorm op een spanmal op de draaimachine werd bevestigd. Het nog te verwijderen materiaal wordt in dunne lagen afgenomen, om en om aan de binnen en de buitenzijde. Doordat er toch nog enige spanningen aanwezig zijn neemt de spiegel steeds een iets andere vorm aan zodra hij van de mal wordt los genomen. Daarna moet hij weer spanningsvrij worden opgespannen voor de volgende bewerking.
Dit is een vrij lastige methode van werken, zodat naar een andere spanmethode is gezocht.

De belangrijkste vervorming treedt naar verwachting op in het vlak van de plak, voor de spiegel in radiale zin. Voor de bevestiging moet dus een spanmethode gezocht worden die stijf is in alle richtingen, maar lokale vervormingen toelaat. Vanuit dit gezichtspunt is het spiegelmateriaal aan de rand opgehangen met bladveren aan een mal. De 24 bladveren bleken voldoende stijf in axiale-, radiale- en torsierichting om de spiegel zonder problemen te kunnen draaien, zie *figuur 3*. Lokaal kon de spiegel in radiale richting vrij vervormen, zodat de vorm continu werd gecor-



◁ **Figuur 5 Spiegel na het nadraaien met diamant op een hydrostatisch gelagerde machine bij het Philips Natuurkundig Laboratorium. In de spiegel zien we de fotograaf aan het werk (Foto's E. Landré).**

rigeerd tijdens het draaien. Na het aanbrengen van een spanvlak met referentierand voor het uitrichten na het keren van de spiegel, werd de spiegel gekeerd en aan de andere zijde afgedraaid. Op deze wijze werd in een beperkt aantal keren omkeren van de spiegel een zeer grote vormnauwkeurigheid bereikt.
De gevolgde methode is aangegeven in de *figuren 4a t/m 4f.*

Na deze bewerkingen was het oorspronkelijk gewicht van meer dan 200 kg afgenomen tot slechts 7,5 kg bij een schaaldikte van 3 mm. Met de hulp van een rand die sinds het voorfrezen was blijven staan konden we achteraf vaststellen dat door de vrijgekomen spanningen een ovaliteit van 1,2 mm zou zijn ontstaan als wij niets ondernomen hadden. De ovaliteit hangt vermoedelijk samen met de oorspronkelijke walsrichting van het materiaal, die nog herkenbaar bleek ondanks de stuikbewerkingen en warmtebehandeling die het materiaal bij de fabrikant had ondergaan.

Na deze voorbewerkingen is de spiegel met diamant nagedraaid bij het Philips Natuurkundig Laboratorium op een hydrostatisch gelagerde draaimachine. Bij deze laatste bewerking, waarbij slechts enkele honderdste millimeters werden weggenomen, kreeg de spiegel een zeer nauwkeurig en glad oppervlak van bijna lichtoptische kwaliteit, *figuur 5.*
Metingen op een Zeiss meetmachine gaven als resultaat dat de gefabriceerde vorm nergens meer dan 9 micrometer afweek van de theoretisch gewenste vorm.

Aandrijving van de spiegel

Uit berekeningen bleek dat de spiegel moest kunnen kantelen om een vast punt op de centrale as ter hoogte van de rand in een willekeurige richting. Dit is gerealiseerd door een cardanische ophanging met vier elastische kruisveerscharnieren. De aandrijving van de kantelbeweging van de spiegel gebeurde door vier elektrische actuatoren (grote luidsprekerspoelen), die bij een stroom van 20 ampère een kantelkracht van 200 N leveren, zodat 400 N per as beschikbaar is.

Tabel 1 Berekende waarden van de massa en het massatraagheidsmoment voor een spiegel met een schaaldikte van 3 mm, rand, kruisvormige drager en contragewicht.

	Massa in kg	Massatraagheidsmoment in kgm^2
Spiegelschaal	4,7	0,26
Rand	2,8	0,24
Kruisvormige drager	4,3	0,13
Centrale lagering	1,4	0,04
Contragewicht (staal)	13,9	0,19
Totaal	27,1	0,86

Een probleem vormde de koppeling van de lineaire beweging van de actuator met de kantelende rand (1,4 graden) van de spiegel. Koppelstangen met scharnieren hadden een te grote massa, zodat naar andere oplossingen gezocht moest worden. Uiteindelijk is gekozen voor een koppeling met ronde staven van 3 mm doorsnede, zie *figuur* 2. De staven werden aan beide zijden ingeklemd. Ze waren enerzijds stijf genoeg om niet te knikken bij het overbrengen van de drukkracht van 200 N als ze maximaal uitgebogen stonden, anderzijds waren ze soepel genoeg om geen al te grote dwarskrachten op de actuator over te brengen bij het uitbuigen. In een laboratoriumopstelling werd deze constructie met succes getest.
Daarbij kwam echter wel een belangrijk punt naar voren. Door de vele belastingwisselingen bleek de staaf uit de inklemming te kruipen. Door de staaf aan de uiteinden met een dwarspennetje te borgen tegen kruipen werd dit euvel verder voorkomen.

Het punt waarom de spiegel kantelt (as W - E in figuur 2) ligt niet in het zwaartepunt. Het leek verstandig een contragewicht aan te brengen ter balancering, zodat geen statische kracht meer door de actuatoren hoeft te worden opgebracht. De grootte van de massa en van de hefboom is zo gekozen dat de bijdrage aan het massatraagheidsmoment bij kanteling minimaal is. Aangezien bij de berekening van het massatraagheidsmoment de massa evenredig, maar de afstand van het rotatiemiddelpunt kwadratisch meetelt, is de compensatiemassa zo dicht mogelijk bij het zwaarte punt gebracht. Uit *tabel 1* blijkt dat dit goed gelukt is. Spaken en spiegel wegen 11,8 kg met een massatraagheidsmoment J = 11,8 kgm^2 en een contragewicht van 13,9 kg met een massatraagheid van 0,19 kgm^2.
Door lateraal verschuiven van de cardanische ringen bleek het mogelijk in beide asrichtingen zeer nauwkeurig te balanceren.
Omdat hoog op de Mauna Kea zeer extreme temperaturen kunnen voorkomen is de spiegelconstructie met XYZ-positioneersleden in een klimaatkamer bij temperaturen tot −25 graden celsius getest, de laagste temperatuur waarbij de telescoop nog in bedrijf is.
Omdat bij de constructie reeds rekening gehouden was met deze temperatuur verschillen, leverde deze test geen problemen op.
Nu ruim twee jaar nadat de telescoop in gebruik genomen is, functioneert de mechanische constructie nog steeds zonder haperen.

Verantwoording

Ontwerp en vervaardiging van de telescoop waren onderdeel van een Brits-Nederlands samenwerkingsproject waarvoor ir H. van der Stadt van de Faculteit Natuur en Sterrenkunde van de Rijks Universiteit te Utrecht projectleider was voor de secundaire optiek met positionerings mechanismen.

Van standaard kunststoffen tot zeer hoogwaardige technische polymeren

Kunststoffen in de jaren negentig

J.H. Geesink, DSM Research, Geleen

De kunststoffen die momenteel op de markt zijn kunnen worden onderverdeeld in standaard kunststoffen en technische kunststoffen. De laatste zijn te onderscheiden in algemeen toepasbare, hoogwaardige en zeer hoogwaardige technische kunststoffen. Het verschil is vaak te vinden in eigenschappen en vooral in temperatuurbestandheid. Dit artikel gaat in op de eigenschappen van de verschillende categorieën, hun marktaandeel en geeft ook toepassingsmogelijkheden en toekomstverwachtingen.

PE toevallig ontdekt

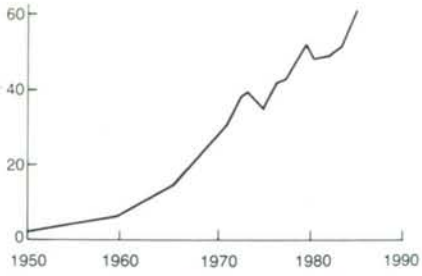
Wanneer mondiaal gezien het ontwikkelen en produceren van nieuwe kunststoffen in het kader wordt geplaatst van het 50-jarig bestaan van DSM Research, dan blijkt dat een jaar voor de oprichting van DSM Research de eerste commerciële fabriek van polyetheen ter wereld in bedrijf werd genomen.
Deze had een capaciteit van 100 ton per jaar. Ook de thermoplastische kunststof nylon vond zijn industriële oorsprong aan het eind van de jaren dertig. Het onderzoek dat tot de ontdekking van polyetheen leidde was in het allereerste begin gericht op het toetsen van de vergelijking van Van der Waals voor gassen en vloeistoffen. De uitvinders en hun researchleiding bij ICI waren niet op zoek naar nieuwe polymeren. Zij waren geïnteresseerd in het effect van extreem hoge druk, aanvankelijk op fasescheiding en later op gasreacties en zij zochten contact met de expert op het gebied van hoge drukken, professor Michels, die experimenteerde in het Van der Waals laboratorium in Amsterdam. In "The discovery of polyethene" beschrijft Gibson uitvoerig de vergissingen en vertragingen van dit onderzoek dat in maart 1933 leidde tot de afscheiding van een weinig wasachtige stof (waxy solid), verkregen uit een mengsel van etheen en benzaldehyde dat was onderworpen aan een druk van 2000 atmosfeer bij een temperatuur van 170°C. "Polyetheen" was ontdekt.
Het wetenschappelijke onderzoek dat tot nylon leidde was daarentegen doelbewust gericht op de ontwikkeling van nieuwe macromoleculaire verbindingen.
Circa 65 jaar geleden beschouwde men polymeren nog als fysische aggregaten van monomeermoleculen. Het concept van macromoleculen, die bestaan uit chemisch met elkaar gebonden basiseenheden (monomeren) werd gepostuleerd door met name Staudinger en Carothers in 1920. Hun ideeën ondervonden in de beginfase veel weerstand.
Zeer overtuigend was het bewijs voor het bestaan van macromoleculen bij Du Pont omstreeks 1929, waar Carothers macromoleculen synthetiseerde door klassieke condensatiereacties uit te voeren tussen polyfunctionele verbindingen. De polyesters en polyamiden van Carothers waren de eerste synthetische polymeren waarvan de chemische structuur feitelijk ondubbelzinnig vaststond en het 6.6 polyamide werd de grondstof voor de eerste commerciële synthetische vezel. Deze polyamide kwam in 1939, tien jaar na de fundamentele ontdekking, op de markt. Karakteristiek waren de stadia van groei van deze thermoplastische polymeren.

De ontwikkeling van een standaardkunststof

De eerste toepassingen van bijvoorbeeld LDPE, vervaardigd via het zogenaamde hogedrukproces, werden gevonden in het zeer specialistische marktsegment van de kabelisolatie. Met deze sector als basis voor de afzet werd in september 1939 de commerciële fabriek in gebruik genomen. Polyetheen bleek een belangrijke factor te zijn voor het goed functioneren van een vliegtuigradar.
Immers, door de zeer lage diëlektrische verliezen van polyetheen kan deze kunststof als isolatiemateriaal worden gebruikt. De hoofdtoepassing van LDPE verliep van kabelisolatie (1939-1955) via spuitgietartikelen (1955-1965) naar folie (1965 tot heden).
De verandering van LDPE als duur materiaal naar standaardpolymeer vond plaats in de jaren vijftig, toen goedkoop etheen beschikbaar kwam uit aardolie.
Vooral de toepassing als folie, zowel puur als gecacheerd op een substraat, heeft een gigantische vlucht genomen. Draagtassen, vuilniszakken, melk- of vruchtensapverpakkingen vervaardigd uit LDPE zijn momenteel dagelijkse verbruiksartikelen. De hoofdtoepassing van LDPE is verpakkingsmiddel voor eenmalig gebruik. LDPE is daarom een van de grote standaardpolymeren, met een jaarlijks verbruik in West-Europa dat de 6 miljoen ton benadert.
Er zijn echter ook legio toepassingen waar duurzaamheid wordt verlangd en geboden, zoals kratten, buizen voor water en gas, benzinetanks, landbouwfolie, kabelisolatie en surfplanken. Door middel van rotatiegieten kunnen containers worden gemaakt met een inhoud van vele kubieke meters, maar PE zit ook in een flessedopje van minder dan 1 gram of in boterhamzakjes dunner dan 10 µm.
Dit alles is bereikt doordat voor een lage prijs (orde van grootte 2 gulden per kg voor standaardtypen) een prestatie wordt geboden met als kenmerken: uitstekende verwerkbaarheid, lasbaarheid, goede optiek, mechanische sterkte en een goede bestandheid tegen vocht, chemicaliën en zonlicht. Een gewenste combinatie van eigenschappen is over een breed gebied instelbaar door de keuze van proces, procescondities, co-monomeer en toeslagstoffen. Polyetheen is chemisch inert en daardoor onverdacht voor voedselverpakking. Vanuit milieu-oogpunt komt PE er goed af vanwege de chemische inertie, de goede verbrandingsmogelijkheid zonder dat schadelijke gassen vrijkomen en de geschiktheid voor de steeds meer ingang vindende recycling.
Tientallen jaren ontwikkelingswerk aan de processen heeft de nodige resultaten opgeleverd. Bij LDPE heeft dit vooral geleid tot enorme schaalvergroting; eenheden van 160.000 ton zijn geïnstalleerd, met de daaraan verbonden voordelen van kostprijs. Lagedrukprocessen voor HDPE en LLDPE maken nu gebruik van zeer actieve katalysatorsystemen en zijn daardoor uitwasvrij. Kijkend naar de toepassingen is polyetheen over het geheel genomen een volwassen polymeer.
De geschatte wereldmarkt voor PE in 1990 is circa 25 miljoen ton. Het wordt niet bedreigd door andere materialen met een betere prijs/prestatie verhouding zodat een blijvende groei, gemiddeld in de orde van de BNP-groei, mag worden verwacht.
Behalve PE behoren PS, PP en PVC tot de standaardpolymeren. De synthese van deze polymeren vindt plaats volgens de additiepolymerisatie, waarbij de dubbele binding van etheen wordt verbroken en

Lezing, gehouden tijdens een symposium dat werd georganiseerd ter gelegenheid van het 50-jarig bestaan van DSM research. Dit artikel verscheen tevens in 'Chemisch Magazine 6/7' en in Kunststof en Rubber, 1990, nummer 8.

Kunststoffen in de jaren negentig



Figuur 1 De wereldkunststofproduktie (x miljoen ton).

de koolstofatomen via een enkelvoudige covalente binding met elkaar worden verbonden onder invloed van radikaalinitiatoren. De standaardpolymeren maken meer dan 70% van de totale wereldproduktie aan synthetische kunststoffen uit. De totale produktie in de jaren negentig is meer dan 60×10^6 ton per jaar; zie *figuur 1.*

De opkomst van de technische kunststoffen

In de beginperiode verdrong kunststof glas, keramiek, metalen, hout en andere natuurvezelmaterialen in veel al bestaande produkten. Daarna zijn door de vele mogelijkheden van kunststoffen ook betere vervangingen en geheel nieuwe toepassingen mogelijk gebleken. In de eerste twintig jaar na 1945 drongen kunststoffen vooral door in de sectoren verpakkingen, huishoudelijke apparatuur en woning- en utiliteitsbouw. Vanaf 1965 was er sprake van een sterke toename in de sectoren automobielbouw, elektronica/communicatie en informatie-industrie, vliegtuigbouw/ruimtevaart en geneeskunde.
Reden van deze sterke toename was de wens om bestaande constructieve toepassingen te verbeteren, nieuwe produkttoepassingen te ontwikkelen en het beschikbaar komen van een groep nieuwe materialen: de technische kunststoffen.

De vervanging van metalen door technische kunststoffen voor constructie-elementen en dragende onderdelen werd hierdoor in gang gezet. De grote voordelen van technische kunststoffen boven metaal in deze toepassingen zijn het lage gewicht, waardoor een grote verhouding tussen respectievelijk sterkte en stijfheid per gewicht kan worden gerealiseerd, en de lage totale kosten van fabricage.
Technische kunststoffen maken het tevens mogelijk de fabricage van complexe delen in één enkele operatie of bewerking uit te voeren, terwijl verschillende delen van de constructie dikwijls door één geïntegreerd concept kunnen worden vervangen. Dit fabricageproces staat een grote flexibiliteit van het ontwerp toe met betrekking tot de vormgeving.
De twee meest kenmerkende eigenschappen van technische kunststoffen zijn de hoge specifieke stijfheid en de bestandheid tegen hoge temperaturen. De specifieke stijfheid kan die van metalen overtreffen, terwijl de temperatuurbestandheid 40 tot 300°C hoger ligt dan die van traditionele kunststoffen. Deze twee eigenschappen kunnen worden gecombineerd met een hoge taaiheid, goede bestandheid tegen chemicaliën en maatvastheid gedurende de gebruiksduur van de uiteindelijke produkttoepassing.

Produkten

In de autoindustrie werden technische kunststoffen een begrip. In eerste instantie in het automobielinterieur (bijvoorbeeld het dashboard), vervolgens onder de motorkap (behuizingen en dergelijke) en het exterieur (bumpers, kofferdeksels) en in de nabije toekomst spatborden en deuren. Technische kunststoffen werden in een breed scala van elektrische en elektronische toepassingen ingezet, variërend van elektrische connectoren, spoeltjes, relais en substraten voor printplaten tot behuizingen voor computers en kantoormachines. De combinatie van bestandheid tegen hoge temperaturen en goede elektrische eigenschappen van technische polymeren werden mede bepalend voor de trend naar miniaturisering die zich in de elektronische industrie aftekende. Een belangrijke toepassing werd gevonden in de compact discs en in de toekomst in andere beeld- en geluidsdragers.
Op het gebied van verpakkingsmaterialen worden technische kunststoffen momenteel toegepast in flessen en containers voor huishoudelijk en industrieel gebruik, terwijl meerlagen verpakkingsfolies, vervaardigd via coëxtrusietechnieken, de mogelijkheid bieden om maaltijden te verpakken, te bewaren en op te warmen in magnetronovens. In de luchtvaartindustrie hebben technische kunststoffen hun intrede gedaan in zowel het interieur van de vliegtuigen (stoelen, wanden, plafonds) als in het exterieur met behulp van composietmaterialen in de staart, vleugels en andere constructieelementen.

Verschillende groepen technische kunststoffen

De eerste groep technische kunststoffen die vanaf 1970 sterk opkwam staat nu bekend als de 'big five'. Het zijn gemodificeerd PPO, PC, PA, POM en thermoplastische polyester.
Deze polymeren worden in grote hoeveelheden geproduceerd in continue polymerisatieprocessen en in een breed scala van toepassingen in bovengenoemde sectoren gebruikt. Opmerkelijk is dat deze groep momenteel meer dan 90 procent van de huidige technische kunststoffen uit maakt, die bestand zijn tegen continue gebruikstemperaturen van 110-140°C.
Het ontwikkelen van nog hoogwaardiger kunststoffen, die voor bepaalde toepassingen de tekortkoming van een te lage temperatuurbestandheid ten opzichte van metalen kan compenseren, werd mogelijk vanaf 1985, met de introductie van een nieuwe groep thermoplastische kunststoffen. Deze materialen bezitten tevens dikwijls betere sterkte- en stijfheidseigenschappen. De continue gebruikstemperaturen liggen boven de 200°C, waarbij zelfs korteduurbelastingen van rond de 300°C mogelijk zijn. Het gaat met name om kunststoffen zoals PEEK, PPS, PEI, PES, PA4.6, LCP's en PI.
Deze categorie vertegenwoordigt momenteel nog een klein deel van de markt: iets minder dan 2% van het totale volume van technische kunststoffen. De totale waarde is echter meer dan 18% van deze markt.
Deze polymeren worden meestal in batch-processen vervaardigd met een grote flexibiliteit, waarvan de economische schaalgrootte momenteel nog een minder belangrijke factor is.

Definities

Met de komst van deze groep materialen is de noodzaak ontstaan de diverse klassen van kunststoffen beter te definiëren. Er kunnen twee hoofdgroepen worden onderscheiden:
- standaardkunststoffen,
- technische kunststoffen.

Technische kunststoffen kunnen worden onderscheiden in drie categorieën met een toenemende prestatie.
- algemeen toepasbare technische kunststoffen,
- hoogwaardige technische kunststoffen,
- zeer hoogwaardig technische kunststoffen.

Het onderscheid tussen de groepen kan met behulp van vier kenmerken worden gemaakt: twee technische en twee markt-

georiënteerde (verwerkbaarheid, temperatuurbestandheid, prijs en de rijpheidsfase in de markt). Zie *tabel 1.*
De standaard thermoplasten hebben bijzonder goede verwerkingseigenschappen, terwijl de zeer hoogwaardige technische kunststoffen worden verwerkt volgens methoden die qua technologische niveau verwant zijn aan die voor thermoharders.
De temperatuurbestandheid van standaard kunststoffen is in het algemeen laag (50-80°C), terwijl die van zeer hoogwaardige thermoplasten bijzonder hoog is: enkele materialen kunnen temperaturen van meer dan 250°C in continugebruik doorstaan. De prijzen van standaardthermoplasten liggen in het algemeen ruim onder de 4 gulden per kg, terwijl de prijzen van zeer hoogwaardige technische kunststoffen meer dan 100 gulden per kg kunnen bedragen. De rijpheidsfase in de markt varieert van rijp voor de standaardthermoplasten tot embryonaal voor enkele van de nieuwste hoogwaardige materialen.

Groeiverwachtingen

De wereldmarkt voor technische kunststoffen zal in 1990, uitgedrukt in gewichtsprocenten van het wereldverbruik van kunststoffen, rond de 4% bedragen. In waarde uitgedrukt vertegenwoordigen de technische materialen een aanzienlijk hoger aandeel, namelijk 10-15%. Voor technische kunststoffen wordt in de jaren negentig een groei van 6-7% voorspeld. Een groei van 7,2% betekent dat de omzet in tien jaar zal verdubbelen. De groei van de standaardpolymeren zal, afhankelijk van het type, veelal de groei van het bruto maximaal produkt volgen (1-3%). De hoogwaardige en zeer hoogwaardige technische kunststoffen, die momenteel nog minder dan 2% van het totale volume uitmaken maar rond de 20% van de waarde van technische kunststoffen vertegenwoordigen, zullen gemiddeld met 18-20% groeien.

Composieten

Een belangrijke rol bij het verdringen van metalen en het ontstaan van geheel nieuwe produktoepassingen, spelen de composieten. Composieten bezitten een stijfheid die een factor 2 à 10 hoger ligt dan die van ongevulde kunststoffen. Zowel thermoplasten als thermoharders worden hierbij als matrixmateriaal gebruikt. Op het gebied van composieten zijn twee groepen te onderscheiden: de zeer hoogwaardige composieten en de technische composieten.

Zeer hoogwaardige composieten
De zeer hoogwaardige composieten bestaan uit continue vezels met een hoge treksterkte, die ingebed zijn in hoogwaardige kunststoffen. De belangrijkste vezels die hiervoor worden toegepast zijn koolstof, aramide en S-glas. Deze composieten concurreren direct met metalen. Ze worden voornamelijk toegepast in de luchtvaartindustrie. Daarnaast worden ze verwerkt in sportartikelen zoals tennisrackets en golfclubs.

Als matrixmateriaal neemt de thermoharder epoxyhars momenteel de belangrijkste plaats in. Hoogwaardige technische kunststoffen zoals PEEK, PES, LCP, PA4.6 en andere, zullen in de jaren negentig een belangrijk deel van het epoxysegment kunnen overnemen. Zij zijn taaier en dikwijls bestand tegen hogere gebruikstemperaturen.

Behalve epoxyharsen zullen bismaleïmiden en polyimiden worden ingezet, waarvan de gebruikstemperaturen aanzienlijk hoger liggen. In de jaren negentig zullen met name helikopters en zakenvliegtuigen worden vervaardigd uit zeer hoogwaardige composieten, terwijl het gebruik van composieten in lijn-vliegtuigen zal toenemen.

Technische composieten
De afgeleiden van zeer hoogwaardige composieten, die specifiek gebruik maken van minder dure vezels en matrixmaterialen, worden technische composieten genoemd. Deze worden momenteel ontwikkeld en afgestemd op de prijs/prestatieverhouding die geldt voor de autoindustrie en voor militaire toepassingen.

Vooral voor deze marktsegmenten wordt een sterke groei voorspeld. Voorbeelden zijn:
- SMC op basis van glasvezelversterkte thermoharde polyesters en glasvezelversterkt thermoplastisch SMA.

De rol van supervezels

Bij de ontwikkeling van composieten zal gebruik worden gemaakt van de nieuwe generatie supervezels, waarvan de doorbraak in de jaren tachtig plaatsvond.

Deze vezels kenmerken zich door hun specifieke treksterkte en stijfheid per eenheid van massa, die een factor 2 tot 15 hoger liggen dan die van glas en staal.

Supersterke vezels op basis van starre (bijvoorbeeld polyesters en aramiden) en flexibele (polyetheen) macromoleculen, hebben indrukwekkende mechanische eigenschappen in de vezelrichting. Vooral de treksterkte en stijfheid per eenheid van gewicht zijn indrukwekkend. Zie *figuur 2.* De eigenschappen loodrecht op de vezelrichting liggen echter orden van grootte lager dan in de vezelrichting. Dit komt doordat de vezels zijn gebaseerd op lineaire gestrekte moleculen, waarbij in de ketens sterke covalente bindingen, maar tussen de ketens nauwelijks chemische bindingen aanwezig zijn. Voor composieten die op buiging worden belast is de compressiesterkte daarom matig, waardoor de toepassing van dit soort vezels nog beperkt is.

Glasvezels zijn isotroop, terwijl in koolstofvezels twee-dimensionale chemische bindingen aanwezig zijn. Beide vezels bezitten derhalve een goede compressiesterkte. Door hybride systemen te ontwikkelen kan gebruik worden gemaakt van een combinatie van specifieke eigenschappen van vezels: de aramide en PE-vezel vanwege zijn hoge taaiheid en goede demping en de koolstofvezels vanwege hun hoge trek- en compressiesterkte.

Tabel 1 Hoofdkenmerken van standaard en technische kunststoffen.

	Verwerbaarheid	Temperatuurbestandheid	Prijs	Rijpheidsfase
Standaard thermoplasten	uitstekend	slecht	laag	vroege rijpheid tot rijpheid
Technische thermoplaten algemeen toepasbare technische kunststoffen	goed	goed	gemiddeld	groei tot late groei
hoogwaardige technische kunststoffen	redelijk	zeer goed	hoog	begin groei
zeer hoogwaardige technische kunststoffen	gecompliceerd	uitstekend	zeer hoog	embryonaal

Kunststoffen in de jaren negentig

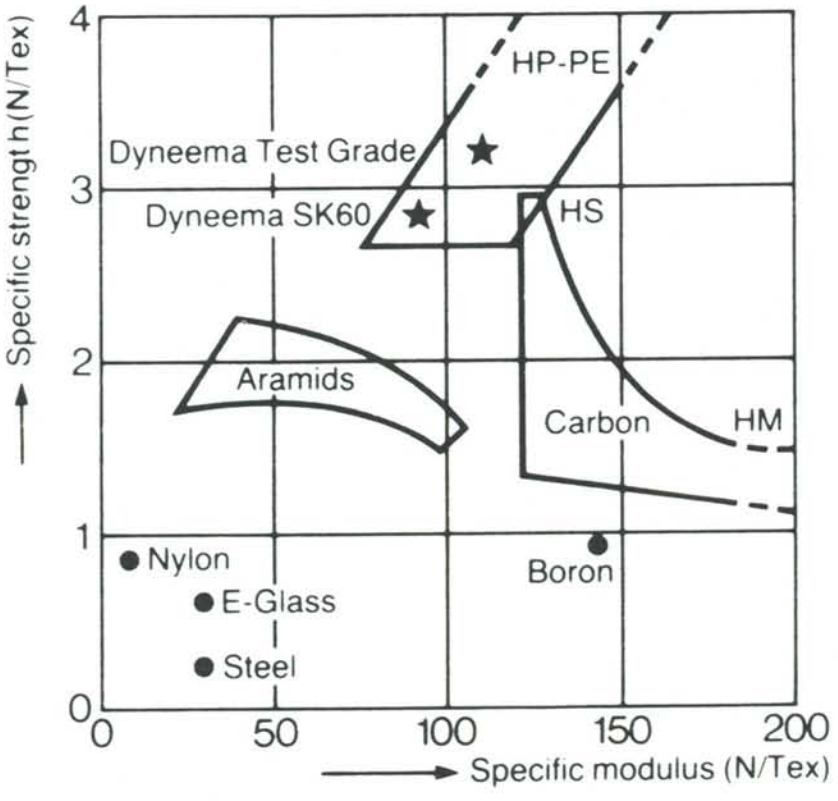
Technische kunststoffen op basis van blends en compounds

De mogelijkheid om eigenschappen van diverse polymeren te combineren wordt geboden door polymere mengsels te vervaardigen. Polymere mengsels hebben de afgelopen vijftien jaar grote industriële belangstelling genoten. Dit blijkt onder andere uit het grote aantal octrooien met betrekking tot polymere mengsels dat in de Derwant World Patent Index is opgenomen. De snelle groei van deze mengsels werd veroorzaakt door de relatief lage ontwikkelingskosten die nodig zijn om mengsels en compounds te ontwikkelen en de relatief korte tijd waarin polymere mengsels kunnen worden gecommercialiseerd. Polymeren zijn in het algemeen niet mengbaar. Dit geldt bijvoorbeeld voor PS en HDPE; zie *figuur 3*.

