

# Mikroniek

VAKBLAD OVER PRECISIETECHNOLOGIE

JAARGANG 41 - NUMMER 2

**7 ELID: Elektrolytisch drossen**

**10 Stootgedrag nader bekeken**

**18 Lijmen in de elektronica**

**24 Reinigen tot op de vierkante nanometer**



Vakblad voor precisietechnologie en fijnmechanische techniek en orgaan van de NVPT. Mikroniek geeft actuele informatie over technische ontwikkelingen op het gebied van mechanica, optica en elektronica. Het blad wordt gelezen door functionarissen die verantwoordelijk zijn voor ontwikkeling en fabricage van geavanceerde fijnmechanische apparatuur voor professioneel gebruik, maar ook van consumentenproducten.

**Uitgave:**

Twin Design bv  
Postbus 317  
4100 AH Culemborg  
Telefoon: 0345-519525  
Fax: 0345-513480  
E-mail: mikroniek@twindesign.nl

**Uitgever:**

Andries Harshagen / Renate Verschoor

**Abonnementen:**

Twin Design bv, Culemborg

**Abonnementkosten:**

Nederland: fl. 120,- per jaar ex BTW  
Buitenland: fl. 150,- per jaar ex BTW

**Hoofredactie**

Dirk Scheper

**Redactiesecretariaat/eindredactie**

Mikroniek/ Renate Verschoor  
Twin Design bv  
E-mail: redactie@twindesign.nl

**Advertentie-acquisitie:**

Waterfront media  
Henk van der Brugge  
Tel: 06-29574666 of 078-622 7770

**Secretariaat NVPT**

Parallelweg 30  
Postbus 70577  
5201 CZ Den Bosch  
Tel: 073-6233562  
Fax: 073-6441949  
E-mail: office@NVPT.nl

**Vormgeving en realisatie:**

Twin Design bv, Culemborg

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

ISSN 0026-3699

## In dit nummer

### 4 Editorial

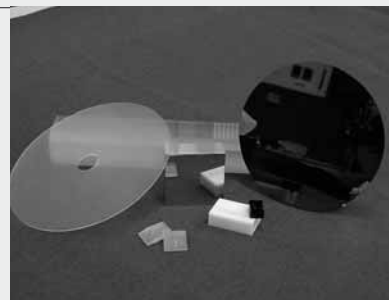
### 6 IOP Precisietechnologie

*Lichtgewicht positioneren*

### 7

#### ELID: elektrolytisch dresen

*Een spiegelglad oppervlak was vroeger alleen te realiseren door een opeenvolging van bewerkingen: voorslijpen, naslijpen en polijsten. Met behulp van Electrolytic In-process Dressing (ELID) is het mogelijk de twee laatste bewerkingen te vervangen door één fijnslijpbewerking.*



### 10

#### Stootgedrag nader bekeken

*Vervolg op een in 1999 gepubliceerd artikel van F. Doorschot, geplaatst in Mikroniek, jaargang 40, nr. 1.*

### 17

#### Actueel

### 18

#### Lijmen in de elektronica

*Elektrisch geleidend lijmen wordt een steeds aantrekkelijker alternatief voor onder andere gesoldeerde verbindingen, door verdere verbetering van de eigenschappen. In dit artikel een drietal voorbeelden.*

### 23

#### Productinfo

### 24

#### Reinigen tot op de vierkante nanometer

*Door de toenemende miniaturisatie, worden de eisen aan producten en materialen steeds hoger. De reinheid van materialen en componenten wordt hierdoor steeds belangrijker. Niet voldoende schoon betekent al snel: onbruikbaar. Reinigingstechnologie wordt daarom gezien als een essentiële discipline.*

## Elektronica in een andere gedaante

Elektronica is een vakgebied dat zich uitstekend leent voor integrale toepassingen. Onder andere dankzij elektronica worden er steeds mooiere en slimmere producten en systemen ontwikkeld. Door een optimale afstemming tussen bijvoorbeeld de vakgebieden optica, informatica, micro-elektronica, micro-elektromechanische systeemtechniek en sensortechnologie kunnen er producten ontstaan die qua functionaliteit en afmeting anderszins ondenkbaar zijn. Een ontwikkeling is wel dat elektronica steeds minder zichtbaar wordt.

Bijvoorbeeld bij gassensoren, die enkele millimeters groot worden en in staat zijn om gevaarlijke gassen tot op drie kilometer afstand te meten. En ook bij digitale camera's - eigenlijk een optisch systeem - waarbij de elektronica niet alleen zorgt voor de omzetting van een analoge beeld in een digitaal beeld, maar ook voor de kwaliteit van de opname en voor de speciale functies die de fabrikant aan de camera heeft meegegeven. De ICT kon dankzij elektronica een enorme sprong voorwaarts maken. Elektronica is haar vakgebied ontstegen. Voor vele ondernemers is het een zaak van bijblijven, volgen en doen.

Syntens, het innovatienetwerk voor ondernemers in het MKB, adviseert en ondersteunt bedrijven bij hun innovaties. Syntens heeft daartoe een zestal specialismen in huis:

- \* Nieuw Ondernemerschap;
- \* Informatie- en Communicatietechnologie;
- \* Personeel en Organisatie;
- \* Samenwerken;
- \* Marketing en Strategie;
- \* Product- en Procesontwikkeling.

Syntens richt zich met name op kansvolle bedrijven die snel, marktgericht en op moderne wijze producten willen ontwikkelen of toepassen. Door haar landelijk opererende organisatie en de unieke onafhankelijke positie die Syntens bekleedt, is zij in staat om ondernemers vrijblijvend bewust te maken van de mogelijkheden en kansen die er zijn.

*Ton A. W. van Schadewijk  
Adviseur  
Syntens Breda*

# LASERPROFIELSCANNER OGP - Cobra 2D/3D

Precies, portable en betaalbaar contactloos meetsysteem voor het snel scannen van oppervlakten van vervormbare- of kleine producten.



De Cobra levert een twee- of drie dimensionale profielscan met hoge resolutie.

Bel voor een gratis testmeting of een demonstratie



Optical Gaging Products - OGP Benelux BV  
Koldingweg 19 - 9723 HL Groningen  
Telefoon (+31) (0)50 549 16 10  
Fax (+31) (0)50 549 27 00  
Email [info@ogp.nl](mailto:info@ogp.nl) - [www.ogp.nl](http://www.ogp.nl)

# IOP Precisietechnologie mei 2000

## Lichtgewicht positioneren

**Projectnummer: IPT00103**

### Achtergrond

Huidige industriële activiteiten in de machinebouw en precisietechnologie zijn gericht op de ontwikkeling van betrouwbare positionersystemen die hoge snelheid paren aan hoge nauwkeurigheid. Dit geldt voor wafersteppers (-scanners), bewerkingsmachines, meetmachines, 'pick-and-place' mechanismen zoals componentplaatsingsmachines en 'wire-bonders', als ook voor printers en andere professionele bewegingsmachines. Hierbij is te voorzien dat verdere integratie van de verschillende deelnemende disciplines een steeds groter belang krijgt in het verleggen van de haalbare grenzen. Juist de combinatie van deze disciplines leidt tot innovatieve, grensverleggende resultaten en producten. De reeds geruime tijd bestaande trend daarbij is de toevoeging van intelligentie (lees: flexibele software en firmware) aan bestaande elektro-mechanische systemen. Het onderhavige project hoopt innovaties te realiseren die leiden tot *lichtere, nauwkeurige* industriële positionersystemen.

### Doel

Positionersystemen met hoge eisen aan nauwkeurigheid worden over het algemeen ontworpen overeenkomstig de ontwerpregels: het mechanisch ontwerp zorgt voor stijfheid, de functie van de actuatoren is de beweging te realiseren in de gewenste richting(en), de sensoren meten zo dicht mogelijk bij de plaats waar de nauwkeurigheid geëist wordt, en ten slotte: de regeling realiseert het gesloten-lus gewenst dynamisch gedrag. Teneinde hoge stijfheid te realiseren kan het mechanisch ontwerp resultaten in relatief zware constructies. Dit leidt tot inherente beperkingen in de te realiseren prestatie van het positionersysteem. Een alternatief lijkt te bestaan in de toe-

passing van lichtere constructies, met extra actuatoren/sensoren om daarmee middels actief regelen stijfheid (en demping) te verhogen ('overactuated').

De *hoofddoelstelling* van het voorstel is om een innovatief (ultra-)lichtgewicht positionersysteem te ontwerpen en te realiseren met hoge stijfheid in de geregelde situatie, voor toepassing in snelle en zeer nauwkeurige bewegingssystemen met grote slag.

### Aanpak

Het voorstel omvat drie 4-jarige promotieplaatsen, één in elk der deelnemende secties, juist om de systeemaanpak vanuit de verschillende disciplines te waarborgen. Een belangrijke relatie bestaat met ASML, Veldhoven en met Philips CFT, Eindhoven, met welke bedrijven samen een programma van eisen zal worden opgesteld teneinde industriële relevante specificaties op te stellen. De verdere invulling zal bestaan uit een ontwerptraject voor mechanica, actuatoren en meet- en regeltechniek, waarbij ook (voorspellende) modelvorming van het dynamisch gedrag een integraal onderdeel vormt. In de realisatiefase zal middels experimenten met het prototype de prestatie van het ontwikkelde lichtgewicht positionersysteem worden geanalyseerd en beoordeeld.

### Uitvoering

3 aio gedurende 4 jaar, totale projectkosten f 1,202,000

### Projectteam

Prof. dr. ir. M. Steinbuch, sectie Systeem- en Regeltechniek, TU Eindhoven. In samenwerking met prof. dr. ir. M.J.W. Schouten en prof. dr. ir. J.C. Compter, TU Eindhoven. E-mail: m.steinbuch@tue.nl

## Slijpen met polijstkwaliteit

# ELID:

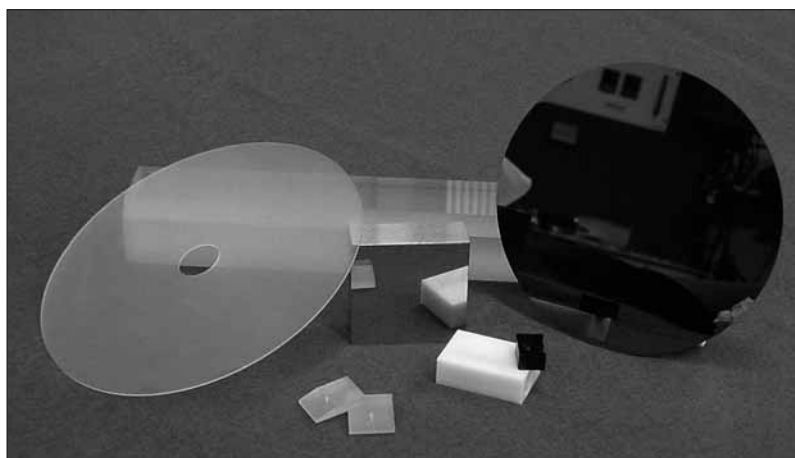
## *elektrolytisch dressen*

*Een spiegelglad oppervlak. Dat was vroeger alleen te realiseren door een opeenvolging van bewerkingen: voorslijpen, naslijpen en polijsten. Nu is er ELID-slijpen: "Electrolytic In-process Dressing". Met behulp van die – van oorsprong Japanse [1] – bewerkings-technologie is het mogelijk de twee laatste bewerkingen te vervangen door één fijn-slijpbewerking, die een oppervlaktekwaliteit oplevert die niet onderdoet voor polijsten.*

• Frans Zuurveen •

In het CTC (Campus Technology Centre) van het Philips Natuurkundig Laboratorium is het ELID-proces niet alleen verbeterd, er is ook veel praktische ervaring opgedaan bij het op laboratoriumschaal bewerken van producten van harde materialen, zie afbeelding 1. Behalve dat de meetresultaten van proefproducten overtuigend zijn, is ook het goede nieuws te melden dat Philips bereid is deze expertise met anderen te delen.

