

TOEKOMSTBEELD DER TECHNIEK

43

NIEUWE TOEPASSINGEN VAN MATERIALEN

Redactie: ir. A. J. van Griethuysen



SAMSOM

NIEUWE TOEPASSINGEN VAN MATERIALEN

NIEUWE TOEPASSINGEN VAN MATERIALEN

Redactie: A. A. van Goythooven

storing
toekomst
de techniek



De redactie van Nieuwe Toepassingen van Materialen is verantwoordelijk voor de inhoud van de afzonderlijke artikelen. De redactie aanvaardt geen aansprakelijkheid voor schade van welke aard ook voortvloeiende uit het gebruik van de afgeleverde artikelen.

De redactie aanvaardt geen aansprakelijkheid voor schade van welke aard ook voortvloeiende uit het gebruik van de afgeleverde artikelen. De redactie aanvaardt geen aansprakelijkheid voor schade van welke aard ook voortvloeiende uit het gebruik van de afgeleverde artikelen.

De redactie aanvaardt geen aansprakelijkheid voor schade van welke aard ook voortvloeiende uit het gebruik van de afgeleverde artikelen. De redactie aanvaardt geen aansprakelijkheid voor schade van welke aard ook voortvloeiende uit het gebruik van de afgeleverde artikelen.

De redactie aanvaardt geen aansprakelijkheid voor schade van welke aard ook voortvloeiende uit het gebruik van de afgeleverde artikelen. De redactie aanvaardt geen aansprakelijkheid voor schade van welke aard ook voortvloeiende uit het gebruik van de afgeleverde artikelen.



stichting
toekomstbeeld
der techniek

De Stichting Toekomstbeeld der Techniek (STT), in 1968 opgericht door het Koninklijk Instituut van Ingenieurs, heeft als doel:

- het van de ingenieurswetenschappen uit bestuderen van mogelijke toekomstige technische ontwikkelingen, in samenhang met andere maatschappelijke ontwikkelingen
- het op ruime schaal bekend maken van de resultaten van die studies om daarmee bij te dragen tot het verkrijgen van een meer integraal beeld van de toekomstige Nederlandse samenleving.

STT richt zich daarbij tot het bedrijfsleven, de overheden, het onderwijs en – uiteraard – de geïnteresseerde staatsburger.

Het adres van STT is Prinsessegracht 23, Postbus 30424, 2500 GK 's-Gravenhage, telefoon (070) 91 99 00.

Inhoud

NIEUWE TOEPASSINGEN VAN MATERIALEN

redactie: ir. A. J. van Griethuysen

1986

Samsom Alphen aan den Rijn/Brussel

Omslagontwerp: Rob Eckhardt

CIP

© MCMLXXXVI Stichting Toekomstbeeld der Techniek, 's-Gravenhage
D/MCMLXXXVI/227 ISBN 90 14 03738 4

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

No part of this work may be reproduced in any form by print, photoprint, microfilm or any other means without written permission from the publisher.

Voor reproductie(s) zoals bedoeld in art. 16b en 17 van de Auteurswet 1912 (ten bate van eigen oefening, studie enz. en/of ten bate van organisaties, instellingen enz.) van een of meer pagina's is een vergoeding verschuldigd. Voor inlichtingen betreffende de hoogte en afdracht van de vergoeding kan men zich wenden tot de Stichting Reprorecht te Amstelveen.

Inhoud

Inleiding	7
Doel	7
Opbouw van de publikatie	8
1. Nieuwe toepassingen van materialen	9
1.1 Inleiding	9
1.2 Het belang van materialen	9
1.3 De Verenigde Staten, Japan en West-Europa	13
1.4 De rol van materialen in het produktontwerp	15
1.5 De rol van normalisatie	24
1.6 Kwaliteitsborging	27
1.7 Milieu-aspecten bij materiaalgebruik	35
1.8 Onderwijs	39
2. De keuze nader bezien	41
2.1 Twee onderzoeken	41
2.2 Beïnvloeding van de materiaalkeuze	43
2.3 Gegevens van materialen	44
2.4 Nationale gegevensbank voor materialen	54
3. Praktijkvoorbeelden van nieuwe toepassingen	57
3.1 Vleugel-rompvloestukken voor vliegtuigen	58
3.2 Huidpanelen voor de Ariane 4 lanceerraket	60
3.3 Antennes voor satellieten	62
3.4 Pantserplaat voor geschutskoepels	64
3.5 Lichtgewicht beenbeugel	64
3.6 Rolstoel	66
3.7 Holle-vezel nierdialysator	67
3.8 Optisch uitleesbare plaatsystemen	69
3.9 Glasvezels voor communicatie	71
3.10 Glasvezelsensoren	72
3.11 Kunststof autobumper	74
3.12 Keramisch uitlaatspruitstuk	76
3.13 Aandrijfriem voor variabele transmissie	78
3.14 Kunststof vliegwiel	79
3.15 Composiet tennisracket	80
3.16 Watersportkleding	81

3.17	Aluminiumprofielen in de jachtbouw	82
3.18	Kwartshorloges	84
3.19	Mengkraan	85
3.20	Kunststof keukenspoelbak	86
3.21	Gerubberiseerde natuurvezels	89
3.22	Geotextiel, folie in weg- en waterbouw	90
3.23	Vormgeheugenmetaal voor pijpverbindingen	92
3.24	Sandwichpanelen voor de bouw	94
3.25	Rioolputten van kunststof	95
4.	Materialen	98
4.1	Metalen en metaalverwerkende technieken	98
4.2	Kunststoffen en rubbers	106
4.3	Keramische materialen	111
4.4	Composieten	116
4.5	Sterke vezels	120
4.6	Gezaagd hout	127
4.7	Nieuwe toepassingen van glas	133
4.8	Technische membraanprocessen	138
4.9	Oppervlaktemodificatie-technieken	143
Bijlage I.	Overzicht van gegevensbanken	148
Bijlage II.	Adressen	152
Organisatie van de studie		155
Literatuur		159
STT-publikaties		165

Inleiding

Doel

Veel doorbraken in de industrie konden pas plaatsvinden door de nieuwe mogelijkheden die materialen bieden. Er wordt wel gesproken van een stille revolutie op dit gebied, die een grote invloed kan hebben op de industrie.

Materialen worden steeds verbeterd: lichter, sterker, stijver, beter bestand tegen corrosie, beter bestand tegen hoge temperaturen en eenvoudiger en goedkoper te verwerken.

Belangrijke drijfveren achter deze ontwikkelingen zijn de concurrentie en het streven naar continuïteit, de kwaliteitsbeheersing, de steeds hogere prestatie-eisen, de energie- en grondstoffenprijzen en de milieuproblematiek.

'Nieuwe materialen' genieten een brede belangstelling. Een materiaal staat echter niet op zichzelf. Volgens de meeste definities kan men zelfs pas van een materiaal spreken wanneer het wordt toegepast in een produkt.

Het is vanuit deze achtergrond dat de studie 'Nieuwe toepassingen van materialen' is opgezet. Daarbij slaat 'nieuwe' dus nadrukkelijk op toepassingen. Het gaat in deze studie dan ook veel meer om de ongewone en nieuwe combinaties van materiaal en produkt. Daarbij doet het er weinig toe of één van beide elementen, of zelfs beide al langer bestaan.

Het doel van deze studie is:

- inzicht geven in de mogelijkheden die materialen bieden en in de wijze waarop nieuwe toepassingen tot stand kunnen komen; zij richt zich daarbij op het produktontwerp en materiaalkeuze, in samenhang met een geïntegreerde aanpak van functie, ontwerp, verwerking en produktie
- een overzicht geven van de huidige ontwikkelingen op materiaalgebied zoals die wereldwijd plaatsvinden
- de trend aangeven in de ontwikkelingen van gebruik en toepassing van een aantal materialen.

De studie beoogt vooral een praktische handleiding te bieden aan de

gebruiker van materialen, de constructeur en ontwerper in de industrie, de materialenonderzoeker, de beleidsmaker, de adviseur, de materiaalproducent en voorts ieder ander die de uitgebreide toepassingsmogelijkheden van materialen wil uitbuiten.

Gezien de enorme omvang van het vakgebied, is de studie beperkt tot de toepassingen van materialen op mechanisch-constructief gebied. Ontwikkelingen op de gebieden van halfgeleidertechniek, brandstoffen en medicamenten worden dus buiten beschouwing gelaten.

Opbouw van de publikatie

In het eerste hoofdstuk wordt een aantal elementen beschreven die van belang zijn bij nieuwe toepassingen van materialen. De nadruk ligt daar op de rol die materialen spelen in het produktontwerp. In dit hoofdstuk wordt de basis gelegd voor de behandeling van de praktijkvoorbeelden in hoofdstuk 3.

In het ontwerpproces komt de ontwerper of constructeur diverse keuzemomenten tegen, waarop hij moet beslissen welk materiaal of welke materiaalsoort hij zal gaan toepassen. De verspreiding van de beschikbare kennis over materialen blijkt niet optimaal te zijn en ook voor de gebruiker is het vaak moeilijk zijn weg te vinden in het grote aanbod aan informatie.

In hoofdstuk 2 wordt deze materiaalkeuze nader behandeld en wordt aangegeven op welke manier en met welke middelen de optimale keuze tot stand kan komen.

In hoofdstuk 3 worden 25 praktijkvoorbeelden van nieuwe toepassingen beschreven. Bij al deze voorbeelden heeft de nieuwe toepassing van één of meer materialen een essentiële rol gespeeld in de ontwikkeling van een produkt. Aangezien 'toepassing' per definitie gericht is op de praktijk, is op deze manier getracht zo goed mogelijk vorm te geven aan de achtergronden uit hoofdstuk 1 en 2.

In hoofdstuk 4 worden tenslotte de stand van zaken en ontwikkelings-tendensen beschreven van de belangrijkste materiaalgroepen. Dit hoofdstuk bevat tevens veel praktische verwijzingen en referenties voor (potentiële) gebruikers van materialen.

In de tekst zijn zowel literatuurverwijzingen als verwijzingen naar adressen van instituten e.d. opgenomen. Literatuurverwijzingen bestaan uit een cijfer tussen rechte haken: [1], [2] enz. Verwijzingen naar adressen vinden plaats met een letter, ook tussen rechte haken: [a], [b] enz. Deze adressen zijn te vinden in bijlage II.

Aan het eind van de publikatie is de organisatie van de studie beschreven. Daar worden de vele deskundigen genoemd die geheel belangeloos hun medewerking hebben verleend aan de studie en de neerslag daarvan in deze publikatie.

1. Nieuwe toepassingen van materialen

1.1 Inleiding

Voor een studie over materialen is het wenselijk deze in hun volledige kringloop te bezien, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen een kring van grondstoffen en een kring van materialen (afb. 1.1).

De grondstoffenkring is reeds uitgebreid aan de orde gekomen in de STT-publikatie nr. 22, 'Materialen voor onze samenleving' [2].

De voor u liggende studie houdt zich bezig met de materialenkring, met de nadruk op de nieuwe toepassingsmogelijkheden van materialen, in het bijzonder de toepassingen op mechanisch-constructief gebied.

In dit hoofdstuk wordt eerst kort ingegaan op het belang van materialen in het algemeen (1.2) en in het bijzonder op de situatie in de westerse industrielanden (1.3). Daarna volgt een fundamentele beschouwing over de rol die materialen spelen in het produktontwerp, vooral in de samenhang materiaal-fabricage-ontwerp met als centrale factor de markt (1.4).

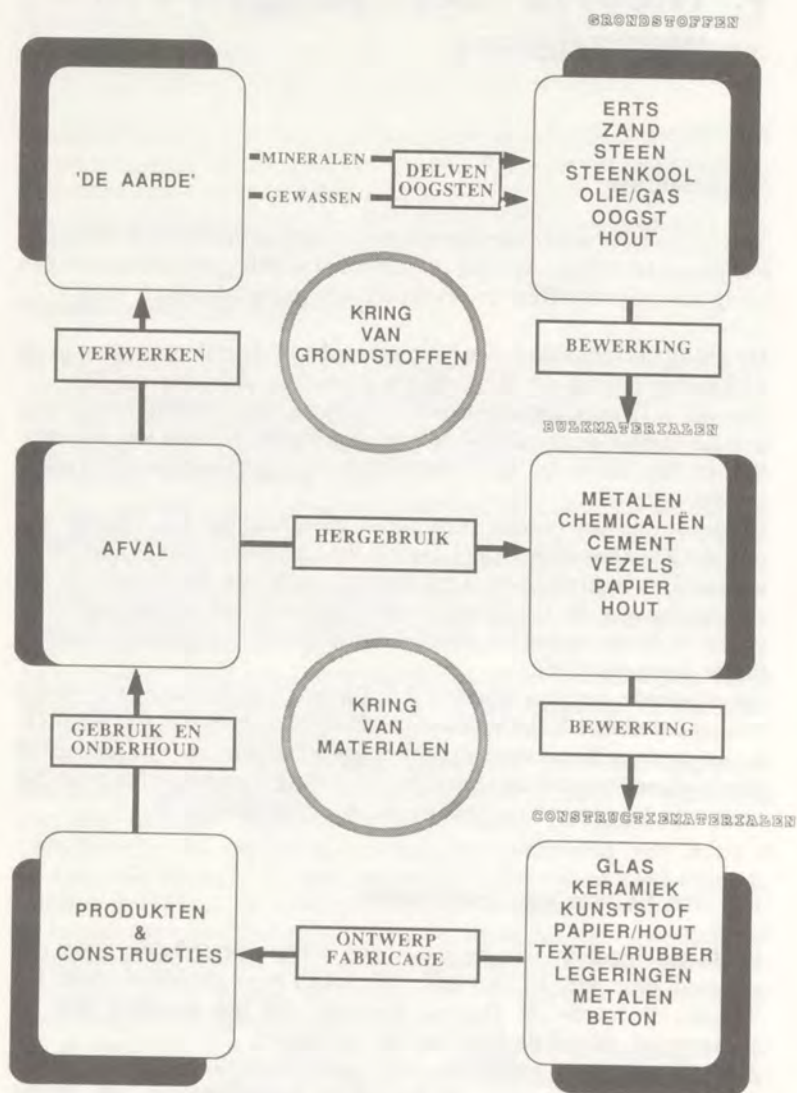
Als afgeleide daarvan wordt in 1.5, 1.6 en 1.7 nader ingegaan op het belang dat normalisatie en kwaliteitsborging spelen bij materiaalkeuze, en op de milieu-aspecten bij het materiaalgebruik. Dit hoofdstuk wordt afgesloten met een korte beschouwing over het belang van het onderwijs bij nieuwe toepassingen van materialen (1.8).

1.2 Het belang van materialen

In de geschiedenis van de mensheid hebben materialen altijd een grote rol gespeeld. Er zijn zelfs tijdperken naar genoemd, zoals het Stenen-, Bronzen- en IJzeren Tijdperk. Op het ogenblik zijn op constructief gebied de kunststoffen dominant.

Zoals later in deze publikatie ook naar voren zal komen, is er een duidelijke relatie tussen de gebruikte materialen en het proces waarmee deze materialen tot een produkt worden verwerkt. Vooral in deze eeuw zijn het materiaalgebruik en de ontwikkeling van verwerkingsprocessen in een stroomversnelling terecht gekomen.

Stond ons in het stenen tijdperk alleen het met de hand bewerken van zuivere natuurproducten ter beschikking, tegenwoordig zijn er fysi-



Afb. 1.1 De grondstoffen- en materialenkring [1]

sche, chemische en zelfs biologische processen om de meest uiteenlopende handelingen te verrichten met een bijna niet meer te overzien aantal materialen.

Zoals uit afb. 1.2 blijkt, vond in het verleden de opeenvolging van omwentelingen in een relatief rustig tempo plaats.

TIJDPERK	PROCES		MATERIAAL	GRONDSTOF
	SOORT	HANDELING		
xxxx vC (STEEN)	HANDWERK	bewerken	hout, steen, been, leer, wol	zuivere natuur- produkten
		verwerken	katoenvezels houtvezels	
8000 vC (BRONS)	FYSISCH	bakken	klei	+
4000 vC		smelten	koper zand (glas)	
1200 vC (IJZER)	CHEMISCH & FYSISCH	reduceren	ijzer kalk (cement)	+
1900 nC		polymeriseren sinteren combineren manipuleren	latex (rubber) kunststof keramiek composiet bio-polymeer	
2000 nC	BIOLOGISCH & CHEMISCH & FYSISCH			

Afb. 1.2 Tijdperken, bewerkingsprocessen en materialen.

In de laatste halve eeuw echter zijn aantal en omvang van de vernieuwingen snel toegenomen.

De invloed daarvan reikt ver en vraagt op veel gebieden van wetenschap en techniek een geheel nieuwe aanpak, zoals een nieuwe benadering van structuur en eigenschappen van materialen, een nieuwe wisselwerking tussen wetenschappelijk onderzoek en techni-

sche ontwikkeling en een nieuwe koppeling tussen wetenschappelijke inspanning en maatschappelijke behoeften.

Van de jaren zeventig af is er een groeiende aandacht voor deze ontwikkelingen en worden 'materialen' steeds meer erkend als een wezenlijk onderdeel van onze moderne industriële samenleving.

Een belangrijke studie op dit gebied is begin jaren zeventig verricht door de 'National Academy of Sciences' in de Verenigde Staten. Dat heeft in 1974 geresulteerd in het rapport 'Materials and Man's Needs', het zogenaamde COSMAT rapport [1].

Van de 24 aanbevelingen uit dit rapport worden genoemd:

- er moet een sluitend materialenbeleid komen in relatie tot energie en milieu
- ondersteuning voor 'materials science' en 'materials engineering'
- versterkt beheer van informatie over materialen
- maatregelen om mogelijkheden tot vervanging en hergebruik van materialen te gebruiken
- een bredere aandacht voor de internationale materiaalaspecten.

In Nederland verscheen in 1976 de eerder genoemde STT-studie [2] waarin veel aandacht werd besteed aan de grondstofproblematiek en de materialenhuishouding.

De laatste jaren is er bij de overheid, in Nederland en in de ons omringende landen, ook meer aandacht ontstaan.

In 1983 verscheen de 'Discussienota Materialenonderzoek' van het Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen [3] en als resultaat daarvan verscheen in 1986 de 'Nota Materialenbeleid' van hetzelfde ministerie samen met het Ministerie van Economische Zaken [4].

Het is verheugend te constateren dat daarmee de aandacht van de overheid zich van het onderzoek heeft uitgebreid naar de marktsector en er aldus gestreefd wordt naar een integrale aanpak van het materialenbeleid.

In Engeland verscheen in 1985 het 'Report of the Collyear Committee' [5], waarin zeer concreet is aangegeven hoe de concurrentiepositie van de Engelse industrie kan worden versterkt door bredere toepassing van nieuwe en verbeterde materialen en processen.

Op Europese schaal zijn er inmiddels de programma's BRITE (Basic Research in Industrial Technologies for Europe) en EURAM (European Research on Advanced Materials), waarmee de internationale samenwerking op materiaalgebied wordt gestimuleerd.

1.3. De Verenigde Staten, Japan en West-Europa

Het Amerikaanse onderzoekinstituut Battelle heeft begin 1985 een rapport uitgebracht over innovatieve materialen in Europa, Japan en de Verenigde Staten en geeft daarmee een inzicht in de tendens in materiaal-ontwikkelingen in de westerse wereld [6].

In dat rapport worden 118 materialen beschreven die sinds ongeveer 1978 commercieel verkrijgbaar zijn of waarvan wordt verwacht dat ze voor ongeveer 1988 commercieel verkrijgbaar zullen zijn. De gedachte daarachter is dat de commerciële haalbaarheid van een materiaal het beste bewijs is van een geslaagde ontwikkeling.

In tabel 1.1 zijn de belangrijkste verwachtingen weergegeven voor de omzet van metalen, polymeren, anorganische materialen (keramiek en glas) en overige materialen (voornamelijk hout) voor de jaren 1990 en 2000.

Tabel 1.1 Huidige en verwachte omzet van materialen in de VS, in miljarden dollars [6].

	1970	1980	1990	2000
metalen	120 (49%)	132 (46%)	135 (41%)	141 (38%)
polymeren	36 (15%)	53 (19%)	76 (23%)	96 (26%)
anorganische materialen (keramiek, glas)	38 (16%)	45 (16%)	53 (16%)	63 (17%)
overig (voornamelijk hout)	49 (20%)	55 (19%)	66 (20%)	70 (19%)

Er wordt dus duidelijk verwacht dat het gebruik van polymeren zal blijven toenemen ten koste van de metalen.

De Verenigde Staten

In de Verenigde Staten wordt meer overheidsgeld besteed aan materiaalonderzoek dan in enig ander westers land. De belangrijkste onderzoeksdoelen bij constructiematerialen zijn:

- gewichtsvermindering van transportmiddelen zoals vliegtuigen, tanks, motorvoertuigen en ruimtevaartuigen, ter besparing van brandstof; het gaat hier dan vooral om ontwikkeling van composietmaterialen;
- rendementsverhoging van motoren en andere energie-omzetters; hier speelt vooral de ontwikkeling van metaallegeringen en keramiek een grote rol.

Een van de belangrijkste redenen voor toepassing van kunststoffen in de auto-industrie is de mogelijkheid onderdelen te integreren. Veel problemen bij de produktie van kunststof carrosserie-onderdelen zijn inmiddels opgelost en de tendens steeds meer kunststof in auto's toe te passen zal zeker nog tot het eind van deze eeuw voortduren. Tegen die tijd is het zelfs niet onwaarschijnlijk dat ook dragende delen van kunststof composietmateriaal zullen worden gemaakt.

Japan

Japan beschikt zelf over weinig natuurlijke hulpbronnen, zoals olie en ijzererts. Na de oliecrisis van 1973 heeft Japan daarom een aantal nieuwe strategieën geformuleerd:

- meer nadruk op de ontwikkeling van materialen waarvoor ruim voldoende grondstoffen aanwezig zijn, in het bijzonder anorganische materialen;
- produktie van materialen met een hoge toegevoegde waarde, zoals materialen voor elektronica en optica;
- verbetering van energiebronnen en verhoging van energierendement, waarvoor nieuwe materialen nodig zijn, bijvoorbeeld voor brandstofcellen, batterijen en voor omzetting van zonne-energie in elektriciteit.

In Japan is minder overheidsgeld voor materiaalontwikkelingen beschikbaar dan in de Verenigde Staten, maar de besteding van dit geld en de planning van de onderzoekactiviteiten worden centraal gecoördineerd door het Ministerie voor Internationale Handel en Industrie (MITI), vooral door het opstellen van tienjaren strategieën. Japan stelt zich zeer bewust ten doel een leidende positie te verwerven op het gebied van geavanceerde materialen, zoals sterke vezels en technische keramiek.

West-Europa

De materiaalontwikkelingen in West-Europa worden sterk bepaald door de wedijver tussen de afzonderlijke landen en de bedrijven. Studies van de EEG wijzen uit dat er bij de Europese industrie behoefte is aan de volgende materiaalontwikkelingen:

- composietmaterialen, zowel kunststof als keramiek-metaal
- lichtgewicht materialen, zoals metaallegeringen en vezels voor composieten
- speciale polymeren
- materialen met speciale eigenschappen voor elektrische, magnetische en optische toepassingen.

In Europa is er bovendien een sterke behoefte aan betrouwbare

beproeivings- en evaluatietechnieken voor nieuwe materialen. Dit heeft te maken met de vele verschillende methoden die in de afzonderlijke landen worden gehanteerd en met het feit dat er voor nieuwe materialen (vooral composieten en technische keramiek) geheel nieuwe beproevingsmethoden nodig zijn.

Op het gebied van technische keramiek speelde Engeland tot voor kort een leidende rol, maar sinds de overheid begin jaren zeventig daarvoor geen fondsen meer beschikbaar stelde, heeft het die positie geleidelijk verloren.

In West-Duitsland heeft het 'Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT)' recent een programma afgerond van technische keramiek voor gasturbines voor voertuigen.

Van Nederland kan worden opgemerkt dat dit op het gebied van composietmaterialen een zeer sterke uitgangpositie heeft omdat:

- er een concentratie is van een aantal grote chemische concerns die zowel de vezels als de kunststofmatrix kunnen leveren;
- er veel capaciteit is op het gebied van onderzoek en ontwikkeling, zowel bij (grote) bedrijven als bij de universiteiten en onderzoekinstellingen en waar reeds het nodige op het gebied van composieten is gepresteerd;
- er twee grote industrieën zijn, die als geavanceerde toepassers een direct en onmiddellijk belang hebben bij composieten, namelijk Fokker en Volvo;
- er ten aanzien van de moderne vezelversterkte composieten uit marktonderzoeken wereldwijd groeicijfers worden voorspeld variërend van 9 tot 16% materiaal per jaar.

1.4 De rol van materialen in het produktontwerp

Factoren bij produktontwerp

Van welke kant men de ontwikkeling van een produkt ook benadert, voor een optimaal resultaat moeten de factoren **materiaal - ontwerp - fabricage** goed op elkaar zijn afgestemd. Deze produktfactoren kan men zien als afgeleiden van de basiselementen van de moderne industriële samenleving: **materie - informatie - energie**.

Immers, het ontwerp is de concrete afbeelding van de kennis die men van een produkt heeft en de fabricage-aspecten zijn alle te herleiden tot een zo doelmatig mogelijk gebruik van energie, en materiaal is het concrete gebruik van materie.

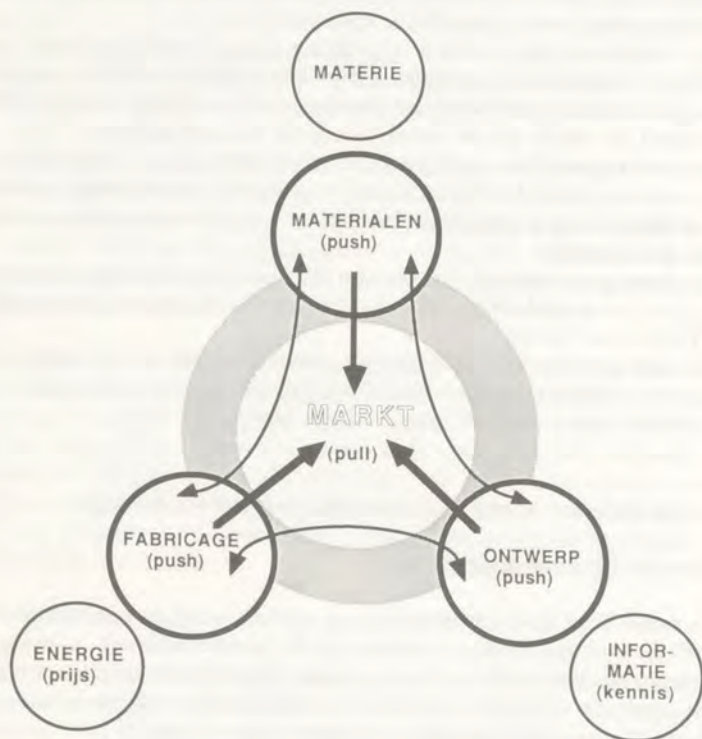
Alle genoemde produktfactoren hebben een sterke relatie met de markt.

Bij ontwerp en vervaardiging van reeds bekende produkten is steeds

de markt bepalend voor de definitieve keuze in de gebieden van ontwerp, fabricage en materialen.

Toch hoeft het initiatief om een produkt op de markt te brengen niet noodzakelijkerwijze uit die markt te komen. Immers, een slim ontwerp, een goedkoper materiaal en een eenvoudiger produktieproces kunnen evengoed een aanleiding zijn.

Dit alles is weergegeven in afb. 1.3, waar de markt centraal staat en de pijlen de initiatiefstromen aanduiden van 'technology push' naar 'market pull' en de verbanden tussen de produktfactoren onderling.



Afb. 1.3 Produktfactoren en de markt.

Worden nu de produktinnovatie, de procesinnovatie en de ontwikkeling van (nieuwe) materialen in dit model betrokken, dan is een aantal rechtstreekse verbanden te zien tussen de factoren die kennelijk los staan van de markt.

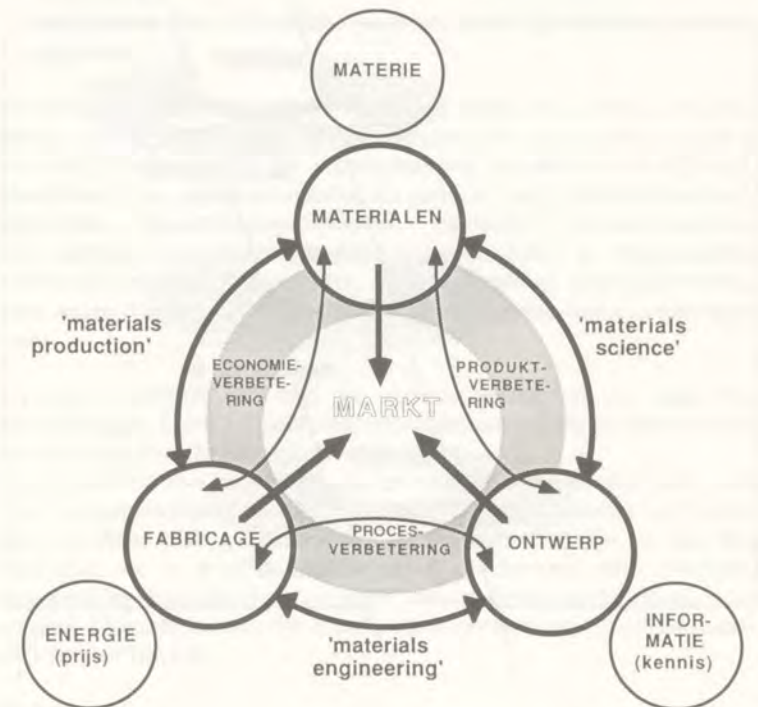
Deze verbanden worden ook wel aangeduid met de termen 'materials science', 'materials engineering' en 'materials production'.

'Materials science' is de kennis van de materie, los van de fabricage-aspecten.

'Materials engineering' houdt zich bezig met de correcte toepassing van een materiaal als relatie tussen ontwerp en fabricage.

'Materials production' is de fabricage van materialen los van enig ontwerp.

In afb. 1.4 zijn deze drie relaties toegevoegd.

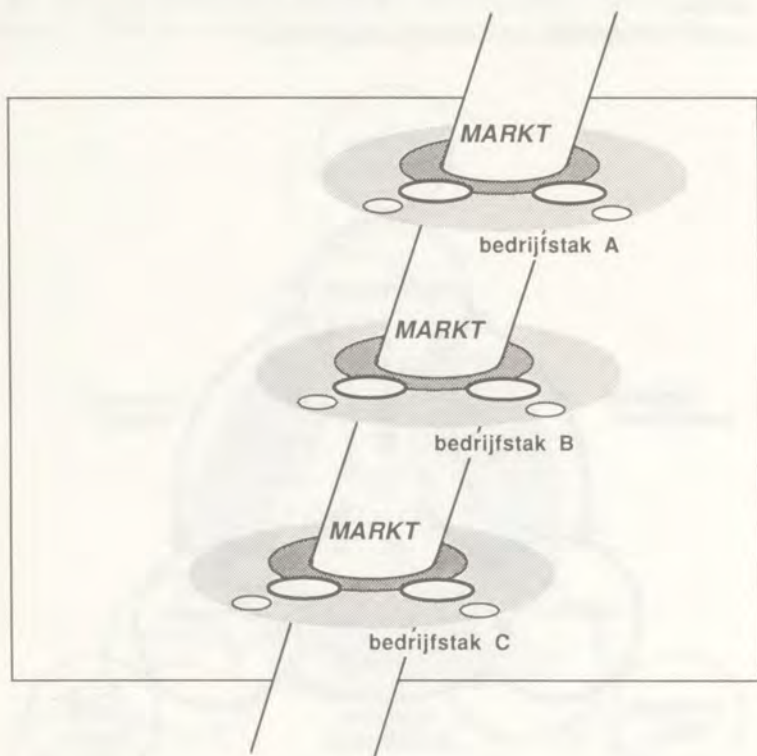


Afb. 1.4 Directe relaties tussen de produktfactoren.

Het zijn deze verbanden waarvan men, soms door toevallige ontdekking, doorbraken mag verwachten, terwijl de eerder beschreven marktafhankelijke verbanden tot verbetering van het produkt en het produktieproces leiden.

Door deze afhankelijkheid van de markt ontstaat in het ontwikkelingswerk vaak een fixatie op de eigen bedrijfstak.

Het beschreven model kan worden beschouwd als een plakje uit een model waarin alle voorkomende bedrijfstakken op elkaar zijn gestapeld. Er kan dan duidelijk één centrale markt worden onderscheiden met daaromheen op de bedrijfstak gerichte activiteiten (afb. 1.5).



Afb. 1.5 Relaties tussen de bedrijfstakken.

Het ligt voor de hand dwarsverbanden aan te brengen, waardoor ontwikkelingen in de ene bedrijfstak nieuwe mogelijkheden scheppen voor een andere.

Dit leidt onder andere tot het zoeken naar en het vinden van nieuwe toepassingen van bekende en nieuwe materialen, tot de introductie van nieuwe fabricagemethoden in een bepaalde tak en tot de ontwikkeling van nieuwe ontwerpen.

Materialen

De keuze van het materiaal waarvan een onderdeel zal worden vervaardigd, is voor de ontwerper een essentiële stap. Hiermee begrenst hij de kwaliteit van het onderdeel, de mate waarin het in staat is de gestelde functie te vervullen.

Het keuzeprobleem wordt bemoeilijkt door:

- het grote aantal beschikbare materialen
- de vele, meest uiteenlopende, eigenschappen van de verschillende materialen
- gebrek aan overzichtelijke, goed toegankelijke en betrouwbare gegevens.

De ontwerper laat zich bij zijn beslissing leiden door de te vervullen functie en de omstandigheden waaronder die functie moet worden vervuld. Verder let hij op eigenschappen als sterkte en stijfheid, elasticiteits- en glijdingsmodulus en gewicht, prijs, bewerkbaarheid, mogelijke oppervlaktegesteldheid, hardheid, corrosievastheid, slijtvastheid, mogelijkheden deze eigenschappen te beïnvloeden, vermoeiingssterkte, kruipsterkte, kerfgevoeligheid, dempingsvermogen, magnetische- en elektrische eigenschappen, isolatievermogen enz.

De materiaalkeuze kan niet los worden gezien van de wijze van vervaardigen. Tabel 1.2 geeft een overzicht van enkele constructiematerialen met hun belangrijkste kenmerken.

Op het gebied van materialen zijn er enkele veelbelovende stammen waar de ontwikkeling van het materiaal zelf geheel nieuwe toepassingen en zelfs vaak geheel nieuwe produkten mogelijk maakt. De stammen die in hoofdstuk 4 worden beschreven, zijn: metalen, kunststoffen, keramische materialen, composieten, sterke vezels, hout en glas, alsmede technische membraanprocessen en oppervlaktemodificatietechnieken.

Ontwerp

Het ontwerp is een onderdeel van het totale proces van produktontwikkeling. Over de systematische aanpak van het ontwerpproces is veel literatuur beschikbaar waarin vele methoden staan beschreven [7]-[15]. De terminologie en de indeling in fasen verschillen, maar inhoudelijk vertonen zij grote overeenkomsten.

Bij de materiaalkeuze zal rekening moeten worden gehouden met de volgende eisen:

Tabel 1.2 Constructiematerialen.

metalen	<ul style="list-style-type: none"> ijzer-metalen <ul style="list-style-type: none"> gietsoorten stalen 	<ul style="list-style-type: none"> gietijzer gietstaal 	<ul style="list-style-type: none"> - goedkoop, dempend, gemakkelijke vormgeving - sterk, stijf, gemakkelijke vormgeving
		<ul style="list-style-type: none"> onlegeerde koolstofstalen gelegeerde stalen 	<ul style="list-style-type: none"> - stijf, goedkoop - sterk, stijf - stijf, corrosievast - sterk, corrosievast bij hoge temperatuur
niet-metalen	<ul style="list-style-type: none"> niet-ijzer metalen <ul style="list-style-type: none"> organisch anorganisch <ul style="list-style-type: none"> homogene kunststoffen composieten 	<ul style="list-style-type: none"> koper-legeringen lichtmetalen hout latexrubber steen kwartsglas beton, kalkcement keramische materialen 	<ul style="list-style-type: none"> - corrosievast - licht, redelijk sterk en stijf - licht - elastisch - hard - doorzichtig, hard - goedkoop, drukvast - hittevast, hard - uiteenlopende eigenschappen, gemakkelijke vormgeving - sterk, licht

- *functionele eisen*
Voldoet het materiaal voor de primaire functie die moet worden vervuld? (bijv. warmtegeleiding, elektrische weerstand, sterkte, stijfheid, hardheid enz.)
- *constructieve eisen*
Voldoet het materiaal als constructiemateriaal, nu en op den duur, in de betrokken constructie? (bijv. sterkte, stijfheid, kruip, brosse breuk, vermoeiing, corrosie, slijtage enz.).
- *fabricage-technische eisen*
Voldoet het materiaal uit oogpunt van verwerking en bewerking bij de gegeven vormgeving en fabricagemethoden? (bijv. gieten, plastisch vervormen, verspanen, lassen, lijmen, verven, verchromen enz.)
- *economische eisen*
Voldoet het materiaal uit oogpunt van de totale materiaal- en fabricagekosten?

Voor een verantwoorde materiaalkeuze is het nodig dat de materiaaleigenschappen zoals sterk/zwak, taai/bros, stug/week, stijf/slap en hard/zacht zodanig zijn gedefinieerd dat een kwantitatieve waarder-
ing mogelijk is. De meeste van deze materiaaleigenschappen zijn echter geen echte fysische constanten, doch afhankelijk van de voorgeschiedenis van het materiaal en van de gekozen beproevingsmethode.

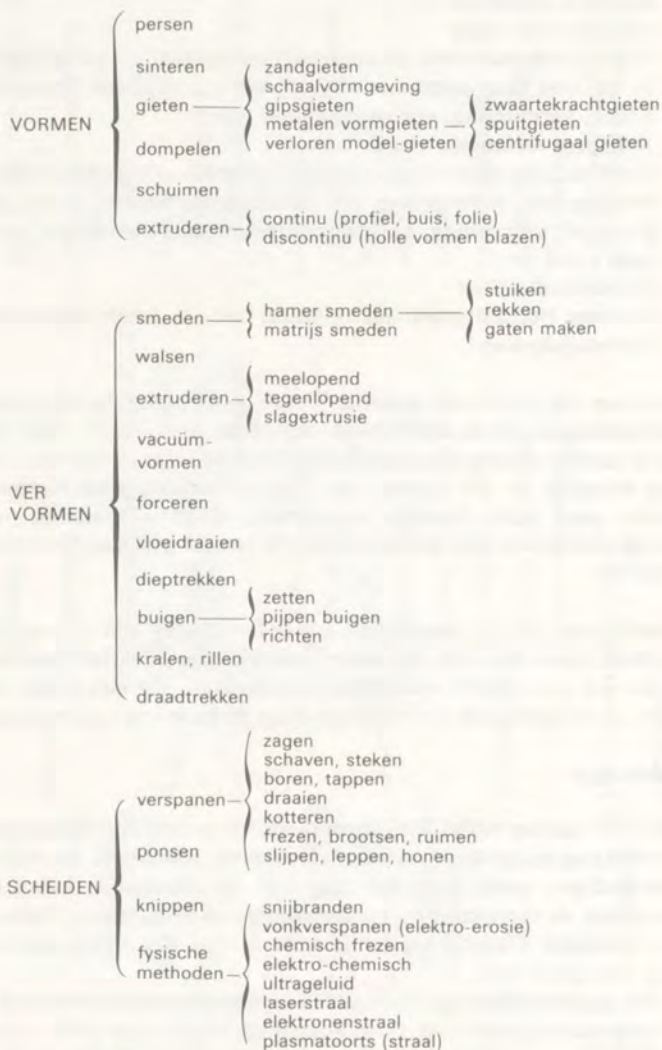
Omdat veel nieuwe materialen vaker het gevolg zijn van toevallige ontdekkingen dan van reguliere ontwikkelingen, is het gewenst het genereren van nieuwe concepten te stimuleren. Dit kan onder andere door meer onderzoek te verrichten naar de kant van het ontwerp [17].

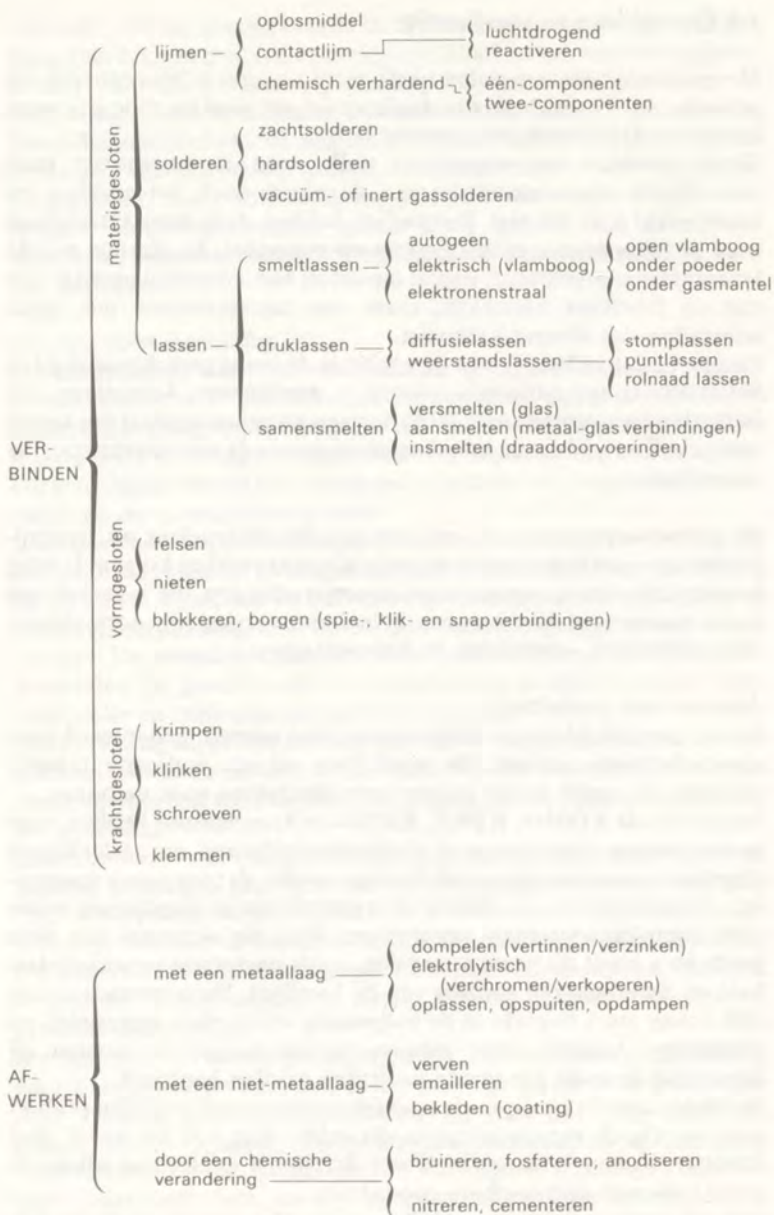
Fabricage

De vorm van een onderdeel wordt mede beïnvloed door de toegepaste verwerkingsmethoden (vormen, vervormen, scheiden). De wijze van vervaardigen wordt bepaald door het functie-aspect, het gekozen materiaal, de vereiste vorm en afmetingen en de gewenste oppervlaktegesteldheid. Daarbij spelen de kosten voor bewerking en verwerking een grote rol.

Bij het samenstellen van onderdelen tot één produkt zijn het ook weer de toegepaste materialen die in hoge mate bepalen op welke wijze die onderdelen aan elkaar worden verbonden. De bewerkings-, verwerkings- en verbindingsmethoden zijn schematisch weergegeven in tabel 1.3.

Tabel 1.3 Bewerking, verwerking, verbinding en afwerking van materialen.





1.5 De rol van normalisatie

Normalisatie van materialen heeft groot nut. Zo is bijvoorbeeld het gebruik van microgelegeerde staalsoorten pas goed op gang gekomen nadat een DIN-norm was verschenen.

Grote afnemers van materialen stellen aan de leverancier vaak aanvullende eisen boven die van de norm, doch het midden- en kleinbedrijf kan dit niet. Bovendien hebben deze laatste bedrijven geen of bijna geen ingangscntrole op materiaal. Ze zijn dus aan de leverancier overgeleverd, vooral omdat zij hun materiaal meestal niet van de fabrikant betrekken, maar van handelshuizen met grote voorraden van diverse herkomst.

Gezien het grote belang van de export is de vraag gerechtvaardigd of het zinvol is nog nationale normen te produceren. Accepteren van buitenlandse normen zoals DIN-normen en vertaling daarvan zou in veel gevallen voldoende kunnen zijn en tevens de concurrentiepositie versterken.

Bij het ontwerpen van een produkt kan de constructeur op verschillende manieren met normen en normalisatie te maken krijgen. Hierbij kunnen drie typen normen worden onderscheiden, die ieder op hun eigen manier het keuzeproces beïnvloeden, namelijk normalisatie voor produkten, materialen en beproevingen.

Normen voor produkten

In een aantal takken van industrie worden normen gehanteerd voor eigenschappen waaraan de produkten uit die industrie moeten voldoen. Dit geldt onder andere voor produkten voor de bouw.

Instituten als KOMO, KIWA, KEMA en Gasinstituut hebben voor onder andere rioolssystemen, drinkwaterleidingen en gasleidingen uitgebreide normen opgesteld. Daarin worden de toegestane materialen, de afmetingen van buizen en appendages en functionele eisen voor complete systemen omschreven. Voor de afnemers van deze produkten biedt dit grote voordelen, zoals universele uitwisselbaarheid en zekerheid ten aanzien van de kwaliteit. De constructeur ziet zich echter sterk beperkt in de toepassing van nieuwe materialen en produkten. Voordat deze mogen worden toegepast, moeten zij uitgebreid door de genoemde instituten worden beproefd.

In Nederland levert dit in de praktijk geen onoverkomelijke problemen op. Op Europese schaal is dit echter nog wel het geval. Het hanteren van inch-maten in Groot-Brittannië en Ierland alleen al zorgt voor niet-uitwisselbare produkten.

Ook de materiaaleisen verschillen sterk. Dat wat in Nederland is toegestaan, is soms in een ander land verboden en omgekeerd. Zo heeft Frankrijk lood als stabilisator in pvc-buizen voor drinkwater

verboden en tin goedgekeurd. In Nederland is de situatie precies omgekeerd. Deze problemen zullen wellicht kunnen worden opgelost als er in Europa wordt overgegaan op Europese normen.

Hier wordt momenteel door de nationale norminstituten aan gewerkt. Wereldwijd blijft dan toch nog het probleem bestaan dat met name de Verenigde Staten sterk afwijkende normen hanteren. Voor consumentengoederen, zoals koffiemolens, geldt dit soort beperkingen veel minder. Ook daar worden echter eisen gesteld aan elektrische veiligheid, brandbaarheid en dergelijke, die de materiaalkeuze kunnen beperken.

Normen voor materialen

De constructeur die voor een produkt een geschikt materiaal wil kiezen, kan in veel gevallen een beroep doen op gegevens die in normen zijn vastgelegd. Veel gegevens zijn voorhanden bij produkties waarin grote ervaring is opgebouwd met bepaalde materiaalsoorten. Dit geldt bijvoorbeeld bij produkten voor de bouw, verpakkingsmaterialen en de automobiellindustrie.

Een constructeur die een materiaal zoekt met een lange levensduur zal veel gegevens kunnen verkrijgen uit materiaalnormen voor produkten uit de bouw. Toxiciteit en barrière-eigenschappen, die een grote rol spelen in verpakkingsmaterialen, zijn vaak vastgelegd in materiaalnormen. De automobiellindustrie heeft veel ervaring opgebouwd met materialen die geschikt zijn voor toepassing in situaties waar warm water, olie en trillingen een grote rol spelen.

Deze ervaring zal echter meestal niet direct toepasbaar zijn in andere markten dan de oorspronkelijke. Meestal zullen aanvullende proeven nodig zijn om een volledig beeld te krijgen van de eigenschappen van het materiaal.

Een complicerende factor hierbij is dat Europese, Amerikaanse en Japanse normen en gegevens voor de diverse materialen niet dezelfde eigenschappen omschrijven. Als in zo'n situatie de Europese gegevens vollediger zijn dan de Japanse, bestaat het risico dat een constructeur een materiaal dat in Japanse gegevensbanken is beschreven, niet kiest wegens te weinig gegevens, terwijl het op zichzelf wellicht een geschikt materiaal is.

Meestal zijn sterk bedrijfstakgebonden normen weinig inzichtelijk voor buitenstaanders en dan is het moeilijk de juiste gegevens aan deze normen te ontfemen. Daarbij zal dan ook nog vaak een taalprobleem opduiken, zeker als het Franse of Scandinavische normen betreft. Meestal zijn hiervan wel Engelse vertalingen beschikbaar, maar daar moet dan wel speciaal naar worden gevraagd.

Om voor de meest gebruikte kunststoffen hier wat meer eenduidigheid in te brengen, wordt momenteel in ISO-verband een begin gemaakt met universele materiaalnormen. Hierin worden de basis-

eigenschappen van deze kunststoffen omschreven en vaak ook van modificaties van deze kunststoffen. De ontwikkelingen in kunststoffen gaan echter nog zo snel, dat voor de eigenschappen van de nieuwste kunststoffen vrijwel uitsluitend moet worden teruggevallen op gegevens van de producent.