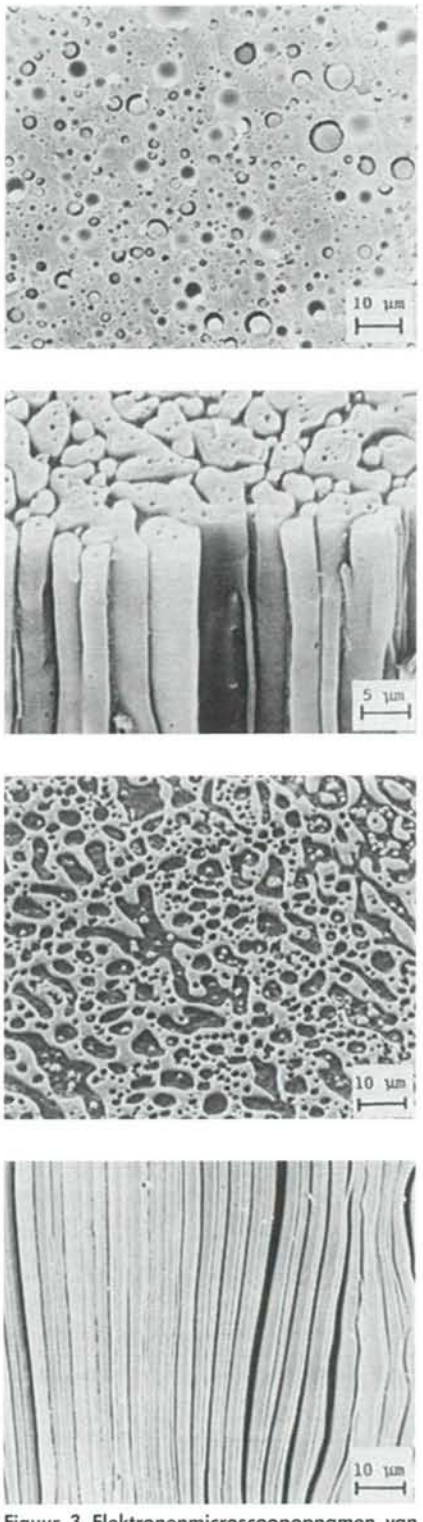
Dit wordt veroorzaakt door de lange ketenstructuur van de macromoleculen, waardoor de bijdrage van de meng-entropie te gering is voor het bereiken van een moleculaire menging. Alleen wanneer er voldoende chemische of fysische interactie optreedt tussen moleculen, kan dit tot een gedeeltelijke of volledige mengbaarheid leiden. Voor het ontwikkelen van industriële mengsels staan vele technieken ter beschikking om een gewenste morfologie in te stellen.
Enkele voorbeelden zijn:

1 Het gebruik maken van de zeldzaam voorkomende moleculaire mengbaarheid (bijvoorbeeld PPO/PS, SMA/SAN).
2 Het realiseren van "in-situ"koppelingsreacties (bijvoorbeeld PA/rubber).
3 Het compatibiliseren van moleculaire interactiekrachten (bijvoorbeeld PC/ABS).
4 Polymerisatie in aanwezigheid van de disperse fase (bijvoorbeeld ABS).
5 Het toevoegen van blockcopolymeren.
6 Mengbaarheid door middel van ionogene interactie tussen de componenten.
7 Crosslinken van de disperse fase (bijvoorbeeld dynamische vulcanisatie).

Het afstemmen van het reologische gedrag van de te mengen polymeren en het gebruik maken van speciale compounderingsapparatuur speelt bij het ontwikkelen van blends een cruciale rol. De prijs/prestatie van een polymeer kan nu gericht worden afgestemd op de eisen van toepassingen door te kiezen uit combinaties van het polymere basismateriaal, de blendcomponent(en) en eventu-



Figuur 2 Specifieke sterkte versus de modulus.



Figuur 3 Elektronenmicroscoopopnamen van het mengsel PS/HDPE [4].

eel het versterkingsmateriaal (vezels en vulstoffen).
De mogelijkheid om de prijs/prestatie karakteristiek van een type materiaal te sturen, heeft geleid tot een toenemende substitutie tussen technische kunststoffen, zeer hoogwaardige composieten en zelfs standaard kunststoffen.

De eigenschappen van PP en ABS worden op deze manier dikwijls opgewaardeerd en kunnen in veel gevallen worden beschouwd als algemeen toepasbare technische kunststoffen. Aan de andere kant maken leveranciers van zeer hoogwaardige composieten en hoogwaardige technische kunststoffen gebruik van blend- en vultechnieken om de kostprijs te verlagen, waardoor deze produkten met technische kunststoffen kunnen concurreren op basis van een afgestemde prijs/prestatie.
Een effectief hulpmiddel om te komen tot 'op maat gesneden' produkten zijn de technieken CAE (Computer Aided Engineering) en CAD (Computer Aided Design).
Produkttoepassingen, vervaardigd uit kunststoffen met een complexe vormgeving, kunnen met eindige-elementenprogramma's worden doorgerekend. Uitgangspunten voor deze berekeningen zijn de modellen voor het niet-lineaire visco-elastische gedrag van kunststoffen, waarmee het mechanische gedrag van de produkttoepassing onder praktijkcondities kan worden voorspeld.

Nieuwe polymeren in de jaren negentig

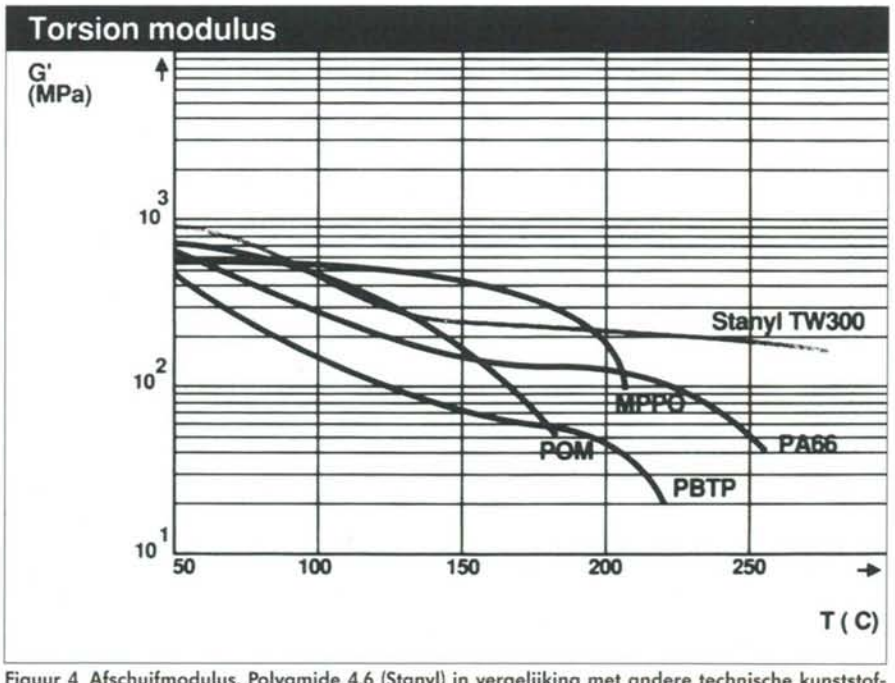
Ondanks de lange tijd en aanzienlijke kosten die gepaard gaan met het ontwikkelen en opschalen van nieuwe polymeren, hebben diverse producenten van kunststoffen de afgelopen jaren nieuwe polymeren geïntroduceerd:
PEEK, thermotrope LCP's, PEI, PA 4.6 en andere. DSM introduceert in de jaren negentig onder andere: polyamide 4.6, thermotrope LCP's en rubbergemodificeerd SMA.

PA 4.6
PA 4.6, door DSM Stanyl genaamd, onderscheidt zich ten opzichte van PA 6.6 door een hoge ketensymmetrie en een hoge concentratie amide-groepen tengevolge van de verdeling van de methyleeneenheden in de keten. Het Stanylproces is namelijk gebaseerd op de grondstoffen 1.4-diaminobutaan en adipinezuur.
Hierdoor bezit PA 4.6 een hogere kristalliniteit en hogere kristallisatiesnelheid dan PA 6.6, waardoor een bijzondere eigenschappenpakket ontstaat. In de praktijk betekent het dat PA 4.6 een continue gebruikstemperatuur heeft van 150°C; dit is 40-50°C hoger dan bij PA 6.6. De maatvastheid van produkten die vervaardigd zijn van Stanyl wordt bij piektemperaturen van rond de 250°C nog gegarandeerd; zie *figuur 4*. Door de zeer fijne sferulietstructuur ligt de kerfslagvastheid van deze nylon een factor twee hoger dan die van PA 6 en 6.6, terwijl de bestandheid tegen chemicaliën goed is.

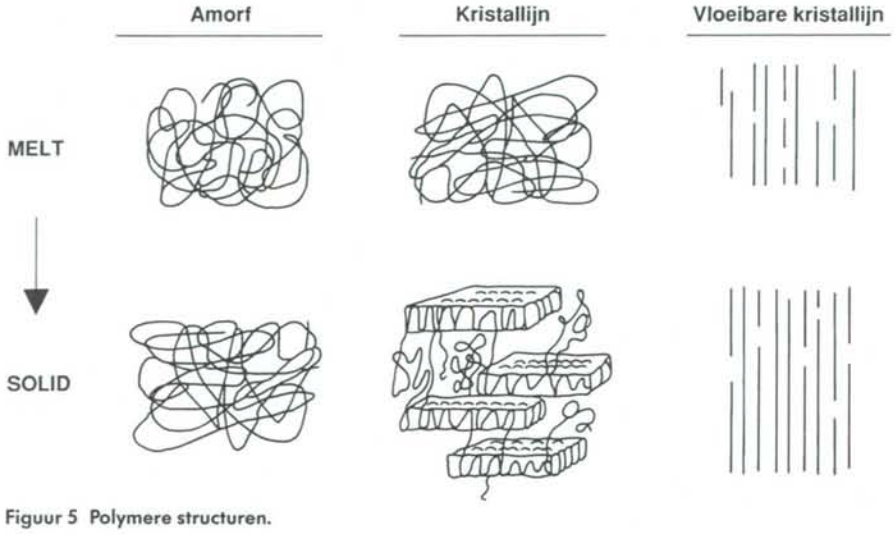
Rubber gemodificeerd SMA
Stapron, het rubber gemodificeerde SMA van DSM, wordt gekenmerkt door een goede balans van stijfheid, maatvastheid en taaiheid. Vanwege het polaire karakter van het SMA-molecuul heeft het materiaal tevens als thermoplastisch glasvezelversterkt composiet goede eigenschappen. De continue gebruikstemperatuur ligt rond de 115°C, terwijl piektemperaturen van 145°C kunnen worden doorstaan. Bij de gekozen molecuulstructuur behoort tevens een goede bestandheid tegen milieuspanningsbrosheid. Wat eigenschappen betreft kan Stapron worden ingedeeld bij de algemeen bruikbare technische kunststoffen.

LCP
LCP's zijn één van de belangrijkste materiaalontwikkelingen van de afgelopen tien jaar. Op grond van de starre molecuulstructuur, die sterk afwijkt van de amorfe en kristallijne polymeren, zie *figuur 5*, kan een scala van bijzondere eigenschappen worden verkregen. In de smelt of in oplossing benadert de ordening van de moleculen van LCP's de ordening van de kristallijne structuur in de vaste fase. Een onderlinge verstrengeling van moleculen zoals bij de amorfe en kristallijne polymeren in de smelt wordt waargenomen, treedt niet op. Tengevolge van de zeer starre molecuulstructuur en de hoge onderlinge parallelle oriëntatiegraad, wordt onder andere de treksterkte voor een belangrijk deel bepaald door de covalente bindingen in de ketens en de stijfheid van de bindingshoek/valentiehoek. Het voordeel van de thermotrope, dat wil zeggen in de smelt verwerkbare, LCP's tegenover conventionele polymeren is de hoge treksterkte (150-200 N/mm^2) en de zeer hoge elasticiteitsmodulus (in evenwijdige richting 10.000-20.000 N/mm^2), de zeer lage viscositeit, de grote kerfslagsterkte en de zeer lage lineaire uitzettingscoëfficiënt van 5 à 6 · 10^{-6}/°K). Omdat de hoofdketen uit aromatische moleculen bestaat zijn deze polymeren intrinsiek vlamdovend en bestand tegen de inwerking van chemicaliën.

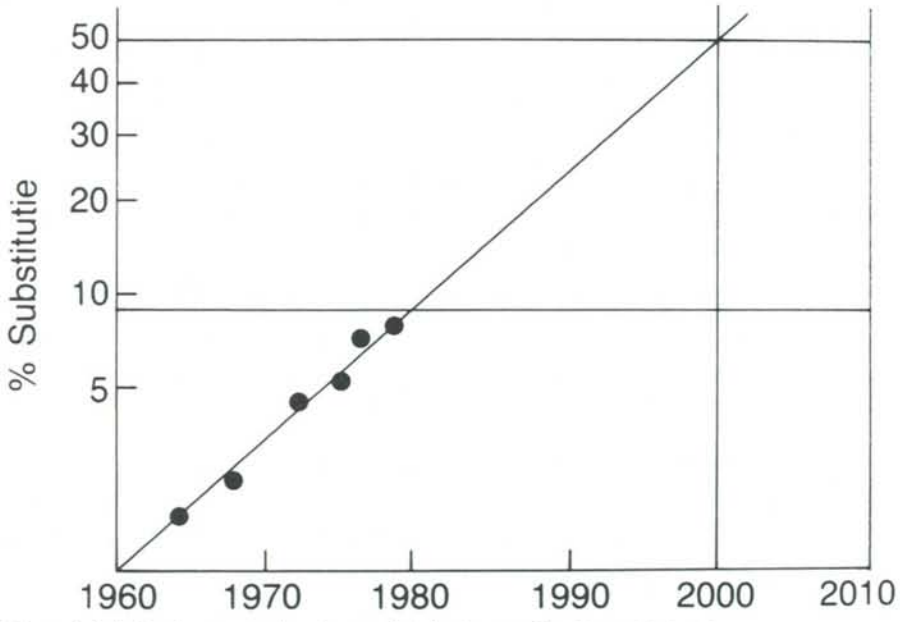
De door DSM ontwikkelde LCP op basis van onder andere een aromatische polyester kan worden ingedeeld in de groep van zeer hoogwaardige technische kunststoffen.



Figuur 4 Afschuifmodulus. Polyamide 4.6 (Stanyl) in vergelijking met andere technische kunststoffen [8].



Figuur 5 Polymere structuren.



Figuur 6 Substistutie van metalen door technische kunststoffen. (Bron: Du Pont).

De toekomst van technische kunststoffen

Te verwachten is dat de groei van technische kunststoffen en composieten in de jaren negentig zal doorzetten. De eigenschappen van de beschreven kunststoffen zullen mogelijk nog beter worden, zodat het gebruik van kunststof als constructiemateriaal in een versneld tempo zal toenemen; zie *figuur 6*.

Berekeningen op basis van figuur 6 en DSM-gegevens leren dat in 1990 13% van de metalen voor constructie-elementen en dragende onderdelen voor technische kunststoffen zijn vervangen. Schepen, auto's en vliegtuigen die grotendeels uit kunststof bestaan zijn geen utopie meer.

Minder opvallend, maar daarom niet minder spectaculair, zullen de toekomstige toepassingen zijn waarbij heel specifieke fysische en/of chemische eigenschappen van polymere materialen zullen worden benut. Gedacht wordt aan onder andere intrinsiek geleidende polymeren en optische polymeren als informatiedragers.

Door de nieuwe polymeren te combineren met bestaande materialen zoals metalen en glas, en bestaande thermoplasten met thermoharders te integreren in constructie-elementen, zijn diverse nieuwe produktconcepten te verwachten. De mogelijkheden tot herverwerking, de verbranding/ontleding van kunststoffen tot basisgrondstoffen die in het milieu thuis horen, zullen eigenschappen worden van kunststoffen.

Bij het ontwikkelen van een produkt waarin kunststoffen een belangrijke rol spelen, zal een onderlinge afstemming van het type kunststof plaatsvinden met het doel de herverwerking te effectueren. Door het steeds meer op maat maken van kunststoffen voor de specifieke toepassingen en de door de industrie gevormde mondiale produktstrategie, zal de inbreng van polymeerchemici, procestechnologen, materiaalkundigen en marktontwikkelaars voor onderzoek en produktontwikkeling van polymeren verder worden geïntensiveerd.

Als stelling kan worden geponeerd dat onderzoekers op het gebied van technische kunststoffen, die moleculen, morfologie, verwerking, eigenschappen en toepassingen combineren, de beste zijn.

Literatuur

[1] Voorgeschiedenis van de kunststoffen. T. Frieling, Kunststoffen en Rubber Instituut TNO.
[2] P.O. Gibson, The discovery of polythene, London 1964 (The Royal Institute of Chemistry).
[3] P.J. Lemstra en R. Kirschbaum, Polymer 1985. 26, 1372-1384.
[4] Modelling of the processing of incompatible polymer blends; P.H.M. Elemans.
[5] Toepassingseisen en produktperformance. Intern DSM, cursus LICHT: F. Sonnema.
[6] Toepassingen van kunststoffen. Intern DSM, cursus LICHT: H. Geesink.
[7] De drie polyethenen. DSM Kunststoffen: P.L.M. Dols.
[8] Polyamide 4.6: A new material for meeting the increasing demands under the bonnet; R. Hrschnitz. Technical Service and application development Stanyl DSM Geleen.

Enkele afkortingen

ABS	acrylonitrilbutadieenstyreen
BMI	bismaleïmide
HDPE	hoge dichtheid polyetheen
LCP	vloeibaar-kristalpolymeren
LDPE	lage dichtheid polyetheen
LLDPE	lineair lage dichtheid polyetheen
PA	polyamide
PC	polycarbonaat
PE	polyetheen
PEEK	polyetheretherketon
PEI	polyetherimide
PES	polyethersulfon
PI	polyimide
POM	polyacetalen
PP	polypropeen
PPO	polyfenyleenoxide
PPS	polyfenyleensulfide
PS	polystyreen
PVC	polyvinylchloride
SAN	styreenacrylonitril
SMC	sheet moulding compound
SMA	styreen maleïnezuur anhydride

Verf en Fijnmechanische Techniek

Ir.M.Breuning

Inleiding

Het Verfinstituut TNO houdt zich bezig met een aantal onderwerpen ter ondersteuning van zowel de industrie die verven ontwikkelt en produceert als met advisering met betrekking tot de toepassing en daarbij optredende problemen.
Daartoe heeft het instituut de volgende afdelingen:
- Produktontwikkeling en milieu/arbeidshygiëne;
- Fysische en Chemische methoden;
- Expertise en systemen;
- Bedrijfsadvisering.

Deze afdelingen houden zich enerzijds bezig met technologische ontwikkeling en anderzijds met adviseren en het oplossen van praktische problemen op ad hoc basis. Ook worden langlopende fundamentele onderzoeksprojecten uitgevoerd.

Wat is verf?

Verf (zie *figuur 1*) is een mengsel van bindmiddelen, pigmenten, additieven en oplosmiddelen. Het resultaat is een vloeibaar of eventueel tixotroop mengsel dat zich op oppervlakken laat opbrengen door verspuiten of uitstrijken met kwast of soortgelijke hulpmiddelen en in sommige toepassingen ook door dompelen.

Verf is menging van:
- bindmiddelen
- pigmenten
- additieven
- oplosmidelen

Met als doel:
- bescherming
- verfraaiing

Figuur 1.

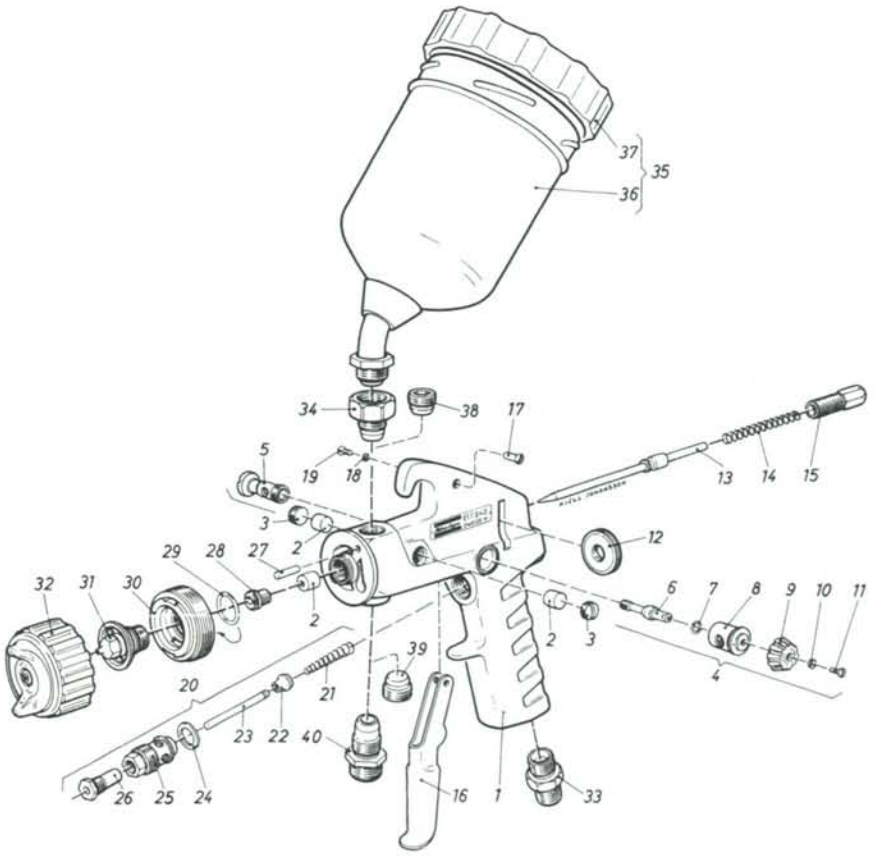
Het doel van het aanbrengen van een verflaag (of een aantal lagen) kan zijn zowel primair bescherming van het oppervlak, dan wel verfraaiing. Veelal gaan beide aspecten samen. De bescherming kan zowel gericht zijn op het voorkomen van corrosie (bij metalen bijvoorbeeld) als op het voorkomen van aantasting door schimmels die rot veroorzaken. Dit laatste is vooral bij toepassing op hout van belang.

De bedrijfstak Verf

In de bedrijfstak Verf vindt men verschillende met het eindprodukt gerelateerde activiteiten. Deze zijn op de eerste plaats de verwerking van grondstoffen en de produktie van verf, respectievelijk aanverwante produkten (plamuur, stopverf etc.). Verder houdt de bedrijfstak zich ook bezig met het onderzoek naar en de ontwikkeling van de applicaties. De bedrijfstak produceert voor verschillende (deel-)markten en voor de bedekking van allerlei verschillende materialen.
Tenslotte besteedt de bedrijfstak vanzelfsprekend ook aandacht aan "non-paint" produkten; hoofdzakelijk hulpmiddelen bij het aanbrengen van verf.
De bedrijfstak heeft zowel te maken met grote opdrachtgevers, meestal beheerders van vastgoed, openbare voorzieningen, e.d., als met de (kleine) consument, en wel de kleine (schilder)bedrijven en particulieren.

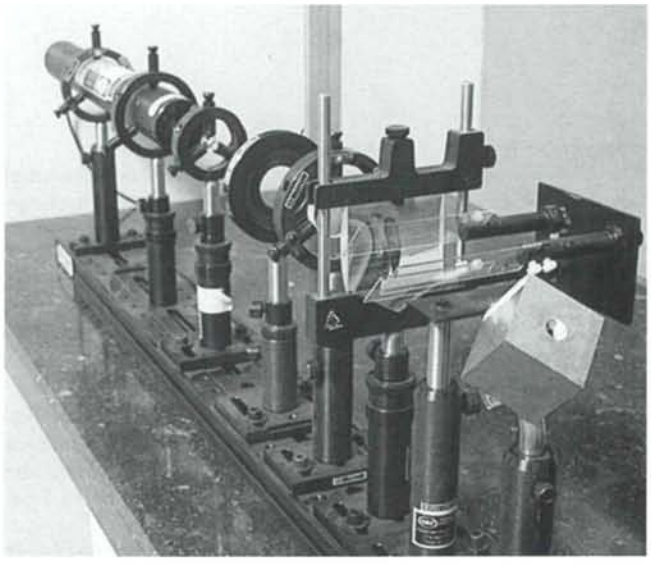
Bedrijfseconomische omvang

Om enig idee te geven van de bedrijfseconomische omvang van de bedrijfstak volgen hier enige getallen. Wereldwijd werd in 1989 ca. 13 miljoen ton verf geproduceerd.
In Nederland bedroeg de produktie ca. 315.000 ton, terwijl nog 65.000 ton geïmporteerd werd. Anderzijds werd ca. 140.000 ton geëxporteerd en bedroeg het binnenlands verbruik ca. 240.000 ton.



Figuur 2 Opengewerkt model van een verfspuitpistool.

1	: pistoollijf	17 t/m 19	: as + opsluiting van de trekker
2	: pakking	20 (21 t/m 26)	: luchttoevoerventiel sam.
3	: opsluitschroef	27	: borgpen
4 (5 t/m 11)	: straalbreedteregeling sam.	28 t/m 32	: spuitmond sam.
12 t/m 15	: vloeistoftoevoerregeling sam.	34 t/m 38	: verf c.q. lak voorraadtank sam.
16	: trekker		



Figuur 3 Een door het verfinstituut TNO ontwikkelde laser-opstelling om het vloeigedrag van natte verf op scherpe hoeken te bestuderen.

Figuur 4 Een computergestuurde methode om automatisch de erosie van verfsystemen te bepalen. Ontwikkeld door het Verfinstituut TNO.

Figuur 5 Een blik in de keuken van het Verfinstituut TNO. Actie in de vrij unieke klimaatgestuurde spuitcabine met transportband.

Trends in de ontwikkeling van verf

De ontwikkeling in verf gaat steeds verder en wordt allereerst krachtig beïnvloed door de actuele milieu-eisen. De bemoeienis van de overheid met betrekking tot risico's voor het milieu bij verwerking en opslag evenals ten aanzien van afval is sterk toegenomen. Er wordt dan ook hard gewerkt aan verven op basis van vooral milieuvriendelijke oplosmiddelen en een aantal fabrikanten is daarmee al op de markt.

Ook andere aspecten blijven echter in de aandacht, zoals efficiëntere droging.

Er is een duidelijke toename van kwaliteitsbewustzijn, zowel bij producenten als verwerkers respectievelijk gebruikers. Dit komt onder andere tot uitdrukking in specificaties zoals die gesteld worden met name in bestekken in de bouw.

Er is een duidelijke toename in de complexiteit van verfsystemen, hetgeen mede tot uitdrukking komt in een matrix van produkten.
Daarnaast vraagt de automatisering van de produkten en ook, bij vele toepassingen, van de applicatie steeds meer aandacht.
Door dit alles vergt de ontwikkeling steeds meer een multidisciplinaire aanpak.

Relaties Verf en Fijnmechanica

Het belang van fijnmechanica in de research-fase, van de ontwikkeling van grondstoffen uit de chemische industrie tot en met de optimale verfformulering, is groot te noemen. Zoals bij research in het algemeen, geldt ook voor verf, dat een scala van test- en meetapparatuur wordt gebruikt voor zowel de analyse van natte verf alswel de bepaling van reeksen specifieke eigenschappen van droge verffilms en systemen.

Ook voor de applicatie van verf speelt fijnmechanica een grote rol. Zo blijkt een verfspuitpistool uitwendig een eenvoudig apparaat doch een opengewerkt model, zie *figuur* 2, toont aan dat de ontwikkeling niet stil is blijven staan en dat ook in dit geval sprake is van een sterk staaltje fijnmechanica.

