

Van standaard kunststoffen tot zeer hoogwaardige technische polymeren

## Kunststoffen in de jaren negentig

J.H. Geesink, DSM Research, Geleen

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

### PE toevallig ontdekt

Wanneer mondiaal gezien het ontwikkelen en produceren van nieuwe kunststoffen in het kader wordt geplaatst van het 50-jarig bestaan van DSM Research, dan blijkt dat een jaar voor de oprichting van DSM Research de eerste commerciële fabriek van polyetheen ter wereld in bedrijf werd genomen.

Deze had een capaciteit van 100 ton per jaar. Ook de thermoplastische kunststof nylon vond zijn industriële oorsprong aan het eind van de jaren dertig. Het onderzoek dat tot de ontdekking van polyetheen leidde was in het allereerste begin gericht op het toetsen van de vergelijking van Van der Waals voor gassen en vloeistoffen. De uitvinders en hun researchleiding bij ICI waren niet op zoek naar nieuwe polymeren. Zij waren geïnteresseerd in het effect van extreem hoge druk, aanvankelijk op fasescheiding en later op gasreacties en zij zochten contact met de expert op het gebied van hoge drukken, professor Michels, die experimenteerde in het Van der Waals laboratorium in Amsterdam. In "The discovery of polyethylene" beschrijft Gibson uitvoerig de vergissingen en vertragingen van dit onderzoek dat in maart 1933 leidde tot de afscheiding van een weinig wasachtige stof (waxy solid), verkregen uit een mengsel van etheen en benzaldehyde dat was onderworpen aan een druk van 2000 atmosfeer bij een temperatuur van 170°C. "Polyetheen" was ontdekt

Het wetenschappelijke onderzoek dat tot

nylon leidde was daarentegen doelbewust gericht op de ontwikkeling van nieuwe macromoleculaire verbindingen. Circa 65 jaar geleden beschouwde men polymeren nog als fysische aggregaten van monomeermoleculen. Het concept van macromoleculen, die bestaan uit chemisch met elkaar gebonden basiseenheden (monomeren) werd gepostuleerd door met name Staudinger en Carothers in 1920. Hun ideeën ondervonden in de beginfase veel weerstand.

Zeer overtuigend was het bewijs voor het bestaan van macromoleculen bij Du Pont omstreeks 1929, waar Carothers macromoleculen synthetiseerde door klassieke condensatiereacties uit te voeren tussen polyfunctionele verbindingen. De polyester en polyamiden van Carothers waren de eerste synthetische polymeren waarvan de chemische structuur feitelijk onduidelijk vaststond en het 6.6 polyamide werd de grondstof voor de eerste commerciële synthetische vezel. Deze polyamide kwam in 1939, tien jaar na de fundamentele ontdekking, op de markt. Karakteristiek waren de stadia van groei van deze thermoplastische polymeren.

### De ontwikkeling van een standaardkunststof

De eerste toepassingen van bijvoorbeeld LDPE, vervaardigd via het zogenaamde hogedrukproces, werden gevonden in het zeer specialistische marktsegment van de kabelisolatie. Met deze sector als basis voor de afzet werd in september 1939 de commerciële fabriek in gebruik genomen. Polyetheen bleek een belangrijke factor te zijn voor het goed functioneren van een vliegtuigradar

Immers, door de zeer lage dielektrische verliezen van polyetheen kan deze kunststof als isolatiemateriaal worden gebruikt. De hoofdtoepassing van LDPE verliep van kabelisolatie (1939-1955) via spuitgietartikelen (1955-1965) naar folie (1965 tot heden).

De verandering van LDPE als duur materiaal naar standaardpolymeer vond plaats in de jaren vijftig, toen goedkoop etheen beschikbaar kwam uit aardolie. Vooral de toepassing als folie, zowel puur als gecacheerd op een substraat, heeft een gigantische vlucht genomen. Draagtassen, vulnieszakken, melk- of vruchtensapverpakkingen vervaardigd uit LDPE zijn momenteel dagelijkse verbruiksarti-

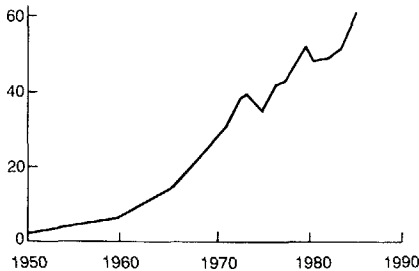
kelen. De hoofdtoepassing van LDPE is verpakkingsmiddel voor eenmalig gebruik. LDPE is daarom een van de grote standaardpolymeren, met een jaarlijks verbruik in West-Europa dat de 6 miljoen ton benadert.