Normen voor beproevingsmethoden

Vrijwel alle eigenschappen van materialen zijn bepaald volgens genormeerde beproevingsmethoden. Hierdoor zijn gegevens van verschillende laboratoria in een land goed vergelijkbaar. Een groot probleem is echter dat in diverse landen verschillende beproevingsmethoden worden toegepast. In Amerika wordt bijvoorbeeld voor de bepaling van een slagsterkte veel gewerkt volgens de Charpy-methode, die zowel met als zonder kerving kan worden uitgevoerd. In Duitsland wordt ook veel gebruik gemaakt van de Izod-methode. Charpy- en Izod-methoden zijn zo verschillend dat de resultaten onderling niet vergelijkbaar zijn. Daardoor kunnen gegevens afkomstig van Duitse instituten, vaak niet worden vergeleken met Amerikaanse of Japanse. Om dit soort problemen op te lossen, wordt er momenteel in ISO-verband naar gestreefd ook de beproevingsmethoden verder te normaliseren.

In het algemeen kan worden gesteld dat normalisatie een zeer nuttig instituut is voor het vergelijken van diverse materialen. Zonder normalisatie zou de chaos compleet zijn. Er is echter nog veel te verbeteren, vooral in het op elkaar afstemmen van de normen in de diverse landen. Binnen Europa wordt er naar gestreefd in de jaren negentig te komen tot universele en Europese normen. Op wereldschaal wordt in ISO-verband naar meer uniformiteit gestreefd. De voor ons belangrijkste genormaliseerde beproevingsmethoden voor materiaaleigenschappen zijn:

Nederland	NEN	(Nederlandse Norm, NNI)
Amerika	ASTM	(American Society for Testing and Materials)
	AISI	(American Iron and Steel Institute)
Engeland	BS	(British Standards Institution)
Duitsland	DIN	(Deutsches Institut für Normung)
Frankrijk	NF	(Norme Française, AFNOR)
Europa	EN	(EEG-CEN (Commission Européen de Normalisation))
Internationaal	ISO	(International Organisation for Standardization)

1.6 Kwaliteitsborging

Kwaliteitsborging betekent het waarborgen van een kwaliteit of kwaliteiten van een produkt. In engere zin kan de fabrikant van een produkt hieraan voldoen door zijn produkt te keuren voor het de deur uitgaat. Bij ruime marge tussen de gemiddelde kwaliteit van de produktie en de gewaarborgde ondergrens kan een eindcontrole voldoende zijn.

Door de groei van het technisch kunnen van de producent en door de strengere eisen van de afnemer is de marge tussen de gemiddelde en de nog aanvaardbare minimale kwaliteit klein geworden. Vanaf de opzet van het ontwerp moet daarom al rekening worden gehouden met de kwaliteitsborging van het eindprodukt.

De gebruiker van een eindprodukt heeft ten aanzien van de kwaliteit eisen op de volgende punten:

- Functie; bijvoorbeeld de nauwkeurigheid van een draaibank, de wegligging van een voertuig of het energetisch rendement van een aandrijving.
- Levensduur met betrekking tot de functie; bijvoorbeeld de nauwkeurigheid van een draaibank na 10.000 draai-uren, de wegligging van een voertuig met sleetse banden en slechte schokdempers of de vermindering van wanddikte door corrosie.
- Onderhoudbaarheid en de kosten daarvan; bijvoorbeeld de vervangbaarheid van aan degradatie onderhevige delen (slijtage, oppervlaktehaarscheurtjes in kunststoffen, smeermiddelen enz.), wat zijn de kosten van vervanging, hoe groot is het verlies aan functie en is er een service-apparaat?
- Inspecteerbaarheid; is bijvoorbeeld conditiebewaking nodig en zijn daarvoor voorzieningen getroffen, zijn de te gebruiken technieken voor niet-destructief onderzoek gevoelig genoeg om grote schade en falen te voorkomen?
- Faalkans; wat is bijvoorbeeld de kans op breuk door vermoeiing, kruip of brosheid en wat zijn de problemen bij een drooggelopen lager?
- Risico; analyse van de gevolgen van falen.

Het is aan de producent de kwaliteit van het produkt zeker te stellen (te borgen) en daarbij de economische haalbaarheid niet uit het oog te verliezen. Er schijnt in EEG-verband te worden gewerkt aan regelingen met betrekking tot produktaansprakelijkheid.

De strijdigheden tussen verbetering van de functie, handhaving of verbetering van de kwaliteit, verlaging van de produktiekosten en de economische haalbaarheid (c.q. de winstmarge) roepen spanningsvelden op die het industriële ontwerp en de produktie beheersen.

Daar industriële produkten nu eenmaal moeten worden vervaardigd uit materiaal, volgt dat de materiaaleigenschappen voor, tijdens en na de vormgeving en ook daarna, tijdens de bedrijfsduur, van groot belang zijn.

Reproduceerbaarheid

Reproduceerbaarheid is een voornamelijk factor voor de kwaliteitsborging, de kostenreductie en de verbetering van het produkt.

Bij onderdelen van een motor, zoals de zuiger en de zuigerstang, is de massatolerantie van belang voor het in de hand houden van de balanceerkosten en voor de uitwisselbaarheid van de afzonderlijke onderdelen. Bovendien levert dat indirect ook een rustiger motor met minder slijtage.

Bij een reductiekast is de nauwkeurigheid van tandvorm en tandwieluitlijning van belang voor vermindering van het geluidsniveau, vermindering van de slijtage en een betere mogelijkheid voor akoestische bewaking.

Ook bij halffabrikaten en materiaaleigenschappen zijn toleranties van groot belang. Zo zijn voor een in aanbouw zijnde Nijlbrug I-profiel liggers van een speciale maat gewalst. De overspanningen van de brug worden als Meccano ter plaatse in elkaar gezet, dus de toleranties op boutgaten, boutsteek enz. moeten relatief zeer klein zijn.

Een ander voorbeeld is de tolerantie op de dikte van dunne plaat. Die bedraagt vaak ongeveer 10%. De resonantiefrequentie is recht evenredig met de dikte en varieert dus ook met ongeveer 10%. Dit is van belang voor het geluid en de vermoeiing.

Bij het afkanten van plaat in de chassisbouw en het persen van portieren wordt bij toepassing van HS-staal de terugvering onder andere bepaald door de vloeigrens. Om de terugvering in de hand te houden, eisen auto- en truckfabrikanten nu al nauwere toleranties voor de vloeigrens en de treksterkte dan het normblad toelaat. De volgende stap zal bestaan uit vastlegging van de versterkings-exponent.

Bij extrusie of dieptrekken van plaat, bijvoorbeeld voor frisdrankblikjes, is de anisotropie (evenwijdig en loodrecht op de walsrichting) van groot belang voor een goed produkt.

Bij vermoeiingskritische constructies, zoals in de luchtvaart en offshore, worden eisen gesteld aan de scheurtaaiheid van het materiaal en de lassen.

Bij staalfabrikanten is er een tendens tot energiebesparing door combinaties toe te passen van diverse warmtebehandelingen, zoals thermo-mechanische behandeling van staalplaat (volop in gebruik) en afschrikken vanaf smeedtemperatuur (nog in ontwikkelingsfase).

Daarnaast wordt steeds vaker warmtebehandeling onder inerte of reducerende atmosfeer geëist door de afnemer. Randontkoling en interkristallijne oxydatie veroorzaken namelijk een drastische verlagening van de vermoeingsweerstand en dat is bij 'near net shape'-produkten (bijv. zuigerstang) niet meer toelaatbaar.

Er is ook een tendens naar vernauwing van de toleranties op temperatuur en afkoelsnelheid om daarmee de spreiding in eigenschappen te verkleinen.

Ontwikkelingen in kwaliteitsbeheersing

Het is voor een bedrijf van belang de eigenschappen, de kwaliteit, de produktiemogelijkheden en -kosten van een nieuw produkt al in de ontwerpfasen te kunnen voorspellen, c.q. die van een lopend produkt te blijven beheersen.

De mogelijkheden daartoe zijn in de afgelopen jaren verruimd door de mogelijkheden die computers ook in dit opzicht bieden.

Het rekentool wordt dan ook steeds meer en economisch verantwoord ingezet in alle fasen van de industriële produktie. Computertoepassingen in ontwerp en produktie worden aangeduid met Computer Aided Engineering (CAE). CAE wordt soms nog onderscheiden naar Computer Aided Design (CAD), Computer Aided Manufacturing (CAM) enz.

CAE geeft de mogelijkheid technische zaken te berekenen, te optimaliseren, te besturen, te controleren enz. met een omvang en een snelheid die twintig jaar geleden nog onmogelijk leek. Zo geeft de eindige elementenmethode onder andere de mogelijkheid spannings- en rekverdelingen te bepalen in constructies van complexe vorm onder samengestelde belastingen.

Met modale analyse kunnen eigen frequenties, golfvormen en opslingeringen van een constructie worden bepaald over het van belang zijnde frequentiegebied.

Numeriek bestuurd gereedschapswerktuigen kunnen in principe willekeurig gekozen contouren realiseren.

Flexibele automatisering geeft onder andere de mogelijkheid het produktieproces in te stellen op van belang zijnde eigenschappen van het te verwerken materiaal.

Snelle analyse van meetgegevens maakt het mogelijk produktieprocessen van materiaal (bijvoorbeeld staalfabricage) bij te sturen.

Verwerking van continue registraties van de bedrijfsomstandigheden tot maatgevende parameters voor bijvoorbeeld de levensduur is geen probleem meer.

Bij de toepassing van CAE wordt het echter duidelijk dat de kennis van materiaaleigenschappen, produktieprocessen, het gebruikspa-

troon van industriële produkten enz. nogal summier is en weinig rekenkundig hanteerbaar is vastgelegd. Verder ontbreekt vaak het inzicht in optredende variaties (spreidingsbanden).

Bijvoorbeeld:

- Een elasto-plastische analyse van een meervoudig statisch-onbepaalde constructie kan geen betrouwbaar antwoord opleveren als de vloeigrens van de constructie-elementen sterk (bijv. 20%) kan variëren.
- Een staal met een sterk wisselend percentage zwavel (normaliter alleen gebonden aan een maximum) kan volkomen ongeschikt zijn voor een reproduceerbare massafabricage.
- De breukkans van keramische materialen is afhankelijk van de grootte van de holten (voids) die tijdens het produktieproces zijn ontstaan.
- De invloed van oppervlaktebehandeling en van oppervlaktelagen op de vermoeiingsgrens is meestal slechts kwalitatief bekend.

Wil de kwaliteitsbeheersing op een hoger plan komen – en CAE geeft hiervoor de mogelijkheden – dan zullen meer gegevens over materiaaleigenschappen beschikbaar moeten zijn dan nu.

Daarvoor is veel onderzoek nodig, onder andere naar de relaties tussen produktieproces, samenstelling, structuur en eigenschappen van materialen en ook naar materiaalproduktieprocessen die – ondanks spreiding in procesparameters – een nauwe spreidingsband in materiaaleigenschappen opleveren.

De huidige genormeerde beproevingsmethoden zullen moeten worden aangevuld of vervangen omdat zij meestal slechts vergelijkingswaarden opleveren en geen ontwerpparameters. Zo is van alle uit de trekproef bepaalde grootheden naast de elasticiteitsmodulus alleen de vloeigrens bruikbaar als ontwerpparameter.

Ook zullen de genormeerde materiaalspecificaties meer moeten gaan inhouden dan alleen 'gegarandeerde' minimumwaarden (die bovendien statistisch gezien geen garantie kunnen geven, het aantal proeven bedraagt meestal drie).

Deze gegevens zijn met Computer Aided Testing te verkrijgen.

Het tweezijdig begrenzen van materiaalparameters of -eigenschappen is met moderne metallurgische installaties geen echt probleem meer. Materiaalfabrikanten beschikken over grote hoeveelheden beproevingsgegevens. Dit is ook het geval bij laboratoria die voor derden standaardbeproevingen uitvoeren en bij de bedrijven die een ingangscntrole op materiaal hebben. Een statistische bewerking van deze – nu meestal ongebruikte – gegevens zou de waarde van gegevensbanken voor materiaalparameters sterk verhogen.

Het is dus van belang de normen aan te passen aan de door CAE verruimde mogelijkheden tot kwaliteitsbeheersing.

Dit zal in Europees verband moeten gebeuren omdat veel materiaal wordt geïmporteerd en veel produkten worden geëxporteerd en omdat de Nederlandse industrie maar een klein deel vormt van de Europese.

Een van de problemen bij de beheersing van de kwaliteit is het gebrek aan kennis omtrent de benodigde kwaliteit, omdat de gebruiksomstandigheden van het produkt onvoldoende bekend zijn. Slechts voor enkele typen van grote constructies zijn hiervoor gegevens beschikbaar. In de luchtvaartindustrie beschikt men over belastingspectra voor de diverse vliegtuigtypen. Een recent onderzoek in EGKS-verband heeft uitgebreide gegevens opgeleverd over belastingen van verkeersbruggen. In Europees verband wordt momenteel gewerkt aan een standaard belastingspectrum voor vaste offshore constructies. Voor de meeste – vooral kleinere – produkten zijn echter de normale gebruiksomstandigheden maar matig en de extreme gebruiksomstandigheden nauwelijks bekend, zodat de ontwerpcriteria (dus ook de kwaliteitseisen) worden ontwikkeld 'achter de tekenplank'. Moet bijvoorbeeld een aardappelmesje vijf jaar meegaan of verdwijnt het na gemiddeld een jaar toch in de schillenbak? Welke stootbelasting krijgt een verpakking en hoe groot moet het vermogen tot arbeidsopname zijn om het verpakte produkt te beschermen.

De kwaliteiten na verloop van tijd krijgen ook daardoor vaak onvoldoende aandacht.

Ontwerpcriteria zijn dus vaak noodgedwongen primitief en leiden daardoor tot voortijdig falen of tot overdimensionering.

Een direct gevolg hiervan is ook dat het materiaalgedrag in de tijd onder variërende bedrijfsomstandigheden (vermoeiing, kruip, corrosie) slechts beperkte aandacht krijgt en dus ook slecht bekend is.

De samenhang tussen vormgeving en materiaaleigenschappen in combinatie met het gedrag van het constructie-element onder wisselende bedrijfsomstandigheden wordt ook vaak veronachtzaamd. Zo is bijvoorbeeld het gedrag van constructie-elementen onder wisselende belastingen met variabele amplituden (het vermoeiingsspectrum) nog onvoldoende onderzocht en van de invloed van corrosie hierop is nog zeer weinig bekend.

Ook staan studies naar, c.q. berekeningen van het faalgedrag van constructies nog in de kinderschoenen en wordt bij het ontwerp vaak nauwelijks rekening gehouden met faalgedrag.

Bijvoorbeeld: de economisch geprefereerde, statisch bepaalde vakwerkconstructie heeft een zeer slecht faalgedrag; bij falen van één element bezwijkt in principe de gehele constructie (kranen, bruggen, offshore platforms).

Het overgaan op een voor het produkt nieuw materiaal betekent vaak

een aanslag op de kwaliteitsbeheersing. Immers, met de in gebruik zijnde materialen is veel ervaring opgedaan en de materiaalverwerking is in de loop van de tijd geoptimaliseerd. Nu moet worden afgegaan op ervaringen van anderen.

De materiaalleverancier speelt hierbij een grote rol gezien zijn ervaring met de toepassing door anderen. Het is echter niet onlogisch te veronderstellen dat de leverancier uitsluitend een positieve kijk heeft op de mogelijkheden voor en de kwaliteiten van zijn materiaal. Voor tot toepassing kan worden overgegaan, zal eerst een literatuuronderzoek moeten plaatsvinden. Bibliotheken zijn hierbij van groot nut. Voorts zijn gesprekken met bedrijven die het materiaal reeds toepassen (adressenlijst van de leverancier) bepaald niet overbodig. Hierdoor kunnen veel aanloopmoeilijkheden en kinderziekten worden voorkomen. Bovendien moet door eigen beproevingen een aantal gegevens worden geverifieerd. Daarbij moet worden opgemerkt dat de spreidingsbanden van eigenschappen nauwelijks te bepalen of te verifiëren zijn in het bestek van een dergelijk relatief beperkt onderzoek.

Ook als alle genormeerde eigenschappen goed of beter zijn dan die van het oude materiaal, is er nog geen garantie dat het produkt dezelfde of een betere kwaliteit heeft of goedkoper kan worden geproduceerd.

Hier wreekt zich dat de normen voor kwaliteitsbepaling van materialen geen ontwerpparameters opleveren, maar vergelijkingsgrootheden.

Er is dus nog een uitgebreide produktbeproeving onder realistische bedrijfsomstandigheden nodig om de kwaliteit vast te stellen. Ook hier geldt dat de werkelijke spreidingsbanden pas volgen uit langdurig gebruik in de praktijk, al is op grond van resultaten van produktbeproeving wel een verantwoorde schatting te maken.

Het is dus niet zo verwonderlijk dat een fabrikant meestal pas overgaat op een ander materiaal als de concurrentiepositie dit nodig maakt, de verwachte besparingen aanzienlijk zijn en/of de functies van het in ontwerp zijnde produkt niet met hem bekende materialen zijn te realiseren.

Verder dienen nieuwe produkten een verbetering in te houden ten opzichte van hun voorgangers, anders hebben ze geen zin.

Bij toepassing van nieuwe materialen en ook bij nieuwe toepassingen van bekende materialen zijn twee wegen gebruikelijk. Bij gelijksoortig materiaal: het stapsgewijs opvoeren van de materiaaleigenschappen, bijv. van FeE355 via FeE420 en FeE490 naar FeE560.

Bij andersoortig materiaal, bijvoorbeeld kunststof in plaats van metaal: het stapsgewijs vervangen van componenten van niet-dragen-

de via licht dragende en middelmatig belaste naar zwaar belaste constructie-elementen.

Beide wegen kosten uiteraard veel tijd, maar zijn nodig om de kwaliteit te blijven beheersen.

Het niet-destructief onderzoek (NDO) is van groot belang voor kwaliteitsbeheersing en is sinds een aantal jaren sterk in ontwikkeling. Hiervoor zijn enkele aanleidingen.

De opkomst van de breukmechanica leverde grote mogelijkheden tot beoordeling van NDO-resultaten. Mede hierdoor is een 'fitness for purpose'-beoordeling van lasverbindingen ontstaan.

De wetenschappelijke belangstelling voor de fysische achtergronden van NDO-technieken is sterk toegenomen. Bovendien wordt het mogelijk de meetresultaten van een niet-destructief onderzoek rechtstreeks met de computer te bewerken tot de gewenste parameters en uit die metingen veel meer informatie te halen dan met de hand of met het oog mogelijk is.

Vandaar de nu meer gebruikte naam niet-destructieve evaluatie (NDE).

Enkele voorbeelden van recente ontwikkelingen zijn [16]:

- Penetrant onderzoek. Er zijn systemen in gebruik waarbij de behandeling met fluorescerende penetrant geautomatiseerd is. Het oppervlak wordt daarna afgetast met een laserstraal en het oplichten wordt geregistreerd met een elektro-optische sensor. De waarnemingen worden door een computer verwerkt en de afgekeurde produkten worden automatisch uit de produktielijn verwijderd.
- Ultrasoon onderzoek. Met 'time of flight diffraction'-technieken (TOFD) kunnen de plaats en de grootte van defecten veel nauwkeuriger worden berekend dan met de gebruikelijke meting van impuls-echo's mogelijk is. Ultrasonie beeldvorming (reeds langer in gebruik bij medici) kan sterk worden verbeterd door toepassing van 'synthetic aperture focussing techniques' (SAFT), waardoor onder andere de afbeelding van een defect op het beeldscherm een goede visuele beoordeling toelaat.
- Röntgenonderzoek. Door het gebruik van speciale beeldschermen (in plaats van film) die röntgenstraling omzetten in licht, dat op zijn beurt wordt opgenomen door een TV-camera, is het mogelijk beelden te produceren van röntgendoorstraling. Deze kunnen dan verder worden bewerkt. Hierdoor is ook beeldvorming van doorsneden mogelijk geworden ('computer aided tomography'). Voor de manipulatie van het werkstuk wordt een robot gebruikt.
- Akoestische emissie (AE). Door het meten van looptijden van akoestische emissie kan de plaats worden bepaald waar plastische

deformatie of scheurgroei plaatsvindt. Continue meting van AE kan kwantitatieve indicaties geven over cumulatieve beschadiging tijdens bedrijf en NDO-inspecties kunnen daarop worden afgestemd (bijv. van grote drukvaten).

Uit het voorgaande blijkt dat de ontwikkeling van NDE zich richt op de bepaling van de soort en de grootte van de materiaaldefecten. Deze zijn uiteraard van groot belang voor de kwaliteitsbeheersing van de produktie en voor conditiebewaking. Aan het bepalen van de materiaaleigenschappen zelf door middel van NDE (bijv. ten behoeve van een ingangscntrole) is nog zeer weinig gedaan. Hiervoor blijven voorlopig het destructieve en het microscopisch onderzoek de aangewezen methoden.

Voor de ingangscntrole van materiaal, voor de controle op processen waardoor de materiaaleigenschappen veranderen en voor de bepaling van de duurzaamheid van het produkt of zijn componenten zijn nog steeds beproevingen nodig om de kwaliteit van het produkt te borgen. Door het gebruik van computersturing bij beproevingsinstallaties wordt de reproduceerbaarheid van de beproeving verhoogd en de uitwerking van de resultaten versneld. Wat echter niet korter wordt, is de duur van de beproeving zelf, evenmin als de tijd die nodig is voor de aanmaak van proefstukken of proefconstructies.

Beproevingen tijdens de produktie ('on-line') lijken, ook waar het simpele proeven als bijvoorbeeld een slagproef betreft, ook in de toekomst niet realiseerbaar (beproevingen zijn in principe destructief, en kunnen zodoende alleen steekproefsgewijs worden uitgevoerd). Computergestuurde beproevingsinstallaties hebben echter ook complexe proeven mogelijk gemaakt. Hierdoor kunnen bedrijfsomstandigheden met een hoge graad van nauwkeurigheid worden nagebootst, zodat de kans op verrassingen (bijv. voortijdig falen) onder bedrijfsomstandigheden drastisch wordt verlaagd.

Zo worden prototypen van personenwagens nu op vermoeiing beproefd met wegsimulatieproeven. Hierbij worden tien of meer actuatoren (drie per wiel, c.q. astap, plus één of meer voor remkrachten, stuurkrachten enz.) afzonderlijk doch synchroon gestuurd.

Beproevingen die in de afgelopen tien à twintig jaar een grote vlucht hebben genomen, zijn die op het gebied van scheuren. Gesteund door breukmechanica, eindige elementenmethode, computergestuurde beproevingsinstallaties, de mogelijkheden van de elektronenmicroscoop enz., is veel inzicht gewonnen in het scheur- en breukgedrag van materialen (metalen, composieten, keramiek) en van constructie-elementen die in die materialen zijn uitgevoerd.

Dat de maatschappelijke relevantie (veiligheid van vliegtuigen, nucleaire installaties, enz.) hierbij ook een grote rol heeft gespeeld en

dat ook op andere gebieden grote voortgang wordt geboekt door de verbetering van meet- en onderzoekstechnieken behoeft geen nader betoog.

1.7 Milieu-aspecten bij materiaalgebruik

Voordat het materiaal als zodanig in produkten kan worden toegepast, heeft er reeds een concentrering, c.q. afscheiding uit natuurlijke grondstoffen plaatsgevonden. Het verkrijgen van materialen houdt altijd een ingreep in in de natuurlijke omgeving. Waar de mens handelt, wordt het milieu beïnvloed. Afb. 1.6 is een vereenvoudigde weergave van de milieubeïnvloedingen van de winning van de ruwe grondstof tot het uiteindelijke materiaal.

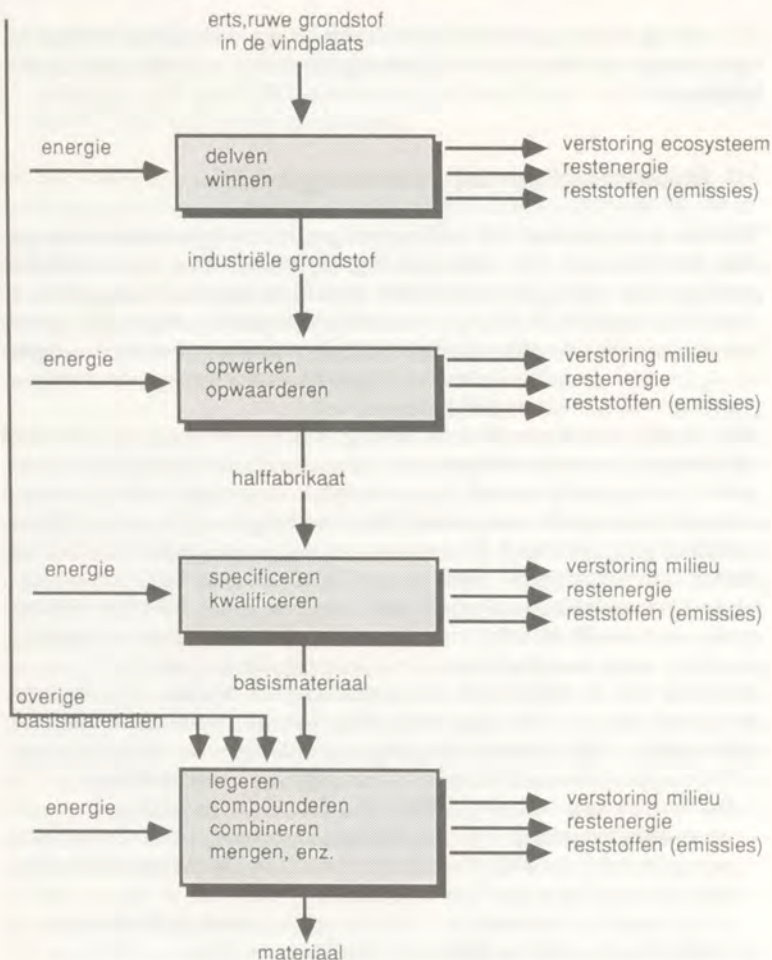
Afhankelijk van de aard van de ruwe grondstoffen en de uiteindelijke bestemming kunnen in de route van ruwe grondstoffen naar materiaal in afb. 1.6 bepaalde bewerkingen worden overgeslagen. De omschreven stofstroom geldt voor natuurlijke, niet-hergebruikte grondstoffen (primaire grondstoffen). Er ontstaat een enigszins andere situatie bij stoffen uit afgedankte produkten (secundaire grondstoffen), ofschoon de processen concentreren, opwaarderen, kwalificeren en combineren ook worden toegepast in de route van secundaire grondstof naar materiaal voor de verwerkende industrie.

Aspecten van de materiaal- en energiestromen komen later in deze paragraaf aan de orde. Bij verstoring van het omringend eco- of milieusysteem zijn onder andere de volgende factoren in het geding:

- het beginnen van activiteiten in een ongerept natuurgebied;
- het treffen van infrastructurale voorzieningen waardoor het oorspronkelijke gebied zijn hoedanigheid verliest en er een nieuw ecosysteem voor in de plaats komt, meestal gepaard gaand met een afname van het aantal biologische soorten;
- de industriële activiteiten in de buurt van woongebieden geven vaak geluidhinder en horizonvervuiling;
- de industriële activiteiten beïnvloeden het milieu door warmteverliezen en ongewenste emissies naar lucht, water en bodem;
- bij elke industriële activiteit hoort aanvoer van energie en grondstoffen, afvoer van restenergie, opgewaardeerde grondstoffen en afvalstoffen. Ook deze logistieke factoren hebben hun wisselwerking met het milieu.

Materialenstroom

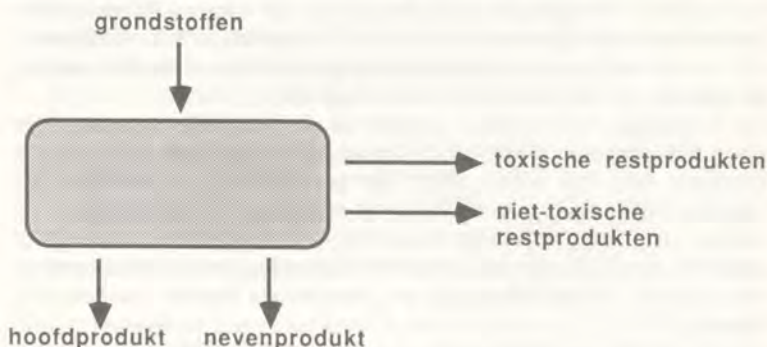
Om uit natuurlijke grondstoffen economisch verkoopbare materialen te verkrijgen, vinden er enige processen plaats (zie afb. 1.6). Bij elk proces worden een opgewaardeerde materiaalstroom en reststromen



Afb. 1.6 Schema van de stofstroom van ruwe grondstof naar materiaal.

geproduceerd. De hoeveelheid en de hoedanigheid van de reststromen zijn mede afhankelijk van de zuiverheid van de grondstof (de toegepaste concentreringsprocessen zijn uiteraard medebepalend). Indien de gewenste stoffen in lage concentraties in de grondstoffen aanwezig zijn, zal er verhoudingsgewijs een grote reststoffenstroom ontstaan. Een reductie in hoeveelheid is mogelijk als er behalve het hoofdproduct nog afzetbare nevenproducten worden gefabriceerd. Behalve het kwantitatieve speelt ook het kwalitatieve aspect een rol.

Het opwerken van grondstoffen kan gepaard gaan met de uitworp van stoffen naar lucht, water en bodem die toxische, mutagene of carcinogene werking hebben op levende organismen. Dit kan ook reeds het geval zijn met de basisgrondstof. Dreigt er een milieutoxisch gevaar, dan is nadere zorg vereist voor de beheersing van de stoffenstroom. Afb. 1.7 geeft dit schematisch weer.



Afb. 1.7 Stoffenstroom

De soort grondstof en het proces bepalen in hoeverre er toxische reststoffen worden afgescheiden. Grenswaarden en -normen van diverse stoffen in lucht, water en bodem geven aan wanneer er een milieutoxisch gevaar dreigt.

De voortdurende diffusie en de daaraan verbonden ophoping van stoffen in het milieu is een ander probleem, dat de laatste jaren steeds beter wordt onderkend. Door een continue ophoping kunnen uiteindelijk ook onaanvaardbare milieutoxische waarden worden bereikt. Ook na de afzet van materialen aan de industrie is de wisselwerking met het milieu niet beëindigd. Tijdens de bewerking van materialen ontstaan materiaalafvallen, tijdens het gebruik van het produkt degradeert het materiaal en er zijn mogelijkheden tot hergebruik van materialen na beëindiging van de gebruiksduur van het produkt.

Het is uiteraard mogelijk dat een materiaal dat met een relatief schoon proces met weinig reststoffen wordt verkregen uit een relatief schone grondstof, toch in het afvalstadium problemen geeft door ontbreken van de mogelijkheid tot hergebruik of vernietiging.

Hergebruik van materialen (vervanging van primaire door secundaire grondstoffen of gebruik voor andere toepassingen) geeft een vermindering van de hoeveelheid reststoffen. De overblijvende reststoffen zouden echter een groter gevaar voor de volksgezondheid kunnen betekenen of zijn op technische gronden moeilijk opnieuw toe te passen.

Energiestroom

Elk proces in afbeelding 1.6 heeft zijn eigen energiegebruik. De energiewinning, het energiegebruik en de afvoer van restenergie beïnvloeden het milieu.

De aard en de kwaliteit van de grondstof en de specificatie van het gewenste eindmateriaal zijn bepalend voor de theoretisch benodigde hoeveelheid energie. De efficiëntie van de toegepaste processen bepaalt de werkelijke energiebehoefte. Het milieu wordt, onafhankelijk van de toegepaste energievorm, minder beïnvloed als de benodigde energie tot een minimum wordt beperkt.

De benodigde hoeveelheid energie en de hoeveelheid restenergie staan hier centraal, alhoewel de keuze van energie-opwekking eigen gevolgen voor het milieu heeft. De produktie van aluminium uit bauxiet met behulp van elektriciteit uit kernenergie beïnvloed het milieu op een toaal andere wijze dan wanneer waterkracht wordt gebruikt. In dit kader zal echter de discussie over de keuze tussen windenergie, steenkoolenergie en kernenergie buiten beschouwing blijven.

In dit verband is het wel goed op te merken dat produktie van metalen uit primaire grondstoffen duidelijk meer energie vraagt dan die uit de secundaire grondstoffen (zie tabel 1.4).

Tabel 1.4 Energiegebruik bij materiaalbereiding uit erts en uit schroot [18].

	Uit erts (MJ/kg)	Uit schroot (MJ/kg)
staal	72,0	25,6
gietijzer	28,8	
aluminium	327,6	11,5
koper	61,2	9,7

Milieukeur

Bereiding en toepassing van materialen hebben meestal schadelijke effecten op het milieu. De keuze van een specifiek materiaal biedt mogelijkheden de beïnvloeding van het milieu te verminderen. Vandaar dat degene die het te gebruiken materiaal kiest, moet kunnen beschikken over gegevens over de negatieve invloeden van de materialen. De gegevens over milieu-invloeden zouden kunnen worden verzameld in een milieukeur. Een milieukeur geeft een beoordeling van de belangrijkste milieu-effecten van de produktie en toepassing van een specifiek materiaal. De volgende facetten zouden

bij zo'n milieukeur kunnen worden betrokken (exclusief de verstoring van ecosystemen):

- toxiciteit van het hoofdprodukt
- hoeveelheid en schadelijkheid van reststoffen
- toxiciteit van reststoffen
- toepassingsmogelijkheden van reststoffen
- hoeveelheid energie nodig voor de productie
- hoeveelheid restenergie tijdens de produktietijd
- mogelijkheid het materiaal 'afvalarm' in het produkt te verwerken
- hoeveelheid energie nodig voor de vormgeving
- degradatieverschijnselen en onderhoudsbehoefte van materialen tijdens gebruik
- oppervlaktebeschermingsmiddelen benodigd voor gebruik
- hergebruikmogelijkheden na gebruik
- vernietigingsmogelijkheden en reststoffenproblematiek na vernietigen, c.q. definitief verwijderen van de materialen
- kwaliteitsachteruitgang bij herhaald gebruik van het materiaal.

Elke hoeveelheid materiaal (ook hoeveelheden van dezelfde soort) krijgt een specifieke toepassing in een specifiek produkt op een specifieke lokatie in een specifieke omgeving. Bovendien moeten materialen worden vervoerd naar de uiteindelijke bestemming. Mede daarom verdient het aanbeveling de beschouwingen aangaande de milieukeur te eindigen na fabricage van het bewuste materiaal.

Resumerend kan worden gesteld dat bij een milieukeur van een materiaal de volgende aspecten het belangrijkste zijn:

- energiebehoefte voor de productie van het materiaal
- emissie naar lucht, water en bodem tijdens de productie
- hergebruikmogelijkheden van de productie-afval
- hergebruikmogelijkheden van het materiaal na beëindiging van de gebruiksduur.

1.8 Onderwijs

In 1.4 is een aantal voorwaarden genoemd waaronder nieuwe toepassingen van materialen tot stand kunnen komen. Als afgeleide daarvan is in de daaropvolgende paragrafen ingegaan op het belang van een aantal aspecten bij materiaalkeuze en materiaalgebruik. Vooral de basisgedachte waar de produktfactoren materiaal-ontwerp-fabricage als onlosmakelijk worden gezien, is hierin essentieel. De steeds hogere eisen die aan een ontwerp en dientengevolge aan de materiaalkeuze worden gesteld, zullen leiden tot het formeren van ontwerpteams, waarin naast de ontwerper/constructeur tevens een

produktiespecialist en een materiaaltechnoloog een plaats vinden. Het zal duidelijk zijn dat nieuwe toepassingen van materialen alleen dan terrein zullen winnen als in de ontwerpersopleidingen deze ideeën worden geïntegreerd in het onderwijspakket en dat een sterker accent komt te liggen op materiaalkunde en de technologie van materiaalproductie.

Bij het onderwijs en bij de overheid winnen deze gedachten steeds meer terrein, getuige de nota 'Onderwijs en Materialen' van het Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen. [19][17].

2. De keuze nader bezien

In het ontwerpproces komen diverse keuzemomenten voor, waar de ontwerper of constructeur moet beslissen welk materiaal of welke materiaalsoort hij zal gaan toepassen.

Behalve de toename van de hoeveelheid beschikbare materialen, neemt ook de benodigde en beschikbare hoeveelheid kennis over de materialen afzonderlijk, de laatste jaren sterk toe. Het wordt voor de gebruiker steeds moeilijker daarin zijn weg te vinden.

2.1 Twee onderzoeken

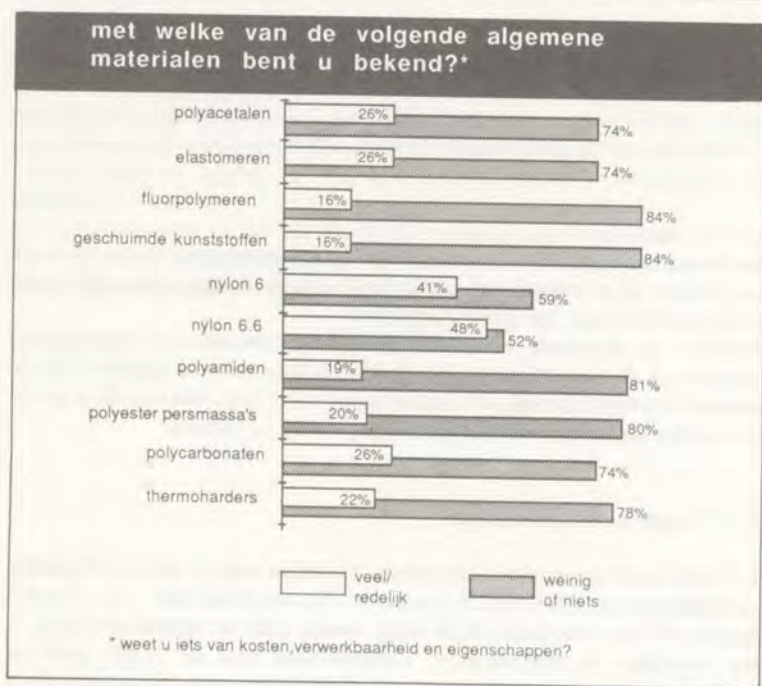
In 1984 heeft het ingenieursbureau Tebodin samen met de Rijksnijverheidsdienst (RND) en in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken een onderzoek uitgevoerd naar de materiaalkeuze in het midden- en kleinbedrijf. Consulente van de RND hebben gedurende ongeveer een maand stelselmatig een aantal vragen gesteld bij alle bedrijven waar zij kwamen. Enkele conclusies uit die studie [20] zijn:

- in het algemeen kiest in het midden- en kleinbedrijf niet de constructeur, maar de directeur welk materiaal er wordt gebruikt
- de keuze wordt in sterke mate bepaald door wat de concurrent doet
- de (niet-)beschikbaarheid werkt remmend op de keuze
- als men kiest, dan kiest men zeer conservatief
- in 98% van de gevallen doet men wat men altijd doet
- eigenlijk wordt er niet gekozen.

Het Engelse tijdschrift 'Eureka' [21] heeft in 1985 een dergelijk onderzoek laten uitvoeren onder 1000 'chief design engineers' bij bedrijven met meer dan 500 werknemers. Ook hier was de conclusie duidelijk: ontwerpers weten weinig over moderne materialen.

Over een aantal niet eens zulke nieuwe kunststoffen werd gevraagd of men iets wist van kostprijzen, verwerkingsmogelijkheden en eigenschappen. Alleen Nylon 6 en Nylon 6.6 scoorden enigszins: 41%, resp. 48% van de ondervraagden zei daar iets van te weten. In afb. 2.1 zijn de resultaten samengevat.

Hetzelfde geldt voor de verwerkingsprocessen. Alleen van spuitgieten zei 51% iets af te weten, alle andere processen kwamen er aanzienlijk slechter af, zoals valt af te lezen in afb. 2.2.

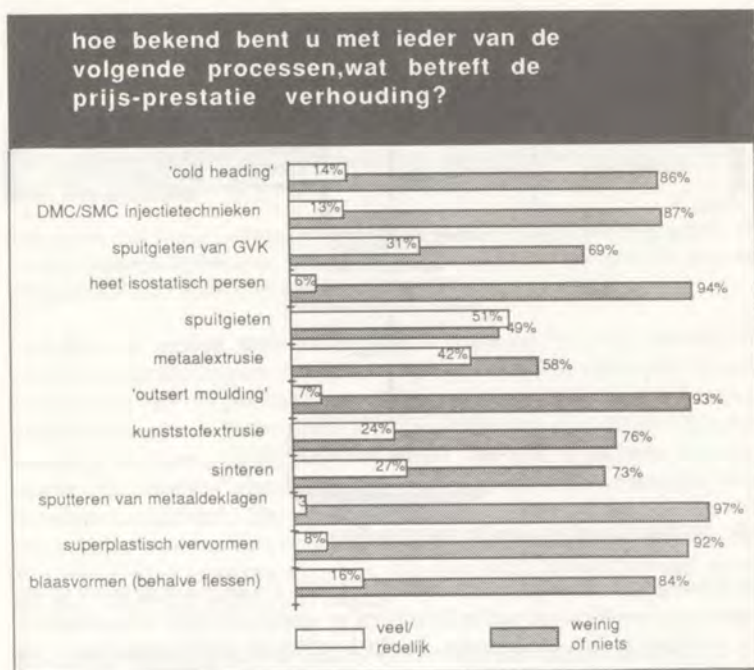


Afb. 2.1 Resultaten van onderzoek over materiaalkennis bij ontwerpers [21].

De belangrijkste factor waardoor de ontwerpers zich laten beïnvloeden bij het overwegen van alternatieve materialen is ervaring, hetzij van henzelf, hetzij van iemand anders. Gegevensbestanden en adviseurs worden daarbij niet zo belangrijk gevonden (minder dan 40%), terwijl binnen het bedrijf aanwezige gegevens (85%), praktische ervaring (96%), artikelen in tijdschriften (89%) en advertenties (41%) als zeer nuttig worden ervaren.

Een andere opvallende conclusie was dat jonge 'chief designers' (tussen de 26 en 35 jaar) minder snel geneigd zijn te kiezen voor thermoplasten, thermoharders of composieten dan hun oudere collega's. De kennis over kunststoffen is bij ontwerpers boven de 35 jaar blijkbaar beter dan bij de jongere. Een mogelijke verklaring voor dit fenomeen is dat de kunststofsector in Engeland tot 1973 zijn marketing richtte op de ontwerpers van producten, maar zich sindsdien rechtstreeks richt op de verwerkingsbedrijven (die tevens de directe afnemers zijn).

Als laatste belangrijke resultaat uit genoemd onderzoek komt naar voren dat de ontwerpers zich vooral laten adviseren door de materiaalleverancier (49%).



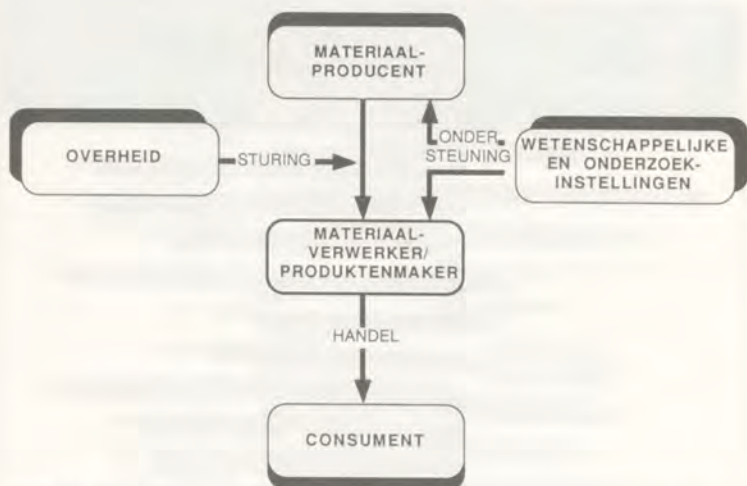
Afb. 2.2 Resultaten van onderzoek over kennis van verwerkingsprocessen bij ontwerpers [21].

Een wens werd veelvuldig door de ontwerpers geuit: vooral aan kunststofleveranciers wordt met klem verzocht de presentatie van hun informatie te standaardiseren. De groeiende vloed van handelsnamen maakt het de ontwerper steeds moeilijker een verantwoorde keuze te maken [21].

2.2 Beïnvloeding van de materiaalkeuze

Bij de keuze van materialen zijn er enkele partijen die elkaar beïnvloeden, namelijk de materiaalproducent, de produktmaker/materiaalverwerker en de consument. Daarnaast zijn er de wetenschappelijke en onderzoekinstellingen die ondersteunend kunnen optreden en is er de overheid die sturing kan geven. Een en ander is weergegeven in afb. 2.3.

Belangrijk is daarbij te weten hoe de beïnvloedingen plaatsvinden en vooral hoe de juiste of gewenste informatie op de juiste plaats komt. In de STT-studie nr 40 'Bedrijf, kennis en innovatie' [22] wordt uitvoerig ingegaan op de rol van ontwikkeling en beheer van kennis



Afb. 2.3 Beïnvloeding van de materiaalkeuze.

als strategisch element in het bedrijfsbeleid. Daarin wordt meer in het algemeen beschreven welke krachten er spelen of juist ontbreken bij de overdracht van informatie. In dit hoofdstuk wordt specifieker op dit onderwerp ingegaan en wel ten aanzien van de informatie over materialen.

De produktmaker/materiaalverwerker heeft te maken met de afnemer van het produkt, de consument, die kennelijk iets specificeert of vraagt wat tot een nieuwe materiaaltoepassing kan leiden. Maar aan de andere kant zijn er de materiaalproducenten die graag zien dat hun materialen worden toegepast.

Het is interessant te weten hoe de overheid deze processen kan beïnvloeden. De belangrijkste middelen daartoe zijn waarschijnlijk regelgeving en subsidieregelingen.

In de volgende paragrafen zal nader worden ingegaan op de manier waarop informatie over materialen haar weg vindt.

2.3 Gegevens van materialen

Karakterisering van gegevens

De hoeveelheid gegevens die over een eventueel toe te passen materiaal moet worden verzameld, kan sterk variëren, afhankelijk van het produkt. Naarmate het keuzep proces vordert, zijn in het algemeen steeds meer en verder gedetailleerde gegevens nodig over steeds minder materialen. Het is gebleken dat de keuze vaak op te weinig

gegevens wordt gebaseerd. In extreme gevallen beperkt men zich tot bijvoorbeeld treksterkte of rekgrens. Dit kan leiden tot de volgende historische gevallen:

Een inzetstaal werd in niet-gecarboneerde, niet-geharde toestand toegepast. Men was verbaasd over de optredende slijtage.

Een staal met hoog koolstofgehalte werd zonder enige voorzorg gelast. De brosse martensietstructuur leverde vervolgens tijdens het gebruik van het vervaardigde produkt zeer snel breuk op.

Om tot een goede materiaalkeuze te kunnen komen, moeten de vereiste eigenschappen worden vastgelegd die het materiaal tijdens het gebruik van het produkt moet hebben. In hoofdstuk 1 is hieraan al aandacht besteed. Deze gebruikseigenschappen zijn uiteraard gebaseerd op de omstandigheden waaronder het materiaal moet functioneren; die omstandigheden moeten dan ook zo nauwkeurig mogelijk worden vastgelegd. Dat kan meestal niet direct, maar tijdens de ontwerpactiviteiten ontstaat daarover geleidelijk meer duidelijkheid. Worden echter aspecten vergeten, dan kan dit leiden tot schade, zoals uit het volgende voorbeeld blijkt.

Een aardgasleiding scheurde binnen vier maanden na ingebruikneming in het deel direct na de gasinlaat. Het aardgas bleek vochtig te zijn en waterstofsulfide te bevatten, waardoor zich (behalve ijzersulfide) waterstofgas onder hoge druk in het staal vormde. Het staal scheurde daardoor van binnenuit. De schade concentreerde zich in het eerste deel van de pijp, omdat daar alle waterstofsulfide werd verbruikt.

Van belang is ook te onderkennen dat gebruiksomstandigheden voor (een onderdeel van) een produkt kunnen variëren naar tijd en plaats.

Een stilstaande straalmotor bevindt zich in andere omstandigheden dan een draaiende. Tijdens bedrijf kunnen de onderdelen worden aangetast door de hete gassen en zijn kruip en vermoeiing belangrijke aspecten; tijdens stilstand kan bijvoorbeeld corrosie optreden ten gevolge van gecondenseerde verbrandingsprodukten.

Het oppervlak van de tanden van tandwielen wordt anders belast dan het inwendige van de tanden. Er worden dan ook andere eisen gesteld aan het materiaal voor de kern dan aan het materiaal voor het oppervlak.

Per plaats verschillende gebruiksomstandigheden kunnen leiden tot de noodzaak van lokale aanpassing van het materiaal (bijvoorbeeld oppervlakteharding, verchromen).

Eigenschappen van materialen worden bepaald onder gestandaardiseerde

seerde omstandigheden (belasting, omgeving, proefstukafmetingen) die zijn vastgelegd in normen (NEN, DIN, ASTM) en die meestal niet overeenkomen met de omstandigheden waaronder het materiaal zal worden gebruikt.

De verkregen resultaten zijn uitstekend te gebruiken om materialen onderling te vergelijken, maar zijn slechts in veel beperktere mate bruikbaar in de ontwerpberekeningen.

