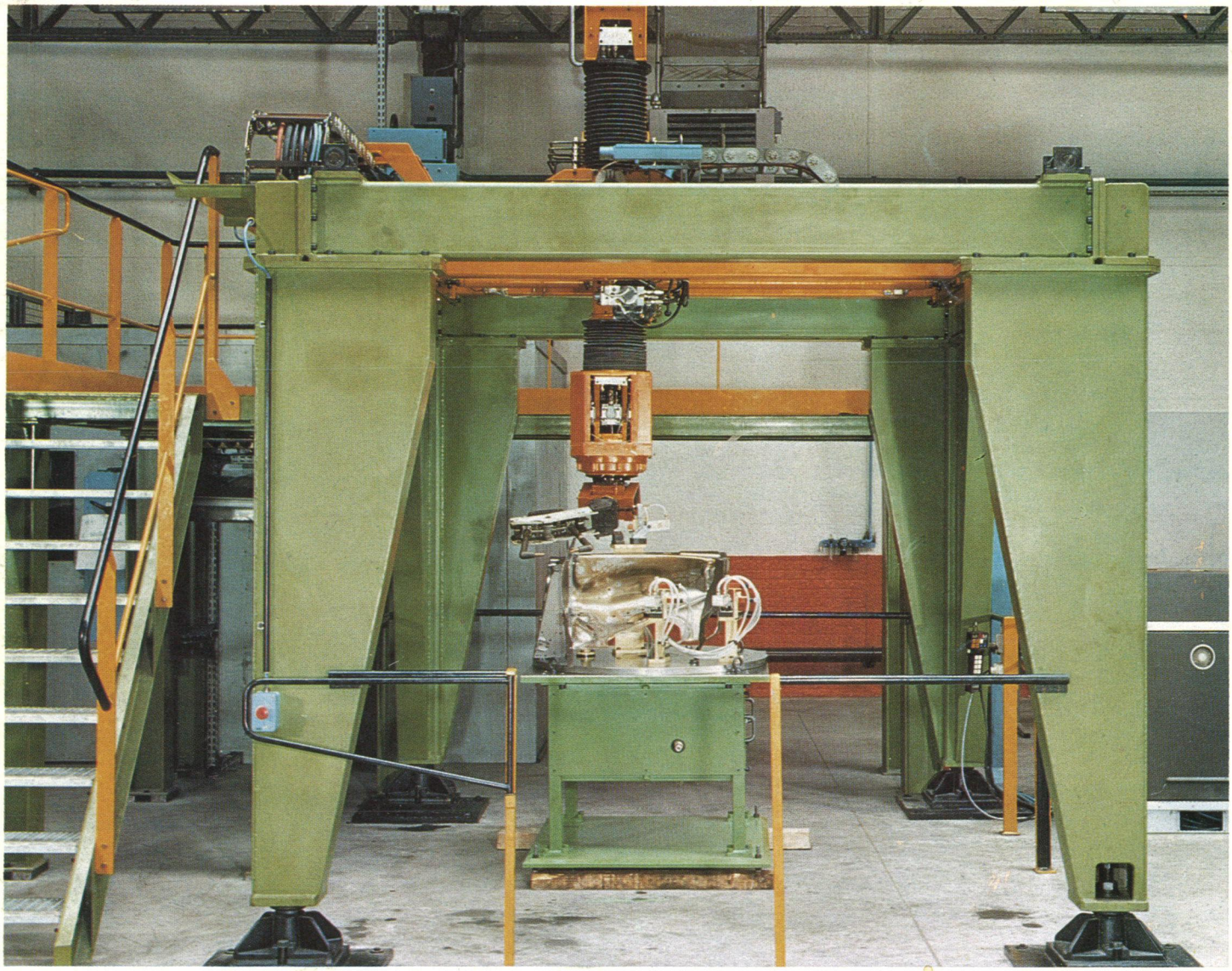
SPACE RESEARCH LABORATORY
21 BENELUXLAAN
3527 HS UTRECHT - THE NETHERLANDS
Ph. 030 - 93 71 45 Telex 47224

jrg. 25, nr. 1, jan./febr. 1985

MIKRONIEK



VAKBLAD VOOR FIJNMECHANICA EN GLASTECHNIEK

Beknopte inhoudsopgave

Hoofdstuk I
Produktietechniek
Verspaningstechnologie
Verspanende bewerkingen
Machinesoorten
Opbouw van gereedschapswerktuigen

Hoofdstuk II
Aandrijving van gereedschaps-werktuigen
Grondslagen
De elektromotor
Hoofdoverbrenging
Aanzetoverbrenging
Traploze overbrengingen

Hoofdstuk III
Besturingstechniek
Inleiding
(mechanisch, hydraulisch, pneumatisch)
Kopieren
Programmabesturing
Numerieke besturing

Hoofdstuk IV
Constructie-kenmerken
Machine-onderdelen
Standaardmachines
(draai-, boor-, frees-, slijpmachines)
Machines met rechtlijnige hoofdbeweging
Bijzondere machines
(tandwielbewerking, schroefdraadfabricage)
Machines voor fijnbewerking
Speciaalmachines
Automaten, bewerkingscentra bewerkingsstraten

Hoofdstuk V
Het gebruik van gereedschaps-werktuigen
Snijmateriaal
(keuze, soorten, uitvoeringsnormen)
Koelen en smeren
Spannen
Het verspanend verwerken van onderdelen

Wij verzoeken u te leveren
..... ex Verspanende gereedschapswerktuigen
Naam_____
Adres_____
Plaats_____
Zenden aan
Technische Uitgeverij De Vey Mestdagh B.V.
Markt 51 • 4331 LK Middelburg • Nederland

"Verspanende Gereedschapswerktuigen"
omvat 240 pagina's op formaat 15.4 x 22.2 cm en 360 afbeeldingen, merendeels uitgevoerd in driekleurendruk.

Ook in de boekhandel verkrijgbaar

VERSPANENDE GEREEDSCHAPS WERKTUIGEN

Horst Witte

Uitgangspunt van de auteur

De auteur beoogt met dit boek een grondslag te leggen voor diegenen die zich voor het eerst in de verspanende bewerkingen en de verspanende gereed-schapswerktuigen moeten verdiepen. De om-vangrijkheid van het vakgebied noopte de auteur het wezenlijke van het overbodige te scheiden. Mede daardoor is dit boek dan ook geen verslag van een machinebeurs, maar het behandelt de produktietechniek volgens principiële gezichtspunten. De gebruikte terminologie is, waar mogelijk, in overeen-stemming gebracht met de laatste stand van de normalisatie in Nederland. Recente ont-wikkelingen in ISO-verband zijn hierbij mede bepalend geweest.

Technische Uitgeverij De Vey Mestdagh BV
Markt 51 • 4331 LK Middelburg • Nederland

MIKRONIEK

Uitgave:
Technische Uitgeverij
De Vey Mestdagh BV

Redactie:
Mikron: Ir. J.J. Veerman
Sectie Fijnmechanische Produkten:
Ing. H.J. van Agthoven
Ir. S. van de Graaf
Dr. C.M. Hargreaves
Sectie Experimentele Instrumentenbouw:
H.M.C. Heubers
Ing. J.H. Huisken
G.J. Verschragen

Redactiesecretariaat:
J. Snikkers
Klaprooslaan 17
5691 WL Son
Telefoon (04990) 71831
b.g.g. (01180) 36320

Abonnementen:
Technische Uitgeverij
De Vey Mestdagh BV,
Markt 51, 4331 LK Middelburg
Telefoon (01180) 36320
Postgirorekening 26 06 279
Nederland ƒ 85,–
Buitenland ƒ 110,–
Alle prijzen excl. BTW

Advertentie-Acquisitie:
Technische Uitgeverij
De Vey Mestdagh BV,
Markt 51, 4331 LK Middelburg
Telefoon (01180) 36320

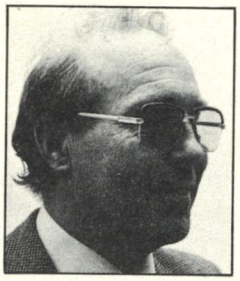
Vormgeving, tekst- en beeldvervaardiging:
De Vey Mestdagh Tekst BV

Druk- en bindwerk:
Den Boer Middelburg/Drukkers BV

Orgaan van
MIKRON
Nederlandse Vereniging van technici

Sectie Glastechniek

L.G. Ramakers, voorzitter Sectie Glastechniek



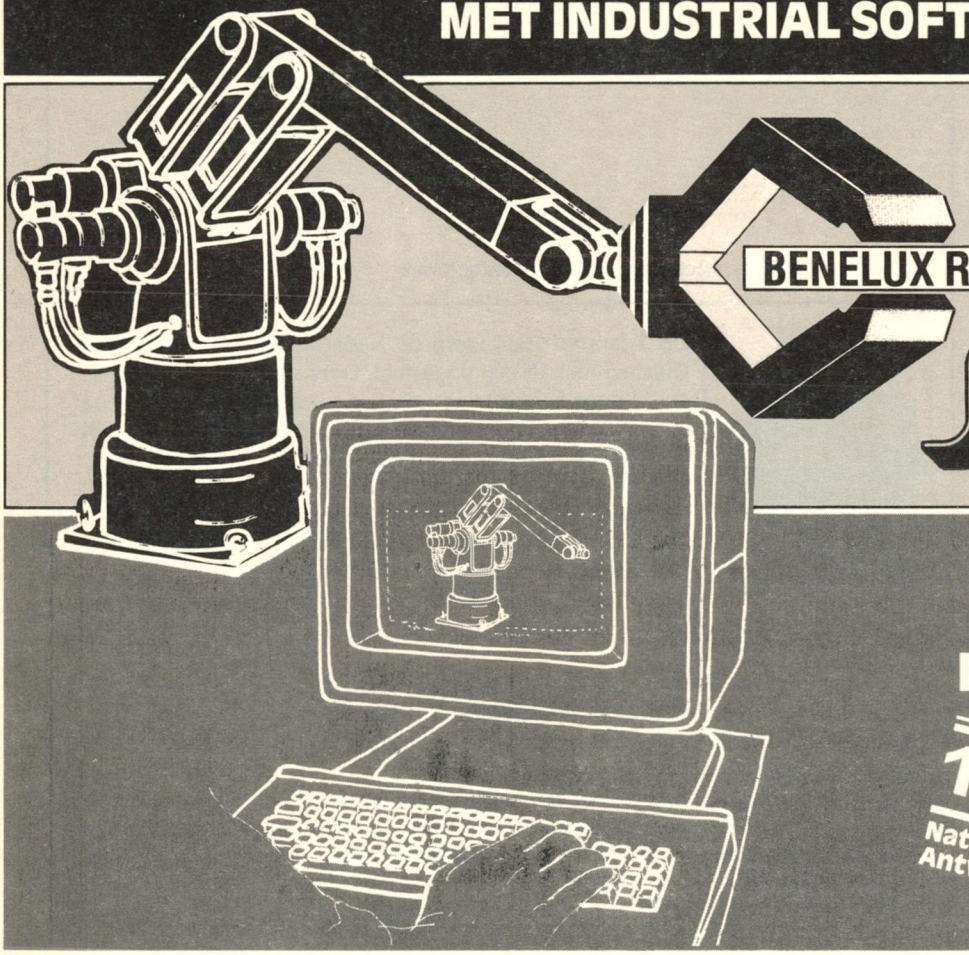
Op 1 januari 1984 werd de Nederlandse Vereniging van Glastechniek (NVG) opgericht. Deze vereniging kwam tot stand door behoefte aan nauwe samenwerking die bij de verschillende verenigingen c.q. groeperingen, die zich bezighouden met glastechniek, leeft.
Ook de Sectie Glastechniek van de Vereniging "Mikron" heeft aan de oprichtingsbesprekingen deelgenomen.
Zoals U wellicht is opgevallen hebben de activiteiten op glastechnisch gebied de laatste jaren plaats gevonden onder verantwoordelijkheid van de gezamelijke verenigingen. Dit heeft uiteindelijk geleid tot de oprichting van één landelijk opererende organisatie.
De toegetreden organisaties zullen alleen regionale activiteiten opzetten. Men hoopt hiermee beter te kunnen inspelen op de behoefte die in de regio leeft. Tevens hoopt men te bereiken dat de leden zich sterk bij het gebeuren van de vereniging betrokken voelen.
Aangezien de Sectie Glastechniek van de Vereniging Mikron ook een op landelijk niveau opererende organisatie is en er nauwelijks of geen behoefte bestaat aan twee van deze verenigingen is in overleg met het bestuur van Mikron besloten de Sectie Glastechniek op te heffen.
Een bijzondere ledenvergadering van de Sectie heeft op 16 nov. j.l. een voorstel van het bestuur in deze richting overgenomen. Op 1 januari 1985 zal de Sectie formeel zijn opgeheven. Het dagelijks bestuur is belast met de afwikkeling van de zaken. Uiteraard in nauw overleg met het Mikron bestuur.
Als voorzitter van de Sectie Glastechniek dank ik allen die tot het funktioneren van de Sectie hebben bijgedragen. Ik denk hierbij vooral aan mijn medebestuursleden, de redactie van het verenigingsblad Mikroniek en allen die via commissie of welke andere wijzen ook hun bijdrage hebben geleverd.
U allen heeft veel tijd en kennis ter beschikking gesteld van de Sectie in het belang van de Glastechniek. Nogmaals hiervoor hartelijk dank!
Ik hoop dat Uw kennis en ervaring voor de glastechniek niet verloren zal gaan.
Tot slot wens ik, en ik ben er van overtuigd dat ik hiermee ook de mening van het Mikron bestuur vertolk, de NVG al het goede toe en veel succes bij het uitdragen van de kennis op het gebied van de glastechniek.

L.G. Ramakers

NASCHIRFT VAN DE REDACTIE MIKRONIEK

Op de plaats van het gebruikelijke "editorial" heeft de redactie gemeend voorrang te moeten geven aan de bovenstaande mededeling, die de vereniging "Mikron" in het bijzonder aangaat.
Uit de inhoud hiervan blijkt dat de aangekondigde verandering ook van invloed is op de samenstelling van de redactie, want het betekent dat onze collega's van de Sectie Glastechniek ons gaan verlaten.
Natuurlijk betreuren wij dit ten zeerste, maar kunnen vanzelfsprekend alle begrip opbrengen voor de situatie.
Rest ons deze collega's te bedanken voor hun bijdrage om MIKRONIEK de nodige variatie te geven en voor de zo prettige samenwerking gedurende een lange tijd.
Omdat de glastechniek en -technologie evenwel een belangrijk vakgebied is binnen de fijnmechanische techniek blijft de wens van de redactie hieraan aandacht te kunnen besteden, waarvoor nagegaan zal worden hoe dit is te verwezenlijken.

MET INDUSTRIAL SOFTWARE VILLAGE



BENELUX ROBOT & AUTOMATION 2

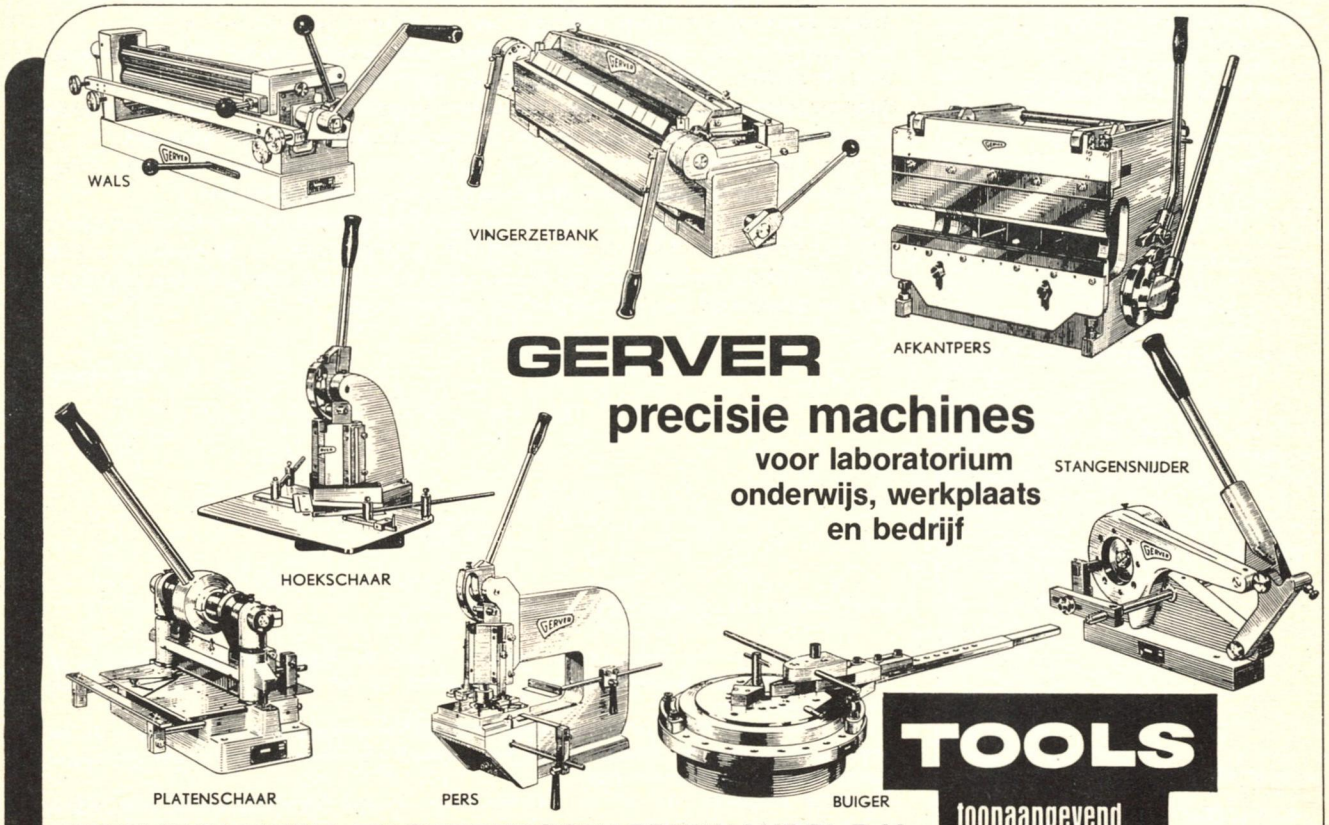
Inlichtingen:

VAN PUTLEI 11
2018 ANTWERPEN
TEL. 03/216 00 70

DE GROOTSTE ROBOTSHOW IN DE BENELUX

14 – 17-10-85

Nationaal Bouwcentrum Antwerpen



GERVER

precisie machines

voor laboratorium
onderwijs, werkplaats
en bedrijf

TOOLS

toonaangevend
in de
metaalbewerking

TOOLS MACHINE- EN GEREEDSCHAPPENHANDEL B.V.

Schakelstraat 21 - 1014 AW Amsterdam - Tel. 020-822655

MIKRONIEK

JAARGANG 25 - NO. 1 - JANUARI/FEBRUARI 1985

1

Mikroniek verschijnt één maal per 2 maanden

Inhoud

L.G. Ramakers:
Sectie Glastechniek 1

MK-actueel:
Staatssecretaris van onderwijs opent nieuw gebouw van de Stichting Opleidingen Metaal 4
Jaarbeurs krijgt totaal nieuw stuk Trade Mart 4
Brochure Novakerb 5
Ontwikkelingsplan informatica-onderzoek van CWI 5
Raad van Bestuur TNO wil nieuw instituut voor toegepaste informatica oprichten 5

Dr.ir. Haisma en ir. T. Gijsbers:
Asferica I – optomechanica, een ultrafijne bewerkingstechniek 7

C.F.J. Geerts en G.H. Veldhuizen:
Optocop: Precisie kopieermachine voor submicronprodukten met een variabele kromtestraal 11

M. de Bonte, J.P. Celis en J.R. Roos:
Recente ontwikkelingen in de oppervlaktebehandeling van metalen 14

Dr. N. Wiedenhof en drs. J.M. Waalwijk:
Simpele microbalans met trillende haarspeld 21

Samenvatting TNO-onderzoek PET-fles 22

Ir. D.J. de Korte:
Parameters en onderprogramma's bij NC-programmering 23

MK-Werkplaatsinformatie 28

Literatuuroverzicht 30

Staatssecretaris van onderwijs opent nieuw gebouw van de Stichting Opleidingen Metaal

De Staatssecretaris van Onderwijs en Wetenschappen, mevrouw drs. N.J. Ginjaar-Maas, verrichtte op donderdag 15 november j.l. de officiële opening van het nieuwe gebouw van de Stichting Opleidingen Metaal en de Stichting Opleidingsfonds SOM in Woerden. Tijdens de openingsbijeenkomst werd tevens het woord worden gevoerd door de burgemeester van de Gemeente Woerden, de heer J. Bos. s'Middags van 15.00 tot 19.00 uur werden een receptie en een open huis voor alle relaties gehouden.
In het nieuwe kantoorgebouw dat in juli jl. officieus in gebruik werd genomen, zijn ± 70 personeelsleden werkzaam. Het gebouw is naar een ontwerp van de architekt A.W. van Klink uit Zwartewaal gebouwd door Systeembouwbedrijf Enzet BV uit Linschoten.
De Stichting Opleidingen Metaal is het landelijk orgaan dat in het kader van de Wet op het Leerlingwezen een groot aantal primaire en voortgezette opleidingen regelt en vervolg- en kadercursussen en opleidingen met betrekking tot de Vestigingswet organiseert.
De Stichting Opleidingsfonds SOM geeft cursussen o.a. in meettechniek, kwaliteitscursussen en bijscholingscursussen en neemt examens af in het kader van de Vestigingswet alsmede examens kraanbestuurder.

Jaarbeurs krijgt totaal nieuw stuk Trade Mart

INFOTRON:
schakel tussen vraag en aanbod bij automatiseren

In het voorjaar van 1985 krijgt de Koninklijke Nederlandse Jaarbeurs een totaal nieuw stuk "Trade Mart", genaamd Infotron; het best te omschrijven als een ontmoetingspunt tussen fabrikanten van computers (hardware) en de programma's (software), en het midden- en kleinbedrijf dat wil overgaan tot het automatiseren van hun bedrijf.
Na een intensief gebruik van 14 jaren wordt het noodzakelijk geoordeeld het totale Beatrixgebouw aan een ingrijpende renovatie te onderwerpen.
Er wordt op het ogenblik hard gewerkt om de diverse etages van de Trade Mart in het Beatrixgebouw te verbouwen en te moderniseren. Deze ingrijpende verbouwing wordt bekroond met de komst van Infotron. Beide gebeurtenissen bewijzen duidelijk welk een vaart er zit achter de Jaarbeurs nieuwe stijl.

In de Jaarbeursorganisatie zijn de beursmanagers verantwoordelijk voor het reilen en zeilen van de diverse beurzen. Voor Infotron is dat de heer H.P. Van Meygaard, die bezig is deze nieuwe activiteit van de grond te krijgen. "Uit de informatie die we nu hebben, wordt het duidelijk dat Infotron een succes zal worden," aldus Van Meygaard. "zowel bij de exposanten als uit de hoek van de toekomstige bezoekers is al erg veel interesse".

De gedachte achter Infotron is deze: bij het midden- en kleinbedrijf (eenmanszaken tot en met bedrijven waar twintig tot dertig mensen werken) begint de automatisering nu pas goed op gang te komen. De grote bedrijven waren hier al eerder mee begonnen. Dat is begrijpelijk: aanvankelijk waren computers grote kostbare dingen, die alleen besparend konden werken,, wanneer er bijzonder veel werk voor was. Bovendien waren er specialisten voor nodig om de apparatuur te bedienen. Met de komst van de microcomputer is dat allemaal grondig veranderd. De computers behoren nu tot de aanschaffingsmogelijkheden van elke zakenman, hoe klein zijn bedrijf ook mag zijn. De bediening is stukken eenvoudiger geworden.
"Er komt een moment dat elke zaak in Nederland een computer zal hebben, zoals een telefoon," voorspelt Van Meygaard.