Er zijn echter ook legio toepassingen waar duurzaamheid wordt verlangd en geboden, zoals kratten, buizen voor water en gas, benzinetanks, landbouwfolie, kabelisolatie en surfplanken. Door middel van rotatiegieten kunnen containers worden gemaakt met een inhoud van vele kubieke meters, maar PE zit ook in een flessedopje van minder dan 1 gram of in boterhamzakjes dunner dan 10 µm.

Dit alles is bereikt doordat voor een lage prijs (orde van grootte 2 gulden per kg voor standaardtypen) een prestatie wordt geboden met als kenmerken: uitstekende verwerkbaarheid, lasbaarheid, goede optiek, mechanische sterkte en een goede bestandheid tegen vocht, chemicaliën en zonlicht. Een gewenste combinatie van eigenschappen is over een breed gebied instelbaar door de keuze van proces, procescondities, co-monomer en toeslagstoffen. Polyetheen is chemisch inert en daardoor onverdacht voor voedselverpakking. Vanuit milieu-oogpunt komt PE er goed af vanwege de chemische inertie, de goede verbrandingsmogelijkheid zonder dat schadelijke gasen vrijkomen en de geschiktheid voor de steeds meer ingang vindende recycling. Tientallen jaren ontwikkelingswerk aan de processen heeft de nodige resultaten opgeleverd. Bij LDPE heeft dit vooral geleid tot enorme schaalvergroting; eenheden van 160.000 ton zijn geïnstalleerd, met de daaraan verbonden voordelen van kostprijs. Lagedrukprocessen voor HDPE en LLDPE maken nu gebruik van zeer actieve katalysatorsystemen en zijn daardoor uitwasvrij. Kijkend naar de toepassingen is polyetheen over het geheel genomen een volwassen polymeer. De geschatte wereldmarkt voor PE in 1990 is circa 25 miljoen ton. Het wordt niet bedreigd door andere materialen met een betere prijs/prestatie verhouding zodat een blijvende groei, gemiddeld in de orde van de BNP-groei, mag worden verwacht.

Behalve PE behoren PS, PP en PVC tot de standaardpolymeren. De synthese van deze polymeren vindt plaats volgens de additieve polymerisatie, waarbij de dubbele binding van etheen wordt verbroken en

## Kunststoffen in de jaren negentig



Figuur 1 De wereldkunststofproductie (x miljoen ton).

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

### De opkomst van de technische kunststoffen

In de beginperiode verdrong kunststof glas, keramiek, metalen, hout en andere natuurvezelmaterialen in veel al bestaande producten. Daarna zijn door de vele mogelijkheden van kunststoffen ook betere vervangingen en geheel nieuwe toepassingen mogelijk gebleken. In de eerste twintig jaar na 1945 drongen kunststoffen vooral door in de sectoren verpakkingen, huishoudelijke apparatuur en woning- en utiliteitsbouw. Vanaf 1965 was er sprake van een sterke toename in de sectoren autobouwwereld, elektronica/communicatie en informatie-industrie, vliegtuigbouw/ruimtevaart en geneeskunde.

Reden van deze sterke toename was de wens om bestaande constructieve toepassingen te verbeteren, nieuwe produkttoepassingen te ontwikkelen en het beschikbaar komen van een groep nieuwe materialen: de technische kunststoffen.

De vervanging van metalen door technische kunststoffen voor constructie-elementen en dragende onderdelen werd hierdoor in gang gezet. De grote voordelen van technische kunststoffen boven metaal in deze toepassingen zijn het lage gewicht, waardoor een grote verhouding tussen respectievelijk sterkte en stijfheid per gewicht kan worden gerealiseerd, en de lage totale kosten van fabricage.