De kerfslagproef belast een materiaal op een wijze die in de praktijk nauwelijks optreedt. Er zijn dan ook in de loop der tijd vele alternatieve proeven ontwikkeld om het brosse gedrag van materialen beter te kunnen bepalen, maar elke methode had weer andere nadelen. Soortgelijke overwegingen gelden voor hardheidsmetingen.

Overigens, vergelijken van materialen onderling levert soms ook problemen op: ten gevolge van het verschillende gedrag dat materialen uit de verschillende groepen (keramiek, metaal, kunststof, composiet, enz.) vertonen, zijn verschillende soorten proeven ontstaan. Daardoor wordt vergelijking op bepaalde eigenschappen van materialen uit verschillende groepen vaak onmogelijk.

Ook vergelijking binnen de groepen is soms onmogelijk, omdat gegevens niet beschikbaar zijn. De oorzaak is simpel: eigenschappen worden slechts bepaald voor zover daaraan behoefte is.

De sterkten van een veredelingsstaal bij diverse ontlaattemperaturen worden altijd opgegeven. De reflectiecoëfficiënt van het gepolijste oppervlak van een veredelingsstaal is echter niet te vinden.

Voor nieuwe materialen zijn vaak nog onvoldoende gegevens bekend. Gaat het dan ook nog om materialen die een totaal andere ontwerpbenadering vragen, zoals composietmaterialen en vormgeheugenmaterialen, dan is bij producent of onderzoeker vaak ook niet bekend in welke soort gegevens de ontwerper geïnteresseerd is. Overleg is in zo'n geval op zijn plaats. Soortgelijke overwegingen gelden wanneer de constructeur wil overstappen van metaal op kunststof.

Alhoewel een materiaal vaak als onveranderlijk, homogeen en isotroop wordt beschouwd, is dit geenszins het geval: de eigenschappen van een materiaal worden bepaald door enkele karakteristieke grootheden: chemische samenstelling, structuur, textuur en inwendige spanningstoestand. Deze vertonen per produktielading van het materiaal, maar ook per plaats, afwijkingen, waardoor eigenschappen een statistisch karakter krijgen. Het kan van belang zijn hiermee rekening te houden.

Een fabriek koopt steeds een complete charge van een staal om de variatie in

vormverandering tijdens het harden van tandwielen die uit dat staal vervaardigd zijn, zo klein mogelijk te houden. De optredende vormverandering wordt verrekend in de dimensionering van het tandwiel, zodat nabewerking minimaal blijft. Dit is uiteraard alleen mogelijk voor zeer grote series.

Eigenschappen kunnen in de tijd veranderen doordat de karakteristieke grootheden veranderen. Slechts zeer weinig materialen bevinden zich in thermodynamisch evenwicht, maar alle materialen streven ernaar dat evenwicht te bereiken. Speciaal de temperatuur heeft daarop grote invloed. Deze beïnvloedt de beweeglijkheid van atomen en daarmee de snelheid waarmee processen zich in het materiaal afspelen. Het gaat hierbij overigens niet zozeer om de temperatuur zelf, als wel om de verhouding ervan tot de smeltemperatuur (absoluut).

Kruip in metalen treedt in het algemeen op bij temperaturen boven de helft van de absolute smeltemperatuur. Voor veel thermoplasten is kamertemperatuur al een hoge temperatuur, resulterend in visco-elastisch en visceus gedrag. Andere voorbeelden zijn de veranderingen die optreden bij het temperen van martensitisch staal en bij het oververedeld raken van precipitatiegeharde legeringen.

Produktiemethoden kunnen de eigenschappen van het materiaal, en dus van het eindprodukt, beïnvloeden. Bij primaire vormgevingstechnieken zoals spuitgieten van metalen spelen onder andere het gericht stollen, de resulterende korrelgrootte en segregatieverschijnselen een rol. Bij thermoplasten kan door snelle afkoeling sterke anisotropie optreden omdat de macromoleculen min of meer in het stromingspatroon worden vastgevroren.

Bij produktiemethoden zoals vervormen en warmtebehandeling van halfprodukten veranderen de eigenschappen van het uitgangsmateriaal meestal sterk. Dit leidt ertoe dat de keuze van het materiaal, de eigenschappen die het halfprodukt moet bezitten en de verwerkingsgang in nauwe samenhang moeten worden bezien. De materiaalkundige kan veel processen in het materiaal, die tijdens productie of gebruik van het produkt kunnen optreden, kwalitatief voorspellen. Aandacht hiervoor kan leiden tot een betere materiaalkeuze en vermindering van het aantal nodige proeven.

Beschikbaarheid van materialen omvat aspecten als leveranciers, levertijd, vorm en afmetingen, en kosten. De mogelijkheid een materiaal te kunnen leveren is uiteraard afhankelijk van de beschikbaarheid van grondstoffen, die soms zeer specifiek zijn (zoals chroom voor de corrosievastheid van staal). Wanneer belangrijke grondstoffen of legeringselementen uit politiek instabiele landen moeten

komen, kan dat levering onzeker maken. Sommige landen leggen dan ook voorraden aan van belangrijke grondstoffen.

Omdat materialen soms geleidelijk van de markt verdwijnen en leveranciers soms plotseling verdwijnen of hun assortiment wijzigen, is het van belang te beschikken over alternatieven op beide fronten.

Beslissingen worden meestal genomen op basis van kosten. De financiële consequenties moeten worden vergeleken met die van alternatieve oplossingen (ander materiaal en/of andere produktiemethode) die in veel gevallen mogelijk zijn. Het materiaal (+ produktiemethode) dat het beste voldoet, levert de hoogste prestatie/kosten verhouding. Voor prestatie wordt dan ingevuld in hoeverre het materiaal tegemoet komt aan de wensen, en voor kosten de kostprijs van het produkt. De materiaalkosten alleen geven onvoldoende informatie, immers de keuze voor een bepaald materiaal kan leiden tot investeringen in apparatuur en mankracht, of tot uitbesteding van bepaalde bewerkingen. Het is wel zo dat naarmate de series van de produkten groter worden, de materiaalkosten een belangrijker deel van de totale kosten vormen, tenminste wanneer op de bij grotere series passende produktiemethoden wordt overgestapt.

In het voorgaande zijn enkele aspecten genoemd die bij de keuze van een materiaal een rol kunnen spelen. In de toekomst zullen steeds hogere eisen worden gesteld aan de produkten en dientengevolge aan het materiaal waarvan ze zijn gemaakt. Bij het keuzeproses zullen vooral de materiaalkundige kanten, zowel met betrekking tot de verwerking als de gebruikssituatie daarna, steeds belangrijker worden. Hiervoor zal het nog vaak nodig zijn een prototype te maken en dit grondig te beproeven.

Waar zijn de gegevens te vinden?

Gegevens van materialen, hun eigenschappen en verwerkingsmogelijkheden zijn in zo grote hoeveelheid aanwezig dat het moeilijk is daarin een weg te vinden. De soort gegevens loopt bovendien uiteen van zeer algemeen tot zeer specifiek. In hoeverre het nodig is veel en gedetailleerde gegevens te verkrijgen, is afhankelijk van het probleem. In veel gevallen, ook al dankzij het kwistig gebruik van veiligheidsfactoren, kan men volstaan met een globale keuze. Wanneer het er werkelijk op aan komt – en dat zal in de toekomst steeds vaker het geval zijn – dan zullen veel verder gedetailleerde gegevens moeten worden bestudeerd en in relatie met het keuzeprobleem moeten worden beoordeeld.

Het is aan te bevelen niet blind te varen op adviezen van anderen, maar zelf een beeld op te bouwen van de in aanmerking komende

materialen, hun eigenschappen en mogelijkheden ten aanzien van de toepassing.

Enkele bronnen van informatie zijn hieronder kort omschreven.

Leveranciers

Contacten met leveranciers vormen een belangrijke bron van gegevens bij de materiaalkeuze. Deze kan worden aangeboord door gesprekken met vertegenwoordigers of door brochures op te vragen. Leveranciers zijn er mee gebaat dat de verwerkers van hun materialen deze zo goed mogelijk gebruiken. Een waarheidsgetrouwe en zo correct mogelijke informatie is derhalve van levensbelang. Desondanks variëren brochures en catalogi van leveranciers sterk in het gehalte aan nuttige gegevens. Vaak beperken ze zich tot de voor het materiaal belangrijkste aspecten ten aanzien van eigenschappen, verwerkbaarheid en eventueel toe te passen warmtebehandelingen. Negatieve aspecten of verwijzingen naar negatieve resultaten van onderzoek of ervaringen van anderen komen daarin zelden voor.

Het gemakkelijk verkrijgbaar zijn van een materiaal is belangrijk, maar betekent niet dat men zich moet beperken tot de leverancier om de hoek. Hij heeft maar een beperkt leveringsprogramma. Leveranciers specialiseren zich bovendien soms (bijv. alleen roestvast staal), zodat kiezen op grond van hun documentatie alleen te beperkt is.

Leveranciers van materialen zijn te vinden in het ABC voor handel en industrie [23]. Ook in het buitenland kan materiaal worden besteld zonder dat dat veel problemen hoeft op te leveren.

De hulp van leveranciers kan verder gaan dan het verschaffen van informatie. Vooral wanneer een leverancier mogelijkheden ziet zijn materialen ingevoerd te krijgen, zal hij bereid zijn zich te verplaatsen in de problemen van de verwerker, zo nodig service bieden in de vorm van 'construeren in het materiaal' en adviezen geven op het gebied van verwerkbaarheid. Sommige leveranciers beschikken over laboratoria waar, behalve de materiaaleigenschappen, prototypen van toepassingen in het materiaal kunnen worden beproefd. Een belangrijk aspect van het meedenken is ook het uitproberen van matrijzen en het maken van een proefproductie.

Dat sommige kunststofleveranciers zich zo geëngageerd opstellen is een gevolg van het feit dat in het verleden veel fouten zijn gemaakt bij de toepassing en verwerking van deze materialen. Daardoor werd het imago van zowel de kunststof als de leverancier geschaad.

Boeken en tijdschriftartikelen

Deze informatiebronnen zijn te vinden in de bibliotheken van onder andere de technische universiteiten; zij zijn in het algemeen ter plekke te raadplegen. Voorbeelden van algemene overzichten van groepen van materialen zijn te vinden in [24][25][26] en in uitgebreidere vorm in

[27][28][29][30]. Ook over speciale onderwerpen worden veel gegevens bijeengebracht, bijvoorbeeld over corrosie [31]. Uitgewerkte schadegevallen kunnen zeer verhelderend werken bijvoorbeeld op het gebied van metalen [32].

Tijdschriften voor constructeurs geven vaak overzichtsartikelen over (groepen van) materialen en hun eigenschappen; tijdschriften met een meer 'materiaalkundig' karakter kunnen zeer gedetailleerde informatie bevatten van het gedrag van materialen onder bepaalde omstandigheden.

Een probleem bij het raadplegen van literatuur kan zijn dat de opgegeven eigenschappen behoren bij materialen die onder handelsnamen worden vermeld, of onder de in een ander land geldende norm, die niet altijd volledig wordt gedekt door een Nederlandse norm. Normenvergelijkingen komen voor in [27][28]. Handelsnamen zijn gerubriceerd voor metalen [33][34] en deels voor kunststoffen [35].

Geautomatiseerde gegevensbanken

Behalve in bibliografische bestanden die verwijzen naar artikelen in wetenschappelijke tijdschriften en naar boeken, rapporten en octrooien, komt ook steeds meer informatie over materialen beschikbaar met direct toepasbare gegevens in een voor de computer leesbare vorm. De mogelijkheden die de computer biedt, kunnen dienen om de constructeur een eerste indruk van mogelijkheden te geven. De uitdraai van de computer kan echter een zodanige indruk van zekerheid geven, dat de constructeur te weinig relateert en niet aan andere mogelijkheden denkt.

In bijlage I is een overzicht gegeven van een aantal belangrijke gegevensbanken. Die lijst is zeker niet compleet, maar beoogt een indruk te geven van wat publiek beschikbaar is aan technische en marktgegevens over constructiematerialen [36][37][38].

Instituten

Bekende instituten zoals TNO en de onlangs opgerichte Stichting Geavanceerde Metaalkunde die zich speciaal op het midden- en kleinbedrijf richten, kunnen adviezen en hulp bieden bij het oplossen van materiaalkeuze problemen. Wanneer een produkt niet goed blijkt te voldoen en voortijdig faalt, zal eerst de oorzaak van de schade moeten worden vastgesteld voordat naar verbeteringen kan worden gezocht. Ook hierbij kunnen deze instituten worden ingeschakeld. Zij werken uiteraard niet kosteloos.

Aan de universiteiten wordt onderzoek gedaan aan allerlei aspecten van materialen en produkten. Soms betreft het bepaalde be- en verwerkingstechnieken, soms bijzondere eigenschappen van (een bepaalde groep) materialen; soms wordt juist het verband tussen materiaaleigenschappen en de materiaalstructuur onderzocht. De

resultaten van zulk onderzoek, zowel in binnen- als buitenland, verschijnen in tijdschriften. Voor specifieke problemen op hun terrein van onderzoek kunnen de onderzoeksgroepen adviezen geven. In het kader van de maatschappelijke dienstverlening worden soms ook schadegevallen onderzocht [32].

Vakbeurzen

Behalve de hiervoor vermelde bronnen als leveranciers, boeken en tijdschriften, geautomatiseerde gegevensbestanden en instituten vormen de vakbeurzen een belangrijke informatiebron. Daar worden de nieuwste materialen voorgesteld door middel van drukwerk en presentaties. Op vakbeurzen krijgt de geïnteresseerde in het bijzonder voorlichting over de vele mogelijkheden die materialen bieden. Uiteraard zijn ook advertenties een belangrijke informatiebron voor de constructeur.

Naar een beperkt assortiment

Het kiezen van een materiaal uit de talrijke bronnen is geen eenvoudige zaak. Redenen hiervoor kunnen o.a. zijn:

- materiaalgegevens zijn teveel verspreid
- de gebruikte terminologie is niet eenduidig
- onbekendheid met buitenlandse benamingen van eigenschappen en bewerkingen
- verschil in keuringsmethoden, c.q. eenheden bemoeilijkt het vergelijken van waarden van eigenschappen
- onzekerheid over betrouwbaarheid en ouderdom van de gegevens
- de aanduiding van een materiaal kan per land en leverancier verschillend zijn
- gegevens over technologische eigenschappen ontbreken doorgaans
- gebruiker kent grootheden, eigenschappen en hun beïnvloedbaarheid niet.

Kort samengevat betekent dit dat het verkrijgen van de nodige gegevens te moeilijk is en/of te veel tijd kost.

Ondanks de grote hoeveelheid materiaalgegevens die ter beschikking staat, zal men daarom veelal kiezen uit een klein en bekend assortiment.

Ook het feit dat een bedrijf om praktische redenen vaak slechts een klein aantal materialen in voorraad houdt, leidt snel tot beperkingen bij de keuze. Op zich is dat niet erg, zolang het assortiment bewust is gebaseerd op het produktenpakket en zolang het oog open blijft voor materialen die niet in het assortiment zijn opgenomen.

Wanneer een bedrijf een eigen voorkeursassortiment wil opstellen, dan zijn de belangrijkste aspecten die de samenstelling van het assortiment bepalen:

- de te maken produkten
- verkrijgbaarheid en prijs van de materialen
- graad van internationale, c.q. nationale normalisatie
- de mogelijkheden voor hergebruik.

N.B. Het kiezen van materialen voor zeer specifieke toepassingen kan beter aan materiaalexperts worden overgelaten.

Het assortiment zou de volgende materiaalgroepen kunnen bevatten: metalen, kunststoffen en rubber, glas en keramiek, composietmaterialen, hout, lijmen, organische coatings (verf e.d.) en eventueel smeermiddelen en metaalbewerkingsvloeistoffen.

Uitgaande van de veronderstelling dat niet alleen constructeurs, maar ook inkopers, keuringsinstanties, werkvoorbereiders en materiaalbewerkingsinstanties over de materiaalgegevens moeten kunnen beschikken, zijn de volgende gegevens van belang:

- materiaaltypering (technische benaming, vergelijkbare benaming in andere landen, handelsnamen, leveranciers)
- toepassingsgebieden
- aanbevolen vormen en afmetingen
- eigenschappen (mechanische, fysische, chemische, technologische)
- samenstelling en structuur en de mogelijkheden deze te beïnvloeden
- oppervlaktegesteldheid
- prijsindicatie.

Het opstellen van een beperkt voorkeursassortiment zoals dat hierboven is omschreven, biedt als voordelen:

- snellere en goedkopere produktontwikkeling
- kostenbesparing door gebruik van genormaliseerde materialen
- eenduidige communicatie over materialen
- mogelijkheden voor innovatie door makkelijke keuze uit breder assortiment.

Het is denkbaar dat een dergelijk assortiment op grotere schaal, bijvoorbeeld per bedrijfstak, wordt opgesteld. In dat geval zullen materiaalleveranciers op wat langere termijn rekening gaan houden met het assortiment, hetgeen prijsverlagend zal werken.

Opslaan en terugzoeken van gegevens

Bijgezochte gegevens bestaan vaak uit fotokopieën van tijdschrift-artikelen, brochures van leveranciers, (delen van) boeken, eigen notities e.d.. Opslag van deze gegevens kan op diverse manieren gebeuren.

De snelste methode voor opslag en terugvinden is alle gegevens per materiaal bij elkaar op te bergen. Vaak echter bevat bijvoorbeeld een boek gegevens over meer dan één materiaal, zodat deze methode niet consequent kan worden doorgevoerd zonder gegevens in meervoud aan te schaffen. Men kan dan een kaartsysteem maken waarop de eigenschappen of de materialen door middel van trefwoorden zijn gegeven, en waarbij de kaart vervolgens verwijst naar de betreffende boeken, brochures, enz.

Het geven van de trefwoorden is moeilijk, omdat het aantal beperkt moet worden gehouden voor de overzichtelijkheid. Het is zelden mogelijk alle gegevens uit een artikel of boek in trefwoorden te vangen. Wanneer een dergelijk systeem wordt overwogen, is het overigens verstandig dat direct in de computer in te voeren, omdat zo'n bestand dan eenvoudig is te wijzigen en uit te breiden en terugzoeken snel gaat.

Het probleem van de trefwoorden blijft daarbij natuurlijk bestaan. Overweegt men de eigenschappen van de materialen in getalvorm in de computer op te slaan, dan is het van belang dat tevoren een aantal zaken duidelijk wordt vastgelegd, zoals:

- welke eigenschappen met welke benaming
- te gebruiken eenheden
- wijze van waardering van niet-kwantificeerbare eigenschappen (technologische eigenschappen)
- welke vormen (halffabrikaten)
- wijze van vermelding van de materiaalaanduidingen
- wijze van vermelding van de leveringstoestand
- vermelding van de waarden van de eigenschappen (ook grenswaarden voor de keuringsinstanties) onder diverse condities (bijv. temperatuur)
- relatie tussen waarden en keuringsmethoden.

Bij deze wijze van opslaan van gegevens dient men zich te realiseren dat het niet opnemen van bepaalde, soms niet zo relevante eigenschappen tot gevolg heeft dat materialen dan niet kunnen worden gevonden indien op dergelijke eigenschappen wordt geselecteerd. Hetzelfde geldt voor niet-ingevulde richtwaarden.

2.4. Nationale gegevensbank voor materialen

Zoals in 2.3 naar voren komt, is een goede toegankelijkheid van materiaalgegevens essentieel om tot een bewuster gebruik van materialen te komen. Ook is aangegeven welke bronnen er zijn en op welke manier men een assortiment kan opzetten.

In deze paragraaf wordt een meer structurele aanpak bepleit, namelijk de opzet van een goed toegankelijke openbare nationale gegevensbank.

Het is van belang dat daarin alle belangrijke gegevens van constructiematerialen zijn verenigd (dus niet alleen metalen, legeringen, plastics, composieten, maar ook houtsoorten, glas, rubber e.d.) zodat de constructeur ook wordt geconfronteerd met andere materialen dan de voor hem gebruikelijke.

Bij de opzet van een dergelijk nationaal gegevensbestand is het zinvol dit te splitsen in vier delen, namelijk constructiematerialen, coatings, lijmstoffen en smeermiddelen en metaalbewerkingsvloeistoffen. Het spreekt vanzelf dat deze delen aan elkaar gekoppeld moeten zijn.

Het onderdeel constructiematerialen zou minstens de volgende elementen moeten bevatten:

- corrosie- en chemische bestandheid; hierin op te nemen tegen welke chemische stoffen het materiaal bestand is (ook: droge lucht, buitenlucht, zoetwater, zeewater) en een indicatie hoe deze bestandheid in bepaalde omstandigheden is te verbeteren;
- fysische eigenschappen, zoals smeltpunt, elasticiteitsmodulus, elektrische geleidbaarheid, thermische geleidingscoëfficiënt, uitzettingscoëfficiënt, kleur en soortelijke massa;
- mechanische eigenschappen, zoals treksterkte, rekgrens, breukrek, hardheid, kerfslagwaarde, scheurtaaiheid, krimpsterkte, vermoeiingssterkte, temperatuurafhankelijkheid, structuur en indicatie over voorbehandelingen;
- be- en verwerkbaarheid door lassen, verspanen, gieten, extruderen, lijmen, verven, enz.;
- verkrijgbaarheid; plaat, balk, pijp, granulaat, enz., de prijs per kilogram, de leverancier(s) en contactadressen voor nadere gegevens;
- toepassingsgebied; een hulptabel zou de gebruiker kunnen inlichten over de hoofdgebieden van toepassing zoals: grote constructies, kleine constructies, vaten, pijpen, machines, kleine apparaten, consumentenartikelen, verpakkingen, medisch gebruik, hoge temperaturen, elektronica, enz.;
- milieu-etikettering; gegevens over energiegebruik en invloed op de omgeving tijdens productie, gebruik en afvalfase en de hergebruiksmogelijkheden van het materiaal.

Een computer gegevensbank heeft het voordeel dat de gebruiker een selectie uit het bestand kan vragen ('Welk materiaal is bestand tegen buitenlucht, heeft een treksterkte van x en is verkrijgbaar in plaat en is goedkoper dan y '). Van belang is dat alleen materialen worden opgenomen die goed verkrijgbaar zijn.

Om een dergelijke nationale gegevensbank goed tot stand te brengen, is het nodig dat één instantie als voortrekker en administratief centrum fungeert (dit kan een reeds bestaande organisatie zijn), een groep deskundigen zorgt voor een goed ontwerp en een goed systeem, de materiaalleveranciers hun medewerking verlenen, een groep zorgt voor het natrekken van de betrouwbaarheid van leveranciersgegevens, of indien dit in de praktijk niet haalbaar blijkt, dat ten minste de bron van die gegevens duidelijk wordt aangegeven en dat een instantie voor de distributie zorgt.

Voor het beheer van deze nationale gegevensbank kan worden gedacht aan de volgende opbouw:

Een beleidscommissie, waarin vertegenwoordigers van de overheid, gebruikers, onderzoekinstellingen, onderwijs, normalisatie, en de exploitant/uitgever.

Een stuurgroep, met daarin materiaaldeskundigen (voorzitters van specifieke werkgroepen), een informaticadeskundige, een normalisator en de beheerder van de gegevensbank.

Werkgroepen, met daarin materiaaldeskundigen op specifiek gebieden en de beheerder van de gegevensbank.

De verantwoordelijkheid voor het totale project komt in deze opzet te liggen bij de beleidscommissie. In de opbouwfase worden de verantwoordelijkheden (deels) gedelegeerd aan:

- de stuurgroep, voor de systeemkeuze en de vaststelling van geveuselementen
- de werkgroepen, voor de vaststelling van de waarden
- de beheerder, voor de invoering van de gegevens
- de exploitant, voor de voorlichting aan de gebruikers.

Het onderhoud van het systeem gebeurt daarna door de beheerder van de nationale gegevensbank in overleg met de stuurgroep en de werkgroepen. Het ter beschikking stellen van het systeem aan de gebruiker geschiedt door de exploitant.

N.B. Als bestaande organisaties die als voortrekker zouden kunnen dienen, kunnen worden genoemd:

- FME, Vereniging voor de Metaal- en de Elektrotechnische Industrie

- NFK, Nederlandse Federatie voor Kunststoffen
- SSN, Stichting Staalcentrum Nederland
- NNI, Nederlands Normalisatie Instituut
- NAP, Nederlandse Apparaten voor de Procesindustrie
- BvM, Bond voor Materialenkennis.

Al deze organisaties hebben voor- en nadelen.

Ook kan worden gedacht aan een moderne uitgeverij.

3. Praktijkvoorbeelden van nieuwe toepassingen

'The expert said it could not be done. The poor fool, who did not know this, simply did it'.

In 1.4 is aangegeven welke rol materialen spelen bij het ontwerp van een produkt. Als belangrijk element werd daar de integratie van de produktfactoren materiaal-fabricage-ontwerp naar voren gehaald waarbij de markt centraal staat (afb. 1.3 en afb. 1.4).

Als tweede belangrijk element werd in 1.4 gewezen op het belang van dwarsverbanden tussen de verschillende bedrijfstakken (afb. 1.5). Immers vaak scheppen ontwikkelingen in de ene bedrijfstak nieuwe mogelijkheden voor een andere.

In dit hoofdstuk worden 25 concrete voorbeelden gegeven waar de nieuwe toepassing van één of meer materialen een essentiële rol heeft gespeeld in de ontwikkeling van een produkt. Hierin is een enkel voorbeeld opgenomen waar juist na onderzoek bleek dat een nieuwe toepassing minder goed voldeed dan de gebruikelijke.

De voorbeelden zijn gekozen uit een aantal industrietakken waar veel materialen voor mechanisch-constructieve toepassingen worden gebruikt. Deze industrietakken zijn gerangschikt in volgorde van de relatieve kosten die aan onderzoek en ontwikkeling worden besteed [39]. Tabel 3.1 geeft een overzicht van deze industrietakken, de R & D-kosten als percentage van de omzet (R & D-index) en de nummers van de voorbeelden.

Tabel 3.1 Overzicht van industrietakken, R & D-index en nummers van de voorbeelden.

Industrietak	R & D-index	Nr. voorbeeld
Lucht- en ruimtevaart	3,2%	1, 2, 3
Defensie	onbekend	4
Medische techniek	onbekend	5, 6, 7
Communicatie	3,0%	8, 9, 10
Auto-industrie	2,7%	11, 12, 13, 14
Sportartikelen en vrije tijd	1,7%	15, 16, 17
Consumenten- en huishoudelijke artikelen	1,2%	18, 19, 20, 21
Producten voor de bouw	1,2%	22, 23, 24, 25

In de bedrijfstakken met een hoge R & D-index zal in het algemeen het materiaal speciaal voor de betreffende toepassing worden ontwikkeld, immers daar wegen de hoge ontwikkelingskosten op tegen de latere besparingen (bijvoorbeeld brandstof bij lucht- en ruimtevaart). De industrietakken met een lagere R & D-index kunnen, als zij via de dwarsverbanden (afb. 1.5) op de hoogte raken van deze ontwikkelingen, vaak deze speciaal ontwikkelde materialen in hun eigen tak toepassen.

In dit hoofdstuk komt ook deze beide aspecten in diverse voorbeelden naar voren.

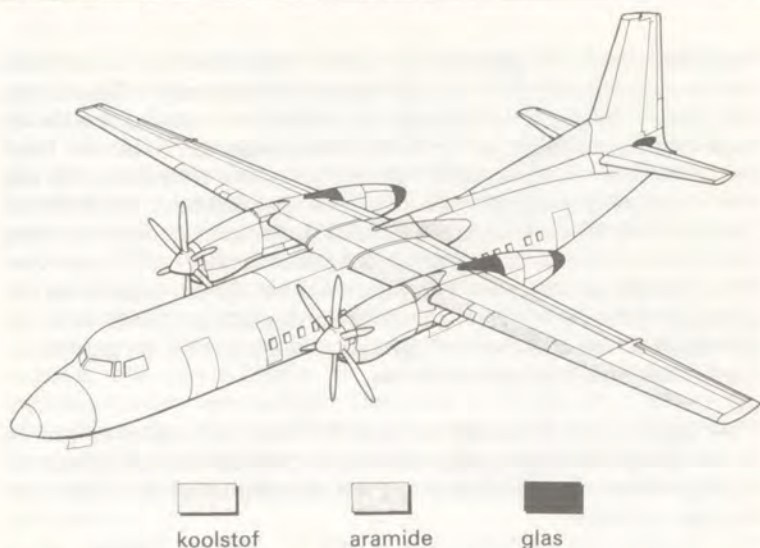
3.1 Vleugel-rompvloeistukken voor vliegtuigen

De overgang van de vleugel naar de romp van vliegtuigen (en ook die van de staartvlakken naar de romp) dient vloeiend te verlopen om de luchtweerstand tot een minimum te beperken. Deze onderdelen, vloeistukken genaamd, hebben dubbelgekromde oppervlakken en zijn ingewikkeld van vorm, vooral aan de achterzijde van de vleugel. Wanneer deze onderdelen in metaal worden uitgevoerd, moeten zij uit diverse voorgevormde plaatdelen worden samengesteld. Dit is arbeidsintensief. Vloeistukken zijn dus relatief duur hoewel ze, constructief gezien, weinig belangrijk zijn.

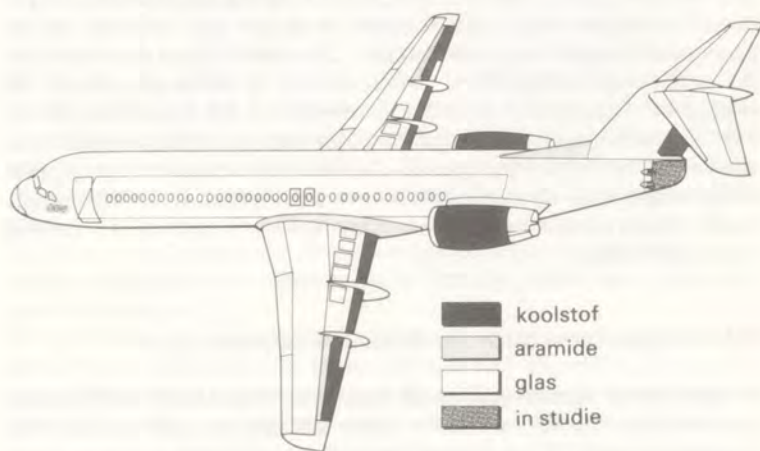
Toen omstreeks 1950 de relatief sterke en stijve glasvezels in de vorm van weefsels en de gemakkelijk te verwerken polyester kunstharsen commercieel verkrijgbaar werden, beschikte men over een constructiemateriaal waarmee ingewikkelde dubbelgekromde plaatvormen goedkoop en met eenvoudige gereedschappen konden worden geproduceerd.

De vleugel-rompvloeistukken van de serie-uitvoering van de S-14 Mach Trainer (waarvan er 20 stuks zijn gebouwd) waren de eerste vliegtuigonderdelen die door Fokker in het glasvezel-polyester composietmateriaal werden vervaardigd. In het achterste vloeistuk van de vleugel-rompovergang werd het aantal onderdelen gereduceerd van 25 naar 2 en het aantal klinknagels zelfs van 581 naar 2. Op die manier werd de produktietijd ingekort tot éénvijfde van de tijd die nodig was voor fabricage van de oorspronkelijke lichtmetalen uitvoering.

De gunstige ervaringen met de S-14-vloeistukken hadden tot gevolg dat de vloeistukken en andere dubbelgekromde delen van achtereenvolgens de F-27, de F-28, de F-50 (afb. 3.1) en de F-100 (afb. 3.2) in vezelversterkte composietmaterialen werden uitgevoerd. Er werd niet alleen gestreefd naar verlaging van de produktiekosten, maar ook naar besparingen op het constructiegewicht. Als gevolg van de verdere materiaalontwikkelingen vond ook een modernisering plaats van de constructieve vormgeving.



Afb. 3.1 Compositonderdelen in F-50.



Afb. 3.2 Compositonderdelen in F-100.

De vloeistukken voor de S-14 en de F-27 werden vervaardigd uit glasweefsel dat in mallen werd geïmpregneerd met vloeibare en bij kamertemperatuur hardende polyesterhars (de 'wet lay up'-methode). De constructie bestond uit een huidplaat (laminaat) die verstijfd werd met opgelijmde ribben en verstijvers, die afzonderlijk als composietonderdelen waren gemaakt.

Voor de productie van de F-28-vloeistukken werd gebruik gemaakt

van glasweefsels die geleverd werden in voor-geïmpregneerde vorm met warmhardende (125 °C) epoxyhars (de 'prepregs'). Toepassing van epoxy prepregs resulteerde in laminaten met een betere en consistentere kwaliteit en een betere beheersing van de massa. Door het uitharden van de prepreg-hars op verhoogde temperatuur in een oven of autoclaaf werden ook de produktietijden beter beheersbaar. Voor de F-28-vloeistukken, ook de sterk dubbelgekromde delen, werd de stijve en toch lichte sandwichconstructie met een aluminium honingraatkern toegepast. Hiermee werd het aantal onderdelen per produkt, dat in de S-14 en F-27 composietvloeistukken reeds sterk was gereduceerd ten opzichte van een metalen uitvoering, teruggebracht tot het absolute minimum van één.

Voor de sandwichvloeistukken van de F-50 en F-100 zijn de glasvezels in de epoxy-weefselprepregs vervangen door de lichtere en stijvere aramidevezels, waardoor de massa van de composietdelen verder kon worden verlaagd.

De gondelbeplating van de motoren van de F-50 en F-100 kan ook als een stel vloeistukken worden beschouwd, zij het dat grotere stijfheid en temperatuurbestandheid worden verlangd dan voor de eerder genoemde vleugel-rompvloeistukken. Daarom wordt in de motorgondel een composietmateriaal toegepast dat is samengesteld uit de relatief dure, maar zeer stijve koolstofvezels in een epoxyhars die bij 175 °C wordt uitgehard. De dubbelgekromde gondelbeplating is ook als sandwichconstructie uitgevoerd. Echter, de aluminium honingraat is vervangen door de kunststof Nomex honingraat. Deze wijziging is nodig omdat aluminium in contact met koolstofvezels in een vochtig milieu corrodeert.

3.2 Huidpanelen voor de Ariane 4 lanceerraket

In de lucht- en ruimtevaart wordt voortdurend gestreefd naar lichtere constructies. Op die manier worden de operationele kosten van vliegtuigen verlaagd en kunnen zwaardere satellieten worden gelanceerd.

De geavanceerde met koolstofvezel versterkte composietmaterialen bezitten de sterkte en stijfheid die nodig zijn om bij primaire constructiedelen (bijvoorbeeld dragende huidpanelen van vliegtuigen) een gewichtsbesparing van ongeveer 20% te bereiken ten opzichte van constructies van aluminiumlegeringen.

Om deze met koolstofvezel versterkte composietmaterialen op uitgebreide schaal te kunnen gaan toepassen in primaire constructiedelen

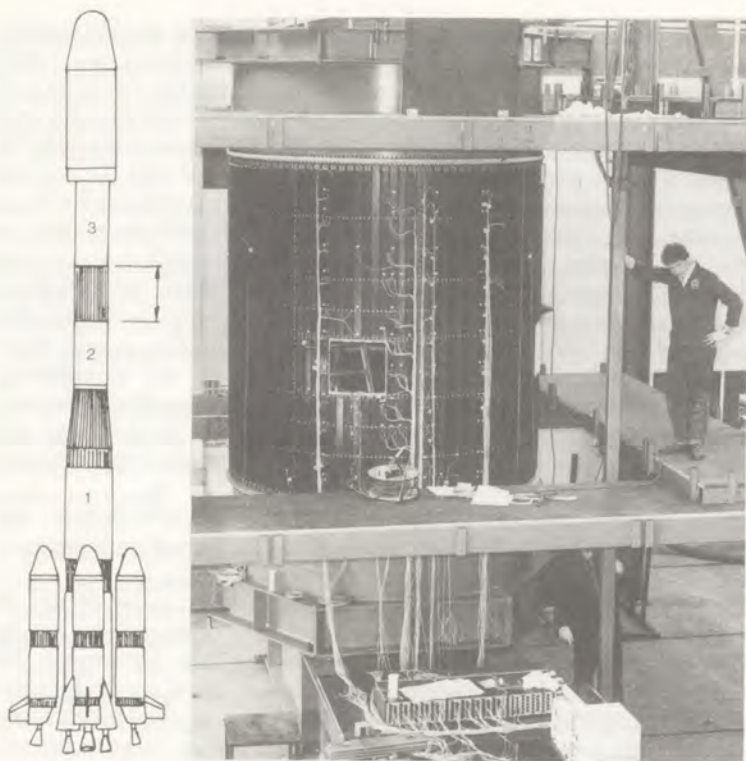
van een Fokker vliegtuigontwerp in de jaren negentig, werd begonnen met de ontwikkeling van een concept voor huidpanelen van staartvlakken. Bij deze ontwikkeling speelde vooral het kostenaspect een grote rol omdat in principe de composietconstructie niet duurder mag zijn dan een traditionele metalen uitvoering. De materiaalkosten van koolstofvezel composieten bedragen een veelvoud van die van de conventionele metalen. Dit betekent dat voor een composietconstructie er bij gelijke kostprijs minder produktiekosten toelaatbaar zijn dan bij een uitvoering in metaal. Dit kan alleen door gebruik te maken van de mogelijkheden die composietmaterialen bieden om integrale constructies te fabriceren. Dat wil zeggen dat de complete constructie, inclusief alle versterkingen en verstijvingen, in één proces moet kunnen worden vervaardigd. Daarvoor is nodig dat vormgeving, fabricagemethode en gereedschappen goed op elkaar zijn afgestemd. De evaluatie van de beschouwde oplossingen voor huidpanelen van het staartvlak wees uit dat het zogenaamde bladverstijfd paneel optimaal is.

Deze panelen worden in één proces gemaakt met behulp van U-vormige mallen die de bladverstijvers van het paneel ondersteunen tijdens de uitharding van de epoxy kunsthars.

Bij de ontwikkeling van de Ariane 4 kreeg Fokker onder andere de opdracht de zogenaamde 2-3 inter-etage (een constructie die de tweede en de derde trap met elkaar koppelt) te ontwerpen. De ontwikkeling van het bladverstijfd composietpaneel was toen zover gevorderd dat het in het ontwerp van de inter-etage werd gebruikt om een lichtere constructie te krijgen. Massabesparing is voor ruimtevaartconstructies minstens zo belangrijk als voor vliegtuigconstructies.

In afb. 3.3 is de lokatie van de inter-etage aangegeven; op de foto is de eerste samengebouwde constructie te zien die gereed wordt gemaakt voor belastingproeven.

De constructie is 2,75 m hoog en 2,60 m in diameter en samengesteld uit acht composietpanelen (waarvan drie met inspectie-openingen), twee lichtmetalen eindringen voor koppeling met de aangrenzende raketconstructies en vormspanten om de cylinderconstructie te steunen tegen knik. Ieder composietpaneel wordt integraal met de versterkingen voor aansluitende delen (eindringen) en rondom de inspectie-openingen in één autoclaafcyclus geproduceerd. De massa van de complete inter-etageconstructie bedraagt 210 kg, waarvan ongeveer 130 kg aan composietpanelen. Een volledige metalen uitvoering zou ongeveer 260 kg zijn gaan wegen. Wanneer men beseft dat de massa van de metalen eindringen en spanten voor beide uitvoeringen gelijk blijft (80 kg), dan is er dankzij de toepassing van composietpanelen een reductie van de massa bereikt van ongeveer 20% voor de complete inter-etage.



Afb. 3.3 Ariane 4 met lokatie 2-3 inter-etage en opstelling voor kwalificatiebeproeving.

3.3 Antennes voor satellieten

Het 'Space Science Department' van de Europese ruimtevaartorganisatie ESA/ESTEC heeft deelgenomen aan het Frans-Russisch samenwerkingsprogramma Venus-Halley met een experiment om geïoniseerd gas van de komeet te meten. Aan het 'Centre National d'Etudes Spatiales' werden twee instrumenten geleverd, ieder bestaande uit twee antennes plus elektronica.

Deze instrumenten werden gemonteerd op twee satellieten die in december 1984 door Intercosmos werden gelanceerd. De satellieten bereikten in juni 1985 de planeet Venus. Daar werden zij in een zodanige baan gebracht dat zij in maart 1986 de kern van de komeet Halley op een afstand van 10.000 km, resp. 5.000 km passeerden.

Op iedere satelliet waren de twee antennes gemonteerd aan de achterzijde van de zonnepanelen. Deze antennes moesten voldoen



Afb. 3.4 Met koolstofvezel versterkte composietantenne voor de Venus-Halley missie.

aan zeer stringente eisen betreffende massa, stijfheid, sterkte, elektrische geleidbaarheid, uitgassing enz. bij de relatief hoge en lage temperaturen die in de ruimte voorkomen. Composietmateriaal uit met vezel versterkte kunststof bleek het best aan deze eisen te kunnen voldoen. Het mechanische deel van de antenne is opgebouwd uit een conische buis met een cilindrisch kopeinde van koolstofvezel-epoxyhars, waaraan de metalen onderdelen, zoals een holle bol, de dwarsstang en de scharnierende montagevoet zijn verlijmd.

De ongeveer twintig composietantennes die voor het totale project

nodig waren, zijn door het Kunststoffen en Rubberinstituut TNO vervaardigd met de filamentwikkeltechniek in combinatie met een axiale versterking van composietpreg. Bij een totale lengte van circa 2,30 meter en een wanddikte van 0,8 mm bedroeg het gewicht, exclusief metaal, slechts 240 gram.

3.4 Pantserplaat voor geschutskoepels

Een geschutskoepel moet onder andere voldoen aan snelle rotatie (om het geschut snel te kunnen richten), groot absorberend vermogen en eenvoudig herstelbaar of vervangbaar. De mogelijkheden hiertoe zijn sterk afhankelijk van een goede materiaalkeuze.

De eis voor snelle rotatie kan worden vertaald in een gering traagheidsmoment, wat onder andere afhankelijk is van de soortelijke massa. Het energie-absorberend vermogen laat zich berekenen uit de breuksterkte en de breukrek van een materiaal. Door nu voor een aantal materialen de breukenergie op basis van massa uit te rekenen, is eenvoudig een verantwoordde selectie te maken. In tabel 3.2 is een dergelijke vergelijking gemaakt.

Tabel 3.2 Materiaalkeuze op grond van breukenergie.

Materiaal	Treksterkte N/mm ²	Breukrek %	Soortelijke massa g/cm ³	Breukenergie op basis van massa Ncm/g	Als laminaat (60% vezel) Ncm/g
Twaron 900	2500-3000	3,7	1,44	3750	2250
Twaron 930	2500-3000	2	1,45	2000	1200
Glasvezel	1900	2	2,54	740	444
Koolstofvezel	1800	1,2	1,8	970	582
Staal 60	600	8	7,8	307	307

Uit de tabel blijkt dat het massatraagheidsmoment van een geschutskoepel uit Twaron 900 ongeveer 7 maal lager kan zijn dan uit staal 60. Om aan bovengenoemde eisen te kunnen voldoen, lijkt Twaron 900 dus het geschiktste materiaal voor deze toepassing.

3.5 Lichtgewicht beenbeugel

Revalidatiehulpmiddelen hebben als doel gehandicapten in staat te stellen functies te verrichten die voor het dagelijks leven min of meer essentieel zijn. Behalve de niet-gebonden hulpmiddelen (krukken, rolstoelen enz.) zijn er lichaamsgebonden hulpmiddelen. Deze worden ingedeeld in prothesen en orthesen. Een prothese vervangt een

lichaamsdeel (bijv. een kunstbeen). Een orthese ondersteunt een lichaamsdeel (corset, beenbeugel).

Beenbeugels worden voorgeschreven bij patiënten met een dwarslaesie of met polio, die verlamd zijn aan één of beide benen. Momenteel bestaat een beenbeugel veelal uit twee lange stalen stangen, een aan de binnen- en een aan de buitenzijde van het been, onderling verbonden door stalen banden aan de achterzijde van het been. Ter hoogte van de draaiingsas van de knie is de beugel gedeeld en voorzien van een scharnier dat kan worden vergrendeld.

Een dergelijke beugel is zwaar (2 tot 4 kg), lelijk, zit vast aan de schoen en maakt lawaai tijdens het lopen.

In het Innovatiegericht Onderzoek Programma Hulpmiddelen Ge-handicapten is door het Kunststoffen en Rubberinstituut TNO in samenwerking met de orthopedische instrumentmakerij 'de Annakliniek' een knie-enkel-voet-orthese van composietmateriaal ontwikkeld.

Het ontwerp is gebaseerd op een open schaalvorm die zoveel mogelijk aan het been aansluit (zie afb. 3.5).



Afb. 3.5 Beenbeugel van composietmateriaal.

De dubbele spiraalvorm van de schaal is zo gekozen dat wanneer het scharnier is vergrendeld, de buigbelasting van het been wordt opgevangen in een driepuntsbuigconstructie.

Het materiaal van de schaal is een composietmateriaal van met

aramide- en koolstofvezel versterkte kunststof. Hierbij leveren de koolstofvezels de nodige sterkte en stijfheid, terwijl de aramidevezels de breuktaaiheid verbeteren. De vezels zijn zo georiënteerd dat zowel de buigstijfheid als de torsiestijfheid optimaal zijn. De scharnieren zijn van roestvast staal en worden ingelijmd. Het kunststof voetgedeelte is afgeleid van de zogenaamde Engen-orthese, die in een normale schoen past.

De ortheseschalen worden op een gipsafdruk van het been van de patiënt gelamineerd, waarbij eveneens de juiste positie van het scharnier wordt bepaald. Hierdoor is de beugel individueel op maat gemaakt.

De beugel is licht van gewicht (ca. 800 gram), lang niet zo lelijk als de metalen en zonder nabewerking individueel passend te vervaardigen.

3.6 Rolstoel

Aan een rolstoel wordt een aantal hoge eisen gesteld die met elkaar in conflict kunnen zijn: grote sterkte en stijfheid, laag gewicht, kleine materiaaldoorsneden (laag volume met opvouwen) en een lage kostprijs.

Een voor de hand liggende oplossing is het gebruik van stalen buizen. In incidentele gevallen worden ook aluminium buizen toegepast (bijv. in sportrolstoelen).

De essentie van een frame van dunne buizen is dat deze buizen zoveel mogelijk alleen op trek en druk en niet op buiging worden belast. Tot nu toe werd op deze wijze een bevredigend compromis bereikt.

Naar aanleiding van een opdracht uit de industrie werd bij het Produktcentrum TNO begonnen aan de ontwikkeling van een rolstoel die aan een aantal extra eisen moest voldoen:

- volledig instelbaar voor iedere gebruiker en daardoor in massafabricage te produceren en gemakkelijk te distribueren
- eenvoudige instelling van de hellingshoek van de zitting, de hoogte van de stoel en de hellingshoek van de rugleuning, voor verhoogd comfort.

Er werd een volledig nieuw ontwerp gemaakt waarvan een functioneel model in gelast staal werd gebouwd. De constructie is ingrijpend anders dan van conventionele rolstoelen. Trek en druk zijn niet langer doorslaggevend. Nu zijn juist buiging, wringing en vlaktedruk in de scharnieren van belang. Metalen buizen komen daarom niet meer in aanmerking.

Om gewicht te besparen en omdat daarmee massafabricage mogelijk is, werd eerst gekeken naar traditionele kunststoffen. Deze vielen echter snel af door hun te geringe mechanische sterkte en stijfheid bij de vereiste maximale materiaaldoorsneden.

Aluminium spuitgietwerk bleek geschikt te zijn, maar toch was er de wens verder te zoeken naar mogelijkheden de stoel nog lichter te krijgen. In samenwerking met de afdeling Lucht- en Ruimtevaart van de TU Delft werden de mogelijkheden van aramide- en koolstofversterkte thermoplasten bekeken. Deze materialen zijn anisotroop, dat wil zeggen dat hun mechanisch gedrag niet in alle richtingen gelijk is. Dit is voor gebruik in deze rolstoel ongeschikt. Daarom werd uitgegaan van voorgefabriceerd plaatmateriaal waarin de vezels in verschillende richtingen zijn georiënteerd. Daardoor wordt de uitzonderlijk hoge treksterkte van de vezels niet optimaal benut, maar worden wel isotrope eigenschappen verkregen.

Een dergelijke plaat heeft eigenschappen die vergelijkbaar zijn met die van een aluminium constructie, maar een soortelijk gewicht dat ongeveer half zo klein is (1,3 versus 2,7).

Een bepaald onderdeel werd geconstrueerd in gespuits aluminium en in aramideversterkte plaat. Het gewicht van het aramide onderdeel bedroeg 0,6 kg en van het aluminium onderdeel 0,9 kg. De geschatte kostprijs (bij een aantal van 10.000) van het aramide onderdeel was echter bijna vier keer zo hoog als die van het aluminium deel, namelijk f 100,— tegenover f 27,—.

De hoge kostprijs van het aramide onderdeel werd vooral veroorzaakt door de hoge materiaalprijs. Met aramide is dus wel gewichtsvermindering te bereiken, maar dat kost dan ongeveer f 250,— per verloren kilogram. Voor een standaard rolstoel met een fabricageprijs van ongeveer f 2000,— is dat te duur.

Ter vergelijking: Een kilo minder gewicht mag kosten:

- in de burgerluchtvaart f 400,—
- in de militaire luchtvaart f 2.000,—
- in de ruimtevaart f 10.000,—.