Dat weten de fabrikanten van microcomputers en programma's uiteraard ook. Ze hopen allemaal op een enorme omzetverhoging, zodat er steeds meer computers op de markt komen, die allemaal hun kwaliteiten hebben, maar in sterke maten verschillend zijn. En het gevolg van dit alles is dat er een onoverzichtelijk aanbod is ontstaan: de leek op automatiseringsgebied ziet door de bomen het bos niet meer. Hij kan natuurlijk naar een computerwinkel stappen, waarvan er steeds meer komen. Maar daar is meestal een beperkt aanbod, de winkels zijn soms aan een enkele fabrikant gebonden. In feite zijn zij uitstekend geschikt voor mensen die weten wat zij willen.
Bij de Jaarbeurs heeft men gedacht: er komen jaarlijks meer dan twee miljoen mensen naar onze manifestaties, haast allen ondernemers, van wie vele middenstanders. De Trade Marts in het Beatrixgebouw, waar grossiers en fabrikanten uit vele branches hun waren tonen, zijn per definitie een pleisterplaats voor de winkeliers, die er immers hun keus kunnen bepalen en de bestellingen dien. Onder hen zijn er zeer velen die de komende tijd hun bedrijf op de een of andere manier zullen automatiseren. Deze mensen zijn gediend met een permanente minibeurs, waarop de vooraanstaande fabrikanten en importeurs voorlichting geven. Dat is Infotron.

"Voor de computerfabrikanten is het een ideale manier om hun toekomstige klanten te bereiken", vertelt Van Meygaard. Ze hebben niet de verkoopstaf om al deze mensen te bereiken, die relatief kleine orders plaatsen en die bovendien grondig moeten worden voorgelicht. Zowel de fabrikanten als de afnemers zijn dus gebaat bij zo'n permanente Trade Mart. Er is nog een andere intressante kant aan.
De grote beurzen in de andere gebouwen van het Jaarbeurs-complex trekken grote aantallen mensen, die altijd uit bepaalde branches komen. Zo hebben de apotheker en de huisarts die volgend jaar maart de Medica bij ons bezoeken een totaal andere computer en randapparatuur nodig dan bijvoorbeeld de mensen die in oktober naar de Meubelbeurs gaan. De exposanten op Infotron weten dat heel goed en zij kunnen dus steeds hun aanbod aanpassen aan de diverse branches".
Infotron verwacht alle grote aanbieders uit de automatiseringsbranche, maar waarschijnlijk zullen er ook exposanten met nevenactiviteiten komen, zoals bijvoorbeeld uitgevers van computerbladen.

Een belangrijke rol bij Infotron is weggelegd voor het Centraal Instituut voor het midden- en kleinbedrijf (CIMK), dat op Infotron een groot aantal activiteiten zal ontplooien, zoals het uitgeven van branche- en produktgerichte informatie en het organiseren van themadagen, die ook per branche verschillend zullen zijn.

Er zal op Infotron **altijd** iemand van het CIMK aanwezig zijn, die (uiteraard objektieve) informatie kan geven over automatisering en communicatie.
Beursmanager Van Meygaard: "Ongeveer 200.000 Nederlandse ondernemingen staan op het punt te gaan automatiseren. De belangrijkste functie van de Jaarbeurs is een schakel te zijn tussen vraag en aanbod. Met Infotron zullen we een belangrijke taak vervullen voor het bedrijfsleven".

Brochure Novakerb

Sinds kort heeft de firma Novakerb te Amberg/BRD een nieuwe brochure uitgebracht. Hierin wordt het leveringsprogramma, dat o.a. bestaat uit kerfstiften, kerfnagels en spreidnagels, uitvoerig toegelicht met veel toepassingsvoorbeelden.
In de Benelux wordt de firma Novakerb vertegenwoordigd door Groneman-Hesperia.
Voor informatie:
Groneman-Hesperia BV
Postbus 24
7550 AA Hengelo
Tel.: 074 – 434545.

Ontwikkelingsplan Informatica-onderzoek van het CWI

"Nederland moet en kan in maatschappelijk en economisch opzicht een sterke positie verwerven op het zich snel ontwikkelende terrein van informatie en informatietechnologie', aldus het Informatica-Stimuleringsplan (ISP) waarin de regering een aantal aanbevelingen doet. Het Centrum voor Wiskunde en Informatica (CWI) is hierbij een belangrijke rol toegedacht. De Stichting Mathematisch Centrum, die het CWI beheert, heeft in dit verband een Ontwikkelingsplan opgesteld, waarin staat dat het CWI bij de keuze van de onderzoeksplannen sterker aandacht zal geven aan de toepasbaarheid van de resultaten en de overdracht ervan naar het bedrijfsleven. Het onderzoek zal zich in de komende vijf jaar toespitsen op de volgende vier gebieden:

- algoritmiek;
- programmatuur;
- gedistribueerde en interactieve systemen;
- patroonherkenning en kunstmatige intelligentie.

De eerste drie genoemde gebieden sluiten aan bij reeds bestaand onderzoek op het CWI en bij de daar aanwezige expertise; binnen het laatste thema betreft het voornamelijk nieuwe onderzoeksprojecten op een gebied waar Nederland een achterstand in moet lopen. Alle bovengenoemde thema's zijn in het ISP aangegeven als prioriteiten wat betreft het informatica-onderzoek in Nederland.

INFORMATICA-STIMULERINGSPLAN
De informatica als discipline onderzoekt en ontwikkelt wetenschappelijke methoden en technieken voor het ontwerpen, specificeren, construeren en evalueren van systemen, zoals programmatuur, architectuur, talen, netwerken en gegevensbestanden. Aan systemen voor uiteenlopende toepassingen bestaat een grote en toenemende maatschappelijke behoefte. Met betrekking tot het gebruik van de resultaten van de informatica bij de feitelijke systeemontwikkeling bestaat in Nederland een niet te miskennen achterstand.
Met het ISP wil de regering bevorderen dat Nederland zijn positie op het terrein van de informatietechnologie versterkt. Daartoe wordt de samenwerking gestimuleerd tussen onderwijs, onderzoek, marktsector en publieke sector. Een van de aanbevelingen is dat het CWI zal uitgroeien tot een toonaangevend centrum voor fundamenteel en toepassingsgericht informatica-onderzoek. In het Ontwikkelingsplan van het CWI wordt uiteengezet hoe dit verwezenlijkt zou moeten worden.

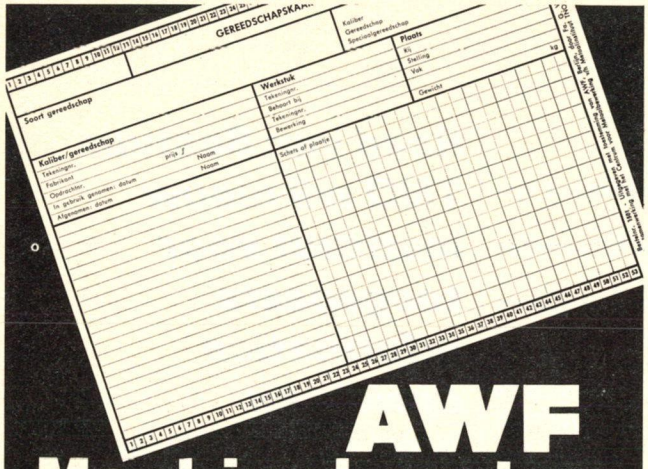
CENTRUM VOOR WISKUNDE EN INFORMATICA
Het CWI is het onderzoeksinstituut van de Stichting Mathematisch Centrum, die gefinancierd wordt door de Nederlandse organisatie voor Zuiver-wetenschappelijk onderzoek (ZWO). Het samengaan van wiskunde en informatica binnen een instituut is een vruchtbare combinatie gebleken en blijft benadrukt in het beleid van het CWI. Dit komt ook naar voren in de keuze van bovenstaande onderzoeksthema's.
Voor nadere informatie: Dr. J.C.P. Bus (tel.: 020 – 5924173).

Raad van Bestuur TNO wil nieuw instituut voor toegepaste informatica oprichten

De Raad van Bestuur TNO heeft het beleidsvoornemen om op een nader te bepalen tijdstip een nieuw TNO-instituut voor Toegepaste Informatica op te richten. Het instituut zal zich bezighouden met onderzoek, ontwikkeling, begeleiding en advieswerk in de werkgebieden toegepaste informatica, mathematische statistiek en toegepaste wiskunde; gezorgd zal worden voor de voor deze werkzaamheden benodigde rekencapaciteit. Vestigingsplaats wordt Delft; het instituut zal onderdeel vormen van de Hoofdgroep Technisch-Wetenschappelijke Diensten TNO en zal binnen TNO ook een centrale coördinerende en stimulerende functie op programmatisch gebied vervullen voor het tot stand brengen van een expliciet, herkenbaar en samenhangend beleid op het gebied van de informatietechnologie.

Op hetzelfde tijdstip zal het bestaande Instituut TNO voor Wiskunde, Informatieverwerking en Statistiek (IWIS-TNO) worden opgeheven en wordt in Den Haag een Administratief Automatiseringscentrum ingesteld. Dit centrum, belast met het administratieve "rekenwerk" ten behoeve van de TNO-organisatie, wordt ondergebracht bij de centrale Staven en Diensten van TNO, met de voor het takenpakket benodigde computerfaciliteiten.
Belangrijk motief voor de reorganisatie is het aanbrengen van een zowel technische als organisatorische scheiding van het administratieve "rekenwerk" voor TNO en het technisch-wetenschappelijk rekenwerk.

De Raad van Bestuur acht het ten behoeve van een grotere duidelijkheid en een betere profilering wenselijk dat de interne taken van het huidige IWIS-TNO – ten behoeve van de TNO-organisatie zelf – en de taken ten behoeve van externe opdrachtgevers helder worden onderscheiden.
De Raad van Bestuur stelt vast, dat in het kader van de voorgenomen reorganisatie een aantal gedwongen ontslagen vrijwel onvermijdelijk zal zijn.



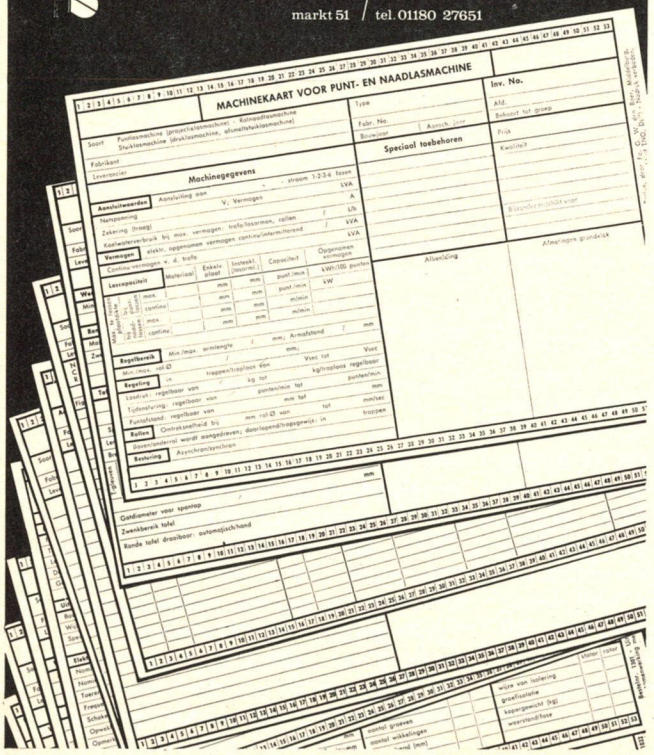
AWF Machinekaarten

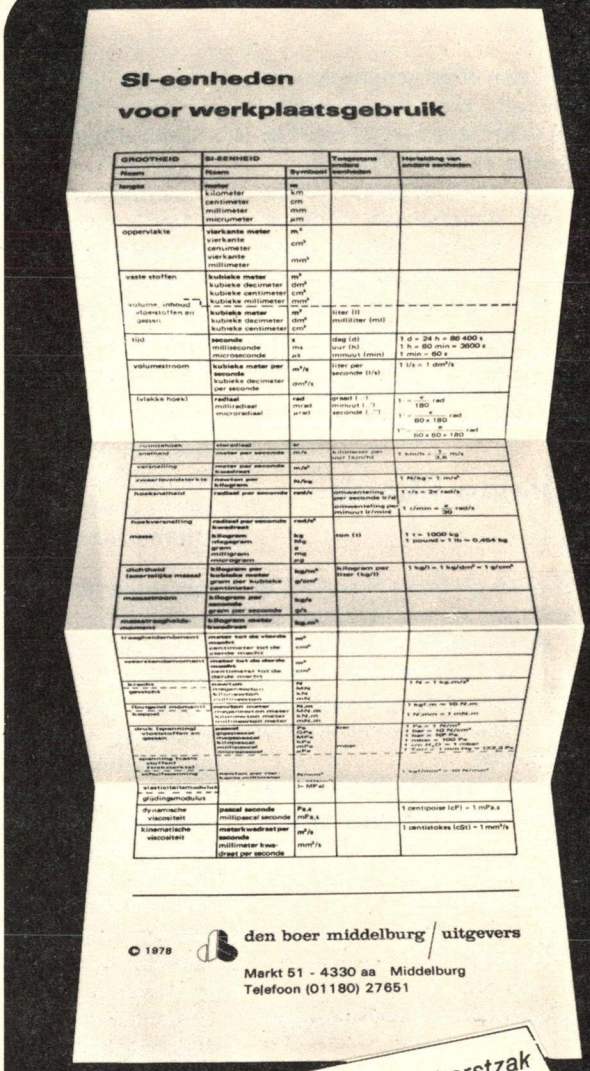
BASIS VOOR DE PLANNING

Als u geen volledig inzicht hebt in de bezetting van uw machinepark, hoe kunt u dan een optimale indeling van de ruimtelijke bezetting maken?
Dat kunt u dan niet.
Maar zo'n volledig inzicht — op elk moment van elke dag — garandeert u een up to date AWF *) machinekaartensysteem.
Beschikt uw onderneming daarover en is het up to date?
Zo niet, dan is het hoog tijd, dat het systeem geïntroduceerd of bijgewerkt wordt: u kunt het volgende week hard nodig hebben.
Overtuig u zelf van zijn nut: laat een proefstel komen!

*) Allgemeines Werkschaft-verband Frankfurt, voor Nederland aangepast in samenwerking met het Centrum voor Metaalbewerking TNO

den boer middelburg / uitgevers
markt 51 / tel. 01180 27651





HANDIG

Vouwtabel met alle in de werkplaats voorkomende SI-eenheden.

Tweezijdig geplastificeerd: voorkomt vuil worden en slijtage.

PRIJS:

10 - 49 exemplaren	f 2.50 p.ex.
50 - 99 exemplaren	f 2.25 p.ex.
100 - 249 exemplaren	f 2.— p.ex.
250 - 499 exemplaren	f 1.50 p.ex.
500 en meer	f 1.25 p.ex.

* Minimum afname 10 exemplaren.

ex tabellen SI-eenheden.

Zend mij _____
Naam _____
Adres _____
Plaats _____

in open envelop zonder postzegel zenden aan
METAALBEWERKING
Antwoordnummer 22
Middelburg

Asferica I

Optomechanica, een ultrafijne bewerkingstechniek

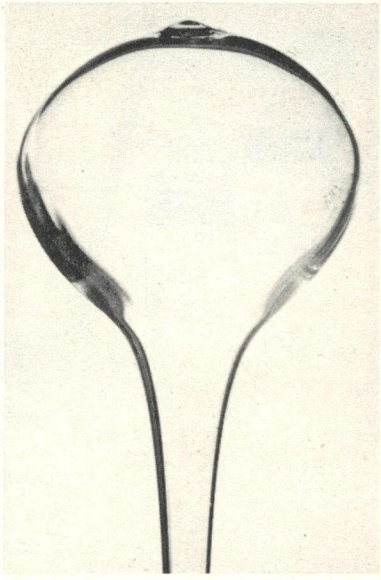
Dr.ir. J. Haisma en
ir. T. Gijsbers, Philips Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven

Het begrip "optomechanica" wordt door ons gemeenlijk gehanteerd als het gaat over het fabriceren van uiterst nauwkeurige asferische *optische* elementen door middel van *mechanische* (verspanende) bewerkingen op numeriek bestuurde machines. De ter controle van zulk werk uitgevoerde metingen zijn ook van optische aard. Tot de bedoelde bewerkingen wordt zowel het draaien als het (glad)slijpen gerekend.
Dit eerste deel beperkt zich tot een inleiding over de nieuwe methode van fabriceren en een afweging van haar positie binnen de toegepaste geometrische optica. Daar zijn de laatste jaren de grote veranderingen vooral veroorzaakt door de steeds verder gegane verfijning van het draaien als bewerkingsmogelijkheid. Veel van het optomechanische werk dat binnen het Natuurkundig Laboratorium is verricht op de COLATH, de in 1978 in gebruik genomen precisiedraaibank met computerbesturing, illustreert die vooruitgang in de toegepaste geometrische optische optica [1, 2]. Het geboekte resultaat lijkt niet toevallig; in de toegepaste optica heeft het te baat kunnen nemen van een nieuwe fabricagemethode – inclusief meten en beproeven – meer dan eens de kans op succes vergroot. Ook optomechanica is zo'n methode gebleken, de reden waarom dit artikel begint met gegevens over de kwaliteiten ervan en iets uit de voorgeschiedenis.

In de jaren zeventig waren slechts weinige instituten en bedrijven actief betrokken bij het technisch-wetenschappelijk onderzoek aan deze nieuwe methode van fabriceren. Men heeft toen op een enkele speciale machine bij het numeriek bestuurde draaien met diamantbeitels de bewerkingsnauwkeurigheid weten te bereiken welke op precisiebanken met handbediening alleen mogelijk was voor eenvoudige vormen, zoals platte vlakken en omwentelingscilinders. Die bewerkingskwaliteit is redelijk vergelijkbaar met de resultaten van het conventionele ultrafijne slijpen en (glad)polijsten. De laatstgenoemde, soms nog met de hand uitgevoerde, bewerkingen werden – en worden – gebruikt voor het maken van lenzen en spiegels van de hoogste kwaliteit.

Voor een aantal materialen, zoals verspaanbare kunststoffen en non-ferrometalen en hun legeringen, begon het in de tweede helft van de genoemde periode te gelukken de afwijkingen in

In één van de weinige overgebleven microscopen van Antoni van Leeuwenhoek (1632–1723) zit een dubbelbol lensje dat asferisch is en dat hoogstwaarschijnlijk niet door slijpen gemaakt is. De asfericiteit veroorzaakt het grote scheidend vermogen; de nu nog constateerbare waarde van 1,35 µm is een factor anderhalf à twee beter dan het scheidend vermogen van de lensjes in de andere microscopen van Van Leeuwenhoek. Een toevalligheid, of een extra bewijs van het scherpe opmerkingsvermogen van de beroemde Delftenaar? We weten het niet. Of Van Leeuwenhoek zelf die lens heeft gemaakt en hoe precies, weten we evenmin. Wel heeft een Nederlandse opticus onlangs laten zien dat bij het blazen van een glazen bol met een diameter van enige centimeters op een top een verdikking ontstaat, die soms goed bruikbaar is als sterk vergrotend (asferisch) lensje. De titelfoto toont zo'n bol met de verdikking centraal op de bovenkant ervan. Twee Duitsers, de broeders Von Uffenbach, bezochten Van Leeuwenhoek in Delft, toen deze al achtenzeventig jaar was, en veel later rapporteerde een van hen het besprokene in het boek "Merkwürdige Reisen durch Niedersachsen Holland und Engelland" (Ulm 1754). Daaruit blijkt dat de andere broer destijds Van Leeuwenhoeks commentaar dergelijke lenzen, die niet rond waren, door blazen te kunnen maken, gewoon aanzag voor "Holländisch gejockt". Blazen, vond deze Von Uffenbach, kan niet anders dan tot een zuivere bolvorm leiden. De man sprak in zoverre een profetisch woord dat tegenwoordig asferische lenzen inderdaad niet worden geblazen. In plaats van riskant handwerk is er bij Philips als fabricagemethode het ultrafijne draaien en slijpen op de COLATH, een speciale draaibank die in jaargang 21, 1981, nr. 3 en 4 van Mikroniek beschreven is. Ondanks veel automatisering is die moderne bewerkingstechniek een boeiende activiteit gebleven, met "optomechanische" topprestaties zoals een oppervlakteruwheid die beneden 5 nm blijft (duidelijk minder dan een procent van de lengte van een lichtgolf in het rood!). Hoe aantrekkelijk de voordelen van asferische brekende oppervlakken in de toegepaste geometrische optica wel zijn en hoe het ontwerpen, alsmede het maken en meten ervan, mogelijk is, komt in dit in twee delen gesplitste artikel Asferica goed naar voren. Wie beeldfouten op de schaal van een micrometer en minder te lijf wil gaan – nodig bijvoorbeeld voor de uitleessystemen bij Compact Disc en LaserVision platen – mag in zijn fabricagemethodes derhalve de corresponderende, uitzonderlijk kleine toleranties voor de vorm der lenzen, etc. niet negeren. De benadrukte "optomechanische" bewerkings-

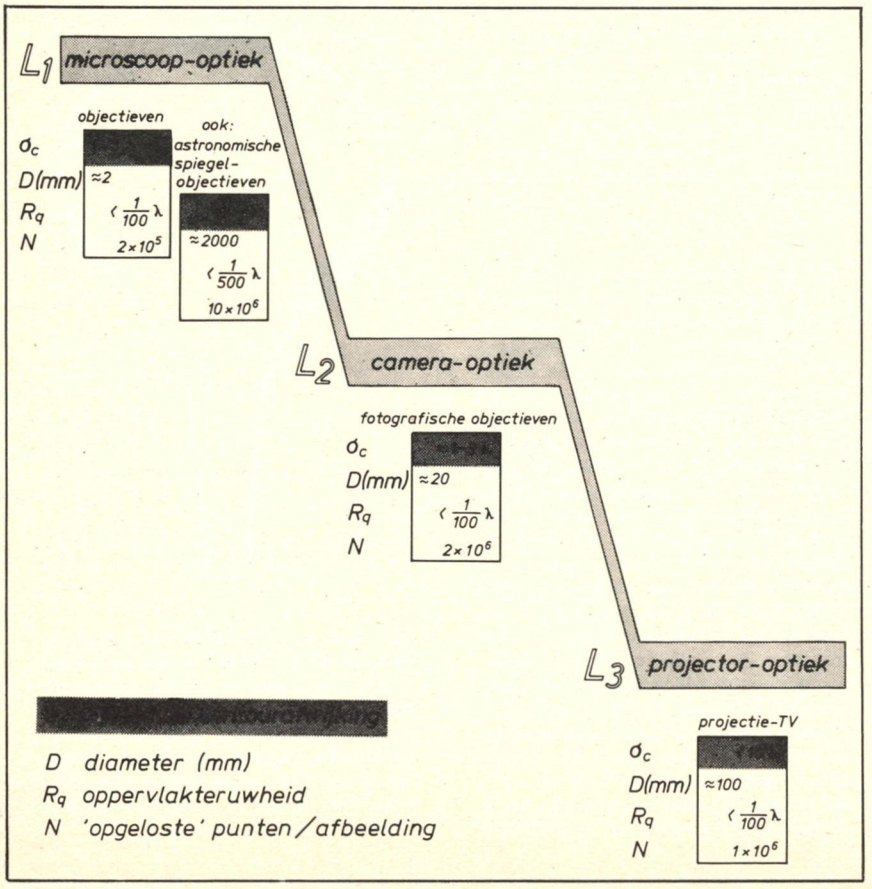


techniek voor het maken van asferische afbeeldingselementen blijkt aantrekkelijke oplossingen te bieden, waarmee inmiddels een ervaring van een achttal jaren is opgebouwd. Zoals ook in dat historische gesprek van de Von Uffenbachs met Van Leeuwenhoek gebeurde, krijgt in dit artikel de vraag naar het hoe van het maken de voorrang.

de vorm van de asferische werkstukken bij het draaien kleiner te houden dan een paar tienden van 1 μm, terwijl men er tevens in slaagde de oppervlakteruwheid tot waarden kleiner dan 20 nm (piek-dal) te reduceren [1].
Ook voor enige soorten optisch glas kon in die zelfde tijd een methode van (transparant) verspanen, met beitels van bijvoorbeeld hafniumnitride, worden ontwikkeld, zij het zonder numerieke besturing [3]. De daarmee bereikte oppervlakteruwheden hadden overeenkomstige waarden, maar de afwijkingen in de vorm lagen een orde van grootte ongunstiger dan het zojuist genoemde getal.
Naast het draaien als technische vaardigheid, heeft ook het slijpen en polijsten een uitgebreide geschiedenis. Vooral voor het maken van brilleglazen is het slijpen en polijsten van glas waarschijnlijk in de veertiende eeuw reeds beoefend, zo niet eerder. Het bewerken van verschillende materialen op een soort draaibank moet al de Romeinen vertrouwd zijn geweest.
Het draaien en het slijpen (polijsten) zijn dus heel oude vakgebieden, wat bepaald niet betekent dat er nu weinig in zou omgaan. Sinds het samenkomen van deze twee gebieden op ongeveer één zelfde niveau van nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid nog niet zo lang geleden, mag men van de verdere ontwikkelingen, die nu immers gemeenschappelijk kunnen verlopen, een versterkte aanzet tot innovatie verwachten.
Binnen een paar jaar heeft zo, in het verlengde van de bestaande vaardigheden, de optomechanica als ultrafijne bewerkingstechniek gestalte gekregen. In overeenstemming met de naam vormen de problemen van de optica – meestal die van de toegepaste geometrische optica – een krachtige stimulans voor degenen wie de nieuwe bewerkingsmogelijkheden ten dienste staan. De flexibele veelzijdigheid vloeit voort uit de mogelijkheden die een geavanceerde numerieke besturing van de betrokken draaibank oplevert. Daardoor blijkt het maken van allerhande asferische oppervlakken, en natuurlijk ook van sferische oppervlakken (beide rotatiesymmetrisch), nagenoeg alleen een kwestie te zijn van aangeven van de coördinaten voor de verlangde contouren. ("Nagenoeg" is hier gebruikt ter waarschuwing. Ondanks de automatisering zijn in het werk met machines zoals de COLATH menselijke zorg, deskundigheid en regelmatige controle onontbeerlijk, in het bijzonder ook bij de voorbewerkingen).