Dit artikel is gebaseerd op de voordracht gehouden door Dr. F.R.J. Willemse, hoofd van het verfinstituut TNO, in het middagprogramma van de Algemene Ledenvergadering van de NVFT op 31 mei 1990.

Ontwikkelingen op het gebied van rubberachtige materialen

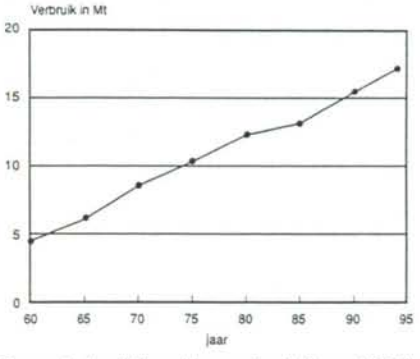
Ing. W.J. Aben, Centrum voor Polymere Materialen TNO

Het onderwerp van dit artikel is het schetsen van een beeld van de ontwikkelingen op het gebied van rubberelastische materialen gedurende de laatste jaren. Duidelijk zal worden dat er op het gebied van de traditionele gevulcaniseerde rubbers de laatste jaren vele varianten van reeds bestaande elastomeren zijn ontwikkeld. Aan de andere kant zijn er in deze groep geen nieuwe elastomeren bijgekomen die op dit moment al een belangrijk afzetgebied hebben gevonden.

De meeste aandacht zal daarom worden gegeven aan een sterk in opkomst zijnde groep van rubberachtige materialen die zich in het grensgebied tussen de gevulcaniseerde rubbers en de kunststoffen bevindt, namelijk de thermoplastische elastomeren.

Inleiding

De hoeveelheid rubber die jaarlijks wordt verwerkt groeit nog steeds; zie *figuur 1*. Het International Institute of Synthetic Rubber Producers (IISRP) verwacht dat het totale verbruik zal stijgen van ongeveer 15,8 miljoen ton in 1990 tot 17,6 miljoen ton in 1994. Het aandeel van de synthetische rubbers hierin wordt voor 1994 geschat op bijna 12 miljoen ton. Toch moet men hieruit niet afleiden dat het verbruik van natuurrubber stagneert of afneemt: het IISRP voorspelt zowel voor natuurrubber als voor synthetische rubbers tot 1994 een jaarlijkse groei van ongeveer 2%.



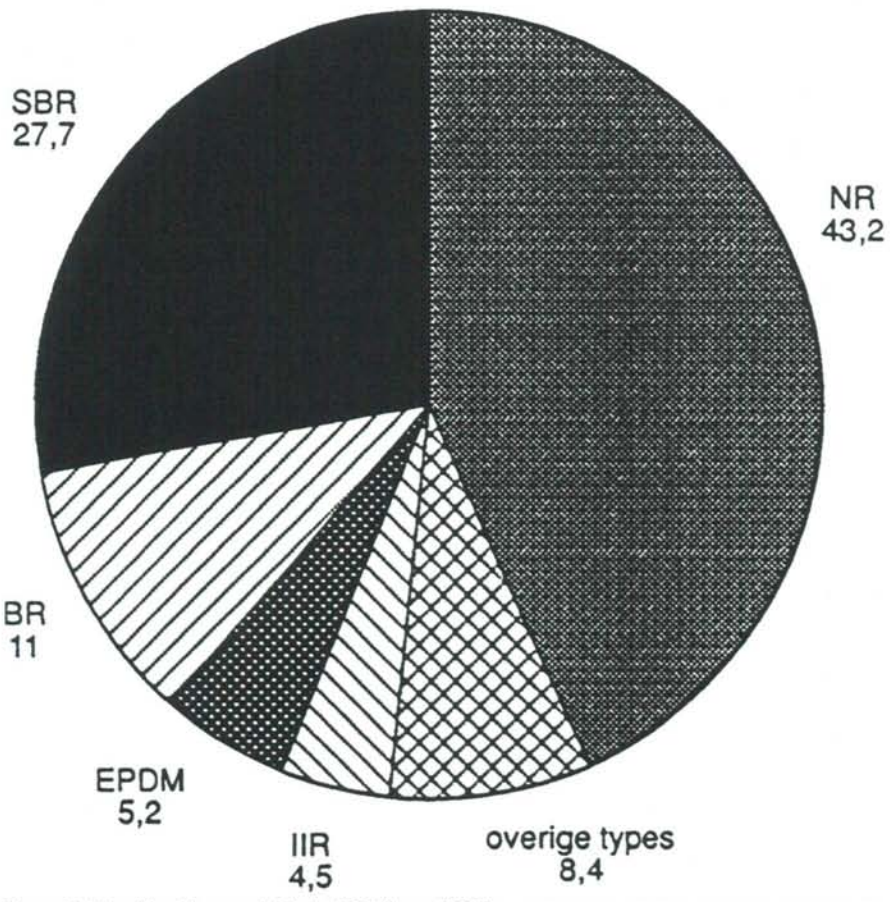
Figuur 1 Jaarlijks rubberverbruik (bron: IISRP).

Ongeveer 60% van de totale hoeveelheid rubber die jaarlijks wordt verwerkt wordt gebruikt in de bandenindustrie, voornamelijk in de vorm van natuurrubber (NR), styreen-butadeen rubber (SBR) en polybutadeen rubber (BR). Deze drie soorten alleen nemen meer dan 80% van de wereldproduktie van rubber voor hun rekening; zie *figuur 2*. Het aandeel van alle overige soorten bedraagt per soort slechts enkele procenten. Ethyleen-propyleen rubber (EPDM) en butyl rubber (IIR) zijn daarvan de koplopers met elk ongeveer 5%.

Het zijn meestal juist de overige soorten die men tegenkomt op plaatsen waar een rubberelastisch materiaal nodig is waaraan hoge eisen kunnen worden gesteld als het gaat om bijvoorbeeld de bestandheid tegen chemicaliën, oliën of zeer hoge dan wel juist extreem lage temperaturen. Hoewel de totale jaarlijks verwerkte hoeveelheid van elk van deze soorten meestal vrij gering is, hebben ze zich op grond van hun specifieke eigenschappen een vaste plaats op de markt verworven. Het geheel overziende zal duidelijk worden dat het voor de gebruiker steeds moeilijker wordt uit de veelheid van de mogelijkheden de juiste te kiezen. Een goede keuze is des te belangrijker omdat het succes van een produkt vaak afhangt van de juiste keuze van een rubberonderdeel dat op zich meestal slechts een klein deel van de kosten ervan uitmaakt.

Gevulcaniseerde rubbers

Op het gebied van de gevulcaniseerde rubbers is de aandacht van de polymeerfabrikanten vooral uitgegaan naar het verbeteren van de eigenschappen en de verwerkbaarheid van bestaande elastomeren.



Figuur 2 Wereld-rubberproduktie in 1986 (bron: IISRP).

Ontwikkelingen op het gebied van rubberachtige materialen

Het verbeteren van de eigenschappen was (en is) nodig om te kunnen voldoen aan de steeds hogere eisen die aan rubbers worden gesteld.

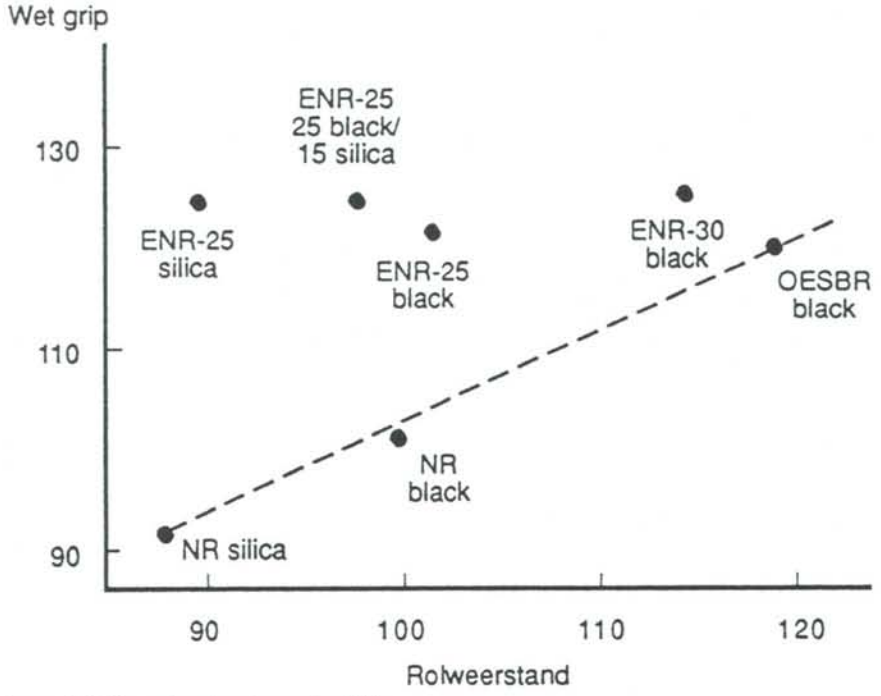
Een betere verwerkbaarheid heeft onder meer geleid tot een meer constante kwaliteit van de produkten, zeer belangrijk gezien de aandacht die op dit moment aan kwaliteitsbeheersing wordt gegeven.

Er zijn vele soorten vulcaniseerbaar rubber op de markt. Alleen al aan de ontwikkelingen op het gebied van siliconenrubber en polyurethaanrubber zou een gehele voordracht kunnen worden gewijd. Daarom kunnen er in het kader van dit artikel niet meer dan enkele voorbeelden worden gegeven van interessante ontwikkelingen in de laatste jaren. Deze zijn zo gekozen dat enerzijds duidelijk wordt dat zelfs bij de van oudsher bekende en nog steeds meest gebruikte rubbersoorten de ontwikkelingen niet stil staan, terwijl anderzijds enkele varianten van reeds bestaande soorten worden besproken waarvan op dit moment nog niet te zeggen valt in hoeverre deze in de toekomst een marktpositie zullen veroveren.

Natuurrubber

Eén van de problemen waarmee de producenten van natuurrubber zich bij de snelle opkomst van synthetische rubbers na de Tweede Wereldoorlog geconfronteerd zagen was dat de kwaliteit van de synthetische produkten veel constanter was dan die van hun natuurprodukt. Zo is de vulcanisatiesnelheid van met zwavel gevulcaniseerde natuurrubber afhankelijk van de mate van verdunning van de latex vóór coagulatie en van de pH bij het begin van de coagulatie. Door deze variabelen te gaan controleren werd het mogelijk natuurrubber-kwaliteiten te vervaardigen waarvan de vulcanisatie-karakteristieken tussen vrij nauwe banden liggen. Dit leidde tot de invoering van technisch geclassificeerde natuurrubber-kwaliteiten, het eerst geïntroduceerd door Maleisië in 1960 (SMR, Standard Malaysian Rubber Specifications), later gevolgd door Indonesië (SIR) en ander landen.

Omdat met name de fabrikanten van banden steeds meer automatiseren en daarom behoefte hebben aan grondstoffen met een zo constant mogelijke kwaliteit wordt de laatste jaren veel onderzoek verricht naar mogelijkheden om deze specificaties aan te scherpen en nieuwe eisen toe te voegen.



Figuur 3 Geëpoxydeerde natuurruber (NR).

Polynorborneen:

maakt zeer zachte massieve rubberprodukten mogelijk

Voorbeeld:

met 200 delen olie en 200 delen		HAF	MT	klei	krijt
hardheid	Sh A	55	32	33	25
treksterkte	MPa	20,5	15,0	14,5	12,0
rek bij breuk	%	330	510	520	580
scheursterkte	N/mm^2	30	27	24	11
blijvende vervorming na 22 uur bij 70°C	%	14	12	26	25

Figuur 4 Gevulcaniseerde rubbers (HAF: versterkend roettype; MT: niet versterkend roettype).

Verder proberen de natuurrubberproducenten het hoofd te bieden aan de sterke concurrentie van de producenten van synthetische rubbers door een aantal speciale typen natuurrubber op de markt te brengen. Als voorbeeld kan in dit verband geëpoxydeerde natuurrubber worden genoemd. Dit is een chemisch gemodificeerde vorm van natuurrubber waarin een aantal van de koolstof-koolstof bindingen uit de hoofdketen zijn omgezet in epoxygroepen. Drie in het oog springende eigenschappen van dit materiaal zijn een goede oliebestandheid, een lage gasdoorlatendheid en een goede hechting aan andere polymeren zoals PVC. De veerkracht is echter gering, terwijl bij lage temperaturen snel verharding optreedt. Toepassingen worden voorzien in de vervanging van butyl-chloropreen- en "middenklasse" nitrilrubbers, daar waar goede sterkte en vermoeiingseigenschappen samen met een redelijke mate van oliebestandheid worden gevraagd. Op langere termijn voorziet men ook toepassing in autobanden; zie *figuur 3*. Of geëpoxydeerde natuurrubber zich inderdaad een zekere marktpositie zal verwerven is twijfelachtig, met name voor wat betreft het gebruik in de bandenindustrie. Tot dusver is er zelfs nauwelijks sprake geweest van produktie op enige schaal.

Nitrilrubber

Nitrilrubber is reeds ongeveer vijftig jaar op de markt. Het materiaal kenmerkt zich vooral door een uitstekende weerstand

tegen alifatische koolwaterstoffen (oliën, brandstoffen en vetten), een goede weerstand tegen hitte, althans in afwezigheid van zuurstof, en een geringe permeabiliteit voor gassen. Nadelen zijn de matige weerstand tegen aantasting door ozon en het snel verharden bij lage temperaturen.
Rond 1985 introduceerde Bayer een gehydrogeneerde nitrilrubber, Therban, die aanzienlijke voordelen heeft boven de "gewone" nitrilrubbers: een veel betere weerstand tegen hitte, weersinvloeden en ozon, slijtvast, veel sterker en goed bestand tegel vele olie-additieven en tegen ruwe olie. Bovendien is het materiaal bij veel lagere temperaturen nog flexibel. Het gebruik van gehydrogeneerde nitrilrubber is nog steeds vrij gering, maar groeit gestaag.

Polynorborneenrubber

In 1975 werd door CdF Chemie polynorborneenrubber op de markt gebracht onder de naam Norsorex. Het monomeer norborneen wordt verkregen uit additie van ethyleen en cyclopentadieen.

Het polymeer wordt pas bij temperaturen boven 35°C rubberachtig, maar het kan worden geplastificeerd met grote hoeveelheden aromatische, naftenische of paraffinische olie. Daarnaast kunnen vulstoffen als roet, silicaten, klei, krijt en zelfs kurk in hoge percentages worden toegevoegd, waarna het eindprodukt toch nog steeds redelijke mechanische en rubberelastische eigenschappen blijkt te bezitten; zie *figuur 4*. De fabrikant claimt dat er op 100 gewichtsdelen rubber wel 1500 gewichtsdelen olie en vulstof mogen worden toegepast.

Polynorborneenrubber maakt het mogelijk om massieve rubberprodukten met een zeer lage hardheid te maken (20 tot 25 Sh A). Verder heeft het materiaal dempingseigenschappen die het zeer geschikt maken voor trillingsdempers.

Fluorrubber

De meest bekende typen uit deze groep zijn wel de copolymeren op basis van vinylideenfluoride en hexafluorpropyleen.

Handelsnamen zijn onder meer Viton en Fluorel. Deze materialen worden vooral gebruikt op plaatsen waar zeer hoge temperaturen kunnen optreden. Ze zijn verder uitstekend bestand tegen alifatische en aromatische koolwaterstoffen en gechloreerde oplosmiddelen. Ze zwellen echter aanzienlijk in ketonen, mono-esters, ethers en sommige fosfaten en verharden in contact met ammoniak en aminen. Verder zijn ze, tenzij hierop speciaal wordt gecompoundeerd, niet goed bestand tegen heet water, stoom en chloor. Er zijn enkele andere typen fluorrubber die veel minder bekend zijn maar waarvan sommige nog betere eigenschappen hebben. Eén hiervan is het door Du Pont op de markt gebrachte Kalrez, een copolymeer van perfluor(methylvinylether) en tetrafluorethyleen (Teflon). Dit materiaal zou continu tot 260°C kunnen worden gebruikt, terwijl het tegen vrijwel alle media bestand is, zelfs tegen stoom; zie *figuur 5*. Er zijn echter wel een aantal nadelen aan verbonden, waarvan de voornaamste wel de extreem hoge prijs is. Een ander nadeel is dat het materiaal erg moeilijk te verwerken is, waardoor de afmetingen en de vormgevingsmogelijkheden van produkten beperkt zijn.

Thermoplastische elastomeren

De groep van materialen die met "thermoplastische elastomeren (TPE's)" of ook wel "thermoplastische rubbers (TPR's)" wordt aangeduid groeit de laatste jaren snel. Het IISRP voorspelde onlangs dat het verbruik van deze materialen zal stijgen van 585.000 ton in 1988 tot 858.000 ton in 1994. Dit zou dus een groei van meer de 6,5% per jaar betekenen. Ter vergelijking: het IISRP verwacht, zoals reeds eerder gezegd, dat in dezelfde periode het verbruik van natuurrubber en van synthetische rubber met 2% per jaar zal toenemen. Het marktaandeel van TPE's is nu reeds ongeveer 4% van het totale rubberverbruik. In Europa worden TPE's relatief vaak toegepast; ongeveer 12% van het totale rubberverbruik bestaat hier al uit TPE's.

Het kenmerkende van deze groep materialen is al uit de naam af te leiden: een thermoplastisch elastomeer gedraagt zich in het werkgebied als een gevulcaniseerde rubber, maar vloeit bij zijn verwerkingstemperatuur als een thermoplastisch materiaal. Vanuit verwerkingsoogpunt is dit natuurlijk een zeer aantrekkelijk concept omdat na het vormgeven een produkt alleen nog maar hoeft te worden afgekoeld.

Conventionele rubbers moeten na het vormgeven eerst nog enige tijd worden verwarmd om het netwerk van dwarsverbindingen tot stand te brengen waaraan deze materialen hun sterkte en hun elasticiteit ontlenen: het vulcaniseren. Dit kost tijd en energie.

Een ander voordeel van thermoplastische elastomeren is dat deze zonder veel problemen kunnen worden herverwerkt. Bij conventionele gevulcaniseerde rubbers is dit niet mogelijk. Dit kan bij de verwerking tot aanzienlijke besparingen leiden.

Voor de traditionele kunststofverwerker zijn TPE's vooral van belang omdat ze, met behoud van de reeds aanwezige apparatuur en verwerkingstechnieken, de weg openen naar het maken van produkten waarin voordien alleen gevulcaniseerde rubbers konden worden toegepast.

TPE's hebben uiteraard ook wel nadelen. De kostprijs ervan is meestal aanzienlijk hoger dan die van conventionele elastomeren, terwijl een aantal vooral voor technische rubberprodukten belangrijke eigenschappen (nog) niet het niveau halen van die van gevulcaniseerde rubbers.

Alle thermoplastische elastomeren hebben gemeen dat ze bestaan uit een harde thermoplastische fase en een zachte elastomere fase. De flexibele ketens worden bij de gebruikstemperatuur bij elkaar gehouden door verbindingen die bij de verwerkingstemperatuur niet meer effectief zijn. Men noemt deze verbindingen daarom ook wel "heat fugitive crosslinks".

Figuur 5 Fluorrubber:
• Kalrez: tegen hogere temperaturen bestand dan Viton; ook tegen vrijwel alle media, maar extreem duur en zeer moeilijk te verwerken.

Voorbeeld:

Gedrag in hete lucht.

		oorspronkelijk	na 500 dagen bij 230°C	na 7 dagen bij 315°
hardheid	Sh A	90	87	87
treksterkte	MPa	18,3	16,8	14,0
rek bij breuk	%	120	220	230

Ontwikkelingen op het gebied van rubberachtige materialen

Naar wijze van vervaardiging kunnen TPE's worden onderscheiden in:
- blok copolymeren bestaande uit afwisselend harde en zachte blokken,
- blends van een thermoplastisch materiaal en een elastomeer,
- legeringen van een thermoplastisch materiaal en een elastomeer.

Bij een aantal typen wordt het elastomere aandeel tijdens de fabricage gevulcaniseerd, hetgeen een aanzienlijke verbetering van met name het vormherstellend vermogen oplevert. Men noemt dit "dynamisch gevulcaniseerde TPE's".

TPE's kunnen worden ingedeeld in een aantal klassen, gebaseerd op de aard van de harde fase, zie *figuur 6*.

Indeling naar de aard van de harde fase:

TPE-S	basis styreen
TPE-E	basis ester
TPE-U	basis urethaan
TPE-O	basis olefinen
TPE-A	basis amide
TPE-F	basis fluor

Figuur 6 Thermoplastische elastomeren.

Het werkgebied ligt tussen het glasovergangsgebied of het glasovergangspunt van de zachte fase en het smeltpunt van de harde fase, uiteraard in beide gevallen op een zekere afstand hiervan. De laagste temperaturen waarbij sommige TPE's nog voldoende flexibel zijn liggen tussen -30°C en -40°C. Als hoogste werktemperatuur wordt voor de nieuwste typen 160°C genoemd.

Omdat men kan "spelen" met de verhouding tussen de zachte en de harde blokken kunnen de eigenschappen variëren tussen die van het "harde" thermoplastische materiaal en die van het "zachte" elastomeer. Dit houdt in dat lang niet alle materialen die onder de naam "thermoplastische elastomeren" op de markt zijn ook echt als "rubber" aanvoelen. Uitgedrukt in getallen: de hardheid kan soms binnen één klasse variëren van bijvoorbeeld ongeveer 60 Sh A tot 60 Sh D.

Voor constructeurs levert dit nieuwe mogelijkheden op, waarvan drie voorbeelden:
- Door gebruik te maken van hardere typen kan bijvoorbeeld de wanddikte ten opzichte van die van overeenkomstige rubberprodukten vaak worden verminderd met behoud van voldoende stijfheid.
- In rubberprodukten als slangen, balgen en membranen worden vaak weefselinlagen opgenomen ter versterking. Bij gebruik van TPE's kunnen deze meestal worden weggelaten.
- Door co-extrusie of co-injectie is het soms mogelijk in één arbeidsgang een produkt met een hard en een zacht deel te vervaardigen.

In de literatuur worden vaak naast de "normale" TPE's nog een aantal andere materialen met soortgelijke karakteristieken genoemd waarvan men grote verwachtingen voor de toekomst heeft. Dit zijn bijvoorbeeld:
- blends van nitrilrubber en PVC - deze worden vooral in de automobielindustrie en in de bouw reeds vrij veel toegepast;
- flexibele materialen op basis van wat men aanduidt als "niet-traditionele PVC-harsen", bijvoorbeeld Flexel van Geon Vinyl Division (BfGoodrich), beschreven als een legering van kristallijne co-polymeren op vinylbasis;
- TPE's die om betere rubber-elastische eigenschappen te verkrijgen na de vormgeving worden "gevulcaniseerd" met behulp van straling, bijvoorbeeld Dytron XL van Monsanto;
- TPE's gebaseerd op hoogmoleculaire PVC, bijvoorbeeld Sunprene van Sunprene Co.

Tabel 1 geeft een globale vergelijking van een aantal eigenschappen van nitrilrubber met die van enkele TPE's.

Het is duidelijk dat TPE's gebaseerd op urethaan en ester op een aantal punten betere eigenschappen hebben dan de traditionele gevulcaniseerde nitrilrubber. Deze worden dan ook al vaak als vervanging hiervoor gebruikt. Het vormherstellend vermogen van alle genoemde TPE's blijft echter sterk achter bij dat van de nitrilrubber, zoals blijkt uit het punt "blijvende vormverandering".
Bij kamertemperatuur herstelt zich overigens de oude vorm na verloop van langere tijd nog redelijk; bij iets hogere temperaturen is dit meestal nauwelijks meer het geval.

Het is in het kader van dit artikel niet mogelijk om alle produkten op te sommen waarin TPE's nu al worden toegepast. De belangrijkste gebieden zijn:
- automobielindustrie: toepassingen variëren van afdichtingsringen, balgen en raamprofielen tot interieurdelen en bumpers;
- draad- en kabelommantelingen;
- schoenenindustrie: meestal zolen;
- sportartikelen;
- "hot melts";
- bitumen-modificatie;
- voedselindustrie: slangen, afdichtingen, tankbekledingen;
- medische toepassingen;
- technische rubberartikelen in het algemeen.

Het zal uit het bovenstaande duidelijk zijn geworden dat er reeds zeer veel TPE's op de markt zijn en dat deze in een aantal, op dit moment meestal nog minder kritische toepassingsgebieden de conventionele gevulcaniseerde rubbers aan het verdringen zijn.

De huidige TPE's hebben nog een aantal beperkingen ten opzichte van de gevulcaniseerde rubbers, waarvan de voornaamste is het geringere vormherstellend vermogen na langdurige deformatie, vooral bij hogere temperaturen. Er komen echter in snel tempo steeds weer nieuwe typen uit met verbeterde eigenschappen zodat de verschillen steeds kleiner worden.

Het staat daarom vast dat TPE's in de toekomst ook een belangrijk deel van de markt voor hoogwaardige technische rubberartikelen, dat tot dusver het exclu-

Tabel 1 Gglobale vergelijking van enkele eigenschappen van een aantal TPE's met die van gevulcaniseerde nitrilrubber.

Eigenschap	TPE-U	TPE-E	TPE-O	TPE-A	NBR
werkgebied (temperatuur)	+	++	o	-	o
blijvende vormverandering					
bij 23°C	+	o	o	o	++
bij 70°C	+	o	o	o	++
oliebestandheid	+	+	o	+	+
ozon-, UV- en zuurstofbestandheid	++	+	-	o	-
slijtageweerstand	++	+	o	o	+
scheursterkte	++	++	+	o	+
treksterkte	++	o	o	o	o
rek bij breuk	++	++	o	+	+

sieve gebied van gevulcaniseerde rubbers was, zullen veroveren. De snelheid waarmee dit zal gebeuren hangt sterk af van de wijze waarop constructeurs en verwerkers met deze nog vrij nieuwe klasse van materialen leren omgaan. Indien men klakkeloos bestaande produkten kopieert die tot nu toe uit gevulcaniseerde rubbers worden vervaardigd kunnen teleurstellingen optreden die TPE's onverdiend een minder goede naam kunnen bezorgen.

Een probleem is dat vaak te weinig relevante materiaalgegevens beschikbaar zijn om te kunnen beoordelen of een bepaald type TPE geschikt is voor een gegeven toepassing. Vooral op het gebied van het gedrag op langere termijn is dit het geval. Voor een deel is dit het gevolg van de snelheid waarmee nieuwe typen op de markt worden gebracht.

Uit contacten met zowel gebruikers als verwerkers krijgt men vaak de indruk dan onvoldoende wordt beseft dat TPE's weliswaar gevulcaniseerde rubbers tot op zekere hoogte kunnen vervangen, maar dat de beste prestaties alleen kunnen worden bereikt als rekening wordt gehouden met de typische eigenschappen van deze materialen.
De situatie is wat dit betreft misschien het best te vergelijken met de beginjaren van het kunststof-tijdperk – ook vele kunststoffen hadden aanvankelijk een slechte naam omdat produkten vroegtijdig faalden. Pas later ging men beseffen dat met deze nieuwe materialen op een andere manier moest worden geconstrueerd en dat was het sein voor de grote doorbraak.

Er zijn overigens wel voorbeelden te noemen waar constructeurs inderdaad al gebruik hebben gemaakt van de typische materiaaleigenschappen van TPE's. Zo zijn er zoals reeds genoemd balgen, membranen en slangen van TPE's op de markt, die niet de bij gevulcaniseerde rubbers gebruikelijke weefselinlagen hebben en die toch voldoende stijf en sterk zijn.

Daar waar TPE's worden gebruikt ter vervanging van gevulcaniseerde rubbers in hoogwaardige technische produkten treedt vaak een ander probleem op. Voor dergelijke produkten bestaan veelal reeds jarenlang specificaties. Helaas zijn de meeste hiervan in feite meer materiaal- dan functie-gericht. Voor zover functie-gerichte proeven inderdaad een voor het betreffende produkt actuele situatie simuleren is er geen enkele reden om bij een overgang van gevulcaniseerde rubber naar TPE hierin verandering te brengen. Bij materiaal-gerichte proeven ligt de situatie duidelijk anders. Dit kan het best aan de hand van een voorbeeld worden geïllustreerd.
Een proef die tot doel heeft de weerstand tegen blijvende vervorming na deformatie van een gevulcaniseerde rubber te beoordelen, wordt vaak uitgevoerd bij een temperatuur die aanzienlijk boven de maximumtemperatuur ligt die het produkt in de praktijk zal bereiken. Men beoogt hiermee een goede indruk te krijgen van de vulcanisatiegraad van de rubber. Tegelijkertijd reflecteert een dergelijke proef tot op zekere hoogte de geschiktheid van de rubber om in de praktijk na langdurige vervorming weer in de oude vorm terug te keren.