Conclusie: voor bijzondere toepassingen zijn met aramide versterkte materialen goed toepasbaar. Voor meer alledaagse toepassingen zijn zij vooralsnog te duur.

3.7 Holle-vezel nierdialysator

De ontwikkeling van geschikte membranen voor nierdialyse gaat terug tot de jaren dertig en veertig. In die tijd werden membranen van cellulose ontwikkeld die goede eigenschappen bezitten voor de diffusie van stofwisselingsproducten die bij patiënten met onvoldoende nierfunctie kunstmatig dienen te worden verwijderd. Deze in eerste aanleg vlakke folies worden met behulp van 'spacers' zodanig gerangschikt dat er twee vloeistofcompartimenten ontstaan, gescheiden door het membraan. Door het ene compartiment dient het bloed

te stromen, terwijl door het andere de spoelvoelstof wordt geleid. Als gevolg van de concentratieverschillen tussen deze vloeistoffen, vindt er diffusie plaats waardoor de beoogde uitscheiding wordt verkregen. Technisch geeft het beschreven produkt enkele problemen. Het eerste is de bijzonder lange afdichting die nodig is om circa 1,5 m² membraanmateriaal lekdicht tussen de twee vloeistofkanalen op te sluiten en het tweede is de configuratie van het stromingskanaal zelf. Om de uitwisseling optimaal te laten verlopen, is het van belang dunne en uniforme stromingskanalen te maken. Dit wordt bereikt met membraanondersteuning.

Deze twee technische moeilijkheden leiden tot een zware constructie die bovendien relatief duur is. Omdat deze apparaten in principe slechts voor éénmalig gebruik geschikt zijn, is het duidelijk dat de kosten per dialyse zeer hoog zijn.

In analogie met warmtewisselaars uit de procesindustrie, is een - achteraf voor de hand liggende - oplossing gevonden. De overeenkomst tussen de pijpen uit een gelaste warmtewisselaar en holle vezels is overduidelijk. Holle-vezelmembranen elimineren de twee eerder genoemde tekortkomingen. Deze ontwikkeling is in de jaren zestig op gang gekomen. Gebruik makend van techniek uit de textielindustrie, worden nu spinprocessen voor holle vezels ontwikkeld. Deze holle-vezelmembranen zijn sedertdien steeds verder verbeterd. De mechanische sterkte is toegenomen, de filtratie-eigenschappen zijn verbeterd en de samenstelling van het membraan is steeds verder ontwikkeld om de negatieve invloed op de patiënt te verminderen.

Een nieuwe moeilijkheid die nu overwonnen moest worden, is de inbedding. De holle vezels moeten namelijk aan hun uiteinden in een pijpenplaat worden aangebracht, zodanig dat twee vloeistofcompartimenten worden gevormd. Dit werd bereikt door onder zeer stringente condities vloeibaar polyurethaan in een centrifuge te laten uitharden. Dit proces heeft geleid tot een produktietechniek van vezelmembranen en scheidingsfilters waarmee produkten worden gemaakt die zes keer lichter zijn dan de produkten uit foliemateriaal. Daarnaast heeft het holle-vezelprodukt nog andere voordelen, nl. compact, bestand tegen druk, klein (zie afb. 3.6).

De combinatie van holle-vezelspintechiek en filterproductie heeft geleid tot de ontwikkeling van een groot aantal nieuwe en andere holle-vezelmembranen. Te noemen zijn membranen voor microfiltratie, gasscheiding, omgekeerde osmose en warmtewisseling. Gebruik makend van de produktietechniek van de nierfilters, zijn er momenteel produkten in aantocht voor allerlei toepassingen. De combinatie van nieuw materiaal en nieuwe verwerkingstechniek ging hand in hand ten behoeve van de nierdialyse. Daaruit zijn produkten voortgekomen voor een aantal andere toepassingen.



Afb. 3.6 Holle-vezel nierdialysator.

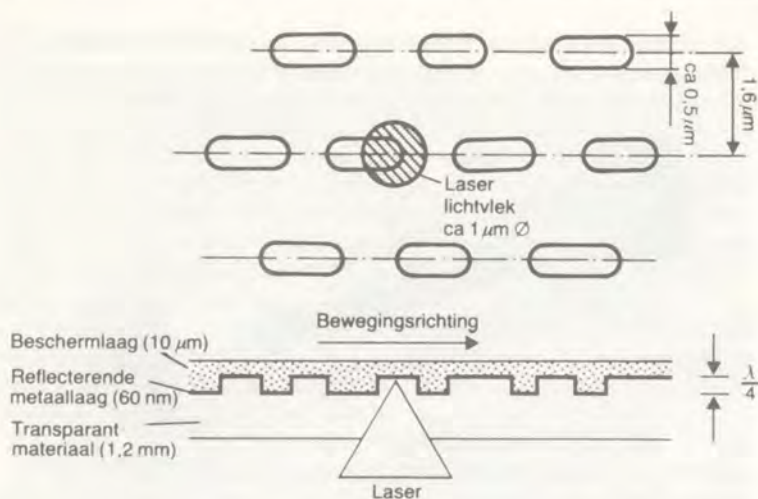
3.8 Optisch uitleesbare plaatsystemen

Te beginnen met de wasrol van Edison in 1877 is via de vlakke wasplaat van Berliner en de 78-toeren schellakplaat, de grammofoonplaat geleidelijk geëvolueerd tot de moderne PVC langspeelplaat. Een revolutionaire sprong in de geluidswaergave heeft zich echter voorgedaan bij de introductie van de compactplaat in 1982. Het principe van contactloze optische uitlezing leidt tot een geluidskwaliteit van een tot dan toe ongehoord niveau.

De belangrijkste principes van optisch uitleesbare plaatsystemen, zoals de compactplaat voor audio-toepassingen en de vergelijkbare beeldplaat voor video-toepassingen, zijn schematisch weergegeven in afb. 3.7.

De signaaluitlezings is gebaseerd op interferentieverschijnselen, veroorzaakt door zeer kleine putjes in de kunststof. Het spiraalvormige putjesspoor wordt uitgelezen met laserlicht dat tot een zeer kleine lichtvlek wordt gefocuseerd.

Een reflecterende metaallaag zorgt voor terugkaatsing van het licht. De putjes hebben een diepte van een kwart van de golflengte van het laserlicht in kunststof (voor de compactplaat is dit ca. $0,13 \mu\text{m}$). Licht dat uit de putjes wordt teruggekaatsd, loopt dus een halve golflengte achter ten opzichte van licht dat tussen de putjes valt. Er vindt gedeeltelijke uitdoving plaats, zodat bij een bewegend putjesspoor de hoeveelheid licht die wordt teruggekaatsd zal variëren. Fotodioden



Afb. 3.7 Principes optische uitlezing (bovenaanzicht en doorsnede).

zetten deze signalen om in een elektrisch signaal en daarmee in beeld, geluid of gegevens.

De compactplaat en de beeldplaat stellen hoge en veelal specifieke eisen aan materiaal en verwerking. Hieraan is voldaan door de ontwikkeling van speciale optisch zuivere kunststoffen, zoals een nieuw laagmoleculair polycarbonaat voor de compactplaat en door verbetering van fabricagetechnieken, zoals spuitgieten en spuitpersen waarmee platen met de vereiste vlakheid kunnen worden vervaardigd. Bovendien is bij de beeldplaat in de loop der jaren het aantal processtappen verminderd.

De specifieke voordelen van optisch uitleesbare plaatsystemen, zoals een constant hoge kwaliteit, de lange levensduur, een grote informatie-dichtheid en de snelle toegang tot die informatie, hebben geleid tot de huidige ontwikkelingen van systemen waarmee de gebruiker zelf informatie (audio, video, computerprogramma's, gegevens) kan opslaan.

Dit heeft verregaande gevolgen voor de metaallaag, die niet alleen moet reflecteren, maar ook gevoelig moet zijn om effecten van $1 \mu\text{m}^2$ in te schrijven en voor het transparante dragermateriaal.

De laser dient nu meer vermogen te leveren en het detectiesysteem moet worden aangepast aan het soort optisch effect in de plaat.

Daarbij valt te verwachten dat er niet één en hetzelfde type gevoelige laag kan worden gebruikt voor niet wisbare (eenmalig inschrijfbaar) en wisbare systemen. Er zijn diverse gevoelige lagen in onderzoek die

elk weer een compromis zijn van gevoeligheid, signaal/ruisverhouding, levensduur en plaatconstructie. Typische mogelijkheden voor gevoelige lagen zijn telluriumlegeringen waarin een putje gesmolten wordt, speciale bimetalen, legeringen met specifieke kristallijn/amorf of magnetische overgangen, organische pigmenten en speciale polymere mengsels.

Het transparante dragermateriaal in het enige momenteel reeds commerciële systeem voor het eenmalig schrijven van informatie is glas. Vanwege kostprijs, gewicht en aantal processtappen is de overgang naar kunststof nodig. De huidige kunststoffen zijn vanwege de hoge eisen veelal niet bruikbaar. Dit heeft geleid tot grote en nog steeds voortdurende onderzoeken op het gebied van thermoplasten en thermoharders, zowel wat betreft grondstoffen als de verwerking daarvan.

Evenals in de beginperiode van de optische plaat blijkt ook bij de nieuwere toepassingen een geïntegreerde aanpak en grote betrokkenheid van grondstoffenleveranciers, verwerkers en gebruikers noodzakelijk.

3.9 Glasvezels voor communicatie

Het telefoonsysteem van de jaren negentig zal zijn gebaseerd op overdracht van informatie door middel van lichtimpulsen die door kilometerslange glasdraden worden getransporteerd. Het is een verfijnde uitwerking van seinen met een zaklantaarn.

Het hele systeem kan als volgt worden beschreven.

Het spraaksignaal wordt omgezet in een elektrisch signaal; dit wordt elektronisch omgezet in een digitaal signaal (een reeks korte elektrische impulsen die de informatie in een aan-uit code bevatten). Met een laser ter grootte van een flinke zandkorrel worden de elektrische impulsen vertaald in een reeks lichtimpulsen. Deze lichtimpulsen worden ingekoppeld in een lange, haardunne glasdraad, die ze geleidt naar een fotodetector aan de andere kant, kilometers verder. De lichtimpulsen, die na hun reis door de glasvezel wat verzwakt en uitgesmeerd zijn, worden door de fotodetector omgezet in elektrische impulsen, die tenslotte elektronisch worden omgezet in het oorspronkelijke signaal.

Waar het in dit voorbeeld om gaat, is het materiaal van de glasdraad. De glasvezel bestaat uit een kern die het licht geleidt en een beschermende mantel. Het kernglas moet het licht op zijn kilometerslange reis zo min mogelijk verzwakken. De optische verzwakking van het glas wordt uitgedrukt in dB/km.

Bij de gebruikte golflengte van het licht is de intrinsieke demping van het glas ongeveer 0,25 dB/km. De intensiteit van de laser aan het begin en de gevoeligheid van de fotodetector aan het eind zijn zodanig dat het totale verlies in het systeem een factor 100.000 mag zijn, dat is 50 dB. Met een ideale glasvezel kan dus een afstand van $50/0,25 = 200$ km worden overbrugd.

Ideale dingen zijn zeldzaam in deze wereld en bij glas treedt dan ook extra verlies op als er onzuiverheden zoals water, ijzerionen en dergelijke inzitten. Deze onzuiverheden dragen 0,1 tot 1 dB/km bij aan de demping bij een concentratie van 1 op miljard. Hoe weinig dit is wordt duidelijk als men bedenkt dat 5 mensen 1 miljardste deel van de wereldbevolking bedragen. In meer analytische termen: 1 miljardste ligt op de grens van aantoonbaarheid met gevoelige spectroscopische technieken.

Het systeem stelt dus extreme eisen aan het glas waaruit de optische vezels worden getrokken. Zou men glas met een miljoenste deel onzuiverheid nemen dan zou de overbrugbare afstand nog slechts honderden meters zijn in plaats van 200 km.

Het kernglas wordt, vrijwel ideaal, gemaakt door een eenvoudige reactie in de gasfase – siliciumchloride en zuurstof geeft siliciumdioxide en chloor – uit te voeren en de binnenkant van een redelijk zuivere kwartsbuis met het gewenste siliciumdioxide te bedekken. De gassen worden extreem gezuiverd door destillatie.

Men kan stellen dat dit siliciumdioxide, dit superzand, een nieuw materiaal is; nieuw in de zin van de reactie en reactieomstandigheden bij het maken, nieuw in de zin van de extreme zuiverheid, nieuw in de zin van de toepassing in glasvezels voor optische communicatie en tenslotte nieuw in de zin van prijs. Dit soort superzuiver zand heeft een verkoopwaarde van f 10.000,— per kilo.

Samenvattend: siliciumdioxide is het gewoonste materiaal wat er is; het wordt een nieuw materiaal door de extreme beheersing van de zuiverheid, waardoor nieuwe toepassingen mogelijk worden.

3.10 Glasvezelsensoren

Behalve voor telecommunicatie (zie 3.9), bieden de huidige ontwikkelingen op het gebied van glasvezel ook zeer goede mogelijkheden voor toepassing in sensoren. Vooral de volgende specifieke kenmerken dragen daar in grote mate aan bij:

- grote bandbreedte over grote afstanden
- ongevoelig voor elektrische storingen en overspraak
- volledig galvanisch gescheiden signaaloverdracht

- intrinsiek veilig
- hoge betrouwbaarheid.

Er zijn glasvezelsensoren bedacht voor het meten van een groot aantal mechanische grootheden zoals verplaatsing, snelheid, druk, rek en rotatie, maar ook voor temperatuur, elektrische stroom en spanning. De reden glasvezelsensoren toe te passen kan de signaaloverdracht per glasvezel zijn, maar ook de mogelijkheid in plaats van de gebruikelijke puntmetingen metingen in formatie (arrays) uit te voeren. Ook op plaatsen die ontoegankelijk zijn voor elektronica in verband met hoge temperatuur of een agressieve omgeving kan soms glasvezel worden toegepast.

Een glasvezelsensor kan bestaan uit een lichtbron (een 'light emitting diode' of een diodelaser), een glasvezel die het licht naar de transducent brengt, de transducent, een retourvezel en een detector. De transducent moduleert een van de eigenschappen van het licht: intensiteit, golflengte of spectrale verdeling, polarisatietoestand, fase of looptijd.

Bij metingen van de temperatuur wordt meestal de golflengte gemoduleerd, bijvoorbeeld door gebruik te maken van de temperatuursafhankelijkheid van absorptie of fluorescentie van bepaalde stoffen. Bij hoge temperaturen (boven 500 °C) kan door het meten van de verhouding van de emissie bij twee golflengten (tweekleuren pyrometrie) de temperatuur in bijvoorbeeld een verbrandingskamer worden gemeten.

Bij druksensoren wordt van een ander principe uitgegaan. In een glasvezel heeft de kern een iets grotere brekingsindex dan de mantel. Daardoor kan het licht zich met totale reflectie aan de overgang tussen kern en mantel vrijwel verliesvrij voortplanten. Een lichtstraal onder een hoek die groter is dan de grenshoek komt uit de kern in de mantel en wordt geabsorbeerd. Een klein beetje buiging van de glasvezel, microbuiging, kan overschrijding van de grenshoek en dus verlies veroorzaken. Bij een eenvoudige druksensor is de glasvezel bijvoorbeeld om een buisje gewikkeld waarvan de diameter sterk afhangt van de druk. Als de diameter groter wordt gaat de glasvezel knikken en treedt microbuiging op. Er blijkt een lineair verband te bestaan tussen de demping van de glasvezel en de aangebrachte druk.

Behalve deze puntsensoren kunnen ook uitgebreide sensoren met glasvezel worden gemaakt. Een voorbeeld hiervan is een glasvezellus die onder een opslagtank voor vloeibaar gas wordt aangebracht. De vezel is gevoelig gemaakt voor temperatuur en kan lekken detecteren door de temperatuurverlaging die bij verdamping van de vloeistof optreedt.

Een andere toepassing is de kwaliteitsbewaking van grote constructies. Met de impuls-echomethode is het mogelijk de lokale transmissie-eigenschappen van een glasvezel te meten. Een korte lichtimpuls

($3,5 \cdot 10^{-9}$ s) wordt in een glasvezel gelanceerd. Een zeer klein deel van het licht wordt in de glasvezel verstrooid en een deel daarvan verlaat de glasvezel aan het begin als een zwakke echo. Hoe groter de afstand tussen de plaats van verstrooiing en het begin van de vezel, des te langer het duurt voor het licht weer aan het begin van de vezel is. In tijd gemeten komt 10^{-9} s overeen met 10 cm. Door microbuiging kan lokaal demping in de glasvezel worden geïntroduceerd. Door de vezel op een speciale manier aan een constructie te bevestigen kan het lokale rek-, barst- of breukgedrag van de constructie worden gevolgd als alternatief voor bijvoorbeeld rekstrookjes.

Deze voorbeelden laten zien dat, dankzij de sterk verbeterde eigenschappen van glasvezel, er nu sensoren kunnen worden ontwikkeld die geheel nieuwe mogelijkheden bieden bij het verrichten van metingen.

3.11 Kunststof autobumper

Aan het einde van de jaren zestig werd, onder druk van consumentenorganisaties en de publikatie 'Unsafe at any speed' door Ralph Nader, de veiligheid van de auto een politieke kwestie in de Verenigde Staten van Amerika. Binnen vrij korte tijd werden nieuwe, strenge, veiligheidseisen opgesteld waaraan de auto's binnen afzienbare tijd moesten voldoen. In dit kader werd ook door verzekeringsmaatschappijen invloed uitgeoefend om parkeerschaden te beperken. De auto's in die tijd waren overdadig voorzien van verchroomde ornamenten, die bij een geringe aanrijding al een aanzienlijke schadepost konden vormen. Uiteindelijk werd een federale wet aangenomen die voorschreef dat bij een aanrijding met een snelheid van 5 mijl per uur geen blijvende schade mag ontstaan aan het voertuig.

Ook in Europa hebben deze Amerikaanse veiligheidseisen hun invloed achtergelaten en een deel hiervan is in gewijzigde vorm overgenomen. De Europese ECE-norm voor bumpers gaat uit van 4 km per uur zonder blijvende schade.

De Amerikaanse automobiellindustrie ontwikkelde na enige experimenten een systeem waarbij de bumper bestaat uit een zware stalen balk, die door middel van hydraulische schokbrekers aan de langslingers van het chassis is bevestigd. De speling voor de vervormingsweg tussen de bumper en de carrosserie wordt opgevuld met flexibele polyurethaan (PU) panelen.

De Europese fabrikanten namen dit principe over voor hun exportmodellen voor de VS, maar kozen in een aantal gevallen voor een duurdere geëxtrudeerde aluminium balk om het extra gewicht te beperken.

Voor de Europese markt werd geëxperimenteerd met een groot aantal systemen waarvan een aantal berust op energie-absorptie door middel van kunststof schuim of een groot aantal ribben. Ook deze systemen zijn gebaseerd op een drager van staalprofiel.

Bij het ontwikkelen van de opvolger van de Taunus werd deze door de vormgevingsstudio van Ford van een bijzonder aerodynamische voorkant voorzien. De gecompliceerde vormgeving van de bumper en de grote serieproductie waren de redenen dat men koos voor spuitgieten in thermoplastische kunststof.

De ontwikkelingsafdeling zocht naar een kunststof waarvan een slagvast vormdeel zou zijn te vervaardigen dat zonder nabewerking (zoals lakken) was te monteren. Bovendien moest het materiaal in geschikte kleuren te pigmenteren zijn en daarbij aan alle weerbestandheidsspecificaties voldoen.

Als uiteindelijke keuze bleven twee concepten over:

- een deel van polypropyleen (PP) dat door middel van ribben steunt op een metalen drager
- een deel van gemodificeerd polycarbonaat (PC) met synthetische rubber, dat door middel van een ingelaste achterplaat een stijf kokerprofiel vormt en daardoor een volledig functioneel en zelfdragend bumpersysteem oplevert.

Een nadeel bij het PP-concept was dat de wanddikte tamelijk groot moest zijn om de geringe stijfheid van het materiaal te compenseren. Dit zou resulteren in een ongunstig lange cyclustijd voor het spuitgieten.

Het tweede concept was gebaseerd op de hoge slagvastheid en stijfheid van PC. Dit concept bestond uit een buitenhuid met een geringe wanddikte en een achterpaneel dat door middel van vibratie-lassen in de buitenhuid wordt gelast. Dit resulteerde in een stijf kokerprofiel.

Een probleem bij dit concept was dat PC niet bestand is tegen benzine en dus niet kon voldoen aan de specificaties die door Ford waren gesteld. Uiteraard was dit probleem bij de materiaalafabrikant bekend en er werd geruime tijd gewerkt aan modificaties om de chemische bestandheid van PC te verbeteren.

De uiteindelijke doorbraak werd bereikt door een polymeer-alliage van PC en polybutyleentereftalaat (PBT). Dit nieuwe materiaal werd door Ford beproefd en goed bevonden voor verdere evaluatie.

Er werd besloten prototype-gereedschap te maken om dit nieuwe concept te ontwikkelen. In de prototype-gereedschappen zijn procesparameters van dit nieuwe materiaal aan de praktijk getoetst. Het smalle temperatuurgebied, de inspuitsnelheid en de druk bleken bijzonder kritisch, waardoor alleen geavanceerde spuitgietsmachines bruikbaar bleken.

Ford heeft geïnvesteerd in eigen productiefaciliteiten voor dit bumpersysteem en de beslissing genomen dat ook de andere modellen met dit systeem zullen worden uitgerust.

Ondertussen zijn thermoplastische kunststoffen volledig als bumpermateriaal geaccepteerd en al dan niet als zelfdragende constructie toegepast.

De ontwikkelingen met een volledige kunststof constructie worden toegespitst op de Amerikaanse normen, onder andere met dragers uit met glasmat versterkte kunststoffen of als blaasdeel uit een onversterkt materiaal, waarbij de energie-absorptie volledig door de kunststof constructie wordt verzorgd. De tweeschalige constructietechniek heeft zich verder doorgezet naar een aantal carrosseriedelen, zoals de achterklep.

Geautomatiseerde fabricage en de mogelijkheid een aantal functies in de spuitgietdelen te integreren, maken dergelijke concepten tot een aantrekkelijk alternatief voor de traditionele constructies in plaatstaal.

3.12 Keramisch uitlaatspruitstuk

Aan uitlaatspruitstukken in personen- en vrachtwagens worden steeds hogere eisen gesteld. Deze zwaardere eisen zijn vooral een gevolg van de ontwikkelingen van motoren. De uitlaatgassen krijgen hogere temperaturen (tot 1100 °C), hetgeen een zwaardere thermische belasting met zich meebrengt. Tevens worden de vermogens van de motoren groter. De daardoor veroorzaakte grote mechanische belastingswisselingen stellen hoge eisen aan het materiaal en vereisen een optimale vormgeving voor de stromingsdynamica.

Daarnaast hebben ook secundaire ontwikkelingsdoelen van motoren aan belang gewonnen, zoals vermindering van gewicht (voor brandstofbesparing), van volume (door de eisen aan luchtweerstand en de invoering van de turbocompressor is er steeds minder ruimte onder de motorkap) en van kosten (vanwege de grote concurrentie in de automobiellindustrie). Bovendien wordt de ontwerper geconfronteerd met hogere eisen aan bedrijfszekerheid en levensduur (een steeds belangrijker verkoopargument), nieuwe inzichten in vervaardigings- en montage techniek (flexibele productie-automatisering) en een uitbreiding van het instrumentarium dat hem ter beschikking staat (Computer Aided Design, nieuwe materialen, legeringen enz.). De materialen en vervaardigingstechnieken die nu worden toegepast voor uitlaatspruitstukken van personen- en vrachtwagens leiden tot complete gietstukken van gelegeerd grijs gietijzer, vermiculair gietijzer, ferritisch of austenitisch nodulair gietijzer, flensaansluitingen gelast aan stalen buis van lasbaar wit smeedbaar gietijzer, alsmede

volledig gelaste stalen constructies. Voor personenwagens worden doorgaans volledig gietijzeren constructies toegepast. Bij vrachtwagens komen alle drie genoemde typen voor.

De fouten die in de spuitstukken van gietijzer voorkomen (voornamelijk ten gevolge van de hoge temperaturen en de grote temperatuurwisselingen) zijn scheurvorming (spannings- en thermische scheuren), kromtrekken van de flenzen (door gietspanningen), uitzetting en onregelmatigheden in het materiaal en ten slotte de krimp, die zelfs tot mechanische beschadiging van de cilinderkop kan leiden.

Behalve op de eerder genoemde zaken als laag gewicht, compacte bouwwijze, gunstige stromingsdynamica en mechanische sterkte zal de ontwerper derhalve vooral letten op:

- een zo laag mogelijke gebruikstemperatuur
- een zo gelijkmatig mogelijke temperatuurverdeling over het onderdeel
- een opvangmogelijkheid voor krimp en uitzetting
- een adequate materiaalkeuze.

Op zoek naar betere materialen voor automotoren zijn er de volgende mogelijkheden in ontwikkeling: 'compact graphite iron' en keramiek-aluminium combinaties. Voor de jaren negentig wordt verwacht dat keramische coatings en monolitisch keramiek nog betere mogelijkheden zullen bieden.

Een actuele ontwikkeling op het gebied van keramische uitlaatspuitstukken en andere thermisch belaste auto-onderdelen is het Duitse KEBOD-project (Entwicklung und Erprobung keramischer Bauteile für Otto- und Dieselmotoren)[a]. Dit is een project van het Bundesministerium für Forschung und Technologie dat in 1981 is begonnen. Deelnemende bedrijven zijn Audi, Klöckner Humbold Deutz, Kühnle, Rosenthal Technik, Kopp en Kausch. In het begin van het project werden zes onderdelen bekeken, waaronder een keramische coating van de cilinderkopuitgang ('portliner') en een turbocompressor met keramische rotor en een keramisch huis. Deze fase, waarin de partners succesvol hebben samengewerkt, is inmiddels afgesloten. Binnen afzienbare tijd zal toepassing van de keramische onderdelen in serieproductie mogelijk zijn. In de volgende fase werden ook enkele andere onderdelen bekeken, waaronder een keramische coating van uitlaatspuitstukken van luchtgekoelde dieselmotoren voor vrachtwagens.

De toepassing van keramiek geeft onder andere een betere warmte-isolatie, de koolwaterstof-emissies dalen met 10% en er worden betere voorwaarden geschapen voor de nabehandeling van uitlaatgassen in de katalysator. De ontwikkeling is nog niet helemaal afgerond. Vooral de gecompliceerde vormgeving en de noodzaak van strenge maattoelanties leveren nog problemen op.

Ook in Japan en de Verenigde Staten is men bezig met soortgelijke studies voor de ontwikkeling van keramische auto-onderdelen [40]-[43].

3.13 Aandrijfriem voor variabele transmissie

Een aandrijfriem voor een continu variabele transmissie (CVT) is bekend uit de 'Variomatic' van DAF. Een dergelijke riem dient sterk en soepel te zijn en op industriële schaal te kunnen worden gefabriceerd. Typische ontwerpeisen kan men herleiden uit de analyse van het krachterspel op de riem. In het algemeen vindt men door infinitesimaalbeschouwing (bestuderen van een homogeen partje dat representatief is voor de berekening) vaak de sleutel voor een herontwerp waarbij diverse functies optimaal kunnen worden vervuld.

Het tot nu toe gebruikte rubbermateriaal is weliswaar soepel en eenvoudig te fabriceren, maar heeft een aantal in het oog springende nadelen, zoals lage krachtdichtheid en slecht rendement (60-90%) door grote hysteresisverliezen en korte levensduur die niet zijn te vermijden.

Het herontwerp, leidend tot de stalen V-riem met een aaneengesloten rij plaatjes, bijeengehouden door soepele banden, is een ontwikkeling op zich. De voortdurende beproeving, de bestudering van de resultaten en de aanpassing van het theoretische rekenmodel aan de bevindingen verdiepen ten slotte de kennis die nodig is voor het succesvol voltooien van een dergelijke ontwikkeling. De hierbij toegepaste materialen en materiaalbehandelingen sluiten optimaal aan bij de te vervullen functie.

Bijvoorbeeld:

- nitreerstaal ten behoeve van grote drukspanningen
- maragingstaal ten behoeve van grote trekkrachten
- koolstofstaal ten behoeve van een grote weerstand tegen vermoeiing
- walsen ten behoeve van het profileren van het materiaal
- stansen ten behoeve van massafabricage
- slijpen ten behoeve van glijdende oppervlakken.

Kan de rubber V-riem ca. 20 kW bij 4000 omw./min. overbrengen, voor een stalen riem is dit 80 kW met een rendement dat overeenkomt met dat van een gewone versnellingsbak (93-97%).

Ook qua levensduur zal de stalen V-riem aan hoge eisen voldoen.

Bovendien is het mogelijk compacter te bouwen, door de grotere krachtdichtheid van de stalen riem en de geringere verliezen die als warmte moeten worden afgevoerd.

3.14 Kunststof vliegwiel

Opslag van mechanische energie door rotatie van een massa is al zeer lang bekend. De eerste vliegwielen dateren van ca. 6000 v.C. als pottenbakkerswiel.

Thans zijn er talloze toepassingen van vliegwielen mogelijk. Grofweg kan men een indeling maken in vliegwielen voor stationair gebruik en vliegwielen ten behoeve van tractie. Bij de eerste soort speelt de massa niet zo'n belangrijke rol. Hier worden dan ook uit kostenoverweging meestal stalen vliegwielen toegepast. Vliegwielen van de tweede soort vormen echter onderdeel van het voertuig dat zij aandrijven. Hier speelt dus de massa een belangrijke rol. Vandaar dat men er naar streeft de massa per opgeslagen eenheid van energie zo gering mogelijk te houden. Dit heeft geleid tot een vliegwielvorm waarin elk materiaaldeelje maximaal toelaatbaar wordt belast (de zogenaamde Lavalschijf).

Door invoering van een vormfactor K , is men in staat homogene vliegwielen (bijv. van staal) qua inwendige spanning met elkaar te vergelijken en daarmee ook de specifieke energie-opslag.

Met de komst van composieten dient het uitgangspunt voor het ontwerp echter geheel anders te zijn. Stellen we ons een met vezel versterkte kunststof voor met evenwijdige vezels, dan is eenvoudig in te zien dat de treksterkte in de vezelrichting gerelateerd is aan de vezelsterkte en de vullingsgraad (verhouding van de hoeveelheid vezel ten opzichte van de hoeveelheid composiet) en dat de treksterkte loodrecht op de vezelrichting gerelateerd is aan onder andere de sterkte van de matrix en de hechting van de matrix aan de vezel. Bij parallel liggende vezels is het materiaal slechts in één richting zeer hoog belastbaar.

Betrekt men de soortelijke massa van een dergelijke composiet op die sterkte dan ontstaan specifieke sterkten die een factor 10 hoger liggen dan die van hoogwaardige staalsoorten. Daardoor is nu niet meer de Lavalschijf de ideale vorm voor een kunststofvliegwiel, maar die vorm, waarbij de tangentiële spanning maximaal en de radiale spanning minimaal is. Het resultaat is dan een zeer energiedicht vliegwiel met geringe massa.

Een tweede niet te onderschatten voordeel van kunststof vliegwielen is dat zij bij calamiteiten in een groot aantal zeer kleine stukjes uiteenspatten. Dit in tegenstelling tot stalen vliegwielen, die in enkele grote stukken met grote energie-inhoud uiteen vliegen. Dat dit gevolgen heeft voor gewicht en afmetingen van het huis waarin het vliegwiel draait, zal duidelijk zijn.

Per saldo kan men stellen dat dankzij de komst van supersterke kunstvezels het vliegwiel nieuw leven wordt ingeblazen en de ontwikkeling van vacuüm behuizingen met aandrijfmotor en vlieg-

wiel als complete energie-accumulator niet lang op zich zal laten wachten.

3.15 Compositie tennisracket

De ontwikkelingen in de tennissport zijn van 1960 af stormachtig verlopen. Door grote vraag naar rackets zijn vele niet-traditionele fabrikanten dit produkt gaan produceren (overwegend hout + lichtmetaal).

Door de eenvoudige techniek en de hoge arbeidsintensiteit is de produktie van rackets in lage lonen landen geconcentreerd (vooral in Taiwan).

De markt is nu echter min of meer statisch met een jaarbehoefte van ca. 20 miljoen rackets.

Al een aantal jaren lang gaat de groei van in compositie uitgevoerde typen ten koste van de uitvoeringen in hout en metaal.

Bij de fabricage van compositie rackets zijn de voornaamste problemen: de produktie is arbeidsintensief, het bespannen is nog niet te automatiseren, het is moeilijk reproduceerbaar, de vezels zijn duur, de cyclustijd is door het spuitgietproces relatief lang en het soortelijk gewicht van kunststof is ongeveer twee keer hoger dan dat van hout, hetgeen problemen kan geven bij de balans.

Bij het produktontwerp en de procesontwikkeling formuleerde een multidisciplinaire groep de volgende uitgangspunten:

- een kunststof spuitgietprodukt ter reductie van arbeidskosten
- een hol produkt in verband met het hoger soortelijk gewicht ten opzichte van hout.

Voorts werd onderzoek verricht naar materiaal gebaseerd op nylon, met korte koolstofvezels (30% vezel) en naar de mogelijkheid van een verwijderbare kern of een smeltkern met laag smeltpunt.

Als uitgangspunt voor dit onderzoek golden de geometrie, alsmede de sterkte- en stijfheidseisen die met aluminium extrusieprofielen waren gehaald.

Bij deze ontwikkeling kwam men uit op een hol spuitgietprodukt dat wordt vervaardigd door kunststof te injecteren rond een kern van metaal met laag smeltpunt. Het bleek mogelijk hoge injectie-snelheden toe te passen (smeltpuntverschil tussen kern en kunststof ca. 130°).

De nieuwe fabricagetechniek berust er op zoveel kernmateriaal te nemen dat het geïnjecteerde kunststofmateriaal stolt voordat het metaal begint te smelten. Bovendien worden de 64 gaten voor de bespanning in één keer meegevormd in plaats van ze achteraf te boren. Dit heeft als extra voordeel de eliminatie van de scherpe rand,

wat weer de levensduur van de bespanning ten goede komt. Voor de fabricage zijn twee matrijzen nodig, één ten behoeve van de kern en één voor het uiteindelijke produkt.

Voor het kernmateriaal wordt een legering van tin en bismuth toegepast die de vereiste lage smeltemperatuur heeft. Het uitsmelten van de kern gebeurt met behulp van olie (180°) en vibratie; het metaalresidu wordt door de vibratie nagenoeg volledig verwijderd. De problemen die niet direct werden opgelost, waren de gewenste variatie in racketgewicht, de realisatie van de balans en de variatie in de greepdiameter. De oplossing daarvan werd gevonden door de toepassing van polyurethaan (PU) hardschuim met een lage dichtheid voor de vulling van het profiel en met een hoge dichtheid voor de vulling van de greep. Een nevenfunctie van het PU-schuim is het gunstige effect op de vibratiedemping.

De geschetste fabricagemethode is snel (cyclustijd van twee en een halve minuut) en verbruikt relatief weinig energie.

3.16 Watersportkleding

Aan kleding voor de watersport worden bijzondere eisen gesteld. Ten eerste zijn de omgevingsinvloeden ongunstig: een overvloed aan water, regenwater en overkomend water dat vaak zout is. Hiertegen moet de watersporter worden beschermd, doch de bescherming tegen kou is nog moeilijker. Vooral zeilers hebben een merkwaardig bewegingspatroon: korte perioden van zware lichamelijke arbeid (zeilwisselingen, overstag gaan) waarbij wordt getranspireerd, wisselen af met lange perioden van stilzitten en afkoelen. De traditionele kleding bestaat uit katoenen ondergoed en vaak enkele wollen truien over elkaar met als bovenlaag een waterdicht pak. Doordat wol en katoen water vasthouden, wordt de kleding nat door transpiratievocht en natte kleding is al varende nauwelijks te drogen.

Dankzij de ontwikkelingen op het gebied van kunststofvezels werd het mogelijk kleding te ontwikkelen die beter aan de vele eisen voldoet. In enkele stappen is een systeem tot stand gekomen waarvan een groot aantal fabrikanten de componenten levert. De basis hiervoor wordt gevormd door nieuwe vezels uit de chemische industrie. Behalve de reeds bekende acrylgarens (nylon) worden PVC-garens, garens van holle polyestervezels ('Hollofil') en polypropyleengarens ('Meraklon') toegepast. Kenmerk hiervan is de eigenschap veel lucht vast te houden en dus een goede thermische isolatie te verzorgen, gepaard aan de eigenschap geen vocht vast te houden. Bovendien hebben sommige weefsels van de nieuwe garens de eigenschap het transpiratievocht van de huid door capillairwerking te transporteren naar plaatsen waar het door diffusie kan verdwijnen.

Als eerste werden jacks en bodywarmers van nylonbont ontwikkeld, die de isolerende tussenlaag vormen tussen het ondergoed en de waterdichte bovenlaag. Door de isolerende werking treedt veel minder condensatie op aan de binnenkant van de bovenlaag. Het nylonbont vormde eerst de buitenkant; in latere modellen was dit bont de binnenzijde van een aan de buitenzijde waterafstotend weefsel, zodat deze jacks tevens als bovenkleding kunnen worden gedragen. In latere modellen werd ook de doorstiktechniek toegepast: twee dunne lagen met daartussen een doorgestikte vulling van isolerende vezels (veelal de holle variant).

Als tweede verscheen er ondergoed, meestal van polypropyleen, met als voornaamste taak het capillair afvoeren van de transpiratie. Hierdoor blijft de huid onder alle omstandigheden droog, zodat de gevreesde afkoeling na transpiratie achterwege blijft. Bovendien is de onderkleding gemakkelijk te wassen en bijzonder snel te drogen.

Resultaat van deze ontwikkelingen is een serie kledingstukken die hun warmte-isolerende en vochtregulerende taak veel beter vervullen dan die van de traditionele materialen. Bovendien zijn zij veel lichter van gewicht, soepeler, beter wasbaar en sneller drogend.

Het innovatieve van deze ontwikkelingen ligt in het systematisch toekennen van specifieke taken aan de componenten: de vochtregulerende onderlaag, de thermisch isolerende tussenlaag en de waterdichte buitenlaag. Deze laatste bestond reeds geruime tijd uit PVC- of nylonweefsel met een waterdichte coating van polyurethaan of rubber. Zeker is dat de ontwikkeling sterk is versneld door gerichte vragen uit de markt en wel van de extreme sporten als zeilwedstrijden rond de wereld, waarbij aan de rand van de poolijszone wordt gevaren. Zo heeft de winnaar van twee van deze wedstrijden, Conny van Rietschoten, in samenwerking met een kledingfabrikant de kledingsystemen voor zijn tweede tocht ontworpen, die aan de hoogste eisen voldeden.

3.17 Aluminiumprofielen in de jachtbouw

De jachtbouw werd vroeger gedomineerd door de traditionele houtbouw. Op een spantenraam worden lange latten aangebracht (de zg. gangen) die tegen elkaar of overlappend op de spanten worden bevestigd. Dubbelgekromde oppervlakken zijn zo goed te vormen; deze zijn gewenst in verband met de beste stromingseigenschappen en een fraai uiterlijk.

Later ging men ook rompen van staal of aluminium maken. Deze zijn altijd gelast om sterke en waterdichte verbindingen te krijgen. Om niet een zeer groot aantal lasnaden te verkrijgen, worden deze rompen gebouwd van slechts enkele brede gangen in plaats van de vele smalle

die gebruikelijk zijn in de houtbouw. Men noemt dit knikspant- of multi-knikspantbouw, naar de scherpe hoeken die de gangen met elkaar maken. Hoewel het uiterlijk van deze hoekige rompen minder fraai wordt gevonden, is het mogelijk zeer bruikbare schepen te vormen.

Mocht het lassen van staal geen probleem zijn, de in het laatste decennium sterk in opkomst zijnde aluminiumbouw is afhankelijk van goede, maar schaarse aluminiumlassers. Bovendien zocht men nog altijd naar een methode die de volledige vormvrijheid van de houtbouw terug zou brengen.

Kort geleden is een methode ontwikkeld om smalle aluminium profielen te extruderen en als gangen te gebruiken. Men verbindt deze niet door lassen, maar door de naden met epoxyhars dicht te plamuren. De hars dient als vul- en dichtingsmiddel; de mechanische sterkte van de huls wordt verkregen door het in elkaar haken van de profielen.



Afb. 3.8 Boot met aluminiumprofielen, in aanbouw.

Om de profielen de noodzakelijke krommingen te kunnen geven, was het nodig een speciale strekbank te ontwikkelen. De krommen waarnaar deze gangen worden gebogen, worden door een computer berekend. Dit is bij de houtbouw niet nodig, omdat de gangen ter plaatse worden gevormd door buigen van het hout, makkelijker gemaakt door stomen of branden (zoals bij de bouw van Hollandse platbodems).

Het is opvallend dat met deze modernste aluminiumbouw is terugge-

grepen op de meest traditionele vorm van scheepsbouw. Noodzakelijke voorwaarden hiervoor waren de beschikbaarheid van een geschikte kunsthars als vormvast dichtingsmiddel en het vermogen met behulp van een computer een vlakke kromme af te leiden van een drie-dimensionaal model.

3.18 Kwartshorloges

Bij een mechanisch horloge zijn de twee grootste problemen verkleining van de wrijving en bescherming van het mechanisme tegen schokken. Het uurwerk wordt hiertoe tussen metalen plaatjes gebouwd (platines). Het zo gevormde frame wordt verend opgehangen in de kast. De wrijving wordt bestreden door de toepassing van goede lagers, de zg. steentjes.

Toen de Zwitserse horloge-industrie een antwoord zocht op de goedkope digitale horloges uit het Verre Oosten, besloot men tot het concept van een kwarts-uurwerk met wijzerplaat. Het nieuwe ontwerp moest bij uitstek geschikt zijn voor massafabricage, in vele modellen te fabriceren zijn om mee te kunnen met de mode en zeer goedkoop blijven.

Bij de analyse van het concept voor dit horloge realiseerde men zich dat met het wegvallen van het anker de kwetsbaarheid zou zijn verdwenen. Het anker is namelijk samen met de onrust (het heen en weer draaiende wieltje) het kwetsbaarste deel van het uurwerk. Het met elektrische impulsjes op gang brengen van de wijzers is eenvoudig robuust uit te voeren. Dit maakt het mogelijk het horloge van buiten naar binnen te construeren. De binnenkant van de kast doet nu dienst als platine en houdt de mechanische bouwgroepen op hun plaats. Bovendien kan de assemblage worden gemechaniseerd omdat dat nu een soort stapelen is geworden van één kant uit. Het dekglas wordt in de assemblage vast met het huis verbonden. De as van de kroonsteen ('opwindknop') wordt met een rubberen o-ring zeer goed afgedicht, zodat het binnendringen van stof en water wordt vermeden. Hiermede is 99% van de storingsorzaken voorkomen, zodat het niet bezwaarlijk is dat het horloge niet meer kan worden geopend voor reparatie.

Een dergelijke constructie kan alleen worden gerealiseerd door de toepassing van kunststoffen. Voor het huis koos men acrylonitril-butadien-styreen (ABS). Dit materiaal is bestand tegen de omgevingsinvloeden, is in vele kleuren te spuitgieten en kan ultrasoon worden vastgelast aan het kunststof dekglas. Verder is het mogelijk kleine integrale klinknageltjes te vormen voor de fixatie van de mechanische delen, terwijl ook de vereiste maatnauwkeurigheid geen problemen oplevert. Het enige nadeel is de geringe specifieke massa van het materiaal, waardoor de dunwandige kast als klankbord fungeert en het tikken (van de secondewijzer) duidelijk hoorbaar is.

Het geheel wordt gecompleteerd met een horlogeband van polyurethaan. Dit materiaal is elastisch, in kleuren te spuiten, slijtvast en bestand tegen veroudering.

Concluderend kan worden gesteld dat door de vorderingen in de elektronica een nieuw concept mogelijk werd, dat door uitvoering in kunststoffen aan de gestelde kostprijs kon voldoen. Dit wordt bereikt door het uitbuiten van de materiaaleigenschappen in fabricage en assemblage. In functioneel en esthetisch opzicht voldoet het nieuwe horloge uitstekend en het is een commercieel succes geworden. De gemiddelde verkoopprijs ligt in 1986 tussen f 60,— en f 80,—, afhankelijk van de uitvoering. De dagproductie bedraagt momenteel 30.000 stuks!

3.19 Mengkraan

Conventionele mengkranen bestaan uit verchromd messing met rubberen 'leertjes' die voor de afdichting zorgdragen; de rubberen delen drukken op de vaste delen van de kraan. Door deze druk treedt slijtage op, die kan worden verergerd door harde kalkafzettingen op de randen van de af te dichten openingen. Verder is het een bekend verschijnsel dat een aanvankelijk ingestelde temperatuur de neiging vertoont te verlopen, doordat de metalen delen bij het opwarmen uitzetten, waardoor de openingen voor het warme water groter of kleiner worden. Hierdoor verandert de mengverhouding en daarmee de ingestelde temperatuur.

In de chemische industrie zijn roterende as-afdichtingen, waarbij een koolstof ring op een geharde stalen ring loopt, reeds lang bekend. De ringen zijn elastisch verbonden met de as en het huis; de afdichting komt tot stand door de volkomen vlakke oppervlakken van de ringen met een veer tegen elkaar te drukken.



Afb. 3.9 Regeling van debiet en temperatuur door over elkaar schuivende keramische schijven.

Voor het beschreven probleem van de mengkraan zou hetzelfde principe kunnen worden gebruikt. Hiertoe moeten schijfjes worden gebruikt met speciaal gevormde openingen en waarvan de oppervlak-

ken kunnen worden vlakgeslepen. Bovendien moet het materiaal zeer hard zijn om slijtage te voorkomen en moeten de schijfjes economisch in massa zijn te fabriceren.

Aan die eisen wordt voldaan door de schijfjes te fabriceren van aluminiumoxide, een keramisch materiaal dat in de gewenste vorm wordt gesinterd en waarvan de contactoppervlakken worden geslepen. De rubberen o-ringen die in de constructie worden gebruikt, dienen voor de elastische afdichting van stationaire delen en zijn hierdoor nauwelijks aan slijtage onderhevig. Daar keramiek een zeer kleine uitzettingscoëfficiënt heeft, treedt bij het opwarmen geen vormverandering op en verloopt de instelling van debiet en temperatuur niet. Door de schuivende beweging van de schijfjes ten opzichte van elkaar kan kalk zich niet afzetten.

Het resultaat van deze ontwikkeling is een serie warmwater-, koudwater- en mengkranen die praktisch onderhoudsvrij zijn en waarvan de afstelling niet verloopt. De debietinstelling geschiedt door het bewegen van een hendel, waardoor de schijfjes ten opzichte van elkaar worden verschoven (afb. 3.9).

Bij de mengkraan kan de hendel bovendien een deel van een cirkelboog beschrijven, waardoor de mengverhouding en daarmee de temperatuur wordt bepaald.

Het innovatieve van deze ontwikkeling is de toepassing van een afwijkend afdichtingsprincipe. Technisch wordt dit mogelijk door de toepassing van keramische onderdelen, waarvan de grote hardheid, de kleine uitzettingscoëfficiënt en de vormgevingsmogelijkheden worden benut.

3.20 Kunststof keukenspoelbak

Aan materialen voor keukenspoelbakken worden de volgende technische eisen gesteld:

1. Hoge breukweerstand (valhoogte stalen kogel volgens DIN 53799).
2. Hoge krasvastheid (DIN 53799, met Erichsen Test Apparatuur nr. 413).
3. Voldoende hardheid (Mohs-hardheid volgens DIN EN 101).
4. Bestand tegen een hete pan (met kokende olie).
5. Bestand tegen chemicaliën en vlekken.
6. Laag breukrisico voor vallend vaatwerk (proef met 100 kopjes).
7. Lage thermische uitzettingscoëfficiënt.

Voor een aantal materialen zijn de te bereiken waarden opgegeven in tabel 3.3.

Tabel 3.3 Eigenschappen van materialen voor keukenspoelbakken.

Eis nr. (zie tekst)	1	2	3	4	5	6	7
Materiaal	cm	N	Mohs	°C	waarderingcijfer		
SMC/powder-mould coated*	> 200	4,0	2-4	280	9	10	8
MMA/quartz**	> 200	2,5	2-3	250	9	7	7
MMA/Aluminium***	> 200	1,25	2	200	8	8	6
keramiek	40	5,0	6	> 300	10	3	10
geëmailleerd staal	90	> 6,0	3	> 300	10	7	10
roestvast staal	> 200	0,1	3	> 300	10	10	10

* = Decostone, ** = Asterite, Silacron, *** = Corian (merknamen). Bron: IPI

Zoals uit tabel 3.3 blijkt, voldoet roestvast staal aan de meeste van de gestelde eisen het best in vergelijking met andere materialen. Roestvast staal is bovendien ook qua prijs het gunstigste. Toch hebben andere materialen en dan vooral de relatief nieuwe kunststoffen een aantal voordelen boven staal en zij vertonen zelfs een sterke groei. Naar schatting nemen kunststoffen nu, ca. 5 jaar na hun introductie op de markt, ongeveer 10% van de Europese markt voor keukenspoelbakken in.

Deze groeiende populariteit is aan enkele ontwikkelingen toe te schrijven.