Verder ontwikkelingswerk aan de COLATH, verricht het Natuurkundig Laboratorium, heeft geleid tot de vervaardiging van een slijptol. Deze kan, in plaats van de beitel, op de machine worden gemonteerd. De faciliteiten van de numerieke besturing gelden ook voor de slijptol.
Op deze wijze is men erin geslaagd het draaien en het (glad)slijpen als precisiebewerkingen samen te brengen binnen het kader van één, grotendeels geautomatiseerde techniek voor "punt-coördinaatbewerking". De typering "punt-coördinaat" houdt in dat deze techniek voor draaien en slijpen (tot en met "polijstkwaliteit") gebruik maakt van een contactgebiedje met de maten van een "punt" (grootste afmeting enige tientallen μm).

De onnauwkeurigheid van de COLATH is absoluut gerekend ca. 1 μm binnen zijn totale werkgebied (van 200 bij 200 mm). Dit getal is inclusief de aligneringsfouten in de machine en de afrondingsfouten voortvloeiend uit de numerieke besturing. Bij de kleinere oppervlakken is de behaalde absolute



Tabel 1. De voor de vervaardiging van lenzen en spiegels in de toegepaste geometrische optica relevante precisie. De drie daarin onderscheidbare niveaus (L_i), die betrekking hebben op de hoogste nauwkeurigheid, een middengebied en de lagere waarden, zijn aangeduid met resp. "microscoop-optiek", "camera-optiek" en "projector-optiek". De gekozen namen refereren aan de instrumenten of toestellen die op het betrokken niveau het meest worden gemaakt. Het onderscheid berust hoofdzakelijk op het verschil in maximale contourafwijking (= langzame vormfout) van de lenzen en spiegels. Alle afwijkingen – gerekend ten opzichte van een "ideale" vorm – zijn uitgedrukt in λ, de gemiddelde golflengte van het in het betrokken instrument te gebruiken deel van het spectrum. De ruwheidstoleranties (R_q) zijn een maat voor de gladheid van de gemaakte oppervlakken. (Zie vooral de paragraaf "Bewerkingscontrole" in deel II). Voorbeelden van de diverse lenzen en spiegels, met een karakteristieke afmeting (de diameter D), zijn in de tabel opgenomen. De grootheid N is een maat voor het scheidend vermogen; het getal is een schatting van het maximale aantal voorwerpspunten dat per afbeelding goed gescheiden kan worden waargenomen.

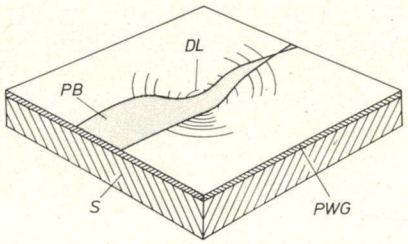
nauwkeurigheid nog beter (afwijkingen kleiner dan 0,2 μm). De oppervlakteruwheid van de werkstukken blijkt tot waarden kleiner dan 10 nm (topdal) te kunnen worden gereduceerd. Identiek bedoelde werkstukken vertonen maatverschillen die kleiner dan 50 nm kunnen zijn.

Het geïntroduceerde slijpen vormt de garantie dat harde en brosse materialen (optisch glas, diverse staalsoorten) ook goed kunnen worden bewerkt, en dus als werkstukmateriaal niet behoeven te worden vermeden. Uitzonderingen daargelaten, kan in de praktijk aan de vaak strenge eisen van de toegepaste geometrische optica goed worden voldaan.

In hun algemeenheid corresponderen die eisen met een aantal niveaus van nauwkeurigheid; gewoonlijk onderscheidt men er drie. *Tabel 1* bevat deze drie niveaus met enkele van hun karakteristieke getallen, alsmede voorbeelden van de verschillende typen optische componenten of stelsels die erbij betrokken zijn. De "gemiddelde" golflengte van het te gebruiken deel van het spectrum is een goede eenheid van lengte om dit soort gevallen te bekijken. Naar verwachting zal de optomechanica het meest bijdragen aan toepassingen op de hoogste nauwkeurigheidsniveau. De eerste belangstelling hiervoor op industriële schaal is binnen het Philips Concern intussen duidelijk aanwezig. Zeker op wat langere termijn is echter een verschuiving naar de twee groepen met minder nauwkeurigheid niet uitgesloten.

De vervaardiging van sterk asferische oppervlakken van optische kwaliteit is het grootste winstpunt dat de optomechanica in haar korte bestaan al heeft gebracht. Dit is van zoveel belang, omdat men sedert lange tijd uit berekeningen weet dat het vervangen van twee sferische vlakken in een optisch stelsel door *asferische* omwentelingsvlakken zowel sferische aberratie als coma, twee ernstige beeldfouten, zou moeten kunnen elimineren.

Bovendien wordt de laatste tijd intensief ontwikkelingswerk gedaan aan planaire optica, waarbij zg. geodetische componenten veel aandacht krijgen [4]. Zulke optische elementen geleiden lichtbundels volgens geodetische lijnen *op hun oppervlak*. (Geodetische lijnen van een oppervlak zijn de kortste lijnen die gegeven paren punten ervan verbinden en die geheel in het desbetreffende oppervlak liggen). Dergelijke oppervlakken kunnen sterk asferisch gebogen omwentelingsvlakken zijn; de geleiding is bedoeld om lichtbundels te besturen, dat wil zeggen af te buigen, te verdelen, of te focusseren (figuur 1).



Figuur 1 In het nogal nieuwe gebied der planaire optica bestudeert men de voortplanting van licht in een vlakke golfgeleider (PWG). Een asferische deformatie van het vlak van de golfgeleider kan lenswerking doen ontstaan, zoals hier is afgebeeld. Een dergelijke lens (DL) wordt wel een geodetische lens genoemd, omdat de lichtstralen geodetische curven volgen (Engels: depression lens). PB de te focusseren vlakke lichtbundel. S substraat van de golfgeleider.

Bij zeer nauwkeurige lenzen en spiegels lijkt tegenwoordig de uitrusting met asferische oppervlakken het gehele traject te hebben doorlopen van een theoretisch idee, aantrekkelijk maar nauwelijks te verwezenlijken, tot een betrouwbare industriële uitvoerbaarheid, snel en efficiënt [5]. Om beter te begrijpen wat voor veranderingen de optomechanica meebrengt, brengt, helpt het wellicht hier de klassieke optische fabricage in herinnering te roepen [6]. Asferische elementen in het bijzonder veroorzaakten grote problemen, hoofdzakelijk omdat, zoals Scott het uitdrukt [6], "the natural actions of grinding and polishing force optical surfaces towards spheres". De standaardtechniek voor slijpen en polijsten, die gebruik maakt van contact over het gehele oppervlak, biedt het voordeel dat de nauwkeurigheid van de vorm en de kwaliteit (gladheid) van het oppervlak van de optische component gelijktijdig worden verbeterd. Dit voordeel gaat echter verloren zodra asferische vlakken bewerkt moeten worden, aangezien bij de roterende bewegingen dan een permanent contact over het gehele oppervlak in het algemeen niet mogelijk is.

De standaardmethode van slijpen en polijsten voor de fabricage van optische elementen maakt gebruik van machines met twee roterende onderdelen waarvan de oppervlakken in slippend contact zijn. Het eerste onderdeel, het "blok", draagt de in bewerking zijnde lens of spiegel; via het tweede, de "kom", wordt een (zacht) schuurmiddel toegevoegd, zoals poedervormig aluminiumoxide gemengd met water. Het slijpen (of polijsten) vindt plaats in het contactgebied dat de beide roterende onderdelen gemeen hebben. Een van beide, doorgaans het blok, wordt aangedreven door een vertikale as, hetgeen het andere deel een zodanige rotatie geeft dat elk punt van het onderste vlak wrijft langs ieder punt van het bovenste. Het werk wordt hier gedaan door een "oneindig" aantal (losse) poederkorrels gezamenlijk, dit in duidelijk contrast met de bewerking in één "punt" op een draaibank, zoals dat op de COLATH gebeurt.

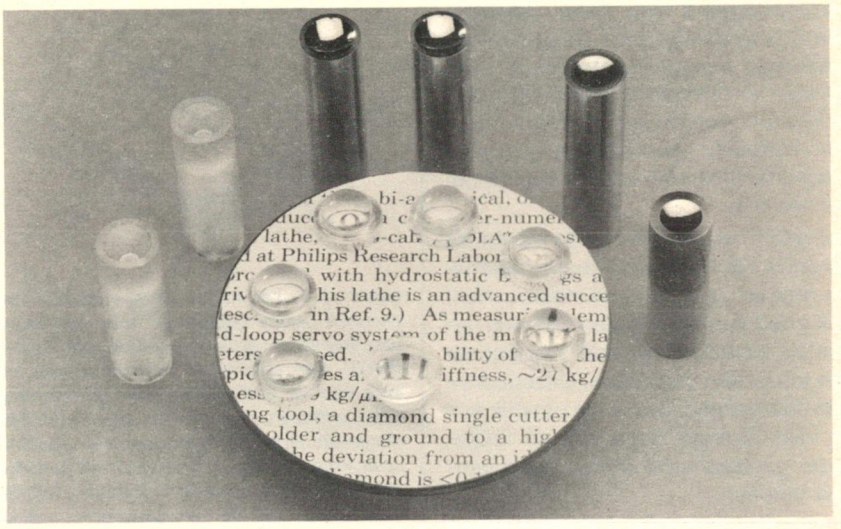
De fabricage van brilleglazen vormt eigenlijk de enige tak van de klassieke optische industrie met een grote produktie van asferische lenzen. De toleranties die voor brilleglazen optisch toelaatbaar zijn, hebben zulke grote waarden dat de gesignaleerde problemen en principiële moeilijkheden hun betekenis verliezen. Het maken van de goede lensvorm en het polijsten mogen *afzonderlijk* worden uitgevoerd. Een bepaalde lensvorm die door slijpen ontstaan is, en goed is, kan worden *na*gepolijst, zonder dat dit de goede vorm in visueel merkbare mate behoeft te beïnvloeden. Vanzelfsprekend horen de brilleglazen niet thuis op het niveau van de hoogste nauwkeurigheid in tabel 1. De zg. cilinderlenzen zijn een tweede, zij het minder belangrijk, voorbeeld van asferische lenzen die langs conventionele weg gemaakt kunnen worden. De klassieke technologie, kent ook nog een lijnvormig contactgereedschap, *een "schraper"*, om asferische oppervlakken te maken [6, 7]. De onnauwkeurigheid van zulke schrapers ligt in de orde van 10 μm, wat veel te groot is voor bijvoorbeeld de microscoop-optiek (tabel 1).

In *figuur 2* ziet men voorbeelden van hetgeen er op het ogenblik optomechanisch zoal kan. Door het draaien van een stuk kunststof op de COLATH is deze rij van slechts door natuurlijke buiging aan de rand begrensde, dat wil zeggen een zo groot mogelijk scheidend vermogen bezittende, biasferische lenzen gemaakt, met een numerieke apertuur van 0,43. De lens op de voorgrond in het midden heeft een nog veel grotere numerieke apertuur (0,85). De achterste rij laat vier stalen mallen zien voor het persen van glazen lenzen, alsmede een tweetal kwartsglazen mallen voor hetzelfde doel. De zes mallen zijn op de COLATH (glad)geslepen.

Deze goede resultaten, die nog zwaarder tellen door de sterk uitgebreide mogelijkheden voor de variatie in de te produceren lensvormen, betekenen

niet dat de optomechanica zonder problemen zou zijn. De draaibank, het gebruikte gereedschap en het werkstuk moeten in alle opzichten voldoen aan uitzonderlijk strenge eisen, bijvoorbeeld ten aanzien van besturingsmogelijkheden, kwaliteit der gereedschappen, stabiliteit, vorm van het voorbewerkte werkstuk. Het laatstgenoemde punt betekent dat de zogenaamde voorvorm van de gewenste optische component geen onregelmatigheden mag vertonen die machineresonanties zouden kunnen opwekken gedurende de bewerking.
De *technicus* achter de machine moet zich realiseren dat alle delen van een ontworpen optisch stelsel en alle betrokken gereedschappen en materialen nauwkeurig op elkaar dienen te zijn afgestemd. Bovendien behoort hij zich ervan te vergewissen dat zijn gereedschappen voor de ultrafijne bewerkingen in een zo goed mogelijke conditie verkeren. Dienovereenkomstig moet de *ontwerper* van een optisch stelsel kennis dragen van bepaalde beperkingen van de machine, bijvoorbeeld ten aanzien van de opspanmogelijkheden, alsmede van de maximaal toelaatbare asferische "steilheid". Goede communicatie tussen de technicus en de optische ontwerper vanaf het begin is een noodzakelijke voorwaarde voor succes in de optomechanica. De toepassing van optomechanica blijft technische afstemming vragen inzake functionele innovatie, ontwerpontwikkeing en kwaliteitsbewaking gedurende de voorbereiding en de fabricage (vorm, oppervlak, positionering qua centrering en klemming).

In het tweede deel van dit artikel komt een groep bi-asferische lenzen die met de COLATH gemaakt zijn, als een voorbeeld van gewone fabricage aan de orde. Verschillende bijzonderheden van de gevolgde bewerkingstechniek worden besproken. De hechte relatie tussen maken en meten (of beproeven) krijgt aandacht, evenals een indeling van vormfouten. Daarbij zullen de periodieke sporen op het oppervlak afkomstig van machinale bewerking en hun effect op de kwaliteitsbewaking worden behandeld, alsmede de oppervlakteruwheid. Tot slot komt de toepassing van de asferica in de optische uitleeseenheden van de systemen LaserVision en Compact Disc ter sprake. Hierop sluit aan een summiere beschrijving van het reeds in figuur 2 afgebeelde bi-asferische objectief met de bijzonder grote numerieke apertuur (0,85). Het wordt gebruikt voor het maken van de "Master"-platen in het reproduktieproces zowel voor Compact Disc als voor LaserVision.



Figuur 2 De afgebeelde voorwerpen zijn langs "optomechanische" weg tot stand gekomen op de COLATH. De lenzen, elk voorzien van twee asferische oppervlakken, zijn door draaien van polymethylmethacrylaat gemaakt, zonder enige nabewerking. De resterende oppervlakteruwheid en eventuele onnauwkeurigheden in de lensvorm zijn zo gering dat de grootste beeldfout de diffractie is, veroorzaakt door de begrensdheid van de lensaperturen. De overige voorwerpen zijn mallen, van staal en van kwartsglas, bedoeld voor het persen van glazen lenzen. Deze mallen zijn op de COLATH geslepen; ook zij voldoen aan de hoogste eisen van gladheid en vormnauwkeurigheid.

Literatuur

[1] T.G. Gijsbers, De COLATH, een numeriek bestuurde draaibank met zeer hoge precisie, Philips Techn. T. 39, 205–221, 1980
[2] J. Haisma, E. Hugues en C. Babolat, Realization of a bi-aspherical objective lens for the Philips Video Long Play system, Opt. Lett. 4, 70–72, 1979.
[3] R. Brehm, K. van Dun, J.C.G. Teunissen en J. Haisma, Transparent single-point turning of optical glass: phenomenological presentation, Precision Eng. 1, 207–213, 1979.
[4] S. Sottini, V. Russo en G.C. Righini, Geodesic optics: new components, J. Opt. Soc. Am. 70, 1230–1234, 1980
[5] Aspheric optics: design, manufacture testing, Proc. SPIE 235, Soc. Photo-Opt. Instr. Eng., Bellingham, WA, 1980
[6] R.M. Scott, Optical manufacturing, in: R. Kingslake (red.), Applied optics and optical engineering, Vol. III, Academic Press, New York 1965, blz. 43–95
[7] Bij de afwerking van omwentelingsoppervlakken waaraan kegelsneden ten grondslag liggen, bijvoorbeeld een paraboloïde, is de natuurlijke en wederzijdse correctie tussen oppervlak en "schraper" mogelijk. Zie L.C. Martin, Technical optics, Vol. II, 2e druk, Pitman, Londen 1961, blz. 353–356.

OPTOCOP: Precisie kopieermachine voor submicron produkten met een variabele kromtestraal

C.F.J. Geerts*,
G.H. Veldhuizen †

Teneinde produkten met een variabele △ R/θ relatie (asferica) te kunnen vervaardigen in het submicron gebied, is op het Natuurkundig Laboratorium een kopieermachine van extreme precisie ontworpen, geschikt voor toepassing van zowel slijpen als draaien, Optocop genaamd.
Het opmerkelijke constructieve aspect van deze machine is de toepassing van zowel hydrostatische als aerostatische lageringen in combinatie met een nauwkeurig mechanisch kopieersysteem, werkend via een kopieermal van hoge precisie.

Een speciaal voor dit doel ontwikkeld computerrekenprogramma is gebruikt om de gecorrigeerde inputgegevens te verkrijgen die nodig zijn voor het, via numeriek bestuurd frezen, exact op het gewenste profiel brengen van de malomtrek.

Inleiding

Op het Natuurkundig Laboratorium van de Nederlandse Philips Bedrijven BV is enkele jaren geleden een superprecisie kopieerbank, Optocop genaamd, ontwikkeld en gebouwd, bedoeld voor het superfijn draaien van het frontale profiel en de omtrek van asferische componenten. Daartoe moest wel worden overgegaan omdat voor een dergelijk doel geen machines op de markt te verkrijgen waren.
Een nogal ingrijpende aanpassing was echter noodzakelijk ten behoeve van het onderzoek aan het dynamisch gedrag van zogenaamde folielagers, waarbij het in het bijzonder gaat om de invloed van variaties in de oppervlaktetopografie.
Hiervoor is dankbaar gebruik gemaakt van de in de Optocop aanwezige extreme geometrische precisie, die nu is gekoppeld aan de technologische mogelijkheden van het submicrondraaien met een éénpunts superprecisie beitel uit mono-kristallijne diamant en van het slijpen.
Opvallende specifieke kenmerken van deze Optocop-variant zijn onder andere:

- de goed afgestemde gecombineerde toepassing van geavanceerde, hoogwaardige aerostatische en hydrostatische lagerconstructies;
- een door een mal gestuurd, zeer nauwkeurig kopieermechanisme met een verhoudingsgewijs hoge overbrengingsverhouding van 1 : 100;
- het inzetten van speciaal hiervoor ontwikkelde software om de juiste gegevens te berekenen benodigd voor het numeriek bestuurd frezen van de exacte omtrek van de kopieermal, volledig rekening houdend met de minieme systematische afwijkingen voortkomend uit het Optocop-systeem zelf.

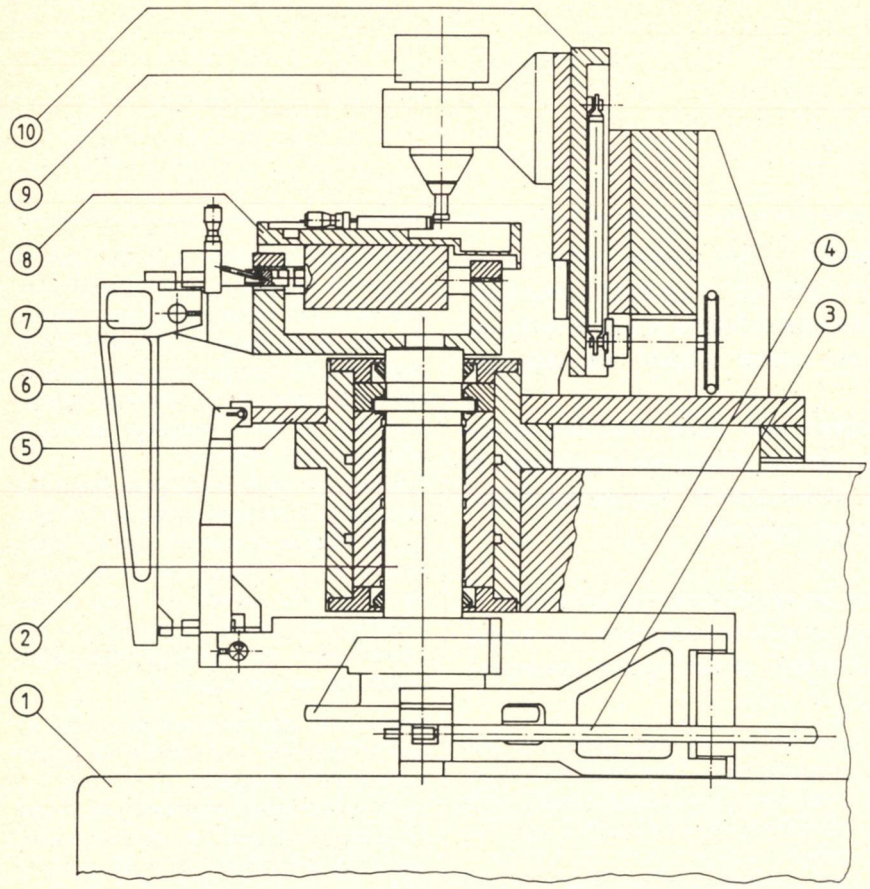
Een aantal aspecten van deze machine worden in dit artikel belicht; eveneens wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste gestelde eisen tegenover de uiteindelijk bereikte waarden.

Machinedelen, zie de figuren 1 en 2

Het mechanische deel van de Optocop is gemonteerd op een **granieten grondplaat**. Dit materiaal is bewust gekozen vanwege het uitstekend bruikbare samengaan van een aantal eigenschappen, zoals de relatief hoge eigenstijfheid en de hoge maatstabiliteit bij thermische en/of tijdsinvloeden. Bovendien is graniet betrekkelijk eenvoudig met hoge kwaliteit glad en vlak te bewerken, ook als de afmetingen groot zijn.
De grondplaat wordt gedragen door enkele bij Philips ontworpen pneumatische trillingsdempers, steunend op een gelast stalen freem, die de grondplaat horizontaal houden.
Thermische stabiliteit is in alle opzichten, zoals bekend mag worden verondersteld, van het allerhoogste belang bij het fijnbewerken. Onder andere daarom is de Optocop compact geconstrueerd, teneinde de warmte-invloeden een zo klein mogelijk absoluut effect te laten hebben.
Tevens zijn de ook bij deze machine aanwezige warmtebronnen verbannen uit de directe omgeving van de lageringen en de plaats van bewerking. Verder in dit artikel zijn nog enige maatregelen genoemd om ook in dit opzicht een zo optimaal mogelijke oplossing te verkrijgen.

