



# Thermoharders

## kort & bondig

**Lectoraat**  
Industrial Design

Raak project  
Materialen in Ontwerp

voor:  
Hameland Groep - Groenlo

februari 2008

**Het kenniscentrum Design&Technologie** is hét centrum voor praktijkgerichte productontwikkeling binnen de **Saxion Hogescholen**. Hier komt kennis samen op gebieden van gebruikgericht industrieel productontwerp, materialen, embedded software en proces- en productieinnovatie.



Deskundige lectoren en docenten zetten zich in om als 'externe ontwikkel kennisbron' een bijdrage te leveren aan de innovatieve slagkracht van het (regionale) bedrijfsleven.

**Het lectoraat Industrial Design** wordt gerealiseerd door de lector **Product Design** ir. Karin van Beurden. De kenniskring wordt gevormd door docenten en een onderzoeksassistent.

**Product Design** bundelt kennis en doet praktijkgericht onderzoek t.b.v. productontwerpen: het vertalen van marktwensen en mogelijkheden van de gebruiker in een maakbaar, seriematig te vervaardigen product.

**Design for All** houdt zich bezig met gebruiksvriendelijk ontwerpen voor een zo groot mogelijke groep gebruikers: de mens centraal bij het productontwerpen.

**Onderzoeksthema's:**

- materiaaltoepassing in ontwerp
- gebruiksonderzoek
- visualisatie en ontwerptools
- creativiteit
- productanalyse en functioneel testen

**Saxion Hogeschool Enschede**  
**Postbus 70.000**  
**7500 KB ENSCHEDE**

**Kenniscentrum Design & Technologie**  
**t: (053) - 487 14 23**  
**e: [k.m.m.vanbeurden@saxion.nl](mailto:k.m.m.vanbeurden@saxion.nl)**

# Thermoharders

- kort & bondig -



uitgevoerd door:



in samenwerking met:



---

## ■ Colofon

**Auteur:**

Annelies Bolijn

**Met dank aan:**

Marcel Kooyman

Maarten Swart

Koos Leber

Frits de Vos

**Vormgeving:**

Maarten Swart

**Adressen:**

Saxion Hogeschool Enschede

Kenniscentrum Design & Technologie

M.H. Tromplaan 28

7513 AB Enschede

**t** (053) - 4 87 14 23

**i** [www.saxion.nl](http://www.saxion.nl)

**e** [k.m.m.vanbeurden@saxion.nl](mailto:k.m.m.vanbeurden@saxion.nl)

**Hamelandgroep**

Mattelierstraat 19

7140 AA Groenlo

**t** (0544) - 39 58 00

**Hamelandgroep (Thermoharderafdeling)**

1e Broekdijk 69

7122 LD AALTEN

Postbus 153

7120 AD AALTEN

**t** (0543) - 49 15 00

**f** (0543) - 49 15 01

**i** [www.hamelandgroep.nl](http://www.hamelandgroep.nl)

**e** [aalten@hameland.nl](mailto:aalten@hameland.nl)



# Inhoud

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| ■ Colofon                                               | II |
| ■ Hoofdstuk 0      Inleiding                            | 1  |
| Inhoud van dit boekje                                   | 1  |
| ■ Hoofdstuk 1      Thermoharders                        | 3  |
| Chemische eigenschappen                                 | 3  |
| Productie                                               | 4  |
| Specifieke eigenschappen                                | 5  |
| Geschiedenis                                            | 7  |
| ■ Hoofdstuk 2      Composieten                          | 9  |
| Vulstof en matrix                                       | 9  |
| Mechanische eigenschappen                               | 10 |
| Typen Composieten                                       | 12 |
| Thermoplastische composieten                            | 13 |
| ■ Hoofdstuk 3      Vulstoffases                         | 15 |
| Glasvezel      Fiber                                    | 17 |
| Aramide      twaron, kevlar                             | 18 |
| Carbon      Koolstofvezel                               | 19 |
| ■ Hoofdstuk 4      Matrixfases                          | 21 |
| Fenolformaldehyde      bakeliet, hajaliet, philite, PF  | 22 |
| Ureumformaldehyde      UF                               | 23 |
| Melamineformaldehyde      MF                            | 24 |
| Polyesterhars      onverzadigde polyesters, UP          | 25 |
| Epoxyhars      EP                                       | 27 |
| Polyurethaan      PUR                                   | 29 |
| ■ Hoofdstuk 5      Productietechnieken                  | 31 |
| Handlamineren... hand lay-up                            | 32 |
| Vezelspuiten                                            | 35 |
| Pultrusie                                               | 36 |
| Wikkelen                                                | 39 |
| RTM....Resin transfer moulding                          | 41 |
| RIM....Reaction Injection Moulding, spuitgieten, persen | 43 |

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| Compression molding....warm /nat persen | 45 |
| DMC, SMC, BMC-persen                    | 47 |
| DMC....Dough moulding compound          | 48 |
| BMC....Bulk moulding compound           | 50 |
| SMC....Sheet moulding compound          | 51 |
| GMT....Glasmat versterkte thermoplast   | 53 |
| Autoclaaf                               | 54 |
| Tow placement technology                | 56 |
| Ontwerpen                               | 57 |
| ■ Hoofdstuk 6 Cases                     | 59 |
| Volvo ocean racer                       | 59 |
| Panton Stoel                            | 60 |
| 3D-connect                              | 61 |
| RT orbit blocks                         | 62 |
| Mogelijke uitdagingen                   | 63 |
| ■ Bronvermelding                        | 65 |



---

## ■ Hoofdstuk 0

### Inleiding

---

#### ■ Inhoud van dit boekje

Dit boekje is geschreven om meer informatie te geven over thermoharders. Het produceren van thermoharder producten is een arbeidsintensief proces. Daarom wordt het steeds lastiger om te kunnen concurreren met thermoplasten.

De thermoharderindustrie richt zich steeds meer op niche markten. Hier kunnen de specifieke eigenschappen van thermoharders goed benut worden.

Helaas is kennis over thermoharders geen algemeen goed meer. Vaak weet men te vertellen dat de thermoharders over het algemeen beter tegen hitte kunnen dan thermoplasten, maar daar houdt het vaak op.

Door het gebrek aan kennis over thermoharders wordt het materiaal vaak niet als productmateriaal in overwegingen meegenomen, terwijl het materiaal uitstekend aansluit bij sommige specificaties van nichemarktproducten.

Om deze kans te benutten, geeft dit boekje een uiteenzetting van:

- typische materiaaleigenschappen;
- thermoharders in composieten;
- verschillende productietechnieken en;
- verschillende toepassingen.



## ■ Hoofdstuk 1

### Thermoharders

#### ■ Chemische eigenschappen

Kunststoffen kunnen ingedeeld worden in thermoplasten, thermoharders en elastomeren. Deze indeling is op basis van moleculaire structuur. De moleculaire structuur heeft regelrecht invloed op de eigenschappen van het materiaal.

In tegenstelling tot thermoplasten zijn thermoharders kunststoffen die na reactie permanent, dus blijvend vast zijn. Deze kunststoffen kunnen dus niet meer omgesmolten worden. Ze zullen bij verhitting eerder verbranden dan smelten. Thermoplasten en elastomeren kunnen wel smelten.

Hoe komt dit nu dat thermoharders niet te smelten zijn? In het geval van een thermoplast zijn er een hoop kleine moleculen.

Bij verhitting zullen de moleculen verder van elkaar af komen te liggen, en dan kunnen ze vrij ten opzichte van elkaar bewegen (dan wordt de thermoplast vloeibaar).

Een thermoharder echter bestaat uit 1 groot molecuul waardoor de thermoharders dus niet te versmelten zijn. Thermoharders worden bijvoorbeeld gecreëerd door een vloeibare hars met een hardener te harden: thermoharders bestaan uit twee soorten moleculen die aan elkaar verbonden zijn.



figuur 1 netwerkstructuur

Er ontstaat zo een heel netwerk (in tegenstelling tot thermoplasten, die bestaan uit lange strengen/ ketens moleculen). Dit reageren kan bij kamertemperatuur (15°C tot 25°C) en in andere gevallen onder verhoogde temperatuur (150°C).

Een thermoharder kan ook ontstaan door poeder of persblokken te 'persen'.

Een andere mogelijkheid is dat bij polymerisatie ontwikkelde draadmoleculen reactieven plaatsen bezitten, zodat ze hier en daar zijdelings aan elkaar hechten. Bij deze groep thermoharders zijn zeer sterke chemische bindingen gevormd. Bij beide groepen thermoharders zijn ruimtelijke moleculaire netwerken gevormd. Deze netwerken zijn bepalend voor de eigenschappen van thermoharders.

Een fijne netwerkstructuur geeft een hard materiaal, grove netwerkstructuren verhogen de slagvastheid en zeer grote netwerkstructuren veroorzaken rubberachtige eigenschappen.

---

## ■ Productie

Thermoharders worden gemaakt door bijeengieten van monomeren. Tijdens het uitharden (syntheseren) bij een bepaalde temperatuur, reageren de monomeren met elkaar (het polymeer krijgt een netstructuur, polymerisatie).

De hars, poeder of persblokken kunnen warm of koud (bij kamertemperatuur) uithardende hars zijn. Soms wordt ervoor gekozen om een koud uithardende harder toch te verwarmen tijdens het uitharden. Dit gebeurt dan om een hoogwaardiger product te krijgen. Meer hierover kan gelezen worden in 'de Autoclaaf'.<sup>1</sup> Er bestaan ook harders die alleen onder verhoogde temperatuur uitharden.