Technische kunststoffen maken het tevens mogelijk de fabricage van complexe delen in één enkele operatie of bewerking uit te voeren, terwijl verschillende delen van de constructie dikwijls door één geïntegreerd concept kunnen worden vervangen.

Dit fabricageproces staat een grote flexibiliteit van het ontwerp toe met betrekking tot de vormgeving.

De twee meest kenmerkende eigenschappen van technische kunststoffen zijn de hoge specifieke stijfheid en de bestandheid tegen hoge temperaturen. De specifieke stijfheid kan die van metalen overtreffen, terwijl de temperatuurbestandheid 40 tot 300°C hoger ligt dan die van traditionele kunststoffen. Deze twee eigenschappen kunnen worden gecombineerd met een hoge taaiheid, goede bestandheid tegen chemicaliën en maatvastheid gedurende de gebruiksduur van de uiteindelijke produkttoepassing.

### Producten

In de autoindustrie werden technische kunststoffen een begrip. In eerste instantie in het automobielinterieur (bijvoorbeeld het dashboard), vervolgens onder de motorkap (behuizingen en dergelijke) en het exterieur (bumpers, kofferdeksels) en in de nabije toekomst spatborden en deuren. Technische kunststoffen werden in een breed scala van elektrische en elektronische toepassingen ingezet, variërend van elektrische connectoren, spoeltjes, relais en substraten voor printplaten tot behuizingen voor computers en kantoormachines. De combinatie van bestandheid tegen hoge temperaturen en goede elektrische eigenschappen van technische polymeren werden mede bepalend voor de trend naar miniaturisering die zich in de elektronische industrie aftekende. Een belangrijke toepassing werd gevonden in de compact discs en in de toekomst in andere beeld- en geluidsdragers.

Op het gebied van verpakkingsmaterialen worden technische kunststoffen momenteel toegepast in flessen en containers voor huishoudelijk en industrieel gebruik, terwijl meerlagen verpakkingsfolies, vervaardigd via coëxtrusietechnieken, de mogelijkheid bieden om maaltijden te verpakken, te bewaren en op te warmen in magnetronovens. In de luchtvaartindustrie hebben technische kunststoffen hun intrede gedaan in zowel het interieur van de vliegtuigen (stoelen, wanden, plafonds) als in het exterieur met behulp van composietmaterialen in de staart, vleugels en andere constructie-elementen.

### Verschillende groepen technische kunststoffen

De eerste groep technische kunststoffen

die vanaf 1970 sterk opkwam staat nu bekend als de 'big five'. Het zijn gemodificeerd PPO, PC, PA, POM en thermoplastische polyester.

Deze polymeren worden in grote hoeveelheden geproduceerd in continue polymerisatieprocessen en in een breed scala van toepassingen in bovengenoemde sectoren gebruikt. Opmerkelijk is dat deze groep momenteel meer dan 90 procent van de huidige technische kunststoffen uitmaakt, die bestand zijn tegen continue gebruikstemperaturen van 110-140°C.

Het ontwikkelen van nog hoogwaardiger kunststoffen, die voor bepaalde toepassingen de tekortkoming van een te lage temperatuurbestandheid ten opzichte van metalen kan compenseren, werd mogelijk vanaf 1985, met de introductie van een nieuwe groep thermoplastische kunststoffen. Deze materialen bezitten tevens dikwijls betere sterkte- en stijfheidseigenschappen. De continue gebruikstemperaturen liggen boven de 200°C, waarbij zelfs korteduurbelastingen van rond de 300°C mogelijk zijn. Het gaat met name om kunststoffen zoals PEEK, PPS, PEI, PES, PA4.6, LCP's en PI.

Deze categorie vertegenwoordigt momenteel nog een klein deel van de markt: iets minder dan 2% van het totale volume van technische kunststoffen. De totale waarde is echter meer dan 18% van deze markt.

Deze polymeren worden meestal in batch-processen vervaardigd met een grote flexibiliteit, waarvan de economische schaalgrootheid momenteel nog een minder belangrijke factor is.

### Definities

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

- standaardkunststoffen,
- technische kunststoffen.

Technische kunststoffen kunnen worden onderscheiden in drie categorieën met een toenemende prestatie.