Behalve voor de primaire functies, zoals voedselbereiding, voedselopslag, vaatberging, vaatwas en eventueel eten, is de keuken in toenemende mate gaan fungeren in de wooncultuur en de woninginrichting. Zo zijn er nu de open keuken en de een- of tweekamerappartementen met een gecombineerde keuken-eetkamer-woonkamer. Bovendien is de aandacht voor woninginrichting in het algemeen de laatste decennia veel groter dan daarvoor.

Deze ontwikkelingen stellen nieuwe eisen aan de keuken; het zijn eisen die niet zozeer zijn gericht op een technische verbetering, maar vooral op vormgeving, functionaliteit en kleurgebruik.

Voor de vraag naar kleur in de duurdere keukens vormt de aanleiding voor het succes van kunststoffen. Roestvast staal wordt als kil ervaren. In het begin van de jaren zeventig werd dit al door fabrikanten onderkend; de gekleurde uitvoering in roestvast staal voldeed echter niet. Geëmailleerd staal en keramiek hebben beide als nadeel de relatief gemakkelijke breukbeschadiging. Keramiek, dat overigens in Frankrijk van oudsher een zeer populair materiaal is voor de gootsteen, heeft bovendien als nadeel de geringe vlakheid van het eindprodukt, hetgeen vooral een rol speelt bij integratie van de spoelbak in het aanrecht.

De ontwikkeling en de introductie van kunststoffen vormden de oplossing van het probleem. Hoewel de twee meest bekende kunst-

stoffen die op de markt zijn qua samenstelling en opbouw volledig verschillen (Asterite, een methylmetacrylaat dispersie met kwarts en Decostone, een 'sheet moulding compound' met een speciaal ontwikkelde 'powder mould coating'), kunnen zij beide worden gekleurd zoals de consument dat wenst en bovendien voldoen aan de andere eisen die aan een spoelbak worden gesteld.

In de ontwikkelingsgeschiedenis van deze materialen valt op dat zij geen van beide in de keukenindustrie, maar in de chemische industrie zijn ontwikkeld (Decostone door DSM en Asterite door ICI) en op de markt gebracht. De materialenindustrie heeft hier dus de ontwikkeling van een eindproduct op zich genomen.

Opvallend zijn echter de verschillen in de ontwikkelingsgeschiedenis. Decostone is bewust ontstaan uit het vermoeden van een bepaalde marktbehoefte. In 1976-77 werd begonnen met het zoeken naar een geschikt materiaal voor sanitair dat, afgezien van de overige eisen, vooral moest voldoen aan de eis van kleurgeving en er 'niet plastic' moest uitzien. In 1979 werd dit materiaal, of liever de geschikte combinatie van materialen (SMC + coating) gevonden. In 1981 werd de eerste keukenspoelbak van dit materiaal op de markt gebracht. Bij ICI werd in 1970 de basis gelegd voor het materiaal Asterite. De onderzoekafdeling was eigenlijk op zoek naar laksystemen waarbij dispersies van methylmethacrylaat konden worden toegepast. Een van de materialen die men daarbij maakte, leek echter voor het doel minder geschikt. Het onderzoeklaboratorium schoof het materiaal door naar een afdeling die vooral moest zoeken naar toepassingen. Deze ontwikkelde het in 1979 tot een bruikbare gietdispersie voor de specifieke toepassing in sanitair en in 1982 was Asterite voor het eerst in commerciële hoeveelheden verkrijgbaar.

De toekomst van deze materialen kan zeker interessant worden. Het komt niet vaak voor dat nieuwe composieten speciaal voor de consumentensector en zeker niet voor een weinig tot de verbeelding sprekend produkt als een gootsteen worden ontwikkeld. De verbreiding naar andere sanitaire sectoren (badkamer) ligt voor de hand.

Verrassend is wellicht de toepassing in de automobieliindustrie. Deze industrietak, normaal gesproken een pionier in de materiaaltoepassing, kan dit materiaal van de sanitaire sector overnemen. Zij kan in de toekomst zeker grote hoeveelheden 'powder mould coating' afnemen. De coating levert een porievrij oppervlak voor carrosseriedelen, geperst uit 'sheet moulding compound', zoals bijvoorbeeld voor de Renault Espace wordt toegepast. De coating is goed geschikt als primer voor gelakte polyesterdelen [44][45].

3.21 Gerubberiseerde natuurvezels

De vulmaterialen die tot in de jaren vijftig in de meubelindustrie werden toegepast, hadden een aantal nadelen: weinig elastisch, stoffig, zwaar en geen duurzame volumineusheid of luchtigheid. Veelgebruikte materialen waren gekruld zuiver haar en gestept materiaal (crin végétal) op jute ondergrond.

Op zoek naar verbetering van bovengenoemde eigenschappen werd een oplossing gevonden door het gekrulte materiaal te omhullen met een laagje elastische rubberlatex. Een bijkomend voordeel was dat het daardoor ook mogelijk werd allerlei vormdelen te maken.

In de jaren vijftig en zestig evolueerden zowel de gebruikte basismaterialen als de wijze van produceren. Als dragermateriaal wordt nu vaak gekrulte cocosvezel toegepast. Door toepassing van diverse componenten in de rubbercompound of door de rubber zelf te variëren, ontstonden vele variëteiten. Het materiaal werd oorspronkelijk geheel met de hand gefabriceerd, maar tegenwoordig vindt het proces grotendeels machinaal plaats, terwijl aan verdere automatisering wordt gewerkt.



Afb. 3.10 Filter van Cocolok (plantaardige vezels met rubberlatex).

Door de nieuwe specifieke mogelijkheden van het materiaal, nam het

aantal toepassingen snel toe. Behalve in de traditionele markten als de meubelindustrie en de stoffeerderij, wordt het nu ook toegepast in auto's, in matrassen, als schokabsorberend verpakkingsmateriaal en in een aantal technische toepassingen zoals stoffilters, luchtbevochtigingsapparatuur en kabelmofafdichtingen.

In de matrasindustrie is het materiaal bekend als een duurzame, drukverdelende afdeklaag in binnenveringmatrassen. Een recente ontwikkeling is de toepassing in polyether-matrassen als ventilerende middensector, in combinatie met het perforeren van de polyether boven- en onderlagen. Hiermee wordt niet alleen een gedifferentieerde ondersteuning bereikt, maar ook een optimale vochthuishouding door het ventilerend vermogen van de totale matraskern.

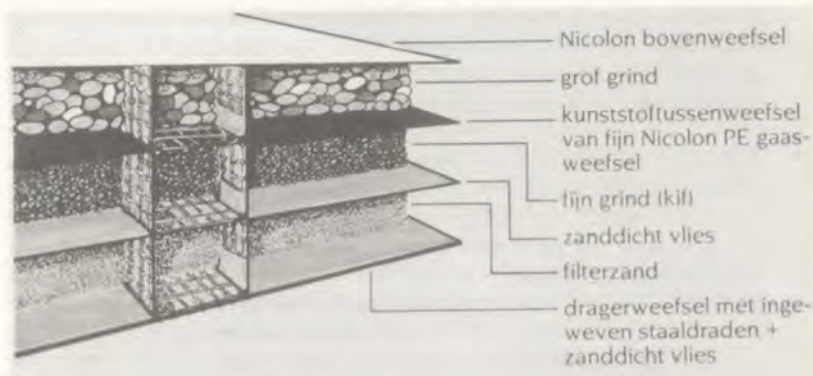
Het huidige materiaal (Hairlok, Cocolok en Haircolok) is opgebouwd uit natuurlijk materiaal op basis van een speciale compositie van rubberlatex met plantaardige vezels of dierlijke haarsoorten, of een combinatie van die twee. Dit materiaal kan vele functies vervullen, zoals beschermen, (op)vullen, afdekken, dempen, remmen, filtreren, isoleren, egaliseren, druk verdelen, vorm geven.

De eigenschappen van het materiaal zijn: duurzaam en blijvend veerkrachtig, elastisch, schokabsorberend en beschermend; vormherstellend, ook bij herhaald gebruik; grote variatiemogelijkheid in materiaaldichtheid ook binnen één vormstuk; open structuur, waardoor ventilerend en ademend; geringe eigen vochtname (niet hygroscopisch); stofarm en antistatisch; uitwasbaar en uitklopbaar; temperaturen tussen -30°C en $+60^{\circ}\text{C}$ hebben praktisch geen invloed op de produkteigenschappen.

3.22 Geotextielen, folie in weg- en waterbouw

De afgelopen decennia is in Nederland veel kennis opgedaan over de toepassing van geotextielen en geomembranen in de civiele techniek. Bij de uitvoering van de Deltawerken, maar zeker ook elders in de Nederlandse civiele techniek zijn grote vorderingen gemaakt en geheel nieuwe producten ontwikkeld. Dit heeft in Nederland geleid tot een hoog peil bij het ontwerpen, fabriceren en toepassen van deze producten.

De Stormvloedkering in de Oosterschelde is een goed voorbeeld van de toepassing van geotextielen. De 66 pijlers zijn gefundeerd op geprefabriceerde filtermatten van 200×42 meter. Ze zijn 32 cm dik en hebben een eigen gewicht van 5500 ton. De mat is samengesteld uit drie lagen, gevuld met achtereenvolgens zand, fijn grind en grof grind. De filterweefsels zijn speciaal voor dit doel ontwikkeld met behulp van rekenkundige modellen. Er moest bijzondere aandacht worden geschonken aan rek, treksterkte en waterdoorlatendheid.



Afb. 3.11 Doorsnede filtermat Oosterschelde.

De geotextielen vinden hun oorsprong voornamelijk bij de ontwikkeling van bodembeschermingsconstructies. Al eeuwen bestonden bodembeschermingsconstructies in Nederland uit zogenaamde wiepenmatten van wilge- en rijshout. Een aantal factoren waren aanleiding voor de Deltawerken nieuwe typen bodembeschermingsconstructies te ontwikkelen:

- de zeer grote bodemoppervlakten, die in relatief korte tijd tegen uitschuring moesten worden beschermd;
- het benodigde hout en de speciaal geschoolde arbeidskrachten waren voor deze hoeveelheden nauwelijks of niet beschikbaar;
- de kosten van het ballasten van wiepenmatten met stenen zijn zeer hoog;
- de duurzaamheid van wiepenmatten in de Deltawerken, waar de paalworm floreert, was op zijn minst twijfelachtig.

In eerste instantie werd aan het eind van de jaren vijftig een poging gedaan het gebruik van hout in de matten te reduceren. Dit gebeurde door toepassing van kunststofinlagen en een netwerk van stalen draden, zodat alleen de wiepen nog van hout waren. Deze eerste matten waarin geotextielen werden toegepast, waren ook de eerste typen die onder controle konden worden afgezonken.

Voor de afsluiting van het Veerse Gat in 1963 werd voor de eerste keer een nylon bodembescherming toegepast. Deze bestond uit een nylon weefsel waaraan in geotextiel verpakte zandcilinders waren bevestigd.

Eind jaren zestig kwam de echte doorbraak door de uitvinding van het lussenweefsel. Het was nu mogelijk een groot zink- of kraagstuk snel en eenvoudig te maken door de wiepen met touw aan de in het geotextiel ingeweven lussen te bevestigen.

Van toen af werd hout alleen nog maar toegepast ter verkrijging van enige stijfheid en drijfvermogen. Het hout beschermde tevens het geotextiel tijdens de steenstorting. Tegelijkertijd werden ook snellere en nauwkeuriger procedures ontwikkeld voor het afzinken van de mat.

Sindsdien worden kunststoffen steeds meer toegepast op de grensvlakken van de conventionele bouwmaterialen, als grond, granulaire materialen, asfalt, beton en staal. Reeds vaker is bij falende constructies gebleken dat juist deze overgangen de zwakste schakels zijn in civieltechnische werken.

Er bestaan verschillende geotextielen. Ze kunnen worden onderscheiden naar voorkomen, materiaal en eigenschappen in:

- klassieke (opgebouwd uit garens en/of vezels)
- speciale: materialen die buiten de eigenlijke 'textiel' vallen zoals netten, grids en vormplaten
- composieten: combinaties van bovengenoemde geotextielen.

Daarnaast zijn er nog vloeistofdichte geotextielen, de zogenaamde geomembranen.

De meest voorkomende toepassingsgebieden van geotextielen zijn: weg- en spoorfunderingen, erosiebescherming, grondconstructies, drainagesystemen, asfaltwapening en waterdichte afsluitingen.

Tussen toepassing, functie en eigenschappen van geotextielen bestaat een samenhang die bekend moet zijn om tot een verantwoord gebruik te komen.

Zowel voor de industrie als voor de afnemer zijn inzicht en overeenstemming op het gebied van toepassingen, functies, eigenschappen, ontwerpmethoden en beproevingsmethoden van groot belang.

De Nederlandse industrie op het gebied van fabricage en toepassing van geotextielen en geomembranen gaat zich steeds meer richten op exportmarkten.

Ter versterking van de Nederlandse concurrentiepositie op de exportmarkten is er een handleiding gemaakt [46].

3.23 Vormgeheugenmetaal voor pijpverbindingen

Er wordt al lang gezocht naar eenvoudige en betrouwbare middelen voor het verbinden van pijpen. De verbinding mag niet interfereren met het materiaal in de pijp en de stroming in de pijp mag niet teveel worden gehinderd. De verbinding moet mechanisch of chemische misbruik kunnen weerstaan, mag niet te duur zijn en moet eenvoudig zijn te monteren, repareren of vervangen.

Vooraf bij de toepassing van pijpen in vliegtuigen, bijvoorbeeld in hydraulische leidingen, moet worden voldaan aan eisen van gewicht

en in sommige gevallen van afmeting. Bovendien moet tijdens het vliegtuigonderhoud soms de hydraulische verbinding tussen componenten worden verbroken en weer hersteld, dikwijls in kleine ruimten. Deze eisen zijn strijdig met de toepassing van gelaste of gesoldeerde verbindingen (de tot nu toe meest toegepaste methode). Lassen en solderen vereisen een omvangrijke uitrusting, die de te verbinden delen volledig moet omringen. Bovendien kunnen zulke verbindingen niet eenvoudig worden uitgenomen en opnieuw vervaardigd.

In de jaren zeventig heeft de Amerikaanse firma Raychem (Menlo Park, California) een koppelingssysteem voor pijpen op de markt gebracht onder de naam Cryofit. Karakteristieke toepassingsgebieden voor Cryofit zijn de procesindustrie, de vliegtuigindustrie en de halfgeleiderindustrie. De werking van de Cryofit koppelingen is geheel gebaseerd op de eigenschappen van vormgeheugenmetaal. Als een vormgeheugenmetaal mechanisch wordt gedeformeerd bij een specifieke, door de legeringssamenstelling bepaalde temperatuur, zal het metaal bij opvoering van de temperatuur terugkeren in een tevoren vastgestelde vorm. Dit vormgeheugen-effect vindt zijn oorzaak in een verandering van de kristalstructuur van de legering, een zogenaamde reversibele fase-transformatie van austenitische naar martensitische structuur. Het vormgeheugen-effect komt voor bij veel legeringen. De bekendste en meest gebruikte legeringen zijn nikkel-titaan, koper-zink-aluminium en koper-aluminium-nikkel. Men onderscheidt een eenweggeheugen (deformatie in koude toestand en het aannemen van een bepaalde vorm in de warme toestand met maximale vervorming tot 8%) en een tweeweggeheugen (een bepaalde vorm in koude toestand en een bepaalde andere vorm in warme toestand met maximale vervorming tot 3%), afhankelijk van de manier waarop het materiaal is bereid. Het eenweggeheugen wordt het meest toegepast. Andere belangrijke eigenschappen van deze legeringen zijn een hoge dempingscapaciteit en pseudo-elasticiteit.

Behalve de toepassing van geheugenmetaal in pijpkoppelingen zijn momenteel toepassingen in ontwikkeling in de medische techniek (vormgeheugen in verbindingsplaten of nieten voor samenvoeging van botdelen, pseudo-elasticiteit in de tandheelkunde), de ruimtevaart (vormgeheugen in mechanismen voor aansturing van apparatuur, opvouwbare ruimte-antennes), de automobiellindustrie (aansturing van opklapbare koplampen in de Toyota door torsie-elementen) en de procesindustrie (aansturing van afsluiters en ventielen). In de sfeer van de speeltjes werden al enkele producten op de markt gebracht (theelepeltjes die van vorm veranderen in aanraking met de warme vloeistof, motortjes, ontluikende kunstrozen, enz.) Belangrijke belemmeringen voor een brede toepassing van vormgeheugenmetalen zijn nog de complexe technologie, enkele technisch minder gunstige

eigenschappen (kruip, verschuiving van transformatietemperatuur bij hogere temperaturen, degradatie), een grote hoeveelheid octrooien (vooral bij toepassing van koper-zink-aluminium en koper-aluminium-nikkel) en de hoge prijs (prijs van onbehandeld basismateriaal nikkel-titaan ca. f 1000,— per kg).

De montage van de Cryofit-koppeling gaat als volgt: een stukje pijp van vormgeheugenmetaal wordt radiaal geëxpandeerd, dat wil zeggen mechanisch verwijd met een doorn of iets dergelijks, beneden de overgangstemperatuur van het materiaal. De buis wordt dan verwarmd tot boven de overgangstemperatuur, waarbij de buis in geëxpandeerde stand wordt gehouden door de doorn. Op de geschikte tijd wordt het stukje buis gekoeld tot onder de overgangstemperatuur. De buis expandeert en wordt over de te verbinden delen geschoven. Nadat de buis weer is verwarmd, maakt de koppeling een zeer dichte passing. Als de koppeling echter weer wordt afgekoeld, is verwijdering mogelijk. Dit laatste is een voordeel boven de traditionele krimp-koppeling. Belangrijke voordelen van Cryofit boven een traditionele krimp-koppeling zijn dat er geen hoge eisen worden gesteld aan materiaal- en vormtoleranties en dat de montage zonder veel gereedschap kan plaatsvinden [47][48].

3.24 Sandwichpanelen voor de bouw

Bij de bouw van industriehallen met thermische isolatie worden op een draagconstructie van stalen profielen een buiten- en een binnen-huid van gelakt of verzinkt staalplaat aangebracht, waartussen een isolatielaag van steenwol wordt geplaatst. Deze bouwwijze is relatief goedkoop, doch het aanbrengen van de wanden is arbeidsintensief en duurt vrij lang. Bovendien zijn de huiden geprofileerd, meestal in een trapeziumvorm, om de nodige stijfheid tegen windbelasting te verkrijgen.

Een methode die eind jaren zestig is begonnen, gaat uit van aluminiumband van beperkte breedte dat in continuproces wordt gelakt. Daarna wordt het door rollen in de gewenste vorm gebracht. Door een binnen- en een buitenhuid met polyurethaan-hardschuim (PU) aan elkaar te verbinden, kan men isolerende panelen fabriceren die met een tong- en groefstelsel simpel en snel tot grote wandvlakken zijn samen te stellen. Door de stijve constructie kunnen deze panelen vlak blijven, hetgeen architectonisch nieuwe mogelijkheden biedt.

In het ontwikkelingsproces was er een keus tussen een continuproces en een ladingsgewijze verwerking. Hoesch koos voor het eerste, Hunter Douglas voor het laatste, mede door de grote kleurkeuze die

men wilde bieden en de mogelijkheid op afroep te produceren en zo de voorraad klein te houden. Als tweede probleem moest een goede hechting van het PU-schuim aan de aluminium huden worden gegarandeerd. Dit kon worden bereikt door in de lakstraat een speciale hechtpriemer aan te brengen. Om de druk tijdens het uitharden van het schuim op te vangen en om de reactiewarmte af te voeren, was het nodig stalen watergekoelde mallen te maken. Bij geopende mal worden de twee huden en een gesloten PVC-verbingsprofiel geplaatst, waarna het PU in vloeibare vorm wordt ingegoten. Na het sluiten van de mal vindt de chemische reactie plaats, waarbij de ruimte tussen de binnen- en buitenhuid geheel met schuim wordt gevuld. De dichtheid van het schuim wordt door de dosering bepaald. Na tien minuten kan het paneel worden uitgenomen; verscheidene mallen worden in een cyclisch programma gevuld en geleegd.

Het resultaat van deze ontwikkeling is een programma van zelfdragende sandwichpanelen met een breedte van 1 meter en in dikten van 50, 75 en 100 mm en een maximale lengte van tien meter. Uitstekende stroken van binnen- en buitenhuid vallen in holten van het PVC-sluitprofiel, waardoor een winddichte verbinding tussen de panelen onderling wordt verkregen. Door klemmen die eveneens in het sluitprofiel aangrijpen, worden de panelen op de stalen gordingen van de draagconstructie bevestigd; hierbij zijn overspanningen van drie tot vier meter mogelijk. Door de geringe breedte en het lichte gewicht zijn de panelen gemakkelijk en zonder hulpmiddelen te plaatsen. Na zeventig ontvangst door de bouwwereld is in de loop van de jaren rondt aan het leveringsprogramma de mogelijkheid toegevoegd ronde en langwerpige vensters in de panelen aan te brengen (toepassing in loopbruggen en passages). Ook worden kwartronde panelen en passende hoekstukken ontwikkeld, waarmee architecten de moderne 'soft-line' in gebouwen kunnen realiseren.

Het innovatieve van deze ontwikkeling ligt in het combineren van twee materialen tot een zelfdragende isolerende constructie, waardoor met minimaal materiaalgebruik en grote vormvrijheid bouwkundige opgaven kunnen worden opgelost. Sandwichpanelen worden thans door enkele firma's op de markt gebracht en hebben zich een vaste plaats op de bouwmarkt veroverd.

3.25 Rioolputten van kunststof

Ons rioolstelsel is iets waar we over het algemeen niet zoveel woorden over vuil maken. Toch is het uit het oogpunt van nieuwe toepassingen van materialen wel interessant.

Van oudsher zijn riolen opgebouwd uit gres en baksteen. In de vorige eeuw kwam daar het gebruik van beton bij en aan het eind van de jaren vijftig begon men aarzelend ook met kunststof. Sindsdien is vooral polyvinylchloride (PVC) uitgegroeid tot een volwaardig en alom geaccepteerd materiaal voor de kleine tot middelgrote hoofdrioolleidingen en vooral ook voor leidingen naar de huis- en kolkaansluitingen.

Behalve kunststof buizen en bijbehorende fittingen ziet men ook vaak kunststof kolken (voor regenwaterafvoer). Ook deze bestaan voornamelijk uit PVC.

Voor rioolputten, ook wel inspectieputten of mangaten genoemd, bleef men tot nu toe nog meestal de voorkeur geven aan het traditionele beton of soms zelfs nog aan baksteen. Met glasvezel versterkte kunststof (GVK-)putten werden tot voor kort nog slechts beperkt geaccepteerd. De terughoudendheid in de toepassing van deze GVK-putten houdt verband met de wijze van rioolonderhoud. Een rioolput wordt tenslotte slechts ingezet voor inspectie- en reinigingsdoeleinden. Het rioolonderhoud heeft echter geleidelijk een grondige vernieuwing doorgemaakt. Het gebruik van hogedruk reinigingsslangen en televisie-camera's heeft afdalen in de schacht bijna geheel overbodig gemaakt. Daardoor is het ook niet meer nodig veel putten met een grote diameter in het rioolstelsel aan te brengen. De cruciale punten in het leidingentracé, zoals belangrijke knooppunten, blijven wellicht uitzonderingen.

De verminderde toegankelijkheid voor personen, door toepassing van kleinere putten is van groot belang. Bij werkzaamheden in putten vallen immers nog jaarlijks enkele doden door rioolgas. Ook uit technisch oogpunt biedt een kleinere put een aantal voordelen, in de eerste plaats stromingstechnisch gezien. Het blijkt namelijk dat afvoerproblemen vaak hun oorzaak vinden in het afwijkende stroomprofiel ter plaatse van de putbodem. Met een put van kleinere diameter kan een beter stromingsgedrag worden verkregen (minder turbulentie).

Verder is een kleinere put voordelig bij constructie en vooral bij de installatie. Er is minder inbouwruimte nodig (dus minder ontgraving) en een kleiner produkt is eenvoudiger te verwerken. Tenslotte is een kleine put goedkoper dan een grote.

De tendens naar kleinere rioolputten biedt mogelijkheden nieuwe materialen en constructies toe te passen. Met de opkomst van deze kleinere putten neemt ook het gebruik van kunststoffen toe.

Het relatief goedkoop fabriceren van kleine produkten in kunststof is daarvoor een belangrijke reden. De technische voordelen die het gebruik van kunststof rioolputten met zich meebrengt, worden eveneens steeds meer onderkend: goed stroomprofiel, laag gewicht, goede aansluitmogelijkheden.

Tevens begint de goede chemische resistentie van kunststoffen van steeds groter belang te worden.

Momenteel worden er in Europa rioolputten (of delen daarvan) aangeboden, die gemaakt zijn uit met glasvezel versterkt polyester, polyvinylchloride, polypropyleen en polyethyleen. In Nederland is momenteel een toenemende voorkeur voor polyester putten met een diameter van 600 mm. In de Scandinavische landen blijkt de voorkeur steeds meer uit te gaan naar PVC-schachten met een diameter van 300 à 400 mm met polyethyleen bodems. Deze bodems worden meestal gefabriceerd door middel van rotatie-gieten.

De meningsvorming is nog in beweging, maar er is een toenemend gebruik van kleine rioolputten en vooral van kleine kunststof rioolputten te signaleren.

4. Materialen

4.1 Metalen en metaalverwerkende technieken

Ir. M.J. ten Bouwhuijs

Prof.dr.ir. B.H. Kolster

In deze paragraaf wordt nader ingegaan op een aantal veelbelovende ontwikkelingen met betrekking tot metalen en legeringen. Hiermee wordt bedoeld dat zulke metalen en legeringen bepaalde gebruikseigenschappen vertonen die aanzienlijk beter zijn dan die van de conventionele materialen.

Dit kan op drie manieren worden bereikt:

- door een specifieke legeringssamenstelling
- door het creëren van een specifieke microstructuur, hetgeen kan worden bereikt door één van de aangepaste vervaardigingsmethoden die de laatste decennia zijn ontwikkeld
- door een combinatie van beide.

Op grond hiervan zal beknopt worden ingegaan op een aantal veelbelovende ontwikkelingen op het gebied van legeringssamenstelling en fabricagemethoden. Daarbij wordt verwezen, overigens zonder dat naar volledigheid is gestreefd, naar enkele door de overheid gesubsidieerde centra, waar onderzoek voor deze ontwikkelingen wordt uitgevoerd.

Sterke en lichte metalen

In de belangstelling staat het onderzoek aan aluminium-lithium legeringen. Lithium is het lichtste metaal en het heeft een betrekkelijk hoge elasticiteitsmodulus. Daardoor levert toevoeging aan aluminium van 2,5% lithium een gewichtsbesparing op van 9% en een specifieke stijfheid E/ρ die 20% hoger ligt dan van de oudere aluminium legeringen. De sterkte in dit type materiaal wordt verkregen door zeer fijne (10-100 nm) coherente Al_3Li -precipitaten. Een bezwaar van de aluminium-lithium legeringen is de lage breukrek. Deze wordt verbeterd door toevoeging van 1,3-2,1% koper. Korrelgroei en rekristallisatie worden tegengegaan door 0,12% zirconium toe te voegen. Daarmee wordt tevens de stabiliteit bij hogere temperaturen verbeterd.

De reactiviteit van lithium maakt het nodig dat gietlegeringen in een inerte atmosfeer (helium) worden verwerkt.

Toepassingen van dit materiaal zijn nog niet gerealiseerd. De verwachting is dat het in het volgende decennium in de vliegtuigbouw zal worden toegepast. Onderzoek in Nederland gebeurt bij [d][k][s]. In een nog minder ver ontwikkeld stadium bevinden zich de magnesium-lithium legeringen. Met deze legeringen kunnen dichtheden worden behaald rond 1, maar omdat voor het verkrijgen van de nodige sterkte andere, zwaardere legeringselementen nodig zijn, zal de dichtheid praktisch rond 1,3 komen te liggen.

Afhankelijk van het percentage lithium verkrijgt men legeringen met het hexagonale kristalrooster van magnesium, die sterk zijn en een versterking vertonen, of legeringen met het kubisch ruimtelijk gecentreerde kristalrooster van lithium. Deze legeringen hebben een lage sterkte, maar voor magnesiumlegeringen een zeer groot vervormingsvermogen.

'Dual phase' stalen

De nieuwste ontwikkeling op het gebied van de HSLA-stalen ('high strength low alloy') zijn de 'dual phase' stalen. Door een ferritisch-martensitische structuur te creëren met 10 à 20% harde martensiet, verkrijgt dit staal betere vervormbaarheid en hogere sterkte dan andere stalen. Ook bainiet en austeniet komen soms in de structuur voor. De structuur kan op twee manieren worden verkregen:

- door gloeien in het austeniet-ferriet gebied en daarna snel afkoelen (voor de laaggelegeerde MnV-, MnTi- of MnNb-stalen)
- door nauwkeurig walsen en afkoelen (voor de wat hogergelegeerde stalen van de typen CrMo of MnSiCr).

De martensieteilandjes veroorzaken een veld van drukspanningen in het omringende ferriet, waardoor grotere vervormingen kunnen optreden voordat scheurtjes ontstaan. De stalen vertonen een hoge werkversterking, een hoge treksterkte en een goede breukrek.

Ondanks deze gunstige eigenschappen worden ze nog weinig toegepast. Het productieproces luistert zeer nauw; daardoor treedt er nog al wat spreiding op in de eigenschappen. Onderzoek in Nederland gebeurt bij [g][m].

De gunstige 'dual phase' structuur (een zachte vervormbare matrix met hardere deeltjes en de daaruit voortvloeiende hoge werkversterking) leidde tot een poging een 'dual phase' structuur te maken met een aluminium-zink legering (33% zink). Ook hier was de vervormbaarheid goed; voor het verkrijgen van de gewenste sterkte moeten nog legeringselementen worden toegevoegd.

Roestvaste stalen

De ferritische roestvaste stalen met 17, 20 of 25% chroom zijn bestand tegen een oxyderende omgeving, maar niet voldoende tegen reducerende zuren. De weerstand tegen interkristallijne corrosie werd verbeterd door binding van de koolstofatomen met een sterke carbidevormer (in het algemeen titaan). De legeringen vertonen geen spanningscorrosie in chloride-milieu, maar wel in salpeterzure oplossingen.

De austenitische roestvaste stalen zijn goed bestand tegen oxyderende en reducerende zure omgeving, alsmede tegen basische omgeving. Ze zijn gevoelig voor interkristallijne corrosie, tenzij de hoeveelheid koolstof minder bedraagt dan 0,03% of is afgebonden door titaan of niobium. In oxyderende omgeving zijn ze bestand tegen spanningscorrosie, maar gevoelig in chloridehoudende omgeving.

Combinatie van deze eigenschappen leidde tot de ontwikkeling van de austenitisch-ferritische roestvaste stalen (duplexstalen). De meest voorkomende samenstelling is: minder dan 0,05% koolstof, 25% chroom, 7% nikkel, 3% molybdeen, 2% koper, 0,2% stikstof, 1% mangaan en 1% silicium. De stalen vertonen een aanzienlijk vertraagde groei van door spanning geïnduceerde scheuren. Ze worden gebruikt in warmgewalste of gegoten toestand, waarbij vaak een aanvullende warmtebehandeling wordt uitgevoerd. In het algemeen wordt 50% ferriet/50% austeniet als de gunstigste verhouding beschouwd, maar de eigenschappen kunnen nogal sterk variëren, afhankelijk van vele complexe fasen die kunnen optreden.

Onderzoek in Nederland, waarbij onder andere de lasbaarheid wordt bekeken, gebeurt in het kader van een project van het Nederlands Instituut voor Lasonderzoek, waaraan veel bedrijven en onderzoekinstellingen deelnemen.

Recent ontwikkelde austenitische roestvaste stalen met een hoog molybdeengehalte (6%) en toevoeging van koper hebben een uitmuntende weerstand tegen put- en spleetcorrosie en een goede weerstand tegen algemene corrosie.

Een hoog stikstofgehalte geeft bovendien een hoge sterkte in vergelijking met andere austenitische stalen. De superferrieten, met meer dan 30% chroom, vertonen in chloorhoudend water een veel hogere corrosieweerstand dan de bekende roestvaste stalen.

Onderzoek naar het corrosiegedrag van diverse typen roestvast staal vindt plaats bij [t].

Fijnkristallijne en niet-kristallijne (amorfe) metalen

De sterkte van legeringen is te verhogen door middel van tweedefase-deeltjes, zoals bij precipitatieharding (aluminium-koper, nimonics

enz.) en dispersieharding (Sintered Aluminum Powder (SAP), Thorium Dispersed Nickel (TD-nickel), enz.). Dit geeft weliswaar een hogere sterkte, maar tevens een geringere taatheid. De sterkte kan zonder verlies aan ductiliteit worden verbeterd door korrelverfijning. De nanokristallijne materialen vertonen al een extreem kleine korrel, ter grootte van enkele nanometers. Dit is onder andere te bereiken door middel van chemische reacties. Bij een dergelijke fijne korrel is de hoeveelheid korrelgrenzen ongeveer even groot als de hoeveelheid kristallietjes. Dit leidt niet alleen tot interessante mechanische eigenschappen, maar ook tot bijzondere elektrische en magnetische eigenschappen. Verwacht mag worden dat het onderzoek naar deze relatief recent ontdekte materialen vooralsnog wordt voortgezet en dat daaruit de nodige toepassingen zullen resulteren.

Een fijnkorrelige gietstructuur kan men bereiken door toevoegingen, onder andere van lanthaan, aan continu gegoten staal, maar ook door het stollende materiaal te roeren of in trilling te brengen. Daardoor worden groeiende deeltjes afgebroken tot kleinere; misschien ook wordt het stollen zelf in eerste instantie vertraagd. Onderzoek in Nederland gebeurt bij [b].

Door metalen extreem snel af te koelen (ten minste 10^6 K/s, mogelijk is reeds 10^{12} K/s) kan de amorf vloeistofstructuur worden bevroren (metallische glazen). Ook uit de dampfase is amorf metaal te verkrijgen (onder andere in opgedampte lagen).

Amorfe metalen vertonen bijzondere eigenschappen: ze zijn hard en de sterkte kan oplopen tot 2500 N/mm^2 . Plastische vervorming is inhomogeen en zeer plaatselijk, maar sommige glazen gedragen zich bij buigen of walsen ductiel. Goede corrosiewerende eigenschappen of bijzondere elektrische en magnetische eigenschappen komen voor, afhankelijk van het type legering.

De vereiste hoge afkoelsnelheid leidt tot speciale produktietechnieken. Daarom is de vorm waarin de materialen verkrijgbaar zijn beperkt tot poeder, draad of lint (dit laatste 50-100 micrometer dik en enkele centimeters breed). Daarmee is tevens de toepassing als constructiemateriaal beperkt tot bijv. versteviging in autobanden. De belangrijkste toepassingen vindt men in videobanden, magnetometers, microfoons enz. Daarbij wordt vooral gebruik gemaakt van de zeer goede magnetische eigenschappen.

Een tweede beperking wordt gevormd door de thermische stabiliteit. De glazen zijn stabiel tot ongeveer de helft van de smelttemperatuur; daarboven kristalliseren ze. Hierop is de mogelijkheid gebaseerd het metaal te verpoederen, samen te persen en door middel van heet isostatisch persen, sinteren of warm extruderen tot bulkproduct te verwerken. Tijdens de daarbij optredende kristallisatie ontstaan zeer fijne korrels (0,1-1 micrometer) die onder andere een hoge sterkte aan

het produkt geven. Een potentiële toepassing van dergelijk materiaal is het gebied van de gereedschap- en matrijzenstalen. In Nederland wordt onderzoek gedaan door [b][k][r][s].

Supergeleidende materialen

Bij temperaturen tot ca. 20 K zijn diverse metaallegeringen supergeleidend, dat wil zeggen dat de elektrische weerstand nul wordt. Daardoor worden zeer grote stroomdichtheden in geleiders mogelijk. Daarmee kunnen bijvoorbeeld zeer sterke magneten worden gebouwd. Andere produkten zijn gelijkrichters, transformatoren. Er zijn inmiddels diverse supergeleidende materialen verkrijgbaar, onder andere NbTi, dat zich zeer goed laat verwerken en Nb₃Sn, mits via de zogenaamde bronsmethode vervaardigd. Onderzoek, onder andere in Japan, richt zich zowel op nieuwe legeringen als op nieuwe produktietechnieken. Nb₃Ge wordt vervaardigd door uit een mengsel van metaalchloriden de legering met behulp van Chemical Vapour Deposition (CVD) op een band neer te slaan. Om Nb₃Ga en Nb₃Al te verkrijgen, brengt men de zuivere metalen met behulp van een laser op het oppervlak van een band tot smelten, waarbij de legering wordt gevormd. Deze legeringen zijn speciaal geschikt voor hoge magnetische velden. Andere legeringen, zoals V₂Hf en V₂Zr, kunnen door diffusie worden gemaakt. Onderzoek in Nederland wordt gedaan bij [c][g][j][n][r].

Materialen met vormgeheugen

Verscheidene legeringen, onder andere messing en nikkel-titaan, vertonen het vormgeheugengedrag. Wanneer ze plastisch zijn vervormd, nemen ze hun oude vorm weer aan wanneer ze worden verwarmd. Het verschijnsel berust op een omkeerbare martensitische transformatie. Bij terugkeer in de oude vorm kan het materiaal arbeid leveren.

Onderzoek in Nederland bij [g][u] richt zich op het mechanisme van de transformatie en op de produktie-aspecten, zoals lasbaarheid en het ontwerpen met dit materiaal.

Superplastisch vervormen

Het verschijnsel superplasticiteit, waarbij metalen bij een trekproef vele honderden procenten kunnen rekken, is al rond 1920 ontdekt, maar niet altijd in de belangstelling geweest. Sinds een aantal jaren heeft het weer de aandacht.

De zogenaamde structurele superplasticiteit is het belangrijkste.

Voorwaarde daarvoor is een fijne, stabiele korrelgrootte (minder dan $10\mu\text{m}$) tijdens het deformeren (bij temperaturen boven $0,4 \times$ de absolute smelttemperatuur) alsmede een hoge reksnelheidsgevoeligheid van het materiaal, waardoor het niet plaatselijk insnoert. Fijnkorreligheid wordt bereikt en bewaard door een fijn verdeelde tweede fase te laten precipiteren, of door een eutektische of eutektoïdische samenstelling te kiezen.

De structuur na het deformeren vertoont veel gelijkenis met de uitgangsstructuur, de korrelvorm is ongeveer hetzelfde en er is nauwelijks slip in de korrels opgetreden, maar de korrels zijn wel sterk geroeteerd. Korrelgrensslip wordt vaak als mogelijk deformatiemechanisme genoemd.

Daarnaast worden processen zoals diffusiegestuurde vervorming en kruip ten gevolge van dislocatiebewegingen beschreven. Een andere benadering geschiedt langs rheologische weg. In beide gevallen echter worden sommige theorieën niet door de experimenten gedekt. Ook over het breukgedrag is nog weinig bekend. Holten vormen zich bij voorkeur op de grenzen tussen fasen; ze zijn meestal rond en even groot als de korrels zelf. Soms komen ze in ketens voor. Ook wanneer harde deeltjes de matrix loslaten, ontstaan holten. Op dit punt wordt in het buitenland nogal wat onderzoek gedaan, onder andere met betrekking tot de invloeden van de procesvariabelen (reksnelheid enz.).

De grote rekken maken produktietechnieken mogelijk zoals die ook voor kunststoffen worden toegepast: vacuümvormen of de flessenblaastechniek. Uit buis kan men (in een matrijs) een ingewikkelde vorm, bijvoorbeeld een balg, maken. Smeden behoort ook tot de mogelijkheden.

De materialen die in aanmerking kunnen komen, zijn onder andere het commercieel toegepaste eutektische zink, gelegeerd met 22% aluminium (Zn-22%Al) en verder aluminium, gelegeerd met 6% koper en 0,5% zink (Al6Cu0,5Zn) (zink voor de fijne korrel). Titaan, gelegeerd met 6% aluminium en 4% vanadium (Ti6Al4V) blijkt zeer structuurgevoelig te zijn, maar biedt mogelijkheden, evenals nikkellegeringen.

Uit onderzoek naar het superplastische gedrag van fijnkorrelig duplexstaal blijkt dat het betere eigenschappen heeft dan de conventionele roestvaste stalen. Het onderzoek is echter nog in de aanloopfase.

Poedermetallurgie en heet isostatisch persen

Poeders vragen hun eigen verwerkingstechnieken, afwijkend van de conventionele. De daaruit voortvloeiende onzekerheden over de kwaliteit van de produkten en over de economische voordelen van

deze technieken hebben ertoe geleid dat een doorbraak van poedermetallurgie lang op zich liet wachten. In de Verenigde Staten en Zweden wordt er veel aan gedaan; in Japan staat het weliswaar nog in de kinderschoenen, maar het is daar, mede dankzij de snel groeiende automobiellindustrie, de snelst groeiende vormgevingstechniek.

Poedermetallurgie is geschikt voor producten die niet of niet gemakkelijk door smelten te verkrijgen zijn, zoals wolfram, hardmetalen en metalen die in vloeibare toestand niet mengen. Ook poreuze producten kunnen worden vervaardigd (bijvoorbeeld filters).

Door poeders te mengen, zijn allerlei samenstellingen te maken. Van belang is hierbij het mechanisch legeren ('mechanical alloying'): poederdeeltjes lassen aan elkaar bij vermalen onder hoge druk in speciale kogelmaalininstallaties, worden platgewalst, gebroken, opnieuw gelast, gewalst enz. tot een legering ontstaat. De techniek is onder andere toegepast voor nikkel superlegeringen voor hoge temperaturen (1100°C), die op de normale manier niet zijn te maken. Aangezien voor kruipgedrag bij hoge temperatuur een grote korrel gewenst is, werd dit materiaal speciaal vervormd en aansluitend rekristalliserend gegloeid. Een ander voordeel van poedermetallurgie is dat de eigenschappen van de producten beter zijn dan die van gegoten producten, onder andere door de afwezigheid van voorkeursoriëntatie. Er zijn kleinere toleranties mogelijk dan bij smeden. Speciaal voor dure materialen kan economisch worden geproduceerd omdat er bijna geen materiaalverliezen zijn ('near net shaping') of volledig op maat kan worden geproduceerd ('net shaping'), zoals bij spuitgieten.

De belangrijkste ontwikkeling van de laatste tien jaar in de poederverwerkende vormgevingstechniek is het heet isostatisch persen (HIP). Het poeder wordt verpakt in een flexibel membraan of flexibele matrijs en onder hydrostatische druk verhit. Een voordeel van HIP is de uniforme dichtheid dicht bij de theoretische; dus geen porositeit. Verder zijn betere vermoeiings- en kruipeigenschappen, een verhoogde ductiliteit en een fijne korrel verkrijgbaar. De spreiding in eigenschappen is minder dan bij conventionele technieken. De techniek wordt ook gebruikt voor het naverdichten van gesinterde producten, voor het herstellen van fouten (scheuren, holten) in gietstukken en voor het aanbrengen van poedercoatings op oppervlakken. Smeden en andere vormgevingstechnieken zijn eveneens in combinatie met HIP mogelijk.

De beschikbaar komende zware persen en de toenemende kennis maken het mogelijk grotere producten dan voorheen uit poeders te vervaardigen. Men denkt over productie op grote schaal van producten uit bijv. gelegeerd staal of molybdeen (-legeringen). De kosten van 10 à 100 gulden per kilo zijn nog hoog, maar voor grote series (bijv.

kleppen voor de olie-industrie, waar hoge sterkte en corrosiebestendigheid belangrijk zijn) verwacht met een daling tot drie gulden per kilo. In dat geval is een groei te verwachten ten kosten van verspanen en smeden.

Het onderzoek in Nederland richt zich onder andere op het compacteren van de poeders [b][q].

Vormgeving onder hydrostatische druk

Bij hydrostatisch en hydromechanisch vervormen van metalen en legeringen zorgt de hydrostatische druk voor een interessante beïnvloeding van de mechanische eigenschappen van het materiaal, zoals een verhoogde ductiliteit en een vloeiende overgang van elastische naar plastische vervorming. Deze techniek leent zich in het bijzonder voor moeilijk te vervormen materialen en voor heterogene materiaalcombinaties. Onderzoek wordt gedaan bij [u].

Laserbewerking

Een laser met bijbehorend optisch systeem brengt een lichtbundel voort met een zeer hoge vermogensdichtheid (tot 10^9 W/cm²) die, afhankelijk van de instelling, op een aantal manieren kan worden toegepast voor materiaalbehandeling en -bewerking. De belangrijkste toepassingen zijn harden, lassen, boren en snijden, maar tot de mogelijkheden behoren ook korrelverfijnen of verglazen en het modificeren van het oppervlak door nieuw materiaal toe te voegen of een deklaag aan te brengen.

Het gebruik van de laser heeft als voordelen de goede regelbaarheid van de bundel, die een optimale instelling mogelijk maakt, de massaloosheid van de bundel waarvoor zeer hoge bewerkingssnelheden mogelijk zijn en de afwezigheid van mechanisch contact met het werkstuk waardoor geen vervorming optreedt. Verder kan een groot scala van materialen worden bewerkt.

Voor warmtebehandelingen met de laser zijn staal en gietijzer de voornaamste materialen. Harden levert, vergeleken met conventionele methoden, vaak een hardere structuur aan het oppervlak en daarmee een grotere slijtvastheid bij minimale vervorming. Doordat slechts de oppervlakte wordt gehard (ca. 2 mm diepte is mogelijk), ontstaan drukspanningen die de vermoeiingssterkte verhogen. Onderzoek op het gebied van harden richt zich op de vele variabelen: de bundelinstelling, de absorptie van licht door het oppervlak, warmte- en massatransport (koolstofdiffusie in staal) en berekeningsmodellen waarmee de hardheid kan worden voorspeld. De door deze behandeling veroorzaakte microstructuren spelen een belangrijke rol bij de beoordeling van resultaten.

Bij lassen richt het onderzoek zich eveneens op de invloed van de vele variabelen. Boren en snijden zijn mechanisch gezien verschillende processen, maar ze zijn met een laser uit te voeren onder dezelfde condities ten aanzien van intensiteit van de bundel en tijd. De geringe warmte-overdracht zorgt bij snijden voor een nauwkeuriger resultaat en een geringe thermisch belaste zone (enkele tientallen micrometers dik). Onderzoek naar de in die zone optredende materiaalstructuur wordt nog niet verricht.

Het onderzoek aan modificatie van oppervlakken moet eigenlijk nog beginnen. De eerste experimenten zijn gedaan op het gebied van legeren van de oppervlaktelaag, waardoor bijvoorbeeld goedkoop staal kan worden voorzien van een oppervlak dat de eigenschappen van hoogwaardig staal bezit. Verder wordt geëxperimenteerd met 'cladding' (aanbrengen van een kobaltlegering op staal) en 'glazing' (het maken van een amorfe oppervlaktelaag). Ook hier is het belangrijk dat modellen worden ontwikkeld van de processen die zich in de oppervlaktelaag afspelen.

Het onderwerp oppervlaktemodificatie-technieken komt nader aan de orde in 4.9. Onderzoek op het gebied van laserbewerkingen gebeurt in Nederland bij [g][k][q][v].

4.2 Kunststoffen en rubbers

Prof. dr. ir. L. C. E. Struik

Kunststoffen en rubbers zijn de laatste decennia nagenoeg overal in onze samenleving doorgedrongen en veel produkten bestaan voor een niet gering deel uit deze materialen. Hoe deze situatie is ontstaan, wordt kort beschreven.

Daarna zijn enkele belangrijke ontwikkelingen van dit moment samengevat. Ten slotte wordt een overzicht gegeven van Nederlandstalige bronnen (boeken en tijdschriften).

Wat toepassingen betreft, is het zinvol onderscheid te maken tussen rubbers, thermoplasten, thermoharders en vezelversterkte polymeercomposieten.

Rubbers

De meeste toepassingen van rubber zijn gebaseerd op de unieke deformatie-eigenschappen van dit materiaal; geen enkele andere vaste stof is immers tot honderden procenten elastisch vervormbaar. Qua vervormbaarheid lijken rubbers meer op vloeistoffen en gassen dan op de klassieke vaste stoffen; de kinetische theorie van de

rubberelasticiteit is dan ook nauw verwant aan die van het ideale gas. Rubbers worden vaak gebruikt als onderdelen van constructies, bouwwerken, machines en dergelijke. De rubberonderdelen zitten veelal op kritieke plaatsen en hun falen kan grote tot zeer grote schade veroorzaken. Typisch voor rubberonderdelen is dat ze hun werk meestal onopgemerkt en in afzondering doen. Het is misschien om die reden dat rubbers wat vergeten lijken te worden in de huidige discussie over nieuwe materialen en technische toepassingen van polymeren, composieten enz.

Technische toepassingen vindt men juist bij rubbers en een van de verst ontwikkelde composietprodukten is de autoband.

Thermoplasten

Dit zijn polymere materialen met losse, niet chemisch aan elkaar verknoopte ketens; ze kunnen door opwarming tot smelten of tot een rubberachtig gedrag worden gebracht, vandaar de naam.

De toepassing van deze materialen is gebaseerd op een aantal eigenschappen.