---

1 zie bronnen

Thermoharders worden meestal in niet zuivere toestand gebruikt. Zuivere thermoharders zijn moeilijk te vervaardigen. Resten van de reactie raken vaak ingesloten in het product. Door toegevoegde stoffen kunnen deze resten opgenomen worden en krimp verminderen.

Thermoharders worden als diverse soorten poeder of persmassa volgens bepaalde normen vervaardigd. Ze bevatten het polymeer in nog smeltbare toestand, gemengd met toevoegstoffen

## ■ Specifieke eigenschappen

Zoals al eerder beschreven hebben thermoharders specifieke eigenschappen ten opzichte andere materialen. Hier een uiteenzetting van de verschillen tussen thermoplasten en thermoharders.

| thermoplasten                                    | thermoharders                                   |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| erg temperatuurgevoelig                          | minder temperatuurgevoelig                      |
| lossen op of verweken in oplosmiddelen           | hoog resistent voor oplosmiddelen               |
| zachter, elastischer                             | harder, minder elastisch                        |
| smelten                                          | smelten niet                                    |
| branden bij hoge temperatuur                     | branden niet tot moeilijk bij hoge temperatuur  |
| minder bros                                      | brosser                                         |
| lagere stijfheid dan metalen (ongevuld)          | zelfde of hogere stijfheid dan metalen (gevuld) |
| niet altijd goede hechting aan andere materialen | goede hechting aan andere materialen            |
| over het algemeen hogere uitzettingscoëfficiënt  | lagere uitzettingscoëfficiënt                   |

**tabel 2** specifieke eigenschappen

| thermoharder                  | € / kg    |
|-------------------------------|-----------|
| Epoxy                         | 2,20-2,42 |
| Polyester                     | 1,44-1,67 |
| Fenol                         | 1,04-1,13 |
| Melamine                      | 0,73-0,98 |
| Vinylester                    | 0,40-1,29 |
| Prijsindicatie 2006, icis.com |           |

*tabel 3 prijsindicatie*



*figuur 4 voorbeeld thermoharder gebruik jaren '50*

## Geschiedenis

Thermoharders kennen al een lange geschiedenis. Voor de thermoplasten waren er al toepassingen van thermoharders. Hieronder een paar belangrijke gebeurtenissen in de opkomst van de thermoharder:

|      |                                                                                                  |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1869 | celluloid, gebruik voor fotografie                                                               |
| 1907 | bakeliet voor LP's patent voor phenolharsen, L.H. Baekeland                                      |
| 1912 | Duitse patentaanvraag PVC, prof. F. Klatte                                                       |
| 1916 | patent voor fabricage van een vliegtuig volledig uit versterkte kunststoffen, R.Kemp             |
| 1922 | samenbundeling colloïde deeltjes                                                                 |
| 1922 | opbouwen van bundels uit deeltjes, macromoleculen, Staudinger                                    |
| 1930 | begin ontwikkelingen rondom kunststof                                                            |
| 1935 | De V.S. Owens-Corning Fiberglass Corporation fabriceerde als eerste glasvezels op grote schaal   |
| 1938 | patent voor epoxyhars, P. Castan                                                                 |
| 1940 | begin ontwikkeling polymeerchemie                                                                |
| 1942 | eerste glasvezel-polyesther producten (boten, vliegtuigen, auto's)                               |
| 1943 | start van eerste twee proeffabrieken PVC, USA en Engeland; Sandwichconstructies voor vliegtuigen |
| 1945 | G.Lubin en W.Greenberg ontwikkelden een methode voor het winden van vezels                       |
| 1951 | eerste pultrusie-patent, R.Steinmann                                                             |

tabel 5 geschiedenis thermoharders



---

## ■ Hoofdstuk 2

### Composieten

---

#### ■ Vulstof en matrix

Zoals al eerder beschreven worden thermoharders vaak niet in zuivere toestand gebruikt. Dit komt vooral omdat ze erg bros zijn. Om de brosheid tegen te gaan worden thermoharders vaak gevuld met vezels. Zo ontstaat er een composiet. De composiet heeft een hogere stijfheid en sterkte dan de vezel of de thermoharder. Zo worden bijvoorbeeld windmolenbladen gemaakt met composieten.

Een composiet is een materiaal waarin microscopisch aantoonbaar twee verschillende soorten materiaal (fasen) zitten. Het is eigenlijk 'vullingmateriaal' dat bestaat uit een matrixfase en een vulstoffase. Hoe groter het percentage vezels (matrix), hoe sterker het product wordt. De vulstoffase zorgt namelijk voor het doorgeven van krachten en de matrixfase zorgt er voor dat de vezels bij elkaar blijven. Op deze manier worden de schuifspanningen overgedragen.

De composiet heeft de gecombineerde materiaaleigenschappen van beide materialen. Dit wordt meestal gekarakteriseerd door een relatief grote sterkte en stijfheid.

Een vereiste van een composiet is een goede hechting tussen vezels en matrix. De adhesiekrachten moeten inwendige spanningen over kunnen brengen. De vezel moet voldoende bevochtigd worden door de matrix (wederzijdse affiniteit tussen de stoffen).

Corrosie effecten reduceren de sterkte van de vezels zeer sterk doordat het oppervlak plaatselijk kerkjes gaat vertonen. Vaak wordt er een toplaag aangebracht om de composiet te beschermen tegen corrosie.

Vaak worden additieven aan de matrix toegevoegd, of worden vezels gecoat om de onderlinge hechting te verbeteren. Onder wisselende spanningen blijft dit een zwak punt onder de verzelfstreekte materialen.

De vezelversterking en matrix worden apart vervaardigd en later tot een geheel verwerkt. Bijvoorbeeld door matrix en wapening te gieten. Soms worden vezel en matrix al vóór de definitieve vormgeving gemengd. Andere keren wordt het tijdens de productietechnieken gemengd.

De composiet werd in Amerika ontdekt. Dit gebeurde toevallig toen een medewerker bakeliet op zijn kleding morste. Na zijn werk wilde hij de vlek verwijderen, maar deze was zo hard en stevig geworden dat dit niet meer lukte. De man beseftte dat er een uniek materiaal was ontstaan, en deed proeven met het materiaal. Later werden printplaten uit bakeliet en linnen gemaakt.

Een andere doorbraak was formica. Het bestaat uit twee lagen papier die met epoxyhars zijn gelamineerd. Het was een van de eerste composietproducten die hittebestendig is.

Thermoharder composieten worden vaak gebruikt in de lucht- en ruimtevaart en in andere gebieden waar stijfheid en sterkte belangrijk zijn, bijvoorbeeld in de auto-industrie. Zo worden de binnenpanelen van auto's gemaakt van met vlas versterkte thermoharder.

---

## ■ Mechanische eigenschappen

Verschillende vezels, harsen en verwerkingsvormen maken de ontwerpvrijheid van composieten overweldigend groot.

Bij het verwerken van de hars moeten luchtinsluitsels voorkomen worden. Luchtinsluitsels maken de producten namelijk minder sterk en onbetrouwbaar.

Hoe kleiner de verhouding tussen de was en de vezels, hoe hoogwaardiger de composiet. Minder hars maakt de kans op luchtinsluiting wel groter! De mogelijkheid op luchtinsluiting is de grootste zwakte van een composiet.

De harssoort bepaalt de fysische eigenschappen:

- Chemische bestendigheid
- UV-bestendigheid

De hars beschermt de vezels voor invloeden van buitenaf, omdat deze de vezels geheel bedekt.

De vezelsoort, het vezelpercentage en de versterkingsvorm bepalen de mechanische eigenschappen zoals:

- stijfheid en sterkte
- uitzettingscoëfficiënt
- thermische geleiding
- elektrische geleiding

In composietmaterialen kunnen vezels zo gepositioneerd worden dat de krachtopvang optimaal is met zo min mogelijk vezels, waardoor een aanzienlijke gewichtswinst wordt bereikt. Men kan zo zelf de stijfheid en sterkte van het product bepalen door de richting van de vezels.

Het principe heet 'elastic tailoring'.

Het zorgt voor:

- gewichtsafname
- kostenbesparing
- extra veiligheid

Stijfheid en sterkte zijn erg belangrijk. Een schatting van de stijfheid en sterkte in het ontwerpproces is van belang. Voor het maken van een schatting van de verwachte eigenschappen (E-modulus, treksterkte) bestaat er software die verschillende materialen, materiaalspanningen vezeloriëntaties kan doorrekenen.

De vezeloriëntatie in verschillende lagen wordt mede bepaald door:

- halffabrikaten
- versterkingsvormen
- ontwerp
- het vezelgehalte heeft een grote invloed op de elasticiteitsmodule:

Bij laminaten is het vezelgehalte ongeveer 40%, bij prepregs lager dan 40% en bij handlamineren hoger dan 40%. Prepregs zijn halffabrikaten waarin de vezels half uitgehard zijn. Zo kunnen ze nog vervormd worden en daarna uitharden.

De sterktes van laminaten kunnen daardoor zeer uiteenlopen.

## ■ Typen Composieten

Buiten de vezelversterkte kunststoffen zijn er nog andere composieten.