- algemeen toepasbare technische kunststoffen,
- hoogwaardige technische kunststoffen,
- zeer hoogwaardig technische kunststoffen

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

georiënteerde (verwerkbaarheid, temperatuurbestandheid, prijs en de rijpheidsfase in de markt). Zie tabel 1.

De standaard thermoplasten hebben bijzonder goede verwerkingseigenschappen, terwijl de zeer hoogwaardige technische kunststoffen worden verwerkt volgens methoden die qua technologische niveau verwant zijn aan die voor thermoharders.

De temperatuurbestandheid van standaard kunststoffen is in het algemeen laag (50-80°C), terwijl die van zeer hoogwaardige thermoplasten bijzonder hoog is: enkele materialen kunnen temperaturen van meer dan 250°C in continuegebruik doorstaan. De prijzen van standaardthermoplasten liggen in het algemeen ruim onder de 4 gulden per kg, terwijl de prijzen van zeer hoogwaardige technische kunststoffen meer dan 100 gulden per kg kunnen bedragen. De rijpheidsfase in de markt varieert van rijp voor de standaardthermoplasten tot embryonaal voor enkele van de nieuwste hoogwaardige materialen.

### Groeiervwachtingen

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

tegenwoordigen, zullen gemiddeld met 18-20% groeien.

### Composieten

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

#### Zeer hoogwaardige composieten

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

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

Behalve epoxyharsen zullen bismaleimiden en polyimiden worden ingezet, waarvan de gebruikstemperaturen aanzienlijk hoger liggen. In de jaren negentig zullen met name helikopters en zaken-vliegtuigen worden vervaardigd uit zeer hoogwaardige composieten, terwijl het

gebruik van composieten in lijn-vliegtuigen zal toenemen.

#### Technische composieten

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

Vooral voor deze marktsegmenten wordt een sterke groei voorspeld. Voorbeelden zijn:

- SMC op basis van glasvezelversterkte thermoharde polyesters en glasvezelversterkt thermoplastisch SMA.

### De rol van supervezels

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

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

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

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

Tabel 1 Hoofdkenmerken van standaard en technische kunststoffen.

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

Kunststoffen in de jaren negentig

**Technische kunststoffen op basis van blends en compounds**

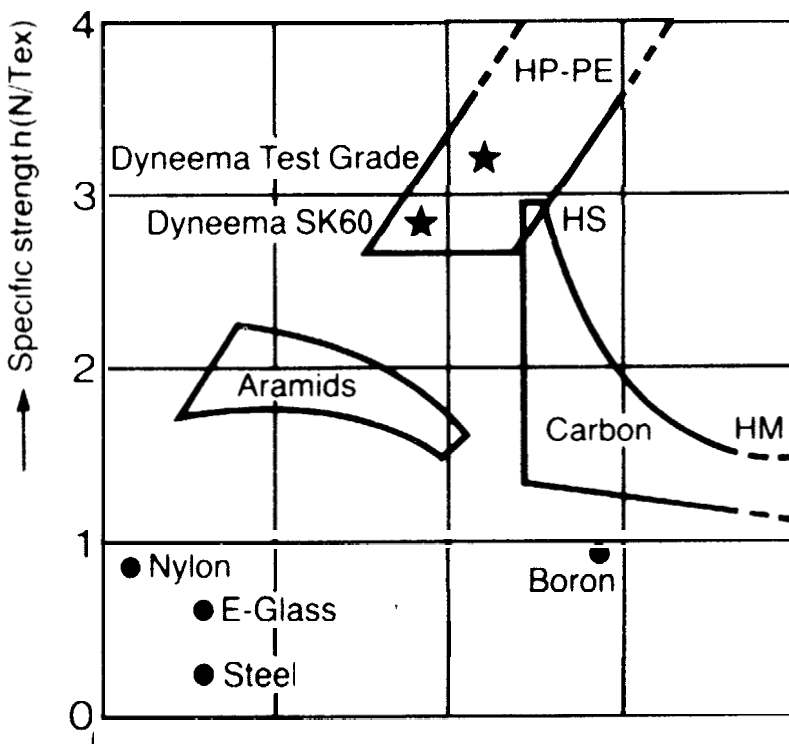
De mogelijkheid om eigenschappen van diverse polymeren te combineren wordt geboden door polymere mengsels te vervaardigen. Polymere mengsels hebben de afgelopen vijftien jaar grote industriële belangstelling genoten. Dit blijkt onder andere uit het grote aantal octrooien met betrekking tot polymere mengsels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

