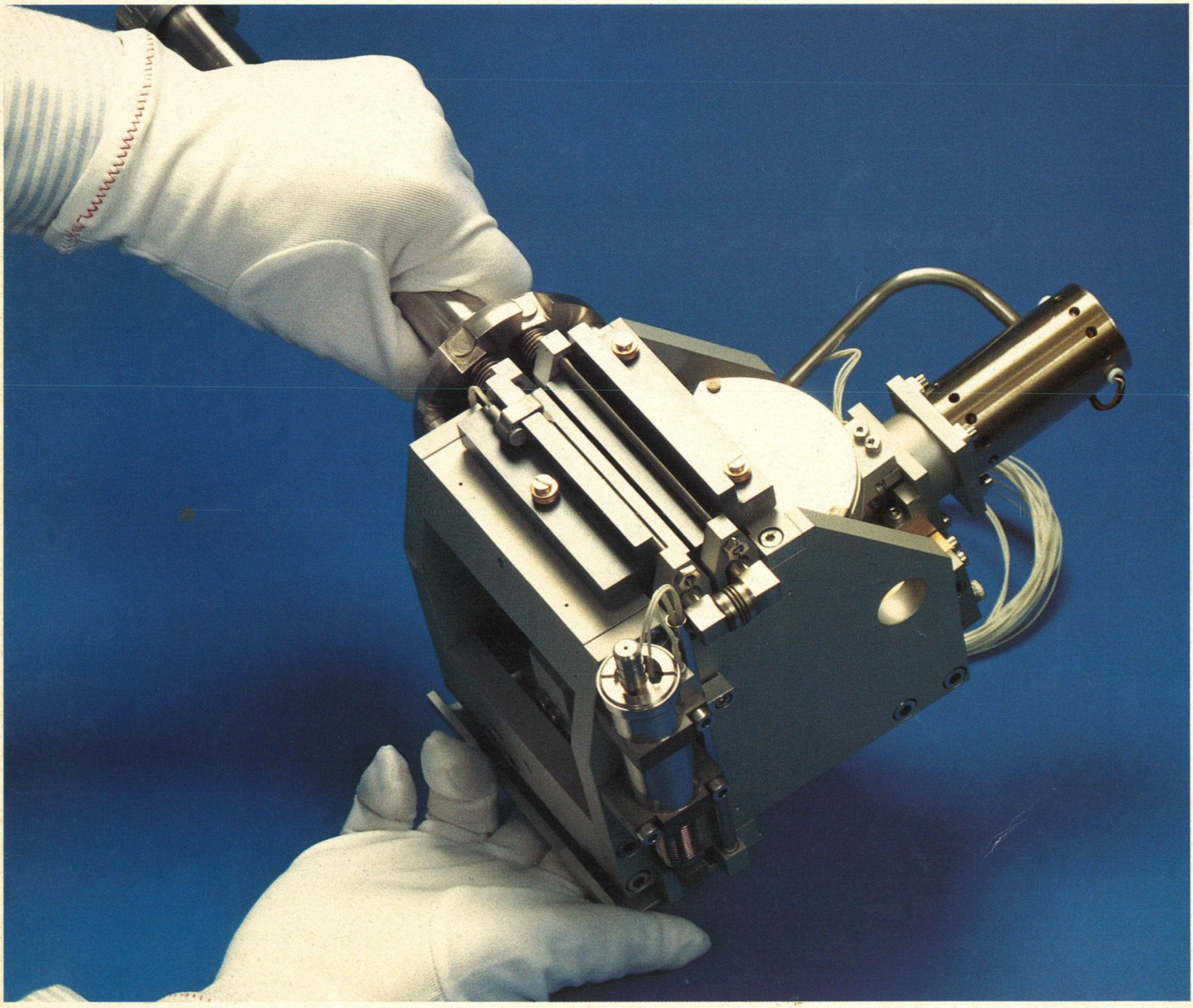
jrg. 28, nr. 5, sept./okt. 1988

MIKRONIEK



VAKBLAD VOOR FIJNMECHANICA EN GLASTECHNIEK

deel 1

NUMERIEKE BESTURING

is zo juist verschenen...!



De introduktie van de numerieke besturing in de jaren vijftig heeft een doorbraak teweeggebracht binnen de fabrikage, en vormde een drijvende kracht achter de produktiviteitsverhoging die in de seriefabrikage werd bereikt. Daarnaast is ook het fabriceren volgens de huidige hoge kwaliteitsmaatstaven ondenkbaar zonder gebruik van NC-machines.

Het primaire doel van dit boek is een breed overzicht te verschaffen van het vakgebied der numerieke besturing, gezien vanuit het standpunt van de gebruiker. Daarnaast wordt door het behandelen van een aantal principes en eigenschappen enig inzicht gegeven in de technische aspekten van numerieke besturing, voor zover nodig om NC-machines op de juiste gronden te kunnen beoordelen en in te voeren.

Dit boek is in twee opzichten zo veel mogelijk afgestemd op de specifiek Nederlandse situatie: enerzijds vormt de relevantie en de onderlinge zwaarte van de onderwerpen een afspiegeling van de bestaande struktuur van het Nederlandse bedrijfsleven, anderzijds is naar het onderwijs toe getracht het boek inhoudelijk zo goed mogelijk te laten aansluiten bij andere vakgebieden.

Daarom liggen de accenten binnen de gekozen indeling als volgt:

Hoofdstuk 1 vormt een algemene inleiding in de *produktietechniek en automatisering* binnen de produktietechniek. Het vakgebied wordt hier afgebakend en enkele essentiële begrippen worden gedefinieerd. In hoofdstuk 2 worden *NC-produktiemachines* gepresenteerd, waarbij tevens de konstruktieve gevolgen van automatisering voor deze machines ter sprake komen. Hoofdstuk 3 komt vervolgens tot de kern: de *numerieke besturing* zelf en de globale werking ervan. Ook de servokring wordt hier integraal behandeld.

In dit boek ligt veel nadruk op de *toepassingen* (hoofdstuk 4), waarbij diverse eerder behandelde facetten in hun onderlinge samenhang duidelijk worden. Waren het in eerste instantie freesmachines en draaimachines die numeriek bestuurd werden, later werden ook andere gereedschapswerktuigen steeds vaker voorzien van een besturing. Als twee representatieve toepassingen worden NC-draaimachines en bewerkingscentra behandeld, terwijl uit de kategorie van veelbelovende nieuwe toepassingen is gekozen voor behandeling van NC-meetmachines, industriële robots en laserbewerkingsmachines.

De volgende hoofdstukken hebben weer voornamelijk betrekking op NC-gereedschapswerktuigen.

NC-werkstukprogrammering vormt het onderwerp van hoofdstuk 5. Bij de aanschaf van een NC-machine moet worden getoetst of is voldaan aan externe randvoorwaarden, zoals het aantal produktvarianten, de totaalseries, de fabrikageseries en de herhalingsfrekwentie hiervan. Deze achtergronden, alsmede de gang van zaken bij de feitelijke *invoering van NC-gereedschapswerktuigen* komen ter sprake in hoofdstuk 6. In hoofdstuk 7 worden ten slotte richtlijnen gegeven voor de *afname van gereedschapswerktuigen.*

Prof. Ir. L. N. Reijers
Ir. H. J. L. M. de Haas

Omvang 460 pagina's

Prijs fl. 75.- incl. BTW

ook in de boekhandel verkrijgbaar

*** De reeks is zo opgezet dat deze geschikt is voor zelfstudie. De lezer wordt stap voor stap geleid door het wonderland van de produktie-automatisering. Tevens zijn de boeken zo ingericht, dat zij kunnen dienen als kollegemateriaal in het Wetenschappelijk Onderwijs en het Hoger Technisch Onderwijs.**

*** deel 3**
''Industriële Robots''
reeds eerder verschenen

Wij verzoeken u te leveren

..... **ex. ''Numerieke besturing''**

Naam _____

Adres _____

Telefoon _____

Postkode
Adres _____

zenden aan: **Technische Uitgeverij De Vey Mestdagh BV**
Markt 51 - 4331 LK Middelburg

MIKRONIEK

Uitgave:
Technische Uitgeverij
De Vey Mestdagh BV

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

Redactiesecretariaat:
J. Snikkers
Klaprooslaan 17
5691 WL Son
Telefoon (04990) 71831
b.g.g. (01180) 81240

Abonnementen:
Technische Uitgeverij
De Vey Mestdagh BV,
Markt 51, 4331 LK Middelburg
Telefoon (01180) 81240
Postgirorekening 26 06 279
Postrekening België 000-0135503-91
Nederland *f* 85,–
Buitenland *f* 110,–
Alle prijzen excl. BTW

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

Vormgeving, tekst- en beeldvervaardiging:
De Vey Mestdagh BV

Druk- en bindwerk:
Den Boer Drukkers

Orgaan van

NVFT
vereniging voor
Fijnmechanische Techniek

Zonder . . .

Ir. J.N.A. Vermeulen, bestuurslid NVFT



De samensmelting van de Nederlandse Vereniging voor Fijnmechanische Techniek (bedrijfsleden) en de vereniging Mikron (persoonlijke leden) heeft een vernieuwde NVFT (zonder puntjes tussen de letters) opgeleverd. Het nieuwe logo symboliseert deze fusie. Het zal U duidelijk zijn dat het weglaten van puntjes en het ontwerpen van een nieuw logo niet de **meerwaarde** opleveren, die volgens het nieuwe bestuur noodzakelijk is om een gewenste verbetering te effectueren.

Evenmin als een bedrijf kan floreren zonder goed functionerende medewerkers of potentiële arbeidskrachten zonder adequate werkgelegenheid, kan de nieuwe NVFT haar ideeën niet concretiseren zonder actieve inbreng van veel leden.

Om een indruk te krijgen van de gewenste activiteiten van de NVFT heeft het nieuwe bestuur een groep studenten van de faculteit Bedrijfskunde van de TUE opdracht gegeven onderzoek te doen naar de behoeften van de fijnmechanische branche. De kernvraag was hierbij:

Aan welke activiteiten zou de NVFT aandacht moeten besteden om een lidmaatschap inhoud te geven?

In een brief aan de leden (''Gewenste activiteiten van de NVFT'', ref. NVFT 67, d.d. 5 september 1988) is het resultaat van dit onderzoek kort samengevat.

Op grond hiervan heeft het bestuur twee voorgenomen activiteiten aan haar leden voorgelegd:

a. Het vinden van een geschikte accommodatie en equipment voor bedrijfsopleidingen in de fijnmechanische techniek LBO/MBO niveau (proefproject in samenwerkingsverband industrie, laboratoria, regulier onderwijs, machineleveranciers, overheid).
b. Het organiseren van studiedagen voor leden NVFT op basis van behoeftepeiling naar gewenste thema's.

Op een bijgevoegd formulier is de leden gevraagd of zij het eens zijn met deze nieuwe activiteiten. Tevens is gevraagd een voorkeur te aan te geven voor andere gewenste activiteiten. De respons hierop bedraagt tot nu toe (19-9-1988) 27 reacties op de 380 verzonden brieven (7%!). Alhoewel deze 27 ontvangen beantwoordingen al zeer veel waardevolle informatie opleveren, vind ik toch, dat meer leden moeten reageren. Tachtig procent lijkt mij haalbaar. Vriendelijk verzoek het U toegezonden formulier zo snel mogelijk op te sturen aan het secretariaat NVFT (enveloppe voor verzending is bijgevoegd!). Indien U voornoemde brief niet heeft ontvangen eveneens graag een reactie aan het secretariaat. Het resultaat van deze enquete onder de leden zal in het volgende nummer van Mikroniek uitvoerig worden behandeld.

Willen we in Nederland het imago van de fijnmechanische branche verbeteren (gericht op Nieuwe Vooruitstrevende Fijntechnologische Toepassingen) dan is 100% inbreng van bedrijfsleden en persoonlijke leden noodzaak. Moge de NVFT zonder puntjes een vereniging worden met nog meer tevreden leden!

MYTRI

een goede basis voor uw produkt!



„Mytri-standaard"
precisie granieten vlakplaat,
afm. 1200 x 800 mm met onderzetkast.

Fabrikage, sinds 1957, van „Mytri-standaard" precisie zweeds Diabas zwart granieten vlakplaten- en toebehoren.

Reparaties van **alle** fabrikaten granieten vlakplaten.

Uitvoerige prospektus op aanvraag beschikbaar.

MYTRI B.V. - APELDOORN
Postbus 10.395 - 7301 GJ Apeldoorn
Tel. 055-213693 – Telex 49696 - Fax 05750-13966

MIKRONIEK

JAARGANG 28 - NO. 5 - SEPT./OKT. 1988

5

Mikroniek verschijnt één maal per 2 maanden

Inhoud

Editorial:
Ir. J.N.A. Vermeulen:
Zonder . . . 112

μ-Actueel 113

Nationale Technologiedag 1988 115

C. van Ossenbruggen en Ir. C. de Regt:
Elektronisch micro-bewerken 116

Verbinden van metaal aan keramiek 125

μ-Boekennieuws 128

H. Jossi:
Vakmanschap en opleiding in Zwitserland 130

μ-Werkplaatsinformatie 136

Bij de foto op de voorpagina:

Röntgenmonochromator, ontworpen door de Technische Physische Dienst (TPD) TNO-TH te Delft en gebouwd in samenwerking met Brandt Fijnmechanische Industrie B.V. te Amsterdam.
Deze monochromator is gebouwd in opdracht van het Nederlands Instituut voor Kern- en Hoge Energie Fysica (NIKHEF) als deel van een samenwerkingsovereenkomst tussen de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO) en de Science and Engineering Research Council (SERC) en wordt gebruikt voor wetenschappelijk onderzoek in Daresbury (United Kingdom).

Verenigingsnieuws

Activiteiten regio Oost

Het is de bedoeling om in het nieuwe seizoen drie bijeenkomsten te organiseren:

Bezoek bij Philips Machinefabriek Almelo
Er zal een inleiding gehouden worden over de door het bedrijf in gebruik genomen moderne en vergaand geautomatiseerde verspaningsapparatuur, waarna een rondleiding door de fabriek volgt. Dit bezoek zal plaatsvinden op donderdag 17 november van 13.30-17.00 uur.

Bezoek Universiteit Twente
Bij dit bezoek staan de cryogene technieken centraal. Er zal een voordracht gehouden worden betreffende de onderzoeks-activiteiten bij de betrokken vakgroep.
Tevens zal getracht worden om door Holec en/of een ander bedrijf een of twee voordrachten te laten verzorgen over specifieke cryogene toepassingen.
Deze dag zal plaatsvinden in januari 1989, is als themadag bedoeld en kan tevens als landelijke NVFT activiteit worden beschouwd.

Een middag over actuele toepassingen van laserbewerkingen op fijnmechanisch gebied
Het is de bedoeling om het onderwijs hierbij te betrekken en samen met de "MTS Hofstedeschool" in Hengelo deze middag in maart 1989 te organiseren.
Nadere aankondiging volgt nog.

Actueel

Aankondiging symposium Instituut voor Verpakking TNO

Het Instituut voor Verpakking TNO organiseert op 24 november 1988 in het Congrescentrum "De Reehorst" te Ede een symposium met de titel:

"Intermediate Bulk Containers; een nieuwe trend?"

Het symposium is gericht op zowel de flexibele IBC's (FIBC's), vervaardigd uit kunststof- of textielweefsels, als de starre/rigid IBC's (RIBC's), vervaardigd uit kunststof, karton, hout, metaal of combinaties van materialen.

Sprekers uit de kringen van leveranciers, gebruikers, vervoerders, overheid en research zullen vanuit hun specifieke achtergrond hun visie geven. Op deze wijze wordt een samenhangend beeld gepresenteerd van dit verpakkingsmiddel. Daarbij wordt stilgestaan bij de reeds in het verleden opgedane ervaringen, de huidige stand van zaken en de toekomstige ontwikkelingen.

Voorlopige programma
- De noodzaak van het gebruik van IBC's binnen Rank Xerox.
  Ing A.A.G. van Rossen, Rank Xerox Manufacturing Nederland B.V.
- Technische aspecten met betrekking tot constructies en gebruik van FIBC's.
  Ing. H.J. Wissink, Nicolon B.V./EFIBCA.
- Toepassing van FIBC's voor buffervoorraden en voor aanvoer van halffabrikaten.
  C.D. Godefroy, Ligtermoet & Zn. Handelmij. B.V./EFIBCA.
- Toepassingen van EBC's, zowel flexibel als rigid, binnen Akzo.
  D.W.R. Mogendorff, AKZO Fibres and Polymers Division.
  Ir. P. Hagendijk, AKZO Salt and Basic Chemical Division.
- Inzetten van kunststof IBC's voor het vervoer van gevaarlijke stoffen in de praktijk.
  R. Steenbruggen, Fusion Kunststoffen B.V.
- Voorschriften voor het spoor- en wegvervoer van gevaarlijke stoffen in IBC's.
  Ir. W.J. Visser, NS.
- Toepassingen van golfkarton voor IBC's.
  G.J. de Bree, Papierfabriek "De Hoop" H. Bos & Zonen B.V.
- Titel nog niet bekend.
  Ir. J.C. Astro, Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- Ontwikkelingen op het gebied van FIBC's.
  Ir. G. Boots, Gambo.
- TNO en IBC's.
  Ing. P.J. Sikkens, Instituut voor Verpakking TNO.

Het volledige programma kan worden aangevraagd bij de heer A. Stam, tel. (015) 69 65 40, Postbus 71, 2600 AB DELFT.

Nieuwe inzichten in UP-Vacuuminjecteren

De invoering van vacuuminjecteren van polyesterhars als fabricagetechniek voor produkten van langvezelversterkte kunststof, verloopt trager dan mag worden verondersteld.
Deze gesloten-mal techniek – ook bekend als Resin Transfer Moulding (RTM) – biedt een aantal markante voordelen, zoals:

- tweezijdig glad oppervlak
- goede reproduceerbaarheid
- geen nabewerking
- geringe styreenemissie.

Onbekendheid met recente successen blijkt de belangrijkste oorzaak van de achterstand. Daarom organiseert de Vakgroep Vezeltechniek van de faculteit der Werktuigbouwkunde en Maritieme Techniek van de TU Delft – in nauwe samenwerking met de Nederlandse Federatie voor Kunststoffen (NFK) een studiedag:

Vacuuminjecteren van Polyesterhars
op donderdag 27 oktober 1988 bij de TU Delft
Op deze dag wordt praktijk-gerichte informatie verstrekt, waardoor technische en economische medewerkers uit GVK-verwerkende bedrijven meer inzicht verkrijgen in de afwegingsfactoren t.b.v. een besluit over de invoering van deze veelbelovende fabricagetechniek.

Kosten
Inclusief koffie, thee, aperitief, lunch en een syllabus met samenvatting van alle voordrachten bedragen de kosten *f* 190,— per deelnemer (NFK-leden *f* 150,—).

Aanmelding
Vanwege de demonstraties is de deelname beperkt tot 100 personen. Deelnemers kunnen zich aanmelden bij:
- NFK Woerden 03480 - 14005, Hr. J.E. Koot
- TU Delft 015 - 786739, Hr. L. van der Schoot.

De inschrijving geldt na ontvangst van bovengenoemd bedrag op gironummer 4307566 t.n.v. RTM Studiedag, onder

vermelding van de naam van de deelnemer. Vervolgens zenden wij deze de toegangskaart.
Bij verhindering is vervanging mogelijk. Annulering met restitutie uitsluitend tot 20 oktober.

Programma

09.30 Ontvangst
10.00 Opening door Prof. Ir. K. van Harten, dagvoorzitter
10.05 Economisch belang - Ing. J.E. Koot, NFK
- styreendamp beïnvloedt gezondheid en milieu
- overheid vergevorderd met beperkingen aan styreenemissie
- GVK-verwerkers zullen kostbare investeringen moeten treffen
- alternatief: andere verwerkingstechnieken/grondstoffen.

10.20 Procestechnologie - Prof. Ir. K. van Harten, TU Delft
- doorstromingsverloop
- slappe versus stijve matrijzen
- luchtbel-transport in de matrijs
- harsfront voorspellen via computersimulatie.

10.55 koffiepauze
11.25 Harseigenschappen - R. Siegberg, Hoechst AG
- specifieke hars-eisen
- materiaalkeuze voor matrijzen
- ervaringen uit de praktijk
- ontwerpen en in bedrijf stellen van produktie.

12.00 aperitief & lunch
13.30 Demonstraties - Ir. L. van der Schoot, TU Delft
- fabricage van produkten in de werkplaats van de vakgroep vezeltechniek

14.30 Samenstelling vezelpakket - Dr. Kleinholz, Gevetex
- specifieke eisen vezelpakket
- vezeldichtheid versus vloeiweerstand
- voorgevormde vezelpakketten
- keuzecriteria; kostprijs en produktkwaliteit.

15.00 Theepauze
15.20 Matrijzen... en de praktijk - G.J. Jacobs, Flexotherm
- "wat kan ik ermee, wat kost het, wat levert het op?"
- vormgeving en gevolgen voor proces en matrijs
- seriegrootte en afschrijving per produkt
- kostenberekeningen van enkele produkten

15.50 Samenvatting
16.00 Sluiting

Handelscontact-bijeenkomst kunststoffen 9 november 1988, Brussel

Aangemoedigd door het succes van een soortgelijke bijeenkomst, begin juni 1987 in Brussel, gaat de NFK, in samenwerking met de Nederlandse Kamer van Koophandel voor België en Luxemburg weer een *handelscontactdag* organiseren die zal plaatsvinden op *woensdag 9 november 1988*.

De Belgisch/Luxemburgse markt vereist een andere aanpak dan de Nederlandse, schreef een redacteur in zijn bericht over 1987. Terecht, want vele Nederlandse ondernemers zijn daarvan nog onvoldoende doordrongen. Zij hebben er daarom behoefte aan, zo'n eerste contact te leggen met de ondersteuning van ervaren begeleiders die het hen gemakkelijk maken om kennis te nemen van de wensen en verlangens van hun toekomstige partners in de Benelux. Daarbij gaat het primair om contacten tussen Nederlandse toeleveranciers met hun mogelijke Belgische/Luxemburgse afnemers van technische industriële of bouw-produkten.
De plaats van samenkomst is, evenals in 1987, het Sofitel Hotel van Brussels Airport te Diegem. Naast deelnemers die voor de eerste maal op de Belgisch/Luxemburgse markt willen opereren, zijn uiteraard ook degenen die reeds over ervaringen in deze buurlanden beschikken, van harte welkom.

De kosten van deelname zijn:
- niet leden KvK/NFK *f* 225,— excl. BTW
- leden *f* 175,— excl. BTW

in welke prijs is begrepen een aperitief, een lunch en verdere consumpties.

Voor aanmelding wendt men zich tot de *Nederlandse Federatie voor Kunststoffen,* Postbus 344 3440 AH Woerden, Telefoon: 03480 - 14005

Philips organiseert cursussen voor elektronica-ontwerpers

Philips heeft nieuwe support tools en applicatie-boards voor de digitale signaalprocessor PCB 5010/11 geïntroduceerd. Daarnaast is de reeks Programmable Logic Devices (PLD's) uitgebreid met nieuwe typen, waaronder een aantal wisbare CMOS-versies. Elektronica-ontwerpers kunnen een gedetailleerde indruk krijgen van alle mogelijkheden en toepassingen van deze nieuwe produkten door middel van twee cursussen die de marktgroep Components van Philips Nederland in het najaar organiseert. Deze Engelstalige cursussen worden in Eindhoven gegeven. Het cursusmateriaal is bij de kosten inbegrepen.

Digitale Signaalprocessor van 25 tot en met 28 oktober
Deze vierdaagse cursus is vooral bedoeld voor ontwerpers die het gebruik van een digitale signaalprocessor overwegen. Alle aspecten van digitale signaalverwerking zullen de revue passeren. Een goede basiskennis van microprocessorsystemen is een vereiste.
Na een inleiding in de basisprincipes van digitale signaalverwerking zullen de cursisten wegwijs worden gemaakt in de architectuur, de instructieset, de data- en instructie "pipelining" van de PCB 5010/51011, alsmede in de single- en multiprocessor-configuraties met I/O interfaces.
Gedurende de cursus zullen de deelnemers met behulp van de ontwikkelingsgereedschappen een praktijkvoorbeeld uitvoeren.
De kosten van de cursus bedragen *f* 1.500,— per persoon (excl. BTW).