Het mechanisme van blijvende vormverandering in rubbers is bekend. Het kan worden verklaard uit de twee-netwerkentheorie van Tobolsky. Het oorspronkelijke netwerk dat tijdens het vulcaniseren is gevormd breekt in de loop van de tijd af met een snelheid die sterk afhangt van de temperatuur en het medium waaraan de rubber wordt blootgesteld. Tegelijkertijd vormt zich echter in de op dat moment gedeformeerde rubber door allerlei oorzaken een nieuw netwerk. Als de rubber op een bepaald moment van vorm moet veranderen – bij de bewuste proef bijvoorbeeld omdat de klem wordt geopend waarin de proefstukken waren ingedrukt – hangt de mate van terugkeer in de oude vorm af van de verhouding tussen de sterkte van het oorspronkelijke netwerk en die van het nieuwe, in de gedeformeerde toestand gevormde netwerk.
De blijvende vormverandering die een TPE onder dezelfde omstandigheden vertoont kan natuurlijk niet worden verklaard uit dezelfde twee-netwerkentheorie. Bij TPE's wordt de blijvende vormverandering zeer waarschijnlijk veroorzaakt door vloei (kruip) van het materiaal.
Men kan daarom nauwelijks verwachten dat de resultaten van een proef, uitgevoerd onder dezelfde condities aan gevulcaniseerde rubber en aan TPE, eenzelfde betekenis hebben voor het in de praktijk van een produkt te verwachten gedrag.

Desondanks is er in de gebruikerswereld een sterke neiging om bij overgang van gevulcaniseerde rubber naar TPE de oorspronkelijke specificaties onveranderd te hanteren. Voor een belangrijk deel komt dit omdat er nog onvoldoende bekend is over de mechanismen die een rol spelen bij het langeduurgedrag van TPE's. Men weet niet goed hoe een en ander zou moeten worden aangepast. Voor TNO was dit reden om samen met een aantal producenten van TPE's een onderzoek hiernaar in te gaan stellen. Dit onderzoek zal waarschijnlijk binnenkort van start gaan.

Samenvatting

Aan de boom van traditionele gevulcaniseerde rubbers zijn de laatste jaren nauwelijks nog nieuwe takken gegroeid. Wel hebben een aantal reeds bestaande takken veelbelovende nieuwe scheuten gekregen en het lijkt redelijk te verwachten dat er nog verschillende andere zullen volgen.

Tussen deze boom en die van de traditionele kunststoffen is inmiddels een nieuwe boom gegroeid, die van de thermoplastische elastomeren. De takken daarvan grijpen in die van de beide buren. Deze laatste boom groeit op het moment snel en de kas is groot dat hij op den duur bedreigend wordt voor de buren. De vruchten ervan zijn op dit moment soms nog niet zoet genoeg maar dat zal waarschijnlijk snel veranderen.

Dit artikel is de weergave van de voordracht gehouden in het middagprogramma van de algemene ledenvergadering van de NVFT op 31 mei 1990.

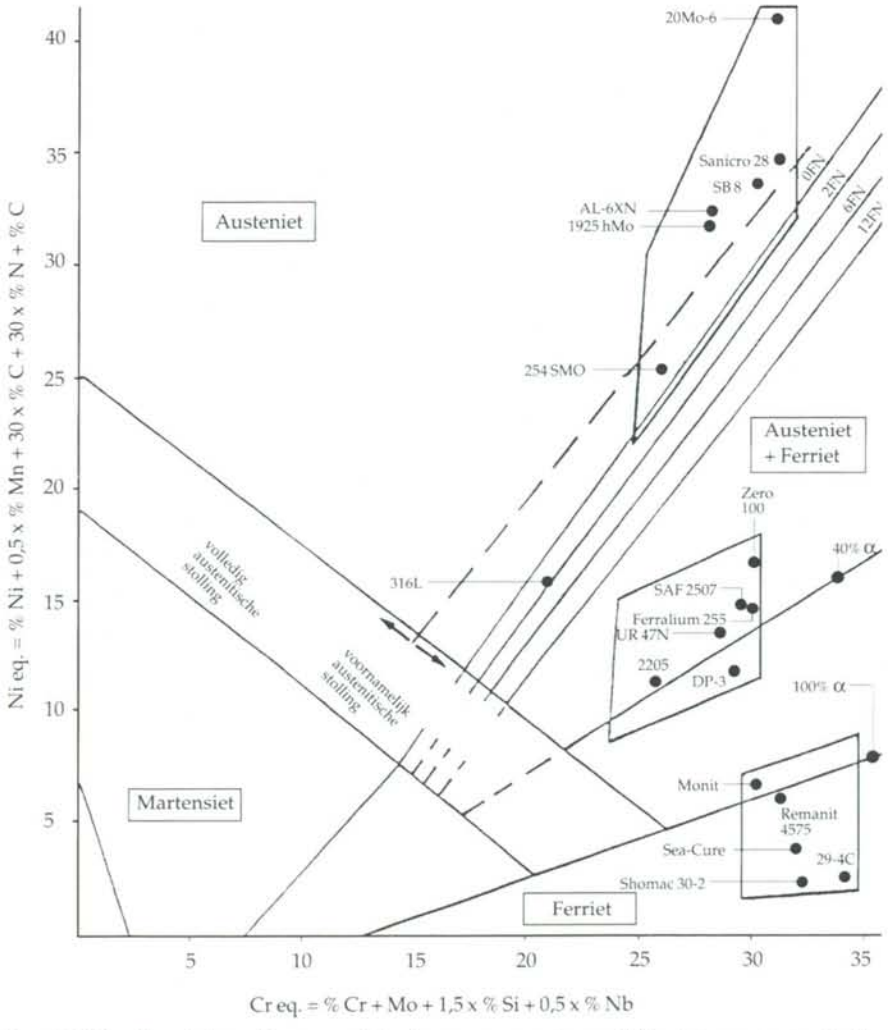
Enkele eigenschappen van roestvast staal

Dr.Ir. A.J. Huis in 't Veld, Metaalinstituut TNO, Apeldoorn

Roestvaste staalsoorten kunnen worden ingedeeld naar hun structuur. We onderscheiden ferritisch, austenitisch en duplex (dat wil zeggen: ferritisch-austenitisch) roestvast staal. Elk type bezit specifieke eigenschappen, die de toepasbaarheid en het gebruik bepalen.
Dit artikel, dat gebaseerd is op [1], beschrijft op de eerste plaats de verschillende corrosievormen die kunnen optreden. Vervolgens wordt aandacht geschonken aan de invloed van de verschillende legeringselementen op de weerstand daartegen. De belangrijkste legeringselementen zijn: chroom, koolstof, nikkel en molybdeen. Tot slot worden nog mogelijkheden genoemd ter verbetering van de bewerkbaarheid en ter verhoging van de weerstand tegen zwavelzuur en hoge temperaturen.

Indeling van de RVS-soorten

Roestvaste staalsoorten kunnen onderscheiden worden op basis van hun structuur, namelijk ferritisch, austenitisch of duplex (d.w.z. ferritisch-austenitisch) roestvast staal. De legeringselementen chroom, molybdeen, silicium en niobium zijn ferrietvormers, terwijl nikkel, mangaan, koolstof, stikstof en koper austenietvormers zijn. De verkregen structuur zal dus bepaald worden door de verhouding van austeniet- en ferrietvormende elementen. Een veel gebruikt hulpmiddel om vast te stellen welke structuur zal ontstaan, met name bij lasmetaal, is het Schaeffler-de Long diagram. Hierin wordt de structuur weergegeven als functie van het chroom- en nikkel-equivalent. *Figuur 1* toont een versie van dit diagram, met daarin aangegeven de positie van de ferritische, austenitische en duplexstructuur.



Figuur 1 Schaeffler-de Long diagram met daarin aangegeven de verschillende typen roestvaste stalen als functie van hun chroom- en nikkelequivalent. Tevens is een aantal ferritische, austenitische en duplex legeringen vermeld [2].

Elk type roestvast staal heeft zijn eigen specifieke eigenschappen, die in hoge mate de toepasbaarheid en het gebruik bepalen.

De **austenieten** (*figuur 2*) hebben in licht agressieve milieus een goede algemene corrosievastheid. Verder hebben ze een goede vervormbaarheid en zijn bij een goede proces- en elektrode keuze goed lasbaar (*figuur 3*). Een nadeel is de lage vloeigrens, de gevoeligheid voor spleetcorrosie, en chloridespanningscorrosie bij temperaturen boven ca. 50°C. De standaard austenitische roestvaste stalen zijn daarnaast gevoelig voor putvormende corrosie.

De **ferrieten** hebben een hogere sterkte en zijn ongevoelig voor Cl-spanningscorrosie. Nadelen zijn echter de gevoeligheid voor carbide-uitscheidingen (sensitisering), waardoor interkristallijne corrosie kan optreden in de HAZ (Heat Affected Zone), het optreden van korrelgroei bij expositie op hoge temperatuur en slechte warmvervormbaarheid.

De **duplexsoorten,** die een structuur hebben met een ferriet/austeniet verhouding van circa 50/50, combineren de voordelen van beide structuren, zonder alle nadelen over te nemen.

Ze hebben een hoge sterkte, een goede weerstand tegen chloride-spanningscorrosie, zijn met de nodige voorzorgsmaatregelen goed lasbaar en zijn redelijk goed vervormbaar.

Corrosievorming

De lokale corrosievormen die bij roestvast staal optreden zijn putvormende cor-

Figuur 2 Microstructuur van een austenitisch roestvast staal na etsing (vergroting 200x).

Figuur 4 De microstructuur van ontlaten martensiet (vergroting 1000x).

rosie (Engels: pitting, Duits: Lochfrass) en spleetcorrosie (Engels: crevice corrosion, Duits: Spaltkorrosion). Daarnaast kan in austenitische soorten door een combinatie van verhoogde temperatuur en spanningen, spanningscorrosie optreden (Engels: stress corrosion cracking, Duits: Spannungsrisskorrosion).

De algemene corrosie-aantasting van de normale roestvaste staalsoorten in bijvoorbeeld zeewater is minimaal: minder dan 0,01 mm/jaar. Lokale corrosie kan echter veel hogere snelheden vertonen en tot zeer vroegtijdig falen van installaties leiden.

Putvormende corrosie kan optreden in chloride-houdende oplossingen (zie *figuur 5*). Op zwakke plaatsen wordt de passieve huid beschadigd door adsorptie van Cl-ionen. Deze beschadigingen worden actieve plaatsen in een overigens passief oppervlak, hetgeen bij aanwezigheid van zuurstof tot de vorming van z.g. actief-passief cellen leidt, met als gevolg putvorming op de actieve plek.

Spleetcorrosie is een verschijnsel dat optreedt in nauwe spleten bij metaal-metaalcontactvlakken, bij afdichtingen of onder neerslagen of aangroei. De vloeistof wordt hier niet voldoende ververst en verarmt aan zuurstof, waardoor de passieve huid niet in stand gehouden wordt. Door hydrolyse van metaalionen vindt verzuring plaats, waardoor na een zekere incubatietijd het staal depassiveert en actief wordt. Deze incubatietijd is afhankelijk van de spleet-geometrie en de pH waarbij bij het betreffende staal depassivatie optreedt. Hoe lager deze pH is, hoe beter het staal tegen spleetcorrosie bestand is.

Figuur 3 Bij een goede elektrode keuze is austenitisch roestvast staal goed lasbaar (foto Smitweld).

Als de agressiviteit van een medium toeneemt, verandert de aantastingsvorm voor een specifieke legering. In figuur 6 is weergegeven dat eerst spleetcorrosie ontstaat, mits de omstandigheden daarvoor gunstig zijn (aanwezigheid van spleten, neerslagvorming etc.), gevolgd door putvormende corrosie. In de praktijk zien we vaak dat materialen met een schoon, spleetvrij oppervlak resistent zijn in een groot aantal media, terwijl als in hetzelfde medium het oppervlak vervuilt, ernstige spleetcorrosie optreedt. Anderzijds zal een verhoogde corrosieweerstand de ernst van de aantasting kunnen verminderen: putcorrosie treedt niet meer op en door het voorkomen van vervuiling kan spleetcorrosie voorkomen worden.

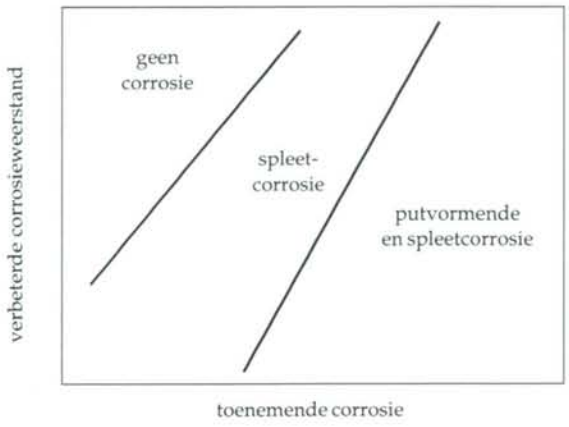
Invloed legeringselementen op de corrosieweerstand

De verschillende legeringselementen in roestvast staal hebben ieder hun eigen inbreng met betrekking tot de corrosievastheid van de legering.

Chroom is het belangrijkste element met betrekking tot de corrosievastheid van de roestvaste stalen. Vanaf een gehalte van 12% chroom vormt ijzer een passieve huid die in zwak-zure, chloride-vrije milieus afdoende bescherming geeft. Verhoging van het chroomgehalte leidt tot corrosievastheid, ook in agressieve en chloride-

Enkele eigenschappen van roestvast staal

Figuur 5 Corrosie van een roestvast stalen startblok in een zwembad met chloorhoudend water.



Figuur 6 De invloed van verbetering van de corrosieweerstand of toenemende agressiviteit van het medium op de ontstane corrosie in roestvast staal.

houdende media. Ook de weerstand tegen putvormende corrosie neemt belangrijk toe. Chroom heeft echter een nadelige invloed op de mechanische eigenschappen, met name op de taaiheid van de ferritische stalen met hoog koolstofgehalte, en op de warm-vervormingseigenschappen van de austenitische roestvaste stalen. Dit is de reden dat de gangbare roestvaste staalsoorten maximaal ca. 18% chroom bevatten.

Koolstof is een ongewenst legeringselement, behalve in de martensitische roestvaste stalen (*figuur 4*), waarin het nodig is voor martensietvorming. Het heeft als zeer nadelig effect de vorming van chroomcarbiden, waardoor het effectieve chroomgehalte en daarmee de corrosievastheid verlaagd wordt. Daarnaast kan door carbide-uitscheiding gevoeligheid voor interkristallijne corrosie ontstaan. Verder heeft koolstof een nadelige invloed op de taaiheid van met name de ferritische roestvaste stalen.

Bij alle roestvaste staalsoorten, met uitzondering van de martensitische, is dus een zo laag mogelijk koolstofgehalte gewenst.

Nikkel heeft een gunstig effect op de vormingssnelheid van de passieve oxidehuid en verhoogt de weerstand tegen zuurcorrosie. Bij voldoend hoge concentratie wordt tevens de austenietstructuur gestabiliseerd. Austeniet is taaier dan ferriet en heeft een hogere oplosbaarheid voor koolstof dan ferriet, waardoor hogere koolstofgehalten toelaatbaar zijn zonder dat chroomcarbiden uitgescheiden worden.

Molybdeen maakt de passieve huid sterker, met name bij hoge chroomgehalten. Molybdeentoevoeging voor het verhogen van de corrosievastheid is aanzienlijk minder nadelig voor de mechanische eigenschappen van ferritisch roestvast staal, dan dat de chroomtoevoeging zou zijn die nodig is om dezelfde stijging van de corrosieweerstand te verkrijgen. Daarnaast geldt dat de verhoging van de corrosievastheid door een Mo-toevoeging aanzienlijk toeneemt als de chroomgehalten hoger worden dan 18%. Ondanks het feit dat chroom goedkoper is dan molybdeen, kan door Mo-legeren voor dezelfde prijs een hogere corrosieweerstand verkregen worden.

Stikstof wordt, soms in combinatie met mangaan, toegevoegd om de austeniet te stabiliseren, waarbij het niet alleen een deel van het dure nikkel vervangt, maar tevens dient om de pitting-potentiaal te verhogen. Daarnaast geeft het een verhoging van de vloeigrens ter grootte van circa 7 N/mm^2 per 0,01% N, wat bij de gebruikte gehaltes van 0,15-0,25% een wezenlijke toename is. Tenslotte wordt het toegevoegd omdat het de vorming van intermetallische fasen vertraagt.

Chroom, nikkel, molybdeen en stikstof zijn de belangrijkste elementen in roestvast staal. Daarnaast kunnen nog toegevoegd worden: koper (om de weerstand in zwavelzuurhoudende milieus te verhogen), titaan en niobium (om koolstof te binden in chroomstalen), zwavel, lood en seleen (om de bewerkbaarheid te verhogen) en aluminium en silicium (om de hoge temperatuurbestandheid te vergroten). Tenslotte kunnen om produktietechnische redenen vanadium, zirconium en borium toegevoegd worden.

Referenties

[1] Lezing gehouden op de Maritieme Materialendag van de Stichting Materiaalonderzoek in de Zee te Delft op 15 maart 1989 door ir. A. Punter.
[2] I.C.M. Farrar; Developments in materials and consumables for welding, Seminar Proceedings, Part B. The Welding Institute, Birmingham, sept. '87.

Enkelstuksfabricage op een bewerkingscentrum, utopie of fenomeen?

Ind.Ing. H. Verniest, Gereedschapmakerij Siemens, Oostkamp België.

De voortdurend stijgende concurrentiedruk en een groeiend aantal produktvarianten met een kortere levenscyclus, dwingen de bedrijven tot een grotere flexibiliteit en produktiviteit bij de fabricage. Het gevolg is dat die eisen ook gelden voor de gereedschapmakerij.
Dat het antwoord van de gereedschapmakerij hierop het computergesteunde ontwerpen en fabriceren - CAD/CAM - is, is intussen geen geheim meer.
Zulke doelstellingen kunnen echter alleen stapsgewijs gerealiseerd worden, waarbij elke stap eerst in de praktijk moet worden uitgeprobeerd.
Een van die stappen is ongetwijfeld de realisering van de seriegrootte 1, met dezelfde fabricagetechniek, fabricagemiddelen en -organisatie als bij de serieproduktie.
Dit artikel beschrijft hoe dit in de gereedschapmakerij van Siemens te Oostkamp voor boren en frezen werd gerealiseerd.

Seriegrootte 1

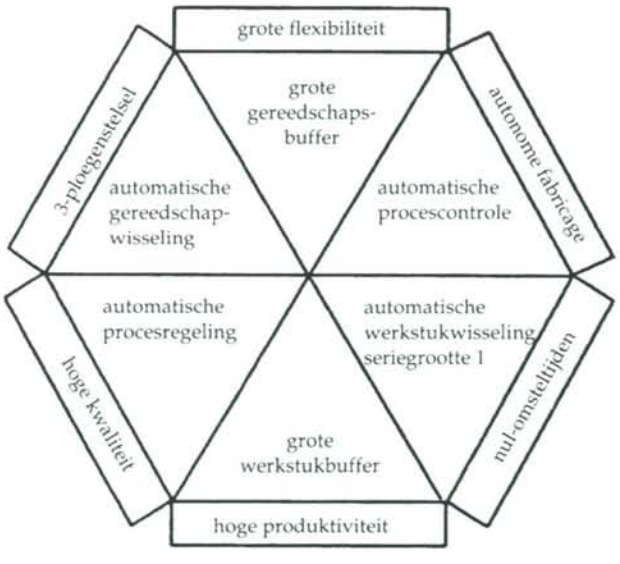
Toepassing van een bewerkingscentrum voor enkelstuksfabricage heeft op het eerste gezicht enkele belangrijke - nagenoeg onoverwinbare - nadelen ten opzichte van het fabriceren in series.
Enkelstuksfabricage beduidt immers dat men, in tegenstelling tot bij seriefabricage, zich niet kan veroorloven om:

1. een programmatestloop op de machine uit te voeren. Gebruikelijk is: eerst op een voldoend grote veiligheidsafstand t.o.v. het werkstuk (schaduwloop) en achtereenvolgens bij 20% tot 50% der snijsnelheden, om uiteindelijk een eerste proefstuk met de geplande snijparameters te kunnen vervaardigen;
2. het proefstuk compleet op te meten voordat de produktie wordt gestart;
3. voor ieder werkstuk een specifiek opspansysteem met vaste referentievlakken te ontwikkelen en dit telkens op de machine in te richten.

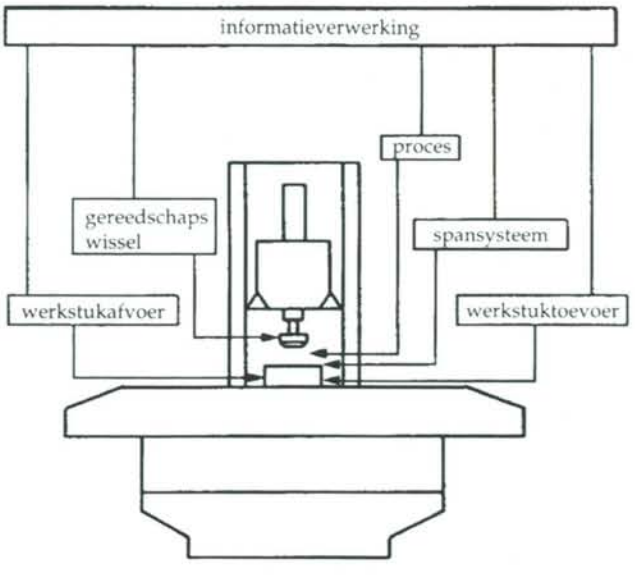
Dit betekent dat een seriegrootte 1 "een systeem en eensysteemdenken" vereist, dat "nul-omrusttijden" en bovendien "nul-fouten" als uitgangspunt heeft.
Wil men behalve deze flexibiliteitsdoelstelling ook nog een hoge produktiviteit bereiken - een eis die hiermee niet per definitie in tegenspraak behoeft te zijn - dan moet men in de eerste plaats over de nodige apparatuur beschikken. Deze moet alle in *figuur 1* aangegeven componenten bevatten.

Systeem en systeemdenken

Met behulp van de huidige CNC-freesmachines, die op dit moment in nagenoeg iedere moderne gereedschapmakerij zijn opgesteld, zijn deze doelstellingen niet haalbaar.
De informatieverwerking is daarbij immers beperkt tot de regeling van het proces (verspaningstechnologie), terwijl bouwstenen als een universeel spansysteem en een automatische toe- en afvoer van werkstukken doorgaans ontbreken. Soms is zelfs geen gereedschapwisselaar aanwezig (zie *figuur 2*).
Om te kunnen automatiseren moet bovendien een breuk- en slijtagecontrole van de gereedschappen beschikbaar zijn, alsmede een automatisch uitmeten van de werkstukpositie en zijn respectievelijke bewerking.
Hieruit blijkt dat minimaal een FMC (Flexible Manufacturing Cell) nodig is (zie *figuur 3*) om het laagste niveau van de beoogde doelstelling te kunnen bereiken. Voordat zo'n bewerkingscel 24 uur per



Figuur 1 Systeemvoorwaarden en -componenten, nodig voor een op "CIM-leest" geschoeide enkelstuksfabricage, met dezelfde methoden en middelen als bij seriefabricage.



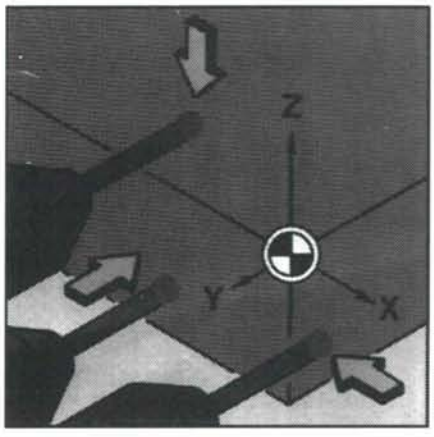
Figuur 2 Niet geautomatiseerde CNC-freesmachine, zoals die in veel gereedschapmakerijen aanwezig is.

Enkelstuksfabricage op een bewerkingscentrum, utopie of fenomeen?

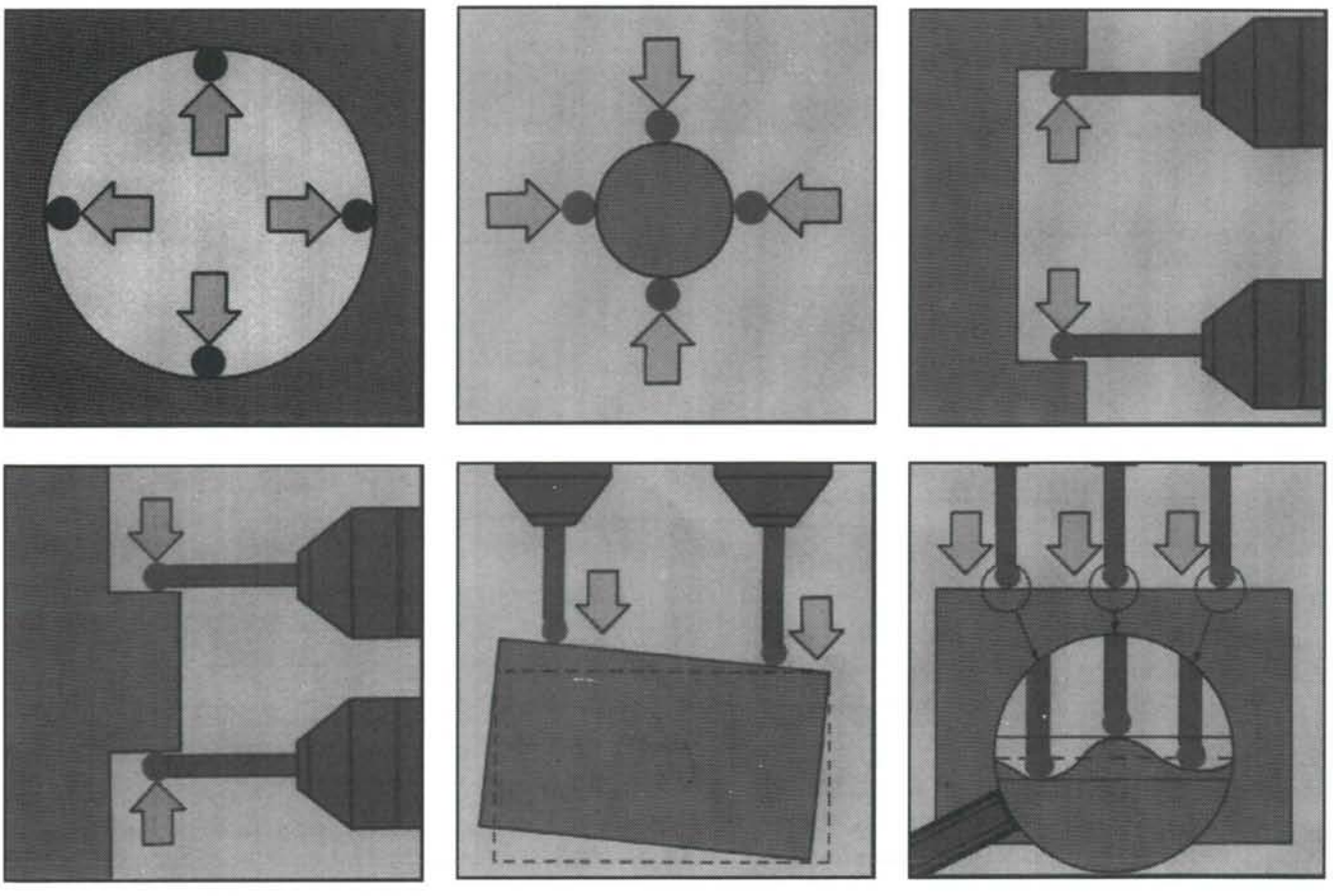
dag produktief voor enkelstuksfabricage kan worden ingezet, is echter een sterk doorgevoerd systeemdenken bij de constructie en de werkvoorbereiding tot en met het geïntegreerd opspannen van de werkstukken noodzakelijk.

Dit maakt een zeer omvangrijke standaardisatie in het CAD-CAM bereik noodzakelijk, resulterend in een expertsysteem voor de programmering.

Figuur 3 Flexibele bewerkingscel, de minimum configuratie voor het geautomatiseerd fabriceren van seriegrootte 1.