Soorten composieten:

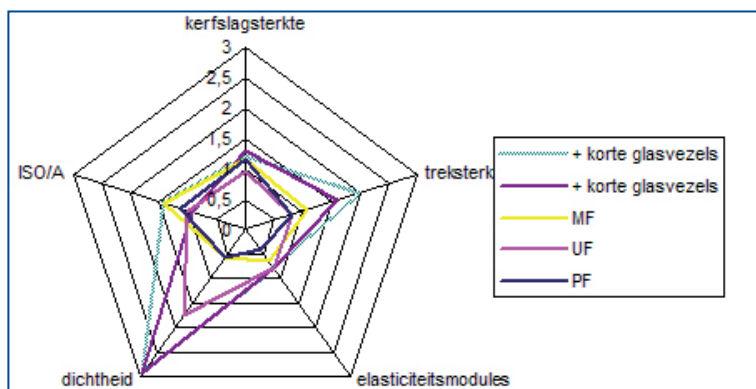
- vezel versterkte thermoplasten (PPS, PEEK, PEI, PAI enz.)
- vezel versterkte thermoharders (polyester, vinylester, epoxy, BMI/Polyamide, fenol enz.)

Laminaten vallen eigenlijk ook binnen de groep composieten, maar worden anders genoemd. In laminaten kan men met het blote oog al duidelijk verschillende materialen zien.

Laminaten:

- sandwich constructies
- huiden (Aluminium, Staal)
- kernmaterialen (PUR, PIR, PVC enz.)
- hout (multiplex, balsa)
- honingraad (papier, normex, aluminium, carbon enz.)

Hier zal kort ingaan worden op de thermoplastische composieten. Er zal dieper ingaan op de verschillende vezelversterkte thermoharders.



figuur 6 matrix met eigenschappen

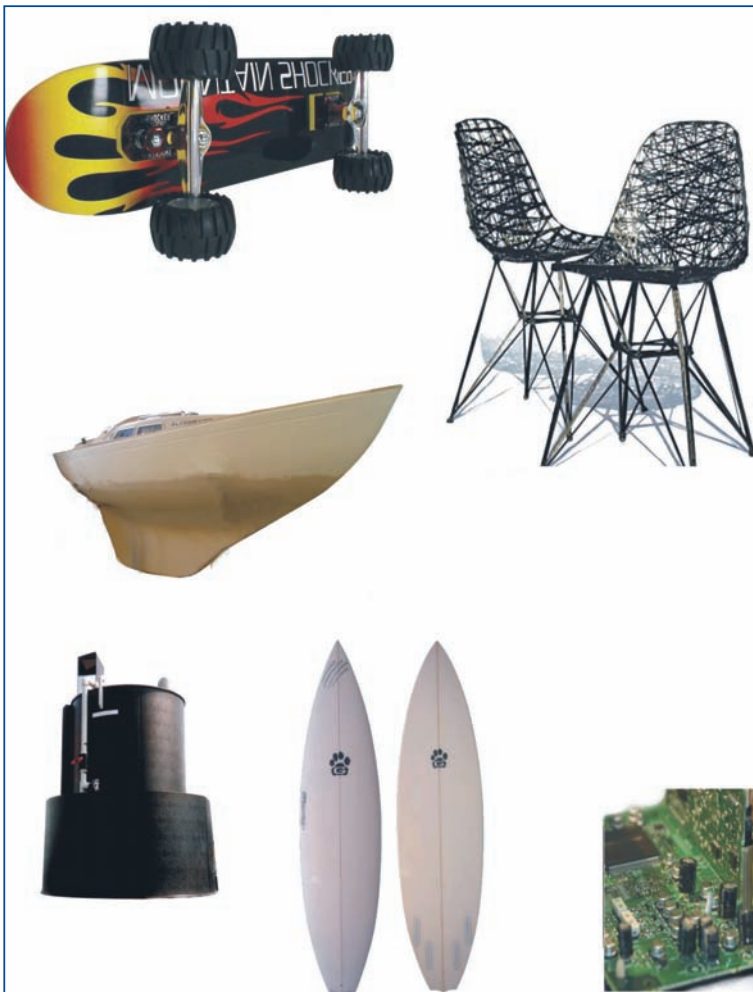
---

## ■ Thermoplastische composieten

Thermoplastische composieten zijn composieten waar een thermoplast voor wordt gebruikt. Ze worden vaak gebruikt voor hun goede impacteigenschappen, bijvoorbeeld de hardheid en kerfslaggevoeligheid. Een thermoplastische composiet geeft ook weer andere bewerkingsmogelijkheden. Zo kunnen platen gebogen worden als ze warm zijn (zoals bij thermovormen). De verwerkingstemperatuur ligt dan wel veel hoger dan bij thermoplasten.

Wanneer wordt gewerkt met glasvezel -korte glasvezels van 2 tot 4 mm- treedt er minder krimp op in de thermoplast. Sterkte en elasticiteit worden daardoor hoger terwijl de krimp lager wordt.

Glasvezel en kunststof moeten goed in contact met elkaar zijn. Daarvoor moeten de vezels goed geïmpregneerd worden met de hars, zodat het contact tussen beiden beter is.



## ■ Hoofdstuk 3

### Vulstoffases

Vezels (soort vulstof) zijn splitsbare, haarachtige stoffen. Wanneer er gesproken wordt over een kunststofvezel, bestaan ze uit lange molecuulketens. Alle vezels zijn erg smal ten opzichte van hun lengte. Lange ononderbroken bundels worden filamenten genoemd. Zijde van rupsen of van spinnen is de enige natuurlijke filament.

De meeste vezels zijn organisch, maar er bestaan ook enkele anorganische vezels.

De eigenschappen van vezels zijn sterk afhankelijk van de externe en interne structuur en de chemische samenstelling. Eigenschappen van verschillende vezels verschillen daarom erg van elkaar. Kristallijne fases zorgen voor treksterkte, stijfheid en stabiliteit; amorphe fases zijn zwakker, maar zijn ook flexibeler.

Vezels kunnen in verschillende toestanden verwerkt worden. In de botenindustrie gebruikt men bijvoorbeeld vaak geweven matten die dan met hars geïmpregneerd worden, maar het is ook mogelijk om in één keer korte vezels mee te spuitgieten.

Het is ook mogelijk dat er eerst een halffabrikaat geproduceerd wordt. Dit is bijvoorbeeld bij prepregs en films het geval.

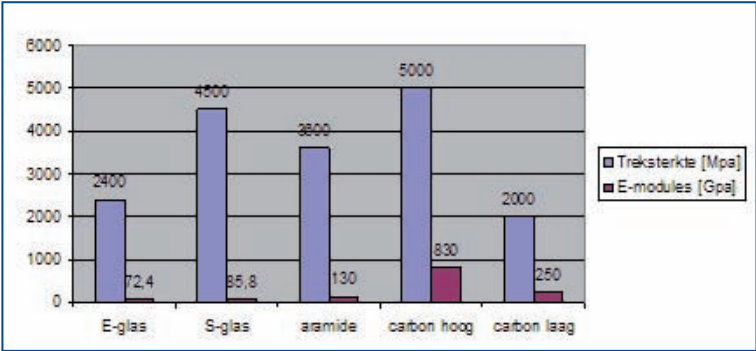
Andere verwerkingsvormen zijn onder andere: weefsels, stiksels, legsels, Chopped strand mat (CSM), breisels (tuftsels), tapes en uni-directionele (UD) vezels.

Veelgebruikte vezels zijn:

- glasvezel ( E-glas, S-glas, C-glas)
- koolstofvezel. HT (high tensile) en HM (high modulus)
- organische vezels
- aramidevezel (bijv. Twaron en Kevlar)
- polyethyleen fiber (HDPE), twaron
- vlas (binnenpanelen in de autoindustrie)

Voor elke vulstoffase moet een bijpassende matrixfase gevonden worden. Carbon is bijvoorbeeld de hoogwaardigste vezel die er is. Carbon rekt nagenoeg niet. Polyesterhars daar-entegen wel. Wanneer deze twee met elkaar gecombineerd zouden worden, zal het materiaal slecht elastisch worden.

Carbon wordt daarom met epoxyhars (hoogwaardige hars) gebruikt..

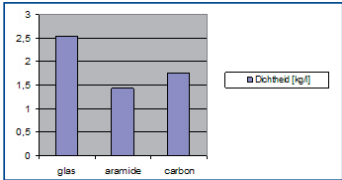


figuur 7

Een vulstof met een inferieure hars of een hars met een inferieure vulstof zorgt dus voor een vermindering van de kwaliteit. Hieronder een overzicht van vezel en thermoharder combinaties:

| matrixfase (thermoharder) | vulstoffase (vezels) |
|---------------------------|----------------------|
| polyesterhars             | glas                 |
| vinylester                | glas                 |
|                           | twaron               |
|                           | aramide              |
|                           | aramide & carbon     |
| epoxyhars (laagwaardig)   | aramide              |
|                           | carbon               |
| epoxyhars (hoogwaardig)   | carbon               |
| fenol                     | glas                 |

tabel 8 vulstoffases





## ■ Glasvezel Fiber

Glasvezelfibers zijn haardunne vezels van glas. Glasvezelfibers worden gemaakt van siliciumoxide met een kleine toevoeging van andere oxides. Glasvezels karakteriseren zich door hun hoge sterkte, goede temperatuur- en corrosiebestendigheid en lage prijs.