Programmable Logic Devices van 9 tot en met 10 november
De ontwikkeling van PLD's als digitale elektronica-bouwstenen is meer dan het vastleggen van simpele vaste relaties tussen in- en uitgangen. Tijdens deze tweedaagse cursus worden toepassingsmogelijkheden van deze componenten uitvoerig besproken en uitgewerkt.
Na een algemene inleiding over PLD's wordt op de eerste dag aandacht besteed aan de Philips/Signetics-produktlijn. Het middagprogramma zal gewijd zijn aan Amaze, het Philips softwarepakket voor PLD's dat geschikt is voor AT-compatible computers.
Op de tweede dag worden nieuwe ontwikkelingen van de Programmable Macro Logic behandeld en enkele praktische oefeningen uitgevoerd. Tijdens het praktijkgedeelte kunnen de cursisten aan een eigen PLD-toepassing werken.
De kosten van deze PLD-cursus bedragen *f* 400,— per persoon (excl. BTW).
Behalve het cursusmateriaal krijgen de deelnemers (één per deelnemende firma) een Amaze-pakket. Tot drie maanden na afloop van de cursus kunnen zij een floppy met PLD-software opsturen. Philips zal de betreffende PLD kosteloos programmeren en terugzenden.
Voor meer informatie en inschrijving:
Philips Nederland,
Marktgroep Philips Components,
Telefoon: 040 - 783749.

Nationale Technologiedag 1988

Zoals in Mikroniek nr. 3, mei/juni 1988, reeds is aangekondigd, wordt op 27 oktober in Arnhem in Musis Sacrum de derde nationale T-dag gehouden. Het thema van de dag is: Materiaalbewerking.

Geavanceerde materiaalbewerkingsmethoden krijgen vaak de aandacht op symposia. Verbeteringen in traditionele methoden zijn echter evenzeer van belang bij directe toepassing.
Daarnaast vraagt ook de flexibele produktie van uiteenlopende produkten om aanpassing en verbetering van de bestaande bewerkingsmethoden, mede met het oog op de steeds meer aandacht vragende kwaliteitseisen. Daarbij zijn de bedrijfskundige aspecten belangrijk, vooral voor de kortere termijn.

Aangezien dze totale materiaalkosten een zeer aanzienlijk percentage van de produktkostprijs vertegenwoordigen, krijgt efficientie bij de bewerking – naast produktontwerp, materiaalkeuze en specifiek gereedschap – steeds meer aandacht.
Het programma van de T-dag gaat op al deze aspecten in.
De voordrachten in iedere groep vinden simultaan plaats in aparte zalen.

Programma
9.00 uur Ontvangst
9.30 uur Opening

Thema A
Verspanende en niet-verspanende technieken
Voorzitter: Prof. Ir. F. Doorschot, Philips' CFT, TU Eindhoven.
- "Plaatbewerking"
  C.J.W.Th. van Sorgen, Sorba Automatisering B.V., Winterswijk.
- "Massief omvormen"
  Ir. L.G.P. Koekenberg, Philips' PMF, Zwolle.
- "Verspanen"
  Ir. C.A. van Luttervelt, TU Delft.
  Dhr. R. Knol, SKF & Dormer Tools B.V., Veenendaal.
- "Trends"
  Ir. J.L. Remmerswaal, TNO, Apeldoorn.
  Dr. Ir. G.H. Nijhof, Hoogovens, IJmuiden.

Thema B
Kunststof be- en verwerking
Voorzitter: Prof. Drs. J. Bussink, General Electric Plastics, Bergen op Zoom, TU Eindhoven.
- "Persen/Vloeivormen"
  Ir. C.G. van Koert, Polynorm, Roosendaal.
- "Spuitgieten"
  Prof. Dr. Ir. A. Posthuma de Boer, TU Delft.
- "Computer geassisteerd ontwerpen en verwerken"
  Dr. Ir. J.F. Dijksman, Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven.
- "Kunststofgericht ontwerpen"
  Ing. W.C. Antonissen, General Electric Plastics, Bergen op Zoom.
- "Trends"
  Ir. W.H.T. Adriaens, DSM, Urmond.

Thema C
Oppervlakte-behandeling
Voorzitter: Ir. J.H. van der Veen, Stichting VOM, uitvoerend orgaan van de Vereniging voor Oppervlaktetechniek Materialen, Bilthoven.
- "Industrieel Lakken"
  Dr. R.C. Groot, Akzo Coatings, Sassenheim.
- "Thermochemische oppervlaktebehandeling"
  Ing. G. van Wijngaarden, Staps Industries, Tilburg.
- a. "Mechanische oppervlakte-behandeling"
  Prof. Dr. J.H.W. de Wit, TU Delft.
  b. "Aanbrengen van keramische deklagen"
  G. Verspui, Philips' CFT, Eindhoven.
- "Galvanische en stroomloze technieken"
  Ir. C.A. Boose, TNO Metaalinstituut, Apeldoorn.
- "Trends"
  Prof. Dr. Ir. B.H. Kolster, Universiteit Twente, Sticht. Geavanceerde Metaalkunde.

Thema D
Verbindingstechnieken
Voorzitter: Dr. Ir. P.H. van Lent, M&M Consultants en IOP Metalen.
- "Mechanische verbindingen"
  Ir. G.J.J. Streefland, Philips' CFT, Eindhoven.
- a. "Lassen"
  Ing. H.J.M. Bodt, NIL, 's-Gravenhage.
  b. "Hoogtemperatuur solderen"
  Ing. R. Peereboom, Vacuum Soldeercentrum, Diemen.
- "Lijmen"
  Ing. A. van den Hoeven, Ciba Geigy, Arnhem.
  Ir. J.J. Cools, Hogeschool Haarlem.
- "Trends"
  Ing. C. Nederveen, TNO Apeldoorn.

Thema E
Materiaalkeuze
Voorzitter: Dr. Ir. A. Scheepmaker, Produktcentrum TNO, Delft.
- "Materiaalkeuze in het produktontwikkelingsproces"
  F. van der Put, Philips' Corp. Industrial Design, Eindhoven.
- "Kunststoffen in de auto: kiezen of delen"
  Ir. M.T.H. Peters, Volvo Car B.V., Helmond.
- "Optimalisatie in de materiaalkeuze"
  Prof. Ir. A. Anemaat. Philips' PMF, Eindhoven.
- "Trends"
  Ir. A.J. van Griethuysen, Sticht. Toekomstbeeld der Techniek, 's-Gravenhage.
  Ir. A.J. Koning, Produktcentrum TNO, Delft.

Het tweede belangrijke bestanddeel van de dag bestaat uit een aantal posterpresentaties van bedrijven, die in een stand laten zien welke ontwikkelingen zij in huis hebben.

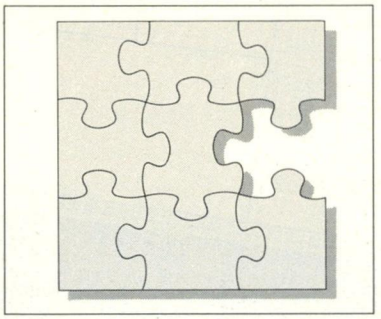
Op deze "kennismarkt" zullen ook de vijf sponsors en de drie ondersteunde organisaties van de T-dag vertegenwoordigd zijn.

Speciaal in het kader van de T-dag wordt een catalogus uitgegeven, waarin naast de samenvattingen van de workshop-inleidingen en beschrijvingen van de thema's een Technologieoverzicht is opgenomen, dat alle belangrijke ontwikkelingen en de daarbij behorende bedrijven en organisaties in kaart brengt.

De catalogus zal ook na de T-dag als een bruikbaar naslagwerk kunnen dienen. Elke deelnemer aan de T-dag ontvangt deze catalogus en een uitgave over bewerkingstechnieken.

Voor inlichtingen kan men zich wenden tot het secretariaat van de T-dag: Adviesbureau Winkelman & Van Hessen B.V.

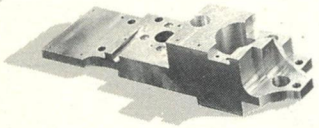
Soms ligt er maar een klein stukje tussen probleem en oplossing.



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



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



Dinfa: De passende oplossing voor uw probleem.

dinfa
PRECISIE-ONDERDELEN EN APPARATEN

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

NC-Organisatie voor produktiebedrijven

Ook in de boekhandel verkrijgbaar

In België te bestellen bij uitgeverij de Sikkel



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

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

Prijs
f 41,-
incl. BTW.

Voorwoord

Voor veel ondernemingen is het invoeren van numerieke besturing pas sinds kort economisch verantwoord. Deze bedrijven moeten nu in korte tijd vele problemen zien op te lossen.

1. De technologische beheersing van de NC-techniek, omdat de invoering van NC-bewerkingsmachines dikwijls gepaard gaat met het toepassen van nieuwe bewerkingsmethoden, of in ieder geval omdat andere verspaningscapaciteiten mogelijk blijken.
2. De opleiding van een groep deskundige medewerkers voor het programmeren en het bedienen van de NC-machines, en
3. Het opzetten van een effectieve NC-organisatie, die een efficiënt gebruik van de kapitaal-intensieve produktiemiddelen garandeert.

Wij verzoeken u te leveren _____ ex. NC ORGANISATIE

NAAM

ADRES

POSTKODE

PLAATS

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

Technische Uitgeverij De Vey Mestdagh BV
Markt 51 • 4331 LK Middelburg • Nederland • Telefoon 01180-81240



AWF-Machinekaarten

Is uw produktie optimaal georganiseerd?

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

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

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

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

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

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

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

Elektrochemisch micro-bewerken*

C. van Osenbruggen en Ir. C. de Regt, Nederlandse Philips Bedrijven B.V.**

Samenvatting

Elektrochemisch bewerken ("electrochemical machining", ECM) geschiedt met een elektrolytoplossing tussen werkstuk en gereedschap, die als anode en kathode geschakeld zijn. Bij stroomdoorgang lost het werkstuk plaatselijk op, waarbij de vorm van het gereedschap wordt gekopieerd. Reactieprodukten en warmte worden afgevoerd via een snelle doorstroming van de elektrolytoplossing. Uitgebreide voorzieningen zijn nodig voor de circulatie en zuivering van de elektrolytoplossing alsmede voor het instellen van de juiste werkspanning, de besturing van het gereedschap en de beveiliging tegen kortsluiting. De snelheid en vormnauwkeurigheid hangen af van gereedschap, elektrolyt, werkspleet, stroomdichtheid en vloeistofsnelheid. De hardheid van het werkstuk speelt geen rol. Een verbetering van de vormnauwkeurigheid wordt verkregen wanneer het gereedschap plaatselijk geïsoleerd is, bij voorbeeld met twee SiC-lagen en een tussenliggende Si_3N_4-laag, die zijn aangebracht via "chemical vapour deposition" (CVD). Ook het gebruik van een pulserende spanning heeft een gunstige invloed. Ingewikkelde vormen worden met een hoge snelheid geproduceerd zonder slijtage van het gereedschap, braamvorming en mechanische spanningen. De ECM-methode kan men gebruiken voor zeer fijne (micro-)bewerkingen als het aanbrengen van tandprofielen en gekalibreerde gaatjes, het verwijderen van kleine bramen, het profileren van randen en het maken van patronen in folies.

Het anodisch oplossen van metalen was al in de vorige eeuw bekend, maar pas in de jaren zestig werden op deze manier voor het eerst metalen bewerkt. De drijvende kracht achter de ontwikkeling van elektrochemisch bewerken ("electrochemical machining", ECM) was vooral het toenemend gebruik van zeer harde legeringen, die met conventionele methoden niet goed te bewerken zijn vanwege een te lage verspaningssnelheid en een te snelle slijtage van het gereedschap. De laatste jaren is in het Centrum voor Fabricagetechnieken (CFT) van Philips aangetoond dat met de ECM-methode ook zeer fijne bewerkingen kunnen worden uitgevoerd. Dit heeft geleid tot een aanzienlijke uitbreiding van het toepassingsgebied.

Inleiding

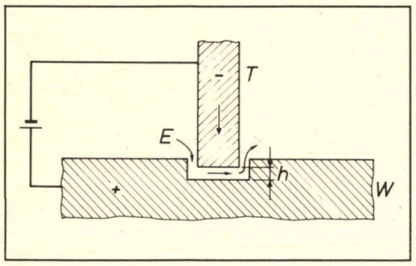
Bij elektrochemisch bewerken bevindt zich tussen het werkstuk en het gereedschap een nauwe werkspleet met een elektrolytoplossing[1]. Het werkstuk wordt als anode geschakeld, het gereedschap als kathode. Bij stroomdoorgang lost het metaal van de anode plaatselijk op, waarbij in het werkstuk de vorm van het gereedschap wordt "gekopieerd". Voor het afvoeren van de ontwikkelde warmte en het opgeloste materiaal wordt de elektrolytoplossing in de werkspleet in hoog tempo ververst.

Bij de ECM-methode spelen de mechanische eigenschappen van het werkstukmateriaal geen rol. Ten opzichte van andere bewerkingsmethoden zonder rechtstreeks contact tussen gereedschap en werkstuk, zoals het vonkverspanen[2], heeft ECM het voordeel dat het een hoge bewerkingssnelheid mogelijk maakt, onafhankelijk van de afmetingen van het te bewerken oppervlak. Bovendien is er geen slijtage van het gereedschap. Bij het bewerken ontstaan er geen bramen en er kunnen ingewikkelde vormen worden geproduceerd. Doordat het werkstuk niet wordt onderworpen aan hoge mechanische belastingen, treden geen ongewenste vervormingen of inwendige spanningen op.
Er zijn echter ook enkele beperkingen. De installatie die nodig is voor ECM, is tamelijk gecompliceerd. Doordat de methode nog volop in ontwikkeling is, moet men vaak langs empirische weg komen tot een keuze van de gereedschapsvorm, de stroomdichtheid, de vloeistofsnelheid en de spleethoogte. Voor de verwijdering van het opgeloste materiaal zijn voorzieningen nodig om te voorkomen dat het milieu wordt belast. In de vliegtuigindustrie en, iets minder, in de auto-industrie wegen echter de specifieke voordelen van ECM vaak zwaarder en wordt deze methode veel toegepast voor het maken van ingewikkelde onderdelen van een hard metaal en voor het ontbramen van conventioneel verkregen onderdelen. Buiten deze gebieden heeft ECM veel minder ingang gevonden.
Sinds enige jaren wordt in het Centrum van Fabricagetechnieken (CTF) van Philips de methode verder ontwikkeld voor het uitvoeren van zeer fijne (micro-)bewerkingen. Tegelijkertijd wordt in samenwerking met andere groepen gekeken naar de mogelijkheden voor toepassing binnen Philips. Daarbij kan men denken aan het bewerken van zeer kleine werkstukoppervlakken (tot slechts 0,2 mm^2), maar ook aan het aanbrengen van allerlei profielen in massa-onderdelen. Het onderzoek heeft geleid tot een goede beheersing van ECM-processen voor micro-bewerkingen.
In dit artikel geven we eerst een algemene beschrijving van de ECM-methode. Vervolgens worden de apparatuur en de werkwijze beschreven, waarbij ook enige problemen en voorgestelde oplossingen aan de orde zullen komen. Daarna gaan we kort in op de toepassingsmogelijkheden.

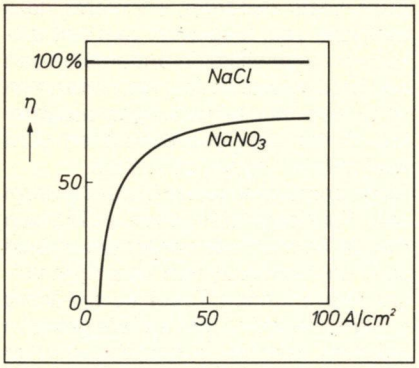
De ECM-methode

Het principe van de ECM-methode voor het maken van een holte met een rechthoekige doorsnede is schematisch weergegeven in *figuur 1*. Door de werkspleet tussen het gereedschap en het werkstuk stuurt men met een hoge druk een elektrolytoplossing. Tussen het werkstuk (anode) en het gereedschap (kathode) wordt een spanning aangelegd, zodat een elektrische stroom gaat lopen. Het metaal M van de anode gaat daarbij plaatselijk in oplossing door de reactie:

* Dit artikel is eerder geplaatst in Philips Technisch Tijdschrift 42 (1984) nr. 1.
** C. van Osenbruggen, oud-medewerker van het Philips Natuurkundig Laboratorium en van het Philips Centrum voor Fabricagetechnieken (CFT), Eindhoven; Ir. C. de Regt, medewerker van het CFT, Eindhoven.



Figuur 1 Schematische voorstelling van de ECM-methode voor het maken van een holte met een rechthoekige doorsnede. Een als kathode geschakeld gereedschap *T* bevindt zich op korte afstand van een als anode geschakeld werkstuk W. Door de tussenliggende werkspleet (met hoogte *h*) wordt met een hoge druk een elektrolytoplossing *E* gestuurd. Tijdens het ECM-proces lost het werkstuk plaatselijk op, terwijl men het gereedschap in de richting van het werkstuk laat bewegen.



Figuur 2 Procesrendement η als functie van de stroomdichtheid J bij het elektrochemisch bewerken van een bepaalde staalsoort met een NaCl- en een $NaNO_3$-oplossing[3]. Met NaCl is het rendement onafhankelijk van de stroomdichtheid en praktisch gelijk aan 100%. Met $NaNo_3$ is het rendement lager; bij lage stroomdichtheden lost er vrijwel niets op.

$$M \rightarrow M^{n+} + ne,$$

waarbij n^+ de lading van het gevormde metaalion is. Aan de kathode vindt o.a. een elektrolytische reductie van water plaats, waarbij waterstofgas en hydroxylionen worden gevormd:

$$2H_2O + 2e \rightarrow H_2\,(g) + 2OH^-.$$

Afhankelijk van het te bewerken metaal en de zuurgraad van de oplossing kunnen metaal- en hydroxylionen samen een onoplosbaar hydroxide vormen:

$$M^{n+} + nOH^- \rightarrow M(OH)_n\,(s).$$

Het gevormde neerslag wordt, evenals het waterstofgas, door de stroming van de elektrolytoplossing afgevoerd. Deze stroming zorgt ook voor de afvoer van de warmte die in de werkspleet is ontwikkeld.

De procesomstandigheden voor ECM zijn in elektrochemisch opzicht tamelijk extreem. In de nauwe werkspleet (20 tot 200 µm) treden bij een werkspanning van 2 tot 40 V zeer hoge stroomdichtheden (10 tot 1000 A/cm²) op, terwijl ook de vloeistofsnelheid zeer hoog is (10 tot 50 m/s). Afhankelijk van de procesomstandigheden varieert de oplossnelheid tussen 0,5 en 10 mm/min.

Het procesrendement – de verhouding van de hoeveelheid opgelost metaal en de hoeveelheid die bij de gegeven stroom en tijdsduur zou moeten oplossen volgens de wet van Faraday – is vaak lager dan 100%. Dit komt doordat er naast het oplossen van het metaal nog andere anodereacties kunnen optreden, zoals de oxidatie van water, waarbij zuurstofgas vrijkomt:

$$2H_2O \rightarrow 4H^+ + O_2\,(g) + 4e.$$

De mate waarin deze reactie het rendement verlaagt, hangt sterk af van het werkstukmateriaal, de elektrolyt en de stroomdichtheid. Op een stalen werkstuk wordt met sommige elektrolyten, b.v. natriumnitraat ($NaNO_3$), een passiverende oxide- of hydroxidelaag gevormd. Dit leidt ertoe dat bij lage stroomdichtheden slechts een gering gedeelte van de stroom wordt benut voor het oplossen van het metaal. Bij hoge stroomdichtheden is het rendement aanzienlijk hoger; zie *figuur 2*. Een dergelijk passivering heeft een gunstige invloed op de vormnauwkeurigheid van het werkstuk: op plaatsen waar geen aantasting mag optreden maar waar toch een (lage) stroomdichtheid heerst, gaat geen materiaal in oplossing, terwijl op plaatsen met een hoge stroomdichtheid de passivering relatief veel minder invloed op de oplossnelheid heeft.

Behalve de oxidatie van water kan aan de anode ook een verdere oxidatie van reeds gevormde metaalionen optreden[4]. Zo worden tijdens het bewerken van chroomstalen werkstukken de gevormde Cr^{3+}-ionen geoxideerd tot chromaationen (CrO_4^{2-}):

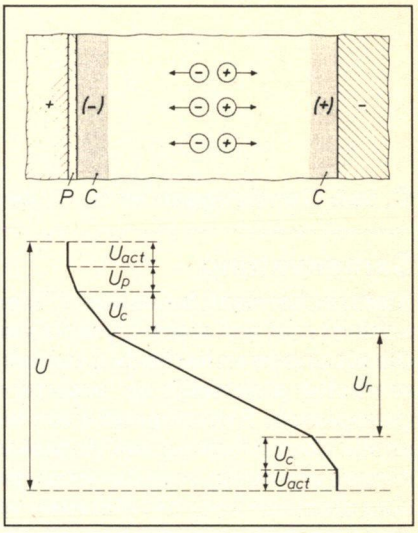
$$Cr^{3+} + 4H_2O \rightarrow CrO_4^{2-} + 8H^+ + 3e.$$

Aan de kathode kan een reductie van de aanwezige zuurrestionen optreden, b.v. van nitraat- naar nitriet-ionen:

$$NO_3^- + 2e + 2H^+ \rightarrow NO_2^- + H_2O.$$

De stroomdichtheid J in de oplossing wordt bepaald door het "ohmse" spanningsverschil U_r over de oplossing, haar soortelijke geleiding χ en de spleethoogte h:

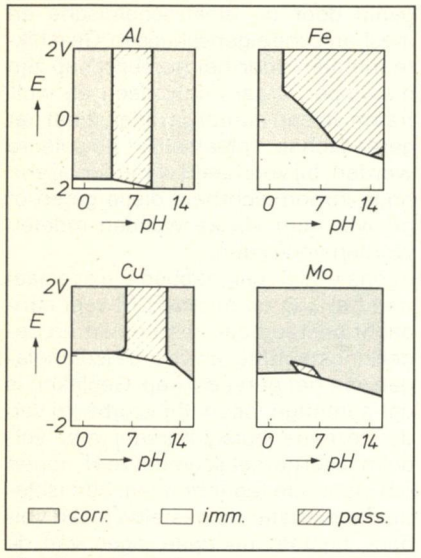
$$J = \frac{U_r \chi}{h}. \qquad (1)$$



Figuur 3 Schematisch spanningsverloop tussen de elektroden tijdens het ECM-proces. Verondersteld wordt dat op de anode zich een passiverende laag *P* heeft afgezet. Door het ionentransport in de elektrolytoplossing ontstaat in de buurt van de anode en kathode een concentratiegebied *C* met een overmaat aan respectievelijk negatieve en positieve ionen. Het "ohmse" spanningsverschil U_r over de elektrolytoplossing is gelijk aan de werkspanning U verminderd met de overspanningen bij de beide elektroden, nl. de activeringsoverspanning U_{act}, de passiveringsoverspanning U_p en de concentratie-overspanning U_c.

Ter verkrijging van de gewenste hoge stroomdichtheid, bij gegeven waarden van χ en h, is een werkspanning nodig die aanzienlijk hoger is dan U_r. Dit komt door de activeringsoverspanning voor het ladingstransport aan de elektroden, door het "ohmse" spanningsverschil over de passiverende laag en door de concentratie-overspanning voor het ionentransport; zie *figuur 3*. De activeringsoverspanning aan een elektrode hangt af van de stroomdichtheid en van de elektrochemische potentiaal van het metaal ten opzichte van de oplossing[5]. De concentratie-overspanning, de extra spanning waarbij de ionen door de concentratiegebieden bij de elektroden heen kunnen dringen, wordt bepaald door de beweging van de ionen in het elektrische veld, de convectie bij de opgelegde vloeistofstroming en de diffusie onder invloed van concentratiegradiënten. Door het opleggen van een turbulente vloeistofstroming kan de concentratie-overspanning laag gehouden worden. De totale overspanning is bij het ECM-proces in het algemeen tussen 2 en 5 V.

De elektrolytoplossing in de werkspleet moet de elektrische stroom goed geleiden en moet een geringe passivering van het werkstukoppervlak bewerkstelligen. Een goede keuze is een $NaNO_3$-oplossing (ca. 4 mol/l) waarvan de soortelijke geleiding ongeveer



Figuur 4 Pourbaix-diagrammen van aluminium, ijzer, koper en molybdeen[6]. In deze evenwichtsdiagrammen is schematisch aangegeven bij welke combinaties van de elektrochemische potentiaal E en de zuurgraad pH de metalen oplossen (*corr.*), immuun zijn (*imm.*) of bedekt worden met een passiverende laag (*pass.*).

15 S/m bedraagt. Verder is de zuurgraad van de oplossing belangrijk, omdat deze mede bepalend is voor het oplosgedrag van het metaal. De relatie tussen de elektrochemische potentiaal E, de zuurgraag pH, en het oplosgedrag bij thermodynamisch evenwicht wordt vaak schematisch weergegeven in een zogenaamd Pourbaixdiagram[6]. Daarin wordt aangegeven bij welke combinaties van E en pH het metaal oplost, immuun is (niet oplost) of bedekt wordt met een passiverende laag. *Figuur 4* toont enige diagrammen van metalen met een sterk verschillend oplosgedrag. Hoewel er bij ECM zeker geen sprake is van een thermodynamisch evenwicht, kunnen dergelijke diagrammen toch nuttig zijn bij het voorspellen van het oplosgedrag van een bepaald metaal.