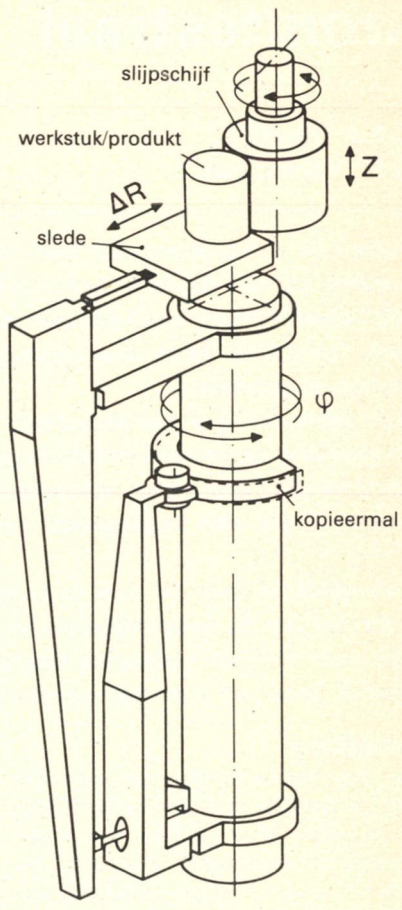
De **hoofdas** staat verticaal en roteert in een combinatie van radiale en axiale hydrostatische lagers.
Deze constructie verzekert een hoge kantelstijfheid, één van de voorwaarden voor een dergelijke in de micronsfeer werkende machine.
Nog een voordeel van de verticale stand is het feit dat hierdoor een gemakkelijke, natuurlijk verlopende terugloop van de uit de hoofdlagering lekkende olie verkregen wordt. Ook de lay-out van de werkstukslede – of ook wel de gereedschapslede als "omgekeerd" wordt gewerkt – wordt hierdoor aanzienlijk vereenvoudigd.
De verticale stand van de hoofdas zorgt er tevens voor dat de massa's van het kopieermechanisme en de werkstukslede de hoofdas tijdens de rotatie op gelijke wijze blijven belasten, waardoor het ontstaan van afwijkingen van de in de mal vastgelegde produktvorm in belangrijke mate wordt voorkomen; deze zouden bij een horizontale stand moeilijk te vermijden zijn geweest.
Ten tijde van het oorspronkelijke ontwerp is uiteindelijk gekozen voor hydrostatische lageringen gezien de gewenste gelijkblijvende lagereigenschappen over lange tijd en vanwege de grote technische kennis en de vele jaren ervaring die op dit gebied bestonden binnen het Natuurkundig Laboratorium van Philips.
De huidige ontwerpkennis en fabricagevaardigheid van aerostatische lagers zijn momenteel echter op een dermate hoog niveau terecht gekomen

* Medewerkers van het Natuurkundig Laboratorium van de Nederlandse Philips Bedrijven (G.H. Veldhuizen tot 1981).
Samensteller van dit artikel: J.L.C. Wijers



Figuur 1 Doorsnede van de Optocop in zijn huidige vorm. Duidelijk zijn de in dit artikel genoemde specifieke delen herkenbaar.

1. *Granieten grondplaat;*
2. *Hoofdas;*
3. *Hoofdasaandrijving;*
4. *Wrijvingswieloverbrenging;*
5. *Kopieermal;*
6. *Eerste hefboom;*
7. *Tweede hefboom;*
8. *Werkstukslede/gereedschapslede;*
9. *Pneumatische precisieslijpkop;*
10. *Slede voor de Z–beweging.*



Figuur 2 Schematische weergave van het gehele kopieersysteem waarin ook de diverse gekoppelde bewegingsrichtingen aangegeven zijn.

dat de moderne luchtlageringen zeker ook voldaan zouden hebben aan de toendertijd gestelde produktspecificaties.

De samengestelde **hoofdasaandrijving** bestaat uit een gelijkstroommotor – flexibel gemonteerd, thermisch gezien "los" van de machine op het onderframe – die een zogenaamde wrijvingswieloverbrenging aandrijft over een worm-/wormwieltransmissie.

De constructief vereiste voorspanning van het wrijvingswiel wordt verkregen door een veerbelasting op twee in het horizontale vlak scharnierde armen, die de belasting direct op het wrijvingswiel overbengen.

Op deze wijze is een compacte aandrijving tot stand gekomen die zonder merkbare back-lash is en, wat in dit geval nog belangrijker is, extreem kleine, nauwkeurige verplaatsingen kan teweegbrengen met een heel lage rotatiesnelheid (5 omw./uur).

Het **kopieersysteem** bestaat uit de kopieermal, de tastrol en het overbrengingsmechanisme (met een overbrengingsverhouding van 1 : 100); dit laatste is samengesteld uit de "eerste hefboom" waarmee de "tweede" hefboom in serie is geschakeld; elke hefboom geeft een reductie van 1 : 10.

De **kopieermal** is op korte afstand van de bovenzijde van de hoofdasbehuizing geplaatst, concentrisch met de buitenomtrek daarvan, waarbij een precisiemicrometerspil garandeert dat een hoge graad van repeteernauwkeurigheid voor deze bevestiging wordt bereikt.

Tengevolge van de hoge overbrengingsverhouding kan, uitgaande van de gewenste produkttoleranties, de benodigde vormonnauwkeurigheid gereduceerd worden op 0,02 mm. De chroomnikkelstalen mallen worden binnen de gevraagde nauwkeurigheid vervaardigd op een indertijd in eigen huis ontwikkelde numeriek bestuurde freesbank, maar ook – in geharde toestand – op een NuBe-draadvonkmachine; na de bewerking wordt de mal gelept.

De omtrek van de kopieermal wordt afgetast door de tastrol die gelagerd is in de "eerste hefboom"; de rol kan kantelen opdat bij al zijn bewegingen lijncontact met de mal verzekerd is.

Deze hefboom heeft als draaipunt een zogenaamd kruisveerscharnier (Bendix Free Flexural Pivot) dat onder voorspanning een kleine hoekverdraaiing zonder hysterese toelaat, als de tastrol door de mal wordt verplaatst.

Iets boven het kruisveerscharnier is een enkelvoudige bladveer aan de hefboom bevestigd, die de verbinding vormt met de "tweede hefboom" van het overbrengingsmechanisme; voor het elastische draaipunt van deze hefboom is een sterk "verjongde" as gebruikt. 20 mm boven deze verjongde as vormt een dubbel uitgevoerd bladveersysteem de verbinding met de werkstukslede. De afstand tussen de dubbele bladveer en de enkelvoudige onderste is exact 220 mm.

Op de **werkstukslede** wordt het werkstuk nauwkeurig gepositioneerd opgespannen. De dwarsbeweging (aanzet) ervan komt tot stand via een gecontroleerd verlopende elastische deformatie van een juk dat zelf een constructief element is van het tweede bladveersysteem.

Figuur 1 toont de uitvoering van de machine met een luchtgelagerde presicieslijpkop, geplaatst op een verticale slede (Z-as), die beweegt over een magnetisch voorgespannen luchtlager met een via een krukas instelbare slag. Gebruik wordt gemaakt van speciale, zelf ontwikkelde en vervaardigde slijpschijven.

Berekeningsmethode voor de kopieermal

Bij de meeste werkstukken of produkten waarvoor de Optocop ingezet wordt moet een asferisch oppervlak worden vervaardigd, met andere woorden de radius varieert ($\triangle R$) met de hoekpositie (θ).

Deze variabele kromtestraal wordt verkregen door de omtrek van de kopieermal te voorzien van een gelijkmatig stijgende functie – met een maximale stijgingshoek van 30° – die door de tastrol via het overbrengingsmechanisme op het werkstuk wordt overgebracht.
Gedurende het aftasten van de vorm van de mal kunnen echter een aantal afwijkingen optreden, die maken dat het profiel in het werkstuk geen volledig juiste afspiegeling is van de functie die op de mal is aangebracht.
Zo zal in werkelijkheid de overbrengingsverhouding van 1 : 100 enigszins variëren, al naar gelang de omtrek die wordt afgetast, omdat de lagering van de tastrol en de bevestigingen van de bladveren niet alleen transleren maar ook roteren.
Ook zullen afwijkingen in de produktvorm ontstaan door variërende contactconfiguraties tussen bewerkingsgereedschap en werkstuk, tenzij afdoende voorzorgen worden getroffen.

Teneinde de vorm van de kopieermal voor deze afwijkingen, hoe klein ook, te kunnen corrigeren, is een computerrekenprogramma ontwikkeld dat de computergegevens genereert die benodigd zijn voor het NuBe-frezen van de mal.

Omgeving

Speciaal voor het fijnbewerken in het submicrongebied zijn de omgevingscondities – zoals temperatuurvariaties, -niveau, waterdampgehalte in de omringende lucht, trillingen – van extreem belang en vaak van een kritische invloed.

Vandaar dat de Optocop in een geconditioneerde ruimte staat opgesteld. De temperatuur hiervan wordt binnen 0,25°C rondom het niveau van 20°C constant gehouden. In hoge mate wordt het eventuele optreden van oxydatie onderdrukt door koeling, die de relatieve vochtigheid op een niveau lager dan 50% RV houdt.

De dikke "losgesneden" vloer van de geconditioneerde ruimte, waarin zich de Optocop bevindt, is compleet van de rest van het gebouw geïsoleerd door de opstelling op een groot aantal speciale rubber bufferblokken. Het resultaat daarvan is een adequate isolatie van het apparaat ten opzichte van van buiten afkomstige trillingen.
De eigenfrequentie van de vloer was bij de bouw berekend op 7 Hz; in de praktijk is gebleken dat de bouwers uitgekomen zijn op de uitstekende waarde van 8 Hz.

Het hogedruk (4 MPa) hydraulische aggregaat bevindt zich in de kelder van het gebouw waarin de Optocop opgesteld staat, zodoende effectief gescheiden wordt van de door deze pompunit gegenereerde trillingen, geluids- en warmte-invloeden. De temperatuur van de in het hydraulische circuit toegepaste olie wordt door een cross-flow waterkoeling binnen nauwe grenzen gehouden, geregeld via thermostaten.

Resultaten

De hier beschreven weldoordachte combinatie van een bijna volledig stabiele omgeving, een fijnbewerkingsmachine van hoge kwaliteit en de als gevolg van een corrigerende software welhaast ideale kopieermal, leverde als resultaat produkten op die van een betere kwaliteit zijn dan de in aanvang gespecificeerde eisen; zie tabel 1.

	Toleranties (μm) gewenst	bereikt
Ruwheid piek-dal-waarde meetlengte 0,8 mm	0,05	0,02
Vormonnauwkeurigheid	0,4	0,2

Tabel 1 Oorspronkelijke specificaties en de bereikte waarden tegenover elkaar geplaatst

Onder andere voor de metingen van de oppervlaktegesteldheid en de vormonnauwkeurigheid is een speciaal, eveneens numeriek gestuurd, meetsysteem van zeer hoge precisie ontwikkeld.

Noot: Bekend is dat aan vrijwel elk onderzoek, dus ook aan het Optocop-project, een aanzienlijk aantal, meestal niet met name genoemde, medewerkers in meer of mindere mate bijdragen.
Dit artikel is mede bedoeld als een hommage aan de erbij betrokkenen!

Recente ontwikkelingen in de oppervlaktebehandeling van metalen

M. De Bonte,
J.P. Celis en
J.R. Roos, Departement Metaalkunde en Toegepaste Materiaalkunde, KU Leuven

Fundamenteel en technologisch onderzoek van oppervlaktebehandeling van metalen is tijdens het voorbije decennium uitgegroeid tot één van de hoofdonderzoeksactiviteiten van het Departement Metaalkunde en Toegepaste Materiaalkunde van de KU Leuven. Er is intussen een ruime infrastructuur en know-how opgebouwd zowel wat betreft de bereiding van deklagen als de bepaling van structuureigenschappen (korrelgrootte, textuur, inwendige spanningen) en functionele eigenschappen (slijtage, corrosie). Speciale aandacht wordt besteed aan composietdeklagen die elektrolytisch of stroomloos worden aangebracht. Door het inbouwen van fijne deeltjes (0,01 tot 100 μm) zoals oxyden, carbiden, metalen, diamant, in een metallieke deklaag kunnen unieke eigenschappen worden verkregen. Voortgezet fundamenteel onderzoek naar het mechanisme van codepositie heeft tot doel nieuwe composietdeklagen op maat te kunnen ontwerpen. Dergelijke deklagen kunnen gericht zijn op gebruik bij hogere temperaturen (uitstel van rekristallisatie bij b.v. Cu-Al_2O_3) betere slijtagebestendigheid en/of zelfsmeering (b.v. Cu-SiC, Ni-SiC, Ni-Al_2O_3, Au-Al_2O_3), of gebruik als snijoppervlakken (b.v. Ni-diamant, Ni-M_xC_y). Een aantal toepassingen werd in samenwerking met industriële partners ontwikkeld. Een procedure werd ontwikkeld voor het elektroformeren van Ni-Al_2O_3 produkten. Produktiemethode en eigenschappen van legeringsdeklagen, zoals Cu-Ni en Au-Co, worden eveneens bestudeerd, en recent werd onderzoek gestart naar de ontwikkeling van elektrochemische meettechnieken voor de on-line controle van badsamenstellingen. Bij de stroomloze (elektroless) deklagen wordt vooral aandacht besteed aan Ni-P en Ni-P + SiC voor slijtvaste deklagen.

Een onderzoeksprogramma werd gestart in verband met het gebruik van lasers en pulserende stromen bij de elektrolytische afscheiding van metalen. De ontwikkelingen op het gebied van deklagen uit de dampfase worden op de voet gevolgd.

Om de belangrijke aspecten hechting en slijtage van deklagen, en meer in het bijzonder het slijtagemechanisme van composietdeklagen te kunnen bestuderen, is recent begonnen met onderzoek in deze richting.

Het navolgende artikel geeft een algemeen overzicht van de op dit moment beschikbare oppervlaktebehandelingsmaterialen en -opbrengtechnieken.

Deklagen: toepassingen en produktiewijzen

Het bedekken van materialen, zowel vóór als na vormgeving, is één van de snel groeiende gebieden in de wetenschappelijke ontwikkelingen van deze eeuw. Materiaal- en deklagen-ontwikkelingen hebben zich op veel domeinen voorgedaan. In tabel 1 worden enkele toepassingsgebieden weergegeven.

Dat het gebied van de deklagen uitgebreid en divers is, moge ook blijken uit tabel 2. Hierin wordt een overzicht gegeven van de methoden om deklagen te produceren. De indeling is gemaakt naar de grootte van de neergeslagen materie: atomen (moleculen), fijne druppeltjes of massievere deeltjes. Bij de neerslagen van type 1 wordt de film gevormd door atomen die op het substraat condenseren en migreren naar plaatsen waar kiemvorming en groei optreedt. Gebeurt dit met een kleine energie dan slaan de deeltjes in op het oppervlak, bewegen over het oppervlak naar een geschikte plaats voor kiemvorming, condenseren en groeien tot een laag. Dit proces is bepalend voor de microstructuur en de kristallografie van de laag. Wordt de neerslag met een hoge energie opgebracht, dan penetreren de atomen in het substraatoppervlak of reageren ermee. Neerslagen van type (II) komen tot stand door fijne gesmolten of zelfs vaste deeltjes. De microstructuur van de neerslag hangt nu sterker af van het stol- en sintergedrag van de deeltjes. In neerslagen van type (III) (bulk) wordt in één stap een grote hoeveelheid materiaal aangebracht.

EIGENSCHAP	TOEPASSINGSGEBIED
elektrisch	geleiders, contacten, isolatoren, zonnecellen
chemisch	corrosiewering, deklagen met katalytische eigenschappen, elektrodes voor batterijen
optisch	reflecterende of transparante onderdelen voor laseroptica, architecturaal glas, zonnepanelen met deklaag voor selectieve absorptie
dekoratief	gealuminiseerde polymeren, goudkleurige, slijtagebestendige TiN-deklagen
mechanisch	zelfsmerende lagen (goud, MoS_2, WSe_2, hardchroom met PTFE), slijtage en erosiebestendige lagen (o.a. Cr, Ni-SiC, Ni-P, hardanodisatie), diffusiebarrières (TiN tussen In en Au)

Tabel 1: Toepassingen voor deklagen

In het kader van dit artikel zal speciaal worden ingegaan op evoluties in de deklagen voor gereedschappen en machine-onderdelen. Hierbij hebben de zgn. slijtagebestendige deklagen tijdens de laatste jaren een toenemende belangstelling gekend. Niet alle in tabel 2 vermelde methoden komen dus in deze tekst aan bod. Het accent

wordt gelegd op nieuwe technologieën die ruimer ingang vinden en voornamelijk gebaseerd zijn op vacuüm- en plasmatechnieken, op codepositie en op diffusie. Vooraf wordt nog enige aandacht besteed aan karakteristieken van slijtagebestendige deklagen*.

Eisen aan "slijtagebestendige deklagen"

Hoewel men geregeld spreekt van slijtagebestendige materialen hoort hierbij toch enige omzichtigheid: slijtagebestendigheid is géén materiaaleigenschap maar een systeemeigenschap. Slijtagebestendigheid is dan ook géén karakteristiek van een tandwiel uit materiaal y, maar van dit onderdeel in samenhang met het tegenlichaam, de omgeving (b.v. al dan niet gesmeerd, waarmee gesmeerd, hoog vacuüm), de bewerkingsvoorwaarden (toerental), de slijtagemechanismen, het gewenste effect (een hoger toerental).

Algemeen mag men wel stellen dat er een goede hechting gerealiseerd moet zijn tussen de deklaag en het substraat. Een aangepaste en zorgvuldige voorbehandeling is dan ook absoluut noodzakelijk. Vooral in het geval van periodische en transversale belastingen, verkrijgt men een superieur resultaat door ook chemische en mechanische karakteristieken op elkaar af te stemmen.

Chemische compatibiliteit verkrijgt men door de chemische affiniteit van de deklaag voor het substraat te maximaliseren, zonder nochtans een brosse intermetallieke fase te produceren. In bepaalde gevallen zal men zelfs moeten overstappen op meerlagensystemen waarin de naburige lagen compatibel zijn.

Voor toepassingen met een hoge belasting moet het substraat een voldoend hoge hardheid hebben, om de deklaag zonder vervorming te kunnen ondersteunen. De elasticiteitsmoduli van matrix en deklaag moeten op elkaar zijn afgestemd. Worden de beklede onderdelen bovendien belast door belangrijke temperatuurswisselingen dan horen de thermische uitzettingscoëfficiënten compatibel te zijn.

Wanneer eenmaal een gaaf deklagensysteem is gerealiseerd, worden de slijtagebestendige eigenschappen van de deklaag zelf van overheersend belang. Om slijtage te beperken worden, hoofdzakelijk 2 strategieën gevolgd: (I) door de hardheid van de deklaag te verhogen, verhoogt men ook de elasticiteitsgrens en beperkt of minimaliseert men de vervorming. Ongelukkig genoeg verhoogt men tegelijkertijd de gevoeligheid voor vermoeiïngsscheuren en voor brosse breuk. De slijtageweerstand wordt op spectaculaire wijze verhoogd indien de hardheid van de laag groter wordt dan die van het abrasief medium (II). Mechanische slijtage kan eveneens beperkt worden door een deklaag met een hoge ductiliteit te kiezen. Hierin ontstaat moeilijk een ductiele breuk; een extreme vervorming kan optreden maar er worden geen partikels uitgerukt. Zachte metallieke deklagen zijn zelfs bijzonder effectief in het voorkomen van slijtage door delaminatie; de abrasieweerstand is hier wel erg laag.

Atomaire neerslag	Neerslaan van fijne deeltjes	Neerslaan van massamateriaal	Oppervlaktewijzigingen
ELEKTROLIET	THERMISCH SPUITEN	BEVOCHTIGEND	CONVERSIELAGEN
elektrolyse	plasma	verven	elektrochemisch
stroomloos neerslaan	D-gun	dompelcoatings	oxyderen, anodiseren
elektrolyse in gesmolten zout	vlamspuiten		gesmolten zouten
chemische uitwisselingsreactie		ELEKTROSTATISCH SPUITEN	
	OPGESMOLTEN LAGEN	drukken	CHEMISCH IN VLOEISTOF
VACUUM	dikke film inkt		
vacuümopdampen	email	PLATEREN (CLADDING)	CHEMISCH IN GAS
ionenstraal		explossief	thermisch
moleculaire bundel	elektroforese	opwalsen	plasma
	IMPACT PLATING		
PLASMA		OPLASSEN	LOGEN
sputteren			
geactiveerd reactief verdampen			MECHANISCH
			shot peening
plasmapolymeriseren			
ion plating			THERMISCH
DAMPFASE			OPPERVLAKTEVEREDELING
chemical vapour deposition (CVD)			diffusie uit de massa
reductie			
ontbinding			SPUTTEREN
... door plasma versneld CVD			
Pyrolyse in nevel			IONENIMPLANTATIE
EPITAXIE UIT VLOEIBARE FASE			

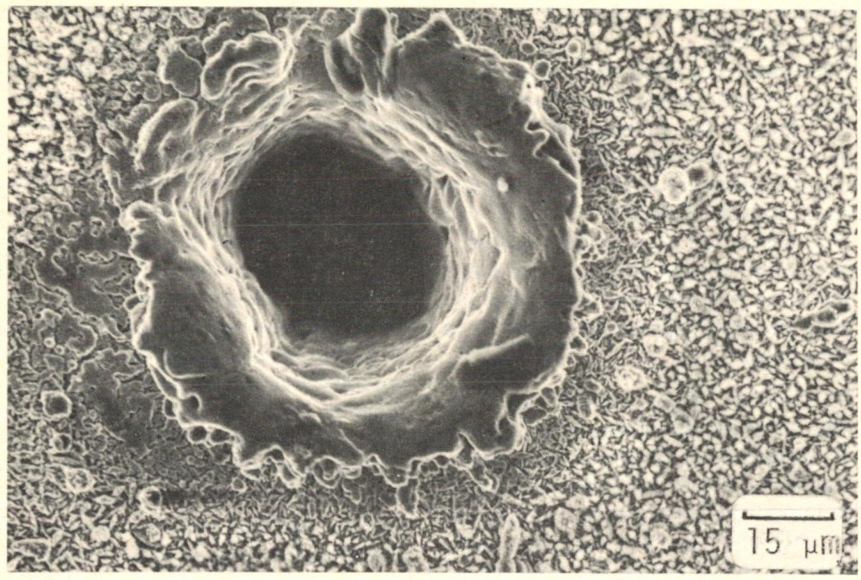
Tabel 2: Methodes om deklagen te produceren, ingedeeld naar de grootte van de neergeslagen stof (Bron, Bunshah)

Oppervlaktebehandelingen met laser

Door een laser gecreëerde energiegolven worden gebruikt om snelle en lokale temperatuursvariaties in materialen te induceren en aldus de oppervlaktekarakteristieken te wijzigen. Typische toepassingen van behandelingen met een laser (= light ampliciation of stimulated energy radiation) zijn:

- het oppervlakteharden door het induceren van fasentransformaties;
- het smelten van een dunne oppervlaktelaag, die men al dan niet zeer snel laat afkoelen (b.v. 10^7 K sec^{-1});
- het dichten van poreuze deklagen;
- het oppervlaktelegeren;
- het verbinden van twee of meer materialen;
- het inbouwen van deeltjes (b.v. TiC in een 5052 aluminiumlegering);
- het opruwen van walsrollen.

* De geïnteresseerde lezer kan b.v. ook het uitstekende VOM-vademecum "Oppervlaktetechnieken materialen" consulteren, waarin al deze technieken kort en overzichtelijk voorgesteld worden.



Figuur 1 Perforatie d.m.v. een laserstraal van een elektrolytisch vergulde messingband

Het zeer sterk gestegen aantal publikaties toont goed de groeiende interesse aan voor deze techniek. Er zijn nochtans enkele belangrijke beperkingen:
- laagsmeltende elementen verdampen uit de legeringen;
- men creëert een relatief ruw oppervlak, soms gewenst, doch nadelig voor de slijtagebestendigheid;
- de prijs en onderhoudskosten van de apparatuur zijn hoog;
- gevaar voor scheurvorming in het basismateriaal;
- om voldoende absorptie van de laserstralen te verkrijgen kan een speciale voorbehandeling vereist zijn.

Ionenimplantatie

Bij ionenimplantatie wordt onder vacuüm een bundel hoogenergetische ionen (typisch 5 tot 200 keV met een flux van ~ 10^{15} à 10^{17} atomen/cm^2) op een substraat gericht. Met analyserende magneten kan men de gewenste ionen afscheiden, en dus een welbepaald isotoop injecteren in de oppervlaktelaag van het substraat tot op een diepte van ca. 0,2 µm. De gevolgen zijn fysisch zowel als chemisch. Chemisch gezien kan men in het oppervlak klassieke legeringen vormen, zonder aan het dieper gelegen materiaal ook maar iets te veranderen. Doordat men nochtans ionen kan inbrengen ver boven de oplosbaarheidsgrens kunnen nieuwe legeringen, metastabiele fasen en volledig nieuwe niet-evenwichtsstructuren worden gevormd.

De fysische processen kunnen algemeen beschreven worden als stralingsbeschadiging. Men introduceert roosterdefecten, versnelt soms de diffusie, creëert eventueel een amorfe structuur. In andere gevallen schept het geïmplanteerde materiaal trek- of drukspanningen in het oppervlak.

Men kan stellen dat dit proces er zich goed toe leent de oppervlaktekarakteristieken van materialen te wijzigen, zonder de afmetingen van het voorwerp of de substraateigenschappen te wijzigen. Dit proces verloopt bovendien bij kamertemperatuur. Door ionenimplantatie kunnen de slijtagebestendigheid en hardheid van gereedschappen bijzonder verhoogd worden en kan men de katalytische eigenschappen van een oppervlak wijzigen.