- *Gemakkelijke vormgeving.* Door verwarming tot slechts enkele honderden graden Celsius wordt het materiaal vloeibaar of rubberachtig deformeerbaar. Vormgeving kan dan plaatsvinden door persen, spuitgieten, extruderen, thermovormen enz. De vorm wordt daarna gefixeerd door afkoeling. Van groot belang is dat gecompliceerde produkten in één procesgang kunnen worden gefabriceerd. Juist deze integrale produktie (vermindering van het aantal onderdelen, verlaging van assemblagekosten) is een van de drijfveren voor de toepassing van kunststoffen, bijvoorbeeld in de auto-industrie.
- *Lage soortelijke massa* (meestal rond 1 g/cm^3). Deze factor is van evident belang in de transportsector, maar hij speelt bij andere toepassingen op minder opvallende wijze evenzeer mee.
- *Taatheid.* Thermoplasten hebben, net als glas, een amorfe structuur (bij semi-kristallijne polymeren echter slechts gedeeltelijk), maar ze missen de typische brosheid van glas. Zelfs het zogenaamde brosse polystyreen is elastisch deformeerbaar tot enkele procenten rek. Dit wil zeggen dat zelfs de brosse polymeren een substantiële fractie van de theoretische sterkte halen (10% van de elasticiteitsmodulus). In feite horen ze in de categorie materialen als whiskers, koolstofvezels e.d. Dat ze niet als 'supersterk' worden aangemerkt, komt alleen maar door de lage waarde van de elasticiteitsmodulus.
Veel thermoplasten zijn tot koude vloeï te brengen; hierdoor

ontstaat een grote taaigheid en een nog grotere weerstand tegen slag of stoot.

Ten slotte kunnen de zogenaamde brosse thermoplasten aanzienlijk veel taaier worden gemaakt door toevoeging van fijne rubberdeeltjes.

- *Oriënteerbaarheid.* Door de polymeerketens te oriënteren, kunnen sterkte en stijfheid in een of meer richtingen sterk worden opgevoerd. Hierop berusten toepassingen als synthetische vezels, supersterke vezels, biaxiaal versterkte folies, bandjes en dergelijke.
- *Elektrische eigenschappen.* Meestal zijn kunststoffen en rubbers goede tot voortreffelijke isolatoren; hierop berusten veel toepassingen in de elektrotechniek en de elektronica. Polymere materialen kunnen echter ook geleidend worden gemaakt door toevoeging van geleidende vulstoffen, zoals roet of staalvezels. Een recente ontwikkeling waaraan wereldwijd wordt gewerkt, zijn intrinsiek geleidende polymeren; deze ontwikkeling bevindt zich echter nog in het beginstadium.
- *Fabriceerbaar in een eindeloze reeks varianten.* Het polymeermolecuul bestaat uit een zeer groot aantal basiseenheden (monomeren). De ketenstructuur kan dus sterk worden gevarieerd door variatie van zij-groepen, co-polymerisatie, vertakkingen, variatie en stereoregulariteit. Andere variabelen zijn het moleculair gewicht (polymerisatiegraad) en de molecuulgewichtsverdeling. Verder kunnen de eigenschappen worden gevarieerd door toevoeging van weekmakers of van deeltjesvormige of vezelvormige vulstoffen. Zo is er een eindeloze reeks speciale varianten en 'grades' ontstaan. Sommige van deze varianten zijn ontstaan uit het eisenpakket dat aan een speciaal produkt wordt opgelegd; de materiaalontwikkeling is dan geïntegreerd met de ontwikkeling van het eindprodukt en de keuze van het vormgevingsproces.

Van belang is ook dat door combinatie van bovengenoemde factoren hetzelfde basispolymeer geschikt kan worden gemaakt voor zeer uiteenlopende toepassingen. Polyetheen bijvoorbeeld wordt gebruikt voor verpakkingsfolie, coating voor papier en karton, kunststof kratten, gasbuizen, kabelisolatie, gewrichtsprothesen en supersterke vezels.

Van de vele andere factoren die hebben bijgedragen aan de sterke groei van de toepassing van thermoplasten zijn nog te noemen de betrekkelijk lage prijs, de beschikbaarheid van de grondstoffen (vooral aardolie), de bestandheid tegen allerlei chemicaliën en

rotting, de lage warmtegeleidingscoëfficiënt en de gemakkelijke verschuimbaarheid.

Thermoharders

Bij de vormgeving van deze materialen worden de polymeerketens chemisch verknoopt, zodat er een driedimensionaal netwerk ontstaat dat niet meer door verwarming tot smelten kan worden gebracht. De thermoharders hebben de factoren soortelijke massa, elektrische eigenschappen en fabriceerbaarheid gemeen met de thermoplasten en tot op zekere hoogte de gemakkelijke vormgeving. De taatheid is wat minder omdat, vooral bij een hoge vernettingsgraad, de koude vloeit wordt verhinderd. Toch doen de thermoharders niet onder voor materialen als polystyreen en ook kan de slagvastheid worden verhoogd door inmenging van een zachte fase. De vormgeving verloopt enigszins anders; tijdens dit proces vinden chemische reacties plaats (polymerisatie en vernetting) en de fixatie van de vorm ontstaat ten dele door de afkoeling. Een voordeel van thermoharders is de veelal grotere mechanische stabiliteit (kruip) bij verhoogde temperatuur. Thermoharders worden verder vaak toegepast als matrixmateriaal in vezelversterkte composieten. Een voordeel boven thermoplasten als matrix is dat, vanwege de lagere beginviscositeit (voor polymerisatie en vernetting), impregneren wezenlijk gemakkelijker verloopt. Opvallend is dat de oriënteerbaarheid bij thermoharders en rubbers nauwelijks wordt uitgebuit. Toch zou het praktisch nut kunnen hebben een gedeeltelijk vernet materiaal te oriënteren en daarna definitief uit te harden (thermoharders) of te vulcaniseren (rubbers).

Vezelversterkte composieten

Hier is de toepassing gebaseerd op het feit dat met georiënteerde vezels zeer hoge sterkten te behalen zijn. Vezelversterkte composieten zijn dus eigenlijk vezelconstructies die bij elkaar worden gehouden door een thermoplastische, thermohardende of rubberachtige matrix. Met dit soort materialen zijn zeer lichte en sterke constructies mogelijk; vandaar de toepassingen in vliegtuigbouw en ruimtevaart. Andere gebieden waar de licht-sterk combinatie zeer gewenst is, zijn sport en gehandicaptenzorg. Een probleem bij deze composietmaterialen is de fabricagetechniek; het gaat om vezelconstructies waarbij de vezels in speciale richtingen moeten worden gelegd. Het fabricageproces beoogt dus een aanzienlijke hoeveelheid structuur in het produkt aan te brengen. In het algemeen is dit soort processen minder gemakkelijk te mechaniseren en te automatiseren dan bijvoorbeeld spuitgieten. Verder is het niet eenvoudig korte cyclustijden te verwezenlijken.

Belangrijke ontwikkelingen

Toenemende acceptatie als constructiemateriaal

Wat opvalt, is het toenemend gebruik van polymeren in precisieproducten en in producten met een hoog afbreuk- (of schade-) risico. Dit impliceert dat het betrouwbaar kunnen beheersen en voorspellen van het gedrag van het produkt in veel gevallen essentieel is. Zaken van toenemend belang zijn derhalve:

- fysisch en chemisch onderbouwde methoden voor de voorspelling van het gedrag van het materiaal, vooral op de lange duur
- methoden om uit de materiaaleigenschappen het gedrag van het produkt te kunnen voorspellen (o.a. CAD-technieken), mede in relatie tot de verwerkingsomstandigheden.

Opvallend is dat een deel van de beschikbare kennis, methoden en beschrijvingswijzen niet of nauwelijks wordt toegepast. Deze situatie is onder andere ontstaan doordat het technisch onderwijs de mechanica en fysica van polymere materialen grotendeels heeft laten liggen. Inmiddels wordt in steeds bredere kring ingezien dat men zich dit niet langer kan veroorloven.

Blending/legering

Kwamen in de jaren vijftig en zestig steeds meer nieuwe polymeren op de markt, de industrie heeft zich de laatste tijd gericht op het combineren of modificeren van bestaande materialen. In de metallurgie zijn legeringen reeds eeuwenlang succesvol toegepast. Bij kunststoffen zijn blenden en legeren nog betrekkelijk nieuw: zij zullen zeker veel nieuwe mogelijkheden bieden.

Vezelversterkte composieten

Deze staan momenteel in het centrum van de belangstelling. Nederland heeft ook een zeer sterke uitgangspositie, want behalve harsen en andere matrixmaterialen produceert de Nederlandse industrie ook vezels van aramide, glas en koolstof en vezels van het polyetheen-type. Verder zijn er in ons land geavanceerde toepassers (o.a. Fokker) en is er een aanzienlijke onderzoek- en ontwikkelingscapaciteit (multinationals, Fokker, NLR, TU's, KRI-TNO). Verwacht mag worden dat deze markt zal groeien en zich geleidelijk zal uitbreiden naar een aantal industrietakken.

Speciale toepassingen

Synthetische polymeren zijn er nog maar enkele decennia. Het is dan ook niet verwonderlijk dat er nog steeds nieuwe toepassingen worden ontwikkeld. Enkele voorbeelden zijn:

- vlakke of holle-vezel membranen voor gas- en vloeistofscheiding

- piëzo-elektrische sensoren op basis van polymeerfilms
- polymeersystemen voor de beheerste afgifte van geneesmiddelen en van actieve stoffen in de land- en tuinbouw
- polymere additieven voor de regeling van het vloeigedrag van ruwe aardolie
- polymeren voor specifieke bio-medische toepassingen
- elektrisch geleidende polymeren en fotogeleiders.

Deze lijst is verre van volledig; zij illustreert slechts enkele van de lopende ontwikkelingen. Verwacht mag worden dat de ontwikkeling van nieuwe polymeertoepassingen nog wel enige tijd zal doorgaan.

Herverwerking

Een aanzienlijk deel van de geproduceerde polymeren komt binnen enkele maanden tot jaren in de afvalstroom terecht. Gezien de gevolgen voor het milieu is er momenteel een sterke tendens tot het zoeken naar mogelijkheden voor herverwerking.

Enkele Nederlandstalige boeken en tijdschriften die als ingang tot het gebied kunnen dienen, zijn [49]-[55].

4.3 Keramische materialen

Dr. P.P.J. Ramaekers

Technische keramiek kan worden gedefinieerd als een groep materialen die anorganisch, niet-metallisch en bijna altijd kristallijn zijn en die een aantal technische toepassingen hebben [56]. Hier zal niet worden ingegaan op recente ontwikkelingen in de elektro- en magnetokeramiek [57] (overigens de grootste markt voor functioneel gebruik van keramiek) en op het gebied van de biokeramiek [58]. Een overzicht zal worden gegeven van een relatief gering aantal belangrijke ontwikkelingen op het gebied van technische keramiek, met de nadruk op het belang voor toepassers in de kleine en middelgrote industrie in Nederland.

Eigenschappen van technische keramiek

Materialen in de groep 'technische keramiek' vertonen altijd één of meer van de volgende eigenschappen:

- hardheid
- slijtvastheid
- chemische inertie
- hoge smelt- of ontledingstemperatuur
- lage ductiliteit
- lage uitzettingscoëfficiënt

- gering elektrisch geleidingsvermogen
- lage soortelijke massa/hoge specifieke sterkte.

Deze eigenschappen zijn afhankelijk van de microstructuur van het materiaal (bijvoorbeeld kristalgrootte, onzuiverheden op korrelgrenzen, porositeit). Deze microstructuur kan met de produktietechniek worden gestuurd. Voor technische keramiek geldt altijd dat de vormgeving rond kamertemperatuur plaatsvindt en dat de eindeigenschappen worden verkregen na een warmtebehandeling. De produktie en vormgeving voor de warmtebehandeling bepalen echter reeds voor een belangrijk deel de microstructuur en daarmee de eindeigenschappen. In de recente internationale literatuur zijn enkele uitstekende handboeken over dit onderwerp [59][60].

Toepassingen en beperkingen

De bovengenoemde eigenschappen hebben geleid tot een aantal karakteristieke toepassingen, waaraan in de populaire pers en in de wetenschappelijke literatuur veel aandacht is besteed [60]. De meeste toepassingen komen vanzelf ter sprake bij de bespreking van nieuwe ontwikkelingen.

Bij het gebruik van keramiek in een technische toepassing zijn ontwerper en gebruiker gebonden aan een aantal beperkingen op het gebied van:

- reproduceerbare kwaliteit
- mechanische eigenschappen
- levensduurvoorspelling
- maken van verbindingen
- niet-destructieve keuring
- afwerking en nabewerking.

De eerste drie beperkingen worden bepaald door de mate waarin de microstructuur van het materiaal kan worden beheerst. Het grootste probleem hierbij is dat de microstructureigenschappen van keramische materialen statistisch verdeeld zijn: in de praktijk lijkt het alsof er vele toevalligheden in de eigenschappen aanwezig zijn. Dit tracht men het hoofd te bieden door een zo goed mogelijke materiaalcontrole (grondstoffen) en procesbeheersing bij het ontwerpen en construeren, en door gebruik te maken van een aantal hulpmiddelen die voor de ontwerper zijn ontwikkeld om de statistische invloed van microstructuurparameters op het mechanisch gedrag van technische keramiek in de hand te houden [61]. Wat dit laatste betreft moeten drie technieken worden genoemd: het gebruik van Weibull-statistiek om de spreiding in sterkte van een materiaal te voorspellen [61][62], karakterisering van het scheurgroeigedrag met behulp van de theorie van Griffith [61][63]

en het gebruik van eindige elementenmethoden voor spanningsberekening en sterkte-analyse van keramiek in constructies.

Levensduurvoorspelling van technisch keramische componenten is mogelijk door een combinatie van gegevens, verkregen uit Weibull-statistiek en scheurgroeberekeningen. Dit leidt tot een probabilistische ontwerpbenadering, waarbij het grote voordeel is dat er wordt ontworpen dicht bij de materiaaleigenschappen. Zijn betrouwbaarheidsgegevens (levensduur bij maximale belasting) nodig voor een constructie opgebouwd uit een aantal componenten dan moeten Weibullkrommen worden gekoppeld aan studies van spanningsverdelingen. Vooral op dit laatste gebied zijn er zowel nationaal als internationaal nogal wat initiatieven van onderzoeksinstituten en grote industrieën om in de nabije toekomst diensten te kunnen bieden aan industriële gebruikers.

Nieuwe ontwikkelingen en mogelijke toepassingen

Praktisch alle nationale en internationale marktstudies maken gewag van een snel groeiende markt omvang voor technisch keramische produkten. Een groot aandeel in deze groei zal door de Japanse industrie worden geleverd [64]. De schattingen over de Europese bijdrage in het geheel lopen zeer uiteen. Duidelijk is in elk geval wel dat in praktisch elk West Europees land een stimuleringsprogramma op het gebied van technische keramiek wordt uitgevoerd, dus ook in Nederland en West-Duitsland [65][66]. Tijdens de onderzoek- en ontwikkelingsfase van een keramisch produkt moet zeer veel aandacht worden besteed aan de poedertechnologie en de fabricagemethode (vormgeving). Dit vanwege de noodzakelijke beheersing van de microstructuur van het materiaal en vanwege het streven te komen tot poeders met uitstekende sintereigenschappen (zodat er minder behoefte bestaat aan de toevoeging van sinterhulpmiddelen, die de eigenschappen bij hoge temperatuur nadelig kunnen beïnvloeden). Op het gebied van de poederbereidingsmethoden wordt nogal wat energie gestoken in de ontwikkeling van processen om poeders te fabriceren met een nauwe korrelgrootteverdeling, een hoge zuiverheid en vrij van agglomeraten. Tevens wordt er veelal gestreefd naar het bereiden van grondstoffen met een deeltjesgrootte tussen 0,1 en 1 micrometer.

Uit de veelheid van in zwang zijnde poedersynthesen worden hier drie methoden genoemd:

- De bereiding van monodisperse-oxydepoders, uitgaande van alkoxydes, met behulp van beheerste hydrolyse [67]. Deze methode is relatief duur vanwege de investering in apparatuur en wordt veel gebruikt voor poederbereiding op laboratoriumschaal, wanneer een zeer hoge zuiverheid is vereist. Deze weg is tevens geschikt

- voor het afzetten van dunne lagen van oxydische materialen op substraten.
- Het sol-gel procédé [68]. Hierbij gaat men uit van een waterige dispersie van keramische deeltjes. Deze dispersie wordt gegeleerd door er water aan te onttrekken. Daarna wordt door drogen van de gel het poeder verkregen. De deeltjes daarvan zijn in het algemeen klein (5 - 50 micrometer) en bolvormig. Ook andere deeltjesmorphologieën kunnen worden geproduceerd. Ondanks de relatief hoge produktiekosten worden sol-gel poeders voor een aantal belangrijke toepassingen gebruikt, in het bijzonder in de elektronica, voor optische toepassingen, in de katalyse, bij scheidingsproblemen (membranen) en in allerlei coatingtoepassingen.
 - De bereiding van poeders na een gasfaseproces met behulp van een laser (bijv. CO₂-laser) of in een plasma. Hierbij laat men bijvoorbeeld siliciumnitride ontstaan uit de gassen siliciumchloride en ammoniak of uit siliciumchloride, stikstof en waterstof [69], waarbij de reactie plaatsvindt door de laser- of plasma-excitatie. Groot voordeel van deze techniek is dat er zeer fijne poeders mee te maken zijn (deeltjesgrootten tot 10nm) en dat er geen problemen zijn ten gevolge van agglomeratie. Mogelijke nadelen voor industrieel gebruik zijn de relatief ingewikkelde apparatuur en de problemen te komen tot schaalvergroting van de produktie.

Industrieel belangrijke vormgevingsprocessen waarin belangrijke ontwikkelingen plaatsvinden, zijn slibgieten [70], drukgieten [71], spuitgieten [72], extrusie en koud isostatisch persen [73]. Verdichting vindt daarna plaats met behulp van sinteren en eventueel heet isostatisch persen.

Een van de oudste technische toepassingen van keramiek, waar op dit moment een zeer grote markt voor is, is die van snijgereedschappen. Eigenschappen als hardheid, slijtvastheid en oxydatiebestandheid zijn hierbij van belang. Van oudsher worden voor dit doel al stalen of hardmetalen gereedschappen voorzien van een slijtvaste deklaag, bijv. titaannitride, titaancarbid, aluminiumoxide of een combinatie van enkele hiervan [74]. Maar ook structurele keramiek wordt steeds meer toegepast, bijvoorbeeld sialon (een vaste oplossing van aluminiumoxide en siliciumnitride) [75][76]. Voordelen van keramische snijbeitels liggen behalve in de zeer goede slijtvastheid in snellere draaitijden en betere maattoleranties dan bij gebruik van metalen beitels.

Hoge-temperatuurtoepassingen van technische keramiek, waarbij gebruik wordt gemaakt van eigenschappen als goede temperatuurschokbestandheid, alsmede de relatief uitstekende corrosiebestandheid van enkele materialen, staan reeds vele jaren op de voorgrond. Keramiek in verbrandingsmotoren [77], gasturbines en hoge-tempera-

tuurwarmtewisselaars spreekt het meest tot de verbeelding. Het is niet realistisch te verwachten dat op korte termijn (binnen tien jaar) verbrandingsmotoren of gasturbines grotendeels bestaand uit keramiek op de markt kunnen worden gebracht. Veeleer zou dit op wat langere termijn (rond 2000 of nog later) kunnen worden verwacht. Dit vanwege de reeds vermelde beperkingen, onder andere op het gebied van productie met reproduceerbare kwaliteit en het doen van levensduurvoorspellingen. De belangrijkste materialen in dit opzicht zijn siliciumcarbide, siliciumnitride, sialons, zirkondioxide en titaanaluminaat.

De aan technische keramiek inherente beperkingen op het gebied van ductiliteit, mechanische sterkte en scheurweerstand kunnen op verschillende manieren worden aangepakt. Keramisch materiaal kan aanzienlijk worden versterkt door het zodanig te ontwerpen dat de breukenergie door een faseverandering (transformatieversterking) wordt verbeterd [78]. Het bekende voorbeeld is hier (geheel of gedeeltelijk gestabiliseerd) zirkondioxide, helaas beperkt tot temperaturen beneden 1000 °C.

Een tweede methode is gebruik maken van composieten [79] waarbij men van de interessante eigenschappen van zowel matrix als vezelmateriaal gebruik tracht te maken.

Een derde mogelijkheid hoge-temperatuurmechanische eigenschappen gunstig te beïnvloeden, is de verbetering van de oppervlakte-microstructuur. Dit kan geschieden door het altijd enigszins poreuze en ruwe oppervlak te laten dichtgroeien met een coating (aangebracht met de CVD-techniek) [80], met behulp van een laser (plaatselijk smelten, resp. stollen of sinteren) en door middel van ionen-implantatie (bijv. plasmatechnieken).

Concluderend mag worden verwacht dat over enkele tientallen jaren technische keramiek een conventioneel materiaal zal worden genoemd, mits er voldoende ruime middelen in onderzoek en ontwikkeling worden gestoken. Dit geldt sterk in de Nederlandse situatie en voor bedrijven die op een of andere manier betrokken zijn bij ontwikkeling en productie van dit soort materialen. Grote tot zeer grote investeringen, zowel in kundig personeel (met een gedegen en interdisciplinaire materiaalkundige achtergrond) als in geavanceerde apparatuur zijn nodig.

Bovendien speelt de factor tijd een belangrijke rol: ontwikkeling van technisch keramische materialen voor nieuwe toepassingen is een zaak van lange termijn (in het algemeen vijf jaar of langer), zelfs met een groep van ervaren onderzoekers. Erkenning hiervan door overheid en ondernemers is onontbeerlijk om de grote potentiële mogelijkheden van technische keramiek binnen enkele tientallen jaren te verwezenlijken.

Nadere informatie is te krijgen bij de auteur [w].

4.4 Composieten

Ir. J.H. van Giessen

Definitie

Een composiet is een materiaal dat is samengesteld uit verschillende, niet op elkaar gelijkende bestanddelen. De 'compositie' heeft tot doel eigenschappen te bereiken die superieur zijn aan die van de afzonderlijke componenten. Een composiet is een door mensen bedacht kunstwerk, opgebouwd uit elementen die, volgens een bepaald patroon en in een bepaalde samenhang, tot één geheel worden opgebouwd. De composieten waarbij vezels dienen als versterkingsmateriaal, zijn veruit in de meerderheid. De natuur gaf hierbij het voorbeeld: in het beendergestel van mens en dier komt de typerende karakteristiek van de vezelcomposieten duidelijk naar voren; de vezelrichting wordt gedictieerd door de belastingrichting, de grootste dichtheid treedt op op de plaats met de hoogste belasting.

Huidige toepassingen

In de jaren vijftig maakte men kennis met de eerste commerciële vezelversterkte kunststoffen, bestaande uit de nu nog zeer populaire glasvezels met polyesterhars als bindmiddel. In de jaren daarna heeft deze combinatie in de botenbouw de meer traditionele materialen zoals hout en staal voor een belangrijk deel verdrongen. De gebruikers hebben toen voor het eerst de voordelen en soms ook de nadelen van deze nieuwe materialen ervaren. Doch ook in minder opvallende produkten werd dit materiaal gebruikt, zoals buizen en containers voor transport van water en chemicaliën, silo's, zwembaden, gevelpanelen, lucht- en waterzuiveringsinstallaties.

Het aantal mogelijkheden voor het maken van combinaties is in de loop der jaren sterk uitgebreid. Nieuwe vezels verschenen op de markt (S-glas, aramide, koolstof) en nieuwe thermohardende kunstharsen (epoxy, fenol) vonden een uitgebreidere toepassing. Daarmee is nog niet alles gezegd: thermoplastische bindmiddelen deden hun intrede gecombineerd met korte glas- of koolstofvezels. Gedurende een groot aantal jaren is de verwerking met de hand, de 'hand lay-up', de voornaamste fabricagemethode geweest. Deze techniek wordt nog veel gebruikt, zij het dat er veel verbeteringen in het aanbrengen van vezels en kunsthars zijn ingevoerd (spuiten bijvoorbeeld). Het wikkelven van cilindervormige produkten is ook een reeds lang bestaande wijze van produceren.

Tegenwoordig kan men bij het fabriceren kiezen uit vele mogelijkhe-

den, waarvan bij wijze van voorbeeld hier slechts worden genoemd 'sheet moulding compound', 'resin injection moulding' en 'resin transfer moulding'.

Ook het gebruik van halffabrikaten, zoals voorgeïmpregneerde vezels en weefsels, getrokken profielen ('pultrusions') is toegenomen.

Het aantal toepassingen nam hiermede evenredig toe.

Belangrijk is de toenemende belangstelling voor composieten in de automobielenindustrie. Een moderne auto bevat reeds 10% van zijn gewicht in kunststof, waarbij veel gebruik wordt gemaakt van versterking door middel van korte vezels. Doel is de vervaardiging van integrale onderdelen. Daarbij wordt een aantal functies gecombineerd, zodat de montagekosten worden verlaagd. Ook treedt een gewichtsbesparing op die het energiegebruik van de auto beperkt. Voorbeelden waarbij uitsluitend de gewichtsbesparing het motief voor de toepassing vormt, zijn bladveren van glasvezel/polyester en aandrijfassen van koolstofvezel/epoxy.

Als grote voortrekker fungeert nog steeds de lucht- en ruimtevaartindustrie. Dit geldt vooral voor de toepassing van nieuwe vezels, de gemodificeerde epoxyharsen en de meer temperatuurbestendige thermoplasten. Het aandeel daarvan in het structuurgewicht van het vliegtuig is inmiddels opgelopen tot 10 à 15% voor civiele vliegtuigen; voor militaire vliegtuigen ligt dit in de buurt van 30%.

In het algemeen kan worden gesteld dat de moderne vezelversterkte kunststoffen daar kunnen worden gebruikt, waar het gewicht, de chemische bestandheid en de thermische eigenschappen van belang zijn. Vooral bij produkten die regelmatig versnellingen en vertragingen ondergaan, kan door een lichtere constructie energiebesparing worden bereikt. Bij de aramidevezel gaat het om de hoge stootvastheid en de sterkte, bij de koolstofvezel om een hoge stijfheid en elektrische geleidbaarheid.

Door toepassing van integrale constructies (minder onderdelen) kan ondanks de hoge materiaalprijs op de produktiekosten worden bespaard.

Toekomst

Het is niet goed mogelijk de richting aan te geven waarin de composieten zich zullen ontwikkelen. Het lijkt erop dat er juist een olievlekwerking optreedt, dat wil zeggen een grote verspreiding zonder echt opvallende zwaartepunten. Bij alle produkten waarop onze moderne maatschappij is gebaseerd, komen steeds meer composieten voor. De materiaalkeuze wordt dan specifiek toegesneden op de toepassing. Het is juist een kenmerk van composieten dat door de keuze uit de vele verschillende soorten materialen (vezels en bindmid-

delen), wijzen van construeren (vezeloriëntatie, diktevariatie, sandwichbouw, vormgeving) en verwerkingstechnieken steeds een optimaal produkt kan worden bereikt. In de automobiellindustrie is dit proces zichtbaar: men vindt daar een veelheid van materialen en produktietechnieken. De glasvezels zullen hier voorlopig favoriet blijven vanwege de lage kosten. De soort bindmiddel en de fabricage-techniek variëren echter sterk. Ongetwijfeld zijn composieten een groeisector; marktonderzoeken voorspellen een jaarlijkse groei van 9 tot 16% tot het jaar 2000.

Wat na de eeuwwisseling gebeurt, kan natuurlijk niemand voorspellen, maar dat composieten ook dan een belangrijke rol zullen spelen, is evident. Nieuwe vezels en kunststoffen worden nog ontwikkeld; de economie zal blijven vragen om lichtere, efficiëntere constructies, beter bestand tegen de invloed van de omgeving met een langere levensduur en een lager prijsniveau.

Niet onvermeld mogen blijven de interessante randgebieden die nog verder moeten worden ontwikkeld, zoals hybride constructies (aluminium in combinatie met composieten, keramische vezels, ingebed in keramisch materiaal, aramidevezels in beton enz).

Onderwijs

De laatste tijd is de verheugende tendens te bespeuren dat het onderwijs zich meer richt op de composieten. Een HTS in Utrecht begon in 1986 met een post HTO-cursus, bedoeld voor bijscholing op HBO-niveau. Daarnaast geeft de Universiteit Twente PATO-cursussen op academisch niveau. Het is bovendien de bedoeling dat de Universiteit Twente in 1987 begint met een speciale opleiding in de tweede fase tot polymeertechnoloog. In deze opleiding zijn de composieten in belangrijke mate ingepast.

Iedere HTS en TU geeft in bepaalde vakgebieden steeds meer stof ten aanzien van de composieten. Op den duur mag worden verwacht dat daardoor de afgestudeerden van deze instellingen meer kennis van composieten bezitten.

Ook dient nog te worden vermeld dat de Stichting Opleiding Rubber en Kunststoffen cursussen verzorgt op het gebied van composieten, die variëren van LBO- tot HBO-niveau. Hierbij zijn inbegrepen een aantal praktische cursussen die opleiden tot verwerker van deze materialen.

Speurwerk en ontwikkeling in Nederland

Er wordt in Nederland relatief veel aan de ontwikkeling van composieten gedaan. Vooral de grote chemische concerns nemen een

sterke positie in. Zij ontwikkelen en vervaardigen de nieuwste vezels en kunstharsen.

Ook de onderwijsinstellingen blijven niet achter; alle doen onderzoek op een specifiek terrein. Daarnaast zijn er nog de onderzoeksinstituten zoals TNO en NLR die zich meer richten op het onderzoek van de eigenschappen van het composietmateriaal, dus het geheel van samenstellende delen. Ook aan het constructieve aspect wordt aandacht besteed.

Het Ministerie van Economische Zaken tracht via de innovatiegerichte onderzoek programma's (IOP's) enige coördinatie tot stand te brengen tussen de wensen van het bedrijfsleven en de activiteiten van het onderwijs. Inmiddels zijn er veertien programma's toegewezen in het vakgebied van de polymeercomposieten en bijzondere polymeren. De uitvoering hiervan, voor de helft gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken en voor de helft door de onderzoekende instelling, komt nu op gang. Gehoopt wordt dat door steun van het bedrijfsleven, bijvoorbeeld in de vorm van aanvullend of nevenschikkend toegepast onderzoek, het geheel in een stroomversnelling zal komen.

Los van de IOP-ontwikkelingen zijn er bij een aantal bedrijven activiteiten gaande die zich meer richten op de toepassing van bepaalde materialen en fabricagetechnieken bij eigen produkten of in opdracht van derden. Hoewel hier soms geheimzinnig over wordt gedaan, groeit toch de bereidheid onderling gegevens uit te wisselen. Een voorbeeld hiervan is de groep Technologie Vezelversterkte Kunststoffen (TVK) van de Nederlandse Federatie voor Kunststoffen, waarin wordt getracht gezamenlijk de toekomst tegemoet te treden.

Andere samenwerkingsvormen

Sinds een aantal jaren is in de Europese Gemeenschap een streven merkbaar gerichte onderzoeken te ondersteunen, waaraan verscheidene lidstaten deelnemen. Het probleem ligt in het formuleren van de opdracht, rekening houdend met de wensen van de deelnemende bedrijven en de nationale instanties. Dit vereist veel tijd en inspanning, omdat ook de verdeling van de gelden en de mogelijke octrooi-aspecten goed contractueel moeten worden geregeld.

Daarnaast dienen de bilaterale samenwerkingsvormen te worden genoemd. Het kan hierbij bijvoorbeeld gaan om een Nederlands bedrijf dat in samenwerking met een buitenlandse onderneming een bepaald produkt ontwikkelt. Vooral wanneer het gaat om bedrijven

die elkaar aanvullen, zoals leverancier en producent, kan dit zonder veel problemen verlopen.

Niet onvermeld moge blijven dat in Europees verband ook bepaalde initiatieven worden ontplooid om gezamenlijk belangen te dienen. Organisaties die op dit gebied activiteiten ontplooiën zijn: *Groupeement Plastiques Renforcés/Materiaux Composites*, Brussel [ff], *European Association for Composite Materials*, Bordeaux [hh] en *European Trade Association of the Advanced Composites Materials Suppliers*, Zürich [gg].

Verdere oriëntatie

Wie zich op het vakgebied wil oriënteren, kan het beste beginnen met de brochure 'Moderne vezelversterkte kunststoffen' van het NFK [81]. Daarin is een literatuurlijst opgenomen met de voornaamste boeken en artikelen op dit vakgebied. Ook is een oriëntatie mogelijk via de maandbladen 'Metaal en Kunststof' [jj] en 'Kunststof en Rubber' [kk]. Hierin worden gegevens opgenomen over congressen, vakbeurzen, workshops enz. In bijlage II is een aantal adressen opgenomen [y]-[kk].

4.5 Sterke vezels

Drs. N. Berendsen

Prof. dr. P. J. Lemstra

Polymeren kunnen supersterke vezels opleveren die traditionele materialen als staal en aluminium in bepaalde toepassingen kunnen verdringen. Deze vezels hebben een hoge treksterkte en een hoge elasticiteitsmodulus, maar verder vertonen zij nog grote verschillen, zodat een gedegen kennis nodig is om de juiste vezel voor de beoogde toepassing te kiezen.

Al in 1932 formuleerde Carothers, de uitvinder van de nylonvezel bij DuPont, een aantal voorwaarden waaraan de microscopische structuur van vezels moet voldoen om goede mechanische eigenschappen te verkrijgen, namelijk 'lineaire, lange en regelmatige (kristalliseerbare) macromoleculen die in gestrekte toestand zijn geordend met de molecuulketens parallel aan de vezelrichting'.

Lineair

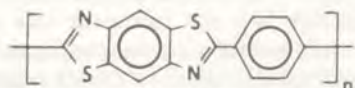
Flexibele macromoleculen (polyetheen, polypropeen, polyacrylonitril, polyvinylalcohol enz.) zijn lineair, maar door de vrije draaibaarheid om de bindingen in de hoofdketen van het polymeer is de meest waarschijnlijke conformatie niet die van een rechte breinaald, maar van een wanordelijke kluwen wol. Om sterke vezels te krijgen, moet die conformatie dus worden veranderd.

Lang

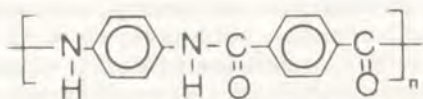
Lange macromoleculen is een relatief begrip. Ultra-hoogmoleculair polyetheen (UHMW-PE) met een molecuulgewicht hoger dan 10^3 kg/mol heeft een lengte van slechts 10 micrometer; de meeste andere gangbare synthetische polymeren hebben een molecuulgewicht van slechts 30 à 200 kg/mol. Dat betekent dat de treksterkte niet wordt bepaald door de sterkte van de covalente binding in de hoofdketen, maar door de optelsom van interacties tussen de polymeerketens (hoe langer de keten, hoe meer interacties). De aard van de interactie is ook van belang. Behalve de treksterkte van een vezel is ook de stijfheid/modulus (helling van de kracht/rekkromme) van belang. De mate waarin bindingshoeken in een polymeer kunnen deformeren, is daarvoor mede bepalend.

Starre macromoleculen

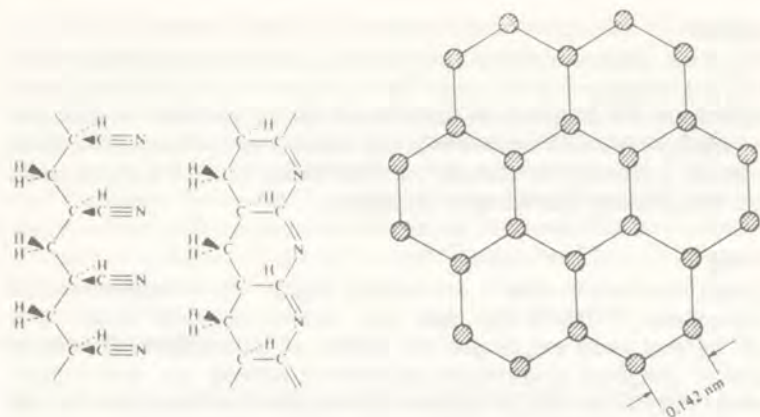
Het is mogelijk macromoleculen te maken waarbij rotatie om de bindingen in de hoofdketen niet leidt tot verandering in de richting van het polymeer. Als men dergelijke intrinsiek starre polymeren gaat oplossen, zullen zij zich bij hoger wordende concentratie gaan ordenen (vergelijk met boomstammen in een rivier). Die ordening zorgt ervoor dat de viscositeit van een dergelijke oplossing lager is dan die van een minder geconcentreerde oplossing die niet vloeibaar kristallijn is. Een voorbeeld van zo'n intrinsiek star macromolecuul is poly-para-phenyleenbenzobisthiazool (PBT) (zie afb. 4.1.a)



Afb. 4.1.a Poly-para-phenyleenbenzobisthiazool (PBT).



Afb. 4.1.b Poly-para-terephthalamide (PPTA), beter bekend als Kevlar of Twaron.



Afb. 4.1.c Het carbonisatieproces tot koolstofvezels uitgaande van polyacrylonitrilvezel.

Een oplossing van PBT in zwavelzuur wordt bij een bepaalde concentratie, temperatuur en molecuulgewicht vloeibaar kristallijn (nematisch). De geordende domeinen van polymeren in het oplosmiddel gaan zich bij het verspinnen al grotendeels parallel oriënteren (een van de belangrijkste criteria voor het verkrijgen van sterke vezels zoals dat al door Carothers was geformuleerd). Door deze vezels onder spanning te temperen, verbeteren de oriëntatie en vooral de ordening nog verder. Het resultaat is een vezel met een treksterkte van 3,5 GPa en een modulus van 250 GPa (ter vergelijking: een standaard nylonvezel bezit een treksterkte van ca. 0,7 GPa en een modulus van 5 GPa). PBT is echter duur, omdat het alleen met een meerstapsynthese te maken is en daardoor voor een groot aantal toepassingen niet aantrekkelijk is.

In dat opzicht is het aromatische polyamide, poly-para-terephthalamide (PPTA) (zie afb. 4.1.b), beter bekend als Kevlar of Twaron, wel aantrekkelijk. PPTA is eigenlijk niet een intrinsiek star polymeer, maar door de fenylgroepen in de hoofdketen is er conjugatie mogelijk waardoor rotatie om de bindingen in die hoofdketen wordt belemmerd.

Oplossingen van PPTA in bijvoorbeeld zwavelzuur kunnen onder bepaalde condities (concentratie, temperatuur, molecuulgewicht) ook vloeibaar kristallijn worden. Na spinnen en temperen onder spanning bereiken de PPTA-vezels een treksterkte van ongeveer 3 GPa en een modulus van 130 GPa. Nadeel van PPTA is dat synthese en verspinnen in twee verschillende oplosmiddelen moet gebeuren. De zeer hoge viscositeit waarmee moet worden gewerkt voordat de

vloeibaar kristallijne oplossing wordt verkregen, maakt de bereiding van PPTA-vezels een technologisch geavanceerd proces.

Oplossingen van polymeren die vloeibaar kristallijn zijn, worden lyotrope systemen genoemd. Daarnaast bestaan er ook thermotrope systemen: polymeren die in de smelt vloeibaar kristallijn kunnen worden. Het speurwerk op dit gebied richt zich hoofdzakelijk op aromatische polyesters. Sumimoto, een Japans chemisch bedrijf, heeft onlangs zo'n aromatische polyestervezel geïntroduceerd: de Ekonol-vezel. Het voordeel van aromatische co-polyesters is dat ze vanuit de smelt zijn te verspinnen; dat is goedkoper. Thermotrope polymeren hebben ten opzichte van lyotrope systemen bovendien het voordeel dat ze spuitgietbaar zijn. Behalve supersterke vezels kan men er dus voorwerpen van spuitgieten met goede mechanische eigenschappen. Nadeel van verspinnen en spuitgieten is de relatief hoge verwerkingstemperatuur. Ook het beheersen van het rheologisch gedrag is vooraansog problematisch.

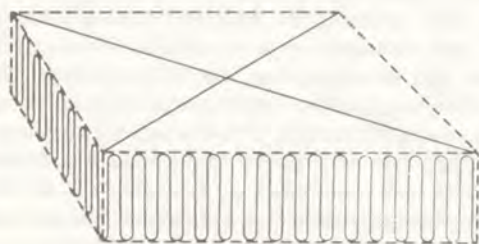
Koolstofvezels

Koolstofvezels worden met een totaal verschillend procédé verkregen. Polyacrylonitril(PAN)-vezels worden omgezet in een laddervormig polymeer, waarna door een subtiel verhit- en verstrekkingsproces de vezel wordt verkoold. Hierdoor ontstaan lagen van koolstofatomen die in die lagen covalent met elkaar zijn verbonden. De grootte, pakking en relatieve oriëntatie van de lagen bepalen modulus en sterkte. Voor hoge-modulusvezels worden de vezels verhit tot 2600 °C. Door de tweedimensionale bindingsrichting in de vezels zijn de eigenschappen loodrecht op de vezelrichting beter dan bij alle andere supersterke vezels. De druk-/compressiesterkte is veel beter en ook de hoge stijfheid maakt de koolstofvezel aantrekkelijk voor veel toepassingen. Een nadeel van koolstofvezels is de brosheid.

Flexibele macromoleculen

Flexibele macromoleculen als basis voor een supersterke vezel met hoge stijfheid klinkt niet erg logisch. Maar als men er in slaagt een flexibel macromolecuul in de vezelrichting te oriënteren, is het resultaat hetzelfde als bij de starre polymeren. Al in de jaren vijftig werd ontdekt dat regelmatige stereoregulaire flexibele macromoleculen, zoals PE, i-PP, polyamiden en polyesters, bij afkoelen van de smelt of van de oplossing kunnen kristalliseren en dat dan gevouwen keten kristallen ontstaan. Uit sterk verdunde oplossingen (concentratie minder dan 0,1%), waarin de macromoleculen praktisch los van elkaar liggen, kunnen éénkristallen worden gegroeid (zie afb. 4.2). In

geconcentreerde oplossingen en in het bijzonder in onverdunde smelten zijn de macromoleculaire kluwens met elkaar verstrengeld. Bij het afkoelen, c.q. kristalliseren hinderen de moleculen elkaar en ontstaan er geen regelmatig gevouwen éénkristallen. Macromoleculen worden in feite ingevangen in verscheidene kristallieten en een bepaalde mate van verstrengeling blijft aanwezig.

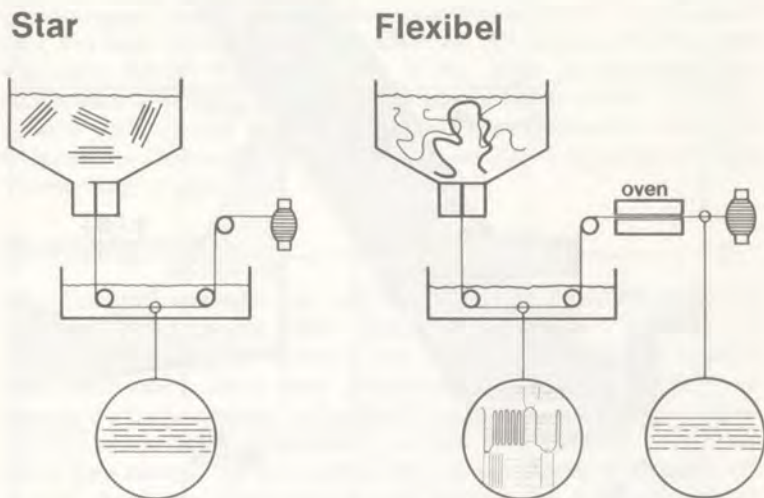


Afb. 4.2 Schematische voorstelling gevouwen éénkristal.

Worden flexibele polymeren uit oplossing of uit de smelt versponnen, dan bestaan de vezels uit min of meer gevouwen ketenkristallen. Verspinnen houdt hier in dat een oplossing of smelt door gaatjes wordt geperst, waarbij de vezelvorm ontstaat. In het geval van verspinnen uit oplossing wordt het oplosmiddel door verdamping of extractie uit de vezel verwijderd; bij smeltspinnen worden de draden afgekoeld. In beide gevallen hebben we te maken met een fase-overgang van vloeibaar naar vast/kristallijn. Verstrekken van de zo verkregen vezel in de vaste fase leidt door transformatie van gevouwen ketenkristallen tot gestrekte ketens. Deze transformatie is veelal weinig succesvol, onder andere omdat de macromoleculen, nog gedeeltelijk met elkaar verstrengeld, elkaar niet kunnen doorsnijden en elke verstrengeling (warpunt) de overgang van een gevouwen conformatie naar een gestrekte conformatie parallel aan de vezelrichting belemmert.

Bij DSM is nu een proces ontwikkeld waarmee het kristallisatieproces tijdens het verspinnen wordt gestuurd in de richting van een optimale structuur in de 'as-spun'-vezels. Het verspinnen van ultra-high-molecular-weight polyetheen (UMWH-PE), M groter dan 10^3 kg/mol, heeft vooral succes geboekt met het parallel oriënteren van lange flexibele macromoleculen parallel aan de vezelrichting. Men verspint semi-verdunde oplossingen (zie afb. 4.3 bij 'Flexibel') en de keuze van de polymeerconcentratie in oplossing is bepalend voor de restverstrengelingen in de 'as-spun'-vezels. Afhankelijk van de concentratie en de kristallisatie laten de gevouwen-ketenkristallen zich min of

meer gemakkelijk bij verhoogde temperatuur als harmonica's ontvouwen.



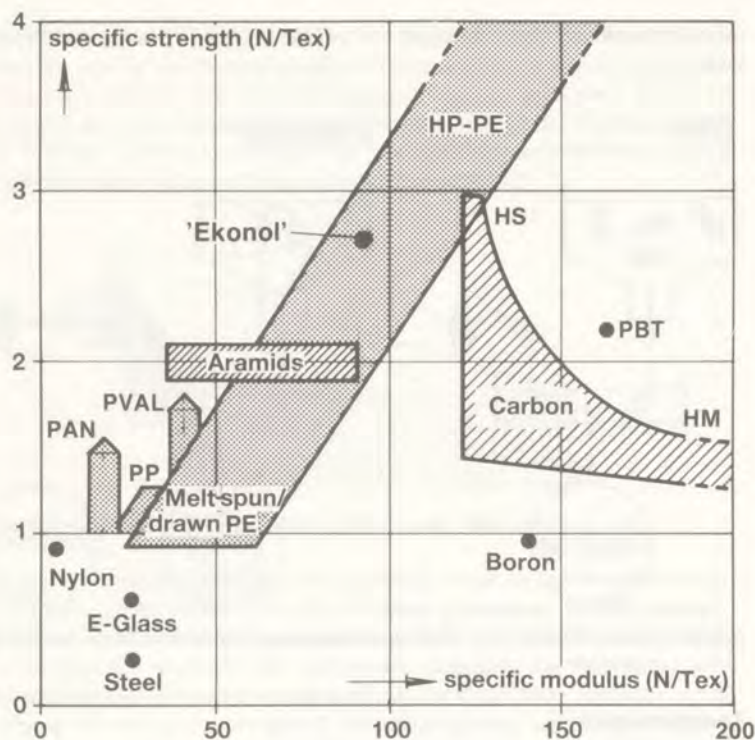
Afb. 4.3 Schematische voorstelling van spinnen van starre, resp. flexibele moleculen.

Toepassingen

Onderzoek en ontwikkeling op het gebied van de nieuwe generatie supersterke vezels zijn nog in volle gang. Er bestaat nog geen vezel die aan alle wensen voldoet. Daardoor zijn er behalve produktverbetering ook nog geheel nieuwe typen vezels te verwachten. Vooral op het gebied van lyotrope en thermotrope systemen is er veel beweging aan het O & O-front van diverse chemische concerns. Afb. 4.4 toont de specifieke eigenschappen in relatie tot enkele andere materialen.

Kevlar/Twaron

De aramidevezel verdringt op dit moment staal en aluminium voor zeer speciale toepassingen. Een voorbeeld daarvan is de vervanging van staal in gewapend beton om betonrot tegen te gaan. Ook in de vliegtuigbouw wordt deze vezel in toenemende mate toegepast in composieten met thermoharders, alhoewel de compressiesterkte een grens stelt voor toepassingen in constructiedelen. Als de aramidevezel met succes in composieten met goede thermoplasten kan worden verwerkt, ligt er nog een grote markt te wachten, onder andere in de automobiellindustrie. De composietbereiding kan dan worden geau-



Afb. 4.4 Specifieke sterkte vs. modulus.

tomatiseerd. Aramide neemt, net als metaal, tijdens het bezwijken (botsen) veel energie op. Daarom kan het in de kreukelzone worden toegepast. Andere toepassingen zijn in de botenbouw, sportartikelen, touwen en zeilen. Nadelen van de PPTA-vezel zijn de geringe bestandheid tegen zonlicht, de wat lage compressiesterkte, de slechte hechting van de vezel in het matrixmateriaal en de kostprijs (f 50,— tot f 100,— per kg). Omdat Akzo nu ook naast Dupont de vezel in productie heeft gebracht, is er wat het laatste nadeel betreft enige verlichting te verwachten.