Er zijn twee hoofdgroepen in glas:

- E-glas
- S-glas

E-glas wordt het meeste gebruikt, en dankt zijn naam aan de goede elektrische eigenschappen. De tweede (S-glas) is stijf en temperatuurbestendig. Deze worden gemaakt door een spinproces, waarin gesmolten glas door een opening getrokken wordt.

Glasvezel wordt onder meer toegepast voor het verstevigen van allerlei kunststoffen en is een anorganische vulstof.

| toepassingen  | glasvezel             |
|---------------|-----------------------|
|               | hengels               |
|               | boten                 |
|               | rompen van jachten    |
|               | printplaten           |
|               | opslagsilo's          |
|               | veewagens             |
|               | ski's                 |
|               | automotive            |
| eigenschappen |                       |
|               | goede warmtegeleiding |
|               | hoge dichtheid        |
|               | corrosiebestendigheid |
|               | lage prijs            |
|               | hoge sterkte          |

**tabel 9** toepassing glasvezel

### ■ Aramide twaron, kevlar

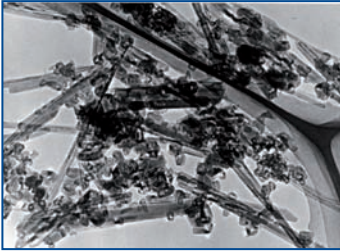
Aramide vezels staan bekend om hun hoge hardheid en resistentie tegen doordringing (van bijvoorbeeld kogles, ookwel taaiheid). Door de taaiheid en lage dichtheid worden deze gebruikt voor kogelvrije vesten, (motor) fietsbanden, vliegtuigvleugels en sportmateriaal.

Aramidevezels worden niet zo veel gebruikt als glasvezels, omdat ze duur zijn, veel water opnemen en moeilijk te verwaarden zijn. Aramidevezels worden meestal met epoxy tot een composiet verwerkt. De epoxy zorgt voor chemische en hitte resistentie van het materiaal.

Aramidevezels worden gemaakt van para-aramide. Wanneer het para-aramide gedrenkt wordt in een sterk zuur bij een temperatuur van  $-50^{\circ}\text{C}$ , vormt ze vloeibare kristallen. De vloeistof wordt door een spuitneus getrokken bij  $200^{\circ}\text{C}$ . Hierdoor verdampt het zuur en zullen de kristallen zich oriënteren. Tot slot worden de vezels uitgerekt bij  $500^{\circ}\text{C}$ . Chemisch gezien is aramide (eigenlijk polyaramide) verwant met nylon (polyamide). Specifiek is de aanwezigheid van een aromatische groep (benzeenring) in de keten waarbij nylon een enkelvoudige reeks koolstofatomen zit.

In de chemie probeert men om aramide te upgraden tot het de eigenschappen van carbon heeft. Dit omdat carbon duur is. De productprijs van een carbonproduct ligt 3x hoger dan hetzelfde product gemaakt van aramide. Eigenschappen van de vezels worden bepaald door de condities waaronder de vezels gemaakt worden





## Carbon Koolstofvezel

Carbon is de naam voor het composiet dat bestaat uit koolstofvezels, vaak in combinatie met kunsthars. De naam carbon komt van het Engelse koolstof.

Carbonvezels zijn de sterkste en stijfste versterkende fibers voor polymeercomposieten. Het is de duurste vezel die gebruikt wordt in composieten. Het is een schaars en een zeer hoogwaardig materiaal. Er zijn maar 3 bedrijven in de hele wereld die deze vezel produceren. Hiervan wordt 85% gebruikt in de vliegtuigbouw.

Wanneer er carbon gebruikt wordt, moet ervoor gezorgd worden dat de eigenschappen van het carbon 'matchen' met die van de vulstof. Er zit bijvoorbeeld bijna geen rek in carbon, en er zal dus ook een vulstof gebruikt moeten worden die bijna niet rekt, anders gaat de eigenschap van het carbon verloren. Het wordt daarom het meest gebruikt in combinatie met epoxyhars en het is de meest gebruikte vezel op glasvezels na. In gebruik met andere materialen kan galvanische erosie ontstaan.

Carbonvezels hebben een lage dichtheid en een negatieve uitzettingscoëfficiënt. Ze worden gemaakt door een pyrolyse. Polyacryl wordt bij 3000 °C zonder zuurstof verbrand (de pyrolyse). Alle moleculen anders dan koolstof worden gestript van de ketens. Alleen de koolstof blijft over. Bij normale verbranding maken zuurstof radicalen de ketens kapot. Zonder zuurstof en bij extreem hoge temperatuur blijven ze wel intact.

Koolstof in vezelvorm wordt gebruikt in producten die zeer sterk en licht moeten zijn. De koolstof zorgt voor een zeer kleine rek voor breuk (minder dan een kwart van die van de aramidevezel) en oxideert niet onder invloed van water en zuurstof.

| toepassingen  | carbon                  |
|---------------|-------------------------|
|               | Bulthaup (=merk) keuken |
|               | fietsonderdelen (prof.) |
|               | fietshelmen (prof.)     |
|               | messen                  |
|               | vliegtuigonderdelen     |
|               | ruimtevaart             |
| eigenschappen |                         |
|               | hoge sterkte            |
|               | laag gewicht            |
|               | hoge stijfheid          |
|               | duur                    |

*tabel 10 toepassingen en eigenschappen*

## ■ Hoofdstuk 4

### Matrixfases

#### thermoharders

Als matrixfase (vezels om thermoharder te versterken) in een composiet kunnen verschillende thermoharders gebruikt worden. In dit hoofdstuk zullen de verschillende thermoharders toegelicht worden met hun specifieke toepassingen en eigenschappen.

De verschillende thermoharders zijn in te delen in:

- fenol-harsen en -poeders
- ureum (stikstofhoudende) harsen en poeders
- melamine
- polyesterharsen
- epoxyharsen
- polyurethaan
- amino-harsen en -perspoeders
- BMI en polyamide
- vinylesters

We zullen op de eerste zes harders verder ingaan, omdat deze vaak gebruikt worden.

## ■ Fenolformaldehyde bakeliet, hajaliet, philite, PF

PF was de eerste synthetische macromoleculaire stof (Bakeliet, 1907). Het materiaal wordt vrijwel altijd met vulstoffen gemengd. Het is - enigszins voorgehard als perspoeder of persmassa - beschikbaar voor vormgevingsprocessen. Het wordt gevormd uit fenol en formaldehyde. Door bepaalde nevenreacties is de fenolformaldehyde nooit wit of kleurloos maar altijd bruin. Gekleurde harsen zijn bros. Door vulstoffen (houtmeel, vezels) toe te voegen verbetert dit.

| toepassingen   | PF                                         |
|----------------|--------------------------------------------|
|                | hittebestendige handvaten                  |
|                | deurbeslag                                 |
|                | lampfittings                               |
|                | laminaten                                  |
|                | sieraden                                   |
|                | meubelfournituren                          |
|                | verlichtingsarmaturen                      |
|                | elektrotechnische artikelen                |
|                | isolatieschuimen                           |
| eigenschappen  |                                            |
|                | hittebestendig                             |
|                | vorm en krasvast                           |
|                | oppervlaktestructuur van mat tot hoogglans |
|                | donker getinte kleuren                     |
|                | vuurbestendig                              |
|                | lage prijs                                 |
| halffabrikaten |                                            |
|                | perspoeder                                 |
|                | persmassa                                  |

**tabel 11** toepassingen en eigenschappen

## ■ Ureumformaldehyde UF

De toepassingen van UF zijn vergelijkbaar met die van PF.  
Ook de eigenschappen zijn voor een groot deel gelijk.  
Deze kunststof is echter in alle kleuren te vervaardigen.

| toepassingen  | UF                                     |
|---------------|----------------------------------------|
|               | vergelijkbaar met MF                   |
|               | lijmsoorten (formaldehyde producten)   |
|               | vergelijkbaar met MF                   |
| eigenschappen |                                        |
|               | iets hogere stijfheid dan PF           |
|               | helder                                 |
|               | transparant                            |
|               | hoge oppervlakteglans                  |
|               | vrijwel ongevoelig voor vocht          |
|               | stikstofhoudend (ureum)                |
|               | krasvast                               |
|               | niet bestand tegen licht               |
|               | alleen verkrijgbaar in donkere kleuren |
|               | niet geschikt voor keukengerei         |
|               | lage kostprijs                         |

**tabel 12** toepassingen en eigenschappen

## ■ Melamineformaldehyde MF

Melamine is een thermoharder die vooral gebruikt wordt voor huishoudelijke producten. Het mag met voedingsmiddelen in aanraking komen.

Het is in alle kleuren te verkrijgen als perspoeder. De eigenschappen zijn voor een groot deel gelijk aan PF en UF.

| toepassingen  | MF                             |
|---------------|--------------------------------|
|               | electronische artikelen        |
|               | decoratieve panelen/ laminaten |
|               | keukengerei                    |
|               | asbakken                       |
|               | brooddozen                     |
|               | serviezen                      |
| eigenschappen |                                |
|               | kwalitatief betere hars dan UF |
|               | vaatwasbestendig               |
|               | kleurvast                      |

**tabel 13** toepassingen en eigenschappen

## ■ Polyesterhars onverzadigde polyesters, UP

Onverzadigde polyesters kunnen met een 2e component (bijvoorbeeld styreen) en met behulp van initiatoren en versnellers uitharden tot een netwerkstructuur. Uitharding van polyesterhars kan bij kamertemperatuur. Polyester wordt meestal gebruikt in combinatie met glasvezels.