Dit wordt veroorzaakt door de lange ketenstructuur van de macromoleculen, waardoor de bijdrage van de meng-entropie te gering is voor het bereiken van een moleculaire menging. Alleen wanneer er voldoende chemische of fysische interactie optreedt tussen moleculen, kan dit tot een gedeeltelijke of volledige

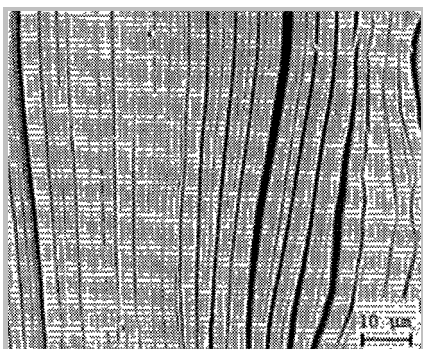
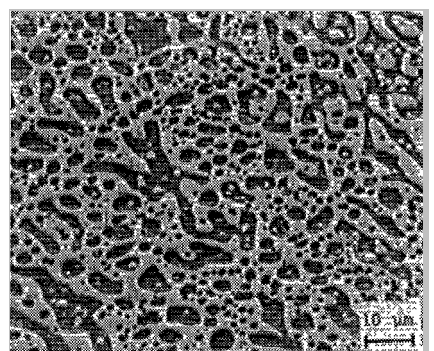
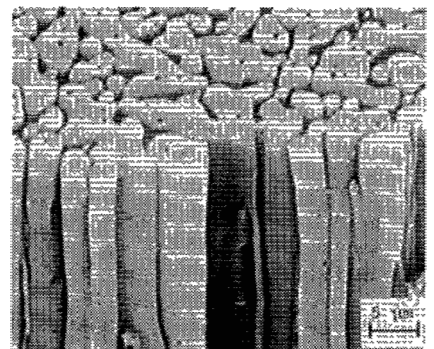
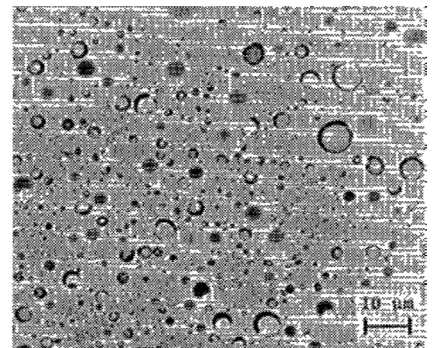
mengbaarheid leiden. Voor het ontwikkelen van industriële mengsels staan vele technieken ter beschikking om een gewenste morfologie in te stellen. Enkele voorbeelden zijn:

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

Het afstemmen van het reologische gedrag van de te mengen polymeren en het gebruik maken van speciale compounderingsapparatuur speelt bij het ontwikkelen van blends een cruciale rol. De



Figuur 2 Specifieke sterkte versus de modulus.



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

prijs/prestatie van een polymeer kan nu gericht worden afgestemd op de eisen van toepassingen door te kiezen uit combinaties van het polymere basismateriaal, de blendcomponent(en) en eventueel

eel het versterkingsmateriaal (vezels en vulstoffen).

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

De eigenschappen van PP en ABS worden op deze manier dikwijls opgevaardigd en kunnen in veel gevallen worden beschouwd als algemeen toepasbare technische kunststoffen. Aan de andere kant maken leveranciers van zeer hoogwaardige composieten en hoogwaardige technische kunststoffen gebruik van blend- en vultechnieken om de kostprijs te verlagen, waardoor deze producten met technische kunststoffen kunnen concurreren op basis van een afgestemde prijs/prestatie.

Een effectief hulpmiddel om te komen tot 'op maat gesneden' producten zijn de technieken CAE (Computer Aided Engineering) en CAD (Computer Aided Design).