De spleethoogte zal bij gebruik van een stilstaand gereedschap als gevolg van het anodisch oplossen tijdens de bewerking geleidelijk groter worden. Daardoor zal de stroomdichtheid steeds verder dalen, waardoor het gemaakte profiel ongelijkmatig wordt en de bewerking uiteindelijk vanzelf stopt. Om een verlaging van de stroomdichtheid te voorkomen, dient men de spleethoogte constant te houden. Dit houdt in dat men tijdens de bewerking het gereedschap in de richting van het werkstuk moet bewegen met een snelheid die gelijk is aan de oplossnelheid. Uit de wet van Faraday kan voor de oplossnelheid v_d de volgende uitdrukking worden afgeleid:

$$v_d = J\,\eta\,V_{sp}. \qquad 2)$$

Hierin is η het procesrendement en is V_{sp} het specifiek oplosbaar volume $A/(nF\rho)$, waarbij A het atoomgewicht is, F de constante van Faraday (9,65 x 10^4 C/mol) en ρ de dichtheid van het anodemetaal. Substitutie van verg. (1) in verg. (2) levert:

$$v_d = \frac{U_r \chi\,\eta\,V_{sp}}{h}. \qquad (3)$$

In de situatie van figuur 1 is bij een gelijkmatige bewerking de snelheid v_f van het gereedschap gelijk aan v_d. De spleethoogte h is dan gelijk aan

$$h = \frac{U_r \chi\,\eta\,V_{sp}}{v_f}. \qquad (4)$$

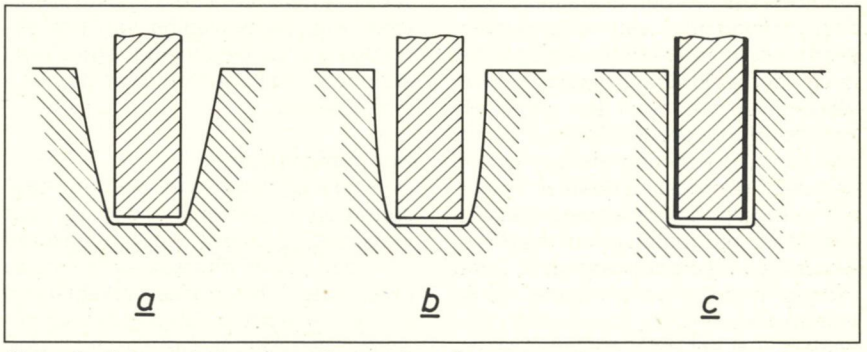
Naarmate v_f hoger is, vindt het ECM-proces bij een kleinere spleethoogte plaats, hetgeen een gunstige invloed heeft op de vormnauwkeurigheid van de bewerking. Hier geldt natuurlijk nog wel de beperking dat de spleethoogte groot genoeg moet zijn voor een goede doorstroming van de elektrolytoplossing.

Een belangrijke voorwaarde voor een succesvolle bewerking is het voorhanden zijn van een geschikt gereedschap. In het algemeen moet dit bestaan uit een elektrisch goed geleidend, chemisch inert materiaal dat met andere bewerkingsmethoden in de gewenste vorm kan worden gebracht. Van groot belang zijn de gedeelten die geen stroomdoorgang mogen hebben, maar wel in contact komen met de elektrolytoplossing. In *figuur 1* zijn dat de zijkanten van het gereedschap. Gebleken is dat bij gebruik van een passiverende elektrolytoplossing een goede vormnauwkeurigheid kan worden bereikt als bovendien op deze plaatsen dunne isolatielagen zijn aangebracht; zie *figuur 5*. Deze lagen moeten elektrisch goed isolerend zijn en mogen de elektrolytvloeistof en de erin opgeloste ionen niet doorlaten. Ze moeten uniform zijn, zich goed hechten op het gereedschap, en chemisch resistent zijn. Ook moeten ze bestand zijn tegen de sterke vloeistofstroming en tegen de krachten die bij een eventueel contact tussen gereedschap en werkstuk optreden. Ten slotte moet het materiaal van de lagen goed bewerkbaar zijn.

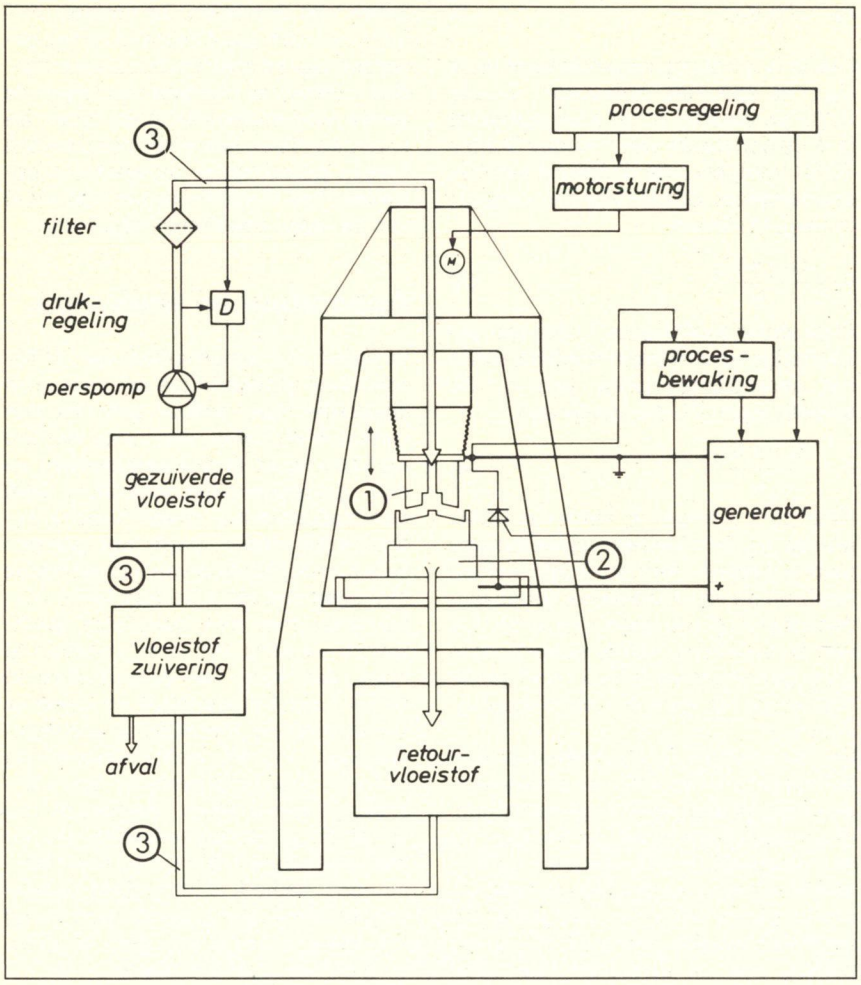
Apparatuur en werkwijze

In *figuur 6* is schematisch een ECM-opstelling getekend die we voor onze onderzoekingen hebben gebruikt. Het werkstuk en het gereedschap worden als kathode en anode aangesloten op een gelijkspanningsgenerator. Met een stappenmotor of een lineaire hydraulische motor wordt het gereedschap in de richting van het werkstuk bewogen met een snelheid die correspondeert met een constante werkspleet; zie verg. (4). Is de snelheid te hoog, dan komt het gereedschap in contact met het werkstuk en treedt er kortsluiting op. Metallische verontreinigingen in de elektrolytoplossing kunnen door vonkoverslag ook kortsluiting veroorzaken. Aangezien bij kortsluiting het gereedschap en het werkstuk onherstelbaar kunnen worden beschadigd, is in de ECM-opstelling een beveiliging ingebouwd die bij een detectie van kortsluiting de spanning binnen 5 µs uitschakelt.

De elektrolyt en de zuurgraad van de oplossing worden zodanig gekozen dat tijdens het ECM-proces het werkstukmateriaal goed oplost, zonder dat het gereedschap wordt aangetast. Meestal wordt gewerkt met een neutrale $NaNO_3$-oplossing (pH ≈ 7). Vanuit een voorraadvat wordt de vloeistof via een drukregelaar (0,2 tot 2 MPa) en een filter naar de werkspleet gepompt, bij voorbeeld via een boring in het gereedschap. Na de werkspleet te hebben



Figuur 5 Schematische voorstelling van het effect van passivering en isolatie op de vormnauwkeurigheid van het ECM-proces bij het maken van een holte met een rechthoekige doorsnede. Met een nietpassiverende elektrolytoplossing zonder isolatie van het gereedschap wordt het werkstuk ter hoogte van de zijkanten van het gereedschap teveel aangetast, waardoor geen rechthoekig profiel wordt verkregen (*a*). Wordt op het werkstuk een passiverende laag gevormd, dan is de afwijking duidelijk minder (*b*). Als bovendien op de zijkanten van het gereedschap een isolatielaag is aangebracht, wordt een nog beter resultaat verkregen (*c*).



Figuur 6 Schematische weergave van een in het CFT gebruikte ECM-opstelling. Een als kathode geschakeld gereedschap (1) wordt met een stappenmotor of een lineaire hydraulische motor in de richting van het werkstuk (2) bewogen. Door middel van een meeten regelsysteem wordt het gereedschap in de juiste positie gebracht. Het systeem zorgt tevens voor het aanleggen van de juiste werkspanning van de generator en het beveiligen tegen kortsluiting. Verder bevat de opstelling een omvangrijk systeem voor de circulatie en zuivering van de elektrolytoplossing (3).

doorlopen, wordt de vloeistof opgevangen, waarna het ontstane neerslag door bezinking wordt verwijderd. De concentratie van opgeloste verontreinigingen kan worden teruggedrongen door toevoeging van chemicaliën, eventueel in een parallel systeem. Dit is bij voorbeeld nodig tijdens het bewerken van chroomstalen werkstukken, waarbij de gevormde chromaationen (CrO_4^{2-}) een ongunstige invloed op het ECM-proces hebben en bovendien giftig zijn. Door toevoeging van bij voorbeeld natriumbisulfiet ($NaHSO_3$) wordt CrO_4^{2-} gereduceerd tot Cr^{3+}, dat in de vorm van het onoplosbare $Cr(OH)_3$ tegelijk met $Fe(OH)_3$ kan worden verwijderd. Tot een concentratie van ca. 1 mol/l heeft de toevoeging van $NaHSO_3$ geen ongunstige invloed op het ECM-proces.

Figuur 7 toont een ECM-opstelling die in het CFT is ontworpen. Vooral door de voorzieningen ten behoeve van de elektrolytoplossing vormt de combinatie van gereedschap en werkstuk slechts een klein gedeelte van de totale opstelling. Verder bevat de opstelling omvangrijke meet- en regelapparatuur voor het instellen van de juiste werkspanning, de beweging van het gereedschap, de beveiliging tegen kortsluiting en de beheersing van de vloeistofstroming.

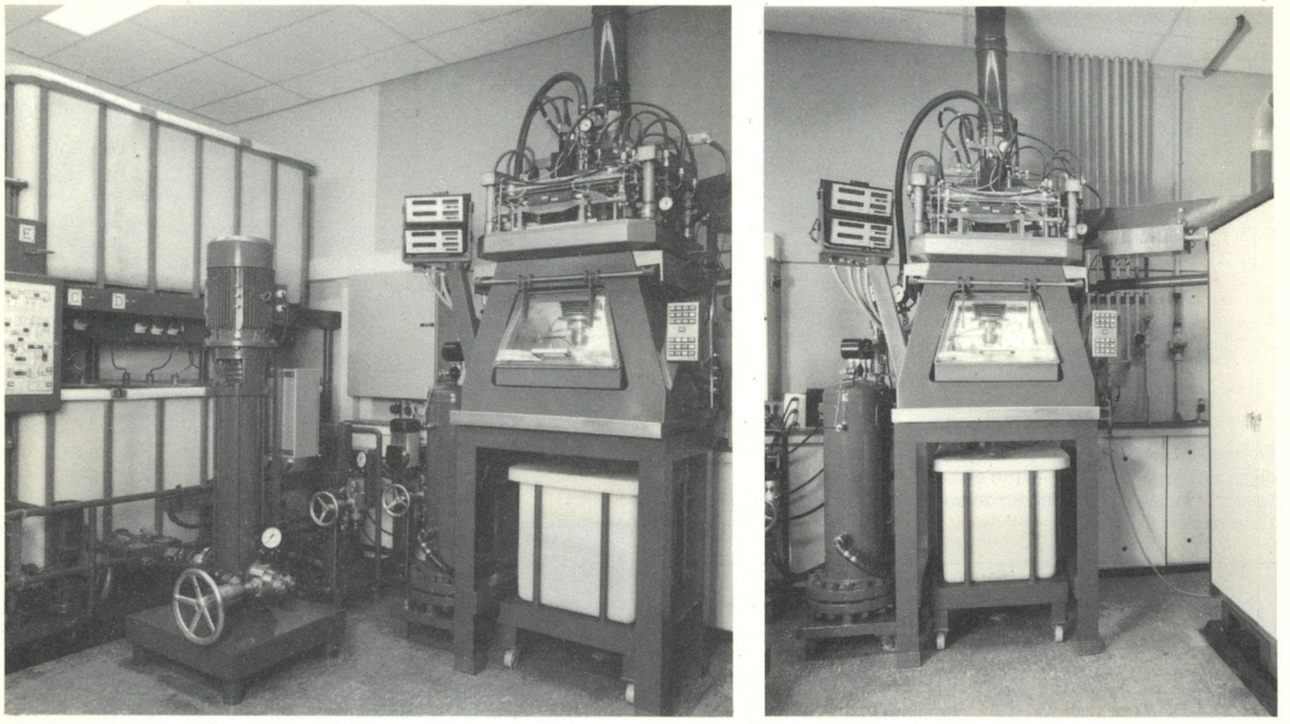
Het gereedschap

Het gereedschap moet worden afgestemd op de gewenste vorm van het werkstuk. Er moet worden gezorgd voor een goede doorstroming van de elektrolytoplossing in de werkspleet en voor een goede bevestiging van het gereedschap. Afhankelijk van het materiaal en het te maken profiel kunnen voor ECM-gereedschap conventionele bewerkingsmethoden als draaien, frezen en slijpen worden gebruikt, maar ook speciale methoden als lasersnijden en vonkverspanen[2]. De keuze van het gereedschapsmateriaal wordt bepaald door de elektrochemische en mechanische eigenschappen. Geschikte metalen voor het gereedschap zijn o.a. koper, staal, molybdeen en wolfraam. In een aantal gevallen moet het gereedschap plaatselijk geïsoleerd worden, bij voorbeeld wanneer bij een hoge stroomdichtheid diepe gaten of gleuven met vlakke wanden moeten worden verkregen.

In ons onderzoek hebben we speciaal met het oog op micro-ECM veel aandacht besteed aan materialen en bedekkingstechnieken voor de isolatielagen van het gereedschap. Gebleken is dat sommige lagen (bij voorbeeld van de normale epoxy-harsen) niet voldoen, voornamelijk omdat ze H^+-ionen onvoldoende tegenhouden. Een isolatie die wèl aan de gestelde eisen voldoet, bestaat uit twee lagen van de halfgeleider siliciumcarbide (SiC), de ene van het p-type en de andere van het n-type[7]. Een goede methode voor het aanbrengen van SiC-lagen is "chemical vapour deposition" (CVD)[8]. Hierbij laat men aan het substraatoppervlak een gasvormige verbinding, bij voorbeeld $(CH_3)_2SiCl_2$, bij hoge temperatuur ($\geqslant$ 1000 °C) ontleden, waardoor een dunne, compacte laag van polykristallijn SiC wordt afgezet. Een andere geschikte isolatie bestaat uit twee niet-gedoteerde SiC-lagen met daartussen een sterk isolerende, amorfe laag van siliciumnitride (Si_3N_4)[9]. Ook deze tussenlaag kan men weer aanbrengen met CVD, bij voorbeeld via de reactie

$$3SiH_4(g) + 4NH_3(g) \rightarrow Si_3N_4(s) + 12H_2(g).$$

Met de combinaties p-SiC/n-SiC en SiC/Si_3N_4/SiC kan de totale isolatie dun zijn ($<$ 15 μm), zodat de doorstroming van de elektrolytoplossing niet wordt belemmerd en een goede vormnauwkeurigheid kan worden bereikt. Andere voordelen zijn de uniforme dikte (ook op ingewikkelde profielen), de slijtvastheid en de chemische resistentie. Het toepassen van dergelijke isolaties blijft echter beperkt tot metalen waarvan de uitzettingscoëfficiënt slechts weinig verschilt van die van SiC en waarop een SiC-laag zich goed hecht. Verder moet het metaal van het gereedschap goed bestand zijn tegen de hoge temperatuur van het CVD-proces. Hieruit volgt dat alleen metalen als molybdeen en wolfraam op deze manier geïsoleerd kunnen worden. De afzetting op deze metalen is uitvoerig onderzocht[10]. Daarbij is gebleken dat SiC zich bijzonder goed hecht aan molybdeen, waarschijnlijk door de vorming van molybdeencarbiden en -siliciden in het grensgebied. *Figuur 8* toont een rasterelektronenmicroscoop-(SEM-)foto van een molybdeenstrook waarop achtereenvolgens isolatiela-



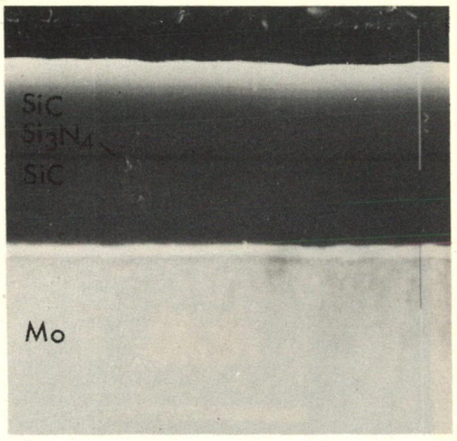
Figuur 7 ECM-opstelling in het CFT. In het midden vindt de eigenlijke bewerking plaats. Het grootste deel van de opstelling wordt in beslag genomen door de voorzieningen ten behoeve van de elektrolytoplossing (*linkerfoto*) en door de meet- en regelapparatuur (*rechts*).

gen van SiC, Si_3N_4 en SiC zijn aangebracht. De SiC-lagen hebben een dikte van ca. 6,5 µm, terwijl de tussenliggende Si_3N_4-laag veel dunner is, nl. 0,4 µm. De reactiezone tussen molybdeen en SiC is duidelijk zichtbaar.
Door de brosheid van SiC bestaat bij nabewerking van het gereedschap het gevaar dat de isolatie gaat afbrokkelen. Uit onderzoekingen met verschillende bewerkingsmethoden is gebleken dat bij zorgvuldig slijpen van een met SiC en Si_3N_4 geïsoleerd gereedschap er vrijwel geen afbrokkeling optreedt.
Het ontwerpen van het juiste ECM-gereedschap gaat in het algemeen het makkelijkst wanneer het profiel een prismatische vorm dient te hebben. Voor het maken van allerlei matrijsholten zijn echter andere ruimtelijke vormen nodig, met vlakken die schuin staan ten opzichte van de bewegingsrichting tijdens het ECM-proces. In dat geval is het plaatselijk isoleren van het gereedschap niet goed mogelijk en moet op een andere manier de gewenste vormnauwkeurigheid worden bereikt.

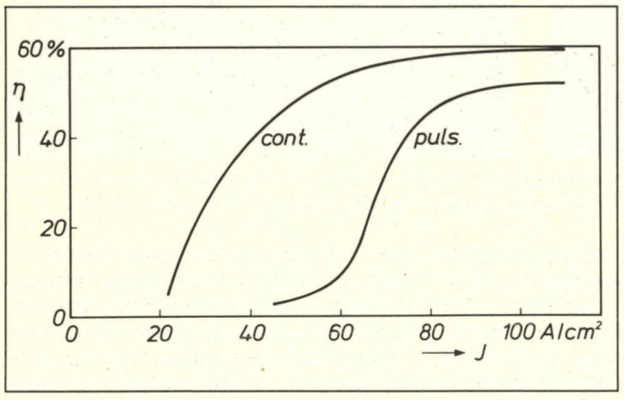
Het gebruik van een pulserende spanning

De hoge stroomdichtheid (≥ 100 A/cm²) die voor een goed verlopend ECM-proces nodig is, kan vooral bij nauwe werkspleten tot een zodanig hoge concentratie van reactieproducten leiden dat deze nog slechts voor een deel met de vloeistofstroom kunnen worden afgevoerd. Als gevolg hiervan zal tijdens het proces een toenemende vervuiling van de werkspleet optreden, waardoor er een neerslag op het gereedschap ontstaat en het werkstukmateriaal niet meer gelijkmatig oplost. Bovendien kunnen de veranderingen in de samenstelling, en daardoor in de elektrische weerstand, van de elektrolytoplossing en de optredende temperatuurstijging zodanig zijn, dat deze eveneens de vormnauwkeurigheid aantasten. Deze problemen kan men grotendeels vermijden door in plaats van een continue een pulserende spanning aan te leggen[11]. Door een goede afstemming van de pulstijd en de pauzetijd op de stroomdichtheid kan de werkspleet tijdens de stroomonderbrekingen vrijwel volledig worden schoongespoeld, zodat een regelmatig ECM-proces mogelijk is.

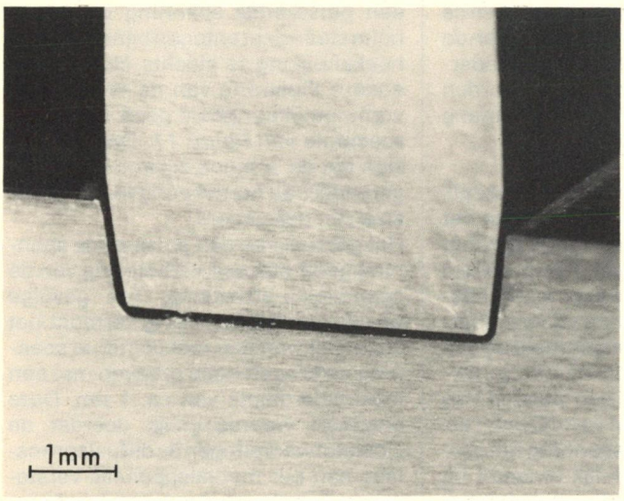
Een belangrijk verschil met het gebruik van een continue spanning is dat het procesrendement veel sterker afhangt van de stroomdichtheid. Als voorbeeld hiervan is in *figuur 9* het procesrendement voor de bewerking van staal uitgezet tegen de stroomdichtheid bij een continue spanning en bij een pulserende spanning met een pulstijd van 1 ms en een pauzetijd van 10 ms. Terwijl met de continue spanning het procesrendement geleidelijk afneemt bij een verlaging van de stroomdichtheid, treedt met de pulserende spanning een veel sterkere daling op.
Zoals reeds is opgemerkt, heeft een sterke daling van het procesrendement bij een afnemende stroomdichtheid een gunstige invloed op de vormnauwkeurigheid van het werkstuk. Deze verbetering hangt sterk af van de ingestelde pulstijd en iets minder van de pauzetijd. De grotere vormnauwkeurigheid is goed te zien wanneer holten worden gemaakt met een gereedschap dat een rechthoekige doorsnede heeft. *Figuur 10* toont microscoopfoto's van dergelijke holten. Ten gevolge van de vergroting van de zijspleet heeft de met een continue spanning verkregen holte schuine wanden met een hoekafwijking van ca. 17°. De wanden van de met een pulserende spanning verkregen holte staan daarentegen bijna recht; de hoekafwijking is slechts ca. 3°. Een andere illustratie van de te bereiken vormnauwkeurigheid geeft de microscoopfoto van *figuur 11*. Daarop is te zien dat de schuine zijkanten van het gereedschap nauwkeurig in het werkstuk zijn gekopieerd.
Het gebruik van een pulserende spanning geeft ook een verbetering van de oppervlakte-afwerking. Ten gevolge van de vloeistofstroming vertoont het oppervlak van een met continue spanning verkregen holte groeven met een maximale diepte van ca. 1 µm. Deze ontstaan waarschijnlijk doordat de vloeistofwervelingen de diffusiegrenslaag aan het metaaloppervlak verstoren en daardoor het oplosgedrag beïnvloeden. Bij gebruik van een pulserende spanning blijken geen groeven voor te komen. Tijdens de pauzes tussen de spanningspulsen wordt de samenstel-



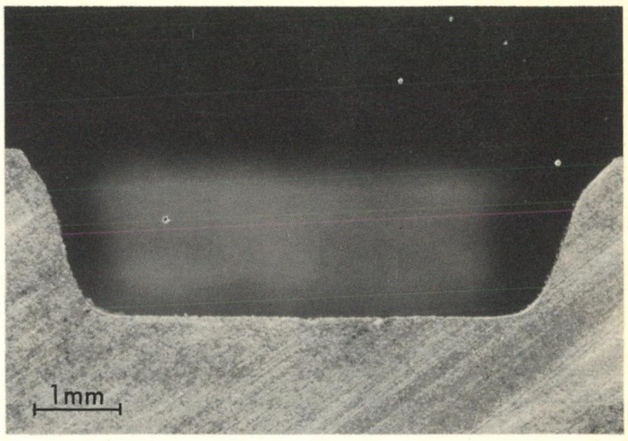
Figuur 8 SEM-foto van een molybdeenstrook waarop twee 6,5 µm dikke SiC-lagen en een 0,4 µm dikke Si_3N_4-tussenlaag zijn aangebracht. Tussen molybdeen en de onderste SiC-laag is een reactiezone te zien.