Thermotrope polymeren

Sumimoto is op de markt gekomen met een vezel gebaseerd op een thermotroop polymeer (aromatisch (co)polyester). Ekonol heeft aantrekkelijke mechanische eigenschappen en vergt een relatief eenvoudig spinproces, vergelijkbaar met de verwerking van thermoplastisch materiaal. Daarnaast hebben veel grote chemische concerns

aangegeven dat ze werken aan thermotrope polymeren die niet in eerste instantie tot vezels worden versponnen, maar die wel spuitgietbaar zullen zijn en aldus vezelversterkte composieten voor bepaalde toepassingen zouden kunnen vervangen (bijvoorbeeld in printkaarten). Tot deze bedrijven behoren DuPont, ICI, Monsanto, Eastman Chemical, BASF, Rhone Poulenc, Toray, Tejin en Mitsubishi. Er zullen waarschijnlijk nog meer firma's zijn die eraan werken, maar die hebben dat nog niet bekend gemaakt. De Amerikaanse bedrijven Celanese en Dartco zijn al op de markt met de thermotrope plastics Vectra, resp. Xydar.

De koolstofvezel

De koolstofvezel bezit ten gevolge van zijn twee-dimensionale karakter (covalent gebonden koolstofatomen) een relatief hoge compressiesterkte ten opzichte van vezels gebaseerd op lineaire macromoleculen. Deze hoge compressiesterkte is belangrijk voor structurele toepassingen. De koolstofvezel is daarom, maar ook door de hoge temperatuurbestandheid, geschikt voor de lucht- en ruimtevaart. Een nadeel van de koolstofvezel is zijn brosheid (lage rek bij breuk), waardoor bijvoorbeeld composieten van koolstofvezel in epoxy stootgevoelig zijn. De ontwikkeling van de koolstofvezel richt zich op twee typen: de hoge sterkte (HS-) en de hoge modulus (HM-) vezels, terwijl naarstig wordt gezocht naar een goedkopere procesvoering en goedkopere grondstoffen.

De polyetheenvezel

De supersterke polyetheenvezel komt aan het einde van de jaren tachtig in productie (door een 'jointventure' DSM/Toyobo en - via een licentie voor de Verenigde Staten - door Allied Chemical). Deze Dyneema-vezel is door zijn lage smeltpunt (ca. 150°) niet bruikbaar voor toepassingen bij hoge temperatuur. In dat opzicht is het dus geen concurrent voor de Kevlar- en koolstofvezels. Maar de PE-vezel is superieur in taaheid (hoge rek bij breuk). Daardoor is deze vezel geschikt voor toepassingen waarbij eisen worden gesteld aan 'impact'.

4.6 Gezaagd hout

Ir. J.F. Rijdsijk

Deze korte informatie heeft slechts betrekking op massief hout als grondstof.

In 1979 heeft de Stichting Toekomstbeeld der Techniek, 's-Gravenha-

ge, een studie [82] gepubliceerd, waarin veel algemene informatie is opgenomen over de mechanische en fysische eigenschappen en de toepassingen van hout.

Het Centrum Hout, Naarden [nn], brengt een uitgebreide losbladige documentatie uit [83], waarop men zich kan abonneren. Hierin zijn tevens adressen van belangrijke organisaties op het gebied van hout opgenomen. Voor informatie en onderzoek kan met ook terecht bij Houtinstituut TNO, Delft [pp].

Nederland als houtarm land moet 92% van zijn hout importeren; 8% komt van eigen bodem.

Tabel 4.1. geeft een idee om welke hoeveelheden het gaat. Van het gezaagde naald- en hardhout maakt het vurehout en grenen samen bijna 70% uit. Bij het gezaagde hardhout nemen de houtsoorten rode meranti en merbau het leeuwedeel voor zich van de uit Zuidoost Azië geïmporteerde hoeveelheid.

Tabel 4.1. Import van hout in Nederland in 1000 m³ [84]

	1983	1984	1985	Gemiddeld
Naaldhout, gezaagd	1904	1862	1930	1898
Europa (vuren en grenen)	95%	96%	98%	96%
Canada + overige landen	5%	4%	2%	4%
Hardhout, gezaagd	786	689	757	744
Europa	14%	22%	21%	19%
Zuid-Oost Azië	72%	63%	66%	67%
Overige landen	14%	15%	13%	14%
Rond-, zaag- en fineerhout	219	232	252	234
Europa	47%	50%	50%	49%
West-Afrika	49%	44%	41%	45%
Overige landen	4%	6%	9%	6%

Hoewel hout wellicht het oudste en verreweg belangrijkste gebruiksvan constructiemateriaal van de mens is en men daarom zou mogen veronderstellen dat daar zo langzamerhand alles van bekend moet zijn, is nog steeds veel onderzoekwerk gaande. Zo lopen alleen in Nederland thans ongeveer negentig onderzoekingen op het gebied van hout en plaatmaterialen, hout in de bouw, constructies en verbindingen in hout enz.

Het Centrum Hout stelt jaarlijks een overzicht samen van het lopend houtonderzoek. De redenen voor onderzoek zijn vele. Zo heeft de toepassing van houtskeletbouw in Nederland vele bouwtechnische vragen opgeroepen. Nieuwe halffabrikaten zijn ontwikkeld, onder andere in de vorm van plaatmateriaal, zoals halfharde vezelplaat (medium density fibreboard, MDF, een materiaal met veel mogelijkheden) en in de vorm van op en aan elkaar gelijmde 'dikke fineren', die eveneens interessante mogelijkheden bieden. Verder triplex voor buitentoepassingen en gewapend triplex. Verwerkingstechnieken veranderen en ook bekende technologieën ondergaan vernieuwingen. Voor alle mogelijke toepassingen wil men steeds nauwkeuriger weten en kunnen berekenen wat de resultaten zullen zijn met gekozen houtsoorten en plaatmaterialen. Ook het gedrag van houtsoorten en plaatmaterialen onder mechanische, fysische en biologische belastingen krijgt steeds meer aandacht, benevens de mogelijkheden tot verbetering van dat gedrag.

De mechanische, fysische en biologische eigenschappen zijn bij hout soortgebonden. Dat wil zeggen dat iedere houtsoort zijn eigen waarden heeft, die grote spreidingen te zien geven als gevolg van het feit dat hout een anisotroop hygroscopisch materiaal is. In de drie hoofdrichtingen radiaal, tangentiaal en longitudinaal kunnen mechanische en fysische eigenschappen van dezelfde houtsoort verschillende uitkomsten geven. Deze waarden veranderen tevens met het vochtgehalte. Wil men hout uit economisch oogpunt zo rationeel mogelijk toepassen, dan zullen de omstandigheden waarin het hout wordt toegepast en het gedrag van de gekozen houtsoort goed bekend moeten zijn. Voor de tweede wereldoorlog speelde dit nog nauwelijks een rol, maar nu wordt het met de jaren steeds belangrijker. Van vrijwel alle bekende handelshoutsoorten is hierover reeds zeer veel bekend en gepubliceerd.

In het gegeven complexe beeld speelt bovendien de factor houtkwaliteit een rol. Een boom kan een mooi rechte, zuilvormige en cilindrische stam hebben gevormd, maar het komt vaker voor dat de stam niet zo mooi recht en ook ovaal van vorm is of veel of zware takken lang heeft behouden. Ook kan de boom snel of langzaam zijn gegroeid. Al deze factoren samen vormen uiteindelijk de kwaliteit van het hout dat uit de stam wordt gezaagd. De kwaliteit van een houtsoort is in Nederland thans duidelijk omschreven in een serie normbladen [85]. Op visuele kenmerken wordt een houtsoort in drie of vier kwaliteitsklassen ingedeeld, waarbij voor A de strengste eisen gelden. De meest voorkomende kwaliteit valt meestal in B en C en die kwaliteit is dan ook goed verkrijgbaar. Voor vurehout, grenen en enkele andere houtsoorten zijn NEN-bladen gereed en voor zes zijn de concepten thans gereed (drie tropische houtsoorten en drie

naaldhoutsoorten uit de gematigde zone). Het systeem is zodanig opgezet dat snel op een veranderde situatie kan worden gereageerd en dat nieuw aan de markt komende soorten eenvoudig kunnen worden opgenomen.

Voor massief hout zijn in de toekomst veranderingen te verwachten op het gebied van vraag en aanbod en van enkele behandelingen van gezaagd hout

- door verschuivingen in de keuze van houtsoorten voor bepaalde toepassingen ten gevolge van voortdurende prijsstijgingen van de thans toegepaste soorten
- door verschuivingen in de oogst van volledig uitgegroeide kaprijpe naar steeds jongere bomen
- door steeds hogere eisen aan het drogen en verduurzamen van hout
- door de prijsstijgingen voor goed hout ontstaan er kansen voor nieuwe of voor tot nu toe te dure technieken waarbij goedkoop hout of hout van lage kwaliteit het uitgangspunt vormt
- en verder kan er een groeiende belangstelling ontstaan voor het toepassen van in eigen land gegroeid hout voor veel meer produkten dan thans het geval is.

Deze punten worden hierna toegelicht.

Men spreekt wel eens over het schaarser worden van hout. Wanneer dit werkelijk voelbaar gaat worden, weten we niet. Wel lopen reeds sinds jaren de houtprijzen langzaam op en vooral de houtsoorten met hooggewaardeerde eigenschappen zijn duur geworden. Die hooggewaardeerde eigenschappen zijn vooral goede bewerkbaarheid en oppervlak-afwerking, geringe krimp en vormverandering, hoge duurzaamheid en - voor bepaalde produkten - voldoende sterkte of fraaie kleur en tekening. Houtsoorten die aan al deze eisen voldoen, zijn kostbaar, zoals afzelia, teak, sipo, het echte mahonie, merbau, wengé, dit zijn alle tropische houtsoorten. Twee Amerikaanse naaldhoutsoorten kunnen hieraan worden toegevoegd: Californian redwood en western red cedar. Het eveneens zeer gewaardeerde Europese eiken en het Amerikaanse wit- en rood eiken hebben een sterke krimp, maar eenmaal goed gedroogd tot het juiste vochtgehalte, heeft men hiervan weinig last bij toepassingen waar het vochtgehalte redelijk stabiel blijft. De zachtheid van Californian redwood en western red cedar kan wel eens als een negatieve eigenschap worden ondervonden.

Voor zeer veel doeleinden kunnen houtsoorten met minder goede eigenschappen uitstekend voldoen. We behoeven slechts te denken aan Europees vurehout (fijnspar, *picea excelsa*), waarvan de eigenschappen lang niet zo goed zijn als die van de genoemde soorten. Het

is echter ons belangrijkste werkhout, van dakhout tot interieurhout, van bekistingshout tot emballagehout, overal komt men vurehout tegen.

Even is reeds gewezen op berichten over schaarste aan hout in de verdere toekomst. Gezien de nog steeds sterk bij de aankap achterblijvende herbebossingen buiten Europa, vooral in tropische gebieden, moet de kans op een houtschaarste in de wereld inderdaad zeer ernstig worden genomen. Er is nu en in de naaste toekomst nog geen schaarste aan hout, hoewel zeker een aantal (meest tropische) houtsoorten zeer schaars zal worden.

In Scandinavië is de gemiddelde houtaanwas nog groter dan de aankap, maar dit verschil zal bij een gelijkblijvend jaarlijks verbruik in Europa snel kunnen worden opgenomen wanneer het hout uit gebieden buiten Europa zou wegvallen. De totale jaarlijkse kap van naald- en loofhout in Europa plus de import van elders is namelijk groter dan de jaarlijkse aanwas van naald- en loofhout in Europa. De Verenigde Staten kunnen de eigen houtbehoefte nog niet dekken met hout uit de eigen cultuurbossen en importeren voornamelijk uit Canada. In Canada zelf komen de grote hoeveelheden hout voornamelijk uit de uitgestrekte natuurbossen. Herbebossing vindt wel plaats. Voor de Sovjetunie geldt eenzelfde beeld als voor Canada. Ook hier komt de grote stroom hout uit de uitgestrekte natuurbossen in Noordrusland en Noordsiberië, maar deze kap schijnt nog niet te worden gecompenseerd door herbebossingen.

Ten gevolge van stijgende hout- en produktiekosten moet het hout steeds beter worden aangepast aan de omstandigheden waarin het wordt toegepast. Hoe meer de voor een toepassing belangrijke eigenschappen van een gekozen houtsoort afwijken van de genoemde hoog gewaardeerde, hoe beter die aanpassing moet zijn of hoe meer men moet doen om de ongunstige eigenschap te verbeteren. Enkele voorbeelden:

Beuken, een houtsoort met grote krimpwaarden, toe te passen in een kantoorgebouw, waarin de relatieve vochtigheid in het algemeen laag is, zal voor zijn bewerking zeer nauwkeurig tot het vereiste lage vochtgehalte moeten worden gedroogd. Dit om nakrimp in het produkt en daarmee open naden, een geringe vervorming, klemmen van deuren of laden te voorkomen.

Wordt een uit hout vervaardigd produkt blootgesteld aan weer en wind, dan zijn voldoende duurzaamheid (ten minste duurzaamheidsklasse I à II) en geringe krimp en zwelling de belangrijkste voorwaarden. Is de gekozen houtsoort weinig duurzaam, dan wordt een verduurzamingsbehandeling nodig; zijn de krimp- en zwellingswaarden groot, dan moet goed worden nagegaan hoe dit werken van het

hout kan worden beheerst of men moet een houtsoort kiezen met geringere krimpwaarden.

Bij een tweetal reeds zeer veel toegepaste behandelingen van het massieve hout, het drogen en het verduurzamen, zal een goede uitvoering van de behandeling en het bereiken van het juiste eindresultaat onder de druk van oplopende houtprijzen nog in belang toenemen. Bij het drogen zal men er steeds scherper op toezien dat het hout op zodanige wijze tot het voor verdere verwerking juiste vochtgehalte is gedroogd, dat nakrimpen niet zal voorkomen en spanningen in het hout zodanig gering zijn dat daar geen nadelen uit kunnen voortkomen. Juist dit laatste punt zal nog de nodige aandacht vragen. Dit geldt voor de kostbare houtsoorten, maar ook voor de vervangende soorten, met een grotere krimp en een grotere kans op vervormingen tijdens het drogen. Bij het verduurzamen zal een grotere verlenging van de gebruiksduur van het hout onder de gestelde omstandigheden (bijv. in contact met grond en water: damwand, of alleen contact met de grond in weer en wind: houten palen) het oogmerk zijn. Van belang daarbij is een zo groot mogelijke uniformiteit in het eindresultaat van de verduurzamingsbehandeling. Voor een houtsoort als vuren zal een diepere indringing van het verduurzamingsmiddel moeten worden verkregen. Daarnaast zal op het gebied van verduurzaming in de komende jaren nog veel moeten gebeuren om milieubelastingen te vermijden.

Als gevolg van de oplopende prijzen voor houtsoorten met hoogwaardige eigenschappen ontstaat een steeds groter prijsverschil tussen deze groep en de goedkope houtsoorten, waaronder die uit Nederland zelf. Dit prijsverschil maakt het interessant hout uit de groep van de goedkope soorten zodanig te behandelen dat halffabrikaten met interessante eigenschappen en toepassingsmogelijkheden ontstaan. In de passage over lopend onderzoek is reeds genoemd het samenvoegen van dikke fineren. Hierbij wordt uitgegaan van dunne bomen en hout van lage kwaliteit. Deze techniek komt erop neer dat uit het grondmateriaal alle bruikbare gedeelten worden gehaald en tot plakken gesneden. De dikke fineren worden gedroogd en dan weer aaneen gelijmd tot balken of grote blokken. Dit halffabrikaat heeft hierdoor belangrijk betere eigenschappen gekregen dan het hout vóór de bewerking had. Andere mogelijkheden zijn chemische behandelingen om de stabiliteit van het hout te verhogen. Ook hout-kunststofverbindingen zullen meer kansen krijgen (het impregneren van hout met een monomeer dat vervolgens wordt gepolymeriseerd). Deze producten reageren zeer traag op veranderingen in de relatieve vochtigheid en zijn vaak hard en sterk. In de parketindustrie vindt dit proces reeds enige toepassing en ook in de productie van bijzondere, meest kleinere houtwaren.

Naast vervanging van te duur geworden houtsoorten door minder dure soorten met enkele minder gunstige eigenschappen, zal bij een eventuele houtschaarste nog een verschuiving kunnen optreden, namelijk naar het gebruik van jonge bomen. Vooral in een aantal tropische en subtropische gebieden worden voor herbebossingen vaak enkele zeer snel groeiende naaldhoutsoorten en Eucalyptussoorten gebruikt, die er van nature niet thuis horen (exoten). Deze bomen bereiken op zeer jonge leeftijd reeds bruikbare stamdiameters en kunnen dan worden gekapt. Zowel bij naaldhout- als bij loofhoutstammen heeft het op jonge leeftijd gevormde hout (juveniel hout) eigenschappen die verschillen van die van het op latere leeftijd door dezelfde stam gevormde hout (rijp hout).

De eigenschappen die van een houtsoort bekend en gepubliceerd zijn, hebben bijna altijd betrekking op het rijpe hout. Ten opzichte van het rijpe hout heeft juveniel hout meestal iets grotere krimpwaarden en is de kans op vervorming van het hout iets groter. Doordat bij vele houtsoorten de celwand in het juveniele hout dunner is dan in het rijpe hout, zijn de sterkte-eigenschappen iets minder en bij van nature duurzame houtsoorten is ook de duurzaamheid wat minder. Er zijn dus nogal wat verschillen in eigenschappen mogelijk en het overstappen op hout afkomstig uit snel gegroeide jonge bomen dient dan ook te gebeuren met kennis van die andere eigenschappen [86]. Een eveneens interessante verschuiving is de mogelijke toename van het gebruik van Nederlands hout. In de loop van deze eeuw zijn vrij veel bospercelen met Europees Douglas (*Pseudotsuga menziesii* Franco) aangeplant en in de komende decennia bereikt een aantal de kapbare leeftijd. Het hout verschilt nogal in uiterlijk en ook in eigenschappen van het in de Verenigde Staten in de oorspronkelijke gebieden gegroeide Oregon pine dat van dezelfde botanische soort afkomstig is. Ook andere in Nederland gegroeide soorten kunnen zaaghout van een goed bruikbare kwaliteit leveren. In het Nederlandse bosbeleid voor de naaste toekomst is vergroting van het bosareaal als een belangrijk punt opgenomen. Daarbij wordt gestreefd naar verhoging van de zelfvoorzieningsgraad van ongeveer 8% thans naar 25% halverwege de volgende eeuw. De totale van eigen bodem afkomstige hoeveelheid zaaghout zal niet veel groter worden, doch mogelijk toch interessant bij een schaarser wordende markt.

4.7 Nieuwe toepassingen van glas

Prof. dr. ir. H. de Waal

Glas is een zeer oud materiaal en op het eerste gezicht zouden we daarom niet direct nieuwe toepassingen verwachten. Dat die toch in

toenemende mate beschikbaar komen, komt enerzijds omdat men er in slaagt de eigenschappen te beïnvloeden door allerlei oppervlaktebehandelingen en anderzijds doordat er regelmatig nieuwe glassoorten worden ontwikkeld met geheel nieuwe eigenschappen.

Voorbeelden van beïnvloeding door oppervlaktebehandeling zijn te vinden in produkten met een gevestigde traditie, zoals verpakkingsglas en vlakglas.

Bij verpakkingsglas gaat het vooral om methoden ter verhoging van de sterkte en de daarmee te bereiken gewichtsvermindering. Kunststofcoatings en krimpfolies beginnen reeds ingeburgerd te raken en sedert enkele jaren maakt men in Japan flessen waarvan het oppervlak chemisch is versterkt door middel van een ionenuitwisselingsproces, waarmee een drukspanningslaag wordt gecreëerd [87]. In 1984 is een multinationalaal onderzoekprogramma begonnen waarin allerlei methoden tot versterking en verbetering van de krasvastheid nader worden onderzocht [88]. Het doel van het programma is een tien maal sterkere fles met het halve gewicht. De resultaten zullen ongetwijfeld een grote invloed hebben op andere glastoepassingen, zelfs al wordt dit doel niet geheel bereikt.

Bij vlakglas zijn er ook combinaties met kunststoffen, zoals veiligheidsglas en kogelwerend glas. Versterking wordt hier bereikt langs thermische weg, door het invriezen van drukspanningen en langs chemische weg. Nieuwe ontwikkelingen hebben vooral betrekking op beïnvloeding van de optische eigenschappen, zoals zon- en warmte-werende lagen van metaal of metaaloxiden [89]. Zeer recent is de ontwikkeling van coatings die lichtregeling mogelijk maken. Vanwege hun toepassing in zonnebrillen kent menigeen de zogenaamde fotochrome glazen, die door zonlicht donker worden [90]. Dit komt omdat in het glas transparante kristallen van zilverchloride zijn opgenomen, die door het ultraviolette deel van het zonlicht tijdelijk uiteenvallen en daarbij kleine ondoorzichtige zilverdeeltjes vormen. Het nieuwste is de ontwikkeling van elektrochrome coatings, waarbij de lichtdoorlating wordt geregeld met een elektrische spanning en de thermochrome coatings, die door temperatuurverandering omkleuren [91]. De firma Schott heeft reeds prototypen vervaardigd van achteruitkijkspiegels waarbij het verblindingseffect wordt opgeheven met een elektrochrome coating.

Meer inlichtingen, zowel op dit gebied als op dat van de ontwikkelingen ten aanzien van verpakkingsglas, kunnen worden verkregen bij [rr].

Ontwikkelingen in de groep van de nieuwe glassamenstellingen zijn er te veel om op te noemen. Hier zullen slechts de belangrijkste en meest belovende worden vermeld. Ze spelen zich voor een deel af op het gebied van de micro-elektronica. Een goed overzicht wordt gegeven in

[92]; een belangrijke Nederlandse producent van deze glazen is Philips. Glazen zijn belangrijk bij de fabricage en de uiteindelijke verpakking van elektronica-componenten en geïntegreerde schakelingen. Het gaat hierbij steeds om hoge zuiverheid, goede hechting en thermische aanpassing aan de component. Dit vereist een grote diversiteit in samenstelling. Behalve kwartsglas en borosilicaat worden onder andere fosforsilicaten, fosforboorsilicaten en loodboorsilicaten toegepast. Om de component hermetisch in te kapselen, worden vaak laagsmeltende verbindingsglazen gebruikt.

Bij opslag van informatie in magneetschijven worden bariumhoudende en loodhoudende glazen gebruikt om de magneetkop te fixeren en als isolatie in de magneetkop zelf. Voor afbeelding dienen kathodestraalbuizen, opgebouwd uit glazen onderdelen van verschillende samenstelling. De glazen inktspuitkop, die een essentieel onderdeel vormt van de moderne printapparatuur, is een staaltje van precisiefabricage en uitgekiende samenstelling. Alkalihoudende zirkoonsilicaatglazen worden veel gebruikt, maar glazen met een nog hogere resistentie zijn in ontwikkeling [92].

Voor overdracht van informatie worden de optische glasvezels steeds belangrijker. Extreem zuiver kwartsglas, met kern en/of mantel nauwkeurig gedoteerd met andere oxiden teneinde de brekingsindex te variëren is hiervoor het meest gebruikte materiaal. Het voordeel van de veel hogere overdrachtscapaciteit ten opzichte van koper heeft ertoe geleid dat de problemen ten aanzien van zuiverheid, sterkte, chemische resistentie, koppeling enz. stap voor stap worden opgelost. Behalve voor telefoonverbindingen kunnen deze vezels natuurlijk ook dienen voor allerlei andere vormen van signaaloverdracht, zoals datanetten, teletype en video.

Optische glasvezels kunnen ook worden toegepast in sensoren. Men maakt dan gebruik van het feit dat de optische transmissie afhankelijk kan zijn van allerlei fysische verschijnselen, zoals druk, temperatuur, elektromagnetische straling [93]. Bij voorkeur kiest men dan andere glassoorten, soms zeer exotische, die het gewenste effect in sterke mate vertonen. Een probleem is nog dat vele van deze vezels nog niet commercieel verkrijgbaar zijn en alleen op laboratoriumschaal worden vervaardigd. Nadere inlichtingen zijn verkrijgbaar bij [rr].

Een aparte ontwikkeling op dit gebied vormen de fluorideglasvezels, waarbij niet van oxiden, maar van fluoriden wordt uitgegaan. Het is nog niet zo heel lang bekend dat men van deze stoffen ook glas kan maken. Het bijzondere is dat deze glazen transparant zijn voor infrarood licht tot 7 à 8 μm . Ze bieden daardoor mogelijkheden die de oxidische vezels missen. Toepassingen voorziet men vooral in de medische sector (IR-diagnose en -afbeelding, laseroperaties), bij laserbewerking en in sensoren, maar in feite is elke toepassing denkbaar waarbij infrarood licht een rol speelt [94]. Bepaalde

fluorideglasvezels zijn reeds commercieel verkrijgbaar [tt]. In Nederland wordt onderzoek gedaan aan fluorideglazen en -vezels bij [rr]. Glasvezels waarbij het niet gaat om de optische eigenschappen, worden toegepast als versterking van andere materialen. Silenka in Hoogezand fabriceert al jaren vezels voor de versterking van kunststoffen. Men gebruikt hiervoor het zogenaamde E-glas (een alkali-arm boorsilicaat) en het geheim van de smid zit vooral in de organische coatings, die voor de hechting tussen glas en kunststof moeten zorgen.

Bij Pilkington in Engeland zijn glasvezels ontwikkeld voor de versterking van cement [95]. Hier is niet alleen de hechting een probleem, maar vooral het feit dat de meeste glassoorten relatief slecht tegen de hoge alkaliteit van cement kunnen. Een speciaal zirkoonoxidehoudend glas gaf hier de oplossing.

Het omgekeerde, versterking van glas door vezels, komt ook voor, maar is nog niet commercieel. De toevoeging van siliciumcarbide whiskers in glas werd onlangs beschreven [96] en zou leiden tot een eenvoudige versterking van het basisglas. Iets dergelijks wordt gemeld uit Japan voor de versterking van glaskeramiek [97]. Glaskeramiek is een materiaal, dat – ten onrechte – tot nu toe in Nederland slechts beperkte belangstelling geniet. Het betreft hier producten die in de glasvorm worden vervaardigd met conventionele vormgevings-technieken zoals persen en blazen en die vervolgens door een warmtebehandeling geheel of gedeeltelijk worden omgezet in een polykristallijn materiaal [98]. Men kan hiermee verrassende eigenschappen verkrijgen, zoals een extreem lage thermische uitzetting, een hogere sterkte of een hogere verwekingstemperatuur dan het basisglas. Ook mechanisch te bewerken keramiek, bruikbaar tot 1100-1200 °C, is zo te fabriceren [99] en wordt door een aantal handelsfirma's in Nederland geleverd.

Niet onvermeld mag blijven dat er met andere glassoorten en een iets andere warmtebehandeling nog een heel ander interessant materiaal is te maken, nl. een microporeus glas, dat vooral toepassing kent als membraan en als katalysatordrager [100]. Men kan de poriëngrootte regelen door de warmtebehandeling te variëren. Die warmtebehandeling dient eigenlijk om het glas in twee continue fasen te splitsen. De minst resistente (een boraatglas) wordt dan vervolgens met warm zoutzuur verwijderd en men houdt een zeer resistent kwartsachtig poreus glas over.

Desgewenst kan men dit glas weer dichtsinteren en men heeft dan langs een omweg, maar bij een lagere temperatuur, een op kwartsglas lijkend glas gemaakt. Dit glas is op de markt onder andere onder de merknaam 'Vycor' en wordt geleverd door diverse handelsfirma's. Door beheerste kristallisatie van calciumaluminofosfaat schuimglas (dat is glas met opzettelijk aangebrachte gasbelletjes) kan men ook

poreus glaskeramiek maken. De toepassing die men hier voor ogen heeft, is botimplantatie (prothesen) [101]. De samenstelling van dit materiaal lijkt zoveel op die van natuurlijk bot, dat de prothese geleidelijk samengroeit met en zelfs overgaat in het aangrenzende natuurlijke botmateriaal. Vandaar dat men spreekt van 'biokeramiek'. Ook bioglas is in ontwikkeling. In Nederland wordt aan deze materialen gewerkt aan de Vrije Universiteit in Amsterdam [102].

Glas is niet bij uitstek een materiaal dat zich leent voor mechanische bewerking. Toch heeft het koud bewerken van glas de laatste jaren een grote vlucht genomen. De reden is dat men hiermee maattoleranties kan bereiken die voordien onmogelijk waren.

Slijpen, boren en frezen zijn normale technieken geworden. Behalve Philips is er in Nederland ook een aantal kleinere bedrijven dat zich hierop toelegt [rr]. Soms is mechanische nabewerking niet goed mogelijk, ongeacht de prijs. Een voorbeeld hiervan is de asferische optiek, die echter toch ongekende mogelijkheden opent als vervanging van samengestelde lenssystemen [103]. Hiervoor zijn precisieperstechnieken in ontwikkeling ('molded optics'), die een grote toekomst tegemoet lijken te gaan, ongetwijfeld ook buiten de optica. Philips is actief op dit gebied.

Nieuwe toepassingen van glas zijn ook binnen bereik gekomen door de ontwikkeling van de zogenaamde sol-gelmethode voor glasbereiding. In plaats van samensmelten van grondstoffen bij hoge temperatuur kiest men hier voor chemische polymerisatie uit een oplossing waarin de uiteindelijke glasbestanddelen zijn opgenomen [104]. Voordelen zijn de lage bereidingstemperatuur en de hoge zuiverheid en homogeniteit die kan worden bereikt. Voor bulkproducten als vlakglas en verpakkingsglas zal het nooit commercieel interessant worden, maar voor speciale producten wel degelijk.

Voor de hand liggende toepassingen zijn coatings en optische vezels, maar de methode kan ook geheel nieuwe glassoorten leveren, die langs thermische weg niet mogelijk zijn vanwege te hoge smelttemperatuur, verdamping van componenten, kristallisatie of fasescheiding bij het afkoelen enz. Een mooi voorbeeld is zirkoonsilicaatglas met 30-50% ZrO_2 , dat zeer alkaliresistent is, pas bij $2400^\circ C$ enigszins vloeibaar wordt en tijdens het afkoelen in twee fasen uiteenvalt.

Door de zeer goede homogeniteit die men met de sol-gelmethode kan bereiken, is het gelukt hoogwaardige neodymiumglaslasers te maken, waarin het Nd_2O_3 zeer goed verdeeld in de glasmatrix is opgenomen. Meer voorbeelden, alsmede een extrapolatie naar de toekomst, kan men vinden in [105]. In Nederland doet men bij Philips onderzoek op dit gebied.

Ten slotte moet in dit verband nog een produkt worden genoemd dat

enkele jaren geleden nogal wat publiciteit kreeg vanwege een unieke combinatie van eigenschappen. Het betreft het aerogelglas, een plaatvormig microporeus glas, gemaakt met de sol-gelmethode [106]. De poriën zijn zo klein dat het materiaal vrijwel transparant is, maar toch heeft het zeer goede warmte-isolerende eigenschappen. Het is niet sterk en het neemt water op, dus men moet het niet als vervanging van dubbele beglazing zien, maar als vulmateriaal, daar waar zowel optische doorlatendheid als thermische isolatie van belang zijn.

Het moge uit deze opsomming van ontwikkelingen duidelijk zijn geworden dat glas een materiaal is dat meer toepassingsmogelijkheden kent dan de alledaagse verschijningsvormen. De toekomst zal leren of voor al die toepassingen glas het meest ideale materiaal blijkt te zijn, maar dat het voor de ontwerper en de constructeur meer kan betekenen dan een wat lastig en breekbaar materiaal, is wel zeker.

4.8 Technische membraanprocessen

Dr. ing. M. H. V. Mulder
Prof. dr. C. A. Smolders

Inleiding

Membraanfiltratie heeft zich de afgelopen vijftien jaar ontwikkeld van gebruik in het laboratorium tot een scheidingstechniek die economisch kan concurreren met andere (conventionele) scheidingstechnieken, zoals destillatie, adsorptie, extractie en kristallisatie. Ook over de toekomstperspectieven van membraanfiltratie zijn zeer optimistische geluiden te horen. In de literatuur wordt aangegeven dat in het jaar 1993 een omzet bereikt wordt van meer dan 2 miljard dollar (alleen op basis van membraanmodulen die 10 tot 25% van de totale investering uitmaken). De gemiddelde groei voor Europa wordt voor de momenteel beschikbare membranen en membraanprocessen geschat op 12% per jaar. Deze groeicijfers zullen drastisch veranderen wanneer nieuwe en betere membranen ontwikkeld zijn, vooral voor de gasscheiding. Verder zijn bij de groeicijfers de nieuwere membraanprocessen, zoals pervaporatie en membraandestillatie, niet meegenomen.

Momenteel kunnen als belangrijke toepassingen worden genoemd het ontzouten van zeewater voor de produktie van drinkwater door middel van omgekeerde osmose, het verwijderen van ureum en andere laagmoleculaire afvalprodukten bij nierpatiënten door middel van bloeddiaalyse, het verwijderen van bacteriën door middel van microfiltratie ('steriefiltratie'), het terugwinnen van waterstof uit een mengsel

van gassen door middel van gasscheiding, het concentreren van olie-wateremulsies door middel van ultrafiltratie en het ontwateren van organische vloeistoffen door middel van pervaporatie. Al deze voorbeelden worden op technische schaal toegepast.

Gemeten naar de stand der techniek zijn de volgende membraanprocessen op technische schaal toepasbaar:

- microfiltratie
- ultrafiltratie
- hyperfiltratie
- elektrolyse
- gaspermeatie of gasscheiding
- pervaporatie
- membraandestillatie (op korte termijn)

Verder kunnen nog twee membraanprocessen worden genoemd die momenteel nog niet het commerciële stadium hebben bereikt, namelijk vloeibare membranen en pertractie.

Naar verwachting zullen beide processen op middellange tot lange termijn commercieel worden toegepast.

Membranen

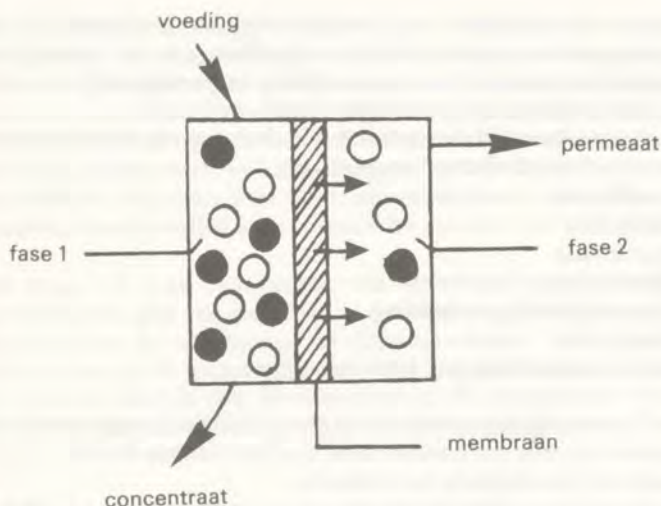
Een membraan kan worden gedefinieerd als een barrière tussen twee homogene fasen. Scheiding wordt verkregen op grond van verschil in transportsnelheid door het membraan, dat wil zeggen het membraan heeft de eigenschap te discrimineren tussen de componenten. Het membraan gedraagt zich dus als een selectieve barrière.

De meeste membranen zijn gemaakt van organische macromoleculen of polymeren. De keuze van het polymeer wordt vooral bepaald door de toepassing. Bij microfiltratie en ultrafiltratie zijn vooral temperatuur en chemische bestandheid van belang. Bij pervaporatie en gasscheiding bepalen de intrinsieke scheidings eigenschappen de keus van het materiaal.

Vrij recent worden ook anorganische membranen op technische schaal toegepast. Het betreft hier microfiltratie- en ultrafiltratiemembranen.

Als materiaal wordt veelal zirkoniumoxide (ZrO_2) en aluminiumoxide (Al_2O_3) gebruikt.

Om er voor te zorgen dat er bepaalde (vloeï)stoffen door het membraan kunnen worden getransporteerd, is het nodig een drijvende kracht over het membraan aan te brengen. Dit kan zijn een verschil in druk, concentratie, elektrisch potentiaal of temperatuur. Ten gevolge van de drijvende kracht kunnen bepaalde componenten het membraan passeren. In afb. 4.5 wordt een membraanscheidingsproces schematisch weergegeven.



Afb. 4.5 Schema van een membraanscheidingsproces.

Bij membraanfiltratie wordt de te verwijderen verontreiniging meestal niet in zuivere vorm verkregen, maar slechts in verhoogde concentratie. Daarom is vaak een tweede zuiverings-/scheidingsstap nodig. In de meeste gevallen zal de verontreiniging door het membraan worden tegengehouden (micro-, ultra- en hyperfiltratie), maar in enkele gevallen zal de verontreiniging specifiek worden verwijderd (pervaporatie, vloeibare membranen en pertractie). In deze laatste categorie worden in het algemeen hoge selectiviteiten verkregen, zodat de verontreiniging in relatief zuivere vorm wordt verwijderd. In wezen is dit tweede concept (specifieke verwijdering) te prefereren boven de eerste (concentrering). De verontreiniging komt in het algemeen in (zeer) lage concentraties voor en het is wenselijk specifiek bepaalde componenten door het membraan te laten permeëren in plaats van de bulkvloeistof.

Membraanfiltratie heeft als scheidingstechniek enkele specifieke voordelen ten opzichte van andere (conventionele) scheidingstechnieken:

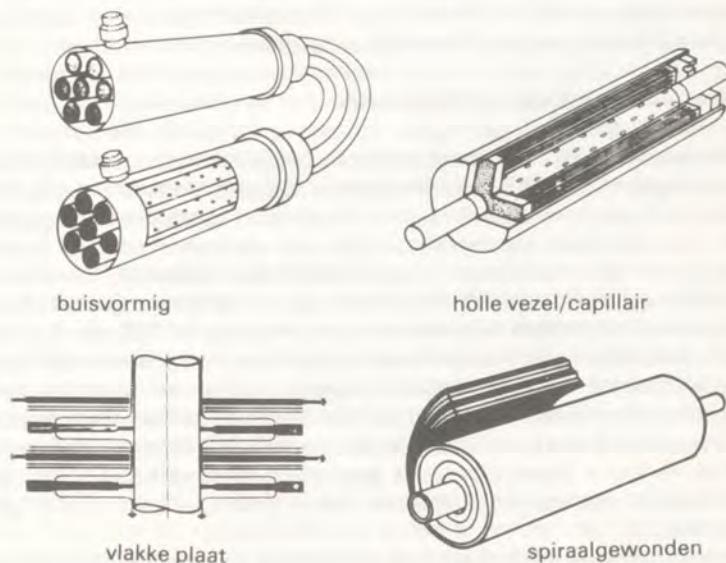
- scheiding kan continu plaatsvinden
- energiegebruik is in het algemeen laag tot zeer laag
- scheiding kan bij milde temperatuur worden uitgevoerd
- membraanprocessen kunnen eenvoudig als deelproces worden ingepast
- er zijn geen hulpstoffen nodig.

Nadelen zijn de korte levensduur van de huidige membranen, de gevoeligheid voor vervuiling en de soms te geringe selectiviteit en doorlaatbaarheid.

Modulen

Membranen kunnen niet rechtstreeks worden gebruikt, maar moeten worden ondersteund en beschermd. In feite zijn twee membraanconfiguraties mogelijk, namelijk vlak en buisvormig. De moduulconfiguraties zijn hier van afgeleid. Van de vlakke vorm zijn afgeleid de vlakke plaat- en de spiraalgewonden moduul. Van de buisvorm zijn afgeleid de buisvormige, de capillaire en de holle-vezelmoduul (zie afb. 4.6).

De verdeling buisvormig, capillair en holle vezel wordt gemaakt op grond van dimensie. Holle-vezelmembranen hebben een diameter kleiner dan 0,5 mm. Capillaire membranen hebben een diameter tussen 0,5 en 5 mm en vormen in feite een overgang van holle vezel naar buisvormig. Deze laatste membraansoort heeft diameters groter dan 5 mm.

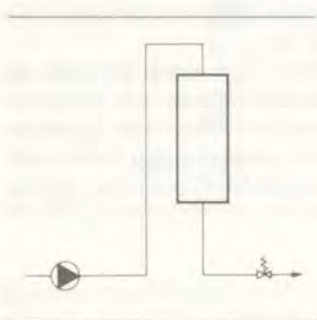


Afb. 4.6 Schematisch weergave van moduulconfiguraties.

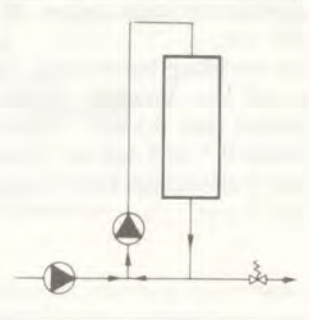
Membraaninstallaties

Een membraanfiltratie-installatie bestaat in principe uit een pompdeelte en een aantal membraanmodulen. De pomp zorgt voor de nodige systeemdruk en langsstroomsnelheid. Hoewel het aantal mogelijkheden modulen met elkaar te schakelen groot is, zijn er twee basisschakelingen: het doorloopsysteem en het recirculatiesysteem. In afb. 4.7 zijn beide processen schematisch weergegeven.

doorloopsysteem



recirculatiesysteem



Afb. 4.7 Doorloopsysteem en recirculatiesysteem.

Stand der techniek in Nederland

Wanneer men de Nederlandse situatie bekijkt dan is er duidelijk een verheugende ontwikkeling. Een jaar of vijf geleden leek het nog dat het produceren van membranen in Nederland moeilijk van de grond kwam en er alleen een markt zou zijn voor apparatenbouwers. Naast de reeds van oudsher bekende membraanproducenten als Akzo (Enka) en Wafilin (Stork Friesland) zijn er de laatste jaren enkele nieuwe producenten bijgekomen zoals Najade, SETEC en X-flow (voorheen Koehnen Watertreatment). Behalve deze producenten is er in Nederland een groot aantal apparatenbouwers actief die de membranen (modulen) veelal kopen in Japan en de Verenigde Staten en deze inbouwen in zelf ontwikkelde installaties. Deze groep wisselt sterk en het is daarom moeilijk een totaal beeld te krijgen. Enkele belangrijke apparatenbouwers zijn Esmil, Promac, Christ, SETEC en Amfitec.

Verder zijn er in Nederland nog vestigingen en verkoopbureaus van buitenlandse membraanfabrikanten zoals Millipore, DDS, PCI, Kalle, Pall, Amicon en Dorr-Oliver.

4.9 Oppervlaktemodificatie-technieken

Prof. dr. J. Th. M. de Hosson

In de praktijk wordt het oppervlak van een werkstuk vaak het sterkst belast. Slijtage en corrosie zijn hiervan het gevolg. Om deze nadelige effecten terug te dringen, wordt in toenemende mate gekozen voor modificatie van het oppervlak van een relatief goedkoop basismateriaal in plaats van het gehele werkstuk uit een edeler metaalsoort te construeren. Hierbij dient onderscheid te worden gemaakt tussen verandering van de oppervlaktelaag en het aanbrengen van een dunne deklaag op het basismateriaal. In deze paragraaf wordt een algemeen overzicht gegeven van de momenteel beschikbare oppervlaktemodificatie-technieken. Vanwege de praktische toepassingen is de ontwikkeling van slijtvaste oppervlakken als uitgangspunt genomen.

De complexiteit van de tribologische eigenschappen van materialen en de economische aspecten van wrijving en slijtage rechtvaardigen een toenemende onderzoeksinspanning. In geïndustrialiseerde landen gaat uiteindelijk ongeveer 30% van de opgewekte energie verloren in wrijving. Bovendien worden in hoog geïndustrialiseerde landen de verliezen ten gevolge van wrijving en slijtage geschat op 1 à 2% van het Bruto Nationaal Produkt. In toenemende mate wordt derhalve gezocht naar oppervlaktemodificatie-technieken, die de slijtvastheid van materialen kunnen vergroten. Hierbij dient te worden opgemerkt dat slijtvastheid geen materiaaleigenschap is, maar een systeemeigenschap. Het materiaal van een werkstuk slijt immers tegen een ander medium. De samenhang met de omgeving (smering, toerental, tribologische eigenschappen van het materiaal waaraan gesleten wordt) bepaalt de karakteristieke slijtvastheid van het materiaal in een bepaalde constructie.

In zijn algemeenheid wordt slijtvastheid bepaald door het samenspel van twee tegengestelde eigenschappen: ductiliteit en hardheid. Slijtage kan worden teruggedrongen door de oppervlaktelaag zodanig te modificeren dat deze een hogere ductiliteit verkrijgt. Daardoor kan een grotere plastische vervorming optreden zonder dat er deeltjes afspringen. Zachte oppervlaktelagen kunnen zeer effectief zijn bij de vermindering van slijtage ten gevolge van delaminatie. De weerstand bij abrasieve slijtage is echter laag.

De slijtbestandheid kan echter ook worden verhoogd door de hardheid van de oppervlaktelaag groter te maken dan die van het abrasieve medium. Verhoging van de hardheid betekent echter ook verhoging van de elasticiteitsgrens en verlaging van de ductiliteit. Hierdoor kan de vermoeiingsweerstand worden verlaagd en brosse breuk optreden.

Het zijn de systeemeigenschappen (delaminatie, abrasie, slijtage) die bepalen welke van deze twee methoden dient te worden toegepast en welke oppervlaktemodificatie-techniek moet worden gekozen.

De oppervlaktetechnieken laten zich ruwweg in twee groepen indelen:

- Procédés voor het opbrengen van deklagen. Oudere processen zijn plateren, oplassen, elektrolytisch verzinken en vernikkelen, het stroomloos bedekken en Physical Vapour Deposition (PVD).
- Procédés ter beïnvloeding van het oppervlaktemateriaal. Hierbij verandert de structuur of de samenstelling van de oppervlaktelaag. Van vrij recente datum zijn laserharden (zie hiervoor 'laserbewerkingen') en elektronenstraalharden. Thermochemische behandelingen omvatten het bekende nitreren, boreren, carboneren, chromeren enz., maar ook Chemical Vapour Deposition (CVD). Een recente ontwikkeling is het maat- en vormvastharden van roestvaststaal, ook wel aangeduid met kolsteriseren.

Physical Vapour Deposition (PVD)

In het PVD-proces worden metaalverbindingen in hoog vacuüm op het werkstuk neergeslagen. De productie van de af te zetten materiaalverbindingen kan op verscheidene manieren gebeuren:

- Door het sputterproces wordt het af te zetten materiaal in de dampfase gebracht. Dit gebeurt in de regel door hoog energetische argon-ionen op het deklaagmateriaal af te schieten. Het deklaagmateriaal in de dampfase condenseert op het werkstuk (substraat). Vrijwel ieder materiaal is op deze wijze in de dampfase te brengen.
- Het opdampproces is een variant op het sputterproces, waarbij de verdamping van het op te brengen materiaal wordt bereikt door verhitting met een elektronenstraal of door inductie-, weerstand- of laserverhitting. Het deklaagmateriaal condenseert hierbij in een vacuüm van ongeveer 10^{-5} torr op het substraat.

Voor het aanbrengen van wrijvingsarme lagen is de PVD-methode niet de meest geschikte. Dit komt door de slechte hechting van de condenserende deeltjes die het substraat met een te lage snelheid treffen. Ter verbetering van de hechting wordt ion-plating toegepast. Het substraat wordt daarbij op een hoge negatieve spanning gezet. In een vacuümruimte waar argon wordt ingelaten, vindt een gasontlading plaats waardoor een gedeelte van het verdampte materiaal positief wordt geïoniseerd. Deze positief geladen ionen treffen het substraat met een hoge snelheid, waardoor een betere hechting ontstaat. Bij PVD-processen wordt het werkstuk verhit tot 300-500 °C. Voor veel staalsoorten is deze PVD-methode te verkiezen boven de

methode van 'Chemical Vapour Deposition'. Er kunnen ook kunststoffen mee worden behandeld.

PVD-technieken vinden toepassing bij de verbetering van optische delen (coating van lenzen) en in de elektrotechniek en worden nu ook in de fijnmechanische techniek gebruikt.

Onderzoek op dit gebied is gericht op verbetering van de processen, ontwikkeling van nieuwe harde keramische coatings, zoals ZrN, HfN, Ti(CN)₂, en het maken van dubbele lagen (bijv. TiC + TiN).

Chemical Vapour Deposition (CVD)

Zoals de naam reeds aanduidt, gaat het hier om het op chemische wijze aanbrengen van deklagen. Een gas dat in de reactiekamer wordt toegelaten, ontleedt aan het oppervlak van het werkstuk. Het materiaal dat hierbij vrijkomt, wordt geabsorbeerd door het werkstuk of condenseert tot een harde, slijtvaste of corrosievaste laag van 2 tot 40 micrometer dik. Ook in blinde gaten en holle voorwerpen ontstaat dezelfde laagdikte. CVD is bijzonder geschikt voor het aanbrengen van slijtvaste lagen van titaancarbide en titaannitride op gereedschapsstaal (beitels, matrijzen). Deze methode verdient vooral aanbeveling als het werkstuk een hoge temperatuur kan verdragen (600-1000 °C) en indien hoge eisen worden gesteld aan de hechting en de hardheid van de deklaag.

Oppervlakteveredeling met lasers

Materiaalbewerkingen met lasers hebben een aantal bijzondere kenmerken:

- de methode is contactloos
- zeer hoge energiedichtheid kan worden bereikt (groter dan 10^{12} W/m²)
- de laserbundel kan met eenvoudige optische hulpmiddelen worden gestuurd en automatische produktie is mogelijk
- er treedt in het algemeen geringe thermische en mechanische vervorming op.