Produkttoepassingen, vervaardigd uit kunststoffen met een complexe vormgeving, kunnen met eindige-elementenprogramma's worden doorgerekend. Uitgangspunten voor deze berekeningen zijn de modellen voor het niet-lineaire visco-elastische gedrag van kunststoffen, waarmee het mechanische gedrag van de produkttoepassing onder praktijkcondities kan worden voorspeld.

## Nieuwe polymeren in de jaren negentig

Ondanks de lange tijd en aanzienlijke kosten die gepaard gaan met het ontwikkelen en opschalen van nieuwe polymeren, hebben diverse producenten van kunststoffen de afgelopen jaren nieuwe polymeren geïntroduceerd:

PEEK, thermotrope LCP's, PEI, PA 4.6 en andere. DSM introduceert in de jaren negentig onder andere: polyamide 4.6, thermotrope LCP's en rubbergemodificeerd SMA.

### PA 4.6

PA 4.6, door DSM Stanyl genaamd, onderscheidt zich ten opzichte van PA 6.6 door een hoge ketensymmetrie en een hoge concentratie amide-groepen tengevolge van de verdeling van de methyleeneenheden in de keten. Het Stanylproces is namelijk gebaseerd op de grondstoffen 1.4-diaminobutaan en adipinezuur.

Hierdoor bezit PA 4.6 een hogere kristalliniteit en hogere kristallisatiesnelheid dan PA 6.6, waardoor een bijzondere eigenschappenpakket ontstaat. In de praktijk betekent het dat PA 4.6 een continue gebruikstemperatuur heeft van 150°C; dit is 40-50°C hoger dan bij PA 6.6. De maatvastheid van producten die vervaardigd zijn van Stanyl wordt bij piektemperaturen van rond de 250°C nog gegarandeerd; zie *figuur 4*. Door de zeer fijne sferulietstructuur ligt de kerfslagvastheid van deze nylon een factor twee hoger dan die van PA 6 en 6.6, terwijl de bestandheid tegen chemicaliën goed is.

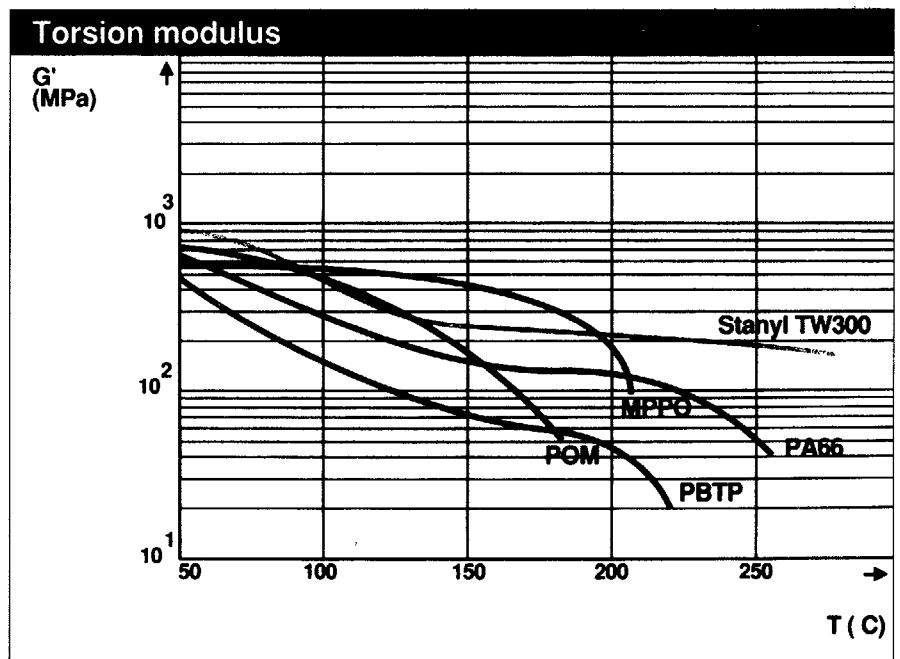
**Rubber gemodificeerd SMA**  
Stapron, het rubber gemodificeerde SMA van DSM, wordt gekenmerkt door een goede balans van stijfheid, maatvastheid en taaiheid. Vanwege het polaire karakter van het SMA-molecuul heeft het materiaal tevens als thermoplastisch glasvezelversterkt composiet goede eigenschappen.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