Ionenimplantatie wordt reeds ruim gebruikt bij de produktie van halfgeleiders, maar is recent op commerciële basis beschikbaar in Engeland en in de USA voor het behandelen van gereedschappen, voornamelijk precisiegereedschappen en matrijzen, waarbij een standtijdverhoging met een factor 3 tot 6 wordt geclaimd.

Plasmaspuiten

Vlamspuiten is het aanbrengen van een metaallaag door middel van een proces waarbij een gesmolten of week materiaal met behulp van een spuitpistool op een grondmateriaal wordt aangebracht. In het begin was de temperatuur voor het smelten of verwerken beperkt door de oxyacetyleen vlam. Met het invoeren van plasmageneratoren werd het temperatuursplafond zodanig verhoogd, dat zowat alle materialen in gesmolten toestand kunnen worden verkregen.

Een plasma wordt wel eens als de vierde agregatietoestand beschouwd. Het bestaat uit een gas- of dampfase die tot een veel hoger energieniveau is gebracht dan de klassieke gasfase. In een plasma zijn de gasmoleculen opgebroken in een gelijke verhouding positieve ionen en vrije elektronen. Een plasma is dus neutraal, hoewel het ten dele uit elektrisch gescheiden ladingen bestaat. Een plasma volgt de klassieke wetten der fysica en thermodynamica niet. Onder meer het warmtetransport is zeer hoog vergeleken met dat van klassieke gassen.

Typische toepassingen zijn de bescherming van gasturbines tegen sulfidatie door deklagen rijk aan aluminiumoxyde en chroomoxyde, de applicatie van Ni-Cr-Al-Y- en Co-Cr-Al-T-legeringen en van keramische deklagen.

Men kan deklagen verkrijgen met een geringere porositeit en een lager oxydegehalte door het plasmaspuiten te verrichten in vacuüm of in een ruimte gevuld met inert gas.

Opspuiten met een schokgolf

Dit is een ontwikkeling op het gebied van metaalspuiten waarbij niet alleen zeer hoge temperaturen maar ook zeer hoge snelheden van de metaaldruppeltjes worden opgewekt. In het Engels spreekt men van detonation gun of D-gun. Hiermee wordt van alle spuitprocessen wellicht de beste hechting met de ondergrond verkregen, en de laagste porositeit.

Tijdens de bewerking wordt een mengsel van zuurstof en acetyleen in het kanon in gebracht, tesamen met een hoeveelheid poeder. Na ontsteking ontstaat een schokgolf die het poeder tot ca. 800 m.s^{-1} versnelt; tegelijk worden temperaturen tot ca. 4200°C bereikt. Na uitstoten van het poeder wordt het kanon met stikstof gespoeld. De cyclus herhaalt zich 4 tot 8 maal per seconde.

Toepassingen van deze deklagen vindt men in deklagen met hoge slijtageweerstand onder extreme gebruiksvoorwaarden, zoals dichtingen voor jetmotoren, compressor- en turbinebladen in vliegtuigen. Men beperkt zich meestal tot een dikte van 250 µm.

Sinds korte tijd wordt een systeem op de markt aangeboden waarbij niet met een schokgolf wordt gewerkt, maar waarbij het metallisatiemateriaal toch onder zeer hoge snelheid door de verbrandingsgassen op het werkstuk

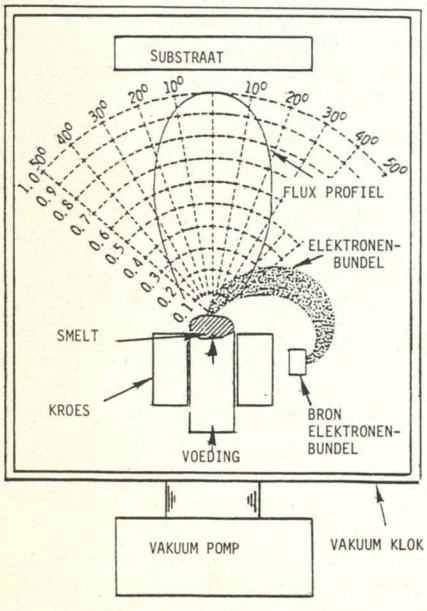
wordt aangebracht, bij temperaturen tot 2700°C. Hoewel het systeem veel goedkoper is dan het plasmaspuiten en het D-gun, en het ook veel manipuleerbaarder lijkt, zouden de eigenschappen intermediair zijn (en volgens de constructeur superieur).

Physical Vapour Deposition – PVD

In een PVD-proces worden metalen en metaalverbindingen, afkomstig van een bron in een hoog-vacuüm, neergeslagen op een substraat, het werkstuk. In dit domein is een veelheid van processen en varianten ontstaan, wat de overzichtelijkheid wel schaadt. Men kan evenwel steeds 3 fasen van het proces onderscheiden: (1) de synthese of vorming van het af te zetten materiaal; (2) het materiaaltransport naar het substraat; (3) afzetting op het substraat en groei van de deklaag.

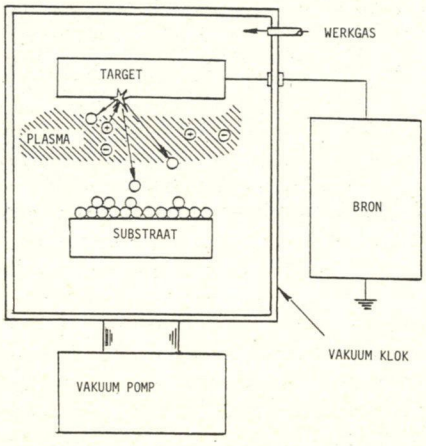
Deze stappen kunnen ten dele gesuperponeerd plaatsvinden, doch hoe onafhankelijker ze van elkaar kunnen worden gewijzigd en gecontroleerd, des te flexibeler is het proces. Hierdoor kan men b.v. de afzettingssnelheid en de structuur van de deklaag onafhankelijk maken van de substraattemperatuur.

Bij het **opdampen** worden de te behandelen werkstukken in een vacuüm (dikwijls minder dan 10^{-5} torr) blootgesteld aan de damp van het op te brengen materiaal. Het neerslagproces is dus een zuivere condensatie. De verdamping kan men bereiken door weerstands-, inductie-, elektronenstraal of laserverhitting. Toepassingen vindt men bij halfgeleiders, decoratie en optica. Enkele voorbeelden: aluminium op papier- en kunststoffolie en op voorbehandeld staal voor reflectoren. Het opdampproces is erg traag en de toepassingen blijven dan ook beperkt tot films dunner dan 0,1 μm.



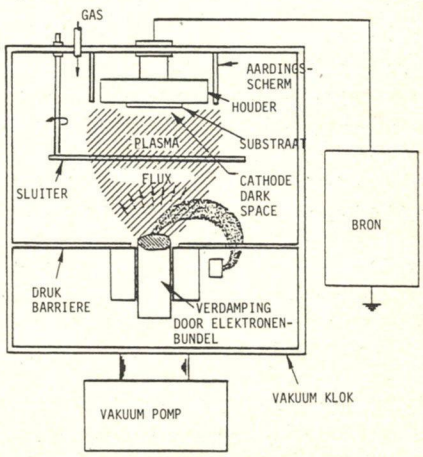
Figuur 2 Opdampingsproces gebruik makend van een elektronenstraal

Sputteren is de algemene benaming voor het proces waarbij materiaal uit het oppervlak van een vaste stof of een vloeistof wordt losgeslagen door de uitwisseling van energie in een bombardement met hoog energetische deeltjes. Voor de laatstgenoemde gebruikt men meestal argon. Het deklaagmateriaal dat aan de beschieting door argon wordt onderworpen, noemt men de target. In dit geval gebruikt men dus een sputterproces als techniek om het af te zetten materiaal in de dampfase te brengen. Daar de verdamping gebeurt door mechanische invloed, en niet door een chemische of thermische, is het proces erg universeel en kan men vrijwel elk materiaal in de dampfase brengen en als deklaag neerslaan. Op het eenvoudig sputteren zijn heel wat varianten mogelijk: men kan als target een mozaïek van diverse materialen gebruiken; meerdere, verschillende targets kunnen tegelijk of na elkaar worden ingezet. Het sputterproces kan ook ingezet worden aan het substraat; door dit nl. kathodisch te schakelen, is het te behandelen werkstuk zelf de target en kan het, mits goed gecontroleerd, extreem zuiver worden gemaakt – een absolute voorwaarde voor een goede hechting.



Figuur 3 Elementaire voorstelling van het sputterproces

Ion plating is de algemene term om processen te beschrijven waarin het substraatoppervlak en/of de zich vormende deklaag onderworpen worden aan een deeltjesflux met een dergelijk hoge energie dat er wijzigingen optreden in de fasegrens of in de eigenschappen van de deklaag. Dergelijke wijzigingen kunnen optreden op het vlak van adhesie, morfologie, inwendige spanningen, dichtheid en spreidend vermogen. Dit proces wordt uitgevoerd in een soortgelijke installatie als voor het sputteren, maar het substraat zelf is nu ook target (kathode). De basiscomponenten van het ion plating systeem zijn: vacuümkamer met pompensysteem, toevoer voor inert gas, een bron voor het verdampen van het deklaagmateriaal. Is het substraat geleidend dan wordt dit een elektrode, zoniet dan wordt het op een monsterhouder gemonteerd. Hierna wordt het te verdampen materiaal ingebracht, de werkruimte gesloten en onder vacuüm gezet (10^{-3}..10^{-5} Pa). Daarna wordt het inert gas toegelaten (1 ... 0,01 Pa).
Door het aanleggen van een potentiaalverschil van -3 tot -5 kV tussen monster(houder) en de aarding van het systeem wordt de gloeiontlading opgewekt. Het werkstuk ondergaat een sputteren met zuiverende werking. Na enkele minuten wordt dan het deklaagmateriaal door verdampen in de gloeiontlading gebracht. Eventueel wordt nu ook een reagerend gas als N_2 of CH_4 toegelaten. Het werkstuk wordt uniform met ionen gebombardeerd door de vele botsingen en verstrooiingen in de gasfase. Ion plating heeft hierdoor een relatief goed spreidend vermogen. Het is duidelijk dat, wanneer afzetting gewenst wordt, de neerslagsnelheid groter moet zijn dan de sputtersnelheid.



Figuur 4 Schematische voorstelling van ion plating

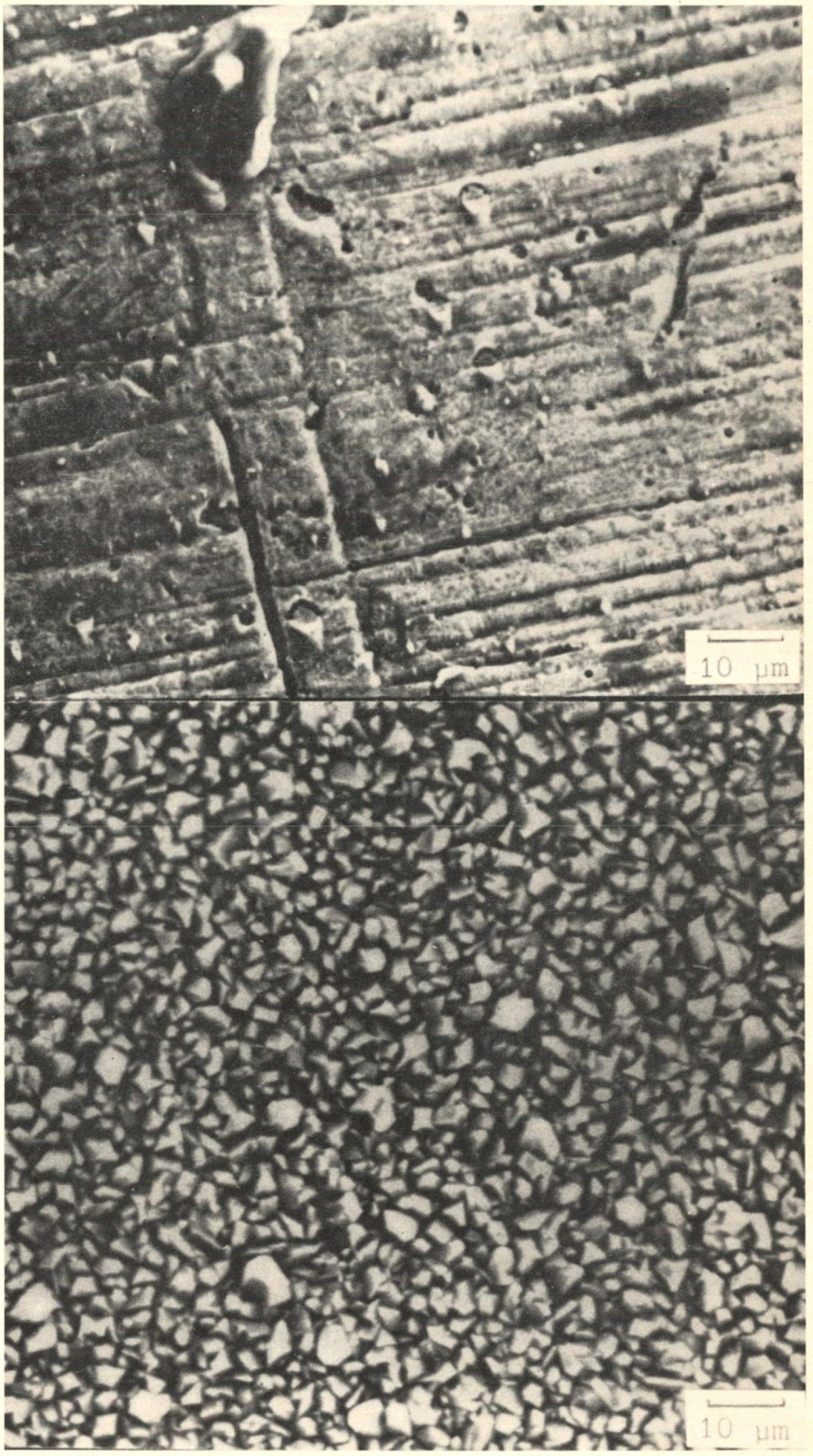
In de industriële apparatuur voor de produktie van deklagen als TiC en TiN wordt het werkstuk tijdens het neerslagproces onder ion plating-voorwaarden gehouden. Dit levert deklagen met superieure eigenschappen met betrekking tot adhesie, structuur en porositeit. Het deklaagmateriaal kan evenwel in de dampfase worden gebracht door weerstandsverwarming, een elektronenstraalbundel, een combinatie van sputtertargets of door elektrische bogen. Verder sputtert men geen TiN-targets, maar men brengt titaan in de dampfase, waar het reageert met N_2, CH_4.... Dergelijke processen noemt men ook reactief sputteren, reactief ion-plating.
Andere modificaties zijn mogelijk door de wijze waarop het substraat onder spanning wordt gebracht (vooral het spanningsverloop), en door het activeren van de dampfase door interacties met extra elektronenbundels. In dit domein vinden nog heel wat ontwikkelingen plaats teneinde het neerslagproces te versnellen en de subsstraattemperatuur te verlagen zonder verlies van eigenschappen.
Onder normale bewerkingsvoorwaarden moet men rekening houden met een verhitting van het werkstuk tot 350°C à 550°C. Voor de behandeling van veel staalsoorten is het fysisch opdampen dan ook te verkiezen boven het chemisch opdampen.

Chemical Vapour Deposition – CVD

Bij CVD wordt een metaal afgescheiden uit dampvormige verbindingen. Bij dit proces wordt een geschikt reagerend gas in een reactiekamer toegelaten, waar dit gas aan het oppervlak van de werkstukken ontbindt. Hierbij komt een materiaal vrij dat geabsorbeerd wordt door het werkstuk, of erop accumuleert en een deklaag vormt. Bij deze reactie komt ook een gasvormig-reactief produkt vrij, dat wordt afgevoerd.
Bij de produktie van TiC en TiN spelen de navolgende reacties een hoofdrol:

$$TiCl_4(g) + CH_4(g) \xrightarrow[800...1000°C]{H_2} TiC(s) + 4HCl(g)$$

$$TiCl_4(g) + 1/2\ N_2(g) + 2H_2(g) \xrightarrow[800...1000°C]{H_2} TiN(s) + 4HCl(g)$$



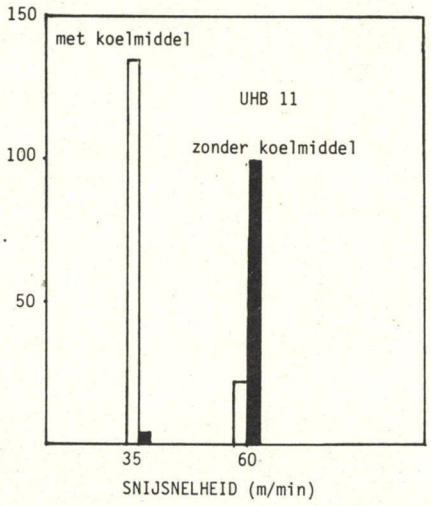
Figuur 5 Oppervlakte-uitzicht van een PVD deklaag dunner dan 1 µm, waardoor de oppervlakteruwheid van het substraat bewaard bleef, en van een CVD deklaag (3...5 µm). Beide TiN

De neerslagtemperaturen liggen in het temperatuurgebied van 600 tot 1000°C. De hoge temperatuur biedt het voordeel dat zeer veel diffusieprocessen kunnen optreden, hetgeen meestal gunstig is voor de hechting en voor de structuur van de deklaag. Voor veel stalen werkstukken is een behandeling bij deze temperaturen echter een probleem of zelfs onoverkomelijk.
Er wordt op dit ogenblik dan ook nog veel onderzoekingswerk verricht naar

gemodifieerde processen en systemen die bij lagere temperaturen kunnen werken. Deze modificaties bestaan uit het invoeren van andere gasvormige reagentia of een lage druk, het creëeren van een plasma rondom de werkstukken, het activeren van het depositieproces door laserstralen, etc.
De toepassing bij uitstek is evenwel nog steeds het bekleden van hardmetalen gereedschappen (voornamelijk wisselplaatjes) met TiC, TiN en Al_2O_3.

TiC–TiN ... revolutionaire deklagen?

Goudkleurige deklagen van titaannitride veranderen drastisch het uiterlijk en de prestatie van snijgereedschappen uit sneldraaistaal. In de USA kwamen in 1981 de eerste gereedschappen op de markt. In 1982 werden door meer dan een dozijn gereedschapsproducenten de goudkleurige snijgereedschappen aangeboden, nl. frezen, kopfrezen, ruimers, trekfrezen, zaagbladen en snijplaatjes. Zowel CVD als PVD komen in aanmerking voor de produktie van TiN-deklagen.
Welke eigenschappen maken TiN zo interessant? (1) Men kan een zeer goede hechting verkrijgen op een groot aantal staalsoorten. (2) TiN is zeer hard: 2700 HV of ca. 80-85 Rockwell C (gehard sneldraaistaal haalt 65–70 Rockwell C); (3) TiN heeft een lage wrijvingscoëfficiënt in kontakt met bijna alle materialen. (4) TiN is chemisch zeer stabiel, het heeft een zeer hoge corrosieweerstand. (5) TiN weerstaat ook hoge temperaturen, waarbij het de andere genoemde eigenschappen in hoge mate behoudt.
Het geheel van deze eigenschappen maakt dat bepaalde gereedschappen een sterk verhoogde levensduur krijgen, nl. 3 tot 5×. Hierbij moet worden opgemerkt dat de optimale snijvoorwaarden voor gereedschappen met en zonder deklaag erg verschillen. Voor beklede gereedschappen moet men de voeding én de omtreksnelheid sterk verhogen. Teneinde optimale resultaten te verkrijgen zal men eveneens het ontwerp van de gereedschappen dienen aan te passen aan de karakteristieken van de deklaag (of het deklagensysteem). Eén van de in het oog springende verschillen is de lage wrijvingscoëfficiënt van TiN, waardoor de temperaturen van snijvlak en spaan lager liggen wanneer men werkt bij klassieke procesvoorwaarden. Het gereedschap wordt nu niet langer gebruikt onder de voorwaarden waarvoor de geometrie uitgetekend is. Figuur 6 maakt de invloed van de procesvoorwaarden op de prestatie duidelijk.



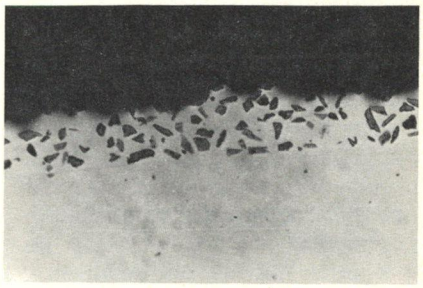
Figuur 6 Invloed van de procesvoorwaarden op de prestaties van beklede en niet beklede snijgereedschappen.
Voeding: ~ 0,12 mm/rotatie
■ *met PVD TiN-deklaag*
□ *zonder deklaag*

De eerste generatie snijplaatjes had (in volgorde van ontwikkeling) een deklaag van 3–6 μm titaniumcarbide (TiC), titaniumnitride (TiN) of hafniumcarbide (HfC). De volgende generatie snijplaatjes heeft een dubbele deklaag: 3–6 μm TiC en 1–3 μm Al_2O_3. Hierdoor wordt de standtijd 8 à 10 maal verlengd.
Ook andere gereedschappen werden succesvol bekleed, zoals onder meer dieptrekmatrijzen voor hulzen. De standtijd werd door een bekleding met TiC ruim 50× verlengd*.

Elektrolytisch en stroomloos afzetten van composietdeklagen

Door het in suspensie brengen van fijne, inerte deeltjes in een elektroliet kan men die in de galvanische deklaag insluiten tijdens elektrolyse of stroomloos neerslaan. Dergelijke composietdeklagen (zoals nikkel – Ni- en siliciumcarbide – SiC) worden de laatste jaren meer en meer toegepast als slijtagebestendige laag. In bepaalde toepassingen overtreft Ni-SiC de slijtagebestendigheid van hardchroom.
De voordelen eigen aan deze technieken zijn sterk analoog met de klassieke elektrolytische en stroomloze processen: een relatief beperkte extra-investering, geen thermische beschadiging van het substraat, een grote variëteit in samenstelling en eigenschappen van de deklaag. De beperkingen en moeilijkheden komen vooral voort uit de noodzaak om de deeltjes in suspensie te houden. Dit kan men zowel met chemische als mechanische middelen realiseren, telkens met het risico extra verontreinigingen in te brengen terwijl de elektroliet moeilijk te zuiveren is.

Het gebruik van oppervlakte-actieve stoffen is complexer en er is een groter risico van veroudering van het bad.
Enkele toepassingen zijn: de bekleding met Ni-SiC van de boringen van een aluminium motorblok; voor vliegtuigmotoren de bescherming van cobalt tegen oxydatie door inbouw van chroomcarbidedeeltjes; een licht, slijtagebestendig deklagensysteem voor fijnmechanische onderdelen wordt verkregen door hard anodisering van aluminium met inbouw van PTFE deeltjes; draadgeleiders voor de textielnijverheid bekleed met chemisch nikkel + diamant.