Lex van Sambeek vertelt enthousiast over het nieuwe slijpen: "Bij conventioneel slijpen raakt de steen vrij snel 'vol', oftewel de korrels 'laden aan', zoals men dat in de werkplaats pleegt te noemen. Dat komt omdat verspaningsmateriaal de ruimten tussen de korrels vult, zodat de steen 'bot' wordt. Bij ELID-slijpen creëert een elektrolytisch proces een brosse matrix tussen de korrels.



Afb. 1 Een aantal proefproducten van glas, glaskeramiek, siliciumnitride, aluminiumoxide en siliciumcarbide, die zijn bewerkt met ELID-slijpen.

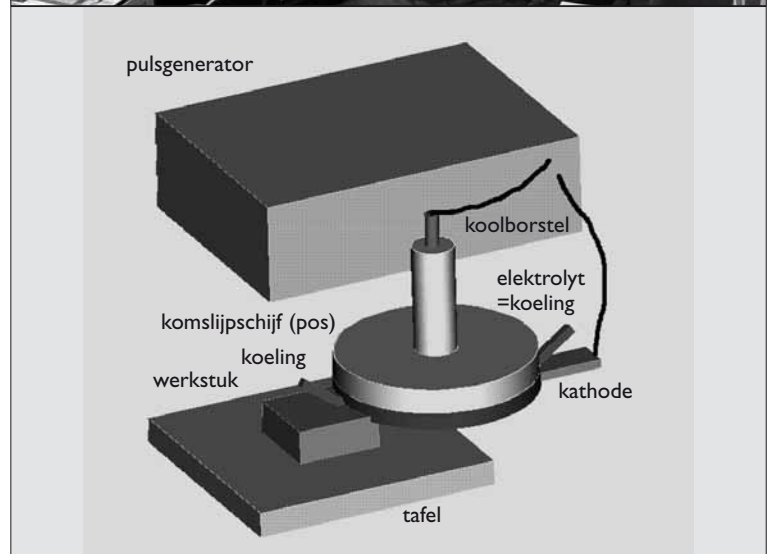
## Bij ELID ontstaat er veel minder onderhuidse beschadiging van de roosterstructuur

Door een krachtgestuurd mechanisme breken de korrels uit de steen voordat ze de kans krijgen de steen bot te maken.”

“Een ander aspect van ELID-slijpen is dat er op micro-schaal sprake is van plastisch verspanen in plaats van het ‘ruw’ uitbreken van werkstukmateriaal door individuele korrels. Dat ‘ductile grinding’ houdt in dat de slijpkorrels - net als bij draaien - het werkstukmateriaal voor zich uit duwen. Door de hoofdzakelijk plastische vervorming ontstaat er veel minder onderhuidse beschadiging van de roosterstructuur. Maar om daarmee echt polijstkwiteit te bereiken moet er wel gewerkt worden met een uiterst fijne korrel, soms niet groter dan 5  $\mu\text{m}$ . En je moet beschikken over een nauwkeurige en erg stijve slijpbank, die dient te worden aangepast voor het elektrolytische proces, zie afbeelding 2. De bijbehorende elektronica is enigszins vergelijkbaar met die voor vonkverspanen.”

### De essentie van ELID

Afbeelding 3 toont schematisch het elektrolytisch dresen gedurende het slijpproces. Via een soort koolborstel vloeit er een gepulste gelijkstroom door een met elektrolyt gevulde spleet tussen de slijpsteen - de anode - en een koperen kathode. Die spleet heeft een breedte van 0,1 mm. De steen bestaat uit korrels van diamant of kubisch boornitride (CBN) in een elektrisch geleidende matrix: gietijzer, brons of messing. Het bijzondere van het proces is dat er een dunne laag metaaloxide en -hydroxide ontstaat met andere mechanische eigenschappen dan de oorspronkelijke matrix: de laag is bros in plaats van plastisch. Door een zorgvuldige afstemming van afmetingen en eigenschappen van die laag wordt bereikt dat afgesleten korrels op tijd uit de steen breken.

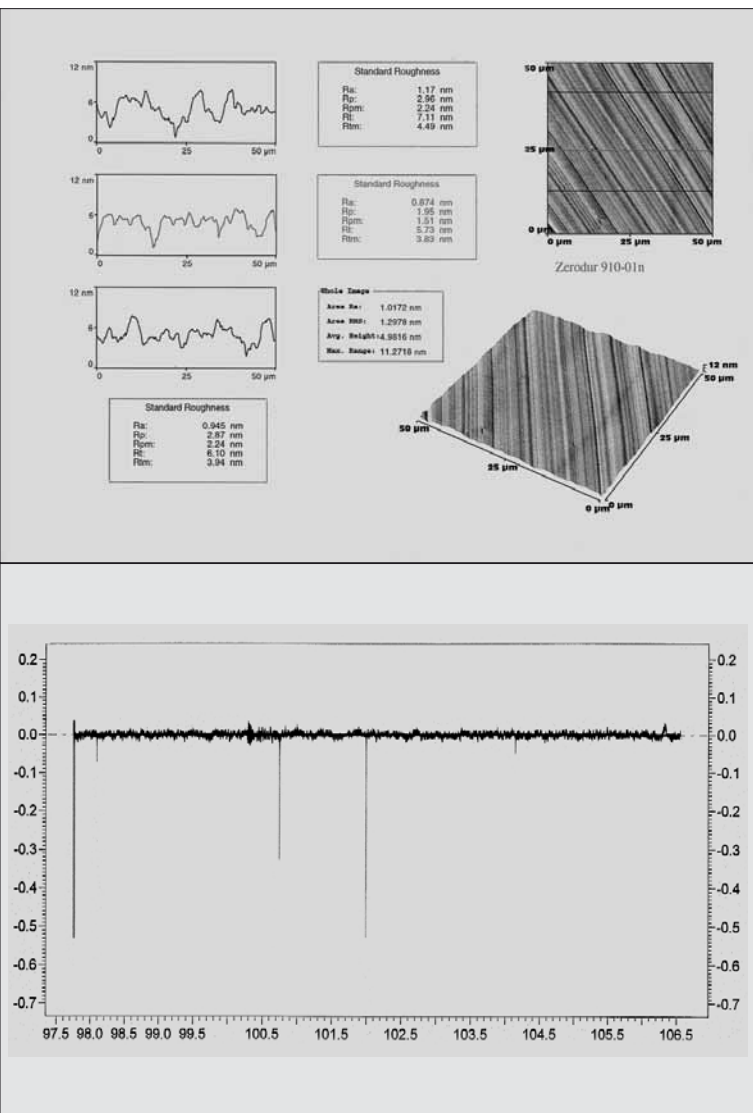


Afb. 2 De voor ELID gemodificeerde Tripet-slijpmachine. Links de kast met elektronica.

Afb. 3 Principeschema van het ELID-slijpen.

Voordat het proces kan starten, moet men de steen eerst zo goed mogelijk mechanisch dresen met behulp van diamantgereedschap. Daarmee dient een hoge rondloopnauwkeurigheid van de slijpsteen te worden bereikt. De resterende afwijking mag niet groter zijn dan de diameter van de slijpkorrels. Vervolgens zorgt elektrolytisch voordresen van de steen voor het scher-





Afb. 4 Resultaten van AFM-meting van een ELID-geslepen glaskeramisch oppervlak.

Afb. 5 Ruwheidsmeting van een ELID-oppervlak met behulp van een Taylor-Hobson-ruwheidsmeetinstrument.

pen van de korrels. Tevens ontstaat er in de “schone” ruimte tussen de korrels een oxide/hydroxide-laag ter grootte van minimaal de halve korreldiameter.

Bij het eigenlijke ELID-slijpen dat daarna kan beginnen, houdt een wat lagere stroom door het elektrolyt de laag op het matrixmetaal in stand, zodanig dat de aangroei de slijtage compenseert. Daarbij vervangen nieuwe, dus

## Nieuwe – dus scherpe – korrels vervangen de versleten korrels die uit de matrix breken.

scherpe, korrels de versleten korrels die uit de matrix breken. Bij een goede instelling van de procesparameters houdt het proces zichzelf in stand, zodat de steen zijn scherpte behoudt.

### De procesparameters

We hebben hiervoor al wat gezegd over de eisen die worden gesteld aan machine en gereedschap. Wat nader gepreciseerd dient de slijpkorrel in ieder geval niet groter te zijn dan 40 à 50 µm, met een concentratie in de metalen matrix van 100 (d.w.z. 4,4 karaat/cm<sup>3</sup>, met 1 karaat = 0,2 g). De experimenteel bepaalde vorm van de koperen kathode is van invloed op de stroming van het elektrolyt in de uiterst smalle spleet van 0,1 mm. Als elektrolyt kan gewoon gedemineraliseerd water of zelfs leidingwater worden gebruikt, maar Japanse firma's leveren ook speciale ELID-emulsies, alsmede andere ELID-hulpmiddelen.

De elektrische voeding produceert een blokpuls-vormige stroom met een open spanning van 60 à 90 V. Tijdens het slijpproces bedraagt de gemiddelde stroom door het elektrolyt 1 tot 2 A. De voedingsnelheid van de werkstuklede mag 1 tot 20 mm/s groot zijn. Het toerental van de slijpsteen bedraagt 1200 omw/min, bij een steendiameter van 200 à 300 mm. De insteekdiepte is niet groter dan 0,5 à 5 µm.

Vooraf een insteekdiepte van 0,5 µm stelt hoge eisen aan de kwaliteit van de slijpbank. Om de maximale oppervlaktekwaliteit te bereiken moet de “diepteschade” door een bewerking voorafgaand aan het ELID-slijpen, geheel worden weggenomen. Dat betekent dat bij die insteekdiepte en een diepteschade van 20 µm de ELID-slijpbewerking veertig keer moet worden doorlopen. ELID-slijpen met hoge polijstkwaliteit is dus geen supersnel

## MATERIAAL RUWHEID [NM] NA ELID

WC/Co	7	WC	3
Ferriet	5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -tiC	5
ZnFerriet	7	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	5
Kwarts	9	SiC	2
Borosilic glas	12	CVD coated SiC	4
Stavax	11	SF <sub>10</sub>	4
Staal	13	Zerodur	2
AlTiC	6	N <sub>371/60</sub> RVS	20
SiSiC	8	Molybdeen	10
Kwart 5"	13	AlN	30
Si	5	BK7	7

Afb. 6 Tabel van de in het Philips Natuurkundig Laboratorium met ELID bewerkte materialen en de daarbij bereikte gemiddelde ruheidswaarden  $R_a$  in nm.

proces, maar is desondanks veel minder tijdrovend dan conventioneel slijpen en polijsten.

### Meetresultaten

De afwijkingen van een ELID-oppervlak liggen in het nanometergebied, zodat voor het meten van die afwijkingen geavanceerde technieken nodig zijn. Een van die meettechnieken is AFM, Atomic Force Microscopy. Dat is een uitbreiding van het al langer bestaande STM: Scanning Tunneling Microscopy. Bij AFM tast een uiterst fijne punt het oppervlak op nanometerschaal contactloos af, waarbij de atomaire kracht tussen oppervlak en taster wordt gemeten. Daarbij kan of de taster of het oppervlak bewegen. De beweging met een resolutie van 0,1 nm of zelfs nog minder wordt ontleend aan piezo-elektrische vervorming. AFM levert onder andere informatie over de vorm van het oppervlak in drie dimensies.