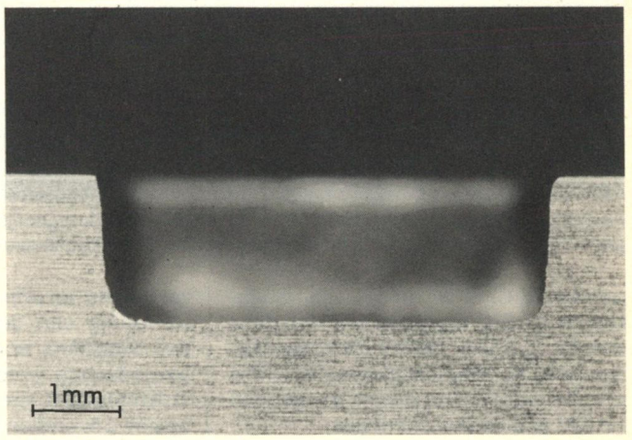


Figuur 9 Rendement *n* van een ECM-proces als functie van de stroomdichtheid *J* bij een continue spanning en bij een pulserende spanning met een pulsduur van 1 ms en een pauzeduur van 10 ms, onder overigens gelijke omstandigheden. Bij een daling van de stroomdichtheid vanaf 100 A/cm² treedt met een pulserende spanning een veel sterkere rendementsdaling op dan met een continue spanning.

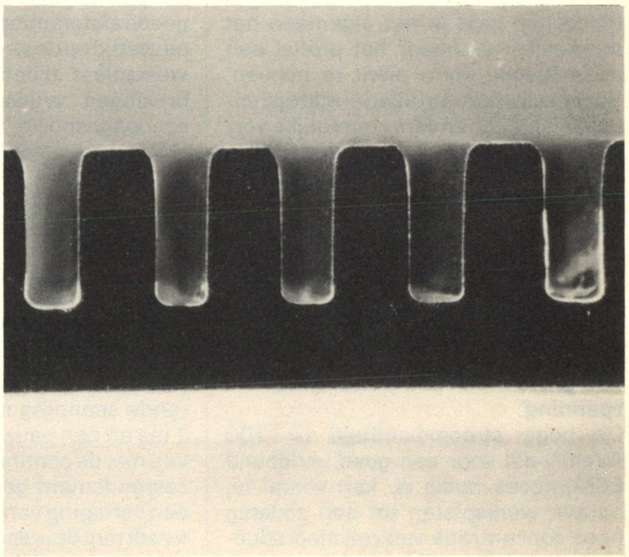


Figuur 11 Microscoopfoto van een stalen werkstuk waarin via ECM met een pulserende spanning een holte is gemaakt, en het daarvoor gebruikte gereedschap. Dank zij de pulserende spanning zijn de schuine zijkanten van het gereedschap nauwkeurig in het werkstuk gekopieerd.





Figuur 10 Microscoopfoto's van holten die via ECM gemaakt zijn in een stalen werkstuk. Het gebruikte gereedschap heeft een rechthoekige doorsnede. De holte verkregen met een continue spanning (*boven*) heeft schuine wanden met een hoekafwijking van ca. 17°. Bij de holte gemaakt met een pulserende spanning (*onder*) is de hoekafwijking slechts ca. 3°.



Figuur 12 Microscoopfoto van een dwarsdoorsnede van een tandprofiel verkregen door ECM. De tanden hebben een breedte van 0,37 mm en een hoogte van 0,77 mm.

ling van de grenslaag telkens vernieuwd, zodat de vloeistofwervelingen veel minder invloed hebben.

Toepassingsmogelijkheden

Voor de ECM-methode zijn verschillende toepassingen denkbaar, met name bij de massafabricage van allerlei precisie-onderdelen van elektronische en elektromechanische apparaten. Sinds enige jaren worden in het CFT diverse applicatie-onderzoekingen verricht. Daarbij worden zeer uiteenlopende bewerkingen bestudeerd, van het maken van gaatjes met een diameter van 50 µm tot het profileren van een oppervlak van 0,15 m². Anderzijds worden de bewerkingen uitgevoerd aan sterk verschillende materialen: aluminium, koper, molybdeen, wolfraam, staal, hardmetaal en geleidende keramische materialen. In veel gevallen zijn de eisen die aan de bewerking worden gesteld, althans voor kleine aantallen haalbaar gebleken. Op enkele resultaten zullen we nader ingaan.

Profileren met een geïsoleerd gereedschap

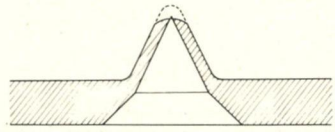
In *figuur 12* is een dwarsdoorsnede van een tandprofiel weergegeven dat door middel van ECM is aangebracht in een 1,5 mm dikke staalstrip. Het gebruikte gereedschap heeft de complementaire vorm van het gevraagde profiel en is, op het geslepen frontvlak na, volledig geïsoleerd. De isolatie heeft een dikte van ca. 15 µm en bestaat uit twee SiC-lagen en een tussenliggende Si_3N_4-laag.

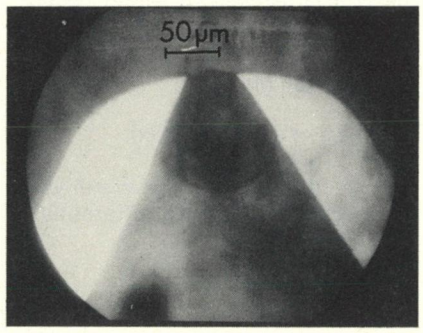
De bewerking begint met het gereedschap op 50 µm boven het strip-oppervlak. Het gereedschap wordt met een snelheid van 2,5 mm/min het werkstuk in bewogen, waarbij de spleethoogte van 50 µm blijft. Zodra het gereedschap zich op een diepte van b.v. 0,72 mm bevindt, wordt de bewerking gestopt. De tandhoogte (gereedschapdiepte + spleethoogte) is dan 0,77 mm. Dank zij de geringe spleethoogte tijdens de bewerking kunnen de tanden met een grote nauwkeurigheid worden aangebracht: de variatie in de tandbreedte bedraagt minder dan 20 µm.

Omdat de bewerking plaatsvindt bij een hoge stroomdichtheid (180 A/cm²) en een geringe spleethoogte, is er een betrekkelijke hoge vloeistofdruk (ca. 0,8 MPa) nodig om voldoende elektrolytoplossing door de werkspleet te kunnen pompen. De richting van de vloeistofstroming komt overeen met de lengterichting van de tanden. In verband met de hoge vloeistofdruk moet bij de constructie van het gereedschap worden gezorgd voor goede afdichtingen.

Het maken van gekalibreerde gaatjes

In speciale gevallen kan de ECM-methode worden gebruikt voor het nauwkeurig aanbrengen van gaatjes. Een voorbeeld hiervan is de vervaardiging van een diafragma voor een elektronenoptisch systeem. Daarbij wordt aan de bovenkant van een holle kegel materiaal verwijderd, zodat een tafelberg ontstaat waarvan de platte top het diafragma is. *Figuur 13* toont een diafragma dat met ECM is verkregen. De opening heeft een diameter van 50 ± 1 µm, ruimschoots binnen de gewenste tolerantie.





Figuur 13 Microscoopfoto van een doorsnede van een tafelberg met diafragma voor een elektronenoptisch systeem. De gekalibreerde diafragma-opening, met een diameter van 50 µm, is door ECM verkregen via een verwijdering van de top van een holle kegel (*boven*).

Het verkrijgen van een dergelijk diafragma vereist een zorgvuldige beheersing van de gatdiameter. De bewerking geschiedt met een stilstaand, vlak gereedschap op ca. 0,1 mm boven de kegeltop. Vanaf de andere kant wordt tegen de binnenkant van de kegeltop een pen met een diameter van 48 µm gezet. Deze pen, van een niet-oplosbaar materiaal (bij voorbeeld platina-rhodium of tantaal), wordt via een microschakelaar verbonden met de spanningsgenerator. Bij het ECM-proces lost eerst de top op, waarna de gevormde opening steeds groter wordt.

Zodra de gewenste diameter is bereikt, gaat het penkaliber door het gaatje bewegen en wordt de spanning uitgeschakeld. Eventuele braamvorming ten gevolge van de penbeweging kan men verhelpen door napulsen. De in figuur 13 getoonde tafelberg heeft een afgeronde top. Door gebruik te maken van een afschermring van platina die over de kegel is geschoven, kan men de vlakheid van de top verbeteren tot ± 10 µm.

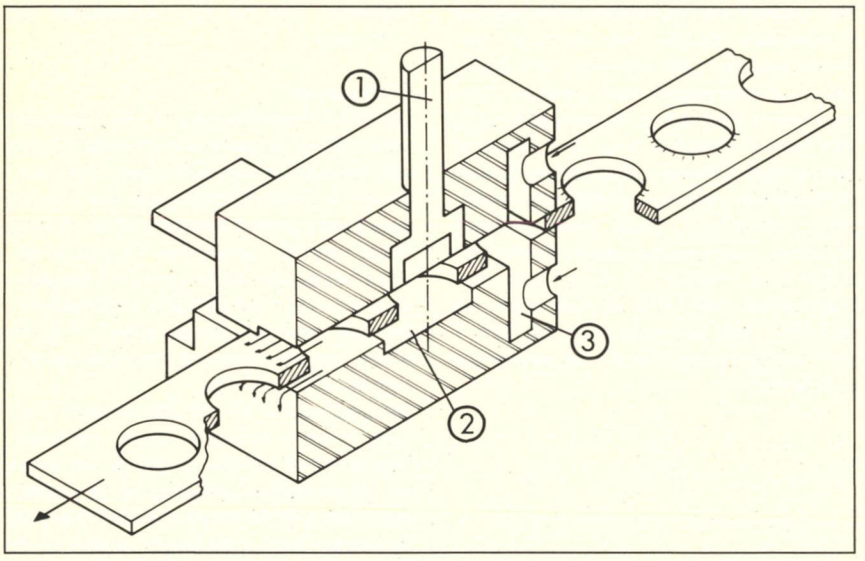
Ontbramen

De ECM-methode wordt veel gebruikt voor het verwijderen van bramen die bij voorafgaande bewerkingen zijn ontstaan. Binnen Philips gaat het daarbij vooral om produkten die uit een dunne plaat worden gesneden of gestampt. Voor het braamvrij krijgen van dergelijke produkten is ECM een aantrekkelijke methode die aan de steeds hogere eisen van de vorm- en maatnauwkeurigheid kan voldoen.

De geometrie en de afmetingen van een braam kunnen sterk variëren. Veelal is het echter mogelijk werkstuk en gereedschap zodanig op te stellen dat tijdens ECM de stroomdichtheid bij de braam een orde hoger is dan bij de rest van het werkstuk. Dit betekent dat bij het ontbramen het werkstuk zelf nauwelijks wordt aangetast. De precieze braamafmetingen zijn van weinig belang: men heeft slechts de maximale afmetingen te kennen en de bewerking daarop in te stellen. Desgewenst kan men het stroomverbruik beperken door gebruikmaking van een gereedschap dat is aangepast aan de contouren van de te ontbramen delen van het werkstuk.

Het ontbramen, zonder noemenswaardige aantasting van het werkstuk, kan in korte tijd geschieden. Dit is bij voorbeeld gebleken bij het verwijderen van een braam die ca. 25 µm uitsteekt boven een gestampt gat met een diameter van 0,4 mm. Met een vlak gereedschap op 0,1 mm boven het werkstuk is bij een goede procesinstelling na ca. 0,5 s de braam volledig verwijderd. Daarbij is niet meer dan 2 µm van de plaat afgenomen en is het gat niet groter geworden. Dank zij de korte procestijd leent de methode zich goed voor integrale toepassing in een produktielijn voor metaalwaren.

Afhankelijk van de materiaaldikte en de gewenste stroomdichtheid kan de elektrische stroom op verschillende manieren worden toegevoerd. Bij dik materiaal kan men de stroom direct aan het werkstuk toevoeren door middel van druk- of sleepcontacten. Bij dun materiaal kan men de stroomtoevoer via een onderliggende geleider (bij voorbeeld platina) laten verlopen. Dit is echter alleen goed mogelijk bij lage stroomdichtheden, doordat anders aantasting van de geleider optreedt in de vorm van inbrandingen bij de contactpunten. Heeft men voor het ontbramen een hogere stroomdichtheid nodig, dan kan men een opstelling gebruiken waarin het werkstuk zweeft ten opzichte van de elektroden en de stroomtoevoer via de elektrolytoplossing verloopt. *Figuur 14* geeft een



Figuur 14 Schematische voorstelling van een ECM-opstelling voor ontbramen. Het produkt bevindt zich *tussen* de kathode (1) en de anode (2), zodat aan weerszijden de elektrolytoplossing (3) stroomt.

schematische voorstelling van een dergelijke opstelling, die in het onderzoek is gebruikt voor het ontbramen van gestampte produkten. In deze opstelling is een zodanig homogene stroomtoevoer te realiseren dat een plaatselijke oververhitting van het werkstuk wordt vermeden. *Figuur 15* toont een produkt vóór en na het ontbramen volgens deze methode. Het ontbraamde produkt vertoont een regelmatige afronding van de randen.

Profileren van randen

De randen van een werkstuk kan men profileren door het gereedschap een bepaalde hoek met het werkstuk te laten maken. Als voorbeeld beschouwen we de vorming van een messcherpe rand met een stilstaand gereedschap onder een hoek α. Volgens de tekening van *figuur 16* wordt de materiaaldikte $d(x)$ bepaald door de begindikte d_0, de beginspleethoogte h_0 aan de rand ($x = 0$), de hoek α en de spleethoogte $h(x)$:

$$d(x) = d_0 + h_0 + x\text{tg}\alpha - h(x). \qquad (5)$$

Voor de afleiding van $h(x)$ wordt verg. (3) geschreven als een differentiaalvergelijking:

$$\frac{\partial h(x)}{\partial t} = \frac{U_r \chi \eta V_{sp}}{h(x)}, \qquad (6)$$

waarbij wordt aangenomen dat het oplossen van materiaal uitsluitend in verticale richting plaatsvindt en het procesrendement constant is. Met de randvoorwaarde dat de bewerking wordt gestopt zodra op $x = 0$ het materiaal volledig is opgelost, kan men uit verg. (6) een uitdrukking voor $h(x)$ afleiden. Substitutie in verg. (5) leidt tot

$$d(x) = d_0 + h_0 + x\text{tg}\alpha - \sqrt{d_0^2 + 2d_0h_0 + (h_0 + x\text{tg}\alpha)^2}. \qquad (7)$$

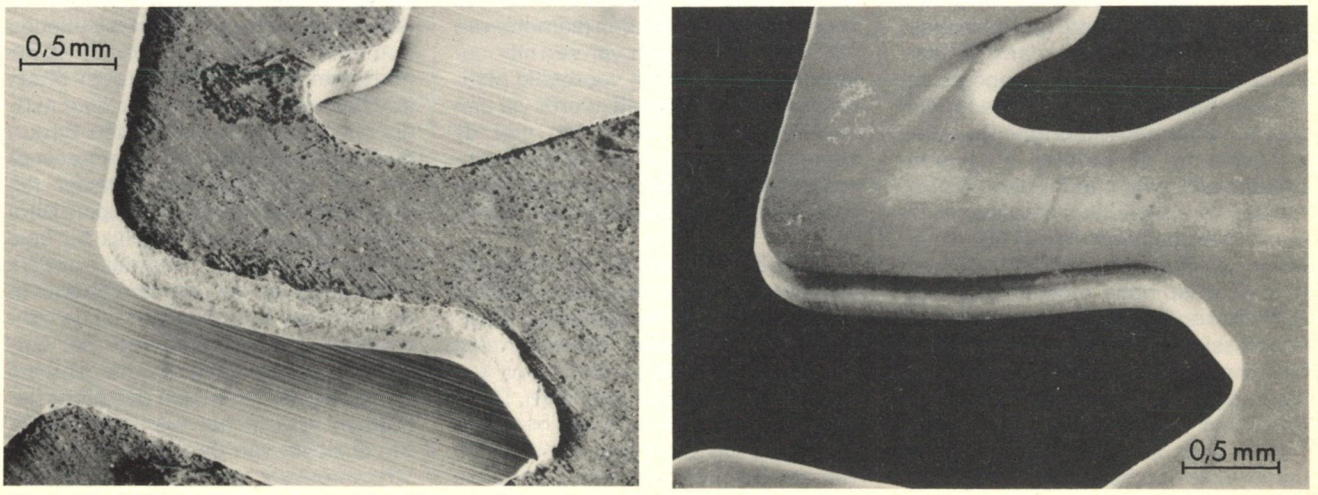
Het in figuur 16 getekende profiel is berekend voor $d_0 = 30\,\mu\text{m}$, $h_0 = 30\,\mu\text{m}$ en $\alpha = 24°$. Daaronder wordt op dezelfde schaal het resultaat getoond van een experimenteel verkregen profilering bij dezelfde waarden van deze parameters. Afgezien van de oppervlakteruwheid komt het verkregen profiel goed overeen met het berekende.

Foliebewerkingen

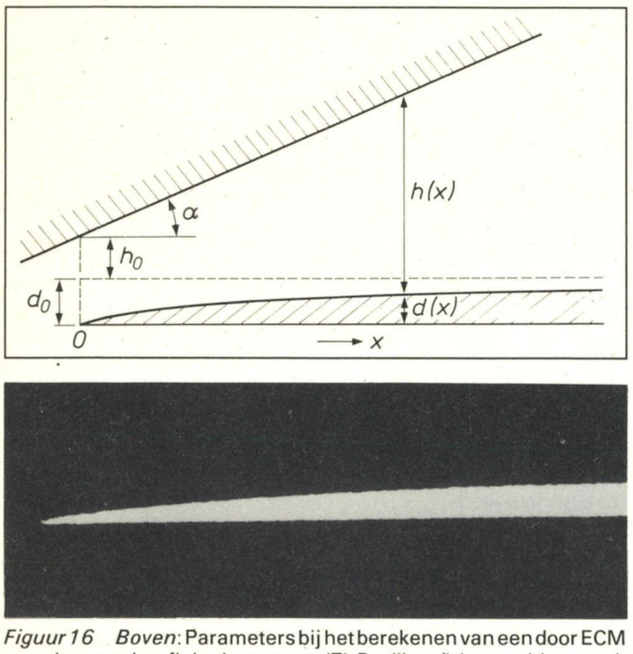
Het maken van gaten- en gleuvenpatronen in dunne metaalfolies kan behalve door mechanisch stampen en fotochemisch etsen ook door ECM geschieden. Toepassing van ECM komt vooral in aanmerking als stampen te veel braamvorming en inwendige spanningen geeft en produkten in grote series ($> 10^6$) moeten worden bewerkt. Fotochemisch etsen kan dan te duur worden vanwege de steeds terugkerende kosten van het aanbrengen en verwijderen van fotolakmaskers.

Bij het bewerken kunnen verschillende methoden worden gebruikt voor het opspannen van de folies, de stroomtoevoer, de vloeistofstroming en het vastleggen van het patroon in het gereedschap. Zo kan men werken met een gereedschap dat overeenkomstig het te maken patroon geprofileerd is, en dat bij een (geringe) verplaatsing in het werkstuk wordt afgebeeld. Men kan ook gebruik maken van een isolerend masker dat als een sjabloon op de folie wordt gelegd. De stroom loopt in dit geval via de maskeropeningen, terwijl de werkspleet met de elektrolytoplossing zich boven het masker bevindt. De keuze van de methode wordt vooral bepaald door de gewenste afronding van de patroonranden.

Een opstelling voor het maken van rechthoekige patronen, is schematisch weergegeven in *figuur 17*. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een geprofileerd gereedschap bestaande uit een afwisseling van geleidende en isolerende platen. In het werkvlak liggen de

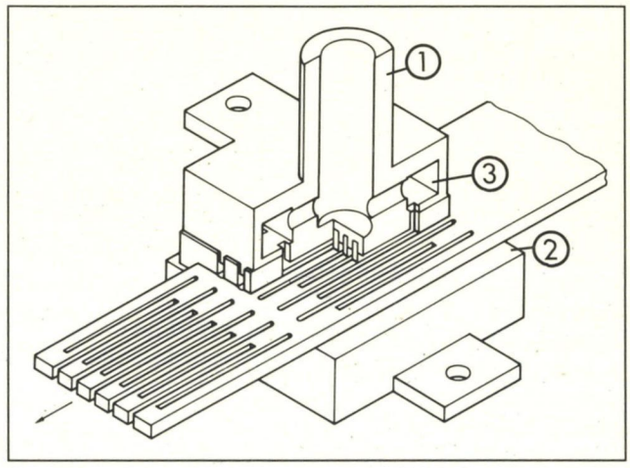


Figuur 15 SEM-foto's van een produkt vóór en na het ontbramen door ECM.

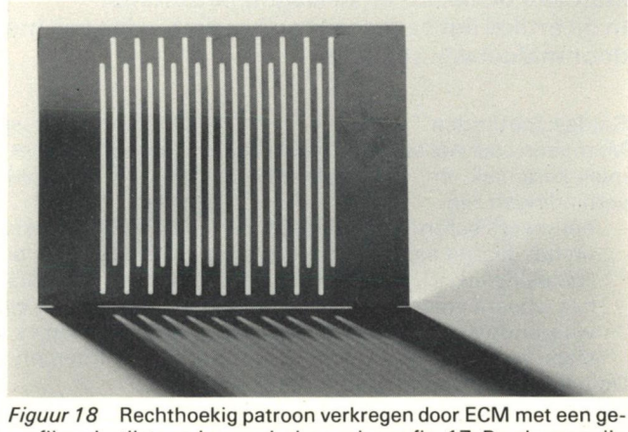


Figuur 16 *Boven*: Parameters bij het berekenen van een door ECM te maken randprofiel volgens verg. (7). De dikte $d(x)$ op positie x wordt bepaald door de begindikte d_0, de beginspleethoogte h_0 bij $x = 0$, de hoek α tussen werkstuk en gereedschap, en de plaatselijke spleethoogte $h(x)$. Het getekende profiel is berekend voor $d_0 = 30\,\mu m$, $h_0 = 30\,\mu m$ en $\alpha = 24°$. *Onder:* Microscoopfoto van het profiel dat experimenteel bij deze waarden is verkregen.

Bovenstaand model voldoet niet wanneer het materiaal in meer dan een richting oplost en het gereedschap verplaatst wordt. In dergelijke gevallen kan men vaak gebruik maken van rekenprogramma's die zijn gebaseerd op de eindige-elementenmethode[2]. De daarmee uitgevoerde berekeningen kunnen een goede indruk geven van de mogelijkheid om een bepaald profiel te maken. Voor het bepalen van de geschikte procesomstandigheden hoeven dan minder experimenten gedaan te worden. Enige experimenten blijven echter nodig, omdat in de rekenprogramma's o.a. geen rekening wordt gehouden met plaatselijke verschillen in overspanningsverschillen, temperatuurgradiënten en effecten die samenhangen met de vloeistofstroming.



Figuur 17 Schematische opstelling voor ECM van dunne metaalfolies met een geprofileerd, stilstaand gereedschap. Tussen de als kathode geschakelde geleiderplaten (1) bevat het gereedschap isolatieplaten die de folie op het ondervlak (2) drukken. De elektrolytoplossing (3) stroomt tussen de zijkanten van de isolatieplaten.



Figuur 18 Rechthoekig patroon verkregen door ECM met een geprofileerd, stilstaand gereedschap volgens fig. 17. De gleuven zijn 0,9 mm breed.

geleiderplaten ca. 0,3 mm verzonken ten opzichte van het voorvlak van de isolatieplaten. De folie wordt door de isolatieplaten op het ondervlak gedrukt. De elektrolytoplossing stroomt door het kanaal dat aan de bovenzijde wordt begrensd door de geleiderplaten, aan de onderzijde door de folie en aan de zijkanten door de isolatieplaten. *Figuur 18* toont een folie met een rechthoekig patroon dat op deze manier is verkregen. Bij de juiste procesinstelling en bij gebruik van een pulserende spanning wordt een grote maatnauwkeurigheid bereikt: 5 µm bij een gleufbreedte van 0,9 mm. De etsfactor is ca. 2, wat betekent dat het materiaal in verticale richting ongeveer twee maal zo snel is opgelost als in horizontale richting.