Figuur 7 Metallografische doorsnede van een elektrolytische Ni-SiC (3 μm) composiet deklaag

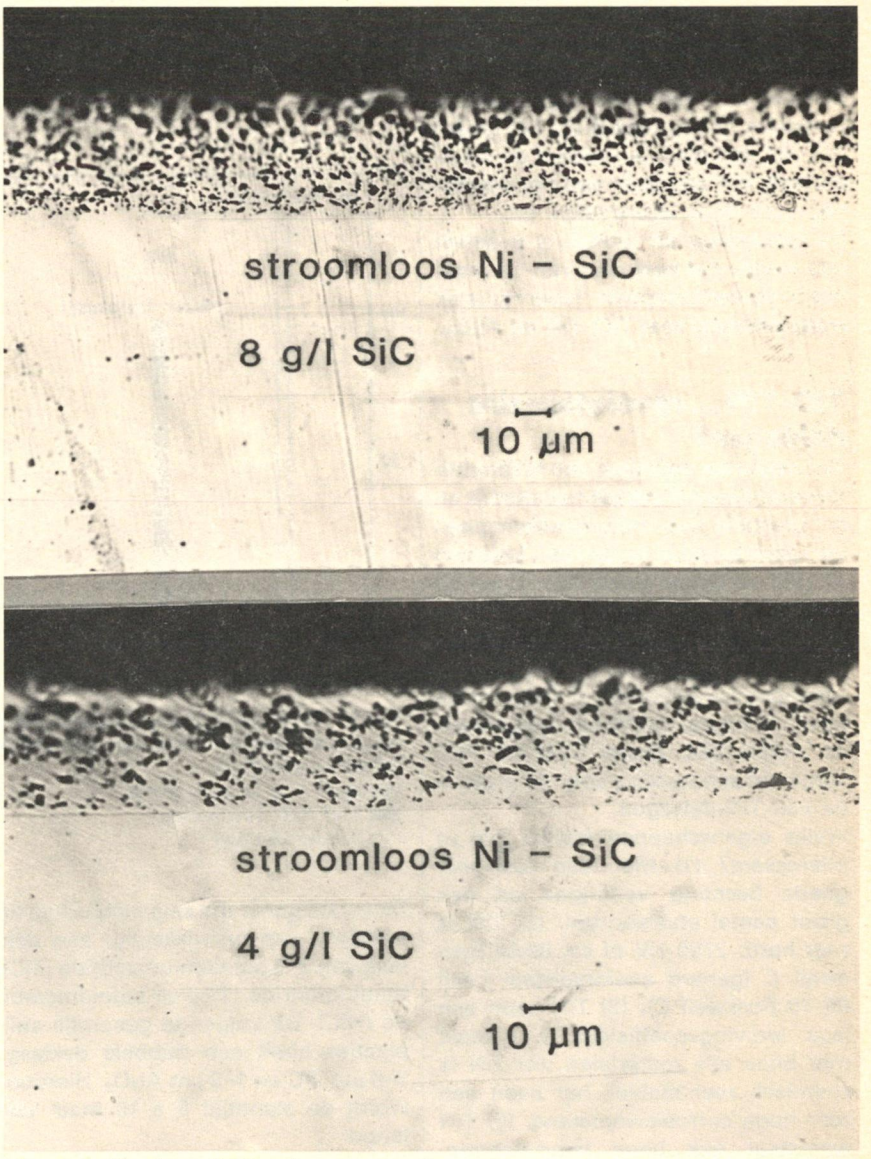
Besluit

Uit het voorgaande overzicht blijkt dat er een zeer groot aantal processen is ontwikkeld om deklagen te produceren, ook op industriële schaal. Bovendien openen recente ontwikkelingen ruime perspectieven. Het ontwikkelen en het aanbrengen van deklagen is een groeiende industrie.

* De redactie tekent hierbij aan dat de standtijdverlenging slechts één factor is in de berekening van bewerkingskosten die altijd de resultante zullen zijn van prijs en prestatie. De grotere hardheid van TiC en TiN-lagen kan ook worden gebruikt voor verhoging van de snijsnelheid. In langere standtijden ligt ook besloten een vermindering van het aantal gereedschapswisselingen. Een andere factor is de bewerkingsnauwkeurigheid.

Er zijn echter toch nog grote gaten in onze kennis van zelfs elementaire processen en verschijnselen. Verder onderzoek is van essentieel belang in de navolgende gebieden:

1) De invloed van procesparameters, ondermeer op de restspanningen.
2) De eigenschappen en structuren van films en deklagen dunner dan 1 µm, typisch 50 tot 1000 nm. Dit is van groot belang voor de elektronica, reflecterende oppervlakken en corrosiebescherming.
3) De invloed van de oppervlaktetoestand van het substraat, nl. topografie, onzuiverheden, geadsorbeerde gassen.
4) De invloed van de energie van de neerslaande deeltjes op de reactie aan de fasegrens en op kiemvorming en groei.
5) De samenstelling van deklaag(systemen), niet-evenwichtssamenstellingen en structuren.



Figuur 8 Metallografische dwarsdoorsneden van stroomloos neergeslagen Ni-P-SiC deklaag

TECHNOLOGISCHE ADVIESDIENST OPPERVLAKTEBEHANDELING/IWONL-WTCM

Deze dienst heeft tot doel adviezen en informatie te verstrekken en ondernemingen te helpen met de oplossing van hun technologische problemen. Deze dienst staat ter beschikking van elke Belgische onderneming, in het bijzonder de kleine en middelgrote bedrijven – KMO's. De kosten worden integraal gedragen door het IWONL tenzij uitgebreide of dure proeven vereist zijn. De problemen die behandeld worden, hebben betrekking op het behandelen van oppervlakken. Voor verven bestaat een afzonderlijke adviesdienst.

De adviesdienst is sinds zijn oprichting in 1979 ondergebracht in het Departement Metaalkunde en toegepaste Materiaalkunde (MTM) van de KU Leuven. Professor J. Roos heeft de wetenschappelijke supervisie van de dienst.

De technische infrastructuur van het Departement MTM laat onder andere toe:

- elektrochemisch onderzoek van elektrolytbaden, beitsbaden en ontvettingen te verrichten;
- corrosiebestendigheid van deklaagsystemen te testen;
- een breed gamma chemische analyses uit te voeren;
- fysische onderzoeksmethoden toe te passen, waaronder laagdiktemetingen, hechtingsmetingen, metallografisch onderzoek en elektronenmicroscopie;
- adviezen te verstrekken in verband met keuze van deklaagsystemen en applicatieprocessen.

Voor nadere inlichtingen:
Ir. M. De Bonte, Adviseerdienst Oppervlaktebehandeling, Departement Metaalkunde en Toegepaste Materiaalkunde, K.U. Leuven, G. de Croylaan 2 – B-3030 Heverlee. Tel.: 016/22 09 31 – toestel 1316 telex 25941 Elekul b

Aanbevolen literatuur
[1] Metals Handbook, negende editie, vol. 5, Surface Cleaning, Finishing and Coating, American Society for Metals, OHIO 44073, 1982.
[2] Deposition Technologies for Films and Coatings. R.F. Bunshah, editor Noyes Publications, Parkridge, USA, 1982.
[3] Coatings: revolution in HSS tools, American Machinist Special Report 752, March 1983, pp. 129–144.

Simpele microbalans met trillende haarspeld

Dr. N. Wiedenhof
Drs. J.M. Waalwijk, Philips Persdienst Eindhoven

Tot op een honderdduizendste milligram wegen

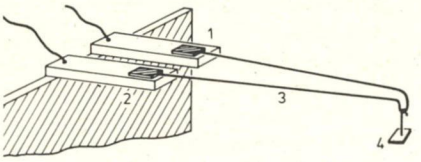
In het Philips Natuurkundig Laboratorium te Eindhoven is een simpele, robuuste doch zeer nauwkeurige en gevoelige microbalans ontworpen. Massaveranderingen worden hierbij gemeten via de verandering in de resonantiefrequentie van een "haarspeld" van kwartsdraad waaraan het te wegen voorwerp is opgehangen. De haarspeld wordt in trilling gebracht door een piëzo-elektrisch buigelement, waarbij de frequentie van deze aandrijving wordt gevarieerd. Een tweede buigelement detecteert de amplitude van de opgewekte trillingen. In een monster van 5 mg kunnen massaveranderingen tot een honderdduizendste milligram nog worden waargenomen. De balans is onder meer te gebruiken voor het meten van de adsorptie van water aan glas of plastic.

Trillende pick-up-elementen

Het principe van deze door B.J. Mulder ontworpen balans is geschetst in de figuur.

Indien het piëzo-elektrische elementje (1) – een onderdeel van een pick-up – met een wisselspanning wordt aangedreven, komt dit in trilling. Deze trilling wordt overgebracht op een haarspeld van kwartsglas (3) die op zijn beurt een tweede piëzo-elektrisch elementje (2) in trilling brengt, waardoor daar een wisselspanning wordt opgewekt.

De frequentie van de bij (1) aangelegde wisselspanning wordt gevarieerd rond de resonantiefrequentie van de haarspeld, en de bij (2) afgegeven spanning wordt gemeten. Bij de resonantiefrequentie van de haarspeld is zijn respons maximaal en daardoor ook de bij (2) afgegeven spanning. Uit het verloop van de door (2) afgegeven wisselspanning als functie van de frequentie van de bij (1) aangelegde wisselspanning is de resonantiefrequentie van de haarspeld zeer nauwkeurig te bepalen. Daar deze resonantiefrequentie afhangt van de belasting van de haarspeld, is op deze wijze een verandering van de massa (4) aan het uiteinde van de haarspeld nauwkeurig te bepalen.



Schematische weergave van de microbalans
1. en 2. piëzo-elektrische elementen;
3. haarspeld van kwartsglas met een lengte van ongeveer 2 × 20 mm;
4. belasting.

Microprocessor

Het door Mulder ontworpen apparaat is gekoppeld aan een microprocessor die uit een aantal meetwaarden snel het maximum van de spanning bepaalt en via een ijkcurve de massaverandering aangeeft.

De balans kan bij zeer verschillende gasdrukken, soorten gas en temperaturen gebruikt worden, mits men beneden de maximale gebruikstemperatuur van de piëzo-elektrische elementjes blijft (ca. 180°C, de Curie-temperatuur van het piëzo-elektrische materiaal).

De hier beschreven resultaten hebben uitsluitend betrekking op laboratoriumonderzoek; zij impliceren niet de fabricage of marketing van nieuwe produkten.

ZWO opent laboratorium in Engeland

Nederlandse onderzoekers hebben sinds kort voor het eerst een eigen toegang tot een bijzondere lichtsoort, de zeer intense synchrotronstraling. Prof.dr. R. van Lieshout, directeur van de Nederlandse organisatie voor zuiver-wetenschappelijk onderzoek, opende op 1 november officieel het Nederlandse station aan het Britse Synchrotron te Daresbury (Cheshire). Een synchrotron is een cirkelvormige buis (diameter enkele meters tot enkele kilometers) waarin elektrisch geladen deeltjes, zoals elektronen, rondtollen met snelheden in de buurt van de lichtsnelheid. Synchrotronstraling ontstaat als deze deeltjes een versnelling of vertraging ondervinden, dat wil zeggen op de plaatsen waar afbuigingsmagneten in de ring opgesteld staan.

De straling staat de laatste jaren wereldwijd sterk in de belangstelling vanwege de bijzondere eigenschappen, onder meer de grote intensiteit en het brede golflengtegebied (van infrarood tot röntgen). De straling is weliswaar minder intens dan laserlicht, maar heeft het grote voordeel van een continu golflengtegebied. Het gebruik ervan ligt nu nog in de sfeer van het fundamenteel onderzoek, zoals het onderzoek naar de opbouw van atomen en moleculen. Toepassingen liggen echter in het verschiet.

Met name de elektronische industrie heeft veel belangstelling voor het gebruik van de straling bij de fabricage van geïntegreerde schakelingen (chips) met een hoge precisie.

In de medische sector denkt men de straling te benutten om hartpatiënten makkelijker te kunnen onderzoeken.

De Nederlandse onderzoekers, fysici, chemici, medici en biologen, maken al sinds twee jaar gebruik van de Britse bron, maar dan van de Engelse meet-

stations. ZWO sloot daartoe twee jaar geleden een overeenkomst met de Britse Science and Engineering Research Council (SERC), de eigenaar van het Daresbury synchrotron. In het contract was bepaald dat ZWO een eigen station zal gaan bouwen in Daresbury. In ruil daarvoor kregen Nederlandse onderzoekers toegang tot de Britse meetlijnen. Het contract was een uitvloeisel van een eerdergenomen besluit van de toenmalige minister van O & W om geen eigen synchrotron te bouwen in Nederland, gezien de hoge kosten. Wel liet hij uitdrukkelijk de mogelijkheid open dat Nederlandse onderzoekers in het buitenland zouden kunnen gaan meten. Het Nederlandse station, dat nu officieel in gebruik is genomen, bestaat uit twee afzonderlijke meetlijnen die twee verschillende soorten experimenten mogelijk maken. De totale bouwkosten bedroegen *f* 4,6 miljoen. De apparatuur is voor het grootste deel in ons land gebouwd bij het NIKHEF in Amsterdam (het Nationaal Instituut voor Kern- en Hoge-energie Fysica).

De Technische Physische Dienst TNO-TH Delft ontwikkelde speciale optische onderdelen zoals een bijzondere monochromator voor röntgenstralen.

De Nederlandse onderzoekers kunnen overigens gebruik blijven maken van de Engelse meetlijnen. De Britse onderzoekers kunnen van nu af aan ook terecht op het Nederlandse station.

Samenvatting TNO-onderzoek PET-fles

Het Instituut TNO voor Verpakking en het Kunststoffen en Rubber Instituut TNO hebben een studie uitgevoerd naar de maatschappelijke gevolgen van het gebruik van de PET-fles voor koolzuurhoudende frisdranken. In Nederland bedraagt de totale frisdrankenconsumptie per jaar ongeveer 850 miljoen liter, dat is per persoon ongeveer 60 liter frisdrank.

Een 1,5 liter éénmalige polyester fles van 56 gr, ook wel PET-fles genoemd, is vergeleken met de bestaande 1 liter glazen statiegeldfles van 1000 gr.
Van beide flestypen is voor eenzelfde hoeveelheid frisdrank, 1 miljoen liter, het energieverbruik, het materiaalverbruik, de afvalhoeveelheid en de kostprijs berekend gedurende de produktie, distributie en de afvoer van de flessen.

Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van enkele bedrijven uit de kunststof- en frisdrankindustrie en gesubsidieerd door de overheid.

Een belangrijk element in de studie dat van grote invloed is op de berekende eindresultaten, is de mogelijkheid voor hergebruik (of recycling) van het materiaal van de gebruikte polyester fles. Technisch gezien is de huidige voor frisdrank gebruikte PET-fles met bestaande processen herverwerkbaar tot nuttige produkten. Een verantwoorde recycling houdt echter tevens in dat een grote hoeveelheid recyclebare PET-flessen apart wordt ingezameld. Daarvoor moet het terugbrengen van lege flessen worden aangemoedigd, bijvoorbeeld door het uitbetalen van een vergoeding in de vorm van een soort terugbrengpremie.
Toekomstige ontwikkelingen van de kunststoffles (bijv. een gecoate PET-fles) mogen geen afbreuk doen aan de mogelijkheden om de PET-fles die nu voor de frisdrank wordt gebruikt te recyclen. Producenten moeten hiermee bij het op de markt brengen van kunststofflessen, onder meer bij het ontwerp en de materiaalkeuze, rekening houden.

- Uit de studie komt naar voren dat wanneer 80% van de PET-flesen voor recycling wordt ingezameld, het netto verbruik aan energiehoudende grondstoffen voor 1 miljoen liter frisdrank vergelijkbaar is met de energie-inhoud van 120 ton ruwe olie. Hiervan wordt ca. 75% voor energieopwekking aangewend. Zonder recycling zou het totale energieverbruik 185 ton ruwe olie bedragen. Voor een glazen retourfles die gemiddeld 20 keer wordt gebruikt is het energieverbruik vergelijkbaar met 87 ton ruwe olie, hiervan wordt 88% voor energieopwekking aangewend.
- De gemiddelde totale hoeveelheid afval, inclusief de gebruikte transportverpakking is voor 1 miljoen liter bij 20% van de PET-flessen in het huishoudelijk afval: 30 ton of een volume van ongeveer 145 m^3. (Zonder recycling is het afval bij de PET-fles: 52 ton met een volume van 530 m^3). Met de glazen fles is deze afvalhoeveelheid 54,5 ton of ongeveer 48 m^3. Hierbij is in beide gevallen het volume van de oorspronkelijke fles in het afval gehalveerd. Genoemde afvalhoeveelheden kunnen met het overig stedelijk afval verwerkt worden in afvalverwerkingsinstallaties.
- Uit de kostprijsberekening komt naar voren dat de prijzen van de frisdrank in beide flestypen elkaar niet veel behoeven te ontlopen.
- Verder wordt in het rapport gewezen op de veiligheid van de PET-fles. Uitgezonderd ongevallen als het struikelen over een fles, zou het merendeel van totaal circa 2000 privé ongevallen met gebroken glazen flessen per jaar, met PET-flessen kunnen worden voorkomen.
- Bij een definitieve afweging van de voor- en nadelen van beide flessen moeten naast genoemde aspekten ook andere faktoren, zoals bijvoorbeeld andere vormen van milieuverontreiniging, gebruiksgemak en werkgelegenheid worden meegenomen. Verder kan de mogelijkheid, dat buitenlandse PET-flessen een plaats op de Nederlandse markt zullen veroveren ten koste van Nederlandse glazen flessen bij de overwegingen een rol spelen. Voor beide flestypen geldt dat nog steeds ontwikkelingen gaande zijn om materiaal- en energieverbruik verder terug te brengen.

Parameters en onderprogramma's bij NC-programmering

Ir. D.J. de Korte

Is het maken van NC-programma's ouderwets geworden? U kunt geen werkplaatstechnisch tijdschrift of boek meer opslaan, of U komt het begrip CAD/CAM tegen. Daarbij treft U afbeeldingen aan van "tekenaars" achter grafische beeldschermen, maar ook van machines, die zowel gereedschappen als werkstukken automatisch kunnen wisselen. Werkstukken worden daarbij door robots van machine naar machine getild, of het transport vindt plaats met behulp van wagentjes, die onbemand door de werkplaats rijden. Het aantal symposia en seminars met dit thema als onderwerp is overweldigend (alleen al in Nederland 6 stuks rond de Techni-Show 1984). Daardoor wordt ten onrechte de indruk gewekt, dat de combinatie van Computer Aided Design (CAD) en Computer Aided Manufacturing (CAM) gemeengoed is geworden. Het programmeren lijkt daarbij overbodig te zijn geworden. Het NC-programma rolt immers automatisch uit de tekencomputer. Geconcludeerd moet echter worden, dat zowel CAD als CAM een grote ontwikkeling hebben doorgemaakt, maar dat combinatie van beide nog grote problemen oplevert. Afgezien daarvan zullen de constructeur en de bewerker vaak niet tot hetzelfde bedrijf behoren, zodat ook dan het maken van NC-programma's nodig zal blijven.
Ondanks de vele programmeergemakken, die ons tegenwoordig ter beschikking staan, geldt nog steeds: vind niet steeds het wiel uit, maar maak zoveel mogelijk gebruik van standaardprogramma's. Het gebruik van deze standaardroutines, in de vorm van macro's, onderprogramma's, parameterprogramma's, familieprogramma's, masterprogramma's en CPC's is het onderwerp van dit artikel.

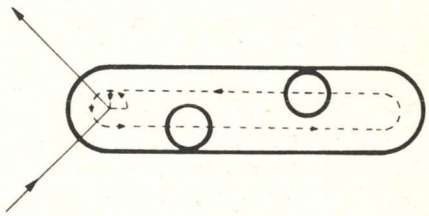
Programmeermethoden

We kunnen de diverse programmeermethoden rangschikken in 3 hoofdcategorieën:
- Handprogrammering;
- Computerprogrammering;
- Programmering aan de machine.

Onder handprogrammering zullen we verstaan het met de hand schrijven van een programma, dat wil zeggen: zonder hulp van een besturingsonafhankelijke computer. Met computerprogrammering wordt het gebruik van een NC-programmeertaal bedoeld, zoals APT of Miturn. Het begrip programmering aan de machine spreekt voor zichzelf. Daarbij toetst de machinebediener het programma zelf in de besturing, die daartoe met een beeldscherm en/of dialoogsysteem is uitgerust.
De specifieke voor- en nadelen van elk systeem komen hier niet aan de orde. Wel de mogelijkheid om in alle 3 gevallen onderprogramma's en parameters te gebruiken.

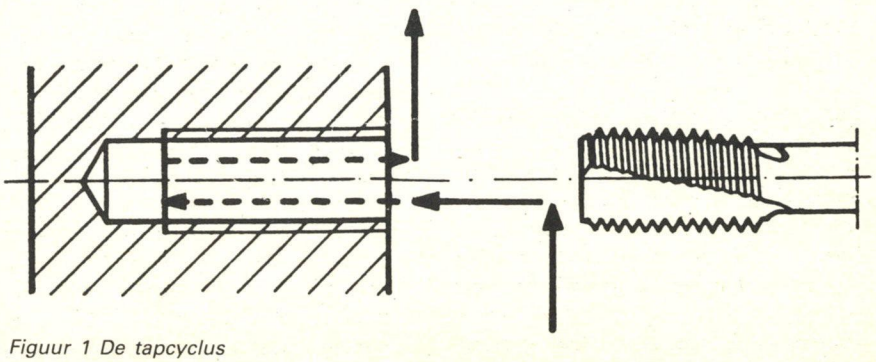
Parameterprogramma's

Bij het maken van NC-programma's komen vaak bewegingspatronen voor, die op elkaar lijken en/of regelmatig terugkeren. Zo'n pakket bewegingen kan simpel zijn, bijvoorbeeld het boren, ruimen of tappen van een gat, of uitgebreider, zoals het frezen van een kamer, nok of spiegleuf. Tot slot kan men nog een stap verder gaan, door te zeggen dat een hele groep werkstukken op elkaar lijkt, zodat de programma's daarvoor ook overeenstemming vertonen. In het laatste geval wordt van een "werkstukfamilie" gesproken. Om dubbel werk te voorkomen, kunnen we verschillende hulpmiddelen toepassen.
Voor het eerste geval staan ons reeds jaar en dag de zogenaamde "cycli" ter beschikking, zoals bijvoorbeeld de tapcyclus (figuur 1). In plaats van het beschrijven van alle afzonderlijke bewegingen van de tap (positioneren boven het gat, spil rechtsom starten, in ijlgang dalen tot vlak voor het gat, in voeding tappen tot op de gewenste diepte, voeding en spil stoppen, spil omkeren en in voeding terugtrekken tot boven het gat, spil stoppen en omkeren), kunnen we volstaan met het opgeven van positie, gatdiepte en spoed, alles in één regel.



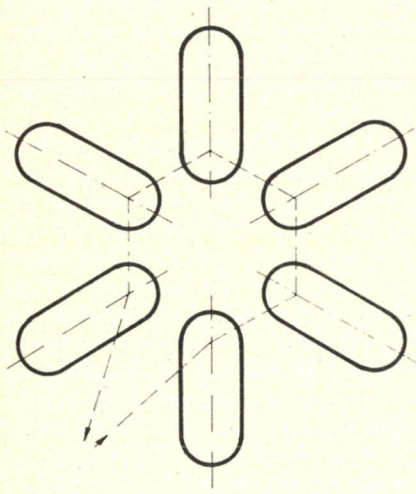
Figuur 2 Het frezen van een spiegleuf

Dit elementaire voorbeeld is iedereen bekend. Men kan deze redenering echter voortzetten bij bijvoorbeeld het frezen van een spiegleuf (figuur 2). Komt dezelfde spiegleuf meer dan 1 keer voor, dan kunnen we hiervoor een onderprogramma of macro ont-



Figuur 1 De tapcyclus

werpen, geschreven in incrementele (relatieve) maten. In het hoofdprogramma brengen we de spil achtereenvolgens naar de gewenste posities, en roepen daar steeds dat onderprogramma op. Zijn de spiegleuven niet aan elkaar gelijk, of staan ze onder verschillende hoeken, dan kunnen we deze methode niet meer toepassen. Het bewegingspatroon is weliswaar steeds gelijk, maar de lengte of de richting van de verschillende bewegingen varieert, (figuur 3).



Figuur 3 Patroon van identieke gleuven

Om dit probleem te ondervangen is het daarom bij verschillende programmeersystemen mogelijk de getallen, die deze verplaatsingen aangeven, door variabelen (meestal letters) te vervangen. Deze variabelen, parameters genaamd, worden pas van een waarde voorzien op het moment, dat zo'n "parameterprogramma" wordt opgeroepen. Nog een stap verder, kan men ook het gehele werstukprogramma als parameterprogramma schrijven. Dit is van toepassing bij werkstukken die onderling gelijkenis vertonen, de zogenaamde familieprogrammering (figuur 4). Niet alleen de afmetingen van zo'n werkstuk kan men als parameter schrijven, maar ook andere informatie, zoals voedingen, toerentallen, gereedschapnummers en het wel of niet uitvoeren van bepaalde bewerkingen (centeren, b.v.).

Alhoewel de hierboven genoemde begrippen al jaren bestaan en door een aantal bedrijven worden toegepast, zijn ze door de moderne computerbesturingen opnieuw in de belangstelling gekomen.