Afbeelding 4 toont de AFM-meetresultaten van een ELID-geslepen product van Zerodur, een soort glaskeramiek. De gemiddelde ruheid  $R_a$  is ongeveer gelijk aan 1 nm en de top-ruheid  $R_t$  is niet groter dan 7 nm. Dat zijn indrukwekkende getallen, die voor een slijpbewerking ongekend laag zijn. Afbeelding 5 laat de resultaten van een conventionele ruheidsmeting zien met behulp van een Taylor-Hobson-meetinstrument, gemeten dwars op de bewerkingsrichting. De vlakheidsafwijking blijkt ongeveer 50 nm te bedragen.

**ELID-slijpen is veel minder tijdrovend dan conventioneel slijpen en polijsten.**

Afbeelding 6 geeft een tabel met materialen die in het Philips Natuurkundig Laboratorium met ELID zijn bewerkt, inclusief de "ruheden" die daarmee zijn gehaald.

### Tot slot

ELID maakt het mogelijk zowel harde als zachte materialen te slijpen met een ongeëvenaard glad oppervlak als resultaat. Zo'n oppervlaktekwaliteit was tot voor kort alleen door een tijdrovende polijstbewerking te realiseren. Het is daarom beslist de moeite waard dit slijpproces uit de laboratoriumsfeer te halen en toe te passen in een praktischer werkplaatsomgeving. Philips is bereid mee te werken aan die bredere toepassing van dit veelbelovende slijpproces.

### Informatie

Ing. L. van Sambeek, Philips ETG, Campus Technology Centre WD01, Prof. Holstlaan 4, 5656 AA Eindhoven. Tel. 040-2742565, fax -42022. E-mail: lex.van.sambeek@philips.com

### Literatuur

[1] H. Ohmori e.a., Analysis of mirror surface generation of hard and brittle materials by ELID grinding with superfine grain metallic bond wheels, CIRP Annals vol. 44, blz. 287-290, 1995.

# Stootgedrag

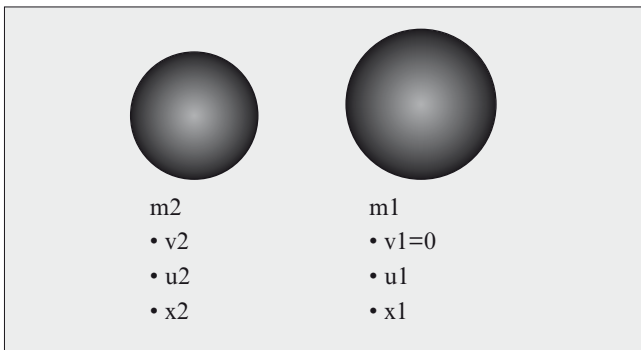
## nader bekeken

Vervolg op een in 1999 gepubliceerd artikel van de hand van dezelfde auteur in *Mikroniek*, jaargang 40, nummer 1 (pagina 13).

• *Flip Doorschot* •

### Botsende bollen

We gaan bollen en staven laten botsen, we beginnen met bollen.



m2 heeft een snelheid  $v_2$  en met deze snelheid botst hij tegen m1 die stilstaat.

Uit de wetten van Newton vinden we:

$$\text{impuls: } m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 u_1 + m_2 u_2$$

energie:

Hieruit kunnen we afleiden:

$$u_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1 + \frac{2m_2}{m_1 + m_2} v_2$$

$$u_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1 + \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} v_2$$

Met  $v_1=0$  vinden we dan:

$$u_2 = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} v_2 \quad (3) \quad \text{en} \quad u_1 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_2 \quad (4)$$

Nu gaan we wat anders doen, namelijk we plaatsen tussen de bollen een massaloze veer ( $k$ ) en een massaloze demper ( $\rho$ ).

Door nu  $k=ma$  (overigens ook van Newton) toe te passen vinden we voor het systeem, precies zo als in de dynamica bij trillende massa's:

$$m_1 \ddot{x}_1 - \rho (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - k(x_2 - x_1) = 0 \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + \rho (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + k(x_2 - x_1) = 0 \quad (2)$$

Als randvoorwaarden voeren we in:

in het punt waar de twee bollen tegen elkaar botsen noemen we:

$$x_1 = 0; \quad x_2 = 0; \quad t = 0 \quad (t \text{ is de tijd})$$

En verder:

$$\dot{x}_1(0) = a; \quad \dot{x}_2(0) = b$$

Deze vergelijkingen zien eruit als de trillingvergelijkingen, maar ze betekenen iets anders. Ze beschrijven namelijk het gedrag van de bollen tijdens, en direct na de stoot.

Noem:  $\frac{k}{m} = \omega_1^2$  maak  $\rho=0$  en maak  $m_1=m_2=m$   
De differentiaalvergelijkingen zijn nu eenvoudig oplosbaar en we vinden:

$$x_1(t) = \frac{1}{4} \frac{2t a \omega_1 + 2tb \omega_1 - b \sin(\sqrt{2} \omega_1 t) \sqrt{2} + \alpha \sin(\sqrt{2} \omega_1 t) \sqrt{2}}{\omega_1}$$

$$x_2(t) = \frac{1}{4} \frac{2t a \omega_1 + 2tb \omega_1 + b \sin(\sqrt{2} \omega_1 t) \sqrt{2} + \alpha \sin(\sqrt{2} \omega_1 t) \sqrt{2}}{\omega_1}$$

We bepalen  $x_2(t)-x_1(t)$ . Zolang als dit verschil positief is, duurt de botsing voort. We noemen het verschil alpha ( $\alpha$ ). We vinden:

$$\alpha = - \frac{1}{2} \frac{\sin(\sqrt{2} \omega_1 t) \sqrt{2} (-b + a)}{\omega_1}$$

We bepalen de eerste afgeleide van  $\alpha$  en noemen deze  $r$ . Door deze nul te stellen kunnen we de maximale indrukking van de veer bepalen. Door hem te vermenigvuldigen met de veerconstante  $k$  kennen we dan de maximale botskracht. We vinden:

$$r = -\cos(\sqrt{2} \omega_1 t) (-b + a)$$

Voor  $t=0$  zien we dat de botsing start met de waarde  $\alpha=0$ , zoals het hoort.

Als  $\alpha$  weer 0 wordt is de botsing afgelopen. Op dat moment geldt:

$$\sqrt{2} \omega_1 t = \pi$$

En hieruit volgt de stoottijd  $t_{\text{stoot}}$

$$t_{\text{stoot}} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\omega}{\omega_1}$$

We zien dat  $\alpha$  maximaal is als  $\sqrt{2} \cdot \omega_1 \cdot t = \frac{\pi}{2}$  en simultaan geldt dan dat de  $r=0$ . Het is verstandig om beiden te controleren!

We vinden zo voor de maximale indrukking:

$$\alpha_{\text{max}} = \frac{\sqrt{2} \cdot (-b+a)}{2 \cdot \omega_1}$$

Maken we  $b=v_2$  en  $a=0$  dan wordt dit:

$$\alpha_{\text{max}} = \frac{\sqrt{2} \cdot v_2}{2 \cdot \omega_1}$$

Vermenigvuldigen we dit met  $k$  dan vinden we de maximale botskracht.

$$k_{\text{stoot}} = k \cdot \alpha_{\text{max}}$$

De grote vraag is nu of dit alles mag!

Daartoe rekenen we de snelheden  $u_1$  en  $u_2$  uit aan het eind van de stoot en we vinden:

$$u_1 = \frac{1}{2} a + \frac{1}{2} b - \frac{1}{2} b \cos(\pi) + \frac{1}{2} a \cos(\pi)$$

$$u_2 = \frac{1}{2} a + \frac{1}{2} b + \frac{1}{2} b \cos(\pi) - \frac{1}{2} a \cos(\pi)$$

Met  $b=v_2$  en  $a=0$  wordt dit:

$$u_1=v_2 \quad \text{en} \quad u_2=0$$

Met  $m_1=m_2=m$  leveren de formules (3) en (4) hetzelfde resultaat, dus het mag!

We hebben dit met verschillende configuraties getest en het geldt altijd. Als we de massa's niet gelijk maken, en we maken  $\rho$  niet gelijk aan 0, dan worden de berekeningen wel gecompliceerder, maar ze geven geen verdere moeilijkheden.

### Botsen van staven

We laten nu twee staven met diameter  $d$  en lengte  $l$  met elkaar botsen onder dezelfde randvoorwaarden als hierboven bij de bollen ( $v_2=v_2; v_1=0$ ). Aan wat we hierboven berekend hebben verandert dan niets.

Wat nog niet bevredigend is, is het sprookje van de massaloze veer (en ook straks de massaloze demper).

Echter de staafjes hebben een eigen stijfheid die we eenvoudig uit kunnen rekenen. We vinden dan:

$k = \frac{E \cdot F}{l}$  en deze gebruiken we voor  $k$   
 $E$ =Elasticiteitsmodulus;  $F$ =Doorsnede=  $\frac{\pi}{4} \cdot d^2$ ;  $l$ =lengte staafje.

We vinden dan voor  $\frac{E \cdot F}{m \cdot l}$  (zie voren)  $m$ =massa staafje  
We weten dat de verplaatsingssnelheid van een drukgolf in een medium gelijk is aan:  $v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$  ;

$E$ = elasticiteitsmodulus;  $\rho$ =soortelijke massa. (We komen erop terug.)

We kunnen nu nog twee belangrijke grootheden berekenen;

1. De maximale mechanische spanning die tijdens de stoot optreedt:

$$\sigma_{\max} = \frac{K_{\text{stoot}}}{\frac{\pi}{4} \cdot d^2} \quad \text{vul in:}$$

$$K_{\text{stoot}} = k \cdot \alpha_{\max}; \quad \alpha_{\max} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{v_2}{\omega l}; \quad \omega l^2 = \frac{E \cdot F}{m \cdot I}; \quad k = \frac{E \cdot F}{I}; \quad \text{en} \\ m = \rho \cdot F \cdot l$$

$$\text{Hiermee vinden we voor } \alpha_{\max} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot v_2 \cdot \sqrt{E \cdot \rho} \quad (5)$$

2. De afstand die de drukgolf aflegt gedurende de stoot

$$l_g = v \cdot t_{\text{stoot}} \quad \text{vul in:}$$

$$t_{\text{stoot}} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\pi}{\omega l}; \quad v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}; \quad \omega l^2 = \frac{E \cdot F}{m \cdot I};$$

Hiermee vinden we voor:

$$l_g = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \pi \cdot l$$

**Deze laatste formule is behoorlijk verrassend. Hier blijkt namelijk dat  $l_g$  alleen afhangt van de lengte  $l$  van een staafje.**

We gaan nu wat numerieke gegevens invoeren om een gevoel te krijgen voor wat dit nu allemaal betekent.

$$L=30 \text{ mm}; d=10 \text{ mm}; \rho=7.8 \cdot 10^{-10} \text{ kg/mm}^3;$$

$$E=2.1 \cdot 10^4 \text{ kgf/mm}^2; v_2=10 \text{ m/sec}$$

en we vinden:

$$m=1.84 \cdot 10^{-3} \text{ kg}; t_{\text{stoot}}=0.013 \cdot 10^{-3} \text{ sec}; v=5190 \text{ m/sec};$$

$$k=54978 \text{ kgf/mm}; \alpha_{\max}=0.041 \text{ mm}; \sigma_{\max}=28.70$$

$$\text{kgf/mm}^2; \omega l=172856 \text{ 1/sec}; K_{\text{stoot}}=2254 \text{ kgf};$$

$$l_g = 67.5 \text{ mm}$$

We zien dat de maximale botskracht erg hoog wordt!