In het hier beschreven onderzoek zijn belangrijke bijdragen geleverd door J.H. de Jongh en W.H.A. Minten.

Literatuur

[1] Enkele boeken over de ECM-methode:
A.E. DeBarr en D.A. Oliver, Electrochemical machining, Elsevier, New York 1968;
J.F. Wilson, Practice and theory of electrochemical machining, Wiley, New York 1971;
J.A. McGeough, Principles of electrochemical machining, Chapman & Hall, Londen 1974;
J.P. Hoare en M.A. Laboda, Electrochemical machining, in:
J.O'M. Bockris, B.E. Conway, E. Yeager en R.E. White (red.), Comprehensive treatise of electrochemistry, Vol. 2, Plenum, New York 1981, hoofdstuk 8.
[2] C. van Osenbruggen, Microvonkverspaning, Philips Techn. T. **30**, 200-213, 1969; J.L.C. Wijers, Een drietal bijzondere gebruiksmogelijkheden van Philips' snelvonkmachine, Philips Techn. **40**, 255-259, 1981/82.
[3] De curven van fig. 2 zijn ontleend aan D. Pahl, Uber die Abbildungsgenauigkeit beim elektrochemischen Senken, Proefschrift, Aken 1969.
[4] H. Simon, Werkstatt & Betr. **112**, 19-23, 1979.
[5] Zie b.v. K.J. Vetter, Electrochemical kinetics, theoretical and experimental aspects, Academic Press. New York 1967.
[6] M. Pourbaix, Atlas of electrochemical equilibria in acqueous solutions, 2e druk, Natl. Assoc. Corrosion Eng., Houston, 1974.
[7] S.H. Hagen, C. van Osenbruggen, H.A.J. Reemers en G. Verspui, Amerikaans octrooi nr. 3 972 797 (ingediend augustus 1971).
[8] Het CVD-proces is reeds uitvoerig in dit tijdschrift beschreven: Voor het aanbrengen van slijtvaste TiC- en TiN-lagen zie P.J.M. van der Straten en G. Verspui, Philips Techn. T. **40**, 141-147, 1981/82;
voor het aanbrengen van siliciumlagen in de IC-technologie, zie J. Bloem en W.A.P. Claassen, Philips Techn. T. **41**, 61-70, 1983;
voor het vervaardigen van SiC-maskermembranen voor röntgenlithografie, zie H. Lüthje, Philips Techn. T. **41**, 158-172, 1983.
[9] G. Verspui, Proc. Electrochem. Soc. **79-3**, 463-475, 1979.
[10] Het CVD-onderzoek ten behoeve van ECM is in de beginfase voornamelijk uitgevoerd door S.H. Hagen, W.F. Knippenberg en G. Verspui en later in de projectgroep CVD van het CFT.
[11] Zie b.v. M. Datta en D. Landolt, Electrochim. Acta **27**, 385-390, 1982.
[12] Berekeningen met de eindige-elementenmethode zijn uitgevoerd door F.J. du Chatenier en H.J. Eggink.

Verbinden van metaal aan keramiek*

Geheel uit keramiek opgebouwde constructies zijn nog moeilijk te realiseren. In vele gevallen zal het nodig zijn constructies te maken uit b.v. combinaties van keramiek of van metaal en keramiek. Hierbij zal terdege rekening gehouden moeten worden met de typische eigenschappen van keramische materialen zoals de grote hardheid en sterkte, geringe ductiliteit, brosheid, uitzetting en warmtegeleiding.
Verbindingen van metaal aan elektrokeramiek worden al vele jaren met succes toegepast. Voor verbindingen van metaal aan technisch keramiek - zoals Al_2O_3, ZrO_2, SiC, TiC, Si_3N_4, TiN - worden wereldwijd omvangrijke onderzoekprogramma's uitgevoerd. Ook in ons land worden onderzoeken uitgevoerd, en wel op het gebied van hoogtemperatuursolderen, diffusielassen van metaal aan keramiek en de kwaliteit van de hecht- en deklagen betreffend.
In dit artikel ligt het accent op het verbinden van metaal aan keramiek door middel van solderen.

Soldeermethoden

Methoden voor het solderen van keramiek-keramiek en keramiek-metaal verbindingen zijn:
- het metalliseren van het keramiek en het daarna aan elkaar solderen van de delen;
- het zogenaamd actief solderen, waarbij de verbinding in één stap tot stand komt.

Op beide methoden wordt in het volgende ingegaan.

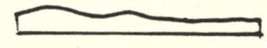
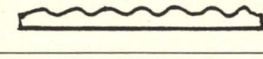
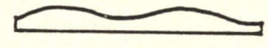
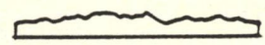
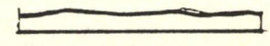
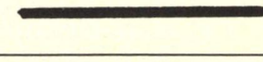
Solderen na vooraf metalliseren

Bij het metalliseren van bijvoorbeeld Al_2O_3, wordt veelal de molybdeen-mangaan methode toegepast. Na het bewerken van het keramiek brengt men op het te solderen en bewerkte vlak, in de vorm van zogenaamde inkt, een dun laagje Mo-Mn aan (dikte ca. 25 µm). De mogelijkheden van dit aanbrengen zijn in *figuur 1* in een tabel samengevat.
Vervolgens wordt het laagje ingebrand gedurende 30 á 45 minuten bij een temperatuur van 1500° à 1900°C. Daarna voorziet men het langs galvanische weg van een nikkellaagje (dikte ca. 5-15 µm) dat eveneens wordt ingebrand. Tijdens het inbranden vindt diffusie plaats tussen de metaallaagjes waardoor op het keramiek een goed gehecht soldeerbaar laagje is ontstaan.
Het metalen deel voorziet men, na poederstralen en ontgassen, eveneens van een galvanisch aangebracht nikkellaagje (dikte ca. 10 µm).
De nikkellaagjes voorkomen soldeerbrosheid, zorgen voor en goede hechting met het soldeer en garanderen daardoor een hechte soldeerverbinding.
Een bezwaar van het metalliseren zijn de de hoge kosten, die namelijk 50% van de totale soldeerkosten bedragen.
In *figuur 2* zien we de opbouw van een keramiek-metaal verbinding weergegeven.

Actief solderen

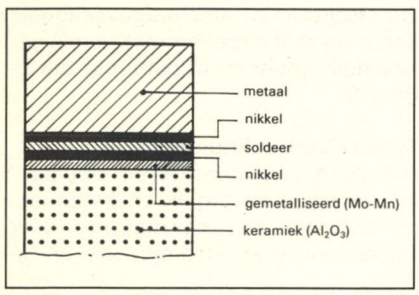
De hoge kosten van metalliseren zijn ondermeer oorzaak van de toenemende belangstelling voor het zogenaamd actief solderen. De verbinding komt daarbij in één stap tot stand; zie *figuur 3*.
Op de te solderen delen brengt men met behulp van een penseel een laagje titaanhydride aan met een bindmiddel op waterbasis (pasta). Men onderscheidt daarbij pasta's geschikt voor temperaturen tot ca. 1100°C en de hogetemperatuurpasta's geschikt tot ca. 1400°C.

Het solderen gebeurt in een beheerste en controleerbare atmosfeer bijvoor-

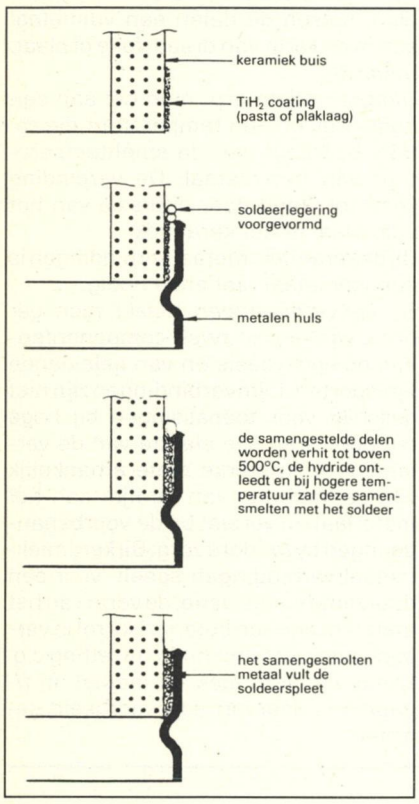
Methode voor het aanbrengen van de laag ("inkt")	Vorm/profiel van de ingebrande, gemetalliseerde laag	Dikte (µm)	Kwaliteit van de laag
nevelspuiten		0-50	- ongelijkmatige dikte - niet nauwkeurig
schermdruk (met behulp van gaas)		10-40	- netwerk lijnen - grote preciesie
spuiten		5-40	- hobbelige en ongelijkmatige dikte - kan heel nauwkeurig zijn - wordt beïnvloed door de nauwkeurigheid van het keramiek
penseel (met pasta)		0-50	- penseelstrepen - ongelijke dikte - beperkte nauwkeurigheid
rollen		5-30	- variabele breedte en dikte - nauwkeurig - vlak profiel/laag
plakband (kunststof) met pasta		5-20	- afhankelijk van de plakbandkwaliteit

Figuur 1 Vorm en kwaliteit van de gemetalliseerde laag in relatie tot de toegepaste methode.

* Op 3 maart 1988 werd in het Mikrocentrum-West te Delft een themadag gehouden over het onderwerp "Verbinden van metaal aan keramiek", met het accent op solderen.
Dit artikel is een samenvatting, opgesteld door de heer A. Quak, van de voordrachten van de heren Ir. H.H. van der Sluis, Metaal, instituut T.N.O., Apeldoorn en J. van Esdonk, VEM, Eindhoven.



Figuur 2 Keramiek-metaal verbinding.



Figuur 3 Solderen met een titaan-hydride coating.

beeld in een beschermgas of in een vacuum. Als beschermgas heeft men de keuze uit bijvoorbeeld een:
- reducerend gas, zoals H_2, CO een mengsel van N_2 en H_2, of
- inert gas, zoals Ar, N_2.

Het vacuumsolderen vindt plaats op een druk die varieert van < 1 tot 10^{-6} mbar.
Het in beheerste atmosfeer of vacuumsolderen heeft tevens het voordeel dat het toepassen van een vloeimiddel (flux) niet altijd nodig is, dus ook geen verwijdering daarvan na het solderen.

Metalen
Metalen die worden toegepast voor keramiek-metaal verbindingen zijn o.a.:
- fernico (ijzer-nikkel-cobalt) bijvoorbeeld FeNi28Co23,
- monel (koper-nikkel) bijvoorbeeld CuNi68Fe3Mn1,
- roestvaststaal AISI 430 (14-18),
- titaanlegeringen,
- superlegeringen (speciaal voor zeer hoge temperaturen).

De keuze van het toe te passen metaal is uiteraard afhankelijk van het gebruiksdoel.
Voor het solderen zal men de metalen delen eerst gloeien ter verlaging of opheffing van de inwendige restspanningen.
Belangrijk voor een goede soldeerverbinding is ondermeer de hechting van het soldeer aan het metaal. Daarom worden de metaaldelen voor het metalliseren eerst ontvet. Fernico-delen worden vervolgens elektrolytisch verkoperd en daarna vernikkeld. Metalen delen van roestvaststaal AISI 430 zal men vernikkelen om een goede bevochtiging door het soldeer mogelijk te maken.

Soldeer- of toevoegmaterialen
Belangrijk voor het solderen is dat het soldeermateriaal goede bevochtigings- en vloeieigenschappen bezit.
De toevoegmaterialen die bij de genoemde soldeermethoden in aanmerking komen zijn voornamelijk gebaseerd op de metalen koper, nikkel, zilver, titaan, goud. Ze worden als zuiver metaal of als legering toegepast, bijvoorbeeld AgCu, AgCuNi, AgCuLi en andere. De keuze is afhankelijk van de eisen die aan de soldeerverbinding worden gesteld, zoals de gebruikstemperatuur, elektrische geleiding, dichtheid, sterkte.
De mate van vloeibaarheid van het toevoegmetaal is belangrijk omdat voor een goede soldeerverbinding de soldeerspleet max. 0,05 mm mag bedragen.
Het soldeer kan worden aangebracht in de vorm van poeder, pasta (poeder met een bindmiddel), draad, plakband, e.d.

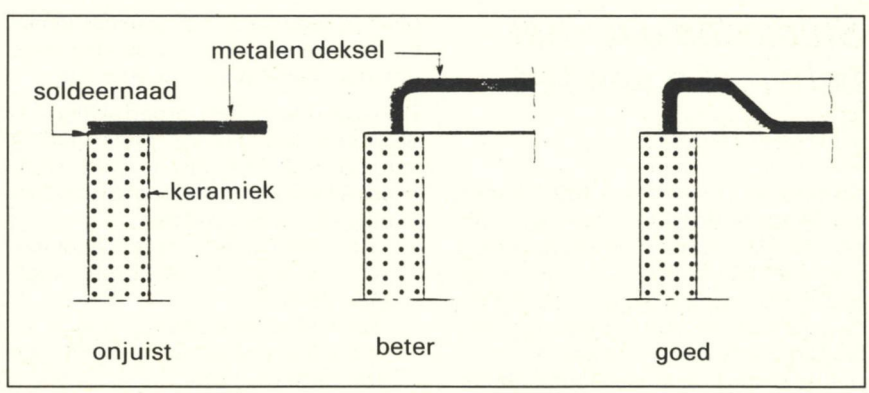
Vloeimiddelen
Als het toepassen van een vloeimiddel (flux) gewenst of noodzakelijk is, kan men gebruik maken van:
- MnO, TiO_2, SiO_2, CuO, FeO voor soldeertemperaturen van 1250°-1800°C,
- MnO, Al_2O_3, B_2O_3 voor soldeertemperaturen van 1000°-1200°C.

Constructie-aanpassing ter voorkoming van ongewenste belasting van de soldeernaad
Tijdens het afkoelen na het solderen kunnen in de verbinding ongewenste spanningen ontstaan als gevolg van nog aanwezige restspanningen veroorzaakt door verschillen in uitzetting (krimp) van metaal- en keramiek. Dit betekent dat de soldeernaad alle rek c.q. krimp, en daardoor trekspanningen, moet opnemen. Vooral bij grote diameters wordt snel de kritieke waarden bereikt.
Bij het ontwerpen is daarom ruime aandacht vereist voor de vormgeving van de delen. Het metalen deel is door zijn grotere ductiliteit t.o.v. keramiek het meest geëigend het verschil in krimp op te nemen of zelfs te elimineren. Dit bereikt men met een zogenaamde vervormbare constructie; in *figuur 4* is een voorbeeld aangeven.

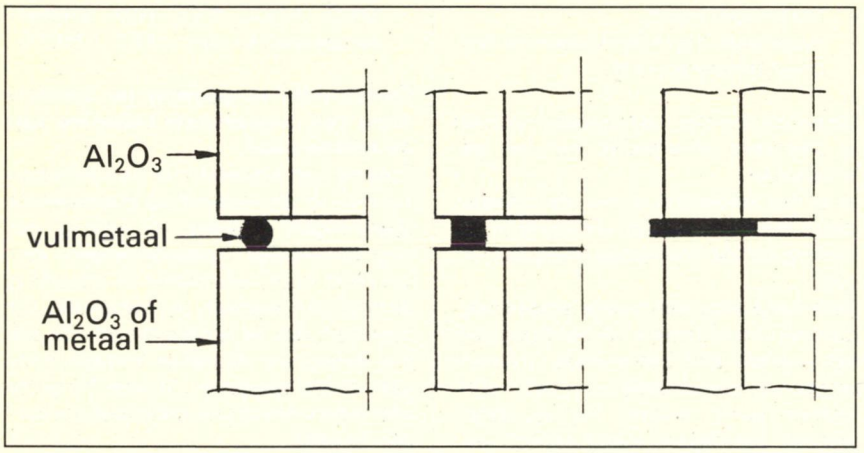
Onderzoek van soldeerverbindingen
Contrôle op de kwaliteit van soldeerverbindingen is mogelijk door middel van destructief en niet-destructief onderzoek.

Met niet-destructief onderzoek is het mogelijk een soldeerverbinding te onderzoeken op:
- oppervlakte gebreken, die waar te nemen zijn met het blote oog, loupe, microscoop en met een penetrant;
- kwaliteit (homogeniteit-poreusheid) door middel van radiografisch- en ultrasoon onderzoek;
- dichtheid door middel van een lektest.

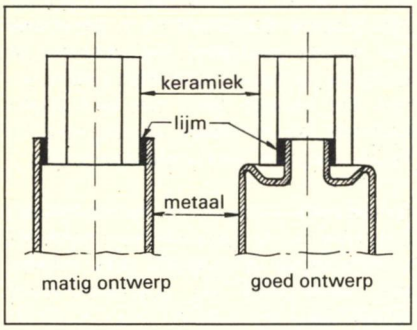
Bij het destructief onderzoek probeert men o.a. inzicht te verkrijgen in de sterkte en afschuifgevoeligheid van de soldeernaad. Genormaliseerde proeven zijn echter nog niet beschikbaar.
De sterkte bepaalt men met een trekproef waarvoor een trekproefstuk wordt gebruikt zoals is weergegeven in *figuur 7*.



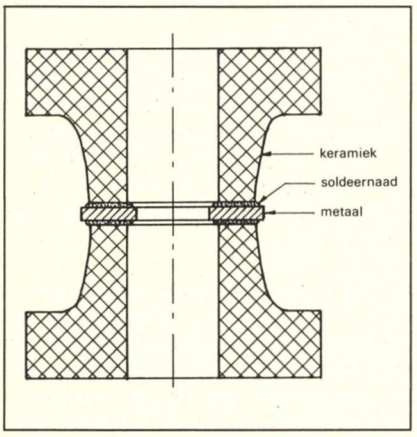
Figuur 4 Voorbeeld van een keramiek-metaal verbinding.



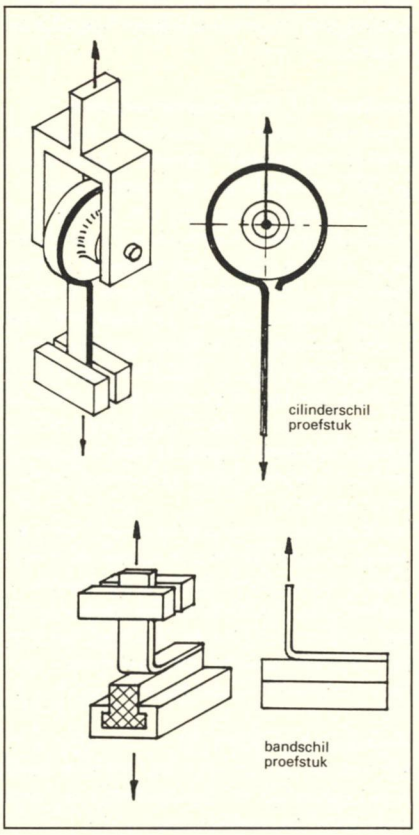
Figuur 5 Verbinden door middel van thermocompressie.



Figuur 6 Lijmverbindingen.



Figuur 7 Een gesoleerd trekspanningsproefstuk (A.S.T.M. F16 test).



Figuur 8 Afpeltest (peel test).

De afscheur- of afschuifgevoeligheid kan men onderzoeken met een zogenaamde afpeltest; of peel test; zie *figuur 8*.

Andere verbindingsmethoden

Behalve door solderen is het ook mogelijk keramiek-keramiek en keramiek-metaal verbindingen te realiseren door middel van thermocompressie en lijmen.

Bij *thermocompressie* brengt men, voor een keramiek-keramiek verbinding, tussen de delen een vulmetaal aan in de vorm van draad, folie of plaat; *figuur 5*.

Daarna onderwerpt men het aan een hoge druk en een temperatuur die ca. 90% bedraagt van de smelttemperatuur van het metaal. De verbinding komt tot stand door diffussie van het vulmetaal in het keramiek.

Bij de keramiek-metaal verbindingen is een vulmetaal niet altijd nodig.

Bij *lijmverbindingen* maakt men gebruik van één of twee componentenlijm op epoxybasis en van geleidende lijmsoorten. Lijmverbindingen zijn niet geschikt voor toepassingen bij hoge temperaturen. De sterkte van de verbinding is in sterke mate afhankelijk van de hechting van de lijm aan het materiaal en vereist bij de voorbehandelingen byzondere zorg. Bij keramiek-metaal verbindingen speelt, voor een duurzame constructie, de vorm van het metalen deel een belangrijke rol in verband met het verschil in uitzetting c.q. krimp van keramiek en metaal. In *figuur 6* is daarvan een voorbeeld gegeven.

Studiedag over het beheersen van het brandrisico

Op dinsdag 8 november 1988 zullen in het Mercury Hotel te Nieuwegein tijdens de lezingendag "Brandveiligheid uw verantwoordelijkheid" een aantal prominente sprekers ingaan op aspecten die met het beheersen van het brandrisico te maken hebben.

Dat de mens nog steeds moeite heeft met het beheersen van het brandrisico blijkt telkens weer in de praktijk, waarbij de recente brand op de Noordzee ons nog duidelijk voor ogen staat.

De volgende onderwerpen zullen tijdens deze lezingendag, onder leiding van ing. H.C. Roel van de TVVL-commissie brandpreventie, door zeven deskundigen worden belicht:

- "Brandveiligheid: u zorg!" door ing. A. Houdkamp, van het bureau Nagtglas Versteeg.
- "De rol van de architect" door ir. D. van Mourik van het gelijknamige architectenbureau.
- "De rol van de Raadgevend Ingenieur" door ir. W. van Ekeren van Tebodin Advies- en Constructiebureau BV.
- "Brandveiligheidsreglementen toegankelijk gemaakt" door ing. L.A. Huygen, van Huygen Maastricht Raadgevende Ingenieurs BV.
- "Rookproduktie en rookwerendheid" door ir. H. Zorgman, medewerker Centrum voor Brandveiligheid TNO.
- "Beveiliging van vluchtwegen door overdrukventilatie" door ir. R.J.M. van Mierlo, medewerker Centrum voor Brandveiligheid TNO.
- "Visie op de toekomst" door ir. L. Twilt, Hoofd Centrum voor Brandveiligheid TNO.

Voor nadere inlichtingen of aanmelding voor deelname aan de lezingendag en/of aan de trade-show, die gelijktijdig met de lezingendag gehouden zal worden, kan men zich wenden tot het verenigingsbureau van de TVVL, Koningin Wilhelminalaan 37, 3818 HN Amersfoort, telefoon: 033 - 634388.

BOEKENNIEUWS:

Laser, Technologie und Anwendung, Jahrbuch 88

Vulkan Verlag, Essen.
Prof. H.R. Kohler.
ISBN. 3-8027-2138-1.
Ca. 450 blz., waarvan 396 tekst/22 tabelen/498 figuren.
Gebonden A4 formaat. Prijs DM 224,—

Dat de "laser" momenteel binnen industrie en wetenschap "in" is, valt ondermeer af te leiden uit het grote aantal boeken dat over dit physische verschijnsel wordt uitgegeven. Betrekkelijk nieuw is daarbij het verschijnsel Jaarboek, zoals dit gemengd duits-/engelstalige Laser Jahrbuch 1988 van de sterk aan de weg timmerende uitgeverij Vulkan. Over de uitvoering (alsmede de toegankelijkheid van de tekst en de ruime literatuurverwijzing na elk artikel) is niets dan goeds te vermelden, tenzij . . . (maar dat kan een kwestie van smaak zijn!) . . . de hier en daar, door hun sterk wisselende afmetingen en karakter storende, tussengevoegde annonces. Zouden deze geleid hebben tot een aanzienlijk lagere aanschafprijs - een toch wel redelijke aanname, gezien het aantal - dan ware genoemd verschijnsel ongetwijfeld beter acceptabel geweest. Algemeen is wel bekend dat technische boekwerken van gehalte met een niet al te grote oplage prijzig zijn, maar toch . . . !