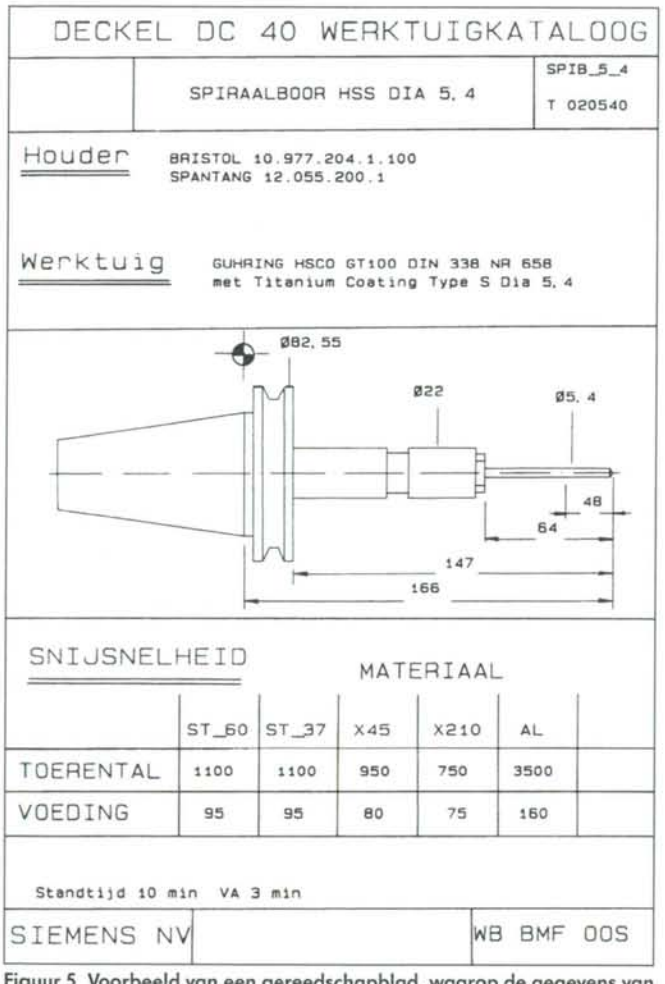


Figuur 4 Mogelijke meetcycli, aanwezig in de Sinumerik-besturing. Daarmee is het mogelijk het werkstuk slechts grof uit te lijnen, waarna de positie op 5 μm nauwkeurig gedefinieerd kan worden.



Standaardisatie/Expertsysteem

Bij de fabricage van mallen, volgsnijstempels, spuitgietmatrijzen en montageautomaten - het opgavengebied van de meeste gereedschapmakerijen - vereist het economisch denken primair een standaardisatie van de spanmethode. Wanneer de machine met een meettaster is uitgerust (b.v Renishaw) die met behulp van

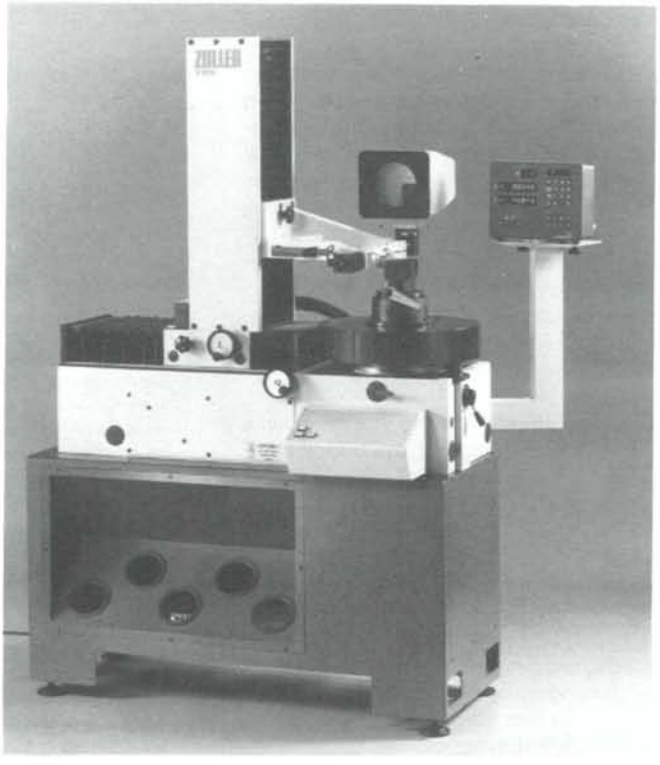


Figuur 5 Voorbeeld van een gereedschapblad, waarop de gegevens van elke combinatie van houder en gereedschap zijn aangegeven. Zulke gegevens zijn essentieel voor een bedrijfszekere of zelfs onbemande fabricage.

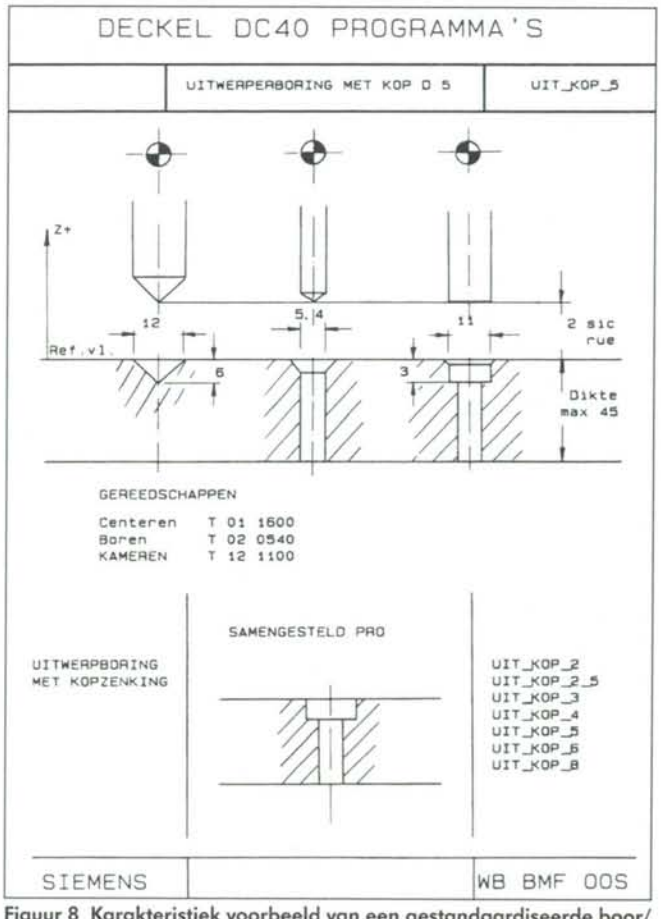
```
NameBloc=

wer def (nam="020540",num=020540,kom="SPIRAALBOOR5,4")
wer geo (typ="sol",lae=166.000,dur=5.400)
wer sat (nam="1",pos=21)
wer tec (mat="1",dre=1100,vor=95)
wer tec (mat="2",dre=1100,vor=95)
wer tec (mat="3",dre=950,vor=80)
wer tec (mat="4",dre=750,vor=75)
wer tec (mat="5",dre=3500,vor=160)
```

Figuur 6 Gedeelte uit het gereedschapbestand van het expertsysteem, waarin alle gereedschapgegevens, als functie van het te bewerken materiaal, zijn opgenomen.



Figuur 7 Gereedschap-voorintelapparaat, dat "on-line" met de machinebesturing kan worden verbonden (Zoller).



Figuur 8 Karakteristiek voorbeeld van een gestandaardiseerde boor/freesbewerking.

Enkelstuksfabricage op een bewerkingscentrum, utopie of fenomeen?

de gereedschapwisselaar in de spil kan worden geplaatst, en de besturing van meetcycli is voorzien (zoals bij de Sinumerik besturing), wordt het opspannen sterk vereenvoudigd. Men kan dan volstaan met een universeel spansysteem, waarbij het werkstuk slechts grof uitgelijnd behoeft te worden (tolerantie: ± 5 mm). Vervolgens wordt met de meettaster de exacte positie van het werkstuk bepaald (binnen 5 micron) en in de besturing verrekend (*figuur 4*).

Een diepgaande analyse van de diverse constructietekeningen in ons bedrijf toonde aan, dat voor een universeel gebruik meer dan 250 verschillende boor- en freesgereedschappen nodig waren. Door een beperking van de constructieve vrijheid en door standaardisatie van de bewerkingen, met als doel een vermindering van de diversiteit en het aantal gereedschappen, bleken voor het gehele opgavengebied nu minder dan 150 gereedschappen, verdeeld in slechts 17 verschillende subgroepen, nodig.

Voor alle gereedschappen zijn de verspaningsparameters in de bewerkingscel voor de standaardmaterialen proefondervindelijk bepaald (*figuur 5*), met het oog op een bedrijfszekere of zelfs onbemande produktie.

Figuur 5 toont een gereeedschapblad waarop het montagevoorschrift en de afmetingen van een bepaalde combinatie van gereedschap en houder zijn vermeld. Voor alle mogelijke combinaties is een apart gereedschapblad opgesteld.

Deze gegevens zijn essentieel om een fabricagegeoriënteerde constructie en werkvoorbereiding te kunnen maken.

Voor elk gereedschap zijn de identificatie, de afmetingen en de bijbehorende parameters in een gereedschapbestand vastgelegd (zie *figuur 6*).
De effectieve lengte- en radiuscorrectie's, gemeten met een (Zoller) voorinstelapparaat (zie *figuur 7*), worden "on-line" naar de machinebesturing gezonden. Gestandaardiseerde bewerkingen, zoals het voorbeeld van *figuur 8*, zijn niet alleen in het CAD-systeem als gebruikersprimitieven voor de constructeur, maar ook als onderprogramma's in het methodebestand van het NC-programmeersysteem opgenomen (zie *figuur 9*).

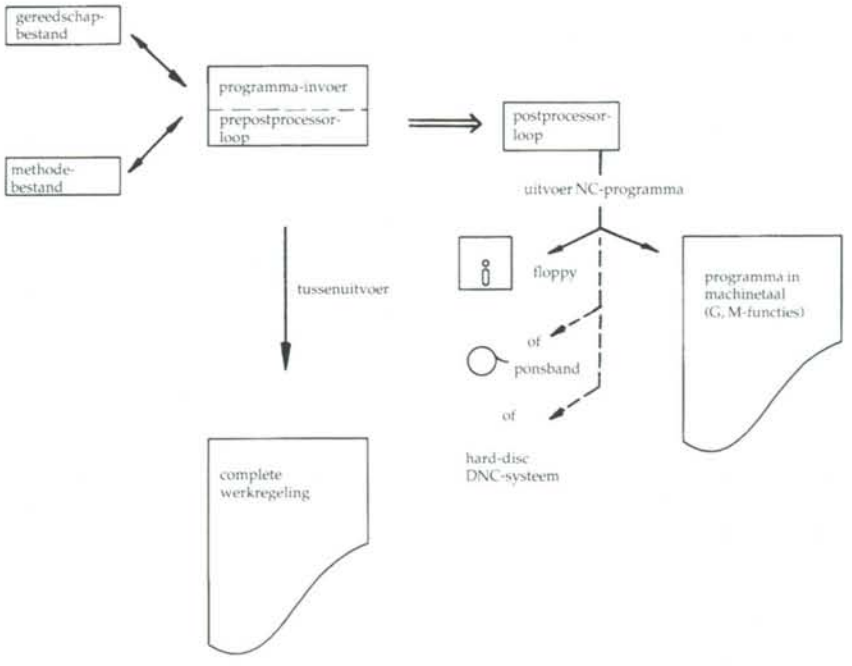
Programmering

Uiteindelijk behoeft de werkvoorberei

```
NameBloc=

bea anf (nam="UIT_KOP_5_")
ope anf (nam=" Centeren diameter 12,0 (diepte 6,0)")
wer wec (nam="011600")
wer (vor=??,spi=??,dre="uhr",kue="anf")
zyk anf boh (ref=vref,sic=2,tie=6,rue=50+(-vref))
ope
zyk end
wer knt (typ="lae",pos=229)
ope end
ope anf (nam=" Boren diameter 5,4 (met spaanbreking) ")
wer wec (nam="020540")
wer (vor=??,spi=??,dre="uhr",kue="anf")
zyk anf tie (ref=vref,sic=2,tie=vdikte+5)
zyk (ink=10,red=3,spa=.2,ver=0,rue=50+(-vref))
ope
zyk end
wer knt (typ="lae",pos=229)
ope end
ope anf (nam=" Zenken diameter 11,0 (diepte 3,0)")
wer wec (nam="121100")
wer (vor=??,spi=??,dre="uhr",kue="anf")
zyk anf tie (ref=vref,sic=2,tie=3)
zyk (ink=1,red=1,spa=.2,ver=.5,rue=50+(-vref))
ope
zyk end
wer knt (typ="lae",pos=229)
ope end
bea end
```

Figuur 9 Gestandaardiseerde bwerking, opgenomen als geparametriseerd onderprogramma in het expert-programmeersysteem. De waarden zijn proefondervindelijk bepaald en afgestemd op de waarden in het gereedschapbestand.



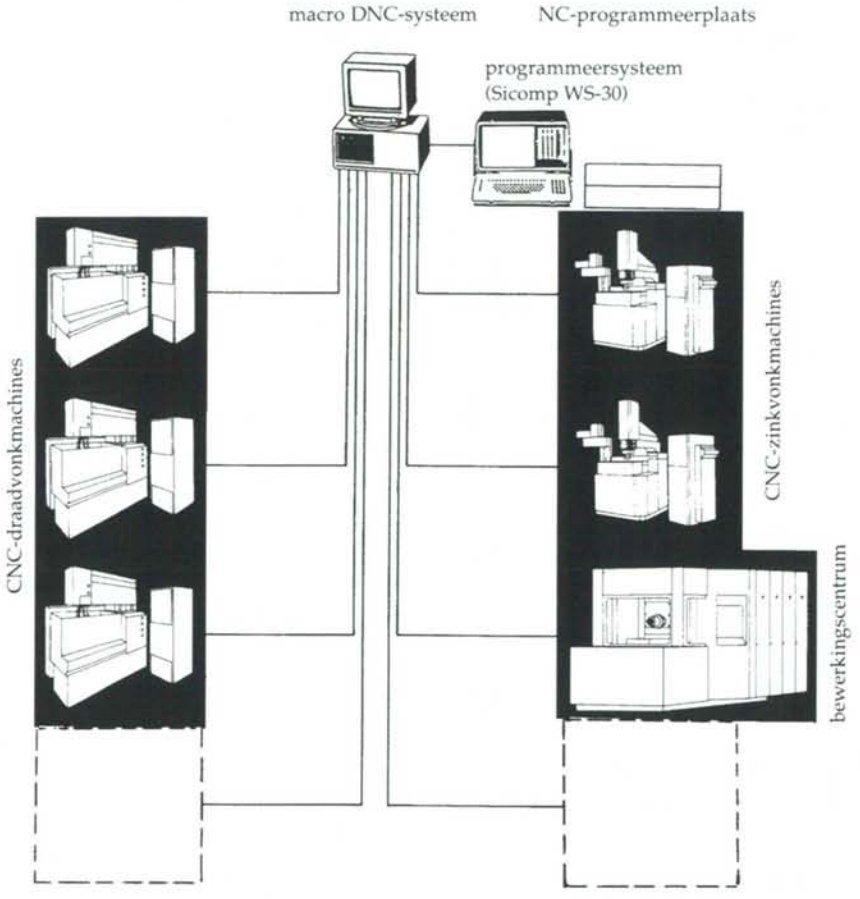
Figuur 10 Principewerking van het expert-systeem.

der, om een nieuw werkstuk te programmeren, nog slechts enkele sterk vereenvoudige commando's in te geven, zoals:

- het werkstuknummer en de benaming (= identificatie van het programma);
- de materiaalsoort en de referentiehoogte;
- de soort bewerking (= alleen de macro-code) en
- de plaats waar de bewerking uitgevoerd moet worden (= uitvoer van het CAD-systeem).

Daarmee wordt een compleet NC boor- en freesprogramma (als uitvoer van het programmeersysteem) verkregen. Figuur 10 toont het principe, waaruit duidelijk blijkt, dat er een wisselwerking is tussen de zeer beknopte programma-invoer in de "prepostprocessorloop" en de gereedschap- en methodebestanden, waarbij als tussen-uitvoer het complete programma voor de werkvoorbereiding wordt afgedrukt.

Met het "postprocessor-loop" programma levert het expertsysteem het NC-programma op de gewenste informatiedrager: floppy, ponsband of "on-line" naar de hard-disc van het "DNC-systeem" (*figuur 11*).



Figuur 11 Het is duidelijk dat behalve het bewerkingscentrum, ook andere CNC-machines op het DNC-systeem aangesloten kunnen worden.

Conclusie

Uit dit artikel blijkt, dat het in de praktijk mogelijk is de in de inleiding genoemde nadelen, verbonden aan de enkelstuksfabricage met een bewerkingscentrum, geheel te omzeilen.

Door een sterk doorgevoerde standaardisatie, gecombineerd met een opgebouwd expert-programmeersysteem, wordt door de beschreven rationele fabricagemethode voor een seriegrootte 1, een flexibeler - bovendien op de "CIM leest" geschoeid - alternatief voor de seriefabricage aangeboden!

Actueel

Syllabus van de corrosiedag d.d. 31 oktober 1990

Thema: **"Hechting en Hechtingsproblemen"**

Het Nederland Corrosie Centrum (NCC) heeft een syllabus samengesteld van een zestal lezingen, die zijn gehouden op de vierde corrosiedag van de NCC - Sector 'Metaal en Metaalbescherming'.

De syllabus à 15,- per stuk (excl. BTW en verzendkosten) is te bestellen bij het secretariaat van het NCC, Postbus 120, 3720 AC Bilthoven, telefoon 030-287773, fax 030-287674, en bevat de volgende voordrachten:

- Hechten en niet-hechten fysisch chemisch bezien
  prof. dr G. Frens, Laboratorium voor Fysische Chemie, TU Delft.
- Het Fokker 100 verfsysteem. Hechting en onthechting op maat
  dr ir H.W. van Rooyen, Manager Advanced Materials & Processes, Fokker Aircraft bv, Schiphol.
- Hechting en hechtingsverlies bij bandgeverfd staal.
  drs. M.J. Rijkhoff, Hoogovens IJmuiden, Centraal Laboratorium, IJmuiden.
- Hechtingsbehoud van verflagen
  ir T.T. Dekker, Sigma Coatings bv, Uithoorn.
- Hechting van organische coatings op thermische verzinkte staaloppervlakken
  ing. J.F.H. van Eijnsbergen, Den Haag
- Beïnvloeding van hechting en onthechting door chemische oppervlakmodificatie
  J. Wijdenes, Philips Research Laboratories, Eindhoven.

Wissel tussen Kennis en Markt

Het doel van deze rubriek is een platform te verschaffen aan bedrijven en instellingen die hun, meestal recent ontwikkelde, kennis of specialismen willen etaleren in een technisch artikel ten behoeve van de commercialisering. Vorm en inhoud zijn voor verantwoordelijkheid van de bedrijven of instellingen die deze rubriek gebruiken. Op verzoek is de redactie bereid van advies te dienen.

De rol van de toeleverancier

Samenwerken vanaf de ontwikkeling van een produkt verhoogt kwaliteit en snelheid

Ruime aandacht voor kwaliteit is bij een fijnmechanisch produktiebedrijf een eerste prioriteit. De toenemende eisen van afnemers ten aanzien van kwaliteitsborging maakt certificering voor de toeleverancier onontbeerlijk. Een goede basis daarvoor is de internationale normenreeks ISO 9000-9004, waaraan alle faccetten van de bedrijfsvoering getoetst kunnen worden. Naarmate de samenwerkingsvormen tussen uitbesteder en toeleverancier hechter worden, dient men over en weer zekerheid te hebben over de kwaliteit van elkaars werk.

Dinfa Precisie-onderdelen en apparatuur maakte begin dit jaar een start met het project Integrale Kwaliteitszorg, onder begeleiding van SGS Technische Inspecties BV. Het uiteindelijke doel is een integraal doorgevoerde kwaliteitszorg door te voeren, die onderstreept wordt door een certificaat conform ISO 9002.

Het doorlichten, aanpassen en vastleggen van de bedrijfsprocessen loopt precies op schema.

'Kwaliteitszorg betekent vooral beter samenwerken, beter samen denken en beter samen informatie uitwisselen', meent ir. W. Kluvers, directeur van Dinfa. 'Dat blijkt steeds weer moeilijk optimaal te regelen. Daaraan werken houdt nooit op. En dat geldt voor elke organisatie, Dinfa incluis.'

Voor de 'technische' kwaliteitszorg beschikt men trouwens behalve over een meetkamer met computer-geregelde airconditioning, en apparatuur voor afmetingen van 9 x 6 cm ook over een calibratie-systeem, dat via een personal computer werkt.

Specialisatie

'Onze positie van toeleverancier is afhankelijk van de zich wijzigende marktverhoudingen. De klant wil minder toeleveranciers, die op tijd betere produkten leveren tegen een lage prijs. Dat kan, wanneer vanaf de ontwikkeling van het produkt meegedacht wordt over het maken ervan', aldus ir. W. Kluvers.
Als co-maker maakt een bedrijf dan niet alleen (samengestelde) onderdelen op specificatie, of custom componenten, maar is het ook nauw betrokken bij de ontwerpfase.

Kluvers: 'De complexiteit van opdrachten neemt steeds toe. Van de co-maker wordt steeds meer verwacht. Dat vraagt van ons investeringen in kwaliteitszorg, efficiency en flexibiliteit. Daarom hebben wij naast het invoeren van de integrale kwaliteitszorg nog een stap genomen om de samenwerking met onze opdrachtgevers verder gestalte te geven. Begin dit jaar openden wij een modelshop, waar prototypen en specials gemaakt worden.'

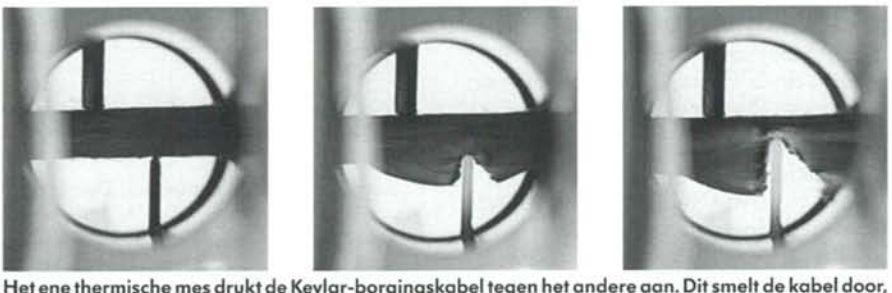
Als antwoord op de toenemende eisen van de klanten kiest Dinfa voor specialisatie in haar produktie-faciliteiten en een specifieke dienstverlening bij het maken van prototypen en proefseries en een geintegreerd dienstenpakket samen met een cluster samenwerkende bedrijven.

Naast de eigen expertise op het gebied van fijnmechanica is ook de deskundigheid op het gebied van industriële vormgeving en ontwerp, digitale en analoge hardware en software, opto-elektronica en silicium technologie voorradig.
Dat deze formule aanslaat blijkt uit de toenemende vraag naar deze vorm van complex co-makership en subcontracting. Daartoe staat Dinfa een uitgebreid en uiterst modern machinepark ten dienste, waaronder een centraal programmeersysteem (Pathrace Advanced Manufacturing System), een draaicentrum (Schaublin 130 CNC) en een bewerkingscentrum (Schaublin 33 CNC) Mede daardoor blijft Dinfa ook als recht-toe recht-aan toeleverancier een goede partner.

Nadere informatie:
Dinfa Precisie-onderdelen en Apparatuur
Telefoon 01748-14441.

Thermisch mes voor satellieten

De Fokker Space & Systems werkt aan verschillende internationale projecten op het gebied van ruimtevaart mee. Onderzoek en ontwikkeling richtten zich vooral op systemen en onderdelen voor satellieten. Fokker voert deze opdrachten onder meer voor de ESA uit. Subcontractor bij één van deze projecten is Dinfa, die de metalen onderdelen maakt voor de thermische messen. De messen worden gebruikt om de zonnepanelen van de satellieten uit hun borging te bevrijden.



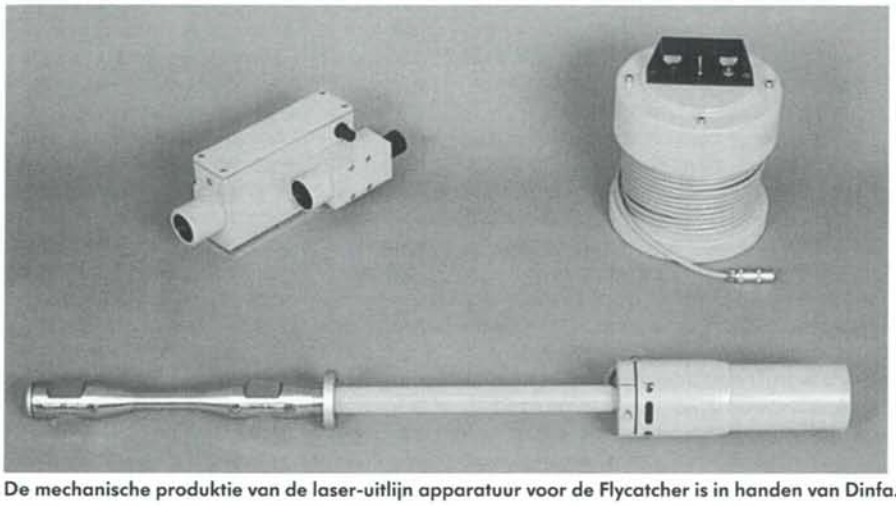
Het ene thermische mes drukt de Kevlar-borgingskabel tegen het andere aan. Dit smelt de kabel door, zodat de zonnepanelen in positie kunnen worden gebracht. Dankzij deze vinding van Fokker Space & Systems komt er geen afval in de ruimte en wordt er weinig energie gebruikt.
De foto's tonen het proces in verschillende stappen.

Satellieten maken gebruik van zonnepanelen voor de opwekking van energie, wanneer zij eenmaal de juiste baan om de aarde hebben bereikt. Deze energie wordt gebruikt voor het uitvoeren van de verschillende taken, zoals het maken van infrarode opnamen van de aarde. De zonnepanelen zitten tijdens de heenreis geborgd met Kevlar-kabels. De thermische messen 'snijden' deze kabels door. Deze methode van borgen is een nieuwe ontwikkeling van Fokker Space & Systems. Voorheen werden zonnepanelen en antennes met roestvrij stalen kabels geborgd. Die techniek werkte echter niet feilloos. De toepassing van Kevlar biedt onder meer het voordeel, dat maar geringe warmte, dus energie, nodig is om de borging te slechten. De kabel weegt ook maar weinig. Het thermisch doorsnijden van de Kevlar kabel gaat in één vloeiende beweging. De spanning in de kabel neemt

geleidelijk af, zodat er geen schokken optreden waardoor het functioneren van de panelen of antennes nadelig beïnvloed zouden kunnen worden. Overigens: dankzij dit nieuwe procédé komen er geen afvalstoffen vrij, waardoor aan de laatste milieu-eisen voor ruimtevaart voldaan is.

De thermische messen zijn gebaseerd op een eenvoudig mechanisch principe. Voor het eerst paste Fokker het thermisch mes toe in het ARA-programma (Advanced Rigid Array). Zes Kevlar-kabels met een doorsnede van 3.2 millimeter borgen elk ARA-zonnepaneel. Wanneer de panelen in positie worden gebracht, duwen twee thermische messen, die tegenover elkaar geplaatst zijn, tegen de kabel. Elk mes bestaat uit verschillende fijnmechanische onderdelen en de benodigde micro-elektronica. Dinfa produceert de hoogwaardige metalen precisie-onderdelen.

Laser-uitlijn-apparatuur voor Flycatcher



De mechanische produktie van de laser-uitlijn apparatuur voor de Flycatcher is in handen van Dinfa.

Voor toepassing in de luchtvaart ontwikkelde en produceerde Dinfa in samenwerking met andere leden van de Multin Groep laser-uitlijn-apparatuur in opdracht van Leica BV. De apparatuur is bestemd voor het uitlijnen van de Flycatcher. De Flycatcher is een vuurleidingsradar, die in kannonnen wordt gebruikt. Het Fysisch en Elektronisch Laboratorium van TNO ontwikkelde en bouwde de elektronica. Het ontwerpen, ontwikkelen en produceren van het mechanische gedeelte was in handen van Dinfa en Technotek, waarbij de laatste voor mechanisch ontwerp, vormgeving en documentatie zorgde en de eerste de mechanische produktie voor haar rekening nam.