Nadere beschouwing van het resultaat laat zien dat de factor  $\frac{\sqrt{2}}{2}$  afhangt van het gekozen botsprobleem (in dit geval  $v_2=v_2; v_1=0; m_1=m_2=m$ ).

Laten we bijvoorbeeld een staaf botsen tegen een starre muur, dan vindt men voor  $l_g = \pi \cdot l$  en is de factor = 1.

Andere botsproblemen zijn eenvoudig met de formules op te lossen.

Ik herhaal nu heel in het kort een deel van het artikelje in Mikroniek, jaargang 40, nummer 1 (pag.13).

### John Prescott

In verschillende publicaties kan men lezen over lopende golven, de mooiste (vind ik!) is te vinden in het boek "Applied Elasticity" van John Prescott, een Dover Publication.

Na het botsen (met een snelheid  $v_2$ ) tegen bijvoorbeeld een staaf, loopt er een verplaatsingsgolf door het materiaal.

Deze golf loopt met een snelheid  $v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ .

(Men noemt dat wel de snelheid van het geluid in het gekozen materiaal).

$E$ =elasticiteitsmodulus in  $\text{kgf/mm}^2$

$\rho$ =soortelijke massa  $\text{kg/mm}^3$ .

Kijk bij het gebruik van deze formule uit met de dimensies. Voor staal vindt men zo:  $v=5190 \text{ m/sec}$ .

Voor de druk vindt hij:

$$\sigma = \frac{v_2}{v} E \quad (\text{kgf/mm}^2)$$

Nemen we  $v_2=10 \text{ m/sec}; v=5190 \text{ m/sec}$  en  $E=2.1 \cdot 10^4 \text{ kgf/mm}^2$  dan vinden we voor  $\sigma=40.5 \text{ kgf/mm}^2$ , dat is dus aanzienlijk.

Als deze golf de overkant bereikt, wordt hij gereflecteerd. Als hij reflecteert op een vrij oppervlak dan loopt hij terug zonder het teken om te keren. Een drukgolf blijft dus een drukgolf en een trek golf blijft een trek golf. Is het oppervlak echter niet vrij dan keert de golf terug met het omgekeerde teken; druk wordt dus trek en trek wordt druk.

We zien dat de snelheid van zo'n golf behoorlijk hoog is. Afhankelijk van de botsduur is zo'n golf in staat om gedurende de botsing het materiaal een aantal malen te doorlopen.

Kijken we nog eens heel even naar de formule voor

$$\sigma = \frac{v_2}{v} E \quad \text{vul in } v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

en we vinden na een kleine herleiding:

$$\sigma_{\max} = v_2 \cdot \sqrt{E \cdot \rho}$$

Op de factor na is dit hetzelfde als gevonden in formule 5. We zagen dat de factor te maken had met het gekozen botsprobleem. Laten we de staaf tegen een starre muur botsen dan wordt de factor 1. Dit is ook het probleem zoals bekeken door Prescott. Dus ook nu weer blijkt dat

de twee, onderling verschillende methoden, tot hetzelfde resultaat leiden. Dat geeft vertrouwen!

**Niet lineair**

Zoals waarschijnlijk bekend heeft Hertz gerekend aan botsende bollen. Hij past de volgende slimme truc toe:

$$m_1 \cdot \ddot{x}_1 - \rho(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - k(x_2 - x_1) = 0 \tag{1}$$

$$m_2 \cdot \ddot{x}_2 + \rho(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + k(x_2 - x_1) = 0 \tag{2}$$

Vermenigvuldig (1) met  $m_2$  en (2) met  $m_1$ . Trek daarna de twee gevonden vergelijkingen van elkaar af en men vindt na enige herleiding:

$$\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} (\ddot{x}_2 - \ddot{x}_1) + \rho(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + k(x_2 - x_1) = 0$$

Noem nu  $\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} = m$  en  $(x_2 - x_1) = x$  en we vinden een keurige trillingsvergelijking:

$$m\ddot{x} + \rho\dot{x} + kx = 0 \tag{6}$$

Door hiermee te gaan werken verliezen we de informatie over  $x_1$  en  $x_2$ . Maken we bij het begin van de stoot  $x=0$  en  $t=0$  dan geeft deze differentiaalvergelijking precies weer wat er gedurende de stoot gebeurt en daar is het nu om begonnen.

Vergeet bij dit alles niet dat  $m$  nu een samengestelde functie is. Als  $m_1 = m_2 = m$  dan is de  $m$  in de trillingsfunctie:  $\frac{m}{2}$

Men kan in de berekening van Hertz vinden hoe hij een niet-lineaire veer invoert en doorrekent. Door dit wat algemener in te voeren kunnen we een hele klasse van niet-lineaire veren bestuderen. We hebben gekozen voor de stijfheid  $C \cdot X^b$ . De  $\rho$  stellen we weer nul en voeren dit in in (6):

$$m\ddot{x} + 2 \cdot C \cdot x^b = 0$$

Vermenigvuldig dit met  $x$

$$m\ddot{x} \cdot \dot{x} + 2 \cdot C \cdot x^b \cdot \dot{x} = 0$$

Schrijf dit als:

$$m \cdot \frac{d}{dt} \left( \frac{\dot{x}^2}{2} \right) + 2C \frac{d}{dt} \left( \frac{x^{b+1}}{b+1} \right) = 0$$

Als we deze een maal integreren en we voeren de randvoorwaarde in:

voor  $x=0$  geldt  $\dot{x}=v_2$

Na enige herleiding volgt hieruit:

$$x^2 = v_2^2 - \frac{4 \cdot C}{m} \cdot \frac{x^{b+1}}{b+1} \tag{7}$$

Bij de grootste indrukking van de veer geldt  $\dot{x}=0$

Hiermee vinden we:

$$x_{\max} = \frac{m \cdot (b+1) \cdot v_2^2}{4 \cdot C}^{\frac{1}{b+1}}$$

Als  $b=2$  kunnen we heel gemakkelijk controleren dat dit hetzelfde is als gevonden voor  $\alpha_{\max}$  op pagina 16.

Door separatie van de variabelen kan men uit (7) ook de tijdsduur van de stoot berekenen, en we vinden:

$$t_{\text{stoot}} = \frac{2 \cdot \left[ \frac{(b+1) \cdot m \cdot v_2^2}{4 \cdot C} \right]^{\frac{1}{b+1}}}{v_2} \int_0^1 \frac{dz}{\sqrt{1-z^{b+1}}}$$

Opmerking: Als  $b \leq -1$  worden de waarden van de integraal zuiver imaginair, dus daar hebben we in het reële leven niets aan. Dus  $b > -1$ .

Uiteraard moet voor  $b=1$  het lineaire resultaat terugkomen, en dat klopt!

Uit de berekeningen van Hertz blijkt dat ook hij de veerconstante heeft ingevuld als een machtfunctie. De  $b$  bij Hertz is  $\frac{3}{2}$ , en vergelijking laat zien dat de antwoorden met elkaar kloppen.

Bijna alles met  $b$  brengen we nu samen in een factor  $y(b)$  en vinden (zie grafiek op volgende pagina).

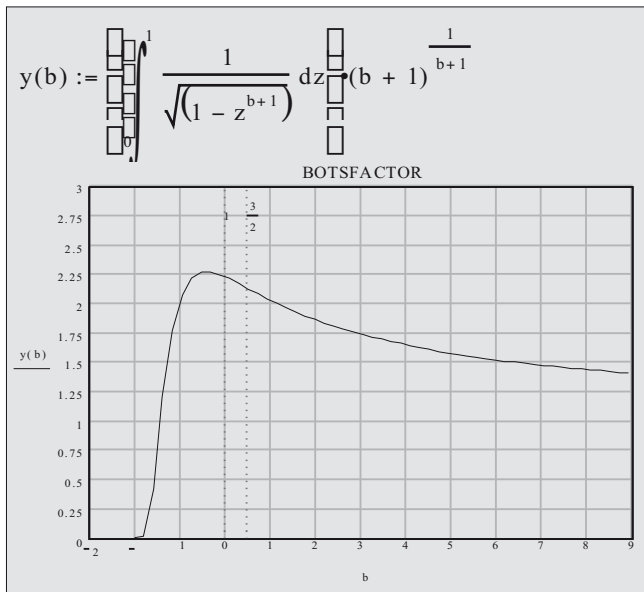
In de grafiek zijn de waarden  $b=1$  en  $b=\frac{3}{2}$  ingevuld, het zijn geen speciale grootheden. Als  $b = \infty$  wordt  $y(b)=1$ .

Of een negatieve  $b$  kan bestaan is een open vraag.

**Vertragingen**

In het voorgaande hebben we de volgende grootheden gevonden:

$t_{\text{stoot}}$ ,  $X_{\max}$  (of  $\alpha_{\max}$ ) en de beginsnelheid  $v_2$ . Als we bedenken dat de tijd die nodig is om  $X_{\max}$  te bereiken gelijk is aan  $t_{\text{stoot}}/2$ , kunnen we de vertraging van een



botsend lichaam berekenen, en via de vertraging kunnen we dan met  $k=m \cdot a$  de kracht berekenen die bij de vertraging hoort.

De vertraging halen we uit:

$$S = V_0 t - \frac{1}{2} a t^2 \quad \text{waaruit volgt:}$$

$$a = \frac{2(V_0 t - S)}{t^2} \quad S = X_{\max} \quad t = t_{\text{stoot}}/2$$

Vullen we hier de gegevens in van het botsen van het staafje tegen een starre muur dan vinden we:

$a \approx 800.000 \text{ m/s}^2$ , en dit leidt tot een kracht van **1470 kgf**.

Rekenen we echter de stootkracht uit dan vinden we met  $C \cdot X_{\max} = 3175 \text{ kgf}$ ; dat is dus aanzienlijk hoger.

Overigens is het ook hier de vraag of de vertragingkracht wel wat zegt.

**De vertraging kan niet met oneindige snelheid in de staaf worden doorgegeven, vandaar.**

Het kan interessant zijn om de kijken naar de verhouding van de stootkracht ten opzichte van de vertragingkracht, dus  $\frac{k_{\text{stoot}}}{k_{\text{vertraging}}}$ .

Voor een staaf die botst met de snelheid  $V$  tegen een zelfde staaf die stilstaat:

$$\frac{k_{\text{stoot}}}{k_{\text{vertraging}}} = \frac{\pi^2}{16 \left(\frac{\pi}{2} - 1\right)} \approx 1.08$$

Voor een staaf die botst met de snelheid  $V$  tegen een starre muur:

$$\frac{k_{\text{stoot}}}{k_{\text{vertraging}}} = \frac{\pi^2}{8 \left(\frac{\pi}{2} - 1\right)} \approx 2.16$$

Voor een staaf die botst met een snelheid  $V$  tegen een zelfde staaf met snelheid  $-V$ :

$$\frac{k_{\text{stoot}}}{k_{\text{vertraging}}} = \frac{\pi^2}{4 \left(\frac{\pi}{2} - 1\right)} \approx 4.32$$

We zien dat de grootheden wel nog afhangen van het soort botsend systeem, maar niet van het materiaal en de afmetingen van de botsende systemen en dat is natuurlijk mooi. Als we proberen om deze verhoudingen te berekenen voor niet-lineaire systemen of systemen met een demper, ontstaan er zeer gecompliceerde vergelijkingen die geen verder inzicht meer geven. Ze zijn daarom hier maar weggelaten.