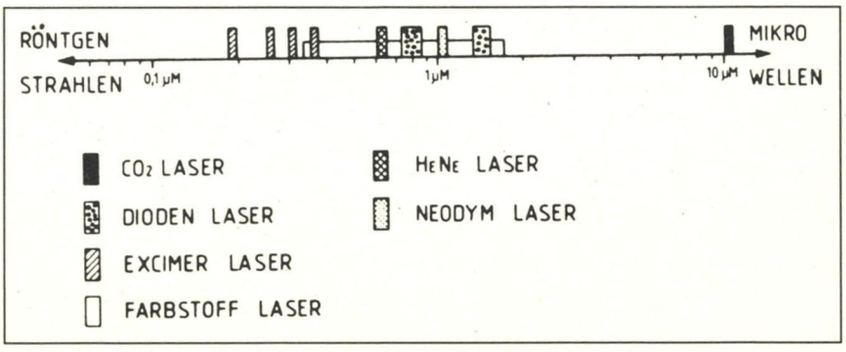
Inhoud

Vier deelgebieden zijn inhoudelijk onderscheiden: laser en lasercomponenten (66 bladzijden omvattend); meettechniek (163); materiaalbewerking met lasers (83) en spectroscopie (26 blz.).
In algemene zin valt allereerst op dat aan het niveau een academische graad toegekend kan worden, mede bevestigd door de gebezigde titulatuur. Hieruit is tevens af te leiden dat, vanwege de vereiste voorkennis en het taalgebruik, vooral deskundigen op dit terrein en studenten van minimaal het hoger onderwijs direct nut zullen hebben van het jaarboek. Ten tweede blijkt het boekwerk volledig duits georiënteerd te zijn, waarbij de sterke oostduitse deelname om diverse redenen opvalt. De rest van de laserwereld, waarbinnen de Bondsrepubliek zeker een van de toonaangevende naties is, bestaat nauwelijks in dit jaarboek, afgezien dan van enkele Zwitserse bijdragen en een tweetal Nederlandse advertenties ("Oldelft" en Sorba). De nagestreefde kwalificatie "internationaal" verdient het zeker niet!
Het predikaat "jaarboek" wordt zondermeer wel waar gemaakt. De opgenomen specialistische laserkennis is recent en grotendeels van fundamentele aard, wat tegelijk een indringende kijk geeft op het lasergebeuren en nog lang de waarde als naslagwerk zal verzekeren.
Bewust zijn de steeds belangrijkere medische lasertoepassingen buiten het bereik van dit boek gehouden.

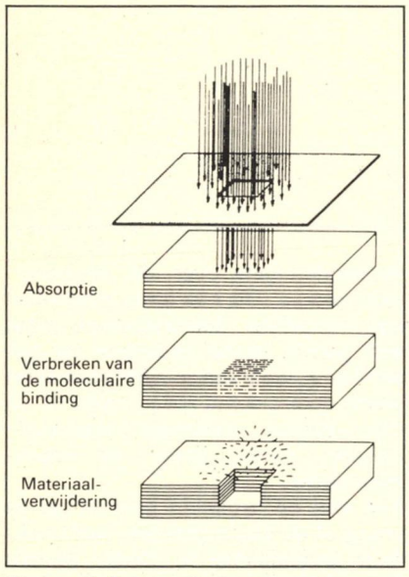
Elk deelgebied wordt ingeleid door een min of meer beschouwend artikel. In de eerstgenoemde groep door middel van een omvangrijke bespreking van de dimeren-laser, gevolgd door drie verhandelingen over de excimeertechnologie. Uit het grote potentieel aan mogelijke lasersystemen staat een gering aantal praktisch ter beschikking, waarvan zo'n 95% beheerst wordt door slechts zeven types nl. de CO_2-, dioden-, excimeer-, kleurstof-, helium-, neon-, ionen- en neodymiumlaser.
Een van de artikelen gaat in op de vraag of de excimeerlaser een bruikbaar gereedschap is. Onder andere spreekt daarbij voor de meeste toepassingen de golflengte een rol (193, 248, 308, 351 nm; zie figuur 1), niet altijd zozeer wat betreft de absolute waarde als wel het bereik ervan. De excimeerlaser is op dat punt ook voorbestemd voor gebruik in de materiaalbewerking. Sterk punt is de eigenschap dat ermee op een niet-thermische wijze ionisatie en het verbreken van chemische verbindingen tot stand

Tabel 1 Vuistregels t.b.v. laserlassen

- Voor het realiseren van een optimale lasnaadbreedte en -diepte dient het brandpunt op ca. 1/3 van de te lassen materiaaldikte te liggen. De tolerantie op de brandpuntsafstand is ± 0,3 mm. Buiten deze tolerantieband wordt de lasnaad breder en minder diep, terwijl een plasmawolk op zal treden.
- Gezien de geringe naadbreedte van 0,3 tot 0,5 mm is een exacte en reproducerende positionering van de te verbinden delen noodzakelijk.
- Zowel bij stomp- als overlapnaadverbindingen mag de spleet een waarde groter dan 5 tot 10% van de materiaaldikte niet overschrijden, daar anders afsmelten van de rand en kerfvorming optreden.
- De te lassen delen dienen zuiver te zijn van grof vuil en olie. Een zeer dunne oliefilm is in bepaalde omstandigheden nog wel acceptabel, afhankelijk van de toegepaste lasnaadconfiguratie.
- Ter vermijding van inbranding op het einde van een rondlopende overlapnaad, dient het laservermogen al lassend langzaam (tijdconstante ongeveer 0,5) teruggeregeld te worden naar nul of een minimale waarde.

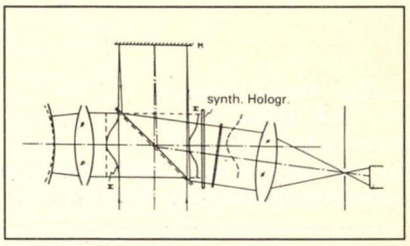


Figuur 1 Golflengte-breedte van enige belangrijke typen lasers.



Figuur 2 Schematische weergave van fotochemisch etsen van b.v. organische materialen.

kan worden gebracht, d.w.z. structurele veranderingen in koude toestand. Daarnaast zijn thermische processen op te starten. De verwachting is zodoende gerechtvaardigd dat zich bij het werken met excimeerlasers totaal nieuwe, hoogst interessante effecten zullen voordoen (b.v. fotochemische etsen, zie figuur 2). Ook aan diodenlasers wordt passende aandacht besteed, ondermeer in de functie als pomplichtbron voor vastestoflasers. Opvallend zijn daarbij het hoge elektrische rendement (6%) en de voortreffelijke levensduur (5000 uur).
In de overgang naar deel II wordt vanuit het standpunt van een systeembouwer nagegaan waarheen laserontwikkelingen voor niet-wetenschappelijke toepassingen in de toekomst gaan.
Meten op zich krijgt een steeds hogere importantie. Optisch meten met gekoppelde computeranalyse vindt, zoals ruim is weergegeven in dit boek, heden ten dage plaats via een verscheidenheid van contactloze methodes (als voorbeeld: driehoeksmetingen, laserscannen, speckle interferometrie en computergegenereerde holografie, zie figuur 3) voor diverse doeleinden (geometriën, snelheden en spanningstoestanden vastleggen tot en met deeltjes tellen ten behoeve van regelingen in stof-arme ruimtes alsook lange-afstands lasermetingen van de vervuiling in de troposfeer).
Een veelheid van onderwerpen vult het gedeelte over materiaalbewerking en -behandeling: graveren, oppervlakteveredeling en -harding, laserstraallassen (zie tabel 1) en -snijden. Bij de laserbrandsnijtechniek wordt waterinjectie als speciale tip nader uitgewerkt. Dit brengt volgens praktijktesten een grotere vrijheid in fo-



Figuur 3 Opstelling voor het meten van asferische vlakken met behulp van computergenereerde holografie (CGH).

cussering, bij lage snijsnelheden een lagere ruwheid aan het snede-oppervlak en een nog niet volledig uitgezochte reëele verhoging van de maximaal haalbare snijsnelheid.
Het inhoudelijke deel wordt besloten met een drietal wetenschappelijke artikelen handelend over spectroscopie.
De afronding van het boek vormt een algemeen overzicht van 40 pagina's vermeldend de niet-bedrijfsgebonden onderzoekcentra in de Bondsrepubliek, een volledige adressenlijst van schrijvers en adverterende firma's, een verwijzende "koopgids" en een trefwoordenlijst.
Zonder enige overdrijving mag gesteld worden dat met dit boek op niveau een start is gegeven aan het meer transparant maken van het duitse lasergebeuren.

J.L.C. Wijers

Nieuw bedrijf op het gebied van geïntegreerde sensoren

Xensor Integration bv is de naam van een nieuw Delfts bedrijf, dat zich specialiseert op het gebied van geïntegreerde silicium en kwarts sensoren. Het bedrijf beoogt de snel ontwikkelende sensortechnologie meer toegankelijk te maken voor de Nederlandse en Europese industrie. *Xensor Integration* wil zo de ontwikkeling van nieuwe, commercieel levensvatbare produkten vergemakkelijken. Ontwikkeling van nieuwe produkten is essentieel om de concurrentiekracht van de Europese industrie op peil te houden met de Japanse en Amerikaanse industrie, waar het bedrijfsleven momenteel sterk in nieuwe sensortechnologieën investeert.

Xensor Integration heeft in zijn dienstenpakket zowel consultancy en haalbaarheidsstudies, alsook prototype ontwerp, prototype fabricatie en massa produktie van sensoren. Verder werkt *Xensor Integration* aan de ontwikkeling van een lijn van standaard sensoren welke tegen lage prijs in elke hoeveelheid verkrijgbaar zullen zijn voor bedrijven die geen behoefte hebben aan een custom-designed sensor. Momenteel zijn in ontwikkeling infrarood, vacuum en surface acoustic wave sensoren.

De dagelijkse leiding van *Xensor Integration* berust bij dr. ir. A.W. van Herwaarden en ing. M.J. Vellekoop. Beiden zijn afkomstig van de TU Delft, van het laboratorium voor elektronische instrumentatie van prof. dr. ir. S. Middelhoek, dat in de wereld een leidende positie heeft in het wetenschappelijk onderzoek op het gebied van geïntegreerde silicium en kwarts sensoren.

Xensor Integration heeft momenteel cliënten in Nederland, West Duitsland, Zwitserland, Italië, Groot-Brittanië en de Verenigde Staten, waarvoor sensoren worden ontwikkeld voor toepassing in gebieden zoals industriële metingen, biomedische diagnose en consumenten elektronica.

Verdere informatie is verkrijgbaar bij:

Xensor Integration BV
Postbus 3233,
2601 DE Delft
Telefoon: A.W. van Herwaarden 015 - 785747
M.J. Vellekoop 015 - 786466.

Vakmanschap en opleiding in Zwitserland*

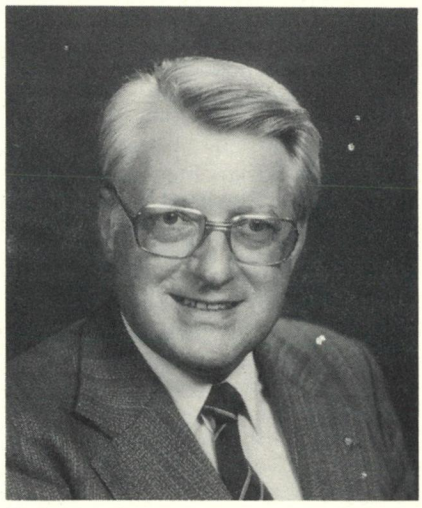
H. Jossi, o.a. President van de Bildungkommission van de Zwitserse ondernemersorganisatie Swissmechanic

Samenvatting:

De leerling opleiden tot de concurrent van morgen is de intrigerende subtitel van dit artikel.
Na een inleiding over de sociaal en economisch onaanvaardbare, gangbare verticale ordening in de beroepshiërarchie - van ongeschoold via vele niveau's tot het universitaire - volgt een pleidooi voor een horizontale benadering die in Zwitserland in 1987 een wettelijk fundament heeft gekregen. Hierop gebaseerd worden de opleidingsprogramma's ontwikkeld.

Het huidige tekort aan geschoolde medewerkers

Al tijdens de jaren van hoogconjunctuur begon de uittocht van gekwalificeerde vaklieden uit de werkplaatsen. Een groot tekort aan zelfstandig functionerende vaklieden in de werktuigbouw, fijnmechaniek, elektronica, enz. is gebleven. De bedrijven hebben in het algemeen moeite om creatieve kadermedewerkers met praktijkervaring te vinden.
Van jaar tot jaar wordt het voor vele bedrijven moeilijker om gemotiveerde leerlingen te vinden voor de grote verscheidenheid aan vakspecialisaties.
De oorzaak van het verdwijnen van vaklieden uit de traditionele arbeidsplaatsen ligt voor een groot deel in het feit dat handarbeid in het algemeen maatschappelijk ondergewaardeerd wordt. Ook worden de mogelijkheden van eenzijdig begaafde handarbeiders onderschat, daarentegen de vooruitzichten van geestelijk eenzijdig begaafde lieden op alle fronten bejubeld; zie *figuur 1*.
Bij de tot nu toe overal geldende mening "de ongeschoolde helemaal onder aan de ladder, de academicus helemaal bovenaan", kon men het de ouders niet kwalijk nemen dat zij hun kinderen vaak verkeerde doelen of op zijn minst een verkeerd uitgangspunt met betrekking tot het beroepsleven voorgehouden hebben. Ook hadden daardoor vele jongelui in de beroepskeuzeleeftijd moeite de adviezen van beroepsadviseurs over te nemen voorzover deze zelf niet de ijveraars voor de verticale scholingshiërarchie waren.



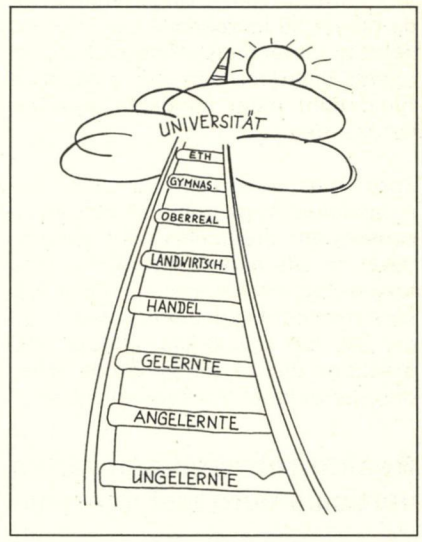
H. Jossi

De ervaringen van de heer Jossi en de daaruit voortvloeiende opvattingen (stellingen) stoelen op tien jaar ervaring als schoolhoofd, dertig jaar als onderwijzer, vijftien jaar als lid van de opleidingscommissie van een beroepsorganisatie, tien jaar als voorzitter voor een vakschool en een middelbare vakschool, voorzitter van een werkgeversorganisatie en natuurlijk ook op de ervaringen uit zijn eigen bedrijf, dat gemiddeld tien leerlingen per jaar opleidt. Dit is een fijnmechanisch toeleveringsbedrijf van hoog technologisch niveau.

Daarbij kwam dan nog een ander gevolg van de verticale beroepshiërarchie. De leerplannen van de op handvaardigheid te scholen leerlingen werden doorspekt met te hoog gegrepen theorie om deze beklagenswaardigen enigszins van de smaad der handarbeid te verlossen.
Als wij van een tekort aan gekwalificeerde vaklieden spreken, dan moeten en mogen wij ons overigens niet beperken tot de praktische beroepen. Er is òòk een - beperkt - tekort aan HTS- en TH-ingenieurs.
Dit heeft zijn oorzaak in het feit dat door onze hoge levensstandaard, en daarmee samenhangend de noodzaak steeds hoogwaardiger produkten op de markt te moeten brengen, voor opengevallen plaatsen zeer hoog gekwalificeerde mensen nodig zijn.
Een hoog prestatieniveau met overeenkomstige toegevoegde waarde vereist een uitzonderlijke inzet van de medewerkers, zowel op het theoretische alsook op het praktische vlak. Het uitzonderlijke, meer dan middelmatige, kan met de volgende eigenschappen worden bereikt, welke op zich, gecombineerd of als totaalpakket bij de diverse leidinggevenden aanwezig kunnen zijn:

- in staat zijn tot motiveren en inspireren,
- weten en kunnen,
- bereidheid tot dienstverlening,
- flexibiliteit,
- ervaring,
- openheid,
- bereidheid tot het nemen van risico's,
- in staat zijn tot samenwerking.

Uit een combinatie van deze eigenschappen en uit de ervaringen die op de meest verschillende arbeidsplaatsen zijn opgedaan, ontstaan dan positieve en creatieve synergie-effecten.



Figuur 1, zie tekst.

* Dit artikel is gebaseerd op een voordracht gehouden op 10.12.1986 tijdens een bijeenkomst van de (vroegere) N.V.F.T. waarop ook leden van de (vroegere) Mikron aanwezig waren.

Binnen deze wetmatigheid is ook de middelbare beroepsopleiding geïntegreerd. Zij draagt ertoe bij die leerlingen te vinden die praktische èn theoretische vaardigheden bezitten. Echter, de combinatie van deze vaardigheden leidt eerst dan naar de middelbare beroepsopleiding, wanneer de betreffende leerlingen al tijdens de leerperiode iets "maken" willen. Degene die dat tot de tijd na de leerperiode verschuiven wil mag echter niets verweten worden, omdat daardoor aan het praktische fundament meer aandacht gegeven kan worden.

Zeker is echter dat de middelbare beroepsopleiding pas dan zin heeft, als zij consequent prestatiegericht functioneert. In alle andere gevallen is elke toegevoegde schooldag verspilde tijd, tijd die de leerling onbenut ontgaat, tijd ook die het opleidingsapparaat ontbreekt en die tot daling van de opleidingsbereidheid zou kunnen voeren.

Realiteit en gevolgen van de verticale beroepshiërarchie

De werkplaatsen werden en worden van de trekpaarden en het goede kader beroofd, omdat de weg van de overall naar het witte boord aanspreekt. De praktische handenarbeid wordt meestal door buitenlanders gedaan die de fijne nuances van onze taal niet begrijpen en over te weinig beroepservaring beschikken. Het kader, dat de kwaliteitsmaatstaven nog kent, raakt daardoor sterk overbelast en gaat aan deze overbelasting tenonder, waardoor veel goede ideeën verloren gaan en daarmee zaagt men dan weer zichzelf de poten onder de stoel vandaan.

Andere gevolgen worden zichtbaar bij de adviezen van de beroepsadviseurs en zelfs bij de leraren. De beroepsadviseur adviseert de zoon van de ETH-professor, die werktuigkundige worden wil, om toch vooral naar het gymnasium te gaan omdat hij intelligent is en de leraar raadt de scholier die het gymnasium of de middelbare school niet gehaald heeft aan om toch in ieder geval een middelbare beroepsopleiding te volgen! De technische bedrijven reageren ook wonderlijk; bij de evaluatie van leerlingen wordt in de eerste plaats gelet op de theoretische kennis en nadien is men verwonderd dat, ondanks een groot aantal leerlingen, er geen vaklieden in het bedrijf blijven.

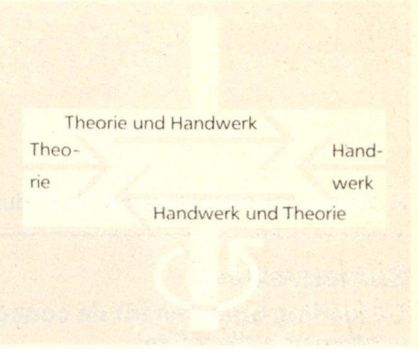
Een goed voorbeeld van verticale overdrijving en geringschatting leveren de elektronicaberoepen, die eigenlijk de trots en onderbouw van onze wetenschappelijke toekomst zouden moeten zijn.
Het beroep van elektronica-vakman werd – onbewust – valselijk theoretisch zo opgekrikt, dat alleen uitblinkers in staat blijken het met succes te leren. Vele bedrijven die zich met elektronica bezig houden zijn er nu bang voor om een leerling te scholen, omdat de scholing een ingenieur in beslag neemt en derhalve van produktie d.w.z. produktieve bezigheden van de leerling in de leerperiode zo goed als niets is te verwachten. Het verbluffende van deze droevige zaak is dat het aantal vaklieden in de elektronica ondanks de grote behoefte niet groter wordt, omdat de leeringen van de middelbare beroepsopleidingen direct doorstuderen aan de technische universiteiten. Het zal duidelijk zijn waar de schoen wringt.

Intussen heeft men nu een zogenaamde uitweg gevonden. Met het creëeren van het beroep elektronicamonteur, waarvan de theoretische kennis wezenlijk minder kan zijn, wil men geschikte arbeidskrachten voor het bedrijf opleiden. Een goed idee, als daarvoor ter compensatie hogere eisen zouden worden gesteld aan de praktijk; het uitgangspunt zou immers moeten zijn de plannen van de ingenieurs met raffinement en virtuositeit en vooral foutloos te realiseren. Dit is echter niet het geval bij de "geboorte" van dit actuele beroep. De geringere theoretische vereisten hadden tot gevolg dat de leerperiode van 4 naar 3 jaar werd teruggebracht. Voor veeleisende praktische beroepen is evenwel 4 jaar de norm. Dat met deze verkorting van de leertijd noch de maatschappelijke waardering voor deze beroepen, noch de beroepskwaliteit gediend is, zal men pas later ervaren. Dan zullen namelijk ook daar de leerlingaantallen en de beroepsprestaties achterblijven bij de verwachtingen.

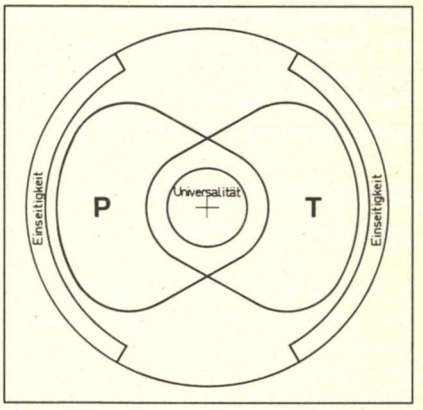
Een "andere" structuur van de beroepshiërarchie

Voor mij als ondernemer, die al tientallen jaren de sterke kanten van zijn medewerkers moet zoeken met daaraan gepaard mijn ervaringen met de normale en beroepsopleidingen, is het duidelijk dat de verticale beroepshiërarchie voor het grootste deel de problemen van de bedrijven veroorzaakt en van degenen die verantwoordelijk zijn voor personeel en kwaliteit der produkten. Maar ook een hele reeks andere sociaalpolitieke problemen zijn daarmee ontstaan.

Een nieuwe visie op de onderlinge verhoudingen van de beroepen, een andere structuur n.l. de "horizontale" hiërarchie, zou hier aan de realiteit tegemoet kunnen komen. Denkt u zich de ordening in van de geaardheden en sterke kanten dwars door de cylinder van een verticaal staande rotor, zie *figuur 2.* Aan de buitenkant zijn de eenzijdig begaafden tegenover elkaar geplaatst, de theoreticus aan de ene kant, de praktijkgerichte aan de andere kant. Ook deze eenzijdig begaafden zijn namelijk in staat zeer grote impulsen aan het rad van het bedrijfsleven te geven. In het centrum van de cirkel functioneren de gelukkigen die de vrijheid van beroepskeuze hadden. Voor hun maakt het meestal niet uit welke kant ze kiezen, zij kunnen alle kanten op, zie *figuur 3.* Echter vanwege de eerdergenoemde, algemeen aanvaarde voorstelling van de onderlinge verhoudingen van de beroepen, de verticale hiërarchie, kiezen al deze algemeen begaafden voor de theoretische kant van de cirkel. Zelfs degenen die algemeen begaafd zijn maar toch een praktische voorkeur hebben, streven naar een theoretische loopbaan op grond van de verticale informatiestroom door leraren, pers en familie gegeven, zonder een praktijkgericht fundament vooraf. Hiermee is het vacuum aan de praktische zijde, met alle gevolgen daarvan duidelijk. De praktijkgerichte beroepen ontberen in toenemende mate de theoretische trekpaarden, wat ook in de bedrijven een negatieve invloed heeft. Het kader weet daarvan



Figuur 2, zie tekst.



Figuur 3, zie tekst

mee te praten. Hun belasting stijgt boven het meetbare uit en niet alleen door het gebrek aan theoretische kennis van hun personeel, maar vooral ook omdat de handwerkslieden hun kunnen niet hoog genoeg ontwikkeld hebben, niet hoog genoeg ontwikkelen konden, omdat men hen in de opleidingsperiode met zwaarwichtige theorie confronteerde ofwel omdat het onderwijs haar plicht niet is nagekomen.

De Zwitserse beroepsonderwijswetgeving voor de mens pasklaar gemaakt

De opstellers van de Zwitserse wet voor het beroepsonderwijs uit 1978 hebben zeer goed werk verricht dat, op de juiste wijze geïnterpreteerd, de mens de kans geeft zijn kwaliteiten volledig te ontwikkelen.

In principe is het zo dat voor algemeen begaafden een overvloed aan theoretische en praktische beroepen aanwezig is, waardoor hun kwaliteiten volledig tot ontwikkeling gebracht kunnen worden. Alleen de mogelijkheden en behoeften van de eenzijdig begaafden – u zult hebben opgemerkt dat niet gesproken wordt van zwakbegaafden – zijn nog niet volledig door de opstellers erkend.