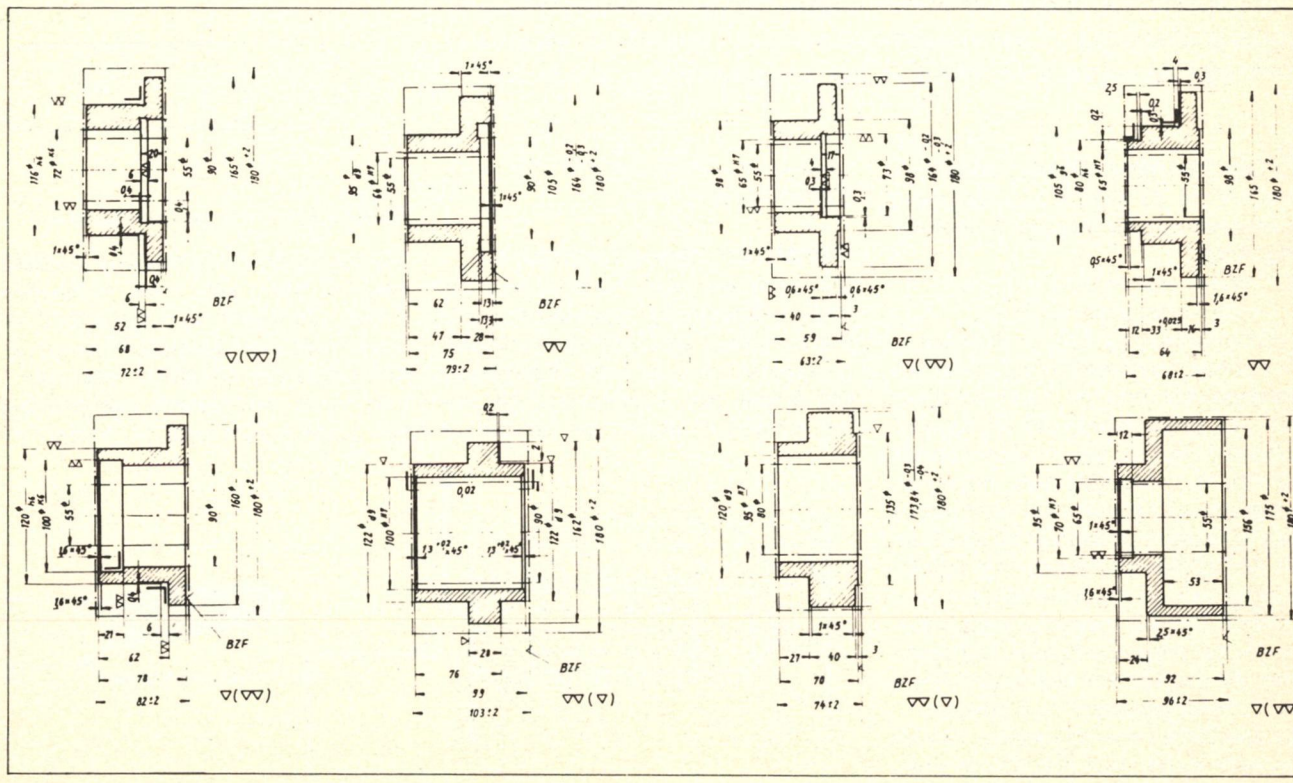
Achtereenvolgens zullen de mogelijkheden bij de eerdergenoemde programmeermethoden worden besproken.

Parameters bij handprogrammering

In principe kan men bij handprogrammering een terugkerend bewegingspatroon op een kladbriefje schrijven en dit in alle voorkomende gevallen overschrijven, met invulling van de gewenste variabelen. Alhoewel men dan de zekerheid heeft niets te vergeten, een zeer belangrijk punt bij parameterprogrammering, is van werkbesparing geen sprake. Het overschrijfwerk kunnen we voorkomen, wanneer we hiervoor ons programmeerapparaat of de te gebruiken besturing kunnen inschakelen.

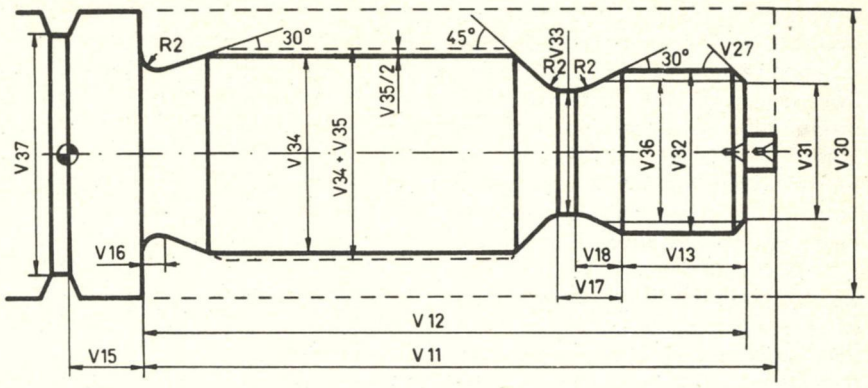
Bij een klassieke ponsbandschrijfmachine kunnen we bijvoorbeeld van elk bewegingspatroon, of zelfs van een compleet werkstuk, een ponsband maken, waarbij op de plaatsen van de variabelen een stopcode staat. Wanneer tijdens het kopiëren de lezer op zo'n code stopt, tikken we de gewenste waarde in, waarna we de band weer starten.

Veel eenvoudiger wordt het echter, wanneer ons programmeerapparaat een elektronisch geheugen met bijvoorbeeld een beeldscherm bezit. Met behulp van een bepaald commando kunnen we dan willekeurige programmablokken tussenvoegen, en eventuele variabelen van een waarde voorzien.



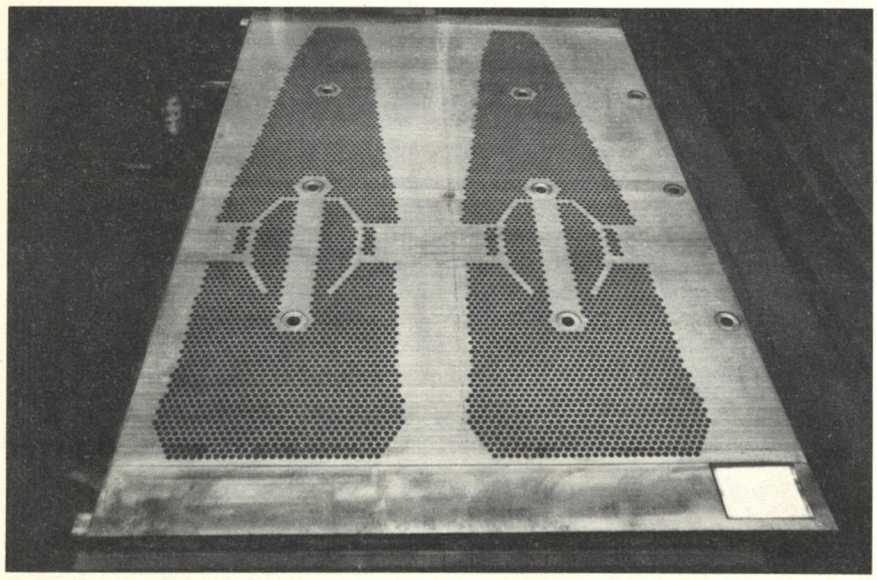
Figuur 4 Een "familie" van werkstukken

Deze methode vereist echter een goede "boekhouding" en het resulterende programma moet zeer secuur worden gecontroleerd.
Dit is de reden, dat sommige besturingsfabrikanten ons te hulp zijn gekomen, door zo'n parametermogelijkheid in de besturing in te bouwen. We brengen daarbij eerst een standaardprogramma, waarbij alle variabelen (parameters) door een letter of lettercombinatie zijn weergegeven, in de besturing. Vervolgens lezen we een tweede programma in, waarbij voor een specifiek werkstuk de desbetreffende variabelen van hun juiste waarde worden voorzien. De besturing combineert daarop beide programma's.
Het opstellen van een uitgekiend en goedwerkend programma kost veel inspanning. Is dit eenmaal gereed, dan bestaat het programmeerwerk nog slechts uit het toekennen van waarden aan een aantal variabelen. Niet alleen wordt de programmeertijd daarmee tot een fractie teruggebracht, maar men heeft per definitie de zekerheid van een foutloos programma.
Als voorbeeld geven we de fabricage van een pasbout (figuur 5). Zo'n bout bestaat in alle gevallen uit een kop, een pasgedeelte, dat al of niet geslepen moet worden, insnoeringen en een uiteinde met schroefdraad. Zowel de diameters als de lengtematen zijn variabel, de draad kan gesneden of gerold zijn en in de uiteindelijke bout mag wel of niet een centergat achterblijven.
Bij het opzetten van het programma wordt om te beginnen een lijst met de te gebruiken parameters opgesteld.



Figuur 5 De parameters van een pasbout

Behalve de op de tekening aangegeven variabelen, worden tevens parameters voor de technologie ingevoerd. Bij het gebruikte type besturing (Okuma) worden parameters door de letter V met een volgnummer (max 50) aangegeven.
Daarna is het standaardprogramma opgesteld, en vervolgens als onderprogramma ingelezen. Met de parameters, die hierin worden opgeroepen, mogen ook rekenkundige bewerkingen worden uitgevoerd. Zo betekent Z10V21V-30 :Z=10xV21-V30. Onderprogramma's kunnen ook zichzelf weer oproepen. Een regel uit zo'n programma ziet er bijvoorbeeld als volgt uit:
N6 G33 XV36 ZV15V12V-13V-18 FV21
Tot slot is voor elk produkt een kort hoofdprogramma samengesteld, waarin slechts de betreffende parameters van een waarde worden voorzien, alvorens het standaard(onder)programma wordt opgeroepen. Daar bij een bepaald draadtype de gebruikte voedingen en snijsnelheden steeds dezelfde waarde hebben en de keuze: draadrollen of draadsnijden vast ligt, kunnen we ook die toekenningen in een onderprogramma schrijven. In plaats van het benoemen van al die variabelen, is dan slechts één oproep van dat onderprogramma voldoende, waardoor nog meer tijd wordt bespaard en de betrouwbaarheid verder wordt opgevoerd. Het is bij dit besturingstype zelfs mogelijk conditionele en absolute sprongopdrachten te programmeren. Op deze manier kan men zijn eigen snede-opdeling ontwerpen, door een bepaalde snede zo vaak te herhalen (met steeds een nieuwe aanzet), tot de gewenste eindmaat is bereikt.
In de praktijk zullen de standaardprogramma's steeds in de besturing blijven, alleen de korte, produktgebonden hoofdprogramma's worden per opdracht ingelezen en gewist.
Ook bij boor- en freesbanken kunt U parameterprogrammering toepassen. In figuur 6 ziet U het gatenpatroon in een condensorplaat. In elke plaat bevinden zich 2 × 3000 gaten. Een NC-programma, waarbij alle coördinaten zijn uitgeschreven, moet dus minimaal 3000 bewegingsopdrachten bevatten, alleen al voor het boren. Theoretisch zijn voor het ruimen eenzelfde aantal regels nodig, maar het is praktischer de boorcycli in het programma te veranderen in ruimcycli. Door van een parameterprogramma gebruik te maken, waarbij het mogelijk is een aantal gaten op regelmatige afstand van elkaar te boren, werden de 3000 bewegingsopdrachten in het programma vervangen door 200 oproepen van het bewuste onderprogramma. Het hoofdprogramma bevat de beginpositie van elke rij, het aantal en de steek van de gaten en de oproepen van de onderprogramma's. Bij elke oproep van zo'n onderprogamma wordt automatisch een ander onderprogramma

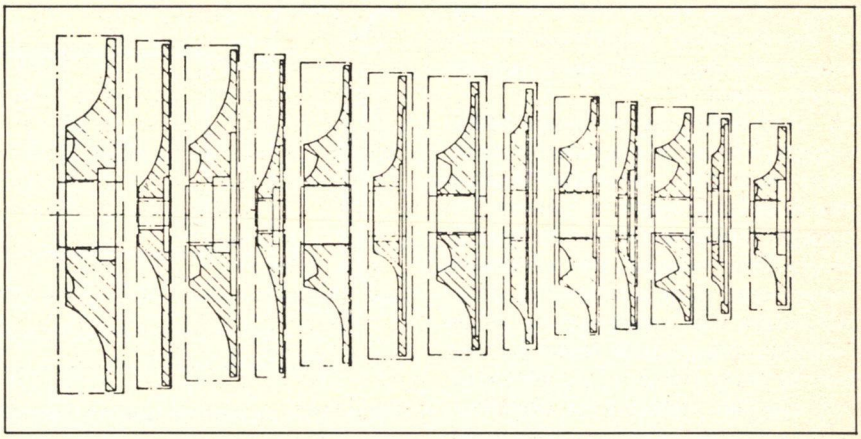


Figuur 6 Gatenpatroon in een condensorplaat (afmeting ca 4,5 × 2,5 m)

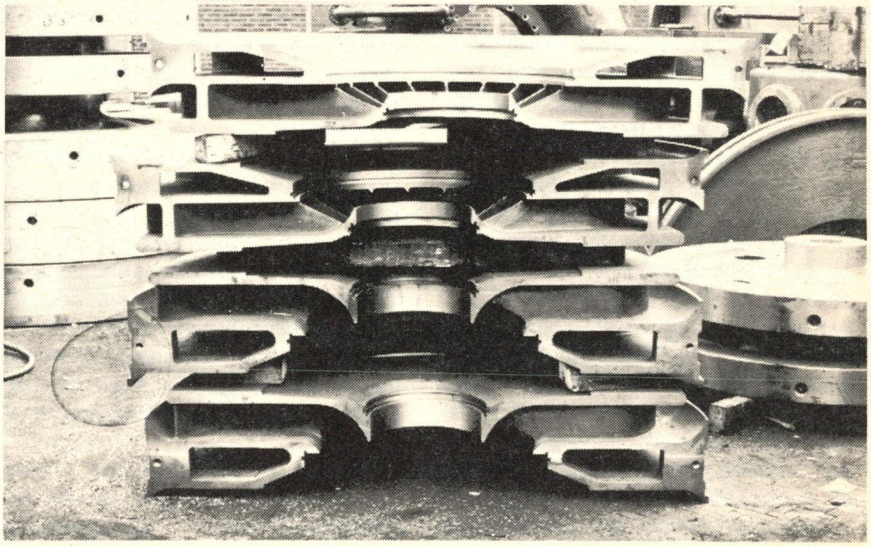
opgeroepen, waarin de te gebruiken cyclus (boren of ruimen) met de bijbehorende technologie is opgeslagen.
Door alleen in het laatstgenoemde programma de gegevens voor het boren te wijzigen in die voor het ruimen, wordt het gehele programma omgezet van boren op ruimen. Men heeft dan ook de absolute zekerheid, dat de posities waar geruimd gaat worden, dezelfde zijn als waar een gat is geboord.
Een ander voordeel is dat de gebruikte technologie maar één keer in het programma voorkomt. Wanneer de verspaningscondities voor de diverse condensorplaten onderling verschillen, behoeft die aanpassing maar één keer te worden ingebracht.

Parameters bij computerprogrammering

Bij computerprogrammering is het gebruik van parameters al lange tijd gemeengoed (uit die hoek komt de term: masterprogrammering).
Reeds in 1967 werd daar bij General Electric in de VS mee begonnen. Een bekend voorbeeld zijn de toepassingen bij Thomassen in de Steeg bij de fabricage van centrifugaalcompressoren. De daarbij gebruikte computertaal is Miniapt. De waaiers van de verschillende compressortrappen zijn allemaal verschillend, maar wel duidelijk "familie" van elkaar (figuur 7). Hetzelfde geldt voor de diffusors (figuur 8).
Het maken van bewerkingsprogramma's voor de diverse NC-carrouselbanken gebeurt steeds met dezelfde "master". Alleen de waarden van de verschillende parameters verschillen per produkt.
De master is zo opgesteld, dat de in te vullen parameters direct van de tekening gelezen kunnen worden. De master en de "ingevulde" parameters dienen daarop als invoerprogramma voor de Miniapt-computer, waarna deze het gewenste NC-programma genereert.
Een opvallend verschil met de eerdergenoemde methode is, dat daarbij het "rekenwerk" in de besturing plaatsvindt en bij de tweede methode daarbuiten. Dit is zichtbaar in de lengte van de ponsband, die bij computerprogrammering vele malen langer is. Wanneer in dat geval een parameter achteraf gewijzigd moet worden, moet via een nieuwe run op de computer een andere ponsband worden vervaardigd.



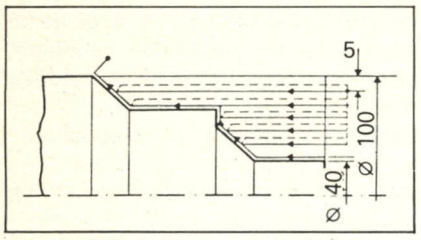
Figuur 7 Waaiers voor centrifugaalcompressoren, ideaal voor familieprogrammering



Figuur 8 Diffusors voor een centrifugaalcompressor, ook een duidelijk voorbeeld van een familie

Parameters bij programmering aan de machine

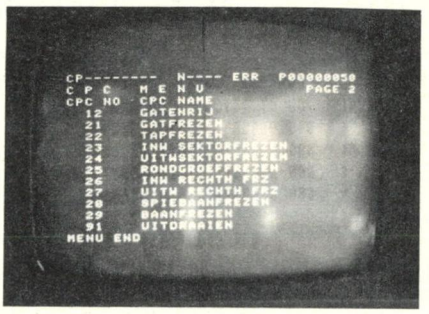
In de voorgaande voorbeelden hebt U kunnen zien, dat het opstellen van een masterprogramma een zeer gedegen en systematische aanpak van het produktenpakket inhoudt. Pas daarna kunnen de te gebruiken parameters worden gekozen, waarna deze worden gebruikt bij het opstellen van het uiteindelijke programma.
Ten gevolge van de uitgebreide softwarepakketten (= systeemprogrammatuur), verkrijgbaar bij moderne computerbesturingen, is het aantal programmeertechnische mogelijkheden aan de besturing de laatste jaren sterk uitgebreid.
Na het voorgaande zal het U duidelijk zijn, dat het ontwerpen van een masterprogramma nooit aan de besturing zelf zal plaatsvinden. Daar het vervaardigen van NC-programma's direct aan de besturing in bepaalde gevallen toch voordelen biedt, hebben de verschillende besturingsfabrikanten getracht dit werk zo veel mogelijk te vereenvoudigen. De filosofie daarbij is dezelfde als bij masterprogrammering, namelijk het vermijden van dubbel werk, door het invoeren van standaardroutines. De bekende cycli (boren, tappen, enz.) zijn daar een eerste voorbeeld van. Na de overgang van NC op CNC, waarbij de besturingen van rekencapaciteiten werden voorzien, ontstonden al snel draaibankbesturingen, die een automatische snede-opdeling konden genereren (figuur 9). Daarmee verviel de noodzaak, alle beitelbewegingen apart te moeten programmeren, maar kon worden volstaan met een korte omschrijving van begin- en eindcontour. Daarmee werd niet alleen de programmalengte sterk bekort, maar ook de kans op fouten sterk verminderd. Het programma werd er bovendien overzichtelijker door.



Figuur 9 Snede-opdeling

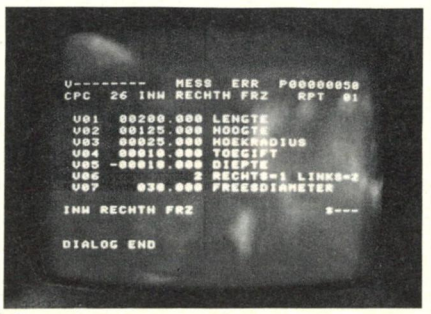
Een grote stap in de richting van werkplaatsprogrammering werd gezet door de mogelijkheid van dialoogprogrammering. Bepaalde bewegingspakketten zijn daarbij in de besturing als interne cycli vastgelegd. De variabelen in zo'n cyclus zijn als parameter opgeslagen. Deze parameters worden van een waarde voorzien via een vraag- en antwoordspel tussen besturing en machinebediener. Deze methode heeft behalve zijn eenvoud ook het voordeel, dat geen parameters vergeten kunnen worden. Een NC-programma, dat op die manier is opgesteld, kan soms worden gecontroleerd door de bewegingen op een grafisch beeldscherm te simuleren.
De dialoogmogelijkheid werd weer het eerst bij draaibanken toegepast. De hoofdreden is, dat een draaibank normaal slechts 2 assen bezit, zodat de bewegingen in een plat vlak plaatsvinden.

Tegenwoordig kunnen ook frees- en kotterbankbesturingen met een dialoogsysteem zijn uitgerust. Er bestaat zelfs een mogelijkheid de ruimtelijke bewegingen in perspectief op het scherm weer te geven. Als voorbeeld geven we het gebruik van dialoogprogrammering met parameters bij een bewerkingscentrum. De beschikbare standaardroutines worden door de desbetreffende besturingsfabrikant (Bosch) CPC's genoemd (Customer Parametric Cycles). Ze zijn met behulp van incrementele (relatieve) verplaatsingen opgesteld, zodat ze op elke willekeurige positie geactiveerd kunnen worden. Om met behulp van deze CPC's een werkstuk numeriek te bewerken, kan de machinebediener 2 methoden toepassen. Bij de eerste methode brengt hij het gereedschap met behulp van handbediening naar een bepaalde positie en activeert daarna de gewenste CPC. Deze methode werkt snel en betrouwbaar, b.v. wanneer een aantal gaten in een ronde flens geboord en geruimd of getapt moet worden. Daarbij zijn slechts 2 CPC's nodig: één voor de definitie van de te gebruiken cyclus (b.v. boren) met bijbehorende technologie, en één waarin het aantal en de steekcirkel van de te boren gaten is vastgelegd. Na het boren wordt de boorcyclus door een ruim- of tapcyclus vervangen en kan opnieuw worden gestart. Bij de tweede methode toetst hij een (kort) programma in, waarbij beurtelings positioneerregels en CPC-oproepen worden geplaatst. Onafhankelijk van de gebruikte methode, verschijnt na het indrukken van de CPC-toets altijd het menu van de beschikbare parameterprogramma's (figuur 10). Wanneer

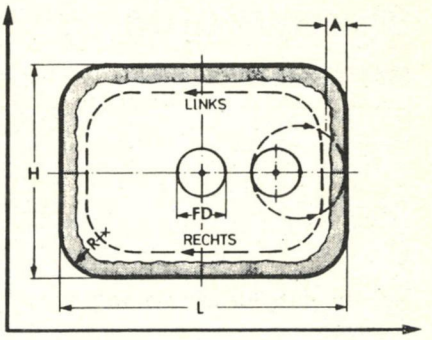


Figuur 10 Menu van parameterprogramma's

daarna het nummer van een bepaalde CPC wordt ingegeven, verschijnt een lijst met vragen, die één voor één beantwoord moeten worden. Door de vragen te beantwoorden, worden de parameters van de bewuste CPC automatisch van de juiste waarde voorzien. Willen we bijvoorbeeld een inwendige rechthoek frezen (CPC 26), dan verschijnt een vragenlijst (figuur 11), waarin achtereenvolgens wordt gevraagd naar lengte, hoogte, hoekradius, toegift, diepte, mee- of tegenlopend frezen en de gebruikte freesdiameter. Zodra de frees zich in het middelpunt van de rechthoek bevindt, kan de desbetreffende programmaregel worden geactiveerd. Het gehele pakket bewegingen om de desbetreffende rechthoek op de juiste diepte te



Figuur 11 Vragenlijst bij het inwendig frezen van een rechthoek met ronde hoeken



Figuur 12 De bewegingen bij het inwendig frezen van een rechthoek

frezen, wordt dan automatisch gegenereerd (figuur 12).
Vooral bij enkelstuksfabricage en bij (grote) werkstukken, waarvan de vorm vooral niet precies bekend is (reparatiekarweien), werkt deze methode snel en betrouwbaar. Deelvlakken met boutgaten, die op elkaar moeten passen, kunnen met hetzelfde programma worden bewerkt, door gebruik te maken van asomkering (spiegelen).
Een niet te onderschatten voordeel is bovendien, dat ook in ploegendienst het werk altijd kan doorgaan, omdat (vooral 's nachts) nooit op een programmeur gewacht behoeft te worden.

Conclusie

Het gebruik van parameters bij numerieke besturing geeft niet alleen een aanzienlijke tijdwinst bij het programmeren, maar tevens een verhoging van de betrouwbaarheid van het resulterende programma. De schaalgrootte, waarop het principe wordt toegepast, kan variëren van een korte bewegingsroutine tot een compleet werkstukprogramma bij "werkstukfamilies".
In het eerste geval kan het opstellen van het programma en het "vullen" van de parameters direct aan de besturing geschieden. Uitgebreidere toepassingen vragen een grondige voorstudie en moeten derhalve op een programmeerbureau worden uitgevoerd. Door de ontwikkeling van moderne beeldschermtechnieken, kan in vele gevallen gebruik gemaakt worden van de dialoogtechniek, om de parameters van een waarde te voorzien.