Om toch een gevoel te krijgen over de systemen met een demper is het volgende gedaan. We kunnen nagaan welke randvoorwaarden we moeten substitueren in de differentiaalvergelijking van een lineair systeem zonder demper om de  $u_1$  en de  $u_2$  te vinden van een systeem met restitutiecoëfficiënt  $\lambda$ . Als we dit doorwerken vinden we precies dezelfde verhoudingen als voren, hetgeen ook wel in de lijn der verwachtingen ligt, maar het kan mijns inziens niet exact kloppen. Beter hebben we nu niet! Wel is het goed om te bedenken dat door de demping het totale krachtniveau omlaag gaat.

### De restitutiecoëfficiënten

Tot nu toe hebben we niet veel aandacht geschonken aan de restitutiecoëfficiënt  $\lambda$ . We zullen daar nu wat nader op ingaan.

In het hoofdstuk over botsende bollen hebben we gebruikgemaakt van een figuur die we nu ook kunnen gebruiken. Het enige dat anders is, is dat er bij de

botsing een restitutiecoëfficiënt optreedt. Deze is als volgt gedefinieerd:

$$u_1 - u_2 = -\lambda(v_1 - v_2)$$

Hiermee vinden we na het toepassen van de botswetten en bovenstaande definitie:

$$u_1 = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2 - \lambda m_2 (v_1 - v_2)}{m_1 + m_2}$$

$$u_2 = \frac{m_2 v_2 + m_1 v_1 - \lambda m_1 (v_2 - v_1)}{m_1 + m_2}$$

Met  $v_1=0$  en  $m_1=m_2$  volgt hieruit:

$$u_1 = \frac{v_2}{2}(1+\lambda)$$

$$u_2 = \frac{v_2}{2}(1-\lambda)$$

Men kan eenvoudig nagaan dat in systemen met een restitutiecoëfficiënt energieverlies optreedt. Dit gebeurt in puur elastische systemen niet, we moeten dit dus vergelijken met systemen met een demper (zie voren).

Iets wat een beetje vreemd overkomt is die viskeuze demping. Met de beste wil van de wereld is er in een mechanisch systeem niets viskeus te ontdekken en dat geldt ook voor de meeste dynamische systemen. Natuurlijk kan men systemen ontwikkelen waarin een viskeuze demper is aangebracht, maar in de meeste mechanismen is dat niet het geval. Toch rekent men met zo'n demper, maar wat betekent dat dan? In feite hebben we in de differentiaalvergelijking alleen maar een uitdrukking nodig met de juiste dimensie en bovendien zien we alleen maar massa's en veren.

Het blijkt dat  $\sqrt{k \cdot m}$  precies de goede dimensie heeft. In plaats van  $\alpha$  (dampingfactor) voeren we daarom in de differentiaalvergelijking in:  $\alpha \sqrt{k \cdot m}$  als dampingfactor.

Toegegeven, we weten ook niet waar we  $\alpha$  in het systeem moeten zoeken, maar het lijkt reëler.

De differentiaalvergelijkingen (1) en (2) kan men weer oplossen op de klassieke manier (dat kan natuurlijk ook als men de  $\rho$  gewoon laat staan). We zullen niet verder ingaan op de berekening, maar de relevante antwoorden geven. We vinden:

$$u_1 = \frac{1}{2}v_2(1+e^{-\alpha\omega t})$$

$$u_2 = \frac{1}{2}v_2(-1+e^{-\alpha\omega t})$$

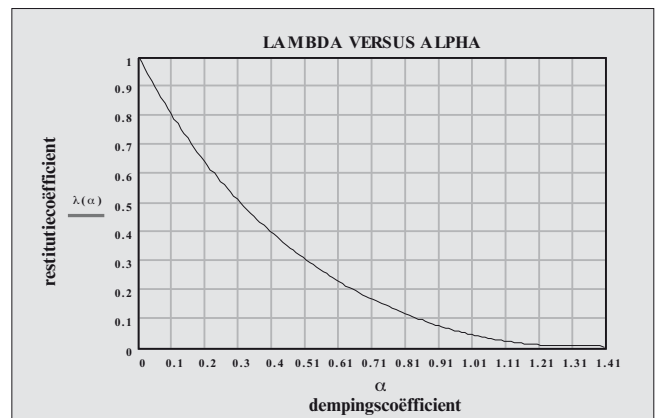
Substitueer deze waarden in  $u_1 - u_2 = -\lambda(v_1 - v_2)$  en maak  $v_1=0$  en we vinden:

$$\lambda = e^{-\alpha\omega t} \text{ met } t = \frac{\pi}{\omega\sqrt{2-\alpha^2}}$$

Na enige herleiding vindt men hieruit:

$$\lambda = e^{-\frac{\alpha \cdot \pi}{\sqrt{2-\alpha^2}}}$$

We brengen dit in een grafiek.



Over het algemeen zijn de dempingfactoren in werktuigbouwkundige constructies maar klein. Echter in hydrostatisch gelagerde machines zijn de lagers gewoon viskeuze dempers, dus hier is de dempingfactor niet klein. Van werktuigkundige constructies kan men via modal analysis het dynamisch gedrag vaststellen door er met een hamertje tegen te tikken. Opnemers die op de machine zijn geplaatst registreren dan het gedrag ter plaatse ten gevolge van de tik. Via computerberekeningen (Fast Fourier Analysis) ontstaat er dan een beeld van de trillende constructie.

Toen we deze techniek toepasten op een hydrostatische machine sprong de apparatuur op tilt. Bij de berekeningen ging men ervan uit dat de demping erg klein zou zijn en dat bleek niet het geval. Het kostte nogal wat tijd om bruikbare gegevens te verkrijgen. Dat zal nu hopelijk beter opgelost zijn.



## Euregio contact 2001

Ook dit jaar komen de industriële toeleveranciers en uitbesteders weer naar Euregio Contact om nieuwe contacten te leggen en zaken te doen met elkaar en met inkopers uit diverse industriële sectoren. Euregio Contact vindt plaats van woensdag 25 tot en met vrijdag 27 april 2001 in MECC Maastricht.

Euregio Contact is een grensoverschrijdende beurs met deelnemers en bezoekers uit Vlaanderen, Wallonië, Nord-Rhein Westfalen en Nederlands Limburg.

Op de eerste dag van de beurs, 25 april, vindt de officiële opening van Euregio Contact plaats. Tevens organiseert de Nederlandse Vereniging voor Inkoopmanagement (NEVI) samen met de Vlaamse Inkoop Vereniging (VIB) een symposium met als thema: "De vrije energiemarkt – fictie of werkelijkheid?" Het symposium is gratis toegankelijk.

De bedrijven uit de Euregio Maas-Rijn presenteren zich op Euregio Contact. Het expositieprogramma bestaat onder meer uit metaalbewerking, oppervlaktetechniek, grondstoffen en halffabrikaten, engineering, gereedschappen en matrijzen, aandrijftechniek, elektronica en elektrotechniek en machinebouw.

Op de laatste beursdag, 27 april, vindt tussen 12.00 en 14.00 uur een euronale businesslunch plaats. Het thema van deze lunch is "e-procurement".

## Workshops

Het adviesbureau in productontwikkeling, Van Dam Orenda, draagt methoden over op haar klanten in workshops, waar ruim aandacht wordt geschonken aan theorie en praktijk. Onderstaand treft u een beknopt overzicht aan van data en onderwerpen.

MEER INFORMATIE KUNT U VINDEN OP  
WWW.ORENDA.NL

- **26 april, 27 september**  
Vreemde ogen dwingen

- **17 mei**  
Failure Mode & Effect Analysis
- **14 juni**  
Product Breakdown Structure /  
Work Breakdown Structure
- **28 juni**  
productontwikkelplan
- **13 september**  
Quality Function Deployment
- **4 oktober**  
Risk Reward Assessment
- **1 november**  
Systeemdenken
- **29 november**  
Strategische keuzes

## Austrotec

Van 2 tot en met 4 oktober 2001 zal in Wels in Oostenrijk voor het eerst de Austrotec beurs plaatsvinden. De organisator van Austrotec is de Duitse beursorganisatie P.E. Schall. Voor de Austrotec heeft de firma Schall haar beurzen Autec, Control en Motek tot een geïntegreerd concept verder ontwikkeld. De beurs is met name bedoeld voor hen die werkzaam zijn in de branches automotive, kwaliteitscontrole en/of montage-automatisering en handlingtechnologie.

De regio Wels c.q. Oberösterreich is de meest belangrijke industriële regio in Oostenrijk. Op dit moment is dit gebied goed voor 25% van alle exportgoederen in Oostenrijk. Bovendien bereikt u vanuit hier makkelijk de Italiaanse en de Zwitserse markten alsmede de zich ontwikkelende Oosteuropese landen Slovenië, Slowakije en Hongarije.

### AAN DE ORDE KOMEN:

- 1. kwaliteitscontrole**
  - meettechniek
  - materiaalcontrole
  - analysetechniek
  - opto-electronica
- 2. montage- en handlingtechnologie**
  - montage-automatisering en handlingsystemen

- verbindingstechnologie
  - aandrijftechniek
  - meet- en regelsystemen
- 3. toelevering aan de automotive industrie**
- componenten, systemen en modules
  - software
  - monsters en prototypes
  - styling en design

### Voor meer informatie:

InterMundio BV, Postbus 63558, NL – 2502 JN Den Haag. Telefoon: 070 – 360 23 90, Fax: 070 – 360 24 74.  
E-mail: intermun@bart.nl

## Mechatronica

Afgelopen woensdag 21 februari 2001 heeft prof.dr.ir. J. van Eijck, hoogleraar Advanced Mechatronics, faculteit Ontwerp, Constructie en Productie van de Technische Universiteit Delft zijn entreeerde gehouden. De rede droeg de titel "Mechatronics, scheppend samen denken".

De naam Mechatronics is ongeveer vijftien jaar geleden geïntroduceerd om een nieuw werkterrein te beschrijven waarbij intensieve samenwerking van diverse technische disciplines in de ontwikkeling van systemen van groot belang is. Het ontstaan van deze naam geeft aan dat de samenwerking niet vanzelf tot stand komt. In de voordracht heeft Van Eijk het werkgebied kort aangeduid. Op speelse wijze heeft hij aangegeven hoe een wetenschappelijke onderbouwing van de ontwikkelingen op het gebied van samenwerken kan worden gegeven. Ook in het onderzoek en het onderwijs aan de universiteit speelt de integratie van technische disciplines een belangrijke rol. Hierbij kan, zo ziet hij de komende jaren, de ervaring opgedaan bij Philips nuttig zijn bij het aanpakken van de verschillende activiteiten. De eerste onderzoeksdoelen, magneetlagersystemen met nanometerprecisie en micro-mechatronische systemen zijn geschetst. We komen op deze rede in Mikroniek op korte termijn in een uitgebreider verslag terug.