De uitwerking van de voorschriften dienaangaande werd brutaalweg naar de kantons geschoven en de maximale opleidingsduur werd vastgesteld op 2 jaar, terwijl juist deze jongelui bijzonder intensief en grondig op hun werkzaamheden voorbereid moeten worden. Juist deze eenzijdig begaafden zijn – met betrekking tot hun bijzondere, meestal reproducerende bezigheden – bijzonder geschikt om het kader en de overige creatieve krachten te ontlasten.

De eenzijdige theoretisch begaafden bevinden zich, alhoewel meer op de voorgrond tredend, in een wezenlijk betere positie.
Op zijn minst, maatschappelijk gezien, worden zij beduidend hoger aangeslagen. Echter, zodra zij maar over een gedeeltelijke theoretische kennis beschikken zijn ze nauwelijks te benijden. In plaats van dat hun beperkte begaafdheden tot volle ontwikkeling worden gebracht, zodat ook zij in hun beroep waardevol en gelukkig kunnen zijn, worden zij veronachtzaamd.

De doorstroming naar rechts en links en omgekeerd

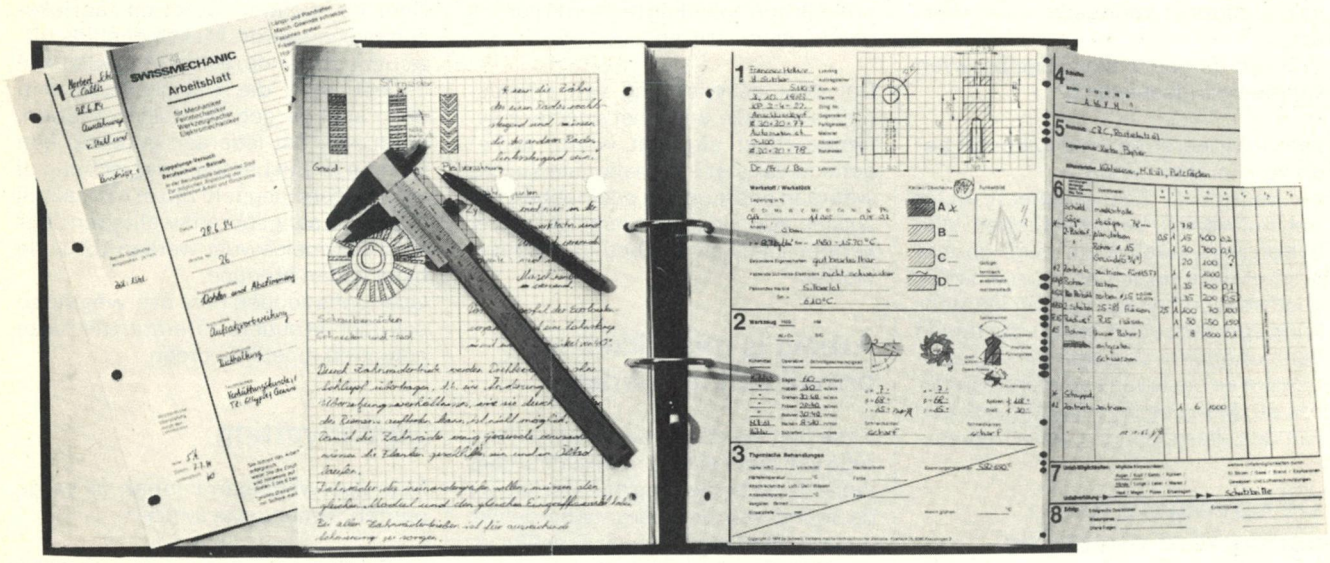
De wetsopsteller heeft voor een goede doorstroming in de opbouw van de opleidingen gezorgd die echter nog veel te weinig wordt benut. Denkt u b.v. eens aan een tweede opleidingsweg. De fijninstrumentmaker wordt chirurg en daarna chirurgie-instrumentenmaker. De monumentenverzorger wordt via de tweede opleidingsweg nog stucadoor en daardoor wellicht tot een wereldberoemde redder van kloosterkerken.

Nog steeds verstaat men onder opleiding alleen het theoretische deel en probeert men de praktijkgerichte leerlingen te grote, niet op te brengen theoretische injecties op te dringen.

Bij de militaire opleiding moet de recruut de opleiding volledig doorstaan. Het komt bij niemand op om uit de recrutenopleiding een volleerd officier te verwachten. Hier gaan praktijk en theorie hand in hand.

De beroepsopleiding gelooft in het concept van het opdringen van theorie tijdens de praktijkopleiding. Daaruit ontstaan in veel gevallen ongelukkige "vis noch vlees figuren", die niet in staat zijn een goed stuk werk te verrichten.

Bij de beroepsopleidingen is ca. 70% van de leerlingen ongelukkig omdat men theoretisch te veel van hen verlangt. In werkelijkheid zou het omgekeerd moeten zijn. 70% van de leerlingen zou de leerstof geheel moeten kunnen verteren, terwijl de dan onderbelaste 30% van leerlingen met de wettelijke voorgeschreven vrije en



Figuur 4. Ter ondersteuning van de beroepsopleiding dient het z.g. Autodynamisch Werkboek. Dit is met medewerking van "Swissmechanic" ontwikkeld. In het daarvoor bestemde deel legt de leerling wekelijks vast welke onderwerpen op de school zijn behandeld, ook die van de niet-technische vakken. Daarmede heeft de opleidingsbegeleider in het bedrijf een zekere contrôle en kan praktijkopdrachten zodanig kiezen dat van enige aansluiting sprake is.
In een ander deel maakt de leerling van iedere praktijkopdracht aantekening en noteert gegevens nodig voor de voorbereiding van de uitvoering van het werk (materiaalgegevens, behandelingsvoorschriften, etc.).
De leerling kan hierop dus steeds teruggrijpen en bouwt op deze wijze veel overgedragen vakkennis op. Vooral wanneer de begeleidende functionaris ook perifere aspecten, zoals met betrekking tot de milieuzorg, toevoegt.
De leerling kan aan de hand van zijn aantekeningen voortdurend zijn eigen vorderingen realiseren, als ook zich bewust worden van nog ontbrekende kennis.

keuzevakken en de middelbare beroepsopleiding eveneens tot tevreden en gewaardeerde mensen op school of bedrijf gemaakt moeten kunnen worden. Het is een frappant verschil 100% van de scholieren tevreden te zien, zoals met de wet wordt beoogd, in plaats van de 30%, waaraan de opleidingspolitici die de verticale hiërarchie aanhangen zich doorlopend schuldig maken omdat zij de voortdurende demotivatie van de meerderheid in de klassen niet willen zien.

Hoe moet de houding van de bedrijven in de toekomst zijn?

De wet op de opleidingen heeft vanaf 1987 algemene introductiecursussen verplicht verklaard. Daardoor krijgen de leerlingen van de kleine en middelgrote bedrijven de mogelijkheid om systematisch, pedagogisch, psychologisch en fysiologisch gezien de overstap naar de juiste beroepsopleiding te maken. Het bewerkstelligt in de kleinere bedrijven, hetgeen op de opleidingswerkplaatsen van de grote bedrijven al lang gebruikelijk was. De basisopleiding van de cursus voldoet aan de door de Staat verlangde norm en voert op dat niveau naar zeer achtenswaardige resultaten. We zijn echter toch van mening dat deze basisopleiding in de stageperiode slechts in beperkte mate en ter verdieping van de vakkundigheid voortgezet moet worden.
Wat zijn dan de toekomstige opgaven van de bedrijfsopleiding?

Laten wij eerst de producerende bedrijven karakteriseren.
Elk bedrijf dat zich handhaaft en/of zich ontwikkelt, bezit kwaliteiten. Wat betreft prijs, kwaliteit, in ideëel opzicht of in al deze opzichten tegelijk is het goed en wordt daar door haar klantenkring aan gehouden, ja zelfs dwingend aan gehouden. Voortreffelijke prestaties zijn de basis van commercieel succes en daarmee tegelijkertijd ook een van de zekerheden in crisissituaties.

De opvolgers tot concurrent opvoeden

De uitgangspunten die tot dit prestatie niveau van het bedrijf geleid hebben en die dagelijks effectief zijn, moeten systematisch op de opvolgers worden overgedragen. Voor de werkuigbouwkunde en ook voor andere vakgebieden kan voor deze systematische overdracht van de individuele – wezenlijk boven de norm liggende – "vakkennis", het **autodynamische werkboek** van nut zijn; zie *figuur 4.* Een efficiënt werkboek is nooit oppervlakkig maar belicht de uitgangspunten van de bedrijfsleiding diepgaand. Daarom is dit het belangrijkste stuk om te schrijven voor aan de uitvoering (zie de voorbeeldwerkbladen) wordt begonnen.
Bij de bestudering van deze werkbladen kan men vaststellen dat de verbinding naar de beroepsopleiding bewust gezocht en bevorderd wordt.

Na de leerperiode volgt de verwisseling van arbeidsplaats en het afvloeien van een deel van onze bedrijfservaring en van bijzonderheden over onze prestaties naar de concurrentie neemt een aanvang. Van de vermeende verliezers, wordt verwacht zich hierbij niet neer te leggen maar met nieuwe impulsen het "know how"-verlies te compenseren. Dit lukt des te beter als ook zij van elders jonge krachten aantrekken, die, dankzij de uitstekende mogelijkheden van het opleidingssysteem met de speciale kennis van hun vakgebied bekend zijn. Deze vorm van opleiding, die het uitgangspunt is van de nationale norm, betekent de opvoeding van onze opvolgers tot bedrijfsconcurrenten en is de eerlijkste vorm van opleiding in een vrije staat.
Het is tegelijkertijd de tol voor de ons toegestane vrijheid in de opleiding, met de daaraan verbonden grote mogelijkheden voor de opleidende bedrijven zelf. Want de leerlingen zoveel mogelijk in de actuele, produktieve, bedrijfspraktijk hun opleiding te doen krijgen is een legitiem streven.

Dat door de wisseling van arbeidsplaats op deze wijze het positieve synergie-effect uitgelokt wordt, is het geheim van het internationale succes waaraan ons land kan deelhebben. Dit succes zou nog aanmerkelijk groter kunnen zijn, kan dus nog uitgebouwd worden.

Arbeid is ontwikkeling - ontwikkeling is arbeid

Waar blijft de maatschappelijke erkenning van menselijke ontwikkeling door werk? Deze opmerking hoorden wij uit de mond van een verantwoordelijke departementchef, de heer Ernst Brugger, bij het parlementair overleg van de Zwitserse beroepsopleidingswet.
Deze verhandeling geeft hem gelijk.

Praktijkervaring ontwikkelt, geeft dus via de zenuwstrengen van de handen en van het hele lichaam informatie door naar de hersenen, die alle gegevens opslaan en weer vrijgeven indien noodzakelijk; vrijgegeven bijvoorbeeld voor de motorische coördinatie van virtuose handen. Deze vorm van ontwikkeling heeft ook de tot op heden niet verkregen maatschappelijke erkenning nodig. Alleen wanneer iedere zinvolle arbeid maatschappelijk gewaardeerd wordt, zullen in de toekomst de voorstellen van de beroepsadviseurs aan de scholieren en andere om raad vragende personen serieus genomen en opgevolgd worden.

Om wille van de rechtvaardigheid moeten wij vaststellen dat ook de handenarbeiders lange tijd niet hebben ingezien dat een theoretische opleiding ook zwaar is als men succesvol wil zijn.

Een stichting voor beroepsinformatie

Om de openbare mening op de noodzaak van een nieuwe visie op de beroepshiërarchie opmerkzaam te maken, waaraan verbonden de bewijsvoering dat iedere zinvolle arbeid maatschappelijk gewaardeerd dient te worden, is een stichting opgericht met voornoemde uitgangspunten. Het nog bestaan van de gebouwen van een van de eerste fabrieken in Zwitserland, bakermat dus van de Zwitserse economie, kwam daarbij zeer van pas. Het in 1777 opgerichte kloosterachtige complex werd 100 jaar geleden gesloten en zou in 1978 vanwege verval afgebroken worden.

Door de stichting wordt dit fabrieks-complex nu gered. Met de destijds uitzichtloos lijkende restauratie willen we de leerlingen, die in klasseverband in dit prachtige gebouw zullen wonen, laten zien dat iedereen gelukkig kan worden in zijn beroep, onverschillig of zij algemeen begaafd zijn of niet, als zij maar hun aangeboren kwaliteiten door hard en doelbewust werken tot volle bloei willen brengen.
Overigens zouden deze overwegingen ook door de ouders en leraren ter harte genomen moeten worden.

Samenvatting

Mijn overwegingen kunnen in enige punten samengevat worden:

1. De gangbare voorstelling van een verticale beroepshiërarchie moet door een totaal andere, de "horizontale", vervangen worden als wij onze economie voor de toekomst zeker willen stellen.

2. Het bereiken van een hoge toegevoerde waarde is nodig, waardoor de theoretische en de praktische

kwaliteiten bij de mensen volledig ontwikkeld moeten worden. De theoretisch sterken hebben een ondersteunende functie in de samenwerking met de "werktuigen" met de praktische kwaliteiten.

3. Praktische en theoretische kwaliteiten op de juiste manier gebruikt en gemotiveerd leiden tot een nieuw begrip van het algemeen dienen voor het "verdienen". De lege handen van de theoreticus en de onhandige c.q. slecht opgeleide medewerker groeien dan samen naar nieuwe prestaties en blijven niet langer de bedrijfsnegatieve loonontvangers.

4. Voor het beroepsonderwijs moeten leerplannen, d.w.z. voorschriften uitgewerkt worden die niet leiden tot 30% gelukkige leerlingen zoals in het verleden, maar tot 100%.

5. De door de Staat opgestelde opleidingsrichtlijnen voor de verschillende vakopleidingen moeten minder uitvoerig zijn, maar de basis voor hoge kwaliteit leggen.

6. De opleidende bedrijven moeten systematisch de basisopleiding met hun specifieke vakkennis aanvullen, zodat na de opleiding en na de arbeidsplaatswisseling een algemeen, door het hele land merkbaar positief synergie-effect in de vorm van nieuwe creativiteit en een nieuw verbeterd kwaliteitsbesef ontstaat.

7. Een gezonde economie helpt zichzelf; zij voert constant de modernste, meest zinvolle en meest verantwoordelijke fabricagemethoden in. De daaraan inherente overwegingen en handelingen moeten eveneens systematisch en constant door de bedrijven op de "nakomelingen" worden overgedragen. Daardoor wordt de vraag naar algemene, door de Staat te realiseren actuele kennisoverdracht van secundaire betekenis.
De Staat moet ondersteunen, hij draagt echter voor de technologie niet de hoofdverantwoording. Hij is echter wel voor het invoeren en het handhaven van een liberale opleidingspolitiek verantwoordelijk.

8. De tol voor deze vrijheid is het opvoeden van onze opvolgers tot onze concurrenten. Deze stelling zegt alles over de verantwoording die wij hebben te dragen, de arbeid die wij te verrichten hebben en de oogst die ons te wachten staat.

Seminar "Vloeistofkoeling van elektronische componenten"

Dit seminar vindt plaats op 27 oktober 1988. Georganiseerd door 3M Nederland B.V.
Plaats: Industrieweg 24, Zoeterwoude.

FLUORINERT™ als permanent koelmedium voor elektronische componenten
Een van de nieuwste ontwikkelingen op het gebied van koeling is de toepassing van 3M Fluorinert vloeistoffen als z.g. LIQUID HEAT SINK (LHS). Daarbij wordt een ondoorlaatbaar, flexibel materiaal als een kussentje gevuld met Fluorinert. Dit kussenthe zorgt voor de koeling in bepaalde elektronische circuits die zo'n voorziening vereisen.
Deze passieve koeling is stil, compact, permanent en effectief. Het nieuwe koelsysteem wordt voor verschillende toepassingen gebruikt en biedt dan ook nieuwe mogelijkheden voor commerciële, industriële en op de consument gerichte goederen.
De Fluorinert LHS wordt gefabriceerd op specificatie van de opdrachtgever om een optimaal produkt te leveren voor de individuele toepassing. Het kussen kan onregelmatige vormen hebben of bepaalde openingen of uitsparingen. In het gebruik zorgt de Fluorinert vloeistof voor het contact met enerzijds het oppervlak dat de warmte genereert, zoals een onderdeel van een printplaat of disk drive, en anderzijds een warmtegeleidend oppervlak zoals een metalen behuizing.
De warmteproducerende bron geeft door geleiding de warmte af aan het oppervlak van het kussen waarna deze door natuurlijke convectiestromen naar de tegenoverliggende zijde van het kussen wordt gevoerd en vervolgens naar de buitenkant waar de warmte aan de omgeving wordt afgegeven. De nieuwe Fluorinert LHS koeling heeft nog een bijkomend voordeel: het kussen, gevuld met vloeistof, zorgt behalve voor warmteafvoer ook nog voor een belangrijke schok- en trillingsdemping.
De kunststoffolie van de LHS is bestand tegen zowel vloeistof als gasmigratie in beide richtingen. De omhulling is flexibel genoeg om uitzetting als gevolg van warmteontwikkeling op te vangen.
Voordat het LHS kussen wordt gevuld heeft de Fluorinert vloeistof een speciale behandeling ondergaan om alle opgeloste gassen te verwijderen. Ook gedurende het vullen van het kussen kan geen lucht tot de LHS toetreden, zodat er een maximale warmteafvoercapaciteit wordt bereikt.

NCR past FLUORINERT™ Liquid Heat Sink toe in microcomputers
In de NCR TOWER 32/200, een compacte microcomputer, wordt de nieuwe vorm van koeling reeds toegepast. Volgens NCR ontwerper Charles Wall waren de doelstellingen van het ontwerp van de NCR Tower 32/200 met elkaar in strijd voor wat betreft eisen van functionaliteit, styling, hoge kwaliteit, compactheid, stille werking, eenvoudig onderhoud en lange levensduur.
Door toepassing van Fluorinert LHS op de printplaten is een aanzienlijke temperatuurreductie mogelijk geworden, wat weer heeft geleid tot een vervier-voudiging van de levensduurverwachting van de elektronische componenten.
"De oplossingen in het ontwerp, zoals verwerkt in de NCR Tower 32/200, zullen vrijwel zeker ook in toekomstige systemen worden toegepast", aldus Charles Wall van NCR Corporation.
Als het bovenstaande voor u aanleiding is om meer informatie te vragen, dan staat een Europees team van specialisten op het gebied van Fluorinert vloeistoffen voor u klaar.

Programma

10.00 uur	Ontvangst.
10.15 uur	3M, technologiën en markten.
10.45 uur	Liquid Immersion Cooling of Electronic Components, lezing door prof. Frank P. Incropera, Purdue Univ., U.S.A.
12.00 uur	Demonstratie van vloeistofkoeling.
12.30 uur	Aperitief en lunch, aangeboden door 3M.
14.00 uur	Praktische voorbeelden van vloeistofkoeling; presentatie van de Liquid Heat Sink door R. vam San, 3M European Technical Centre. Videofilm over o.a. de Cray-2 computer.
15.30 uur	Perfluorkoolstoffen: een veilig alternatief? door Drs. M. Brandon, 3M Nederland B.V.

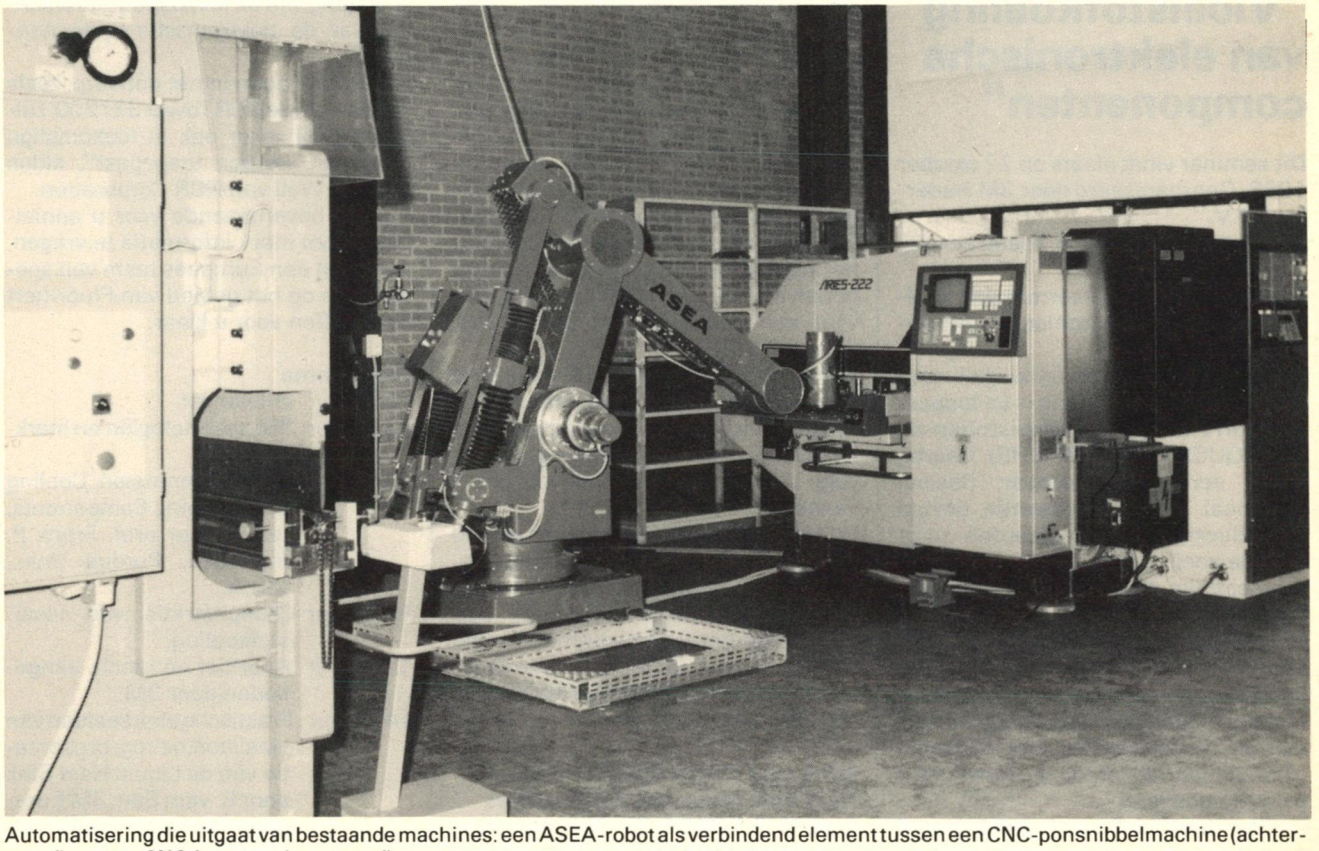
3M Nederland B.V.
T.a.v. F.J. Westenberg
Postbus 193
2300 AD Leiden

Robot koppelt plaatbewerkingsmachines

Het automatiseren van plaatbewerkingen die op meer dan één machine plaatsvinden, is in verband met "interfacing"-problemen tot dusver vrijwel alleen mogelijk door de aanschaf van relatief dure machines van een merk. Deze vorm van automatiseren is daardoor vrijwel uitsluitend weggelegd voor grotere bedrijven.
Medewerkers van de sectie Plaatbewerken en automatisering van het Metaalinstituut TNO in Apeldoorn zijn er nu in geslaagd om met behulp van een robot CNC-plaatbewerkingsmachines van verschillend fabrikaat en met geheel verschillende besturingen toch te laten samenwerken. Daarmee is een ook voor kleinere bedrijven interessante vorm van automatisering gerealiseerd. Gebleken is bovendien dat op deze wijze de grotere veelzijdigheid en flexibiliteit van de CNC-kantpers t.o.v. de duurdere strijk- of zwenkbuigmachine volledig behouden blijft.

De machines waarom het gaat zijn een Amada Ariës-222 ponsnibbelmachine en een LVD-kantpers met een zogenoemde "8200"-besturing. Beide machines zijn ongeschikt voor onderlinge koppeling of opname in een "cel"-configuratie, maar konden met enige aanpassingen wel elektrisch en elektronisch verbonden worden met een ASEA-robot IRB-60. De besturing van deze robot fungeert nu tevens als centrale besturing voor de ontstane configuratie. De installatie is sedert eind april operationeel.

Inmiddels is door verschillende bedrijven belangstelling getoond voor deze relatief goedkope vorm van automatisering, die van bestaande machines uitgaat in plaats van deze overbodig te maken. De koppeling kan door TNO-medewerkers in ca. vier weken worden gerealiseerd, inclusief de vervaardiging van de benodigde printplaten.
Voor nadere informatie:
Metaalinstituut TNO, Apeldoorn,
Telefoon: 055 - 773344, toestel 2026.