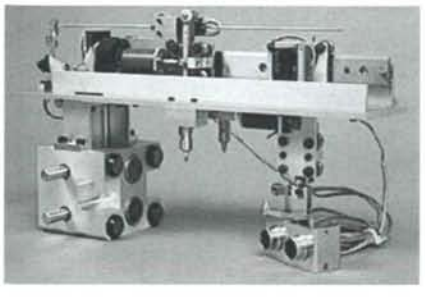
De LAE-02 laser uitlijn apparatuur is bestemd voor het uitlijnen van de vuurleidingsradar Flycatcher. In de loop van het kanon is centrisch een fotoceldetector geplaatst. Daarop wordt het laserlicht geprojecteerd, dat vanaf de vuurleidingsradar wordt uitgezonden. De richtingsindicator van het kanon verwerkt elektronisch de signalen die deze projectie oplevert. Op basis van die gegevens kan het kanon met de vuurleidingsradar worden uitgelijnd.

De HeNe laser heeft een spreidlens, waardoor een ellipsvormige bundel ontstaat. Evenwijdig aan de laserbundel is in de behuizing van de laser-unit een richtkijker gemonteerd. De laser-unit is voorzien van twee loodrecht op elkaar staande montageplaten, waarmee de houder op de Flycatcher geplaatst kan worden. De fotoceldetector wordt met behulp van een kaliberstang centrisch in de loop van het kanon 40L70 geplaatst. Die detector dient om de loop van het kanon nauwkeurig te richten op de laser-unit, die op de Flycatcher gericht is. Met behulp van de ingebouwde buisniveaus is de detector voor azimuth- of elevatiemeting geschikt. Bij het plaatsen van dit soort gevoelige apparatuur is de hoogste nauwkeurigheid geboden. Daarom is een controlesysteem ingebouwd. De signaalverwerking van de detector vindt plaats in de richtingsindicator. Om te bepalen of de indicator nauwkeurig op de laser-unit is gericht, zijn een tweetal signaallampjes aangebracht. Bij aanvang van de meting zijn de lampjes uit. Brandt er een signaallamp, dan moet de laatste bewegingsrichting van de loop worden omgekeerd. Branden beide signaallampjes, dan is de detector nauwkeurig op de laser-unit gericht.

DINFA modelshop

Sinds dit jaar beschikt Dinfa over een extra capaciteit voor het vervaardigen van prototypes. Deze groep beschikt over een eigen modelshop binnen het bedrijf. De hechte relatie met de Technisch Physische Dienst van TNO en een toenemende vraag van opdrachtgevers naar deze specifieke vaardigheden maakte het mogelijk dat Dinfa deze activiteiten verzelfstandigde. De groep Prototyping & Specials maakt gebruik van dezelfde expertise en ervaring die is opgebouwd in het bijna dertigjarige bestaan van Dinfa Precisie-onderdelen & Apparatuur. Deze zeer nauwkeurig werkende modelshop beschikt over de modernste apparatuur en combineert de laatste inzichten met gedegen vakkennis.

Kortom: een praktische aanvulling op de samenwerking met de opdrachtgevers. De drie schakels 'ontwerp - prototyping - produktie vormen nu een hechte keten.



Zusterbedrijf Technotek ontwikkelde voor de Nederlandse Spoortwegen een apparaat om de kwaliteit van wielen aan treinstellen te meten. Dit apparaat test het profiel van een wiel af. Op grond van de verkregen gegevens stelt de NS vast of een wiel vervangen of afgedraaid dient te worden. Dit geheel nieuwe meetinstrument is van ideefase via de begeleiding van het prototype tot en met de produktie een samenwerking van Technotek, Dinfa P&S en Dinfa P&A geweest.

Het nauwkeurig meten van de groei van zaailingen en (jonge) planten

W.J.M. Tonk, experimenteel ontwerper bij de Faculteit Algemeen der Landbouw Universiteit Wageningen.*

Bij het plantenfysiologisch onderzoek aan de Landbouw Universiteit (zie kader) werd de behoefte gevoeld aan een methode om de groei van jonge tot zeer jonge planten zeer nauwkeurig (in microns) onmiddellijk en continu te meten. Om hieraan te voldoen werd een instrument ontwikkeld dat in het hierna volgende zal worden beschreven.

Het instrument is in staat plotselinge veranderingen in de groeisnelheid te registreren onder velerlei, instelbare, condities, zoals luchtvochtigheid, windsnelheid en temperatuur. De registratie van de groei en groeisnelheid is een zeer subtiele aangelegenheid. Noodzakelijk is o.a. de afwezigheid van trillingen.

De gerealiseerde klimaatbeheersing opent ook mogelijkheden de invloed van luchtverontreinigingen - zoals ozon, ammoniak of zwaveldioxyde - op de proefplant te onderzoeken.

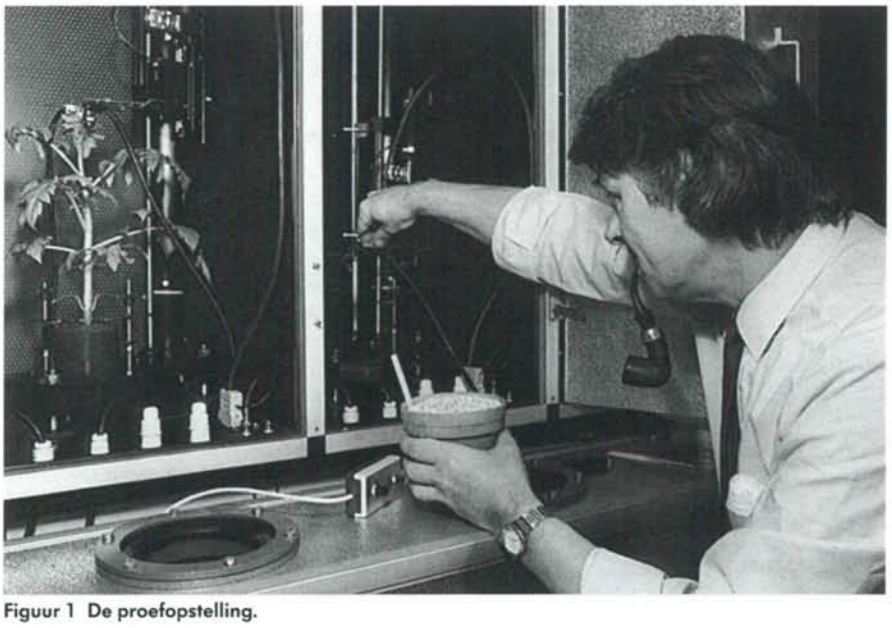
De proefopstelling

Op een trillingsvrije tafel, waarvan het blad op luchtbalgen rust en met fijn grind geballast is tot ca. 300 kg, zijn twee groepen van drie meetopstellingen geplaatst; zie de *figuren 1 en 2*. Iedere opstelling is omgeven door een, los van de tafel, aangebrachte kast die lucht- en lichtdicht afsluit en thermisch geïsoleerd is. Om lichtreflecties te voorkomen zijn de aluminium kastdelen zwart geanodiseerd. De luchtstroom, - temperatuur en vochtigheid - zijn regelbaar.

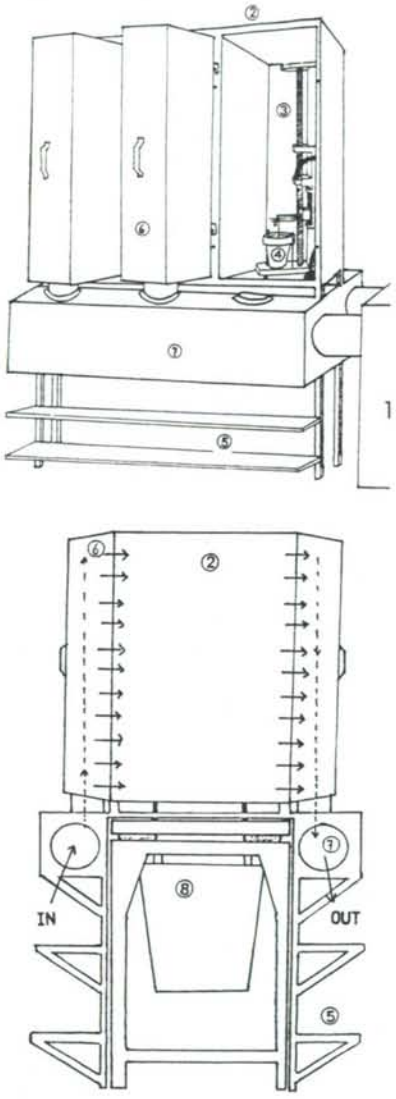
Belichting van de groeitop van de proefplant met verschillende lichtfrequenties (verschillende kleuren licht) geschiedt met behulp van twee lichtgeleiders (optische vezels) per plant, die bevestigd zijn aan de slede van de meetopstelling. De lichtgeleiders ontvangen hun licht van een buiten de kasten opgestelde 250 W kwarts-jodide projectielamp die voorzien wordt van de benodigde filters om de gewenste kleur licht te leveren.

Belichting van meer zijden is mogelijk door het aanbrengen van extra lichtgeleiders. Voorts is voorzien in belichting met

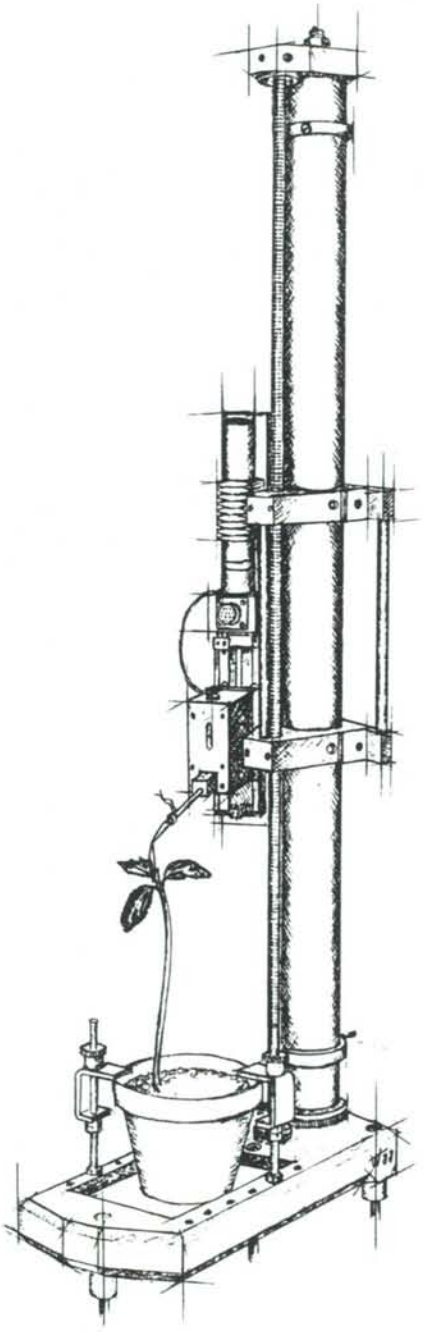
Voor de groei van planten is licht, gewoonlijk zonlicht, een onmisbare factor.
Licht dient allereerst als de broodnodige bron van informatie. Het geeft signalen voor de afwikkeling van de verschillende stappen in het groeiproces. Licht dient ook als energiebron die de plant in staat stelt koolhydraten te fabriceren uit koolzuur en water.
De stoffen in de plant die de lichtsignalen registreren noemt men fotoreceptoren. Het zijn kleurgevoelige stoffen, pigmenten. De belangrijkste daarvan is fytochroom, een eiwit dat in iedere cel van de plant aanwezig is.
Deze fotoreceptor is gevoelig voor duur en richting, maar bovenal voor de spectrale samenstelling van het licht. Zo wordt fytochroom geactiveerd door een bepaalde verhouding van rood en infra-rood licht. Schaduwlicht, in een bos bijvoorbeeld, bevat weinig rood maar veel infra-rood. Andere fotoreceptoren zijn gevoelig voor blauw licht of zelfs uitsluitend UV.
De bouwstoffen voor de groei worden gevormd door het foto-synthetisch apparaat in de groene korrels (chloroplasten), een verfijnde biofysische fabriek waarin het ingevangen licht via overdracht van elektrische lading vastgelegd wordt in chemische energie en aldus koolhydraten ontstaan in de vorm van suikers of zetmeel.
Het werkingsmechanisme van fotoreceptoren is onderwerp van onderzoek. In de regel wordt een specifiek lichtsignaal doorgegeven aan een specifiek deel van de DNA, het genetisch apparaat van iedere cel. De betreffende genen worden "gewekt" en geven weer opdrachten die bijvoorbeeld strekking van de cel tot gevolg hebben.
Hoe het fytochroomeiwit chemisch in elkaar zit is eveneens onderwerp van studie. Er zijn aanwijzingen dat er meestal twee types in een plant aanwezig zijn, die ieder meer dan één werkingsmechanisme hebben.
Op het werkingsprincipe van de fotoreceptoren bestaan ook uitzonderingen. Soms wordt het signaal van een bepaald soort licht onmiddellijk, zonder inschakeling van het erfelijk apparaat, doorgegeven en reageert de plant binnen een minuut. Voordat een plant gaat groeien door bouwstoffen te vormen door middel van fotosynthese moet eerst het zaad ontkiemen en de zaailing een bepaalde lengtegroei ondergaan. Deze beslissende fase wordt op gang gebracht door licht van een bepaalde kleur en intensiteit. Een te lang voortdurende lengtegroei voordat de plant zèlf voedsel kan gaan maken, kan fataal zijn door uitputting van de reservestoffen.



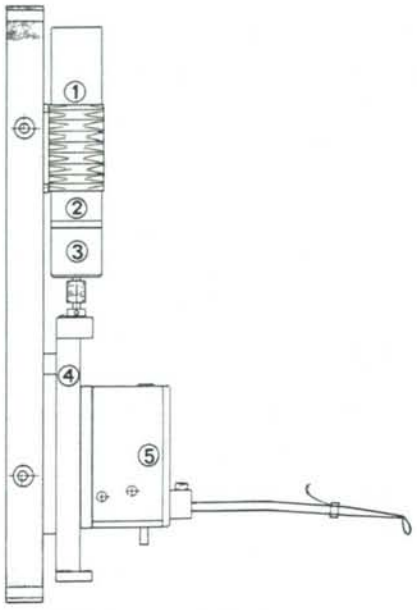
Figuur 1 De proefopstelling.



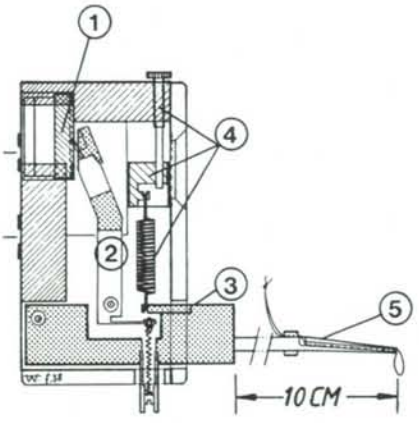
Figuur 2 Schematische weergave van de proefopstelling:
a vooraanzicht met één kast geopend;
b zijaanzicht;
1 klimaatbeheersingseenheid;
2 kast;
3 meetopstelling;
4 pot met zaailing of proefplant;
5 schappen voor o.a. belichtingsapparatuur;
6 kastdeksel met filter voor kastdeksel met filter voor gelijkmatige verdeling van de luchtstroom;
7 luchttoevoerkast;
8 trillingsvrij tafelblad met ballast.



Figuur 3 Kolom met meetinstrument en proefplant.



Figuur 4 Slede met aandrijving voor de zwevende nulindicator:
1 gelijkstroom (DC) motor met tachogenerator
2 reductiekast met satellietvertraging;
3 optische incrementele encoder;
4 slede met schroefspil (opmerking: tussen uitgaande as van de reductiekast resp. encoder en de schroefspil is een torsiestijve elastische koppeling aangebracht om uitlijnfouten op te heffen);
5 zwevende nulindicator.



Figuur 5 Doorsnede van de zwevende nulindicator met meetarm:
1 microfoon (AKG, type D58E, Oostenrijks) met gemodificeerd membraan (ICI Melinex), 75 μm dik) en ijzeren huis;
2 pick-up element (B & O, type MMC-4, Deens) met balansas in saffierlagertjes (uurwerkconstructie);
3 meetarmheft, gekoppeld aan de pick-up arm met behulp van de veer uit een aansteker (BIC-B3);
4 roestvaststalen gekalibreerde veer (Tevema-Barnes, type T-41030, 50-300 g lineair) met instelschroef;
5 meetarm met holle tip.

wit licht van bovenaf ten behoeve van fotosynthese bij de verdere ontwikkeling. De frequentie van belichting wordt geregeld door dezelfde microprocessor die de hele meetopstelling controleert.

Het meetinstrument

De basis van het instrument waarmee de groei wordt gemeten bestaat uit een voet, waarop een pot met proefplant kan worden bevestigd, en een kolom.
Aan deze kolom is de meetunit bevestigd, die met een schroefspil over een hoogte van ca. 70 cm met de hand verstelbaar is, zie *figuur 3*.
Op de aluminium plaat van de eigenlijke meetunit is een slede aangebracht waarvan de slag ca. 40 mm bedraagt, zie *figuur 4*.

Het nauwkeurig meten van de groei van zaailingen en (jonge) planten

Deze slede kan door een kleine gelijkstroommotor via een reductiekast en een schroefspil worden aangedreven. Op de uitgaande as van de reductiekast is een optische encoder aangebracht waarmee de verplaatsing in een elektronisch signaal kan worden omgezet.

Op de slede is de zogenaamde zwevende nul aangebracht. Deze bevat de eigenlijke meetarm, zie *figuur 5*. De meetarm is door middel van een lusje van chirurgisch garen, gestoken door de doorboorde tip, met de groeitop van de proefplant verbonden en houdt die overeind. De zeer geringe overeindhoudkracht, instelbaar tussen 0,8 en 20 gram, wordt geleverd door een trekveer met mooie lineaire karakteristiek (post 4 in figuur 5) waarvan de spanning instelbaar is. De meetarm is verder met een relatief stijve drukveer aan een pick-up arm gekoppeld.

Om de geringe overeindhoudkracht goed reproduceerbaar te kunnen instellen en ten behoeve van de gevoeligheid van de meting, moeten de lagers van zowel meetarm als pick-up arm zo goed mogelijk vrij zijn van wrijving, in het bijzonder stilstaande (begin) wrijving. Na ampele overweging van diverse varianten, onder andere saffierlagersteentjes, is uiteindelijk gekozen voor kleine RMB taplagers.

De pick-up rust op het membraan van een microfoon. Deze is voorzien van een, niet standaard, Melinex membraanfolie - 75 µm dik - ten behoeve van een grotere vervormbaarheid gepaard gaande met voldoende robuustheid. Door aan de microfoon een signaal van bijvoorbeeld 1 kHz toe te voeren, dus deze als een soort miniluidspreker te gebruiken, wordt in de pick-up een elektrisch signaal opgewekt waarvan de sterkte afhankelijk is van de druk van de pick-up op het membraan. Wanneer dit signaal een van te voren bepaalde (kleine) waarde overschrijdt, wordt de motor bekrachtigd en de slede (omhoog) verplaatst. Daarbij wordt de druk van de pick-up gereduceerd tot de nulindicator weer het normale signaal afgeeft. Tevens is de overeindhoudkracht weer op de ingestelde waarde teruggebracht.

Bij het verplaatsen van de slede geeft de encoder een hoek-verdraaiingssignaal dat een maat is voor die verplaatsing. De encoder heeft een verdeling in 500 stappen per omwenteling. Hij bevat twee stel LED's en fotodiodes, zodat bij draaiing twee vierkantsgolfsignalen worden gegenereerd die 90° in fase verschillen. Hieruit is ook de draairichting te bepalen en dus of van groei sprake is.

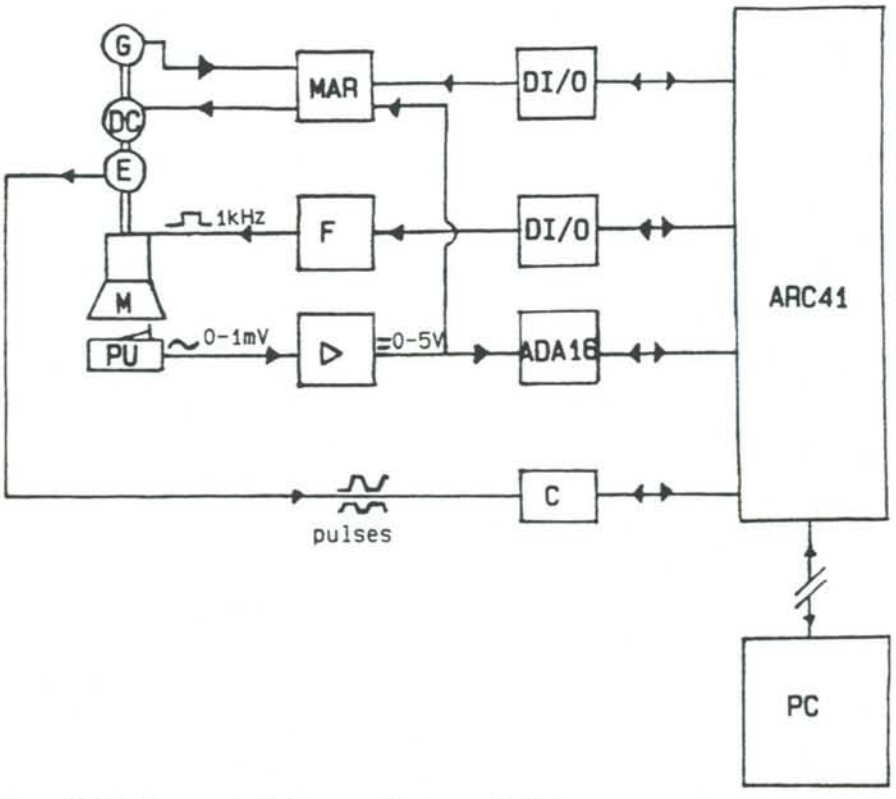
Na de noodzakelijke signaalbewerking door de microprocessor levert dit de meting van de groei. De nauwkeurigheid daarvan wordt, behalve door de encoderverdeling, mede bepaald door de spoed van de schroefspil. Deze bedraagt bij de huidige uitvoering ca. 1 µm. De nauwkeurigheid wordt ook beïnvloed door de eventuele mate van "overshoot" bij het verplaatsen van de zwevende nulindicator. Dit wordt bepaald door de overbrenging van de reductiekast - bij de huidige uitvoering 1:10 - en de drempelwaarde van de motorspanning waarbij deze wordt uitgeschakeld. Die drempelwaarde wordt bepaald door de signaalspanning die door de pick-up wordt afgegeven. De "overshoot" kan nog verder worden verbeterd indien een overbrenging van 1 : 20 en een andere, aangepaste drempelwaarde voor de motorvoedingsspanning worden gekozen.

Besturing en signaalverwerking

Voor de besturing, de meting van de groei en de opslag van de gegevens, wordt gebruik gemaakt van een microprocessor (Arcom, op basis van een ARC41, van Tekelec Airtronic). Zie blokschema *figuur 6*.

Voor de microprocessor is een speciaal programma geschreven waarmee de cyclustijden voor de groeimeting en de belichting kunnen worden geregeld. De groeimeting wordt met een korte cyclustijd uitgevoerd, dat wil zeggen dat elke paar seconden of eenmaal per seconde de microfoon van signaal voorzien wordt en het in de pick-up gegenereerde signaal wordt verwerkt tot al dan niet verstellen (verplaatsen) van de zwevende nulindicator.

Het hoekverdraaiingssignaal van de encoder, een maat voor de groei, wordt door de microprocessor verwerkt doorgegeven aan een PC (Personal Computer), waar de gegevens worden opgeslagen en verder verwerkt.



Figuur 6 Blokschema van besturing en groeimeting met behulp van een microprocessor:

E	encoder;	M	membraan;
C	teller;	PU	pick-up element;
G	tachogenerator;	DI/O	digitale input/output;
DC	motor;	ADA16	analoog/digitaal convertor;
MAR	motorvoedingsversterker;	▷	signaalversterker.
F	signaalgenerator;		

Ook het tijdstip van de belichtingscyclus wordt geregistreerd. Aldus kan de, meestal enigszins vertraagde, groeireactie onder invloed van die belichting worden vastgesteld.

Uitvoering en componenten

Voor de uitvoering van de constructie zijn diverse commercieel verkrijgbare, beproefde componenten gebruikt; zie de bijschriften bij de illustraties.
De manier waarop dit is gedaan getuigt van vindingrijkheid van de constructeur. Het resultaat voldoet aan de in de inleiding geformuleerde desiderata.
De constructeur had daarvoor veel medewerking van onder andere:
- B & O Nederland voor de pick-up die onder zeer gunstige voorwaarden ter beschikking werd gesteld, en
- Elmechanic (Hilversum) die in goed overleg de slede met spil en de aandrijving met DC-motor, tacho, planetaire vertraging en optische encoder leverde.

Voorts van de TFDL van de LU Wageningen, met name de heer van Ginkel, voor de bouw van de meetstatieven.
De voor het functioneren essentiele elektronica en besturing werd verzorgd door R. Bouma, elektronicus van de afd. Elektronica van de PFO der LU Wageningen.
Ook interessant is hoe ook hier weer gebruik wordt gemaakt van een microprocessor en een PC.
Kortom: een interessant voorbeeld van maatwerk voor een specifieke opgave.

Naschrift

Het concept van de zwevende nul is ook geschikt voor andere applicaties waar een zeer kleine verplaatsing zeer nauwkeurig gemeten moet worden, bijvoorbeeld ten behoeve van positionering. Afhankelijk van de eigenschappen van de componenten is een reproduceerbare meting in het submicron gebied haalbaar.
De zwevende nul zelf kan als lineaire verplaatsingsopnemer voor een bereik van max. 1 mm met hoge resolutie gebruikt worden.

Literatuur

[1] "Mutants as an aid to the study of higher plant photomorpho-genesis"; Proefschrift ter verkrijging van de graad van Doctor in de Landbouwwetenschappen, door Paulien Adamse, november 1988.
[2] LU-onderzoek naar werking fytochroom: Instrument meet de kleinste groei in plant; **Biovisie**, vakblad voor biologen, jaargang 69, nr. 2, januari 1989 (Stam Tijdschriften bv).
[3] Nieuws uit Wageningen, 5 januari 1989; Lichtsignalen sturen ontwikkeling van plant - instrument registreert acute veranderingen in groeisnelheid.

** Bovenstaand artikel werd samengesteld door ir. M. Breuning uit de beschikbaar gestelde informatie.*

Vermoeiingsresponsie van gehard staal

Op **woensdag 6 maart 1991** organiseert de Sectie Metalen van de Bond voor Materialenkennis een studiedag in het Congresgebouw IAC te Wageningen met als thema bovengenoemd onderwerp.

Cyclisch-wisselende mechanische belasting veroorzaakt veranderingen in de eigenschappen van gehard staal. Deze veranderingen manifesteren zich in drie fasen.

De eerste fase is de zogenaamde "shake-down"-fase, die direct bij de eerste lastwisselingen de processen van micro-plastische vervorming, versteviging en herverdeling van restspanningen omvat. Vervolgens treedt een fase op van schijnbare stabiliteit, die na enige tijd overgaat in de fase van accumulatie van micro-plastische deformatie. Aangenomen wordt dat de laatste overgang is gemarkeerd door het afnemen van het weerstandsvermogen tegen micro-plastische deformatie. De afname zal zich eerst zeer lokaal manifesteren gezien de sterke heterogeniteit in de microstructuur van gehard staal. Het aantal lastwisselingen dat geaccumuleerd kan worden voordat de overgang van de tweede naar de derde fase wordt bereikt, blijkt in een aantal onderzochte gevallen gecorreleerd te zijn met de levensduur. Bij het voorspellen van de levensduur is het dan ook van belang inzicht te hebben in de ontwikkeling van deze "veroudering" onder condities van dynamische belasting.
Gedurende de "shake-down"-fase wordt de staalmatrix inhomogeen geconditioneerd, hetgeen wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van vele inhomogeniteiten, zoals niet-metallische insluitsels en carbide clusters. Deze werken als lokale spanningsconcentraties. Bekend is, dat reeds bij de eerste belastingcyclus rondom deze inhomogeniteiten drastische veranderingen optreden. In extreme gevallen ontstaan al direct microscheuren. Verstevigingseffecten in de lokale matrix en gunstige restspanningsverdeling rondom deze gebieden compenseren meestal de hoge piekspanningen. Hierdoor ontstaat in deze gebieden weer een "elastische" belastingscyclus, althans in die gevallen waarbij de lokale belastingsamplitude onder de "shake-down"-limiet ligt.