# Lijmen in de ele

*Elektrisch geleidend lijmen wordt een steeds aantrekkelijker alternatief voor onder andere gesoldeerde verbindingen, door verdere verbetering van de eigenschappen. In dit artikel een drietal voorbeelden, waarbij belangrijke aspecten zoals duurzaamheid, miniaturisatie en snel verwerken bij lage temperaturen aan de orde komen.*

• *Nienke Bruinsma en Marjorie Sijtsma, TNO Industrie* •

## Elektrisch geleidende lijmen in zonnecellen

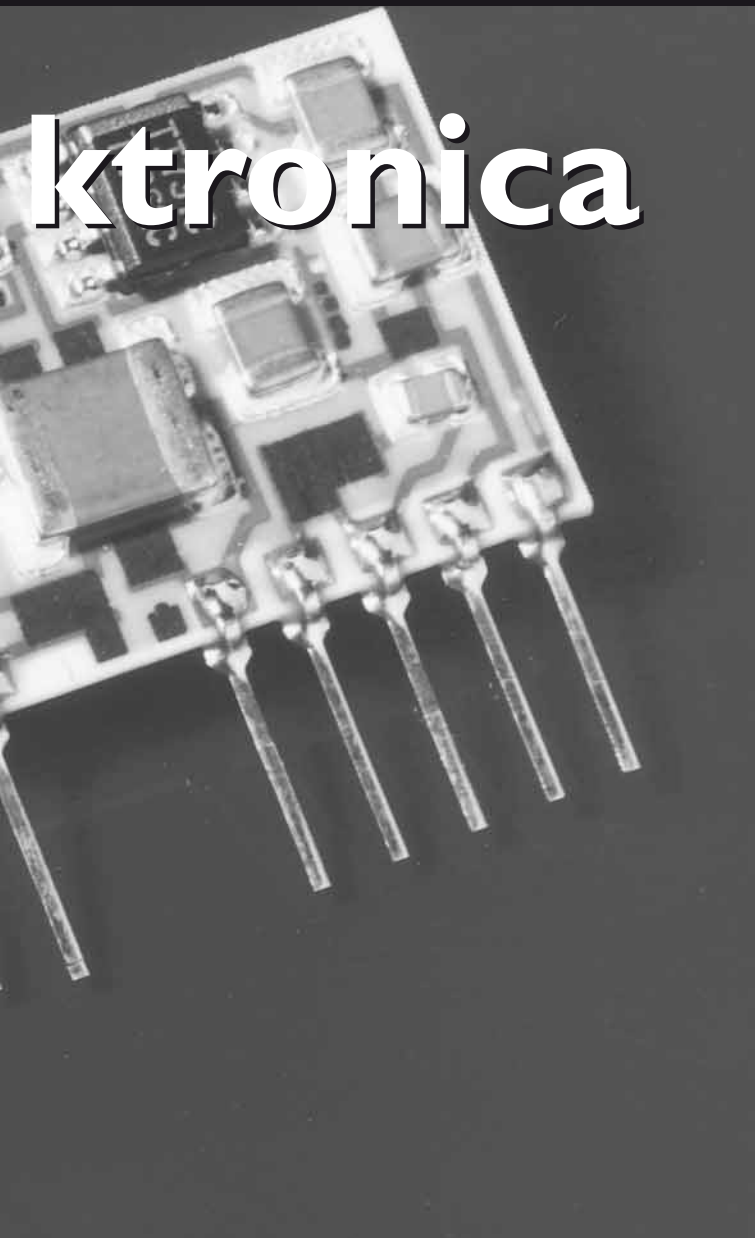
Er wordt grote vooruitgang geboekt in het ontwikkelen van elektrisch geleidende lijmen die geschikt zijn om gesoldeerde verbindingen te vervangen. De elektrische weerstand van commercieel beschikbare lijmen wordt steeds lager en de mechanische sterkte, met name de bestendigheid tegen schokbelastingen, wordt steeds beter. Een derde aspect waar veel aandacht aan wordt besteed is het voorkomen van oxidatie van de te verbinden oppervlakken, zodat ook minder edele metalen geschikt zijn om te verlijmen. Oxidatie leidt namelijk in veel gevallen tot een weerstandstoename en verkorte levensduur.

In samenwerking met Shell Solar Energy en Energie Centrum Nederland wordt door TNO momenteel onder-



Afbeelding 1. Nieuwe generatie zonnecellen.

# Elektronica



zocht of geleidend lijmen kan worden toegepast bij de assemblage van zonnepanelen. Hierbij is het aantonen van de duurzaamheid van het eindproduct een zeer belangrijk aspect.

In de nieuwe generatie zonnecellen (zie afbeelding 1) zitten alle elektrische contacten aan de achterzijde van de cel. Hierdoor wordt een kleiner deel van het silicium oppervlak aan de voorkant door sporen bedekt, wat resulteert in een hogere opbrengst van de zonnecel. Het contacteren van dit type cel door solderen is kritisch en lastig om te automatiseren. Elektrisch geleidend lijmen biedt meer vrijheid. Doordat de lijm uitgehard kan worden tegelijk met één van de volgende assemblage-stappen, wordt op kosten en doorlooptijd bespaard. Het voordeel van het niet langer toepassen van loodhoudend soldeer voor het milieu is eveneens een

belangrijke overweging voor het toepassen van lijmen. De eisen die door Shell (lees: de consument) aan zonnecellen gesteld worden zijn hoog. De cellen dienen een levensduur van meer dan 20 jaar te hebben, wat in ons klimaat betekent dat de cellen jarenlang niet alleen worden blootgesteld aan zonlicht, maar ook aan vocht en behoorlijk grote temperatuurwisselingen. Temperatuurschommelingen zorgen voor mechanische spanningen in de zonnecellen. Op een mooie zomerdag loopt de temperatuur in de cel op tot meer dan 80 °C. Vocht wordt door sommige van de toegepaste materialen opgenomen, of dringt de cel binnen langs grenslagen van verschillende materialen.

Wanneer nieuwe productieprocessen of materialen worden toegepast, eist Shell dat op overtuigende wijze wordt aangetoond dat de levensduur van de zonnecellen gewaarborgd blijft, terwijl dit uiteraard niet in de praktijk getest kan worden. Het lijmonderzoek bestaat daarom uit twee delen: enerzijds het realiseren en optimaliseren van een zonnecelconstructie en anderzijds het ontwikkelen van een versnelde levensduurtest specifiek voor gelijmde zonnecellen.

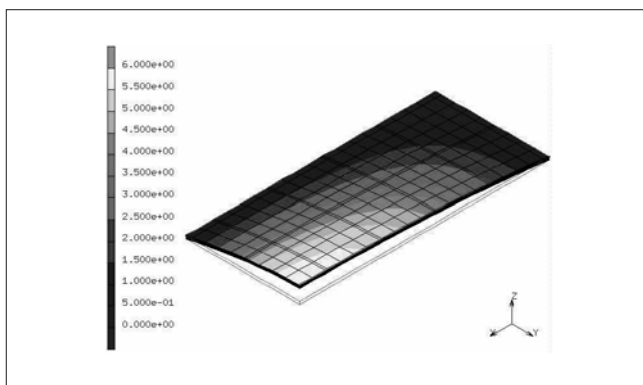
Het eerste deel van het onderzoek bestaat uit het selecteren en optimaliseren van

- het lijmtypen;
- het aanbrengproces;
- het ontwerp van de constructie;
- de toe te passen materialen;
- het uithardproces.

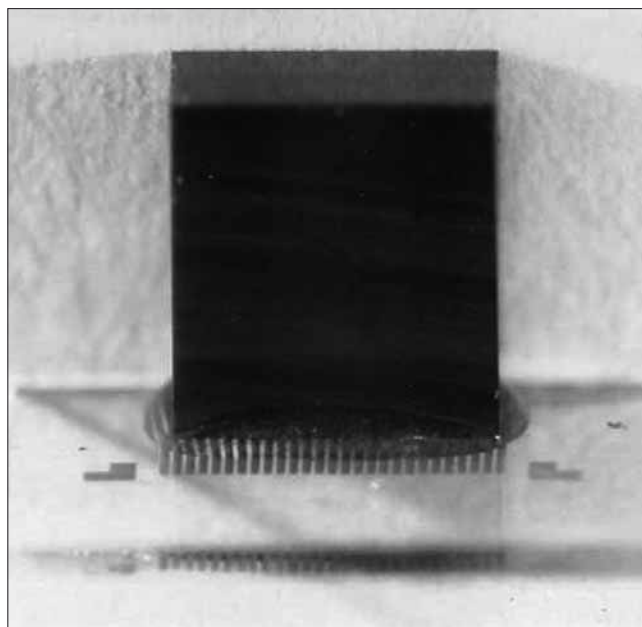
Inmiddels zijn de eerste prototype zonnecellen gereed, waarvan enkele niet onderdoen voor gesoldeerde cellen. De toegepaste lijm is een tweecomponenten epoxy die gevuld is met zilverdeeltjes, bij relatief lage temperaturen uithardt en na uitharding voldoende flexibel is.

Moelijkheid bij het levensduuronderzoek van zonnecellen is dat er weinig bruikbare betrouwbaarheidsdata beschikbaar zijn. Over gesoldeerde verbindingen zijn al gedurende meer dan 30 jaar gegevens verzameld. Over gelijmde verbindingen is veel minder bekend en omdat zonnecellen sterk afwijken van standaard elektronica componenten, wat betreft geometrie, afmetingen en toegepaste materialen, zullen er andere verouderingsprocessen optreden en ook de impact van de diverse mechanismen zal verschillend zijn. Op basis van levensduurtesten die gebruikelijk zijn in de elektronica, mogen voor zonnecellen geen uitspraken gedaan worden over de levensduur.

Om toch een levensduurtest te kunnen opstellen, is gekozen voor een Physics of Failure benadering. Eerst is een overzicht gemaakt van alle mogelijke faalmechanismen die in (elektrisch geleidende) lijmen kunnen voorkomen. Vervolgens is met behulp van een FMEA (failure mode and effect analyses) vastgesteld welke van deze faalmechanismen juist in een zonnecel een hoog risico opleveren. Op dit moment lopen diverse experimentele onderzoeken om meer inzicht te krijgen in deze faalmechanismen. Verder wordt er gewerkt aan eindige elementen modellen van thermomechanische spanningen in de cel, waarmee relatief snel het effect van wijzigingen in ontwerp of toegepaste materialen kan worden geschat.



Afbeelding 2. Eindige Elementen model van een deel van een zonnecel. De cel is aan de rand ingeklemd en op de hele cel wordt een uniforme druk uitgeoefend. Deze druk komt overeen met de druk die een module zou ondervinden als ze bedekt is met een laag sneeuw of ijs. De kleuren geven de waarden voor de verplaatsing in z-richting. De maximale verplaatsing in het midden van de module bedraagt ongeveer 6 mm. NB: De deformaties zijn vergroot weergegeven.

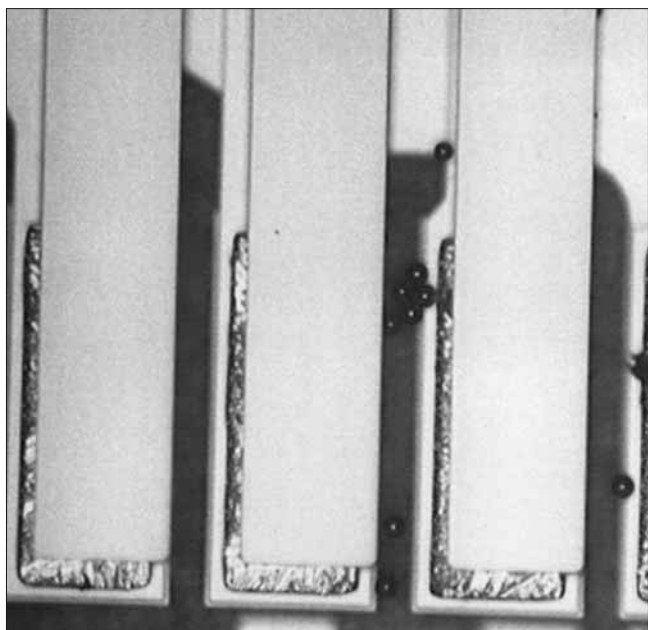


Afbeelding 3. Sensor op glas.

Door de verkregen inzichten te verwerken in modellen die gebruikt worden om levensduur te voorspellen op basis van HALT (High Accelerated Life Tests), wordt een voor zonnecellen geldende testprocedure opgesteld waaruit een goede schatting gemaakt kan worden van de levensduur.