Automatisering die uitgaat van bestaande machines: een ASEA-robot als verbindend element tussen een CNC-ponsnibbelmachine (achtergrond) en een CNC-kantpers (voorgrond).

Automatisering van de

PRODUKTIE BESTURING

Handreiking voor het midden- en kleinbedrijf

door Ing. C. J. Vlot, Ing. F. P. O. Klok, ir. W. A. Visser en C. H. Houtzager

Produktiviteitsverhoging, procesbeheersing, automatisering, produktiebesturing, begrippen die heden ten dage in velerlei vormen tot de consument komen.

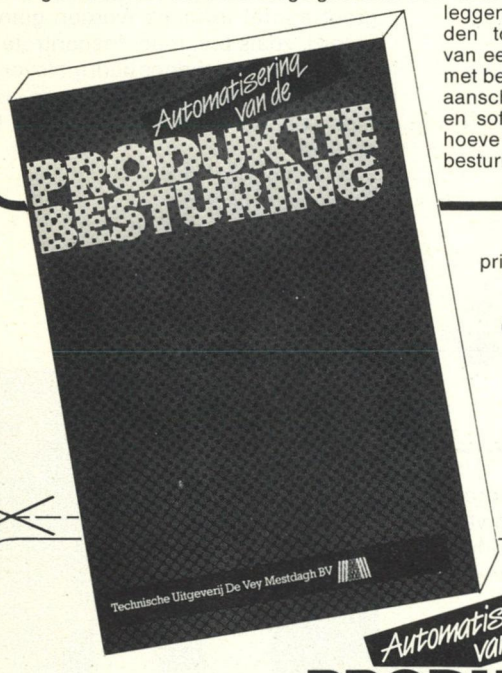
De ontwikkelingen op deze gebieden gaan zo snel dat, wil het bedrijfsleven deze ontwikkelingen op de voet volgen, het noodzakelijk is hiervoor of/wel een team van specialisten aan te trekken of/wel de informatie van externe adviserende instanties te verkrijgen.

In het klein- en middenbedrijf is het veelal niet mogelijk een dergelijke structuur op te zetten en zal het management (directeur, bedrijfsleider) het over het algemeen zelf moeten doen.

Dit boekwerkje, van de "Werkgroep Low Cost Systems", van de Vereniging voor Produktietechniek - VVW, beoogt een hulp te zijn bij het analyseren van eigen bedrijf en problematieken om zodoende richting te geven aan het verkrijgen van beschikbare programmatuur ten behoeve van het automatiseren van de produktiebesturing. Het accent dat in eerste instantie op de "Low Cost Systems" lag is in de loop van het onderzoek gewijzigd naar produktiebesturing van kleine tot middelgrote ondernemingen.

De Werkgroep heeft zich in deze beperkt tot het beschouwen van systemen voor het automatiseren van de produktiebesturing.

Er is getracht voor de toekomstige gebruiker een "rode draad" neer te leggen die kan leiden tot het maken van een juiste keuze met betrekking tot de aanschaf van hard- en software ten behoeve van produktiebesturing.



prijs **f 39.-**
incl. BTW
omvang
68 pagina's A5

Ook in de boekhandel verkrijgbaar.

Automatisering van de
PRODUKTIE BESTURING

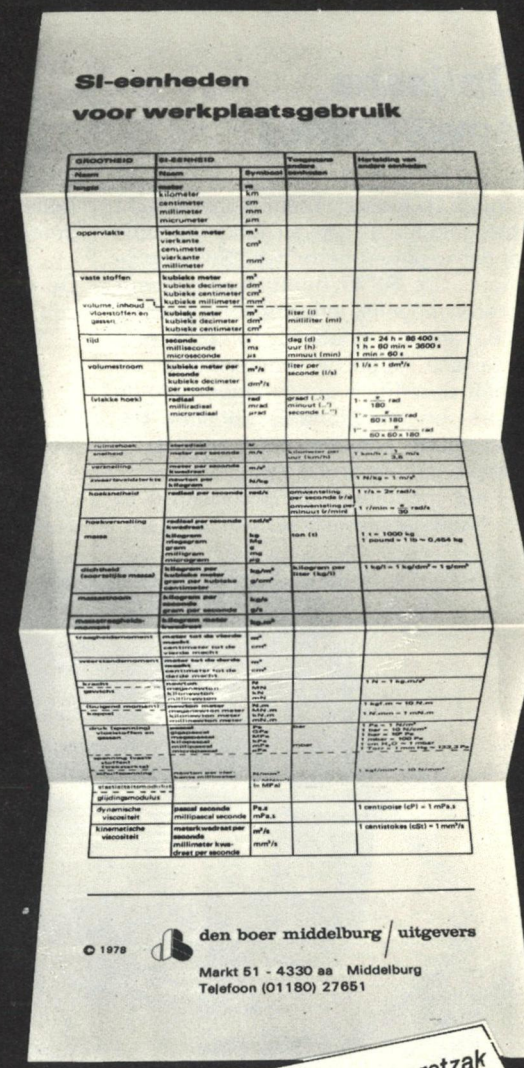
Zend mij ..... expl.

Adres

Naam

Postkode
Plaats

deze bon zenden aan
Technische Uitgeverij De Vey Mestdagh BV



HANDIG

Past in borstzak van overhemd, stofjas of overall.

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.

Zend mij ..... ex tabellen SI-eenheden.

Naam

Adres

Plaats

in open envelop zonder postzegel zenden aan
TECHNISCHE UITGEVERIJ
DE VEY MESTDAGH BV
Markt 51
4331 LK Middelburg

Optische powermeter

United Detector Technology bracht kort geleden de nieuwe enkel-kanaals optische powermeter, type S370 op de markt. De S370 heeft zeer geavanceerde mogelijkheden en is volgens de fabrikant de goedkoopste IEEE-488 interface optische powermeter en heeft dezelfde eigenschappen als de twee- en meerkanaals optische powermeters, S380 en S390 van UDT.
Deze eigenschappen zijn o.a.:
- een meetbereik dat automatisch of handmatig ingesteld kan worden,
- liquid crystal display voor zowel analoge als digitale weergave,
- EPROM-geheugen voor ongelimiteerde calibratie mogelijkheden.

Deze calibraties zijn door de gebruiker instelbaar, waardoor alle gangbare detectors gebruikt kunnen worden.

De toepassingen van de powermeter zijn:
- metingen op het terrein van fiberopties, radiometrie en fotometrie, CRT luminance en ultraviolet.

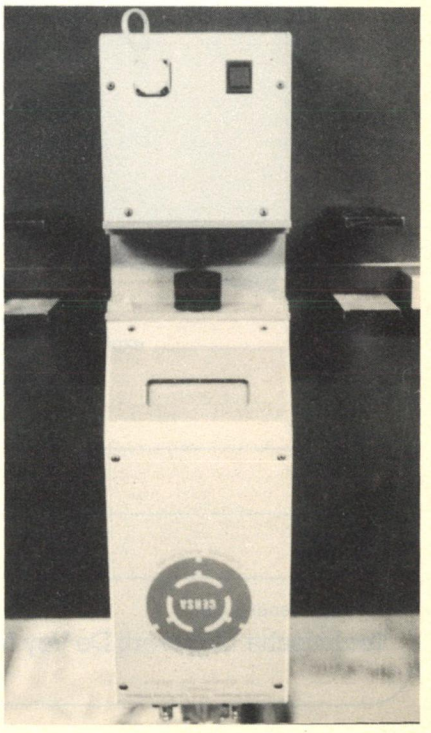
Voor uitvoerige info:
Te Lintelo Systems BV,
Postbus 40007, 6504 AA Nijmegen
Telefoon: 080 - 782242.



Contactloze maatcontrole

Het Franse bedrijf Cersa heeft maatcontrole-instrumenten met hoge resolutie ontwikkeld en geïntroduceerd.
De maatcontrole vindt plaats door middel van micrometersensoren met laser-diffractie of laser-projectie, een nieuwe technologie op dit terrein. De functie van deze instrumenten is het ononderbroken controleren van de produktie in draadtrekkerijen en de synthetische- en glasvezelfabricage.
Voordelen voor de gebruiker van deze instrumenten zijn o.a.:
- kwaliteitsgarantie, d.m.v. continue controle van draad- en basisvezelkarakteristieken,
- verlaging van materiaalkosten door beter inzicht in dimensionele karakteristieken van draad of vezels,
- optimalisering van de eindproduktie door gelijktijdige meting van de verschillende, aan het produktieproces ten grondslag liggende parameters.

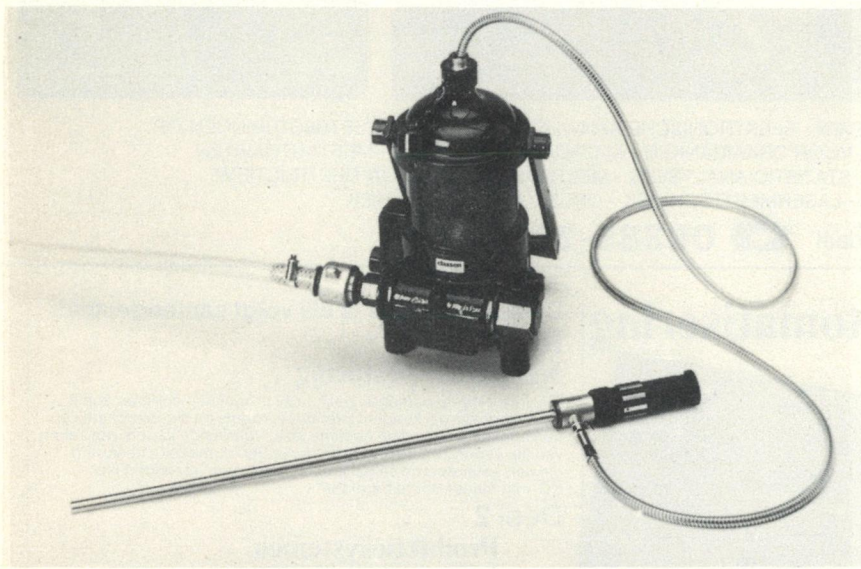
De instrumenten zijn opgebouwd uit niet-bewegende elementen met zeer lange levensduur; behuizing en optisch chassis van gegoten aluminium, halfgeleider laserlichtbron met lange ononderbroken bedrijfsduur.
Twee soorten sensoren vinden in deze instrumenten toepassing: de LDS (Laser Diffraction Sensor) voor het meten van kleine diameters (tussen 10 en 500µm), en de LPS (Laser Projection Sensor) voor maten tot 10 mm.
De LDS maakt gebruik van de diffractiegolven die ontstaan wanneer men een draad of een vezel in een evenwijdige bundel monochromatisch licht plaatst. De optische eenheid levert dan een signaal dat niet wordt beïnvloed door de positie en de trillingen van het te meten object.
De LPS is gebaseerd op de techniek van de ombroscopie: de schaduw van het te meten object (diameter 0,5 tot 10 mm) wordt op de CCD sensor geprojecteerd.
Bij rechtstreekse verwerking van het meetsignaal kunnen 300 metingen per seconde worden verricht met een resolutie van ca. 13µm voor alle diameters. Een meer gedetailleerde signaalverwerking levert een resolutie op van ca. 2µm bij 100 metingen per seconde.
De sensoren zijn leverbaar in drie modellen, voor meetbereiken van resp. 10-50, 40-170 en 150-500µm, en elk model weer in twee versies, t.w. een High-Precision versie voor laboratoriumtoepassing (2 metingen per seconde met 0,01% resolutie, ofwel 0,01µm voor ϕ 100µm) en een High-Speed versie voor toepassing onder bedrijfsomstandigheden (250 metingen per seconde met 0,2% resolutie).
Gelijktijdige meting van verschillende in het sensorveld geplaatste draden en vezels is mogelijk.
Tevens kan met deze apparatuur een groot aantal functies worden geïntegreerd, zoals b.v. machinecontrole en produkt meting tijdens bedrijfslevering produktiegegevens, opnamen in communicatienetwerk voor centrale besturing.
Voor uitvoerige info:
Stichting Frantech,
Bureau Informatie Franse Technologie,
Keizersgracht 276,
1016 EW Amsterdam,
Telefoon: 020 - 254736.

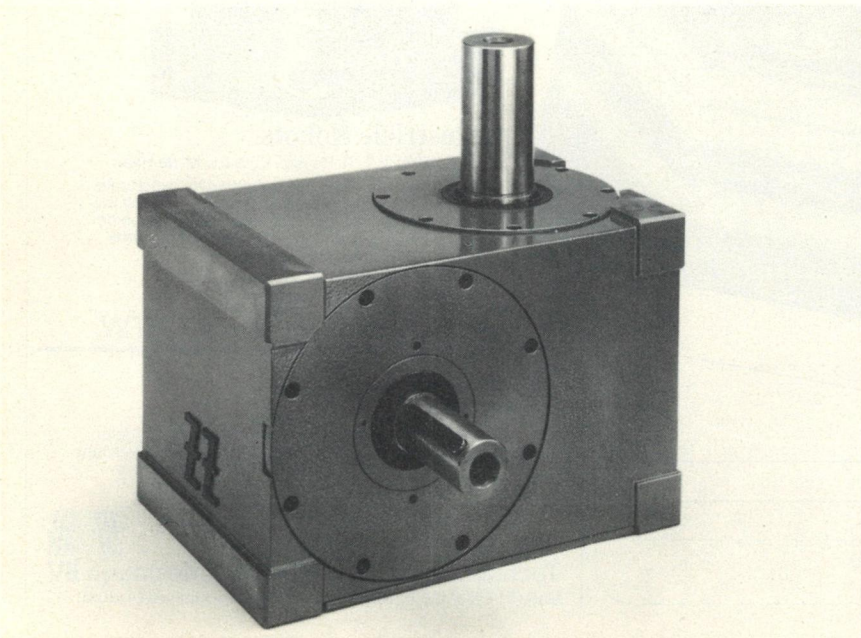


Explosieveilige lichtbron voor endoscopen

Speciaal voor de chemische industrie bracht Classen en Co onlangs een nieuwe explosieveilige lichtbron op de markt. Met deze lichtbron is het nu mogelijk om buizen, tanks, reactors, ventielen, armaturen etc. te inspecteren in een explosiegevaarlijke omgeving, waar dit tot op heden niet mogelijk was.
Momenteel heeft de lichtbron de beschermklasse Exd2fG2 en zal naar verwachting in de toekomst leverbaar zijn voor de beschermklasse Exd2fG3. De behuizing is van drukvast messing, een ingebouwde generator wordt gevoed door perslucht (5 bar). Een eveneens ingebouwde 100 Watt halogeenlamp is voorzien van een condensorsysteem voor gelijkmatige intensieve verlichting. De hoge lichtopbrengst maakt het mogelijk dat endoscopen met een kleine diameter worden toegepast en zijn werkafstanden tot meer dan 250 mm mogelijk bij een endoscoop met diameter van 10 mm.
Voor deze lichtbron zijn zowel starre endoscopen met diameters van 2,5 tot 12 mm en lengtes van 40 mm tot 3,5 m als ook flexibele endoscopen met diameters van 5,3 tot 10 mm en lengtes tot 3 m leverbaar.

Voor uitvoerige info:
MERA Benelux BV,
Postbus 77, 5056 ZH Berkel-Enschot,
Telefoon: 013 - 334411.





Nieuwe precisie-stappen-aandrijvingen

Het Westduitse bedrijf ZZ-Antriebe GmbH introduceerde onlangs een nieuw programma precisie-stappen-aandrijvingen, waarvan Groneman-Hesperia in Nederland de vertegenwoordiging heeft. Het programma omvat een aantal series, waarvan de stappenaandrijvingen met globoïd-curve en aandrijvingen met vlakke curveschijf de voornaamste zijn.

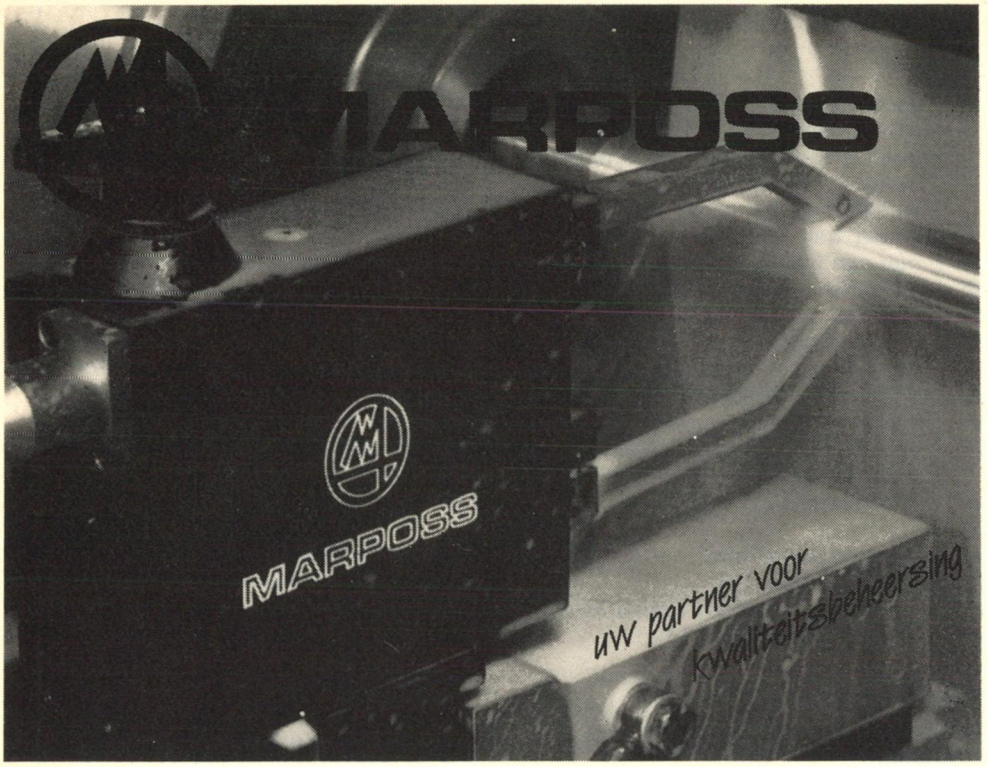
Bij de aandrijvingen met globoïd-curve staan de in- en uitgaande as haaks op elkaar. Er zijn vier typen leverbaar, waarmee momenten tot 2000 Nm kunnen worden overgebracht. Het aantal stops varieert van 2 tot 24.

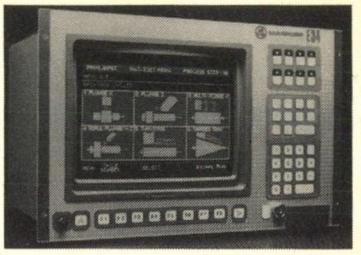
Bij uitvoeringen met vlakke curveschijf zijn de assen parallel geplaatst. Ook deze uitvoering heeft vier typen, waarbij het max. over te brengen moment 1000 Nm bedraagt. het aantal stops varieert van 2 tot 8. In het programma zijn speciale pendelaandrijvingen opgenomen voor een pendelende beweging, hierbij zijn pendelhoeken van 30° tot 120° mogelijk. De verschillende aandrijvingen zijn ook leverbaar als inbouwset.

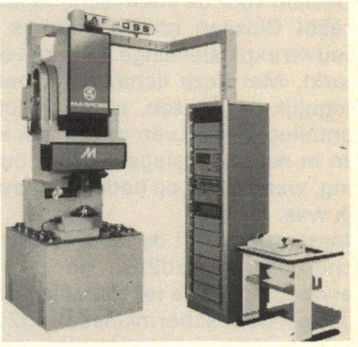
Alle uitvoeringen hebben een rechthoekige symmetrische behuizing. De geharde en geslepen curven met minimale speling geven een geruisloze loop. Alle uitvoeringen kunnen ook compleet met aangeflensde wormwieloverbrenging en elektromotor geleverd worden. Diverse uitvoeringsvarianten behoren tot de mogelijkheden.

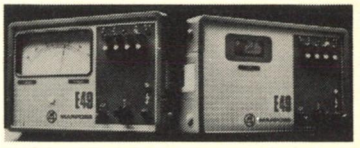
Voor de uiteindelijke keuze kan men terugvallen op de bij Groneman-Hesperia beschikbare expertise op het terrein van dergelijke aandrijvingen.

Voor uitvoerige info:
Groneman Hesperia BV,
Postbus 24, 7550 AA Hengelo,
Telefoon: 074 - 434545.









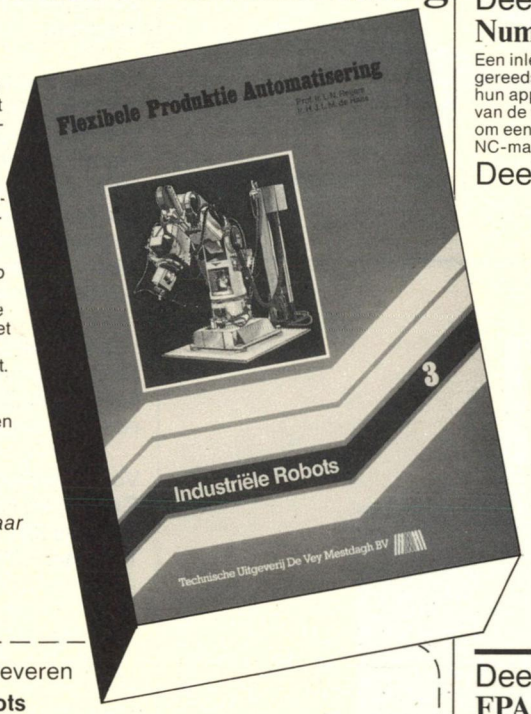
HANDMEETAPPARATUUR - MEETSTATIEVEN - ELEKTRONISCHE AANWIJSAPPARATUUR - MEETBESTURINGEN OP SLIJPMACHINES - MEETSYSTEMEN VOOR DRAAIBANKEN - MACHINEBESTURINGEN - MEETAUTOMATEN FLEXIBELE 2-D MEETMACHINES - STATISTIC ANALYSERS - MEETCOMPUTERS - NON DESTRUCTIEVE MEETAPPARATUUR - LASERMEETTECHNIEK - OPTISCHE MEETTECHNIEK

Postbus 606 - 3900 AP Veenendaal ☎ **08385-24333**

Flexibele Produktie Automatisering

De reeks Flexibele Produktie Automatisering bestaat uit 4 boeken die handelen over flexibele automatisering van produktiemiddelen. Deze "fabrieksvloerautomatisering" vormt een onderdeel van de flexibele automatisering, die in toenemend tempo doordringt in àlle gebieden van de industriële bedrijvigheid. Flexibele automatiseringshulpmiddelen, gebaseerd op moderne computertechnologie, dringen nu in snel tempo door in de drie hoofdgebieden van een produktiebedrijf: het produktontwerp (CAD), de produktiebesturing (MRP) en de automatisering in de produktie (CAM). Het is de automatisering in het derde gebied, de produktie, waarop deze boekenreeks zich concentreert.

De reeks is zo opgezet dat deze geschikt is voor zelfstudie. De boeken beschrijven de laatste stand van de techniek.



Ook in de boekhandel verkrijgbaar

In België te bestellen bij uitgeverij de Sikkel

Wij verzoeken u te leveren
____ **ex. Industriële Robots**

NAAM _____

ADRES _____

POSTKODE
PLAATS _____

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

De boekenreeks is als volgt samengesteld:

Deel **1**

Numerieke besturing

Een inleiding op numeriek bestuurde produktiemachines, zoals gereedschapswerktuigen, industriële robots en meetmachines en hun applikaties. Dit deel geeft de lezer voldoende kennis van zaken van de werking en de eigenschappen van numerieke besturing om een gefundeerde selectie en aanschaf van afzonderlijke NC-machines voor te bereiden.

Deel **2**

Produktiesystemen

Dit boek gaat in op de integratie van afzonderlijke NC-machines tot produktiesystemen. DNC, FFS en CAM zijn hier de sleutelwoorden. In dit boek wordt de inhoud van deel 1 bekend verondersteld.

deel **3**

Industriële Robots

Auteurs: Prof. Ir. L. N. Reijers, Ir. H. J. L. M. de Haas

Dit deel geeft een algemene inleiding tot industriële manipulatoren en hun toepassingen. Gezien het toenemend belang van industriële robots en gezien de breedte van het applikatiegebied is dit onderwerp in een apart deel ondergebracht.

Omvang: ± 536 pagina's.

Prijs **f 77.75** incl. BTW.

Deel **4**

FPA-technieken

In de delen 1 tot en met 3 zijn de diverse systeemonderdelen beschouwd vanuit de gebruiker: als gesloten black boxes met specifieke eigenschappen. Deel 4 kijkt in de black boxes en gaat in op de werking ervan en de onderliggende principes.

* Delen 1, 2, 4 zijn nog in voorbereiding.

Technische Uitgeverij De Vey Mestdagh BV
Markt 51 • 4331 LK Middelburg • Nederland • Telefoon 01180-81240