Verzorgd door de Sawedo (Samenwerkende Werkplaatstechnische Documentatiediensten). Kopieën van de hier vermelde publikaties zijn tegen betaling verkrijgbaar bij het Metaalinstituut TNO, Postbus 541, 7300 AM Apeldoorn, telefoon 055–773344.

Diverse verspanende bewerkingen

621.919.1"71" 8502–417
brootsen, ontwikkeling
Krazer, M.
Räumtechnik heute
VDI-Zeitschrift **126** (1984) nr. 14, blz. 519–526, 11 foto's, 5 tek., 1 schema, 8 p.p.
Welchen Stand die Räumtechnik inzwischen erreciht hat, soll eine Folge von drei Beträgen deutlich machen, deren erster sich nach einigen grundsätzlichen Bemerkungen mit dem Innenräumen, den hier gestellten Aufgaben und ihrer Lösung beschäftigt. Dabei wird die auch beim Räumen zunehmende Bedeutung der "Peripherie" erkennbar.

621.95.01 621.951.45"4013" 8502–418
verspaningscapaciteit, standtijd, boor
Kerschl, H.W.
Schnittleistung und Standzeit verbessern von Bohrwerkzeugen
Maschinenmarkt **90** (1984) nr. 59/60, blz. 1379–1381, 3 foto's, 1 tek., 3 graf., 1 tab., 10 ref., 3 p.p.
Alle Massnahmen der Werkzeughersteller beim Entwikkeln der Werkzeuge zielen darauf ab, die Schnittleistung zu erhöhen und die Standzeiten zu verlängern. Verbesserte Schneidstoffe und leistungsfähigere Beschichtungen ermöglichen es, die hohe Leistung der Werkzeugmaschinen voll zu nutzen. Ein anderer Weg, die Fertigungszeiten zu verkürzen, ist das Anwenden von Sonderwerkzeugen, die mehrere Arbeitsgänge gleichzeitig ausführen.

621.914.4.04–229.88 8502–419
kotteren, spaanafvoer
Grieve, R.J.
Probleme der Spankontrolle beim Innenausdrehen tiefer Löcher
TZ für Metallbearbeitung **78** (1984) nr. 8, blz. 29–32, 2 foto's, 7 tek., 4 graf., 9 ref., 4 p.p.
Beim Innenausdrehen von Bohrungen mit grossen Länge-Durchmesser-Verhältnis ist eine kontinuierliche Spanabfuhr sehr wichtig. Es werden Spanleitstufen vorgestellt, die bei richtiger Wahl von Vorschung- und Schnittgeschwindigkeit Späne erzeugen, die vom Werkzeug in Vorschubrichtung durch die als Hohlwelle ausgeführte Hauptspindel abfliessen und hinter der Drehmaschine gesammelt werden können.

621.91.014.3 621.91.025.72 8502–420
boren, krachtberekening, HM-wisselplaat
Zilian, W.
Kräfte beim Bohren ins Volle mit HM-Wp-bestückten Kurzbohrern
TZ für Metallbearbeitung **78** (1983) nr. 8, blz. 35–41, 1 foto, 4 tek., 13 graf., 12 ref., 5 p.p.
Anwendungsvereich und Einsatzmöglichkeit eines jeden Werkzeugs werden hauptsächlich durch die beim Zerspanungsvorgang hervorgerufenen Zerspankraftkomponenten begrenzt. Die auftretenden Zerspankraftkomponenten gehen in Form von Reaktionskräften auf die Maschine über und versuchen an ihr Verformungen. Bei genauer Kenntnis der Zerspankraftkomponenten ist man in der Lagen die Werkzeuge festigkeitsgerecht zu konzipieren und zu optimieren.

621.91.011 669.14.018.26 8502–421
verspaanbaarheid, smeedstaal
Chambers, A.R. en D. Whittaker
Machining charcteristics of microalloyed forging steels
Metals Technology **11** (1984) nr. 8, blz. 323–333, 10 graf., 8 tab., 1 schema, 15 ref., 11 p.p.
In this paper the machinability of forging steel grades, microalloyed with vanadium for precipitation hardening and used in the air-evoled condition, are compared with those of hardened and tempered steel grades. Stand laboratory tests, employing both high-speed-steel and cemented carbide tooling, have been used. In most instances, microalloyed steel proved to be at least as machinable as hardened and tempered steel grades of similar strenght level.

621.919.1 621.993.2 621.913.3.04 8502–422
brootsen, tappen, steken
Girlormini, P. e.a.
A comparative analysis of three machining processes: Broaching, Tapping and Slotting
Annals of the CIRP **33** (1984) nr. 1, blz. 19–22, 4 tek., 6 graf., 5 tab., 17 ref., 4 p.p.
A simple and original method is proposed to deduce the chip formation and evacuation, specific forces from the tool geometry, and the cutting force. The variations of these specific quantities with the machining process, the cutting speed, and the properties of the machined material are discussed.

669.715 621.95.04 621.91.01 8502–423
aluminium legering boren, verspaningskengrootten
Naito K; T. Suzuki en M. Nakamura
Unerwunschte Vorgänge beim Bohren in übereutektische ALSI legierungen
Aluminium **60** (1984) nr. 8, blz. 610–613, 1 tab., 4 p.p.
Beim Bohren in übereutektische AlSi-Legierungen mit primär ausgeschiedenem Silizium ist zu beobachten, dass unter gewissen Bedingungen das Drehmoment ansteigt und die Bohrungsqualität schlechter wird. Begleitet wird dieser Zustand durch eine charakteristische Geräuschentwicklung. Die Untersuchung sollte klären, unter welchen Bedingungen mit diesen Vorgängen zu rechnen ist und ob ihnen begegnet werden kann. Als Ursachen wurde ein Zustand identifiziert, bei dem ein Quetschen zwischen Nebenschneide und Bohrungswand auftritt.

621.91.011 669.71 8502–424
verspaanbaarheid, aluminium
Müller, G.A.
Zerspanungseigenschaften von Aluminium
TZ für Metallbearbeitung **78** (1984) nr. 9, blz. 66–67, 1 tab., 2 p.p.
NC- und CNC-gesteuerte Vielzweckbearbeitungsmaschinen verkürzen
Rüst- und Nebenzeiten. Damit nimmt die Bedeutung der Hauptzeit zu. Die Kenntins der Zerspanungseigenschaften der verschiedenen Werkstoffe – in diesem Beitrag von Alumium – ist deshalb für den Benutzer von gleicher Wichtigkeit.

621.91.011 669.295 669.295.5 8502–425
verspaanbaarheid, titaan, titaanlegering
Bonjour, Ch.
Die spanende Formgebung von Titan und seinen Legierungen
Z.w.F. **79** (1984) nr. 9, blz. 572–580, 2 foto's, 1 tek., 8 graf., 1 tab., 23 ref., 5 p.p.
Das bessere Verständnis des Verhaltens von Titan und seinen Legierungen während einer dynamischen Verformung hat zu einer besseren Beherrschung der mit der spanenden Verformung verbundenen Probleme geführt. Die
thermo-physikalischen Eigenschaften von Titan (niedrige Wärmeleitfähigkeit, kompakte hexagonale Struktur, Elastizitätsgrenze in der Nähe der Bruchgrenze) ergeben eine hohe Abspantemperatur sowie segmentierte Späne, die zu einem schnellen Verschleiss der Werkzeuge führen.

621.951.7.04"71" 8502–426
ruimen, ontwikkeling
Vig, I.
Anwendung mehrstufiger Reibahlen in der zeitgemäszen Fertigung
Z.w.F. **79** (1984) nr. 9, blz. 582–584, 1 foto, 2 tek., 3 p.p.
Zum Herstellen hochgenauer und fluchtfehlerarmer Bohrungen können auch auf NC-Bohrwerken vorteilhaft Reibwerkzeuge eingesetzt werden. Am Beispiel von Getriebebohrungen mit 130 mm Dmr. H6 werden die alternativen Arbeitsabläufe Feindrehen oder Zwei-Stufen-Reiben detailliert verglichen.

621.91–185.4 8502–427
verspanen met hoge snelheid
Bauer, E.
Hochgeschwindigkeits-Zerspanen aus Anwendersicht
Werkstatt und Betrieb **117** (1984) nr. 9, blz. 541–545, 5 foto's, 2 tek., 6 graf., 1 tab., 4 ref., 5 p.p.
In dem Beitrag wird versucht, ausgehend von einer Analyse des zu fertigenden Bauteilspektrums bzw. der sich hieraus ableitenden Anforderungen, den Stand der Hochgeschwindigkeitszerspanung zu beschreiben und eine kritische Bestandsaufnahme zu erarbeiten.

621.95.04 620.16"4013" 678.7:666.189.211 8502–428
boren, glasvezelversterkt kunststof, standtijdonderzoek
Sakuma, K., Y. Yokoo en M. Seto
Study on drilling on reinforced plastics (GFRP and CFRP)
Bulletin of JSME **27** (1984) nr. 228, blz. 1237–1244, 4 tab., 15 schema's, 7 ref., 8 p.p.
This paper deals with drilling of GFRP and CFRP, using high speed steel (SKH9) and cemented carbode (KO1. P10 and ultra-fine grain) drills. Comparison of four drills is done by investigating tool wear pattern, flank wear width and cutting forces. A new type of tool wear which should be referred to as "combing wear" was found in drilling of CFRP. In addition, it was found that KO1 has the highest wear resistance, FG showns the second highest and the wear of high speed steel drill is remarkebly larger than that of carbide drills.

621.91–183.2"71" 8502–429
zware verspaning, ontwikkelingen
Greimers, G.
Möglichkeiten zur Rationalisierung der Schwerzerspanung
VDI–Zeitschrift **126** (1984) nr. 15/16, blz. 553–556, 7 foto's, 1 tab., 1 ref., 4 p.p.
Ziel des Arbeitskreises ist einmal das Anlegen einer einschlägigen Fallsammlung und zum anderen die Diskussion fertigungstechnischer und maschinentechnischer Probleme. Nach einer kurzen Behandlung von Fragen der Fallsammlung bringt der Beitrage einige Beispiele für neuere fertigungstechnische Lösungen der Schwerzerspanung.

Slijpen

621.924.7.04 850–430
trommelpolijsten
Hinz, H.E.
Slijpen, glanzen en polijsten in trommels en vibratoren
Tijdschrift voor Oppervlaktetechnieken **28** (1984) nr. 5, blz. 124–129, 9 foto's, 5 graf., 3 tab., 6 p.p.
De glans van een werkstuk zegt niet altijd iets over de bereikte oppervlakteruwheid. Metingen, zoals het opnemen van profilogrammen geven ondubbelzinnige resultaten. Met trommel- of vibratorslijpprocessen, zoals het staalpolijsten en het Trowapastproces worden oppervlakteruwheden bereikt van Ra = 00,2 µm en Rz = 0,3 µm.

621.923.015 621.924.02:661.55:669.781 8502–431
slijpen met CBN, oppervlaktegesteldheid
Cooley, B.A. en H. Wapler
Einflusz von Maschinenparametern und Korngrösze auf die Werkstückoberflächengüte beim Schleifen mit Abrasive Boron Nitride
Industrie Diamanten Rundschau **18** (1984) nr. 2, blz. 64–69, 1 foto, 1 tek., 13 graf., 2 tab., 1 schema, 10 ref., 6 p.p.
Die optimalen Bedingungen beim Schleifen von Stahl mit CBN-Schleifscheiben sind noch nicht in allen Bereichen gründlich erforscht. Dazu gehört auch der Einfluss von Maschinenparametern und Korngrösse auf die Werkstückoberflächengüte. Der Bericht gibt zunächst eine Uebersicht über den gegenwärtigen Wissensstand in diesem Bereich und beschreibt die Ergebnisse von mit abrasive boron nitride–Schleifscheiben durchgeführten Versuchen.

621.923 669.14–156 621.924.02:661.55:669.781 8502–432
slijpen met CBN, gehard staal
Schrock, M.
Ergebnisse beim Schleifen von Stahl unterschiedlicher Härte mit galvanisch gebundenen CBN–Werkzeugen
Industrie Diamanten Rundschau **18** (1984) nr. 2, blz. 70–77, 10 foto's, 12 graf., 1 tab., 2 ref., 8 p.p.
Der Bericht beschreibt die Ergebnisse von Versuchen zum Trocken- und Nassschleifen von Stahl unterschiedlicher Härten mit den abrasive boron nitride–Körnungen ABN 300 und ABN 600.

621.923.1.01 620.191.31 8502–433
vlakslijpen, verspaningscondities, restspanning
Vansevenant, E.
Invloed van bewerkingscondities op de restspanningen bij vlakslijpen
Metaalbewerking **50** (1984) nr. 9, blz. 198–201, 2 tek., 6 graf., 8 tab., 7 ref., 4 p.p.
Aan de Katholieke Universiteit Leuven en in samenwerking met het WTCM te Heverlee werd een installatie ontwikkeld voor het meten van restspanningen in vlakke en ringvormige werkstukken. Er zijn reeds vele metingen verricht in het gebied van het vlak- en cilindrisch insteekslijpen. Aansluitend op voorgaande studies werd het vlakslijpen met axiale incrementele voeding onderzocht (ook vlakslijpen met dwarsvoeding genoemd).

621.924.029:666.233 8502–434
dressen met diamantrol
Saljé, E. en H.G. v. Mackensen
Abrichten von Korund- und CBN-Schleifscheiben mit Diamantformrollen
TZ für Metallbearbeitung **78** (1984) nr. 7, blz. 35–39, 7 tek., 4 graf., 13 rf., 4 p.p.
Diamantformrollen werden in der Praxis immer häufiger als sehr flexible und wirtschaftliche Abrichtwerkzeuge für Korundschleifscheiben eingesetzt. Auch schwer abrichtbare CBN- und Diamantschleifscheiben können mit Diamantformrollen profiliert werden, ihre Schneidfähigkeit muss u.U. durch zusätzliches Schärfen, z.B. durch Strahlschärfen, erzeugt werden.

621.923.5 621.924.02:661.55:669.781 621.924.02:666.233 850
honen, CBN- en diamantslijpstenen
Juchem, H.O.
Entwicklungsstand beim Honen von Bohrungen in metallischen Werkstückene mit Diamant und CBN
Industrie Diamanten Rundschau **18** (1984) nr. 3, blz. 173–185, 10 foto's, 9 tek., 10 graf., 2 tab., 1 schema, 15 ref., 13 p.p.
In den zurückliegenden Jahren wurden in der Technologie des Honens entscheidende Entwicklungen vorangetrieben, die den Einsatz dieses Verfahrens in der Bearbeitung von Bohrungen anstelle alternativer Techniken, wie z.B. Innenschleifen, begünstigen. Der Bericht beschreibt den gegenwärtigeen Entwicklungsstand, insbesondere den Einsatz von Diamant und CBN beim Honen und stellt einige typische Anwendungen anhand von Fallbeispielen vor.

621.923.5.01 8502–436
honen, technologie
Juchem, H.O.
Honing with diamond and CBN abrasives
Industrial Diamond Review **44** (1984) nr. 503, blz. 209–218, 5 foto's, 9 tek., 10 graf., 2 tab., 2 schema's, 15 ref., 10 p.p.
Advances in machine design, in-process measurement and control systems, together with a greater range of diamond and CBN abrasives, are combining te increase stock removal rates and/or precision in mass production honing operations, as this in-depth technical report shows.

621.923.6 621.951.45"4013" 8502–437
gereedschapslijpen, boor, standtijd
Häuser, K.
Maschinelles Anschleifen von Wendelbohrern verlängert die Standzeit
Maschinemarkt **90** (1984) nr. 69, blz. 1549–1552, 15 foto's, 1 graf., 4 p.p.
In vielen Betrieben schleift man Wendelbohrer heute noch von Hand an. Das maschinelle Anschleifen der Bohrer hat sich noch nicht durchgesetzt, obwohl das Anschleifen "von Hand" sehr teuer sein kann. Bei dieser Art des Anschleifens entstehen Scharten an der Schneide, Schleifriefen und grosse Rauhigkeit auf den Span- und Freiflächen des Bohrers. Bohrer mit einem derartigen Anschliff haben eine kürzere Standzeit als Bohrer mit einem maschinellen Anschliff. Ausserdem ist die Rauhigkeit der Bohrungswand grösser.

621.923.12–529–503:681.3–181.4 8502–438
CNC-centerloosrondslijpen
Schütz, W.
Wirtschaftliches CNC-Spitzenlos-Schleifen von hochpräzisen Bauteilen
Z.w.F. **79** (1984) nr. 9, blz. S25–s30, 1 foto, 3 tek., 2 tab., 3 p.p.
Die Herstellung von Steuerschiebern für hydraulische Systeme, wie sie im Flug-, Fahrzeug- und Maschinebau Verwendung finden, verlangt die Einhaltung von sehr engen Geometrie- und Masstoleranzen und stellt höchste Anforderungen an die Präzision und Leistungsfähigkeit der entsprechenden Bearbeitungs-Maschinen. An einem Beispiel wird der Fertigungsablauf detailliert beschrieben.

621.924.24.01 8502–439
bandslijpen, technologie
Meyer, K.
Anforderungen an Bandschleifmaschinen
Industrie–Anzeiger **106** (1984) nr. 74, blz 14–18, 5 foto's, 11 tek., 2 tab., 5p.p.
Aufgrund neuer Rohstoffe und verändertem Konstruktionsaufbau stehen heute Schleifbänder sowohl für die Feinstbearbeitung als auch zur Realiserung hoher Abtragsraten zur Verfügung. Um die zur Erzielung hoher Zeitspanvolumina erforderlichen Zerspanungskräfte übertragen zu können, wurden spezielle Hochleistungs-Bandschleifmaschinen entwickelt.

621.924.029 621.923.04.012.5 621.91.014.3 534.4 8502–440
dressen, insteekslijpen, verspaningskracht, trilling
Saljé, E. e.a.
Kräfte und Schwingungen beim Abrichten mit Diamantprofilrollen und beim Schrägeinstechschleifen
VDI–Zeitschrift **126** (1984) nr. 17, blz. 603–606, 2 tek., 5 graf., 11 ref., 4 p.p.
Statische Abrichtkräfte verformen das System Maschine-Schleifscheibe-Diamantabrichtrolle. Die Abrichtkräfte steigen mit zeitlicher Verzögerung entsprechend der Auffederung des Systems Schleifscheibe-Diamantabrichtrolle an. Bei kurzen Abrichtzeiten, die beim Abrichten mit Profilrollen üblch sind, erreichen sie unter Umständen ihre stationären Werte nicht.

621.924.7.04 8502–441
trommelpolijsten
Hinz, H.E.
Slijpen, glanzen en polijsten in trommels en vibratoren
Oppervlaktetechnieken van materialen **28** (1984–05) nr. 5, blz. 124–132, 20 schema's.
De glans van een werkstuk zegt niet altijd iets over de bereikte oppervlakteruwheid. Metingen, zoals het opnemen van profilogrammen geven ondubbelzinnige resultaten. Met trommel- of vibratorslijpprocessen, zoals het staalpolijsten en het Trowapastproces worden oppervlakteruwheden bereikt van Ra = 0,001 um en Rz = 0,3 um. Dit artikel geeft een beschrijving van de processen.

Snijden

62–41 (084.11) 519.685.1 8502–442
plaatuitslag, software
Ashton, A.
How the micro can help sheet metal designers, No. 10
Welding and Metal Fabrication **52** (1984) nr. 6, blz. 246, 1 tek., 1 tab., 1 p.p.
How to calculate pattern lengths for a breeches piece between round pipes of differing diameters.

621.791.94 62–418–589.63 519.685.1 8502–443
snijbranden, strookindeling, software
Bruchertseifer, W. en J. Derse
Automatisiertes Schachteln von Werkstücken zum Brennschneiden
Maschinenmarkt **90** (1984) nr. 68, blz. 1528–1530, 1 foto, 2 tek., 1 tab., 3 p.p.
Ein optimaler Tafelnutzungsgrad wird angestrebt, wenn man zum Brennschneiden Bauteile auf einer Blechtafel verschachtelt. Ein Computersystem schachtelt die Teile automatisch mittels entsprechender Software. Dem Benutzer stehen verschiedene Varianten zum Schachteln zur Verfügung. Nutzt er alle Varianten, erhält er den bestmöglichen Nutzungsgrad, benötigt aber auch die längste Rechenzeit. Auch das Rastermass ist füt den Nutzungsgrad entscheidend.

621.9.048.3 669.715 8502–444
waterstraalsnijden, aluminiumlegeringen
Warnecke, H.J. en M. Schlatter
Bearbeitung von Aluminiumwerkstoffen durch Hochdruckwasserstrahlen Aluminium **60** (1984) nr. 5, blz. 351–356, 10 schema's, 21 ref., 6 p.p.
Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurde untersucht, inwieweit sich das Hochdruckwasserstrahl-Verfahren zur gezielten Bearbeitung von Aluminiumwerkstoffen eignet. Die Versuche wurden an den Legierungen AlSi12 und AlCuMgPb durchgeführt. Die Bearbeitungsergebnisse zeigen dass sich mit dieser Methode eindeutige und reproduzierbare Bearbeitungsergebnisse erreichen lassen. Einen schmalen Abtrag, wie er zum Schneiden erforderlich ist, erreicht man mit hohem Druck, kleinem Düsendurchmesser, geringem Arbeitsabstand und langsamen Vorschub.

E-bewerkingen

621.9.048.7:621.375.826 8502–445
laserstraalbewerken
Dijk, M.H.H. van
Laserbewerking in een research-werkplaats
Mikroniek **24** (1984) nr. 2, blz. 15–22, 11 foto's, 1 tek., 1 graf., 1 tab., 2 schema's, 13 ref., 8 p.p.
Ingegaan wordt op de ervaringen die in het fijnmechanische fysische werkplaatsgebied van de Technische Hogeschool Twente zijn opgedaan, onder meer met las-, snij- en boorbewerkingen.

621.9.048.4 8502–446
vonkverspanen
Wijers, J.L.C.
Mikroniek 24 (1984) nr. 3, blz. 12–20, 5 foto's, 7 tek., 6 ref., 9 p.p.
Constructief gezien hebben de bestaande vonkapparatuur en het hulpgereeedschap de produktmogelijkheden verruimd. Een en ander wordt verduidelijkt met praktische opstellingen en werkstukken.

621.9.048.4 65.07:621.753.5 8502–447
vonkverspanen, gereedschapmakerij
Govaert, P.A.
Moderne zinkvonkerosiemaschines in de gereedschapmakerij
Metaalbewerking **50** (1984) nr. 11, blz. 238–244, 4 foto's, 3 tek., 2 graf., 7 p.p.
De ontwikkelingen bij het zinkvonken spitsen zich de laatste jaren vooral toe op de automatisering. Bijna alle fabrikanten hebben nu geavanceerde machines met programmeerbare generator, planetairbeweging, positiebesturing en elektrodewisseling in hun pakket. Deze machines, die verkocht worden voor het zogenaamde 24-uursbedrijf, lijken op het eerste gezicht heel aantrekkelijk. Met de fabricage van nauwkeurige stempels en matrijzen als achtergrond, worden in dit artikel de nieuwe mogelijkheden van deze ontwikkelingen kritisch onder de loep genomen.

621.795.044.2:620.191.31(492) 8502–448
thermochemisch afbramen, Zwitserland
Thermische Lohnentgratung in der Schweiz Schweizer Maschinenmarkt **84** (1984) nr. 9, blz. 50 51, 7 fig., 1 ref., 2 p.p.
Beim thermisch-chemischen Entgraten werden Grate an Werkstücken aus Metall entfernt. Das Werkstück wird hierzu in eine Druckkammer gelegt und erwärmt. Anschliessend wird die Kammer mit einem Gasgemisch gefüllt und gezündet, die Grate verbrennen dabei infolge der kurzzeitig auftretenden Hitze, da sie im Verhältnis zu ihrem Volumen einde grosse Oberfläche aufweisen.

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: _____

Plaats: _____

zenden aan: Den Boer Middelburg / Uitgevers
Markt 51, Middelburg, Telefoon (01180) 2 76 51

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

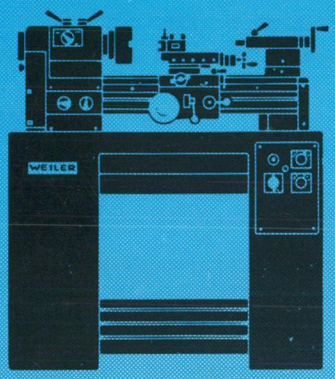
Hoofdstuk 12.
Het passen en meten van schroefdraad
De schroefdraad
De schroefdraadtoleranties
Het keuren van de schroefdraad
Het meten van de schroefdraad

Werkplaatsmeettechniek

Ing. F. Langereis

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.

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



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