### Zeer hoge interconnectie dichtheden met anisotroop geleidende lijm

De miniaturisatie van elektronische componenten heeft ook zo z'n consequenties voor de interconnectie van deze componenten. Met standaard soldeertechnieken en ook met het type lijm toegepast in de zonnecellen elders in dit artikel beschreven, moet de afstand tussen twee verbindingvlakken (spacing) minimaal 150 tot 200  $\mu\text{m}$  zijn. Bij kleinere spacings is de kans op kortsluiting te groot, wat resulteert in te veel uitval tijdens productie. Als ook een andere bekende techniek, namelijk draadbonden teveel ruimte in beslag neemt of anderszins niet gewenst is kan een anisotroop geleidende lijm uitkomst bieden. Dit is een lijm met elektrisch geleidende deeltjes met een lage vullingsgraad. Dit type lijm, meestal in de vorm van een film, wordt veel toegepast bij het connecteren van LCD-schermen, maar kan ook in andere componenten toegepast worden. Op



Afbeelding 4. Opname van onderzijde (door glas).

dit moment loopt er een onderzoek bij TNO naar de state-of-the-art anisotroop geleidende films en lijmen. Een viertal materialen van verschillende leveranciers worden onderling vergeleken, waarbij volgens één van bijbehorende informatiebladen een spacing van 10 µm haalbaar zou zijn.

In afbeelding 3 is een dummy magnetische sensor/actor te zien die verlijmd is op een glasplaatje met goudsporen. De spacing is in dit geval 30 µm. In afbeelding 4 is een foto te zien van de onderzijde van dezelfde component, je kijkt dus door het glas. Te zien zijn de goudsporen, enkele geleidende deeltjes (7 µm) en de contactvlakken van de sensor. Wanneer deze deeltjes in de lijm samenklonteren ontstaat kans op kortsluiting.

### **Anisotroop lijmen als snel en goedkoop proces bij de productie van smartcards**

Een smartcard is een typisch massaproduct. Er worden miljarden van gemaakt en ze kosten maar een paar dubbeltjes per stuk. Iedere mogelijkheid voor kostenbesparing zal worden doorgevoerd. De kwaliteit is in principe van ondergeschikt belang, een telefoonkaart hoeft geen tien jaar mee te gaan. Daar staat tegenover dat een smartcard zeer goed bestand moet zijn tegen mechanische belastingen. Een van de zwaarste beproe-

vingen die een smartcard moet kunnen doorstaan is dat 'ie na vijftien keer dubbelvouwen nog moet werken (probeer dit niet uit met je bankpasje, de auteurs van dit artikel zijn niet aansprakelijk te stellen voor enigerlei schade).

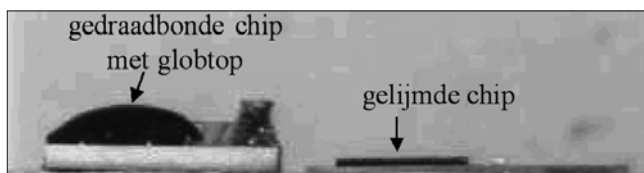
Juist voor smartcards is elektrisch geleidend lijmen een veelbelovende verbindingstechniek, niet vanwege de hoge interconnectie dichtheid die gehaald kan worden, dat is voor smartcards geen issue, maar vanwege de procestechnologische voordelen. Vergeleken met de huidige technologie – draadbonden – betekent elektrisch geleidend lijmen met een anisotrope lijm, minder processtappen, goedkopere apparatuur en een kortere doorlooptijd. De procestemperatuur van een thermische snel uithardende anisotroop geleidende film ligt doorgaans boven de 150 °C. In een Europees collectief project heeft TNO de afgelopen twee jaar de mogelijkheden onderzocht van een variant van anisotroop geleidende lijmen. Deze lijm wordt niet thermisch uitgehard. De uitharding wordt geïnitieerd door licht met golflengten van 400 nm tot 550 nm (blauw licht). De uithardsnelheid hangt af van de dosis licht. De lijm kan in enkele seconden belicht en uitgehard worden.

**Elektrisch geleidend lijmen  
betekent minder processtappen,  
goedkopere apparatuur en een  
kortere doorlooptijd**

Het is mogelijk na belichting een component in de lijm te plaatsen. Daarom kan deze lijm toegepast worden op niet transparante substraten. En door de lage procestemperaturen is deze verbindingstechnologie geschikt voor de goedkope materialen zoals papier. In bovengenoemd project hebben we deze lijm toegepast in een smartcard voor lange leesafstanden, die in het huidige ontwerp een dikte heeft van meer dan 2 mm (zie afbeelding 5 en 6). Door zowel de chipmodule, de antenne en de verpakkingstechniek aan te pas-



Afbeelding 5. Huidige ontwerp met rechtsboven de chipmodule.



Afbeelding 6. Huidige en nieuwe chipmodule.

sen, heeft de smartcard nu de afmetingen van een creditcard (0,8 mm dik).

### Europees netwerk

Het Europees Netwerk "Adhesives in Electronics", ondersteund door de Europese Commissie, heeft zich tot doel gesteld de toepassing van lijmen in de elektronica te stimuleren. Aan het Netwerk nemen 51 bedrijven, researchinstituten en universiteiten deel uit 14 Europese landen. Nederlandse deelnemers zijn TNO Industrie en Philips CFT.

Het succesvol implementeren van lijmtechnologie vereist specialistische kennis. Uit een inventarisatie bleek dat binnen Europa maar zeer beperkt cursussen worden aangeboden specifiek voor geleidend lijmen in de elektronica. Er wordt wél grote vooruitgang geboekt in ontwikkeling van materialen en equipment. Om deze

### Tweedaagse cursus 'Geleidend lijmen in de elektronica', 17 en 18 mei in Eindhoven.

Een initiatief van het Europees Netwerk 'Adhesives in Electronics' in samenwerking met TNO Industrie in Eindhoven. Bestemd voor engineers en ontwikkelaars die betrokken zijn bij het ontwerp of de productie van elektronica-producten. Na het volgen van deze cursus is de cursist op de hoogte van de theoretische en praktische kant van de meest voorkomende technieken voor elektrisch geleidend lijmen. Het theoretische gedeelte van de cursus, met daarin ook praktijkvoorbeelden, wordt verzorgd door enkele gerenommeerde deelnemers uit het Netwerk. Het praktijkdeel (50 % van de tijd) wordt gegeven in groepen van maximaal 8 deelnemers, met als onderwerpen isotroop geleidend lijmen, anisotroop geleidend lijmen en oppervlakte voorbehandeling.

Meer informatie over de cursus: mw. N.A. Bruinsma, tel.: 040 2650336, n.bruinsma@ind.tno.nl. Informatie over het Europees Netwerk: [www.adhesives.de](http://www.adhesives.de)

kennis voor het bedrijfsleven toegankelijker te maken, heeft de werkgroep 'Education' van het Netwerk een Europese cursus ontwikkeld. De 2<sup>e</sup> editie van deze cursus zal plaatsvinden op 17 en 18 mei bij TNO Industrie in Eindhoven (zie kader).

## LET OP! REDACTIEADRES IS GEWIJZIGD

Twin Design bv, Postbus 317,  
4100 AH Culemborg,  
Telefoon: 0345-519525,  
Fax: 0345-513480,  
E-mail: [mikroniek@twindesign.nl](mailto:mikroniek@twindesign.nl)

## Snel systeem



De nieuwe Maxum™ is 50% sneller dan voorgaande Stratasys machines.

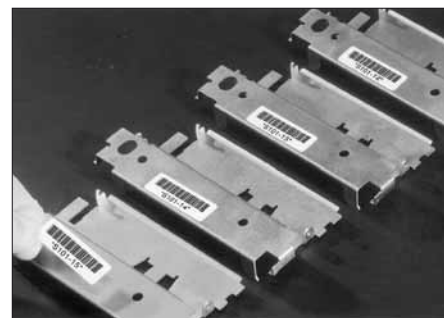
Het Amerikaanse Stratasys heeft onlangs haar snelste Rapid Prototyping systeem geïntroduceerd, de FDM Maxum. Het nieuwe systeem werkt tenminste 50% sneller dan alle voorgaande systemen van Stratasys, waardoor fabrikanten hun producten nog sneller op de markt kunnen brengen. De FDM Maxum wordt standaard geleverd met WaterWorks – hiermee lossen de benodigde ondersteuningsstructuren op in water.

Het maximale bouwvolume van de FDM Maxum van 600x500x600 mm is een van de grootste in de industrie.

De meegeleverde Insight voorbereidingssoftware is een eenvoudig te bedienen en tegelijkertijd krachtig stuk gereedschap om modellen te kunnen bouwen en de bouwvolgorde te beheren. Insight biedt de keuze om via e-mail of pieper geïnformeerd te worden wanneer een model gereed is. Heel efficiënt is de mogelijkheid om meerdere modellen te nesten, zodat ze tegelijkertijd opgebouwd worden. Op het werkstation is gedetailleerde informatie beschikbaar over de status van het systeem en het model. In een bestand worden de bouw tijden en het materiaalverbruik weggeschreven. Deze informatie kan vervolgens gebruikt worden voor bijvoorbeeld facturatie of interne kostenverrekening.

## Makkelijk hechten op moeilijke oppervlakken

BRADY'S Identification Solutions & Speciality Tapes (ISST)-afdeling introduceert de Mondo Bondo™ thermische transfer (THT) labels en speelt zo in op de stijgende vraag naar sterk hechtende labels voor on-demand industriële toepassingen.



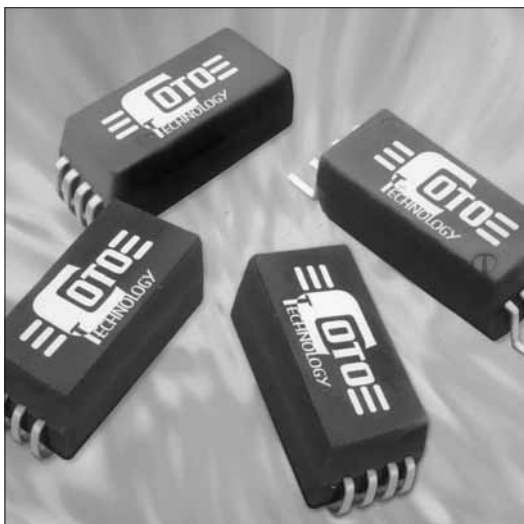
Esthetische overwegingen en veeleisende industriële toepassingen resulteren vaak in machines en toestellen vervaardigd uit materialen met een zeer specifieke structuur. Op dergelijke oppervlakken kunnen labels niet altijd doeltreffend vastgekleefd worden, vandaar de nood aan sterkere, flexibele labelmaterialen", aldus Mieke van Parys, BRADY Europe's Product Manager Consumables.

Mondo Bondo labels bestaan uit een glanzend witte polyesterlaag met een permanente rubberen kleeflaag en een bovenlaag speciaal afgestemd op THT-printen – een duurzame printmethode die steeds vaker in de industrie wordt gebruikt.

BRADY'S nieuwe labels werden ontwikkeld in functie van een sterke hechting aan gestructureerde metalen en kunststoffen met een lage oppervlakteweerstand; karakteristieken eigen aan tal van gepoedercoate industriële producten zoals stalen gereedschappen, computerhardware, onderhoudsgereedschap, motoren en metalen frames voor elektronische uitrustingen. De labels kunnen ook worden gebruikt ter vervanging van geklonken aluminium typeplaatjes. Mondo Bondo labels leveren hechtwaarden van meer dan 150 ons/inch op een gepoedercoate ondergrond. Ter vergelijking: de gemiddelde hechtwaarden voor on-demand gedrukte labels bedraagt om en bij de 50 ons/inch. "Voorgedrukte producten met een hogere hechtwaarde dan die van de Mondo Bondo labels zijn verkrijgbaar, maar bieden echter niet de flexibiliteit en rendabiliteit van on-demand printen", aldus nog Van Parys. Met Mondo Bondo labels kan de gebruiker de labellay-out eenvoudig met zijn eigen softwareprogramma aanpassen.