Polyesters ontstaan uit alcoholen en zuren door middel van polycondensatie. Het bijproduct hiervan is water.

De onverzadigde esters bevatten dubbele bindingen. Deze zijn opgelost in styreen, dat eveneens een dubbele binding heeft.

Voor de verwerking wordt door de styreen-harsoplossing een harder gemengd, waardoor de uithardingsreactie door netvorming begint. Er ontstaan daarbij geen afsplitsingsproducten. Er treedt wel krimp op van 5-10% bij het gebruik van hars alleen. Met vulstoffen kan dit worden verlaagd tot circa 2,5%. Door het veranderen van de mengverhouding tussen polyester, styreen en harder veranderen ook:

- de taatheid van de reactiehars
- de geleertijd (tijd tot begin taaheidsvorming en verhoging van de temperatuur)
- de verhardingsgraad (vrijkomende warmte, krimp, sterkte en taatheid.)

Van UP zijn veel verschillende soorten leverbaar. Door de verschillende reactiemogelijkheden is een breed scala aan materiaaleigenschappen mogelijk.

| toepassingen  | UP                                                             |
|---------------|----------------------------------------------------------------|
|               | buizen                                                         |
|               | vangrails                                                      |
|               | geluidswallen                                                  |
|               | grondstof voor alkydlak                                        |
|               | omkapselen van stroomvoerende onderdelen                       |
|               | bekleden van corrosief belaste onderdelen                      |
|               | opslag- en transport-tanks                                     |
|               | kiepbakken                                                     |
|               | carrosserieonderdelen                                          |
|               | vliegtuigonderdelen                                            |
|               | bootcasco's                                                    |
|               | gietmallen voor stampbeton                                     |
|               | stoelen                                                        |
|               | lichtkoepels                                                   |
| eigenschappen |                                                                |
|               | helder                                                         |
|               | transparant                                                    |
|               | gemakkelijk kleurbaar                                          |
|               | zeer sterke producten in combinatie met glasweefsel / glasvilt |
|               | uit te harden bij kamertemperatuur                             |
|               | reactie met een 2e component                                   |
|               | niet bestendig tegen heet water                                |
|               | geschikt voor de meeste industriële toepassingen               |
|               | te wapenen met glasvezels                                      |

**tabel 14** toepassingen en eigenschappen

## ■ Epoxyhars EP

EP (Uitgehard polyester) moet met een harder gemengd worden om uitharding te ondergaan.

Kan als giethars of vormmassa verkregen worden. Kan bij sommige systemen ook bij lage temperatuur uitharden. Epoxyhars is van zichzelf zeer kwetsbaar en wordt daarom vaak met glasmat versterkt. Epoxyharsen worden selectiever gebruikt dan polyester glas, omdat ze duurder zijn. Ze worden wel voor dezelfde soort toepassingen gebruikt. De EP-glas combinatie wordt gebruikt voor dezelfde toepassingen als Polyester glas. Epoxyhars heeft echter betere eigenschappen, maar wordt selectiever gebruikt door de hogere prijs.

| toepassingen | EP                                         |
|--------------|--------------------------------------------|
|              | daken, gevelbekleding                      |
|              | overspanningen                             |
|              | electronische artikelen                    |
|              | decoratieve panelen                        |
|              | vangrails, geluidswallen                   |
|              | vloerbekleding                             |
|              | rotorbladen van windmolens                 |
|              | basis voor wamr en koudhardende lijmsorten |
|              | giet- lamineerhars                         |
|              | metaallijmen                               |
|              | gietmodellen                               |
|              | kopieer- en vrees-mallen                   |
|              | mallen voor carrosserie- en vliegtuig-bouw |
|              | dieptrekgereedschap voor kleine series     |
|              | isolatiemateriaal                          |
|              | electrotechniek                            |
|              | verfindustrie                              |

*tabel 15 toepassingen*

| eigenschappen | EP                                                                         |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------|
|               | krimprijke uitharding (krimp 1 tot 6 volume-procent)                       |
|               | helder                                                                     |
|               | transparant                                                                |
|               | sommige systemen harden uit bij kamertemperatuur                           |
|               | mogelijkheid tot kleuren                                                   |
|               | gevuld zeer sterk                                                          |
|               | met lager gewicht een hogere sterkte te bereiken dan sommige metaalsoorten |
|               | duurder dan UP-glas                                                        |
|               | geen afsplitsproducten                                                     |
|               | goede elektrische eigenschappen                                            |
|               | goede mechanische eigenschappen                                            |
|               | corrosievast                                                               |
|               | moeilijke fabricage, duur                                                  |
|               | kunnen minder goed tegen zuren dan UP-harsen                               |
|               | thermisch stabiel                                                          |
|               | grote vermoeiingssterkte in combinatie met glas (glashechting is beter)    |
|               | hechting op glas en metaal zeer goed                                       |

tabel 16 eigenschappen

## ■ Polyurethaan PUR

PUR ontstaat uit de componenten isocyanaten en polyolen. Het hangt hierbij van de functionaliteit van de grondstof af of een thermoharder (tri-isocyanaten) of een thermoplast (di-isocyanaten) ontstaat. Thermohardende PUR wordt het meest toegepast. Thermoplastisch PUR wordt door specifieke eigenschappen veel gebruikt voor technische toepassingen. Door het toevoegen van een blaasmiddel ontstaat hard of zacht PUR-schuim. Een mengsel van twee componenten en een blaasmiddel vormt een licht, hard schuim dat voornamelijk voor thermische isolatie gebruikt wordt.

| toepassingen                                                     | PUR                                                 |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
|                                                                  | autobussen                                          |
|                                                                  | afdichtingen                                        |
|                                                                  | stofkappen                                          |
|                                                                  | kabelmantels (elektro)                              |
|                                                                  | trillingdempende elementen                          |
|                                                                  | manchetten                                          |
|                                                                  | aandrijfwielen                                      |
|                                                                  | warmte- en geluidsisolatie                          |
| eigenschappen                                                    |                                                     |
|                                                                  | hoge elasticiteitsmodules                           |
|                                                                  | blijft elastisch bij zeer lage temperaturen         |
|                                                                  | hoge stijfheid                                      |
|                                                                  | weerstand tegen verder scheuren                     |
|                                                                  | goede vormstabiliteit                               |
|                                                                  | goed dempend vermogen bij hoge frequenties          |
|                                                                  | goed hechtvermogen op metalen                       |
|                                                                  | hoog isolerend vermogen                             |
|                                                                  | slijtvast                                           |
|                                                                  | hecht goed op metalen                               |
| variabele eigenschappen<br>(proces of basismateriaal variabelen) |                                                     |
|                                                                  | compact of schuim                                   |
|                                                                  | ultrazacht, zacht, halfuithardend of hard           |
|                                                                  | soortelijk gewicht van 10 tot 1100kg/m <sup>3</sup> |

**tabel 17** toepassingen en eigenschappen c



## ■ Hoofdstuk 5

### Productietechnieken

In dit hoofdstuk zullen de productietechnieken besproken worden. Naast dichte mal technieken, bijvoorbeeld een matrijs met 2 zijden, bestaan er ook open mal technieken voor het verwerken van thermoharders. Alle productieprocessen zijn weer geschikt voor andere materialen.

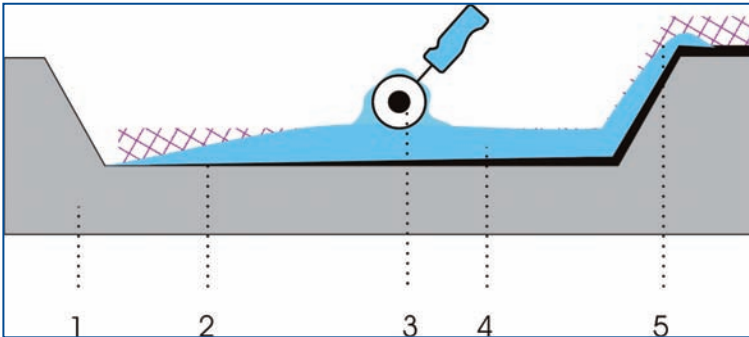
|               | vezels niet georiënteerd | vezels georiënteerd | één zijde afgewerkt | beide zijden afgewerkt | percentage vezel<br>haalbaar [%] |
|---------------|--------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|----------------------------------|
| handlamineren |                          |                     | x                   |                        | 20-60                            |
| vezelspuiten  |                          | x                   | x                   |                        | 20-60                            |
| nat persen    | x                        |                     |                     | x                      | 25-60                            |
| SMC/ BMC      |                          | x                   |                     | x                      | 15-65                            |
| GMT-persen    | x                        |                     |                     |                        | 20-40                            |
| RTM           | x                        | x                   | 1.                  | 2.                     | 15-65                            |
| Wikkelen      |                          | 3.                  |                     | x                      | 50-80                            |
| Pultrusie     |                          | 4.                  |                     | x                      | 30-75                            |

**tabel 18** diverse technieken en verschillen

1. vacuümfolietechniek
2. vacuüminjectie/ drukinjectie
3. niet mogelijk in lengterichting
4. met behulp van pultrusie

## Open mal technieken....

### ■ Handlamineren... hand lay-up



figuur 19

1. mal
2. lossingsmiddel en gelcoat
3. roller
4. hars
5. roving

Bij handlamineren worden lossingsmiddel en gelcoat (hars zonder vezels, eventueel met kleurstoffen) aangebracht op een mal. Daarna wordt de eerste laag hars aangebracht. Vervolgens wordt een wapening aangebracht (losse vezels, glasroving, glasmat of ander weefsel). Het is ook mogelijk om prepregs te gebruiken.