Gesteld wordt, dat verdere scheuruitbreiding en nieuwe scheurinitiatie pas zal optreden als de weerstand tegen micro-plastische deformatie afneemt. Het is waarschijnlijk dat de quasi-stabiele fase bepaald is door de thermodynamische stabiliteit van de geharde staal-matrix. De verhouding tussen belasting, belastingfrequentie en temperatuur, en die stabiliteit bepaalt dan het aantal lastwisselingen voordat "veroudering" zal optreden. Als dit het geval is. luidt dat het einde in van de incubatietijd na "shake-down", hetgeen zich later kan manifesteren in een vermoeiingsbreuk. Om de lengte van deze incubatietijd te voorspellen moet de materiaalresponsie bekend zijn.

Experimenteel is voor een aantal staalsoorten via de methode van de thermometrie op eenvoudige wijze aangetoond bij welke belasting micro-plastische deformatie zal gaan optreden. Een verandering in de energie-dissipatie is een goede indicatie voor het verloop van processen die zich op zeer kleine schaal manifesteren. Aangetoond is dat de spanningswaarde, waarbij voor het eerst micro-plastische deformatie optreedt, overeenkomt met de spanningswaarde van de vermoeiingsgrens, verkregen uit Wöhler-tests. Voorts is aangetoond dat de responsie bij gelijke spanningsamplitude afhankelijk is van de wijze waarop de belasting wordt aangebracht.

In een zestal voordrachten zal het onderzoek op dit gebied worden toegelicht.

Nadere inlichtingen kunnen worden verkregen bij het bureau van de Bond voor Materialenkennis, Postbus 390, 3330 AJ Zwijndrecht, telefoon: 078-192655.

Boekennieuws

Vacuümtechniek

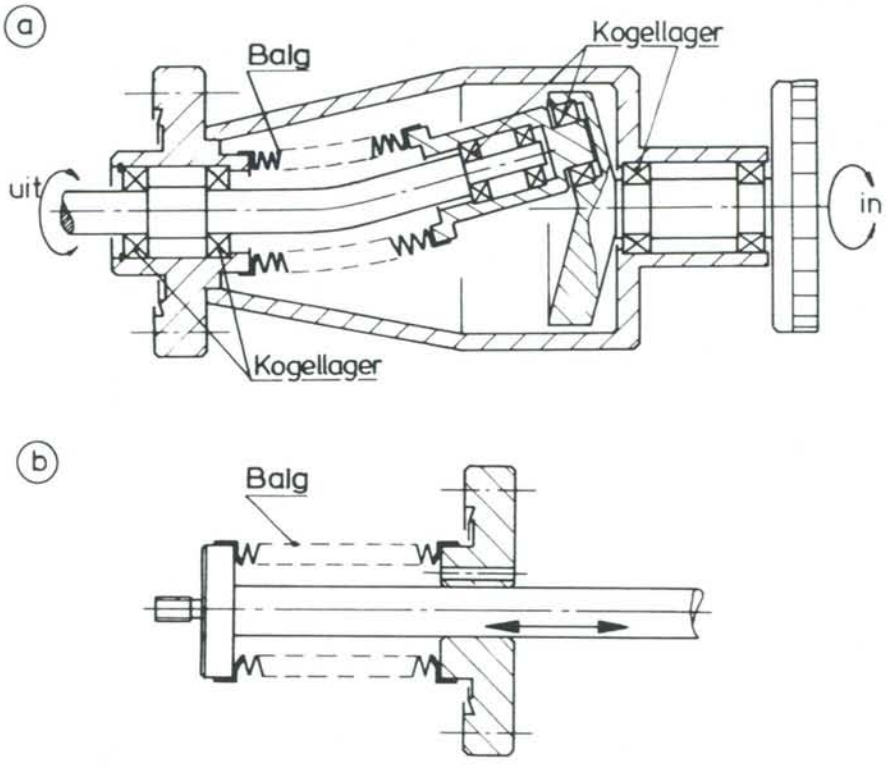
Auteurs:
E.P.Th.M. Suurmeyer en J. Verhoeven.

Te bestellen via NEVAC, Postbus 19, 2420 AA Nieuwkoop.
Prijs: *f* 70,- (ingebonden),
f 55,- (paperback).

Binnen een korte tijd zijn twee nederlandstalige boeken over vacuümtechniek verschenen. Het ene, Vacuümtechniek door L. Wolterbeek Muller, is besproken in Mikroniek nummer 5 van jaargang 29. Het nu te bespreken boek is (onder dezelfde titel) geschreven door E.P.Th.M. Suurmeyer en J. Verhoeven. Het is uitgegeven onder auspiciën van de nederlandse Vacuumvereniging (NEVAC) en is ontstaan uit het cursusmateriaal dat voor de cursussen vacuümtechniek wordt gebruikt. Deze cursussen zullen bij veel lezers bekend zijn.
Het boek telt 280 bladzijden onderverdeeld in negen hoofdstukken en is voorzien van een uitgebreid trefwoordenregister. De tekst wordt verduidelijkt aan de hand van 164 figuren.

Het inleidende hoofdstuk bevat de basisbegrippen van de vacuümtechniek. Voor lezers zonder specifieke voorkennis wordt in het kort uitgelegd wat atomen zijn, het begrip vacuüm uitgelegd en wordt een inleiding in de kinetische gastheorie gegeven. De voor de vacuümtechniek belangrijke begrippen worden hier gepresenteerd. De wetten van Boyle/Gay-Lussac, Dalton en Avogadro komen aan bod.
Uitgebreid wordt stilgestaan bij de verschillende aggregatietoestanden en bij desorptie, ad- en absorptieverschijnselen. Het spreekt voor zich dat een goed begrip hiervan nodig is voor het doorgronden van de problematiek in de vacuümtechniek. Men denke bijvoorbeeld aan ontgassing en uitstoken.

Het tweede hoofdstuk is gewijd aan gasstroomberekeningen in de vacuümtechniek. Allereerst wordt een onderscheid gemaakt tussen visceuze stroming, moleculaire stroming en gemengde stroming. Nadat het begrip geleidingsvermogen is gedefinieerd worden formules gegeven om het geleidingvermogen van verschillende vormen pijpen (rond, rechthoekig) voor de verschillende stomingsgebieden te bepalen. Deze theorie wordt gebruikt om bij wijze van voorbeeld de te bereiken einddruk in een eenvoudig vacuümsysteem te bepalen.
In de hierop volgende hoofdstukken komen onderwerpen aan bod die ieder op hun manier onlosmakelijk met de vacuümtechniek zijn verbonden: pompen om het vacuüm te bereiken, drukmeters om de totale druk in het vacuüm te meten en de restgasanalysatoren om informatie te verkrijgen over de toestand in het vacuümsysteem.

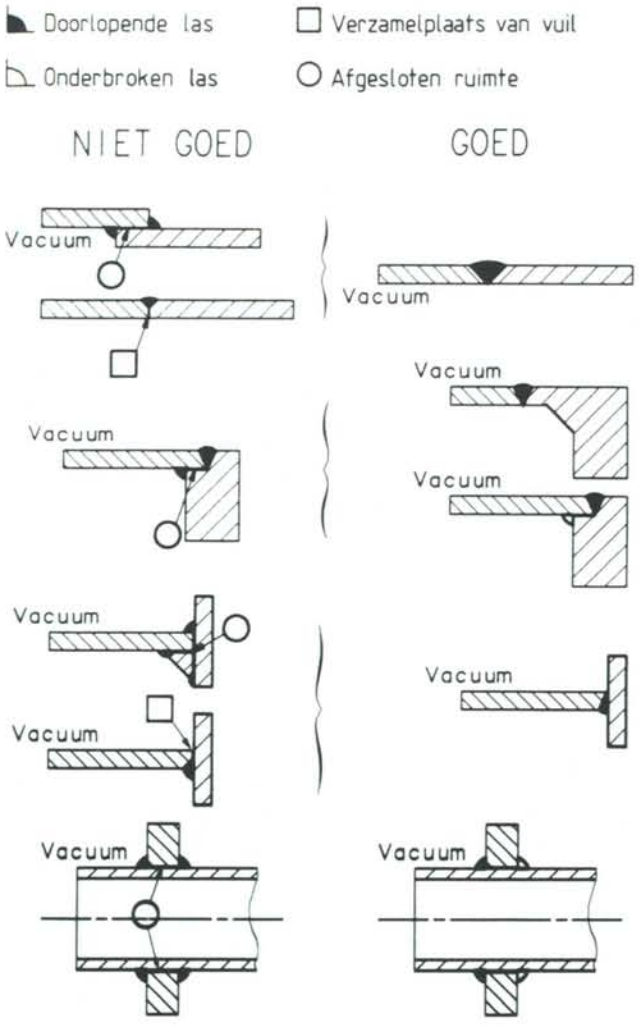


Constructies voor balafgedichte dynamische doorvoeren: a) draaidoorvoer, b) schuifdoorvoer.

De pompsystemen worden in het boek onderverdeeld in transportpompen en gasopslagpompen. De transportpompen kunnen op hun beurt weer worden onderverdeeld in verdringingspompen (waaronder de bekende draaischuifpomp), vloeistofstraalpompen, dampstroompompen (o.a. de diffusiepomp) en moleculairpompen (turbo moleculair pomp). Uit elk van deze groepen wordt een aantal pomptypes behandeld. Bij de behandeling wordt dieper ingegaan op pompen die in de praktijk veelvuldig voorkomen. In de categorie opslagpompen komen desorptiepompen, de cryopompen en uiteraard de getter(ionen)pompen aan bod.

Tenslotte wordt een paragraaf gewijd aan een beschouwing over de pompkeuze. Ook de drukmeters zijn in verschillende groepen te onderscheiden al naar gelang hun werkingsprincipe: meting van impulsoverdracht van de gasdeeltjes en meting van de deeltjesdichtheden. Wederom komen uit beide groepen verschillende typen aan bod; grote nadruk wordt gelegd bij de in de praktijk veelvuldig voorkomende ionisatiemanometers.

Kennis van de samenstelling van het restgas kan van groot belang zijn om bijvoorbeeld de oorzaak van het niet bereiken van de gewenste einddruk in een vacuümsysteem te achterhalen, In een apart



Voorbeelden van vacuümtechnisch goede en verkeerde lasverbindingen.

hoofdstuk over restgasanalyse wordt het principe van de restgasanalysator besproken. De verschillende delen, te weten de ionenbron, het massa analysegedeelte (waaronder het quadrupoolmassafilter) en de ionencollector komen uitgebreid aan bod. Aan het eind van het hoofdstuk volgt (net als bij het hoofdstuk over pompen) wederom een paragraaf over de praktische aspecten van het in de theorie besprokene. Er wordt uitgelegd hoe massaspectra geïnterpreteerd moeten worden; tevens worden specifieke massaspectra van veelgebruikte stoffen gegeven.
Het hoofdstuk "Metingen aan pompen" is er op gericht de lezer begrip bij te brengen van de methoden die worden gebruikt voor het meten van de pompsnelheden en compressieverhoudingen.
Het praktische karakter van het boek komt naar voren in de laatste drie hoofdstukken, die gaan over dichtheidscontrole, verbindingen, componenten en de materiaalkeuze.

Onder de titel dichtheidscontrole worden uiteraard de verschillende principes (hoofdstroom en tegenstroom) van lekzoeken besproken. Wat echter nadrukkelijk aanwezig is, zijn richtlijnen voor het constateren, het zoeken naar en het voorkomen van lekken. Voor wie zelf betrokken is bij het vervaardigen van vacuümsystemen en componenten zijn de hoofdstukken over verbindingen en materiaalkeuze een goede leidraad. Er worden verschillende manieren om vaste en losneembare verbindingen te maken beschreven. Aan de hand van vele figuren wordt de constructie van verschillende typen doorvoeren, kleppen en balgen getoond. Bij de keuze van materialen die in vacuüm kunnen worden gebruikt spelen eigenschappen als dampdruk en ontgassing een grote rol. In het laatste hoofdstuk wordt de lezer begrip bijgebracht voor de invloed die deze op het vacuüm kunnen hebben. Specifieke overwegingen om keuzes te maken tussen verschillende metalen, glas, keramiek en kunststoffen zijn gegeven.
Het boek besluit met een paragraaf over werkdiscipline, een uiterst belangrijke paragraaf voor ieder die met vacuüm werkt.

De opzet van het boek is over het algemeen duidelijk en vooral op de praktijk van de vacuümtechniek gericht. Dit laatste zal de man/vrouw op de werkvloer en achter de tekentafel aanspreken. De consequentie hiervan is echter wel dat uit veel formules zo de leuke fysica verdwijnt. Deze wordt namelijk vaak verwerkt in numerieke factoren, die als zodanig weinigzeggend zijn.
De praktijkgerichtheid is wellicht ook de oorzaak van soms niet helemaal correcte formuleringen. Zo worden bindingskrachten uitgedrukt in kJ/mol. In plaats van bindingskrachten bedoeld men natuurlijk bindingsenergieën. Jammer is overigens dat de moleculaire draggpomp niet behandeld wordt.
Deze praktijkgerichtheid wordt goed geïllustreerd door de uitgebreide behandeling van de restgasanalyse en de interpretatie van massaspectra. Vooral dit aspect is uit het leven gegrepen van de vacuüümtechnicus.
De didactische aanpak is helder en het taalgebruik, de typografie en de vormgeving zijn zeer goed verzorgd.
Toch kan de uitgave verbeterd worden door meer zorg te besteden aan het afdrukken van figuren en formules. In een dergelijke nette uitgave past natuurlijk ook niet een uit de vrije hand getrokken streepje boven een symbool, als teken voor de gemiddelde waarde van de betreffende grootheid.

Door de schrijvers wordt veel moeite gedaan om, terwille van de toegankelijkheid van de gepresenteerde stof, de kennisdrempel zo laag mogelijk te houden. Dit leidt tot het ad hoc poneren van formules en feiten. Voor sommigen is dit onbevredigend, omdat het zoveel moeilijker is de formules op hun merites te beoordelen. Echter, voor hen is er het boek van Wolterbeek Muller .IBM-ALT-254. ondanks de destijds geconstateerde gebreken .IBM-ALT-254. en niet te vergeten de engelstalige literatuur. Zo komen wij dan tot de conclusie dat Suurmeyer en Verhoeven er goed in geslaagd zijn om de vacuümtechniek op verantwoorde wijze te behandelen voor de man in de praktijk. Ook is het boek zeker geschikt als leerboek bij cursussen over vacuümtechniek.

Bert Roosenbrand en Paul Ackermans

Instrumentdraaien op CNC-machines: een haalbare kaart?

Ing. T. Koert, Philips Machinefabrieken Eindhoven.

In de fijnmechanische industrie wordt een centrale plaats ingenomen door het instrumentdraaien. De daarbij voorkomende zeer kleine, hoognauwkeurige werkstukken worden nog grotendeels op conventionele draaibanken vervaardigd. De instrumentdraaier lijkt daarbij onmisbaar. Met zijn fijngevoelige handen bedient hij zijn draaibank en hanteert hij zijn meetinstrumenten. Door zijn jarenlange ervaring weet hij een oplossing voor alle problemen, die bij het draaien van fragiele en nauwkeurige werkstukken kunnen optreden. Tabellen met verspaningscondities gebruikt hij niet, hij stelt zijn toerentallen en voedingen gevoelsmatig in. In zijn werkkast ligt een groot aantal speciaal geslepen beitels, kanonboren en tappen. Hij slijpt zijn gereedschappen zelf, uitgaande van zijn, na jaren ervaring verkregen, inzichten. Bij elk produkt dat hij in de loop der jaren heeft vervaardigd hoort een verhaal, met daarin de daarbij toegepaste kunstgrepen. Vaste hulpmiddelen zijn een loep, een pincet en polijstpapier.
In hoeverre kunnen deze werkzaamheden door een CNC-instrumentdraaibank worden overgenomen?

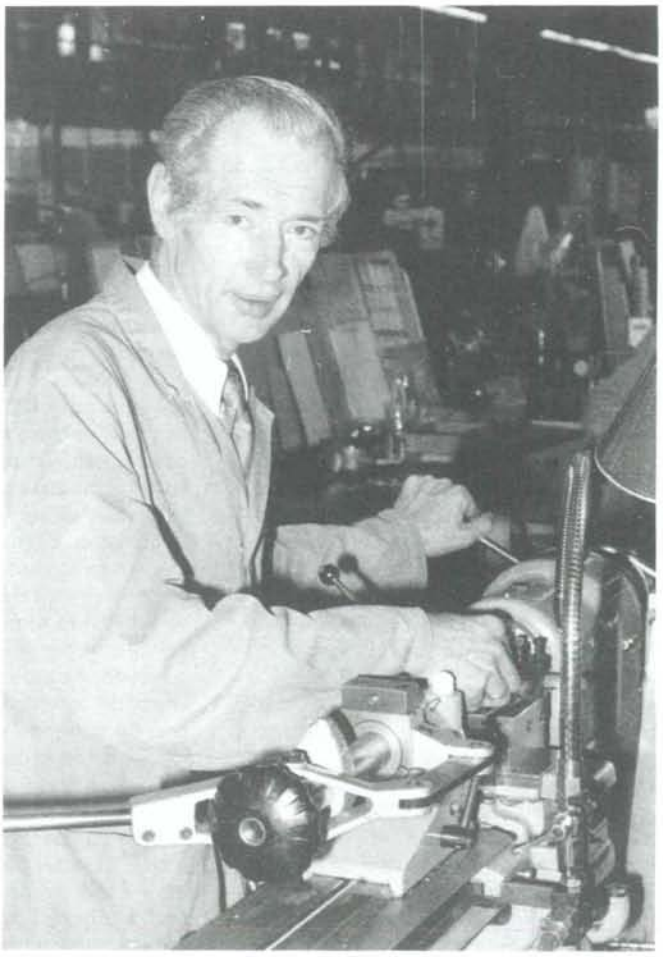
Inleiding

Aan een instrumentdraaibank worden hoge eisen gesteld, zoals:
- goede toegankelijkheid en een lichte bediening van hefbomen, knoppen en handwielen;
- zeer licht lopende sleden;
- nauwkeurig afleesbare noniussen;
- lage geluidproduktie over het hele toerentalgebied;
- grote dynamische stijfheid van slede en hoofdspil;
- grote rondloopnauwkeurigheid van de hoofdspil.

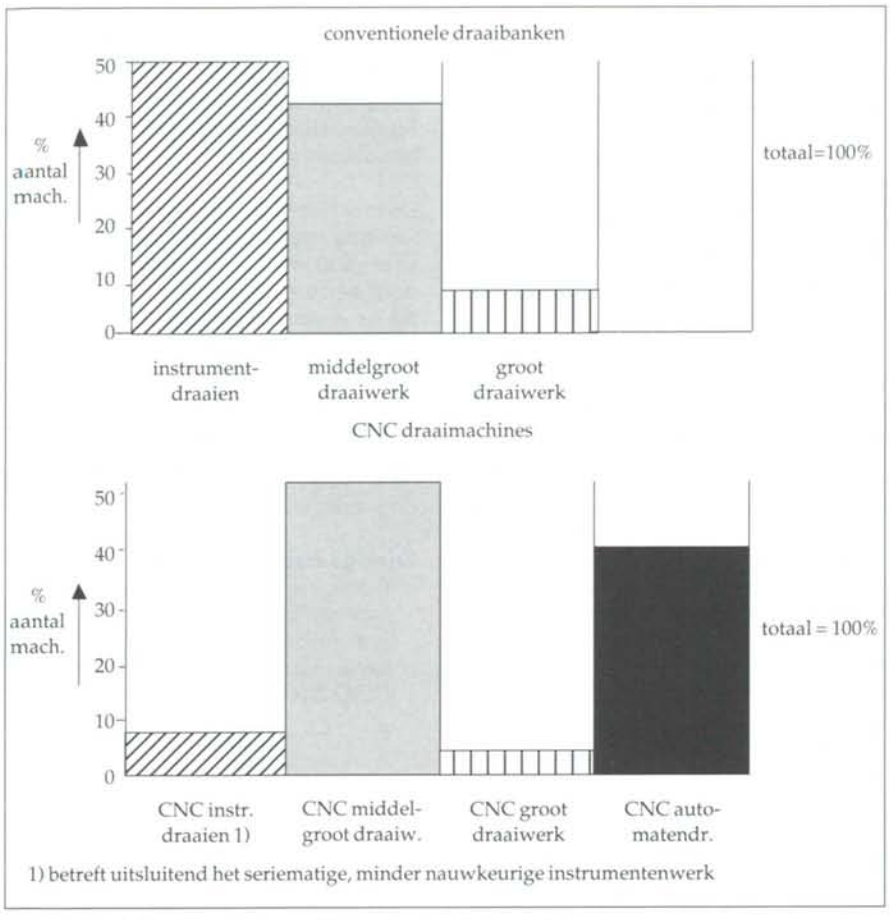
Vooral het spannen is bij het instrumentdraaien een kritische factor. Omdat de produkten hierbij beslist niet mogen vervormen of beschadigen, worden hiervoor meestal trekstangspantangen gebruikt.

Het seriematige en minder nauwkeurige instrumentdraaiwerk wordt tegenwoordig vaak op CNC-machines gemaakt, maar de enkelstuksfabricage van zeer nauwkeurige werkstukken vindt meestal nog conventioneel plaats. Op de eerste plaats omdat de langere inrichttijd van een CNC-machine vaak nog niet door kortere cyclustijden kan worden gecompenseerd. Standaardisatie van werkmethoden, programmering, gereedschappen en technologie vormen echter de oplossing voor dit probleem. Een tweede belangrijke reden is dat het proces zo gecompliceerd is, dat het moeilijk is te voorspellen. Zo moeten vaak speciale oplossingen op het gebied van spannen, gereedschappen en technologie gezocht worden. Voor CNC-machines is dat duur en dikwijls niet mogelijk.

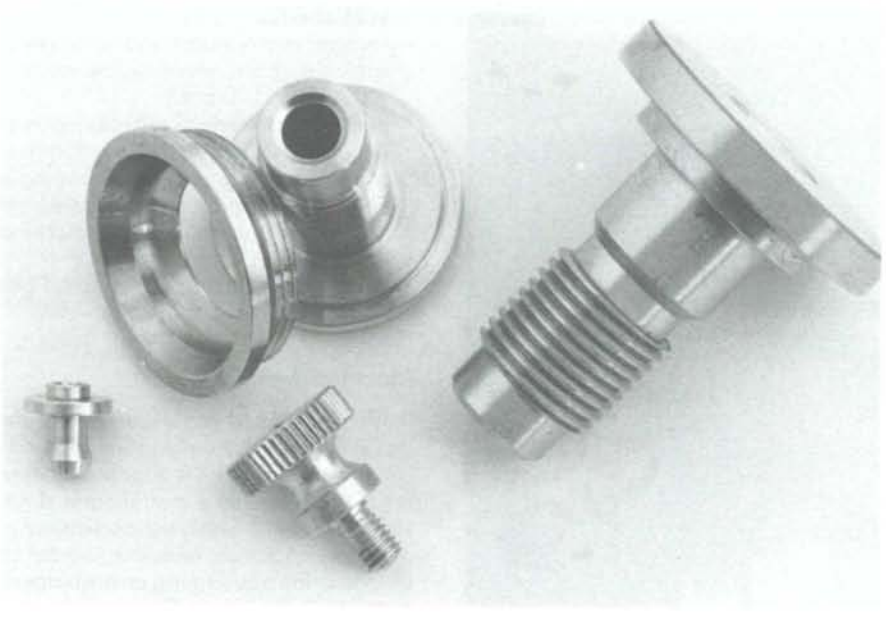
Toch kan meer instrumentdraaiwerk geautomatiseerd worden.
In de Philips Machinefabrieken is het instrumentdraaien destijds nauwkeurig geanalyseerd, waarna de aan een CNC-instrumentdraaibank te stellen eisen werden opgesteld. Tot aan de vorige EMO in Milaan (1987) bleken er geen machines op de markt verkrijgbaar die aan deze eisen voldeden. Een uitvoerige beproeving van een tweetal machines, die desondanks werd uitgevoerd, bevestigde dit. Op die bewuste tentoonstelling werd echter een aantal nieuwe CNC-machines geïntroduceerd, speciaal ontwikkeld voor het instrumentdraaien. Na een uitgebreide selectieprocedure werd uiteindelijk een machine gevonden die aan de gestelde eisen voldeed.
Alvorens die selectieprocedure te omschrijven, zal eerst worden besproken wat men bij Philips precies onder instrumentdraaien verstaat en hoe de profielschets van een CNC-machine, geschikt voor het instrumentdraaien, werd samengesteld.



Figuur 1
De instrumentdraaier.



Figuur 2 Verdeling draaimachines (Philips Machinefabrieken).



Figuur 3 Diverse instrumentendraaiprodukten.

Indeling draaigebieden

Bij de Philips Machinefabrieken wordt het conventionele draaiwerk grofweg in de volgende drie categorieën ingedeeld:

- instrumentdraaien	: produktdiameter 0,5 - 26 mm
- middelgroot draaiwerk	: produktdiameter 26 - 200 mm
- groot draaiwerk	: produktdiameter > 200 mm.

Het conventionele revolverdraaien en het automatendraaien zijn verdwenen. Dit werk wordt tegenwoordig op CNC-(revolver)draai-automaten uitgevoerd. Het CNC-draaien kan grofweg in de volgende vier gebieden worden ingedeeld:

- CNC-automatendraaien: voor seriewerk in het diametergebied van 1 - 60 mm;
- CNC-instrumentdraaien: produktdiameter 0,5 - 26 mm (bij nadere beschouwing uitsluitend seriematig, minder nauwkeurig);
- CNC-middelgroot draaiwerk: produktdiameter 26 - 200 mm;
- CNC-groot draaiwerk: produktdiameter 200 - 400 mm.

In *figuur 2* is deze indeling procentueel weergegeven, zowel voor conventionele als voor numeriek bestuurde machines.

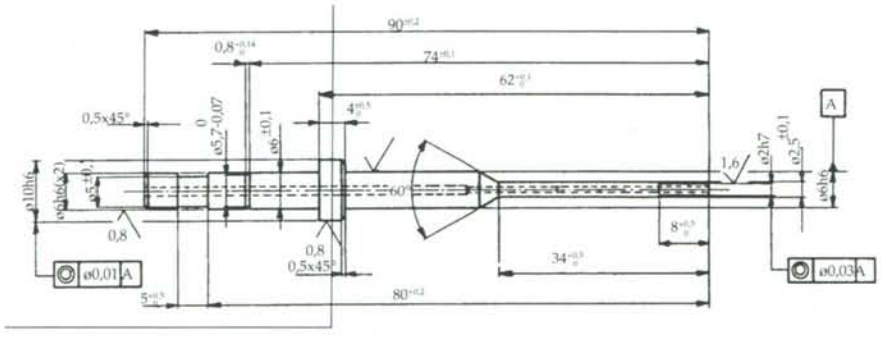
Opvallende details:
- de helft van alle conventionele machines zijn instrumentdraaimachines;
- er zijn nauwelijks CNC-machines in het instrumentdraaigebied aanwezig. De machines die er zijn worden gebruikt voor het seriematige, minder nauwkeurige deel van het instrumentdraaigebied;
- de verhouding numeriek: conventioneel in aantallen machines is 1:5 (in output is de verhouding 1:3).

Met name de constatering dat nauwelijks instrumentdraaiwerk op een CNC-machine gemaakt wordt, heeft ertoe geleid dit werk nader te analyseren.

Kenmerken van het instrumentdraaiwerk

Het instrumentdraaiwerk wordt gekenmerkt door de volgende factoren (zie *figuren 3 en 4*):
- zeer kleine produkten;
- slecht hanteerbaar;
- veel tekeningmaten in verhouding tot het verspaand volume;
- lange en dunne produkten;

Instrumentdraaien op CNC-machines: een haalbare kaart?



Figuur 4 Tekening van een pen.

- hoge maatnauwkeurigheden;
- extreme vorm- en slagnauwkeurigheden;
- lage oppervlakteruwheden;
- kleine gaatjes;
- "exotische" materialen;
- hoge spannauwkeurigheden;
- speciale beitels c.q. gereedschappen nodig;
- speciale opspanningen vereist.