### LCP

LCP's zijn één van de belangrijkste materiaalontwikkelingen van de afgelopen tien

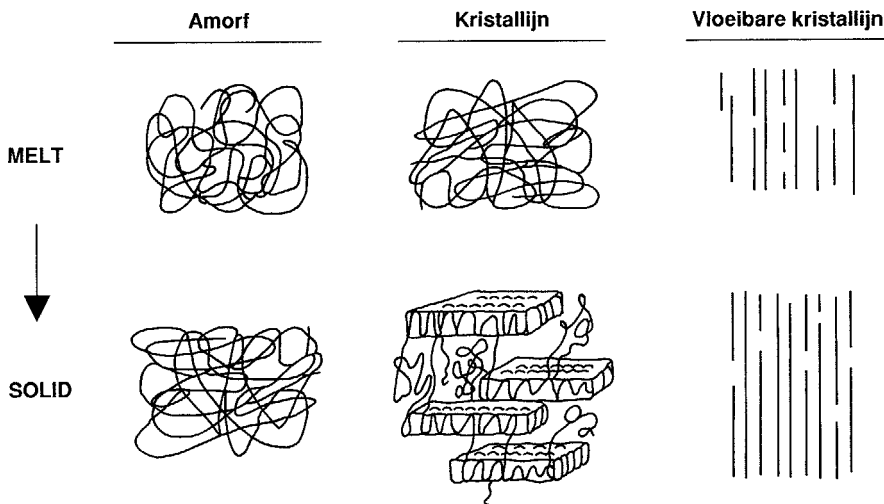
jaar. Op grond van de starre molecuulstructuur, die sterk afwijkt van de amorphe en kristallijne polymeren, zie *figuur 5*, kan een scala van bijzondere eigenschappen worden verkregen. In de smelt of in oplossing benadert de ordening van de moleculen van LCP's de ordening van de kristallijne structuur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

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

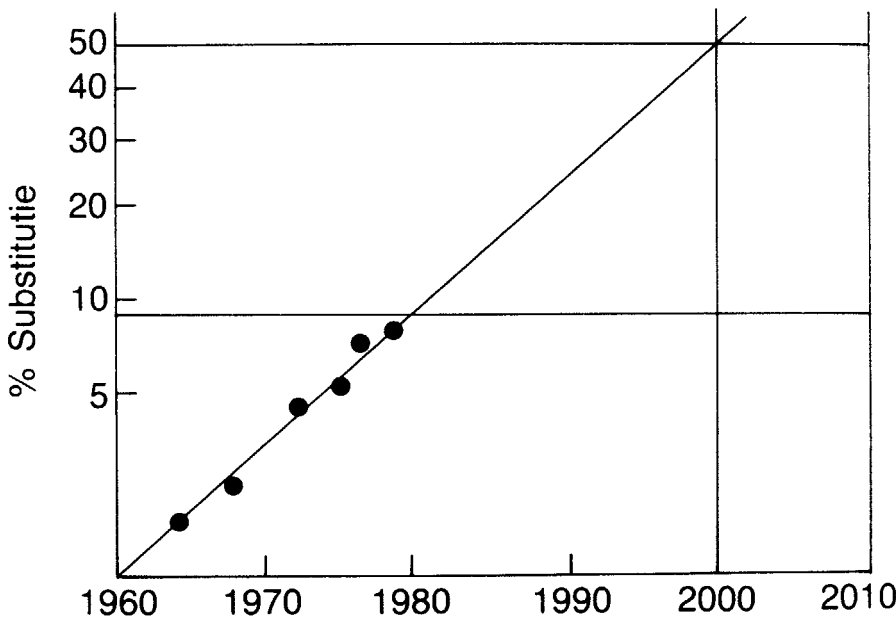


Figuur 4 Afschuifmodulus. Polyamide 4.6 (Stanlyl) in vergelijking met andere technische kunststoffen [8].

Kunststoffen in de jaren negentig



Figuur 5 Polymere structuren.



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

De toekomst van technische kunststoffen

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

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

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

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

horen, zullen eigenschappen worden van kunststoffen.

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

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

Literatuur

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

Enkele afkortingen

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