De droge wapening wordt handmatig (met kwasten of rollers) geïmpregneerd met een, al eerder gemengde, vloeibare hars. Met kwasten en rollers worden de vezels verzadigd met hars en wordt ingesloten lucht verdreven. Dit procédé wordt herhaald tot de gewenste eigenschappen en materiaaldikte zijn bereikt. Het product hardt uit bij kamertemperatuur. Daarna wordt het vormstuk van de mal gelost en zodanig nabewerkt.

Door het toevoegen versnellers en vertragers is de verwerkingstijd (geltijd) vrij nauwkeurig te sturen.

| toepassingen Hand Lamineren |                                                                   |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------|
|                             | buizen                                                            |
|                             | vanrails                                                          |
|                             | geluidswallen                                                     |
|                             | grondstof voor alkydlak                                           |
|                             | omkapselen van stroomvoerende onderdelen                          |
|                             | bekleden van corrosief belaste onderdelen                         |
|                             | opslag- en transport-tanks                                        |
|                             | kiepbakken                                                        |
|                             | carroserieonderdelen                                              |
|                             | vliegtuigonderdelen                                               |
|                             | bootcasco's                                                       |
|                             | gietsmallen voor stampbeton                                       |
|                             | stoelen                                                           |
|                             | lichtkoepels                                                      |
| kenmerken                   |                                                                   |
|                             | arbeidsintensief                                                  |
|                             | zeer geschikt voor grote producten                                |
|                             | kleine seriegroottes                                              |
|                             | producten met groot oppervlak t.o.v. wanddikte (zwembaden, boten) |
|                             | varianten op het proces beperken de productiegrootte              |
|                             | eenvoudige open mal (dus goedkoper)                               |
|                             | gelcoat geeft kleur aan het product                               |
|                             | gelcoat zorgt voor glad oppervlak                                 |
|                             | gelcoat beschermt tegen UV                                        |
|                             | beschermt tegen beschadiging                                      |
|                             | luchtinsluitels zorgen voor zwakke plekken                        |
|                             | aan één zijde goede afwerking mogelijk                            |
| concurrerende techniek      |                                                                   |
|                             | vezelspuiten                                                      |

**tabel 20** toepassingen handlamineren

## Varianten

### Vacuüm bagging

Het geïmpregneerde product wordt ingepakt in vacuümfolie en een scheurweefsel (vlies dat lucht afvoert en overtollig hars opneemt). Het uitharden gebeurt hierbij in een zak die vacuüm gezogen wordt, hierdoor is de kwaliteit te verbeteren; minder luchtinsluitingen, scherpere overgangen, betere verdeling van de vezels. Het vezelgehalte kan oplopen tot 50%. Deze techniek is ook toe te passen voor thermoplastische composieten.

### Pressure bagging / vacuum-pressure bag proces

Hierbij gaat men nog een stapje verder; over de vacuüm zak wordt een tweede zak aangebracht. Tussen de binnen - en buitenzak wordt vervolgens druk gezet (ca. 3 bar).

### Autoclaaf

Is nog hogere eisen worden gesteld aan het product kan gebruik worden gemaakt van een autoclaaf: Een oven waarin het product uithardt onder invloed van een verhoogde temperatuur (100° tot 400°C) en druk (2 tot 14 bar). Hiermee worden hoogwaardige producten gemaakt voor bijvoorbeeld de luchtvaartindustrie. De grootte van het product wordt hierbij beperkt door de grootte van de autoclaaf.

Hydroclaaf In een hydroclaaf kunnen nog hogere drukken bereikt worden (tot 70 bar), dit is echter een vrij exotische variant.

## Vezelspuiten

### roving

Vezelspuiten is een halfgeautomatiseerde vorm van het handlamineren. Er wordt een enkelvoudige mal gebruikt. Lossingsmiddel en eventueel gelcoat worden op de mal aangebracht. Als deze gedroogd zijn wordt er met een spuitpistool een mengsel van hars en vezels op de mal aangebracht. Dit kan handmatig of robotaangestuurd worden gedaan.

De glasvezels komen van een rol en worden in een spuitpistool in de gewenste lengte gehakt. Hars en gesneden glasrovings (glasmatten) worden gelijktijdig op de enkelvoudige mal gespoten.

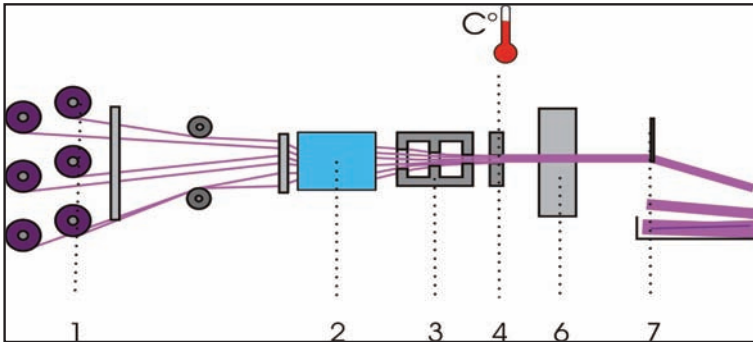
Het wapeningsmateriaal kan ook in de vorm van rovings door een snijapparaat gevoerd en op de gewenste vezellengte gesneden worden. Het snijapparaat en de harssproeikop vormen meestal één geheel. De gesneden roving wordt in de harsstraal geslingerd en meegevoerd. Vervolgens wordt de aangebrachte laag aangerold en ontlucht. Dit procédé wordt herhaald tot de gewenste eigenschappen en materiaaldikte zijn bereikt.

Nadat het hars voldoende is uitgehard, wordt het vormstuk van de mal gelost en zonodig nabewerkt. Luchtinsluitsels worden uit het product gerold net als bij handlamineren.

| toepassingen Vezelspuiten |                                                                                            |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
|                           | vaten                                                                                      |
|                           | bakken                                                                                     |
|                           | scheepsrompen                                                                              |
| kenmerken                 |                                                                                            |
|                           | investeringskosten zijn laag                                                               |
|                           | tijdwinst t.o.v. lamineren                                                                 |
|                           | wanddikte eenvoudig te variëren, gemakkelijker dan bij handlamineren                       |
|                           | geschikt voor grote producten in kleine series                                             |
|                           | luchtinsluitsels veroorzaken zwakke plekken                                                |
|                           | aan één zijde is een goede afwerking mogelijk                                              |
|                           | automatische spuitsystemen zijn iets economischer voor grote series dan voor handlamineren |

tabel 21 toepassingen en kenmerken

## ■ Pultrusie



figuur 22 pultrusie

1. vezels op rol
2. harsbad
3. voormatrijs
4. verwarme matrijs
5. afbramen
6. zaag

Pultrusie is een continu-proces voor de productie van profielen in allerlei soorten en maten (te vergelijken met extrusie). Bundels (glas)vezels die in hars gedrenkt zijn, worden door twee of meer vormgevingsmatrijzen getrokken. De eerste matrijs (de preforming) verwijdert de overtollige hars en de ingekapselde lucht.

Zitharding vindt plaats in een verwarmd gedeelte van de matrijs. Voor grotere en complexere profielen wordt de hars in de matrijs geïnjecteerd.

Het proces laat een zeer grote variëteit aan profieldoorsneden, vezelmaterialen en harssystemen toe. Vanwege de productiemethode zijn de vezels sterk georiënteerd in de lengterichting van het profiel. Het is echter ook mogelijk weefsels, mat en vliezen in de doorsnede te verwerken. De profielen zijn halffabrikaten die eenvoudig kunnen worden bewerkt. Constructieprincipes sluiten goed aan bij gangbare technieken voor staalconstructies.

Voor pultrusie kunnen alle warmhardende harsen gebruikt worden, meestal onverzadigde polyesters (UP) of epoxyhars (EP).