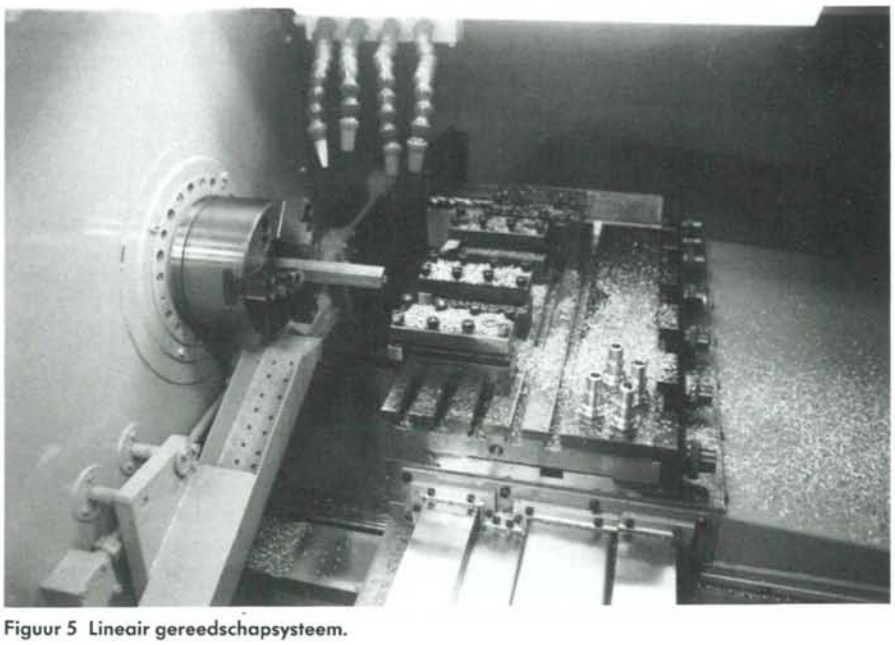
Als spanmiddel wordt meestal de trekspantang (W20, W25 of B32) gebruikt. Deze spantang heeft als voordeel ten opzichte van de drukspantang (F-tang) dat het vervormingsrisico van zowel het produkt als de tang lager is.

Profielschets CNC-instrumentdraaimachine

Via een analyse van het instrumentdraaiwerk zijn de eisen geformuleerd waaraan de CNC-machine moet voldoen. Het onderwerp is uitvoerig behandeld tijdens de machinebesprekingen, die regelmatig in diverse fabrieken plaatsvinden. Aspecten als ergonomie, nauwkeurigheid, spansysteem, produktopvanginrichting en stafaanvoer zijn hierbij aan de orde gesteld. De, overigens mislukte, proeven met enkele machines hebben belangrijke extra gegevens opgeleverd, die tot bijstelling van de eisen geleid hebben. Uiteindelijk heeft dit geleid tot de volgende definitieve profielschets:

De toegankelijkheid van hoofdspil en gereedschappen is zeer goed en de afstand tussen de hoofdspil en de bedieningsman evenredig klein. Via korte en snelle handelingen wordt het produkt gewisseld.

Het verspaningsproces vindt plaats in het gezichtsveld van de bedieningsman en is daardoor goed te volgen. Een schuinbed machine verdient, mede door zijn goede spaanafvoer, de voorkeur.



Figuur 5 Lineair gereedschapsysteem.

De machine is uitgerust met een revolver. Een gereedschapsysteem met lineair aangebrachte gereedschappen op de slede (*figuur 5*) is niet acceptabel in verband met het grote botsingsgevaar en de benodigde lange inrichttijd.

De machine is voorzien van een produktopvanginrichting en een korte stafaanvoer (600 mm). De produkten worden door de opvanginrichting aan de voorzijde in een verzamelbak gedeponeerd, zodat tussentijdse controles snel uitgevoerd kunnen worden.
Lange stafaanvoersystemen zijn niet acceptabel, omdat onbalans in het materiaal trillingen overbrengt naar de machine en zo vooral de oppervlakteruwheid ongunstig beïnvloedt.

Overige eisen:
- diametergebied: 2 - 60 mm;
- toerentalbereik minimaal 6000 omw/min: bij voorkeur 8000 omw/min;
- hoge nauwkeurigheid volgens VDI/DGQ 3441 n.l.:

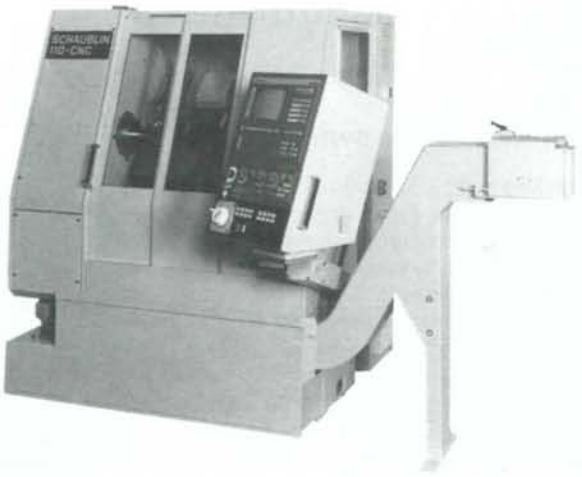
  P = 10 µm
  P_a = 8 µm
  P_{smax} = 4 µm
  P_s = 3 µm
  U_{max} = 3 µm
  U = 2 µm

- geometrische nauwkeurigheid volgens DIN 8605, waarbij aanvullend een rondloopnauwkeurigheid < 3 µm, gemeten aan de produkten, gevraagd wordt;
- zeer nauwkeurig spantangsysteem met trekbekrachtiging (opname W20, W25 of B32);
- revolver met opname voor universele, snel wisselbare gereedschaphouders (VDI 3425, ∅ 20 mm);
- bedieningsvriendelijke besturing met uitgebreide geometrische functies, grafische mogelijkheden, technologie en parallelprogrammeermogelijkheid (programmeren terwijl de machine loopt);
- kostprijs van de machine inclusief gereedschapset ca. *f* 200.000,—.

Marktonderzoek

In 1986 is de markt van kleine nauwkeurige CNC-draaibanken geïnventariseerd . Een achttal machines is uitgebreid bekeken. De uitvoeringen met lineaire slede vielen meteen af. Met twee fabrikaten zijn proeven gedaan die mislukten, omdat ze onvoldoende nauwkeurig en onvoldoende toegankelijk waren. Geen enkel exemplaar voldeed in die tijd aan de eisen. Een

Figuur 6 Weiler UD 24 CNC.



Figuur 7 Schaublin 110 CNC.

kleine, nauwkeurige, flexibele en economische CNC instrumentdraaimachine was helaas niet te vinden.
De machinebouwers zaten echter niet stil. Op de EMO in Milaan (1987) werd een aantal nieuwe machines geïntroduceerd, dat verrassend dicht bij de gewenste specificatie kwam n.l.:

- Spinner SB CNC, Duitsland;
- Weiler UD 24 CNC, Duitsland;
- Gildemeister CT 20, Duitsland;
- Benzinger TNS, Duitsland;
- Okuma LB 9, Japan;
- Schaublin 110 CNC, Zwitserland;
- Emcoturn 240, Oostenrijk.

Genoemde fabrikaten zijn uitvoerig geanalyseerd, waarna uit deze zeven gekozen is voor een machine die aan alle eerder genoemde eisen voldoet.
Met deze machines is inmiddels enkele maanden praktijkervaring opgedaan. Technologisch gezien zijn de volgende resultaten haalbaar:

- repeteerbaar de tolerantieklasse IT 5 draaien, ook op moeilijk te verspanen materialen;
- rondloopnauwkeurigheden realiseren, aan het produkt gemeten, van 0,5 - 1 μm;
- oppervlakteruwheden realiseerbaar van Ra 0,2 μm tot 0,8 μm.

Door deze resultaten kan rondslijpen als vervolgbewerking in veel gevallen achterwege blijven.

Inmiddels zijn ook gegevens beschikbaar over de gerealiseerde bewerkingstijden. Op de cyclustijden kan een besparing van minimaal 40% worden bereikt, bij gelijkblijvende inrichttijden in vergelijking met conventioneel instrumentdraaien.
Gezien de ervaring tot nu toe is de verwachting dat 50 à 60% van het instrumentdraaien in de Philips Machinefabrieken kostenneutraal of winstgevend omgezet kan worden naar CNC.
Te optimistisch? De toekomst zal het leren!

Actueel

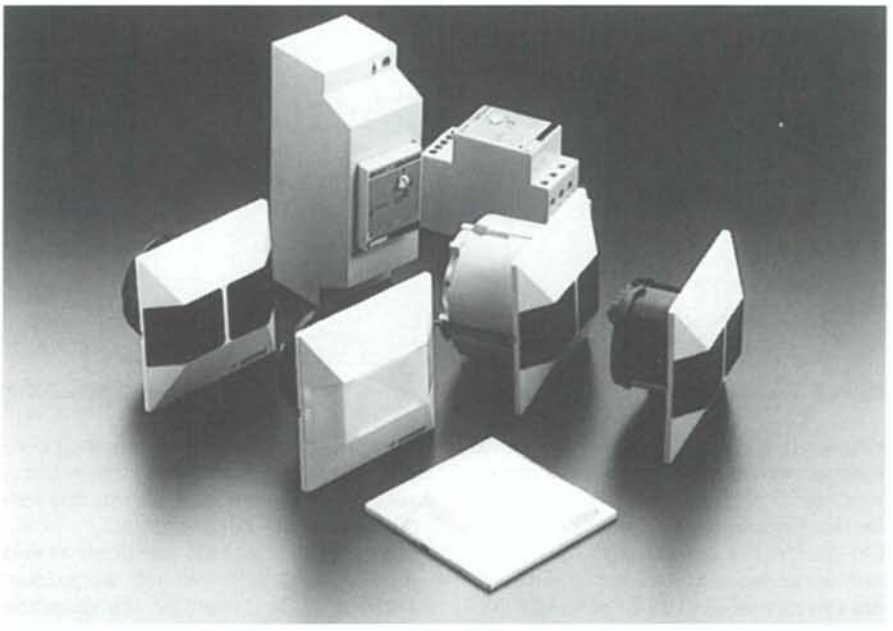
SAMPE 91 in MECC Maastricht

Tentoonstelling en congres over nieuwe materialen.
De afdeling Benelux van de Society for the Advancement of Material and Process Engineering, afgekort SAMPE, is aangewezen om het twaalfde Europese Congres van deze organisatie vorm te geven. Dat zal gebeuren van 28 tot en met 30 mei 1991 in het Maastrichts Expositie & Congres Centrum, MECC. Gelijktijdig met het congres wordt een tentoonstelling gehouden over nieuwe materialen en hun toepassingsgebieden. Nieuwe materialen vinden hun weg vooral in de lucht- en ruimtevaart, in de sport en de recreatie en in de automobielindustrie.
Onderwerpen die tijdens het SAMPE-congres bijzondere aandacht zullen krijgen, zijn: gezondheids-, veiligheids- en milieu-aspecten van nieuwe materialen, de wijze waarop de kwaliteitscontrole moet worden georganiseerd en de mate waarin deze nieuwe hoogwaardige materialen een bijdrage kunnen leveren aan verlaging van de produktiekosten.
Nieuwe materialen vinden op tal van gebieden toepassing. Te denken valt daarbij bijvoorbeeld aan composieten en keramische materialen, zoals die worden toegepast in de lucht- en ruimtevaart, kunststoffen en metaallegeringen voor de auto-industrie, terwijl ook in de recreatiesfeer steeds vaker nieuwe hoogwaardige materialen worden gebruikt.

Naar aanleiding van de enige tijd geleden verzonden 'call for papers' is bij de organisatoren van het congres al een groot aantal aanmeldingen voor presentaties binnengekomen.
Sinds enige tijd bestaat er een nauwe samenwerking tussen het MECC in Maastricht en het RAI Tentoonstellings- en Congrescentrum in Amsterdam. In het kader van SAMPE 91 wordt door beide organisaties nauw samengewerkt. Zo zijn alle uitvoerende activiteiten voor het congres door de Society for the Advancement of Material and Process Engineering in handen gegeven van het MECC, terwijl de invulling van de tentoonstelling in handen is gegeven van RAI Gebouw bv.

Werkplaatsinformatie

Foto-elektrische sensoren



Sinds kort heeft J. Koopman b.v., in haar programma van professioneel installatie-materiaal, en compleet programma foto-elektrische sensoren opgenomen. Deze laagspanningsdetectoren zijn van het Deense fabrikaat Servodan en kunnen in allerlei situaties voor het op afstand schakelen van diverse functies worden toegepast. Het programma omvat een serie infrarood detectoren en enkele speciale bewegingssensoren. Alle in uitvoeringen voor zowel inbouw als opbouw, compact en fraai van vorm. De nieuwe sensoren worden op de markt gebracht onder de naam Opto-Sensor.
De Opto-Sensors kunnen voor het schakelen van een voedingsspanning van 10 V tot 30 V worden ingezet. Moeten hogere spanningen geschakeld worden, dan kunnen de detectoren in combinatie worden gebruikt met de zgn. Opto-Control. Deze is geschikt voor 230 V AC; op elke schakelunit kunnen verschillende sensoren (zowel IR- als bewegings-detectoren) worden aangesloten. Afhankelijk van de toepassing kan gekozen worden voor IR-detectoren met gescheiden zender en ontvanger, reflex-typen (gecombineerde zender/ontvanger met weerkaatsing door middel van een reflector), object-typen (als de reflex-uitvoering, maar met weerkaatsing door een object) of bewegingsdetectoren. Al deze sensoren zijn desgewenst ook in OEM-uitvoering leverbaar. Toepassingen zijn o.a. in- en doorgangen, automatisch openen van deuren, alarmeren, in- en uitschakelen van verlichting of ventilatie, registratie van aantallen bezoekers etc.
Voor uitvoerige info:
J. Koopman b.v.
Postbus 150
3960 BD Wijk bij Duurstede
Telefoon: 03435-76483.

Compacte strip- en twistmachine

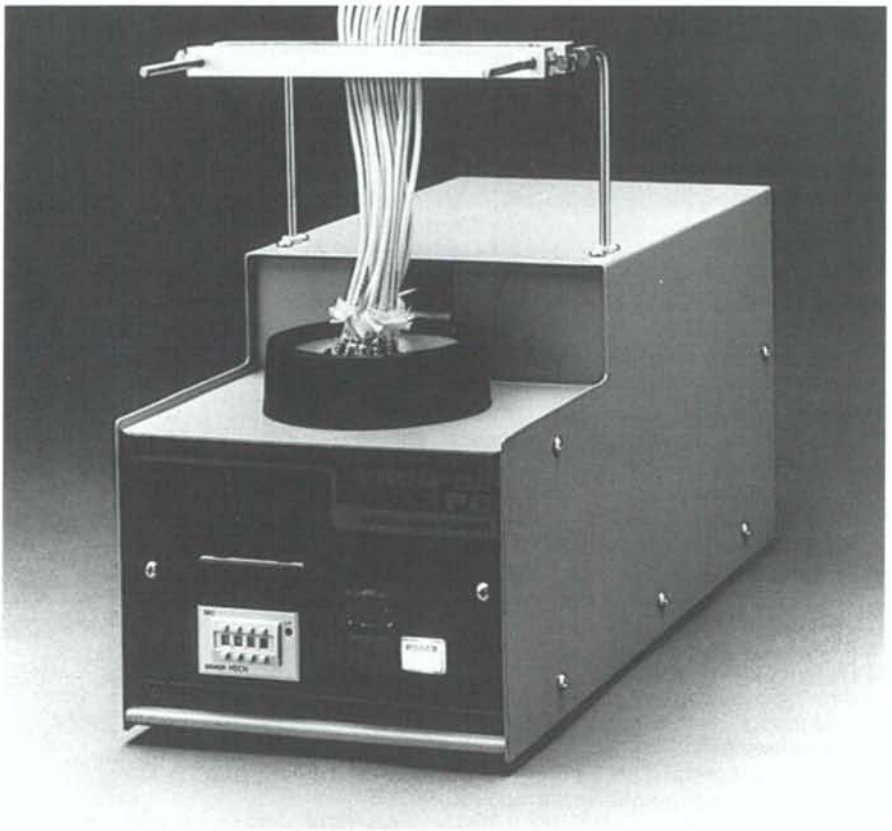
AVT introduceerde een nieuwe, compacte strip- en twistmachine. De machine is van Zwitserse makelij, is geschikt voor draden tot rond 5,7 mm (AWG 24-10) en wordt op de markt gebracht onder type-aanduiding AVGO 160.
Naast alle normale, gangbare draden, kunnen ook coaxkabel en draden met een glasvezel-, teflon- of rubberisolatie probleemloos verwerkt worden. De AVGO 160 is voorzien van een 8-voudige revolver-stripkop, waarmee het hele bereik van AWG 24-10 bestreken wordt. Uiteraard is iedere stripkop exact in te stellen op de juiste draaddiameter en isolatiedikte. Daarnaast kan ook de striplengte eenvoudig ingesteld worden; en door middel van een schakelaar kan het links- of rechtsom twisten ingesteld worden.
De bediening van de AVGO 160 gebeurt door een voetpedaal, zodat beide handen vrij zijn voor het invoeren van de draad. De korte aanloop- en stoptijd maakt een hoge produktie mogelijk.

Voor uitvoerige info:
AVT,
Postbus 4, 5750 AA Deurne,
Nederland
Telefoon: 04930-15865.

Polijstmachine voor glasvezeleindvlakken

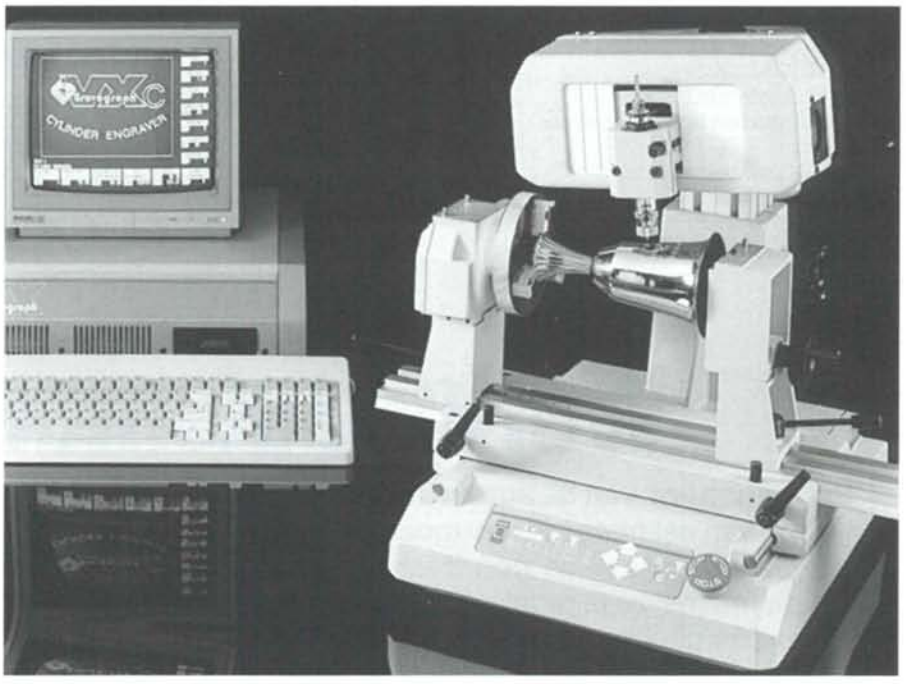
Een nieuwe ontwikkeling op het terrein van materiaalonderzoek is het polijsten van eindvlakken van glasvezelconnectoren. Voor deze toepassing heeft VIBA onlangs een nieuwe machine in haar leveringsprogramma opgenomen. Type-aanduiding van deze machine is de Fibrpol-PC.
Een aandrijfmechanisme beweegt de connectorhouder volgens een willekeurig patroon over de draaiende polijstschijf. Met de Fibrpol-PC kunnen tot maximaal 12 connectoren tegelijkertijd worden bewerkt. Door gebruik te maken van de speciale Fibr-lap polijstschijven kan zowel vlak als bol (60 mm radius) worden gepolijst.
De Fibrpol-PC werkt volledig automatisch. De bewerkingstijd en polijstdruk zijn instelbaar. Met een minimum aan toezicht op het polijstproces wordt een constante kwaliteit bereikt.

Voor uitvoerige info:
VIBA n.v. (afdeling Geometrische Meettechniek en Materiaalonderzoek)
Bleiswijkseweg 41
2712 PB Zoetermeer.



Graveertafel voor cilindrische of conische voorwerpen

Het Franse bedrijf Gravograph introduceerde onlangs een nieuwe graveertafel voor cilindrische of conische objecten, de Gravograph VXC.
Het apparaat is voorzien van een grote cilinder en een bijzonder inklemsysteem, waardoor voorwerpen met een diameter van 270 mm en een lengte van 420 mm gegraveerd kunnen worden. Voor het graveren van glazen produkten wordt gebruik gemaakt van een vacuüm-hulpstuk, in plaats van inklemmen. Het graveren vindt plaats met een freeshouder die door middel van een getrapte as op twee snelheden kan worden ingesteld.
De graveertafel VXC kan bestuurd worden met behulp van de console Gravograph VX, die van eigen software voorzien is. Het ontwerpen van een gravure en het graveren kunnen onafhankelijk van elkaar en gelijktijdig worden uitgevoerd. Het Gravograph-systeem kan ook worden aangestuurd met bestanden afkomstig van andere softwarepakketten, die onder DOS of een ander besturingssysteem werken. De uit te wisselen bestanden moet in het HPGL-formaat zijn opgeslagen (een standaard voor CAD-software), of in ASCII-formaat (met een gewone teksteditor aan te maken).
Voor uitvoerige info:



Stichting Frantech
Bureau Informatie Franse Technologie
Keizersgracht 276
1016 EW Amsterdam
Telefoon: 020-254736.

Beknopte inhoudsopgave

Hoofdstuk 1.
De betekenis en de plaats van de werkplaatsmeettechniek bij de fabricage van verwisselbare onderdelen.
De kwaliteitskenmerken
Het belang van verwisselbare onderdelen
Het fabriceren van verwisselbare onderdelen
Het fabrikageproces
De beheersing van de fabrikage

Hoofdstuk 2.
De grondbeginselen van het geometrisch meten
De fysische verschijnselen
De geometrische voorwaarden

Hoofdstuk 3.
De meetonnauwkeurigheid bij geometrische metingen
Het meetproces
De systematische en toevallige afwijking
Berekenen van de toevallige afwijkingen
De meetonnauwkeurigheid

Hoofdstuk 4.
De lengte-eenheid en de overige meeteenheden
Historie van de lengte-eenheid
De meterstandaard
Licht als maatstaf
De erkende meeteenheden
Het inch-stelsel
De secundaire en de gematerialiseerde lengtestandaarden

Hoofdstuk 5.
De ISO toleranties en passingen en hoe zij worden gekeurd
Het ISO systeem voor toleranties en passingen
Het keuren van de ISO toleranties

Hoofdstuk 6.
De analyse van het meetprobleem en de keuze van de meetmethode
De meet- en kontrolemiddelen
De maatstandaard
Pasmiddelen
Hulpmiddelen
De meetinstrumenten

Hoofdstuk 7.
Meetmiddelen voor het meten in één ordinaat
Direkte handmeetgereedschappen
De indirekte handmeetgereedschappen
De stationaire direkte meetinstrumenten
Stationaire indirekte meetinstrumenten
Mechanische, elektrische, optischelektrische en pneumatische opnemers

Hoofdstuk 8.
De betekenis van de vorm- en plaatstoleranties en het bepalen van de vormnauwkeurigheid
Het kontroleren en meten van de rechtheid
Het kontroleren en meten van de vlakheid
Het meten van de rondheidsafwijkingen
Het meten van de cilindriciteit

Hoofdstuk 9.
De meetmiddelen voor koördinatenmetingen
De profielprojektor
De koördinaten meetmikroskoop
De koördinaten meetmachines

Wij verzoeken u te leveren:
_____ **ex. Werkplaatsmeettechniek**
NAAM
ADRES
POSTKODE
PLAATS

Zenden aan De Vey Mestdagh
Markt 51 • 4331 LK Middelburg • Nederland

Hoofdstuk 10.
Meetmethoden voor het bepalen van de oppervlakteruwheid
De oppervlakteruwheidswaarde
De aanduiding op tekeningen

Hoofdstuk 11.
Het meten van een hoek
Foutenbronnen
De hoekmeetinstrumenten

Hoofdstuk 12.
Het passen en meten van schroefdraad
De schroefdraad
De schroefdraadtoleranties
Het keuren van de schroefdraad
Het meten van de schroefdraad

Prijs **f 49,–**
incl. BTW

Werkplaatsmeettechniek

Uitgangspunt van de auteur: het toenemend belang van het meten in het moderne industriële fabricageproces en de noodzaak aan waarborgen om dit proces zo te regelen dat elk werkstuk binnen zo kort mogelijke tijd en tegen minimale kosten overeenkomstig de kwaliteitseisen kan worden gemaakt of samengesteld.

Ing. F. Langereis

"Werkplaatsmeettechniek"
omvat 260 pagina's op formaat 15.4 x 22.2 cm
366 figuren, 35 tabellen

IN BELGIË TE BESTELLEN BIJ UITGEVERIJ DE SIKKEL

De Technische Universiteit Eindhoven is een 'high tech'-universiteit. ■ Zij concentreert zich op fundamenteel technologisch onderzoek en op hoogwaardig onderwijs aan toekomstige ingenieurs, ontwerpers en onderzoekers. ■ Kwaliteit staat hierbij voorop. ■ De TUE is dan ook hard op weg naar de internationale top.

Technische Universiteit Eindhoven

high tech university

DE CENTRALE TECHNISCHE DIENST (CTD) is het interne ingenieursbureau van de universiteit en levert technische ondersteuning aan het wetenschappelijk onderzoek en het universitair onderwijs.
De technische faciliteiten zijn ondergebracht in stafgroepen en omvatten ontwikkeling en advies, prototype-ontwerp en -vervaardiging. De werkgebieden van CTD zijn werktuigbouwkunde, elektrotechniek en elektronica, fysische techniek, glasbewerking en reproduktie en fotografie.

Instrumentmaker m/v op MTS-niveau voor een functie met perspectief

Het betreft een functie bij de stafgroep Constructie en Technologie van de CTD. Deze groep richt zich vooral op het ontwerpen en vervaardigen van fijnmechanische produkten en apparaten, van hoogwaardige vacuümapparatuur tot positioneringsmechanismen met submicron-nauwkeurigheid. De groep beschikt over modern geoutilleerde werkplaatsen. Naast reguliere worden er ook bijzondere technologieën toegepast.

uw taken

Zelfstandig zorgt u voor het construeren, monteren en installeren van instrumenten, apparaten en onderdelen. U levert bijdragen vanuit uw eigen vakkennis aan het ontwerpen van die instrumenten en helpt ook mee om nieuwe technieken en technologieën geschikt te maken voor toepassing.

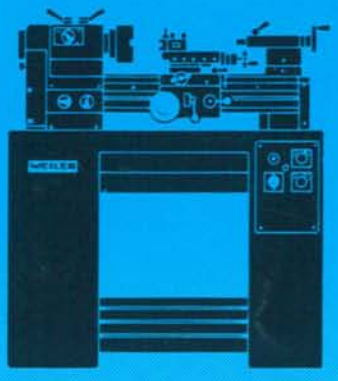
wat wij vragen en bieden

U hebt een vaktechnische beroepsopleiding op middelbaar niveau, bij voorkeur Leidse Instrumentmakersschool (B) of MTS-fijnmechanische Techniek. Praktische kennis van fijnmechanische en contructiemethoden is vereist.
Verder bezit u goede contactuele eigenschappen en communicatieve vaardigheden.
Wij bieden u een aanstelling voor een proeftijd van maximaal twee jaar met uitzicht op een vast dienstverband.
Uw salaris, afhankelijk van uw leeftijd en ervaring, bedraagt maximaal ƒ 3.736,- bruto per maand. Ook kunt u rekenen op gerichte opleidingsfaciliteiten waardoor u uw vakkennis kunt verbreden en perspectief krijgt op een zwaardere functie.

Met het oog op het streven naar de opbouw van een evenwichtiger personeelsbestand worden vrouwen nadrukkelijk uitgenodigd te solliciteren.

hoe u kunt reageren

Uw schriftelijke sollicitatie kunt u richten aan ir. G. van Drunen, directeur van de Centrale Technische Dienst, Technische Universiteit Eindhoven, postbus 513, 5600 MB Eindhoven, onder vermelding van vacaturenummer V 09013.
Nadere inlichtingen: het secretariaat van de Centrale Technische Dienst, telefoon 040-473659.



WEILER precisie primus draaibank

centerafstand : 450 mm.
centerhoogte : 120 mm.
toerentallen : 30-3000 omw./min.
motorvermogen : 1,2/1,5 KW.
leverbaar met vertikaal boor- en freesapparaat, 10 snelheden, van 85-2200 omw./min., opspantafel 300 x 220 mm.

SCHREUDER & CO

GILDENWEG 12 - POSTBUS 326
3330 AH ZWIJNDRECHT
TELEFOON 078 - 100111* - TELEX 29339