Essentieel bij het oppervlakteveredelen met lasers is de energiedichtheid die gedurende een bepaalde tijd op het oppervlak kan worden verkregen. Omdat veelal wat grotere oppervlakten zo homogeen mogelijk moeten worden veredeld, wordt bij voorkeur een continue CO₂-laser met groot vermogen toegepast. Impulslasers leiden vaak tot inhomogeniteiten en krimp-scheuren aan het oppervlak. Drie methoden worden gevolgd bij het veredelen van oppervlakken met lasers, namelijk laserhardening, laserlegeren en lasercladding.

Laserharden. In deze toepassing wordt het staaloppervlak snel verhit tot boven de austenitische temperatuur, terwijl de koude ondergrond voor een snelle afkoeling zorgt ('self-quenching' door geleiding). Bij deze 'self-quench' wordt martensiet gevormd, dat de harde bovenlaag levert. Het is essentieel dat uitsluitend een fasetransformatie optreedt en dat smelten van de oppervlaktelaag wordt vermeden. De energiedichtheid is gelijk aan vermogen/diameter \times snelheid en is bij transformatieharden in de orde van 1 MJ/m^2 . Dit betekent dat bij een lager uitgangsvermogen van de laser de bundeldiameter en de snelheid moeten worden verkleind om dezelfde energiedichtheid te bereiken. Voor oppervlakteveredelen is een kleinere diameter echter nadelig, omdat smallere bundels tot relatief grote overlapgebieden (nagloei-effecten) leiden. Tevens veroorzaken lagere snelheden langere 'quench'tijden, die nadelig zijn voor martensietvorming. Oppervlakteharden met lasers wordt daarom uitgevoerd met multi-kilowatt lasers.

Laserlegeren. Met behulp van een laser kan een oppervlaktelaag worden omgesmolten, waaraan vooraf een laag van een legeringselement wordt aangebracht. Het doel is een coating van een bepaald element op een metallisch substraat te transformeren tot een oppervlaktelegering met specifieke eigenschappen. De interactietijd van de laser met het materiaal is bepalend voor smelddiepte en temperatuurverhoging van het substraat.

Laser'cladding' is een variant op het laserlegeren. In plaats van het aanbrengen van een legeringselement op een substraat wordt een poedervormige laag van slijtage- of corrosiebestand materiaal (titaan- of siliciumcarbide) op het substraat aangebracht. Dit poeder wordt vervolgens ingesmolten in de oppervlakte van het substraat.

Ionenimplantatie

De oppervlaktekarakteristieken van materialen kunnen aanzienlijk worden gewijzigd door het implanteren van ionen (10^{14} - 10^{17} ionen per cm^2). De tribologische eigenschappen van een staal, bijvoorbeeld AISI 52100 kunnen worden verbeterd met het implanteren van een hoge dosis titaan (10^{17} ionen per cm^2 bij 190 keV). De kinetische wrijvingscoëfficiënt wordt met meer dan de helft gereduceerd voor staal-op-staalslijtage. Het voordeel van ionenimplantatie is dat men atomen in het substraat kan oplossen ver boven hun oplosbaarheids-grens. Nieuwe legeringen en volledig nieuwe metastabiele evenwichtsstructuren kunnen op die wijze worden gefabriceerd. De techniek wordt in de regel bij kamertemperatuur toegepast en dient in vacuüm te geschieden. Dit laatste is duidelijk een nadeel ten opzichte

van laserbehandeling. Machines voor ionenimplantatie zijn tot nu toe voornamelijk ontwikkeld voor de halfgeleiderindustrie. Hieruit mag niet worden geconcludeerd dat deze techniek reeds is uitontwikkeld voor tribologische toepassingen. Werkstukken bezitten veelal een veel complexere geometrie dan de halfgeleiderplakken. Tevens is een veel hogere ionenbundelstroom nodig (groter dan 1mA) om het voor tribologische toepassingen economisch aantrekkelijk te maken. Ionenimplantatie tot verhoging van de corrosieweerstand vereist een verscheidenheid van ion-soorten (chrom, molybdeen). De daarvoor nodige hoge intensiteit kan niet worden geproduceerd door de gangbare ionenimplantatie-machines uit de halfgeleiderindustrie.

Plasmaspuiten

Een metaallaag kan met vlamspuiten worden aangebracht op een substraatmateriaal. In de regel wordt een spuitpistool gebruikt. Deklagen met een geringe porositeit kunnen worden verkregen door het plasmaspuiten te verrichten in een ruimte gevuld met inert gas. Plasmaspuiten wordt onder andere toegepast voor het verkrijgen van keramische deklagen.

Stroomloos bedekken

Stroomloos bedekken is een autokatalytisch proces, waarbij metaal neerslaat uit een bad. De samenstelling van het bad is afhankelijk van het te bedekken materiaal. Stroomloos bedekken gebeurt het meest met nikkel.

Alhoewel het duurder is, valt de keuze vaak op stroomloos bedekken, onder andere omdat de laagdikte zeer gelijkmatig is en 'aan de maat' vernikkelen mogelijk is. In vergelijking met elektrolytisch vernikkelen is de stroomloos verkregen laag, die ontstaat uit hypofosfietbaden en daardoor veel fosfor (5-12%) bevat, harder en minder poreus. De hardheid is nog op te voeren door een warmtebehandeling toe te passen; de slijtweerstand ligt in de buurt van ontlaten staal. Ook andere metaallagen zijn met behulp van stroomloos bedekken aan te brengen, bijvoorbeeld nikkel met siliciumcarbide voor slijtvastheid, of nikkel met polytetrafluoretheen voor glij-eigenschappen.

Onderzoek in Nederland op het gebied van oppervlakteverbeterende technieken gebeurt bij [b][c][f][h][k][m][n][p][u] waarbij ook de oudere technieken zijn betrokken.

Literatuur: [107]-[117].

Bijlage I. Overzicht van gegevensbanken

Verreweg de meeste gegevensbanken zijn zeer gespecialiseerd en bevatten een beperkt aantal materialen en een beperkt aantal gegevens van die materialen. Wil men meer informatie over de beschikbare gegevens, dan kan men deze aanvragen bij de producent van het bestand.

In de literatuur [36][37][38] kan men de adressen vinden. Ook is veelal informatie beschikbaar bij informatie-bemiddelaars, zoals de bibliotheken van de technische universiteiten en van TNO.

In het overzicht zijn naast de naam van het bestand, waarbij afkortingen zoveel mogelijk zijn vermeden, de naam en het land vermeld van de organisatie die het bestand produceert en bovendien een aanduiding van de toegankelijkheid van de gegevens:

b: het bestand is uitgegeven in boek- of bladvorm

d: het bestand kan op schijf of band worden gehuurd of gekocht van de producent

o: het bestand is rechtstreeks beschikbaar langs een telefoon- of netwerkverbinding

v: vragen kunnen worden opgestuurd aan de producent van het bestand.

Naam	Producent	Land	Onderwerp	Toegang
Aluminum forecasts	Chase Econometrics	VS	metalen (productie, handel)	o
Amdads	AI Research	VS	materialen	d
Ariane	Inst. Tech. du Bâtiment	F	bouwmaterialen	b/o
AVESTA	VNI-Standards	USSR	chemie	d
Base metals forecast	Chase Econometrics	VS	metalen	o
Bolting database	Mat. Res. & Comp. Sim. Corp	VS	metalen	o
Bouwtel	Bouwcentrum	NL	bouwmaterialen	o
Byggsvaru-Registret	Swed. Building Centre	S	bouwmaterialen	o
Chemical business newsbase	Royal Soc. of Chem	VK	chemie (productie, handel)	b/o
Chemical economics handbook	Stanford Res. Inst.	VS	chemie (productie, handel)	b/o
Chem.-Intell	Chem. Intell. Serv.	VK	chemie (handel)	o
Cent. info & num. data analysis & synth. (CINDAS)	Purdue Univ.	VS	materialen	v
Comp. alloy steel info. syst.	Minitech Ltd.	Can	metalen	d
Comp. machining	Kikashinkokyoikai	Jap	metalen	d
Copper data center	Copper Dev. Ass.	VS	metalen	d/o
Corrosion database	Marcel Dekker	VS	metalen, kunststoffen	b/o
Damage tolerant database	Univ. Dayton	VS	metalen	d
Database of tension prop.	Army Mat. & Mech. Res.	VS	metalen	v
Dechema thermophys. prop.	Deutsche Gesell. Chem. Apparatenwesen	D	chemische technologie	d/o
Elecnuic	Comm. Energie Atomique	F	kernenergiecentrales	o
Environ. assisted cracking	Elec. Power Res. Inst.	VS	kernenergiecentrales	o
Engineering Plastics On Screen (EPOS)	ICI	VK/NL	kunststoffen	d

Naam	Producent	Land	Onderwerp	Toegang
Ferroalloys & strategic metals forecast	Chase Econometrics	VS	metalen (productie, handel)	o
Fusion reactor mat.	Univ. Tokyo	Jap	kernenergiecentrales	b/d
High Tech-Germany	High Technol. Verlag	D	nieuws	b/o
High temp. materials	CEC-JRC	Int.	metalen	o
Info-Zentrum Schnittwerte (INFOS)	Univ. Aken	D	metalen	d/o
Innovators digest	Info Team	VS	nieuws	b/o
International lead & zinc	Chase Econometrics	VS	metalen (productie, handel)	b/o
IV-Tantermo	Univ. Moskou	USSR	chemie	?
Kirk-Othmer	John Wiley	VS	chemische technologie	b/o
Kunststoff Database	Deut. Kunstst. Inst.	D	kunststoffen	o
Machinability database	Metcut Res. Ass.	VS	metaalbewerking	b/v
Machining cond. (USIDATA)	ADEPA	F	metalen	o
Manlabs-materials	Nat. Phys. Lab./Manlabs	VK/VS	chemische technologie	d/o
Man-made fibres	Textile Econom. Bur.	VS	kunststoffen (textiel)	o
Material safety data sheets	Occup. Health Serv.	VS	chemie (veiligheid)	o
Material props. database	Deere & Cy.	VS	metalen	v
Materials business file	Am. Soc. for Metals/Inst. of Metals	VS/VK	materiaal (productie, handel)	b/o
Materials deterioration	US Armament R & D	VS	materiaal	v
Materials info. sys.	BASF	D	kunststoffen	o
Materials selection	Univ. Zagreb	Y	metalen, kunststoffen	d
Materials compat. with energetics	US Armament R & D	VS	materiaal	v
Matus	Eng. Info. Comp. Ltd.	VK	materiaal	v
Metal matrix composites props.	MMC Info. Anal.	VS	composieten	v
Metals & ceramics	Battelle Labs.	VS	metalen, keramiek	b/v

Naam	Producent	Land	Onderwerp	Toe- gang
Metals datafile	Am. Soc. for Metals/Inst. of Metals	VS/VK	metalen	o
Metallurg. thermodyn. database (MT-Data)	Nat. Phys. Lab.	VK	metallurgie	d/o
Metal selector	Am. Soc. for Metals	VS	metalen	d
Nuclear data libraries	Int. At. Energ. Ag.	Int.	kernenergiecentrales	d
Peritus	Matsel Systems Ltd.	VK	metalen, kunststoffen	d/o
Plascams	Rubber & Plastics Res. Ass.	VK	kunststoffen	d
Plaspec	Plastics Techn. Magazine	VS	kunststoffen	b/o
Plastic chemicals	Probe Economics	VS	kunststoffen (prod. handel)	b/o
Plastics database	Soc. of the Plastics Ind.	VS	kunststoffen (prod. handel)	o
Plastiserv	DB Business Syst.	VS	kunststoffen	b/o
Poly-probe	Int. Plastics Selector	VS	kunststoffen	d/o
Pure carbon wear data	Pure Carbon Cy.	VS	composieten	v
Pressure vessel steels	Mat. Res. & Comp. Sim. Corp	VS	metalen	v
Search	Ford Motor Comp	VS	metalen	v
Sist. inf. componenten e materiali	ENEA	I	energiecentrales	o
Spacecomps	ESA	Int.	ruimtevaart	o
Steel data banks	Data Resources Int.	VS	metalen (productie, handel)	o
Steelfacts	Verein Deutscher Eisenhüttenleute	D	metalen	b/o
Thermophys. props.	Uhde GmbH	D	chemie	d
VDI-Nachrichten	Ver. Deutsche Ingenieure	D	technologie	b/o
World patents index	Derwent	VK	octrooien	b/d/o
Zinc, lead, cadmium	Zinc Dev. Ass.	VK	metalen	o

Bijlage II Adressen

- [a] KEBOD: Projektbegleitung TÜV-Rheinland,
Postfach 101750, 5000 Köln 1
- [b] Technische Universiteit Delft, Faculteit der Metaalkunde,
Rotterdamseweg 137, 2628 AL Delft, telefoon (015) 782254 /
782217
- [c] Technische Universiteit Delft, Faculteit der Technische Na-
tuurkunde,
Lorentzweg 1, 2628 CJ Delft, telefoon (015) 784134
- [d] Technische Universiteit Delft, Faculteit der Luchtvaart- en
Ruimtevaarttechniek,
Kluyverweg 1, Postbus 5058, 2600 GB Delft, telefoon (015)
781455
- [e] Technische Universiteit Delft, Faculteit der Scheikundige
Technologie,
Julianalaan 136, 2628 BL Delft, telefoon (015) 783659 / 784400
- [f] Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit der Werktuig-
bouwkunde,
Postbus 513, 5600 MB Eindhoven, telefoon (040) 479111
- [g] Universiteit Twente, Faculteit der Werktuigbouwkunde,
Postbus 217, 7500 AE Enschede, telefoon (053) 899111
- [h] Universiteit Twente, Faculteit der Chemische Technologie,
Postbus 217, 7500 AE Enschede, telefoon (053) 899111
- [j] Universiteit Twente, Faculteit Technische Natuurkunde,
Postbus 217, 7500 AE Enschede, telefoon (053) 899111
- [k] Rijksuniversiteit Groningen, Laboratorium voor Technische
Natuurkunde,
Nijenborgh 18, 9747 AG Groningen, telefoon (050) 634930
- [m] Rijksuniversiteit Groningen, Laboratorium voor Algemene
Natuurkunde,
Westersingel 34, 9718 CM Groningen, telefoon (050) 634728
- [n] Rijksuniversiteit Leiden, Subfaculteit der Sterrenkunde en
Natuurkunde,
Wassenaarseweg 78, Postbus 9504, 2300 RA Leiden, telefoon
(071) 148333, tst. 5707/5712
- [p] Rijksuniversiteit Utrecht, Subfaculteit Scheikunde,
Sorbonnelaan 16, 3584 CA Utrecht, telefoon (030) 533791 /
533792

- [q] Metaalinstituut TNO,
Laan van Westenenk 501, 7334 DT Apeldoorn, telefoon (055) 773344
- [r] Energieonderzoek Centrum Nederland,
Westerduinweg 3, 1755 LE Petten, telefoon (02246) 4949
- [s] Nationaal Lucht- en Ruimtevaart Laboratorium, Hoofdafdeling Constructies en Materialen,
Voorderweg 31, 8316 PR Marknesse, telefoon (05274) 2828
- [t] Corrosielaboratorium van het Koninklijk Instituut voor de Marine,
Het Nieuwe Diep 8, 1781 AC Den Helder, telefoon (02230) 11234 tst.2965
- [u] Stichting Geavanceerde Metaalkunde,
(gedeeltelijk) gehuisvest bij [g]
- [v] FOM-Instituut voor Atoom- en Molecuulfysica,
Kruislaan 407, 1098 SJ Amsterdam, telefoon (020) 947611
- [w] Technische Fysische Dienst TNO-TH, Afdeling Keramiek,
Postbus 513, 5600 MB Eindhoven, (040) 472115
- [y] Nederlandse Federatie voor Kunststoffen,
Postbus 344, 3440 AH Woerden, telefoon (03480) 14005
- [z] Kunststoffen en Rubberinstituut TNO,
Postbus 71, 2600 AB Delft, telefoon (015) 569330
- [aa] Nationaal Lucht- en Ruimtevaart Laboratorium (NLR),
Postbus 153, 8300 AD Emmeloord, telefoon (05274) 2828
- [bb] Gemeentelijke Hogere Technische School,
Oudenoord 70, 3313 EV Utrecht, telefoon (030) 311181
- [cc] Universiteit Twente, Centrum voor Polymeer Technologie,
Postbus 217, 7500 AE Enschede, telefoon (053) 892566/892971
- [dd] Stichting Opleidingen Rubber en Kunststoffen (SORK),
Postbus 85806, 2508 CM 's-Gravenhage, telefoon (070) 469444
- [ee] Programma Commissie Polymeer Composieten & Bijzondere Polymeren,
Secretariaat: Bond voor Materialenkennis, Postbus 390, 3330 AJ Zwijndrecht, telefoon (078) 192655
- [ff] Groupement Plastiques Renforcés/ Matériaux Composites (GPRMC),
Rue des Drapiers 21, 1050 Brussel, België, telefoon 09-32 2 5112370
- [gg] European Trade Association of the Advanced Composites Materials Suppliers (ETAC),
Postfach, 8027 Zürich, Zwitserland, telefoon 09-41 1 2492121
- [hh] European Association for Composite Materials (EACM),
2 Place de la Bourse, 33076 Bordeaux Cedex, Frankrijk,
telefoon 09-33 33 56526547

- [ij] 'Metaal en Kunststof',
Postbus 4, 7000 BA Doetinchem, telefoon (08340) 49862
- [kk] 'Kunststof en Rubber',
Postbus 9943, 1006 AP Amsterdam, telefoon (020)
172829/174855
- [nn] Centrum Hout,
L. Horentensiuslaan 76, 1412 GX Naarden, telefoon (02159)
48704
- [pp] Houtinstituut TNO,
Schoemakerstraat 97, Postbus 151, 2600 AD Delft, telefoon
(015) 569330 tst. 2261
- [rr] Technisch Fysische Dienst TNO-TH, Afdeling Glas,
Stieltjesweg 1, 2628 CK Delft, telefoon (015) 787119
- [tt] Spectrum Corporation,
Hall Road, Sturbridge, MA, USA.

Organisatie van de studie

Stuurgroep

Voor het nader uitwerken van de vraagstelling, het opzetten van het raamwerk en het begeleiden van deze studie is een stuurgroep samengesteld, bestaande uit:

- prof.dr. R. van Geen,
Nationale Raad voor Wetenschapsbeleid, Brussel/ Vrije Universiteit Brussel
- ir. J.W. Hillege,
NV DSM, Heerlen
- ir. W.A. Koumans,
Centrale Organisatie TNO, 's-Gravenhage
- prof.dr.ir.H.H. van den Kroonenberg,
Universiteit Twente, Enschede
- prof.ir. B.B. Schierbeek,
Technische Universiteit, Delft
- ir. R.J. Schliekelmann,
Bond voor Materialenkennis, Zwijndrecht
- B.W.M. Twaalfhoven,
Indivers NV, Schiphol
- ir. H.J.J. van der Werf,
Akzo NV, Arnhem / Vereniging van de Nederlandse Chemische Industrie, Leidschendam

Werkgroepen

Werkgroep 'produkt en materiaal'

In de werkgroep 'produkt en materiaal' is de basisgedachte van deze studie nader uitgewerkt in de vorm van het gedeelte 'materialen in het produktontwerp' in hoofdstuk 1. Bovendien zijn in deze werkgroep de opzet en een groot gedeelte van de uitwerking van hoofdstuk 3, de praktijkvoorbeelden uitgevoerd.

- ir. W. Bijster,
Technische Universiteit, Delft
- prof.ir. R.J.G.A. van der Hoorn,
BV Ontwikkelingsmaatschappij CCM, Nuenen / Technische Universiteit, Delft

- K. Houtzager,
Volvo Car BV, Helmond
- ir. R.B.J. Kemna,
Bureau van Holsteijn en Kemna, Delft
- ir. L. Metz, ir. E.L. Jaklofsky,
Polynorm, Bunschoten
- dr.ir. A. Scheepmaker,
Produktcentrum TNO, Delft
- ir. H. Schultheiss,
Universiteit Twente, Enschede
- E. Spronk,
Kick Design BV, Helmond
- ir. M.F. Stokhuyzen,
Advies- en Ingenieursbureau S-TEC, 's-Gravenhage

Werkgroep 'keuzeproces'

In de werkgroep 'keuzeproces' zijn hoofdstuk 3 en de gedeelten in hoofdstuk 1 over normalisatie, kwaliteitsborging en milieu tot stand gekomen.

- ir. A.M.M. Ansems,
Maatschappelijke Technologie TNO, Apeldoorn
- ing. J.M. Bos,
Nederlandse Philips Bedrijven BV, Eindhoven
- ir. M.J. ten Bouwhuijs,
Universiteit Twente, Enschede
- drs. Ch.L. Citroen,
Centrum voor Informatie en Documentatie TNO, Delft
- ir. J.J. Cools,
Fokker BV, Schiphol
- ir. G.M. Gaikema,
Wavin R&D BV, Dedemsvaart
- ing. M. de Groot,
Europese Gemeenschappen, Petten
- prof.dr. J.Th.M. de Hosson,
Rijksuniversiteit Groningen
- prof.ir. J.L. Overbeeke,
Technische Universiteit Eindhoven
- ir. J.G. Vogtländer,
Advies en Constructiebureau Tebodin NV, 's-Gravenhage
- ing. J. Vonk,
General Electric Plastics Europe, Bergen op Zoom

Overige medewerkers**Auteurs hoofdstuk 3, Praktijkvoorbeelden van nieuwe toepassingen**

- ir. C. van den Berg (par. 3.22),
Nicolon BV, Almelo
- ir. W. Bijster (par. 3.16-19, 3.24),
Technische Universiteit, Delft
- ir. J.J. Cools (par. 3.1, 3.2),
Fokker BV, Schiphol
- W.J. Elzink (par. 3.25),
Wavin R&D BV, Dedemsvaart
- ir. J.M. Ewalds (par. 3.6),
Produktcentrum TNO, Delft
- ing. G. Hamm (par. 3.3, 3.5),
Kunststoffen en Rubber Instituut TNO, Delft
- prof.ir. R.J.G.A. van der Hoorn (par. 3.4, 3.13, 3.14),
BV Ontwikkelingsmaatschappij CCM, Nueneen
- K. Houtzager (par. 3.15),
Volvo Car BV, Helmond
- ir. R.B.J. Kemna (par. 3.12, 3.20, 3.23),
Bureau van Holsteijn en Kemna, Delft
- ir. T.F.J. Lenssen (par. 3.7),
Organon Teknika NV, Turnhout
- prof.dr. F. Meijer (par. 3.9),
Nederlandse Philips Bedrijven BV, Eindhoven
- drs.ing. J. Schoemaker (par. 3.21),
Enkev BV, Volendam
- dr. J. Schrijver (par. 3.8),
Nederlandse Philips Bedrijven BV, Eindhoven
- E. Spronk (par. 3.11),
Kick Design BV, Helmond
- ir. P. van Zuylen (par. 3.10),
Technisch Fysische Dienst TNO-TH, Delft

Auteurs hoofdstuk 4, Materialen

- ir. M.J. ten Bouwhuijs, prof.dr.ir. B.H. Kolster,
Universiteit Twente, Enschede
- ir. J.H. van Giessen,
Fokker BV, Hoogeveen
- prof.dr. J.Th.M. de Hosson,
Rijksuniversiteit Groningen
- drs. N. Berendsen, prof.dr. P.J. Lemstra,

Technische Universiteit Eindhoven
dr.ing. M.H.V. Mulder, prof.dr. C.A. Smolders,
Universiteit Twente, Enschede
dr. P.P.J. Ramaekers,
Technisch Fysische Dienst TNO-TH, Eindhoven
ir. J.F. Rijdsijk,
ex Houtinstituut TNO, Delft
prof.dr.ir. L.C.E. Struik,
Kunststoffen en Rubber Instituut TNO, Delft
prof.dr.ir. H. de Waal,
Technisch Fysische Dienst TNO-TH, Delft

Forum

Gedurende deze studie is éénmaal een gemeenschappelijke discussie georganiseerd met alle studiemedewerkers. Naast bovengenoemde medewerkers (voor zover aanwezig) namen daar aan deel:

prof.dr. D. de Jong,
Adviesgroep Materialen
ir. K. Roukema,
Koninklijk Instituut van Ingenieurs
dr. J. Schriever,
Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen
ir. J.S. Smit,
Nederlands Normalisatie Instituut

Projectleiding

Het project stond onder leiding van ir. A.J. van Griethuysen, projectleider bij de Stichting Toekomstbeeld der Techniek. Rosemarieke Otten, Agaath van der Kamp-Thomasson en Anneke Janmaat verleenden medewerking bij de organisatie van de studie en de verwerking van de tekst.

Literatuur

- [1] *Materials and Man's Needs*, National Academy of Sciences, Washington D.C., 1975
- [2] OVER, J.A., (red.), *Materialen voor onze samenleving*, Stichting Toekomstbeeld der Techniek, publikatie 22, 1976
- [3] *Discussienota materialenonderzoek*, Voorlichtingsdienst Wetenschapsbeleid, Den Haag, november 1983
- [4] *Nota materialenbeleid*, Ministeries van Onderwijs en Wetenschappen en Economische Zaken, 1986
- [5] *A Programme for the Wider Application of New and Improved Materials and Processes (NIMP)*, The Report of the Collyear Committee, Department of Trade and Industry, Her Majesty's Stationery Office, Londen, 1985
- [6] SLIVKA, D.C., FRISCHE, R., YANASE, Y., *Innovative Materials, An evaluation of commercial developments in Europe, Japan and the United States*, Battelle, Ohio, 1985
- [7] ASIMOW, M., *Introduction to design*, Prentice Hall, New York, 1964
- [8] JONES, J.C., THORNLEY, D.G. (ed.), *Conference on design methods*, Pergamon Press, Londen, 1963
- [9] ALEXANDER, C., *Notes on the synthesis of Form*, Harvard University Press, Cambridge, 1964
- [10] ARCHER, L.B., *Systematic method for designers*, Council of Industrial Design, Londen, 1965
- [11] ARCHER, L.B., *The structure of design processes*, U.S. National Bureau of Standards, 1969
- [12] Verein Deutscher Ingenieure, *VDI 2221, Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*, VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb, Düsseldorf, 1985
- [13] EEKELS, J., ROZENBURG, N., *io 24, Ontwerpmethodologie*, Technische Hogeschool, Delft, 1983
- [14] EEKELS, J., *Industriële doelontwikkeling, 2e druk*, Delftse Universitaire Pers, 1982
- [15] *Methodisch Ontwerp*, Stichting Bouw Research, Rotterdam, 1975
- [16] *Standardisation News*, juli 1986
- [17] HOORN, R.J.G.A. VAN DER, *Ontwerp Fundament van Innovatie*, Ontwikkelingmaatschappij CCM, Nuenen, 1985

- [18] KROONENBERG, H.H. VAN DEN., BRAAN, J., 'Non waste Technology' in het ontwerpproces; grondstof-, energie- en milieubewust ontwerpen, *Sigma* 24, nr. 6, blz 160, 1978
- [19] Werkgroep Onderwijs en Materialen, *Onderwijs en Materialen, (toegespist op het HTO)*, Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen, Zoetermeer, 1985
- [20] *Materiaalkeuze in de industrie*, Tebodin Raadgevende Ingenieurs, 's-Gravenhage, januari 1985
- [21] BISHOP, R., *Huge gaps in designers' knowledge revealed, in: Eureka*, oktober 1985
- [22] TIMMERMAN, H. (red.), *Bedrijf, Kennis en Innovatie*, Stichting Toekomstbeeld der Techniek, publikatie nr. 40, 's-Gravenhage, 1985
- [23] *Nederlands ABC voor handel en industrie, 33e ed.*, ABC voor handel en industrie, Haarlem, 1985
- [24] De zogenaamde *manuals in: Materials Engineering, 1974-1976*
- [25] BIJLMER, P.F.A., *artikelenserie over metalen in: De Constructeur, 1970-1972*
- [26] DOMININGHAUS, H., *serie Kiezen uit Kunststoffen, in: De Constructeur, 1979-1980*
- [27] STIOMAK, *Materiaalkeuze in de Werktuigbouwkunde, 2e druk*, Stam Educaboek, Culemborg, 1986
- [28] Fulmer Research Institute, *The Fulmer Material Optimizer*, Fulmer Research Institute Ltd, Slough, 1974
- [29] *Metals Handbook, 9th ed.*, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, American Society for Metals, delen verschijnen sinds 1978
- [30] *Modern Plastics Encyclopaedia, afzonderlijke uitgave bij: Modern Plastics*, Mc-Graw-Hill, New York
- [31] *Dechema-Werkstoff-Tabelle, 3e Aufl.*, Deutsche Gesellschaft für chemisches Apparatewesen
- [32] *Der Schadensfall, rubriek in: Praktische Metallographie*
- [33] WOLDMAN, N.E., *Engineering Alloys, 6th ed.*, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1979
- [34] WEGST, C.W. (zusammenstellung), *Stahlschlüssel, 13e Aufl.*, Verlag Stahlschlüssel Wegst, Marbach, 1983
- [35] SAECHTLING, H., *Kunststoff-Taschenbuch, 22e Ausg.*, Hanser, München, 1983
- [36] HAMPEL, V.E., e.a., *An online directory of databases for material properties*, Rap. No. UCRL-90276 Rev. 1, Lawrence Livermore National Laboratory, mei 1984 (gratis)
- [37] *Directory of online databases, Vol 7, no. 1*, ISSN 0193-6840, Cuadra/Elsevier, New York, januari 1986 (NL-vertegenwoordiging CID-TNO, Postbus 36, 2600 AA DELFT)

- [38] KRÖCKEL, H., e.a., *Factual material databanks*, Rap. No. EUR 9768EN, CEC Workshop, Office of Official Publications of the EC, Luxemburg, november 1984
- [39] Cijfers uit de VS voor 1975, in: *Vernieuwing, innovatie en ontwerpen*, dictaat TU Delft, fac. IO
- [40] HOCKEL, et al, *Der Abgaskrümmmer von Personenwagenmotoren als Entwicklungsaufgabe*, in: *Motor Technische Zeitung*, Jg. 45, nr. 10, s. 421 u.w., 1984
- [41] MILLAR, G.H., *Commercial Engine Development to Year 2000 and Beyond*, Vol 38, no. 4, p. 299 a.f., ATA, April 1985
- [42] *Fortschritt im Motorenbau durch Einsatz von Keramik*, in: *Bericht*, *Motor Technische Zeitung*, s. 50, 1985
- [43] NIEFER, W., *Tendenzen der Produktionstechnik im Nutzfahrzeugbau*, in: *Automobil-Industrie*, nr. 1, 1984
- [44] Decostone BV, Brunssum
- [45] BARNARD, J., 'Asterite' advances, in: *Plastics Today*, no. 23, p. 20-24, 1985
- [46] *Geotextielen en Geomembranen in de Civiele Techniek*, Nederlandse Geotextiel Organisatie, Enschede
- [47] *Brochure Cryofit*, Raychem Corp. Advanced Mech. Components Div.
- [48] *Octrooiaanvraag nr. 8005943*, Memory Metal Holland
- [49] SCHOUTEN, A.E., VEGT, A.K. VAN DER, *Plastics*, Prisma Compendia
- [50] WILSCHUT, A.J., *Kunststoffen en Rubbers*, Argus, Amsterdam, 1967
- [51] BRÜGGEMAN, H.M. (ed.), *Kunststoffen 1986; Terugblik en toekomst*, Kunststoffen en Rubber Instituut TNO, Delft, 1986
- [52] *Kunststof en Rubber*, Tijnl, Amsterdam (maandblad)
- [53] *Metaal en Kunststof*, Misset, Doetinchem (2 x per maand)
- [54] *Plastics Bulletin*, Rigi-Media, Antwerpen-Merksem (maandblad)
- [55] *Plastics and Machinery*, New PEKA, Brussel (2 x per maand)
- [56] SALMANG, H., SCHOLZE, H., *Keramik, Teil 1: Allgemeine Grundlagen und wichtige Eigenschaften*, Springer Verlag, Berlin, 1982
- [57] CANNEN, W.R., BLUM, J.B., *American Ceramic Society Bulletin*, Vol 65, p. 621, 1986
- [58] VINCENZINI, P. (ed.), *Ceramics in surgery*, Elsevier, Amsterdam, 1983
- [59] MORREL, R., *Handbook of properties of technical & engineering ceramics, Part 1: An introduction for the engineer and designer*, Her Majesty's Stationery Office, Londen, 1985

- [60] SCHARTZ, M.M. (ed.), *Engineering applications of ceramic materials*, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1985
- [61] DAVIDGE, R.W., *Mechanical behaviour of ceramics*, Cambridge University Press, 1979
- [62] RICHERSON, D.W., *Modern ceramic engineering properties, processing and use in design*, M. Dekker Inc., New York en Basel, 1982.
- [63] BRADT, R.C., HASSELMAN, D.P.H., LANGE, F.F. (eds.), *Fracture Mechanics of Ceramics*, Plenum Press, New York en Londen, 1974
- [64] The Industrial Research Division of the Long Term Credit Bank of Japan, *Fine Ceramics Industry in Japan*, TCM, Leiden, 1986
- [65] Programmavoorbereidingscommissie IOP-Technische Keramiek, *Voorstel voor een meerjarenplan voor het IOP-Technische Keramiek*, 1985
- [66] Materialforschung, Bundesministerium für Forschung und Technologie, Bonn, 1985
- [67] MAZDIYAINI, K., *American Ceramic Society Bulletin*, Vol 63, p. 591, 1984
- [68] BRINKE, C.J., CLARK, D.E., ULRICHT, D.R. (eds.), *Better Ceramics through Chemistry*, North-Holland, New York, 1984
- [69] SUYAMA, Y., MARRA, R.A., HAGGERBY, J.S., BOWEN, H.K., *American Ceramic Society Bulletin*, Vol 64, p. 1356, 1985
- [70] HARTMANN, W.J.A.M., DIJEN, F.K. VAN, METSELAAR, R., SISKENS, C.A.M., *Journal de Physique, Colloque C1, Tome 47, C1-79*, in: *Science of Ceramics*, Vol 13, 1986
- [71] Zie bijvoorbeeld: *Interceram*, Vol 4, p. 42, 1985
- [72] EDIRISINGHE, M.J., EVANS, J.R.G., *International Journal of High Technology Ceramics*, Vol 2, p. 1., 1986
- [73] KINGERY, W.D. (ed.), *Ceramic Fabrication Processes*, p. 70, MIT Press, Cambridge, 1963
- [74] MICHORIUS, M.M., RAMAEKERS, P.P.J., *Het aanbrengen van slijtvaste lagen*, in: *Chemisch Magazine*, blz. 782, december 1984
- [75] SISKENS, C.A.M., *Sialons, Ontwikkeling naar industriële toepassingen*, rapport TPD TNO-TH, Eindhoven, 1984
- [76] DIJEN, F.K. VAN, SISKENS, C.A.M., METSELAAR, R., *Science of Ceramics Vol 12*, p. 427, 1983
- [77] *Reliability of Ceramics for Heat Engine Applications*, NMAB 357, National Materials Advisory Board USA, Washington, 1980
- [78] HEUER, A.H., LANGE, F.F., SWAIN, M.V., EVANS A.G., *Journal American Ceramic Society*, Vol 69, p. i, maart 1986

- [79] SCHIOLER, L.J., *American Ceramic Society Bulletin*, Vol 65, p. 289, 1986
- [80] ROSSIGNOL, J.Y., NASLAIN, R., HAGENMULLER, P., HERAUD, C., *Progress in Science and Engineering of Composites*, ICCM IV, Eds. Hayashi T., Kawata R. en Umekawa S., Tokio, 1982
- [81] *Moderne vezelversterkte kunststoffen*, Nederlandse Federatie voor Kunststoffen, Woerden
- [82] HAAS, T.K. DE, APELDOORN, J.H.F. VAN, SJOERDSMA, A.C., *Bos en hout voor onze toekomst*, Stichting Toekomstbeeld der Techniek, publikatie nr. 26, 1979
- [83] *Houtdocumentatie*, Centrum Hout, Naarden
- [84] Opgaven Nederlandse Houtbond, *publicaties in: Houtwereld*, nr. 6 en nr. 7, 1985 en 1986
- [85] Nederlandse Norm, NEN 5461, 5466, 5467, 5476 t/m 5480
- [86] ZOBEL, B., *The changing quality of the world wood supply*, in: *Wood Science and Technology*, no. 18, p. 1-17, 1984
- [87] ONO, H., *Production of chemically strengthened bottles in the Japanese market*, in: *Glass Technology*, Vol 22 (4) p. 173-181, augustus 1981
- [88] ANDERSON, D.L., *Unique Approach to lightweight glass containers*, Emhart Corp. Glass Machinery Group, Windsor, Connecticut, USA
- [89] HAMMEL, J.J., *Flat glass products*, in: *Journal non-crystalline solids*, Vol 73, p. 363-378, augustus 1985
- [90] SMITH, G.P., *Some light on Glass*, in: *Glass Technology*, Vol 20, (4), p. 149-157, augustus 1979
- [91] *Proceedings SPIE*, in: *International Society Optical Engineering*, 562, 1985
- [92] TUMMALA, R.R., SHAW, R.R., *Glasses in micro-electronics*, in: *Collected papers XIV International Congress on Glass*, Vol II, p. 416-428, New Delhi, 1986
- [93] CULSHAW, B., *Optical systems and sensors for measurement and control*, in: *Journal of Physics A, Scientific Instruments*, Vol 16, p. 978-986, 1983
- [94] EL-BAYOUMI, O.H., SUSCAVAGE, M.J., *Prospects for heavy-metal fluoride glass optical components*, in: *Journal non-crystalline solids*, Vol 73, p. 613-624, augustus 1985
- [95] LITHERLAND, K.L., OAKLEY, D.R., PROCTOR, B.A., *The use of accelerated ageing procedures to predict the long term strength of GRC-composites*, in: *Cement and concrete Res.*, Vol 11, p. 455-466, 1981
- [96] REDDY, K.P.R., GADKAREE, K.P., *Mechanical properties of whisker reinforced glass*, in: *Collected papers XIV International Congress on Glass*, Vol III, p. 270-277, New Delhi, 1986

- [97] ITO, S., SAKAMOTO, O., *Preparation of SiC whisker reinforced glass ceramic and its mechanical properties*, in: *Collected papers XIV International Congress on Glass, Vol III, p. 278-285*, New Delhi, 1986
- [98] MACMILLAN, P.W., *Glass-Ceramics*, Academic Press, 1979
- [99] KRUGER, H., *Glaskeramiek Macor*, in: *NVG-informatie, 2e jaargang, nr. 4, blz. 4-7*, december 1985
- [100] JANOWSKI, F., HEYER, W., *Poröse Gläser*, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1982
- [101] PERNOT, F. (et al.), *New Glass-ceramic materials for prosthetic application*, in: *Journal Materials Science, Vol 14, p. 1694-1706*, 1979
- [102] GROOT, K. DE, *Biokeramiek*, in: *Klei en Keramiek Vol 28, blz. 154-161*, 1978
- [103] HAYNACHER, E., *Asferische optiek, waarom vereist en hoe vervaardigd*, in: *Mikroniek, jaargang 22, nr. 4, blz. 13-19*, 1982
- [104] ZARZYCKI, J., *Processing of gel glasses*, in: *Glass, Science and Technology, Vol 2, Chapter 7*, Acad. Press, 1984
- [105] MACKENZIE, J.D., *Unusual non-crystalline solids from gels in 2004*, in: *Journal non-crystalline solids, Vol 73, p. 631-637*, 1985
- [106] RUBIN, M., LAMBERT, C.M., *Transparent silica aerogels for window insulation*, in: *Solar Energy Materials, Vol 7, p. 393-400*, 1983
- [107] PREECE, C.M., HIRVONEN, J.K., *Ion Implantation Metallurgy*, TMS-AIME, Warrendale, 1980
- [108] MUKHERJEE, K., MAZUMBER, J., *Laser Metallurgy*, TMS-AIME, Warrendale, 1981
- [109] SEAMAN, F.D., SNAMUTHU, D.S., *Metals Progress 108, 67*, 1975
- [110] MAXUMBER, J., *Journal Metals, 5, 18*, 1983
- [111] BECKMAN, L.H.J.F., *De Ingenieur, nr. 11, blz. 30*, 1984
- [112] SCHRAUWERS, A., *Metaal & Kunststof, 22, 16*, 1984
- [113] ZEEDIJK H.B., NOORTMAN, A.R., MENS, J.W.M., *PTWerktuigbouw, jaargang 41, 29*, 1986
- [114] BONTE, M. DE, CELIS, J.P., ROOS, J.R., *Materiaal Bewerking, nr. 50, blz. 782*, 1984
- [115] MICHORIUS, M.M., RAMAEKERS, P.P.J., *Chemisch Magazine, nr. 12, blz. 782*, 1984
- [116] DIMIGEN, H., NÜBSCH, H., *Philips Technisch Tijdschrift, nr. 42, blz. 195*, 1983
- [117] MITTEMEIJER, E.J., *Oppervlaktelagen en grensvlakken*, TU Delft, fac. Metaalkunde, 1986

STT-publikaties

1. Toekomstbeeld der Techniek;
ir. J. Smit, 1968
2. Techniek en Toekomstbeeld, Telecommunicatie in telescopisch beeld;
prof.dr.ir. R.M.M. Oberman, 1968
3. Verkeersmiddelen;
prof.ir. J.L.A. Cuperus e.a., 1968
4. Hoe komt een beleidsvisie tot stand?;
ir. P.H. Bosboom, 1969
5. De overgangprocedures in het verkeer;
prof.ir. J.L.A. Cuperus e.a., 1969
6. De invloed van goedkope elektrische energie op de technische ontwikkeling in Nederland;
dr. P.J. van Duin, 1971
7. Electrical energy needs and environmental problems, now and in the future;
ir. J.H. Bakker e.a., 1971
8. Mens en milieu: prioriteiten en keuze;
ir. L. Schepers e.a., 1971
9. Het voeden van Nederland nu en in de toekomst;
prof.dr.ir. M.J.L. Dols e.a., 1971
10. Barge Carriers: some technical, economic and legal aspects;
drs. W. Cordia e.a., 1972
11. Transmissiesystemen voor elektrische energie in Nederland;
prof.dr. J.J. Went e.a., 1972
12. Elektriciteit in onze toekomstige energievoorziening: mogelijkheden en consequenties;
dr.ir. H. Hoog e.a., 1972
13. Communicatiestad 1985: elektronische communicatie met huis en bedrijf;
prof.dr.ir. J.L. Bordewijk e.a., 1973
14. Techniek en preventief gezondheidsonderzoek;
dr. M.J. Hartgerink e.a., 1973
15. Technologisch verkennen: doelstellingen en methoden;
ir. A. van der Lee e.a., 1973
16. Mens en milieu: beheerste groei;
Stuurgroep en Werkgroepen voor Milieuzorg, 1973
17. Mens en milieu: zorg voor zuivere lucht;

- Stuurgroep en Werkgroepen voor Milieuzorg, 1973
18. Mens en milieu: kringlopen van materie;
Stuurgroep en Werkgroepen voor Milieuzorg, 1973
 19. Energy Conservation: ways and means;
edited by J.A. Over and A.C. Sjoerdsma, 1974
 20. Voedsel voor allen, plaats en rol van de EEG;
prof.dr. J. Tinbergen e.a., 1976
 21. Stedelijk verkeer en vervoer langs nieuwe banen?;
Redactie: ir. J. Overeem, 1976
 22. Materialen voor onze samenleving;
Redactie: ir. J.A. Over, 1976
 23. De industrie in Nederland: verkenning van knelpunten en mogelijkheden;
Redactie: ir. H.K. Boswijk en ir. R.G.F. de Groot, 1978
 24. Toekomstbeeld der industrie;
prof.dr. P. de Wolff e.a., 1978
 25. Arts en gegevensverwerking;
Redactie: ir. R.G.F. de Groot, 1979
 26. Bos en hout voor onze toekomst;
Redactie: ir. T.K. de Haas, ir. J.H.F. van Apeldoorn en ir. A.C. Sjoerdsma, 1979
 27. Steenkool voor onze toekomst;
Eindredactie: ir. A.C. Sjoerdsma, 1980
 28. Distributie van consumentengoederen; informatie en communicatie in perspectief;
Redactie: ir. R.G.F. de Groot, 1980 (ISBN 90 6275 052 4)
 29. Wonen en techniek; ervaringen van gisteren, ideeën voor morgen;
Redactie: ir. J. Overeem en dr. G.H. Jansen, 1981
(ISBN 90 6275 053 2)
 30. Biotechnology; a Dutch Perspective;
edited by J.H.F. van Apeldoorn, 1981 (ISBN 90 6275 051 6)
 31. Micro-elektronica in beroep en bedrijf; balans en verwachting;
Samensteller: ir. H.K. Boswijk, 1981 (ISBN 90 6275 064 8)
Deelstudies:
 - 31.1 Micro-elektronica: de rundveehouderij
(ISBN 90 6275 066 4)
 - 31.2 Micro-elektronica: de grafische industrie en uitgeverijen
(ISBN 90 6275 067 2)
 - 31.3 Micro-elektronica, procesinnovatie in de sector elektro-metaal
(ISBN 90 6275 068 0)
 - 31.4 Micro-elektronica: productinnovatie van consumentenproducten en diensten voor gebruik in huis
(ISBN 90 6275 069 9)
 - 31.5 Micro-elektronica: het ontwerpproces (ISBN 90 6275 070 2)

- 31.6 Micro-elektronica: het bankwezen (ISBN 90 6275 071 0)
31.7 Micro-elektronica: het kantoor (ISBN 90 6275 072 9)
31.8 Micro-elektronica: het reiswezen (ISBN 90 6275 073 7)
31.9 Micro-elektronica: de belastingdienst (ISBN 90 6275 074 5)
32. Micro-elektronica voor onze toekomst; een kritische beschouwing;
Samenstellers: burggraaf E. Davignon e.a., 1982
(ISBN 90 6275 089 3)
33. Toekomstige verwarming van woningen en gebouwen;
Eindredactie: ir. A.C. Sjoerdsma, 1982 (ISBN 90 6275 094 X)
34. Flexibele automatisering in Nederland; ervaringen en opinies;
Redactie: ir. G. Laurentius, ir. H. Timmerman en ir. A.A.M. Vermeulen, 1982 (ISBN 90 6275 098 2)
35. Automatisering in de fabriek; vertrekpunten voor beleid;
Redactie: ir. H. Timmerman, 1983 (ISBN 90 6275 112 1)
36. Informatietechniek in het kantoor; ervaringen in zeven organisaties;
Samensteller: drs. F.J.G. Fransen, 1983 (ISBN 90 6275 135 0)
37. Nederland en de rijkdommen van de zee: industrieel perspectief en het nieuwe zeerecht;
Redactie: ir. J.F.P. Schönfeld en mr.dr.s. Ph.J. de Koning Gans, 1983 (ISBN 90 6275 111 3)
38. Man and Information Technology: towards friendlier systems;
edited by J.H.F. van Apeldoorn, 1983 (ISBN 90 6275 136 9)
39. De kwetsbaarheid van de stad; verstoringen in water, gas, elektriciteit en telefonie;
Redactie: ir. G. Laurentius, 1984 (ISBN 90 6275 145 8)
40. Bedrijf, kennis en innovatie;
Redactie: ir. H. Timmerman, 1985 (ISBN 90 10 052745)
41. De toekomst van onze voedingsmiddelenindustrie;
Redactie: drs. J.C.M. Schogt en prof.dr.ir. W.J. Beek, 1985 (ISBN 90 10 05574 4)
42. Techniek voor ouderen;
Redactie: ir. M.H. Blom-Fuhri Snethlage, 1986
(ISBN 90 10 06033 0)

De publikaties 1 t/m 27, 31-7, 31-9 en 34 zijn te bestellen bij
STT

Postbus 30424

2500 GK 's-GRAVENHAGE

De overige publikaties zijn verkrijgbaar via de boekhandel.

NIEUWE TOEPASSINGEN VAN MATERIALEN

Materialen genieten een brede belangstelling. Een materiaal staat echter niet op zichzelf. Volgens de meeste definities kan men zelfs pas van een materiaal spreken wanneer het wordt toegepast in een produkt.

Het is vanuit deze achtergrond dat de studie 'Nieuwe toepassingen van materialen' is opgezet. Daarbij slaat 'nieuwe' dus nadrukkelijk op toepassingen. Het gaat dan ook om de ongewone en nieuwe combinaties van materiaal en produkt.

Aan de hand van 25 praktijkvoorbeelden van nieuwe toepassingen wordt het thema toegelicht. Bij al deze voorbeelden heeft de nieuwe toepassing van één of meer materialen een essentiële rol gespeeld in de ontwikkeling van een produkt.

In het ontwerpproces komt de ontwerper of constructeur diverse keuzemomenten tegen, waarop hij moet beslissen welk materiaal of welke materiaalsoort hij zal gaan toepassen. Het is vaak moeilijk een weg te vinden in het grote aanbod aan informatie over materialen.

In deze studie wordt deze materiaalkeuze nader behandeld en wordt aangegeven op welke manier en met welke middelen de optimale keuze tot stand kan komen.

De studie beoogt vooral een praktische handleiding te bieden aan de gebruiker van materialen, de constructeur en ontwerper in de industrie, de materialenonderzoeker, de beleidsmaker, de adviseur, de materiaalproducent en ieder ander die de uitgebreide toepassingsmogelijkheden van materialen wil uitbuiten.



stichting toekomstbeeld der techniek

ISBN 90 14 03738 4