Men kan alle continue uni-directionele vezelsoorten gebruiken, maar het meest gebruikt zijn de glasvezelgarens

| toepassingen Pultrusie |                                                                |
|------------------------|----------------------------------------------------------------|
|                        | profielen                                                      |
|                        | ladders                                                        |
|                        | bordessen                                                      |
|                        | roosters                                                       |
|                        | dragende constructies                                          |
|                        | bruggen                                                        |
| kenmerken              |                                                                |
|                        | continu proces, daarom consistente kwaliteit                   |
|                        | zeer geschikt voor profielen en buizen                         |
|                        | hoge sterkte en stijfheid (iets hoger dan bij extrusie)        |
|                        | gunstigere stijfheid/ gewichtsverhouding dan aluminiumextrusie |
|                        | goede kwaliteitsbeheersing uitvoerbaar                         |
|                        | pultrusie is duurder dan alu- / thermoplastische extrusie      |
|                        | goede oppervlakte afwerking                                    |
|                        | ononderbroken lengte                                           |
|                        | goede maatbeheersing                                           |
|                        | geschikt voor alle soorten of combinaties van vezels           |
|                        | hoog vezelvolumen haalbaar (tot circa 70%)                     |
|                        | hoog vezelvolumen geeft specifieke stijfheid en sterkte        |
|                        | goede kleurmogelijkheden                                       |
|                        | uitstekende kruip en vermoeiingssterkte                        |
|                        | gebruik van polyesther en epoxy mogelijk                       |

**tabel 23** toepassingen en kenmerken

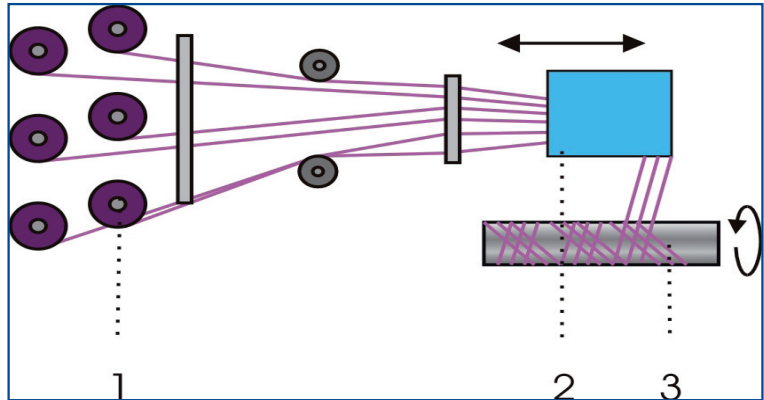
## Varianten

### Pulshaping

Met deze techniek zijn producten mogelijk met een variabele doorsnede in de lengterichting.



## Wikkelen



figuur 24 wikkelen

1. vezels op rol
2. harsbad
3. kern

Bij deze techniek worden continue vezels (rovings) in een harsbad met polyesterhars doordrenkt en vervolgens om een ronddraaiende matrijs (kern of mandril) gewikkeld volgens een precies uitgestippeld patroon. Door de wikkelhoek te wijzigen, zijn de sterkte en de stijfheid gericht te sturen. Wanneer de hars voldoende is uitgehard, wordt de matrijs verwijderd. Soms wordt gebruikgemaakt van kernen die kunnen worden uitgespoeld of opgelost, of van 'liners'. Liners zijn dunwandige kernen van staal of kunststof. Deze blijven in het product achter.

Het wikkelen kan met de hand of CNC-gestuurd gebeuren. Wanneer de mal voldoende omgewikkeld is, gaat deze in een autoclaaf om onder gecontroleerde condities uit te harden. Na uitharding van de kunststof wordt de wikkeldoorn uit het product genomen.

Dit kan geschieden doordat de wikkeldoorn lossend (deelbaar) is, maar kan ook door middel van smelten, oplossen of uitbikken. Bij het wikkelen gebruikt men voornamelijk onverzadigd polyester (UP) en epoxyhars (EP). Als vezelversterking gebruikt men uni-directionele garens of banden. De wikkeldoorns kunnen vervaardigd zijn uit aluminium, kunststof, hout of een speciaal zout (vanwege de oplosbaarheid).

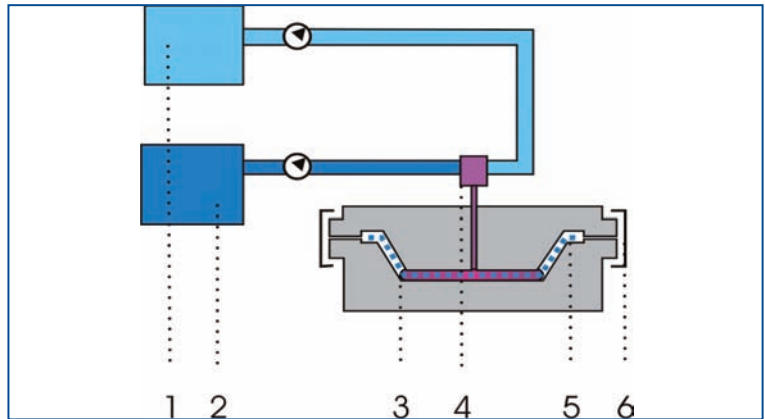
In sommige gevallen maakt de wikkeldoorn onderdeel uit van het product zelf (bijvoorbeeld vliegwiel).

| toepassingen Wikkelen |                                                                              |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------|
|                       | buizen                                                                       |
|                       | drukvaten                                                                    |
|                       | windmolenbladen                                                              |
|                       | hengels                                                                      |
|                       | masten                                                                       |
| kenmerken             |                                                                              |
|                       | mogelijkheid om rotatiesymmetrische producten te vervaardigen                |
|                       | richting van de vezels goed te sturen                                        |
|                       | grote holle producten kunnen uit één stuk gemaakt worden                     |
|                       | geschikt voor veel vezel en hars-systemen                                    |
|                       | ook bruikbaar voor thermoplasten                                             |
|                       | kan gebruikt worden om onderdelen van bijvoorbeeld aluminium te versterken   |
|                       | wikkelhoek van de diverse lagen zijn bepalend voor sterkte en stijfheid      |
|                       | geen vezels in de richting van de rotatieas (in tegenstelling tot pultrusie) |

**tabel 25** toepassingen en kenmerken

## Gesloten maltechnieken

### ■ RTM....Resin transfer moulding



figuur 26 Resin Transfer Moulding

1. hars
2. harder
3. vloeifront
4. mengkop
5. weefselmat
6. gereedschapsklem

Als eerste worden droge vezelmatten in een mal opgesteld.

De materialen en oriëntatie van de vezels worden per toepassing in de engineeringfase bepaald (voor optimale opbouw en eigenschappen). In de opbouw van een product kan direct een kernmateriaal opgenomen worden.

In de laminaten kunnen geleidingsmatten geïntegreerd worden die bij vacuüminjectie de hars geleiden. Vervolgens komt er over het buitenste laminaat een "peelply". (peelply is een poreuze laag).

Het pakket wordt dan onder een kunststof laag vacuüm getrokken. In het complete systeem wordt plaatselijk hars toegelaten. De hars verspreidt zich in de mal waardoor de vezels geïmpregneerd worden. Na uitharden van het product wordt het vacuüm verwijderd en het product kan worden gelost.

### Proces

Bij overdruk spreekt men van drukinjectie, bij onderdruk van vacuüminjectie

| toepassingen RTM |                                                                  |
|------------------|------------------------------------------------------------------|
|                  | boten                                                            |
|                  | windmolenbladen                                                  |
|                  | grote bakken                                                     |
|                  | vaten                                                            |
| kenmerken        |                                                                  |
|                  | cyclustijd korter dan bij lamineren                              |
|                  | product aan beide zijden glad d.m.v. gelcoat                     |
|                  | de styreenemissie blijft laag door gesloten mal                  |
|                  | redelijk hoog vezelgehalte (meer dan 50%)                        |
|                  | laag gehalte luchtinsluitels                                     |
|                  | schoon proces in vergelijking met handlamineren                  |
|                  | middelgrote tot grote producten                                  |
|                  | gebruik van vezelmatten maken hoge stijfheid en sterkte mogelijk |
|                  | schuimdelen maken hoge stijfheid/ gewichts verhoudingen mogelijk |
|                  | seriegrootte van 10 tot 1000                                     |
|                  | kwaliteit van handlamineren is minder constant                   |

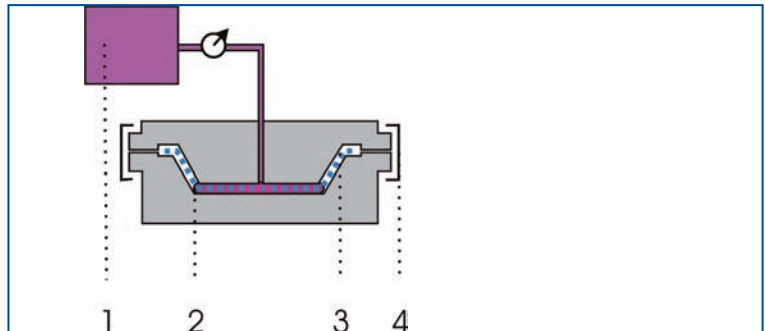
*tabel 27 toepassingen en kenmerken*

## Varianten

### Vacuümfolietechniek

(VARTM/VARI) (niet te verwarren met vacuüm bagging)  
 In plaats van een bovenmal wordt hierbij een folie gebruikt. Hierdoor zijn de investeringen lager, het oppervlak aan de foliekant is echter minder goed afgewerkt.

### ■ **RIM**....Reaction Injection Moulding, spuitgieten, persen



**figuur 28** Reaction Injection Moulding

1. hars en harder
2. vloeifront
3. weefselmat
4. gereedschapsklem

Twee reactieve componenten worden in een gesloten matrijsholte gespoten. In de matrijs reageren deze met elkaar, waarna uitharding volgt. Het is bij deze techniek mogelijk om zowel korte vezels als vulstoffen mee te spuiten. De techniek wordt dan aangeduid als RRIM (Reinforced RIM). Versterkingsmaterialen kunnen naar wens van te voren in de matrijs gelegd worden (RTM).