BRADY zal het Mondo Bondo-gamma nog uitbreiden met uitvoeringen in mat wit en mat gemetalliseerd polyester en witte polyolefin materialen.

## SMD-relais



Het door Coto Technology uitgebracht SMD-relais 9800 maakt gebruik van een soldeer en soldeer pasta met een hogere smelttemperatuur voor haar interne verbindingen. Dit zeer kleine miniatuurrelais is daarmee geschikt voor reflow-temperaturen van 260 °C. Deze verbetering aan het product komt tegemoet aan de wens om de reflow-temperatuur zo hoog mogelijk te maken waardoor de integriteit van de verbindingen beter worden gewaarborgd.

# Reinigen tot op de

*Door de toenemende miniaturisering, worden de eisen aan producten en materialen steeds hoger. De reinheid van materialen en componenten wordt hierdoor steeds belangrijker. Niet voldoende schoon betekent daarmee al snel: onbruikbaar. Reinigingstechnologie wordt dan ook steeds meer gezien als een essentiële industriële discipline. De inmiddels gangbare naam voor deze discipline is "precision cleaning". De medewerkers van TNO Reinigingstechnologie werken samen met bedrijven aan het voorkomen en verwijderen van contaminaties.*

**A**an de hand van enkele voorbeelden zal in dit artikel het belang van precision cleaning worden geïllustreerd. De NVPT heeft de intentie om op 29 mei van 15:00 uur tot 18:00 uur te Delft een bijeenkomst te organiseren, met precision cleaning als onderwerp. Tijdens deze bijeenkomst zal nader worden ingegaan op de reinigingsproblematiek zoals die bij de NVPT-leden speelt. Het is de bedoeling dat daarbij mogelijke oplossingsrichtingen worden aangegeven, die vervolgens bijvoorbeeld in onderzoeksprojecten kunnen worden uitgewerkt. Binnenkort zult u een uitnodiging voor deze bijeenkomst ontvangen. Om het programma zo goed mogelijk aan te laten sluiten op uw behoeftes, zouden wij het bijzonder op prijs stellen als u ons uw wensen of vragen van tevoren kenbaar maakt. U kunt daarvoor telefonisch contact opnemen met Ton Bastein (015-2696987) of Pieter de Bock (015-2696976). U kunt ons ook e-mailen: p.debock@ind.tno.nl.

## **CO<sub>2</sub>: de ultieme reinigingsvloeistof?**

Vrijwel in elk productieproces vinden reinigingsstappen plaats. Door te reinigen worden contaminaties zoals koel-

vloeistoffen, smeermiddelen en deeltjes verwijderd. Traditioneel werden bij deze reiniging organische oplosmiddelen als tri en per ingezet. Onder druk van de milieueisen, wordt al jaren gewerkt aan de vervanging van deze middelen. Waterige systemen vormen daarbij een alternatief, dat echter zeker niet in alle gevallen kan worden toegepast door onder andere droog- en corrosieproblemen. In die gevallen zijn er mogelijkheden om vloeibaar of superkritisch CO<sub>2</sub> in te zetten.

CO<sub>2</sub> als reinigingsmiddel heeft een groot aantal voordelen ten opzichte van de bestaande organische oplosmiddelen:

- CO<sub>2</sub> is zeer milieuvriendelijk;





# vierkante nanometer



- CO<sub>2</sub> verdampt vrijwel direct, waardoor geen droogstap meer nodig is;
- vloeibare CO<sub>2</sub> heeft een zeer lage viscositeit en kan dus makkelijk doordringen in moeilijk toegankelijke plaatsen (gaatjes en kanaaltjes);
- CO<sub>2</sub> geeft geen corrosieproblemen.

De microsysteemtechnologie is één van de huidige toepassingsgebieden van vloeibaar CO<sub>2</sub>. Vooral de lage viscositeit maakt CO<sub>2</sub> zeer geschikt voor deze toepassing, waar kleine dimensies en hoge reinheidseisen een rol spelen. In diverse andere Nederlandse en Europese projecten is men tegen-

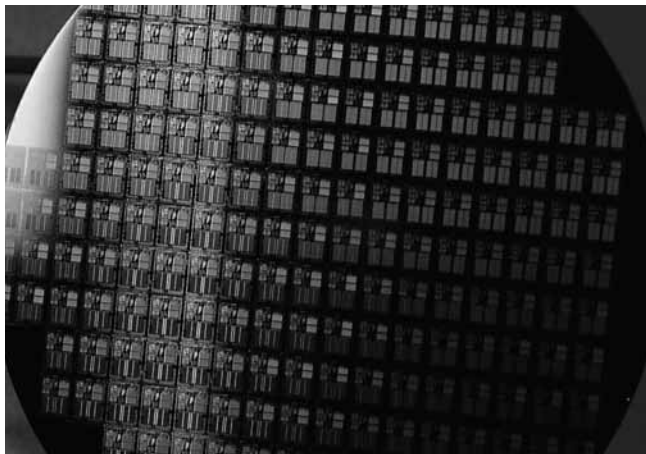
woordig bezig de toepassingsmogelijkheden verder te vergroten. Onderzoeksprojecten in de elektronica en de halfgeleiderindustrie zijn hier voorbeelden van.

## **Airborne Molecular Contamination: een nieuwe bedreiging!**

De 'reinheid' van cleanrooms wordt uitgedrukt in het aantal stofdeeltjes per volume-eenheid. Steeds meer vinden in cleanrooms echter productieprocessen plaats, die gevoelig blijken te zijn voor moleculaire verontreinigingen die zich in de lucht bevinden. Deze zogenaamde Airborne Molecular Contaminants (AMC's) kunnen bijvoorbeeld afkomstig zijn van in de cleanroom gebruikte oplosmiddelen zoals toluen, IPA en aceton. Daarnaast kunnen ook veel andere materialen in de cleanroom door uitgassen AMC's veroorzaken. De industriële gebieden waarvan bekend is dat deze problematiek op dit moment speelt, zijn: optica, aerospace, lithografie, flat panel displays, harddisk drives en de semiconductorindustrie.

Op dit moment is TNO Reinigingstechnologie bezig met een AMC-onderzoek voor de waferstepper-producent ASML. De reden voor dit onderzoek is, dat bij de ontwikkeling van de nieuwe generatie wafersteppers, organische contaminaties afkomstig uit de omgevingslucht ineens een groot probleem blijken te vormen: ze absorberen de straling waarmee de chips moeten worden belicht. In het TNO-onderzoek wordt onder andere onderzocht hoe deze AMC's moeten worden verwijderd, welke moleculaire concentraties nog acceptabel zijn en op welke wijze de moleculen zich aan de waferstepper-onderdelen hechten (ad- en desorptiegedrag). Ook het ontwikkelen van meetmethoden om de reinheid van het oppervlak vast te stellen, maakt deel uit van het onderzoeksproject.

Een van de resultaten van het onderzoek is dat het bestralen van het oppervlak met DUV-licht in aanwezigheid van zuurstof (het zogenaamde UV/ozon-reinigen) een mogelijke oplossing kan bieden. Deze optie dient echter nog wel uitgebreid te worden getest.



### 30nm-deeltjes: grenzen van de precisietechnologie

In de "Technology Roadmap for Semiconductors" wordt aangegeven dat het probleem van 'fatal defects' als gevolg van deeltjescontaminatie de komende jaren drastisch zal toenemen. Deeltjes van 30 nm zullen zowel desastreuze gevolgen hebben voor de wafer- als de diskdrive-industrie. Bij de diskdrive-industrie is dit bijvoorbeeld gekoppeld aan de steeds kleiner wordende fly height van de uitleeskop. Met de huidige technologie kunnen deze 30nm-deeltjes niet worden verwijderd. TNO onderzoekt dan ook de mogelijkheden van innovatieve niet-abrasieve spuittechnieken zoals CO<sub>2</sub>-sneeuw en 'microcluster shower cleaning'. Bij deze laatste techniek wordt als gevolg van een hoge elektrische spanning vloeistof uit een capillair getrokken, die vervolgens opbreekt en als zeer klein druppeltjes met hoge snelheid op het te reinigen oppervlak afschiet. Met deze laatste techniek zouden in principe deeltjes tot zelfs 10 nm verwijderd kunnen worden, zonder dat er materiaalbeschadiging optreedt. Een unieke reinigingstechnologie dus, waarmee TNO nu reeds inspeelt op de toekomstige behoeften.

### Nieuwe beoordelingstechnieken

Met het hoger worden van de reinheidseisen, wordt ook de beoordeling van het eindresultaat van de reiniging steeds belangrijker. Op dit moment is reeds een groot aantal zeer simpele technieken voorhanden zoals brekende waterfilm, tape-test en visuele beoordeling. Deze hebben als nadeel hun grote onnauwkeurigheid en niet-kwalitatieve resultaten. Ook zijn er zeer 'sophisticated' beoordelingsmethoden beschikbaar zoals Auger-spectroscopie, XPS en ToF-SIMS, die ech-

### PRECISION CLEANING

De NVPT organiseert op 29 mei a.s. een bijeenkomst over precision cleaning. De bijeenkomst zal van 15.00 tot 18.00 uur te Delft plaatsvinden. De uitnodiging zult u binnenkort ontvangen. Voor vragen over en suggesties voor de bijeenkomst, kunt u contact opnemen met Ton Basteins (015-2696987) of Pieter de Bock (015-2696976). E-mailen kan ook: [p.debock@ind.tno.nl](mailto:p.debock@ind.tno.nl)

ter zeer duur zijn en veel tijd vergen. Er is dan ook een grote behoefte aan on-line meetmethoden, die zowel kwantitatieve als kwalitatieve informatie over de contaminatie geven. Twee voorbeelden van recente ontwikkelingen daarin zijn het nu commercieel beschikbare OSEE-apparaat en de draagbare 'grazing-angle-incidence' FTIR-apparatuur. Bij de OSEE-techniek worden elektronen door krachtige UV-straling uit het te meten oppervlak aangeslagen, waarna een meetkop de energie van die elektronen meet. Ten opzichte van het signaal van een zuiver oppervlak, geeft de afname van het signaal een maat voor de hoeveelheid oppervlaktecontaminatie. Deze techniek is onlangs ook door de NASA toegepast als verificatietechniek, maar geeft slechts kwantitatieve informatie over de contaminatie. De mede door Sandia National Laboratory ontwikkelde FTIR-apparatuur geeft daarnaast ook nog kwalitatieve informatie over de contaminatie, maar is ook dienovereenkomstig duurder. TNO is momenteel bezig deze technieken ook in Nederland te introduceren.

### Bundeling van krachten

Bovenstaande toont aan dat er een groot aantal ontwikkelingen op reinigingstechnologisch gebied plaatsvindt, zowel op het gebied van het reinigen zelf als op het gebied van beoordelingstechnieken. Deze ontwikkelingen zullen met name een rol spelen bij bedrijven die precisietechnologie in hun productieproces toepassen. Het op een juiste wijze koppelen van de (toekomstige) behoeftes bij bedrijven en de expertise en ervaring van TNO Reinigingstechnologie, lijkt dan ook van grote betekenis voor het behouden van de innovatieve slagkracht van de high-tech industrie in Nederland. De genoemde bijeenkomst kan hier een belangrijke stap in zijn.

Dr. Ton Bastein, drs. ir. Pieter de Bock  
TNO Reinigingstechnologie, 20 maart 2001