Deze techniek wordt vooral gebruikt met poly-urethaan (PUR) en nylon (PA).

| toepassingen RIM |                                                                    |
|------------------|--------------------------------------------------------------------|
|                  | diverse panelen                                                    |
|                  | bumpers                                                            |
|                  | grills                                                             |
|                  | kasten                                                             |
|                  | helmen                                                             |
|                  | surfplanken                                                        |
| kenmerken        |                                                                    |
|                  | grote, relatief complexe producten                                 |
|                  | aluminium of kunststof matrijs mogelijk door<br>relatief lage druk |
|                  | schoon proces                                                      |
|                  | energiezuinig                                                      |

**tabel 29** toepassingen en kenmerken

### ■ Compression molding....warm /nat persen

Bij warm / nat persen worden er eerst vezels in de mal aan-gebracht. De persmassa kan in tabletvorm worden geleverd. Vervolgens wordt er hars ingebracht. Door de boven en ondermal op elkaar te persen (met lage druk) wordt het materiaal in de gewenste vorm gedrukt. Het overtollige materiaal wordt hierbij uit de vormholte gedrukt. De matrijs wordt verwarmd (135-170 °C) hoge druk (1-6 MPa). Tegelijkertijd wordt de polycondensatie voltooid. Na het uitharden worden de randen afgewerkt.

Voor snelle verwerkbaarheid is de eerste fase van polycondensatie reeds bij de fabrikant uitgevoerd. De hars is dan in smeltbare toestand en de netvorming vindt onder invloed van de erdoor gemengde harder pas plaats onder druk en bij een verhoogde temperatuur.

De harsdrager kan de laatste resten van het afgesplitste product opnemen. Het voorwerp blijft net zolang in de mal tot het is uitgeharden (uithardingstijd is 1min / mm wandikte). Het krijgt een glad en glanzend oppervlak waardoor het tegen warmteopname wordt beschermd.

Cyclustijd wordt korter, complexe vormen mogelijk. Matrijzen voor warm nat persen zijn complexer dan koud nat matrijzen.

| toepassingen Compression Moulding |                                           |
|-----------------------------------|-------------------------------------------|
|                                   | vaten                                     |
|                                   | baden                                     |
|                                   | boten                                     |
| kenmerken                         |                                           |
|                                   | lage druk                                 |
|                                   | relatief lichte matrijzen (dus goedkoper) |
|                                   | aan beide zijden een glad oppervlak       |
|                                   | inserts mogelijk                          |
|                                   | middelgrote producten                     |
|                                   | middelgrote series                        |
|                                   | ribben zijn niet mogelijk (bij RTM wèl)   |

**tabel 30** toepassingen en kenmerken

## Varianten

### **Nat koud persen (of kortweg koud persen)**

Wordt gebruikt voor thermoharders die niet verwarmd hoeven te worden om uit te harden

### **Warm / nat persen**

(of warmpersen): Hierbij wordt de mal verwarmd om de hars te laten uitharden.

---

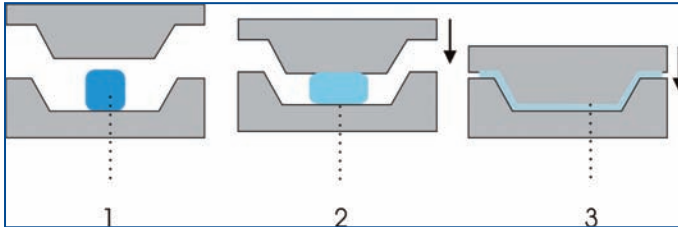
### ■ DMC, SMC, BMC-persen

DMC, SMC en BMC zijn benamingen voor de grondstof waarvan onder druk en verhoogde temperatuur (150 °C) producten worden geperst. DMC staat voor Dough Moulding Compound, SMC voor Sheet Moulding Compound en BMC voor Bulk Moulding Compound.

De materialen zijn te verkrijgen in verschillende types en kwaliteiten. De drie basis hars-systemen zijn:

- Orthophthalic, meestal gebruikt voor lagere kosten en lagere kwaliteit.
- Isophthalic, heeft goede hitte-, chemische en taaie-eigenschappen.
- Maleic, voor het verbeteren van oppervlakte-eigenschappen.

### ■ DMC....Dough moulding compound



figuur 31 Dough Moulding Compound

1. Materiaal
2. Half samengeperst materiaal
3. Materiaal gevormd naar matrijs (product)

Het persen van dough moulding compound is een batch-proces. Hiervoor worden gesneden glasvezels, minerale vezels, katalysatoren en lossingsmiddel in een speciale mixer gemixt. Het mengsel wordt tot een koordtype geextrudeerd.

Voor DMC wordt gebruik gemaakt van injectie en persen. Kleinere producten worden vaak met injectie (of transfer) vervaardigd. Bij persen wordt de hoeveelheid materiaal nauwkeurig afgewogen. Deze wordt dan in de matrijs geplaatst. Door de verhitte matrijs en de druk wordt het materiaal in de mal gestuwd. De hitte activeert de hars, waardoor deze begint met uitharden.

Een variatie is Transfer Moulding. Hierbij wordt het materiaal in een kamer in het gereedschap geplaatst. De matrijs wordt gesloten en een pers drukt het materiaal door de runners in de matrijs.

De schurende werking van de vezels zorgt ervoor dat de matrijs van een hardmetaal gemaakt moeten worden. De matrijzen worden verhit door olie of elektrisch.

| toepassingen Dough Moulding Compound |                                   |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
|                                      | borden                            |
|                                      | machineonderdelen                 |
|                                      | spoorweg isolatoren               |
|                                      | oven- en magnetron onderdelen     |
|                                      | straatverlichtingsarmaturen       |
|                                      | elektrische afschermingen         |
|                                      | tosti-ijzerbehuizingen            |
|                                      | watertank panelen                 |
|                                      | magnetronbestendig keukengerei    |
|                                      | meterkast                         |
|                                      | witgoed                           |
| kenmerken                            |                                   |
|                                      | grote platte producten            |
|                                      | geschikt voor voertuig-onderdelen |
|                                      | automotive panelen                |
|                                      | oven en magnetron onderdelen      |

**tabel 32** toepassingen en kenmerken

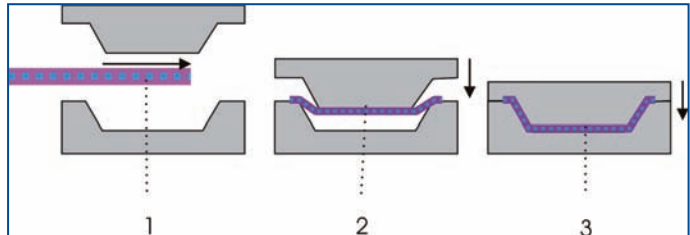
### ■ BMC....Bulk moulding compound

Bij BMC persen wordt een deegachtige massa van polyesterhars en korte glasvezels gebruikt ( $\pm 6$  mm)

| toepassingen Bulk Moulding Compound |                                                                                   |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
|                                     | vrachtwagenspoilers                                                               |
|                                     | autocarrosserieonderdelen                                                         |
|                                     | schotelantennes                                                                   |
|                                     | panelen                                                                           |
|                                     | stadionstoelen                                                                    |
|                                     | schakelhuizen                                                                     |
|                                     | chassis                                                                           |
|                                     | elektronische apparatuur                                                          |
| kenmerken                           |                                                                                   |
|                                     | geschikt voor kleine producten                                                    |
|                                     | niet geschikt voor grote oppervlaktes door korte vezels                           |
|                                     | vormmogelijkheden zijn redelijk groot (vergelijkbaar met smeden van metalen)      |
|                                     | stijfheid hoog, maar lager dan bij RTM                                            |
|                                     | relatief hoge matrijskosten (maar lager dan bij spuitgieten)                      |
|                                     | seriegrootte ongeveer 3000 stuks (voor kleinere series VRTM of SMC meer geschikt) |
|                                     | goede reproduceerbaarheid                                                         |
|                                     | korte cyclustijd                                                                  |
|                                     | goede oppervlakte mogelijk met behulp van coating (In Mould Coating)              |
|                                     | hoge maatnauwkeurigheid                                                           |
|                                     | lage styreenemissie                                                               |

**tabel 33** toepassingen en kenmerken

### ■ SMC....Sheet moulding compound



figuur 34 Sheet Moulding Compound

1. SMC plaat
2. half geperste plaat
3. volledig geperste plaat in productvorm

(Plaatmateriaal)-persen, ook wel warm persen genoemd is een continu-batch proces. Een SMC bestaat uit matten met glasvezels van 20 tot 30 mm, met als toplaag polyesterhars. In enkele gevallen worden er continue vezels toegevoegd. De glasvezels zijn in principe niet georiënteerd. De hars is enigszins voorgehard. Deze thermohardende hars heeft een zeer hoge viscositeit, zodat het halffabricaat eenvoudig is te lamineren.

De SMC wordt een verwarmde (metalen) matrijs geplaatst. De druk in deze matrijs is ongeveer 80-150 bar. De temperatuur van de mal (130 °C tot 160 °C) zorgt ervoor dat het materiaal eerst verweekt (om in de vorm te vloeien) om vervolgens uit te harden. Na volledige uitharding kan het product uit de matrijs gehaald worden.

SMC-platen worden gemaakt door een pasta bereid uit hars, styreen, hitte-activeerbare katalysatoren, inerte vulstoffen, lossingmiddel en stijfsel. Daarna wordt de pasta gelijkmatig aangebracht op een kunststof onderfilm. Vervolgens wordt er willekeurig gesneden glas opgestrooid.

Daarna wordt de toplaag aangebracht en de sandwich constructie wordt uitgerold tot een voorbepaalde dikte. De uitharding duurt 48 uur.

SMC's kunnen in rol of velvorm aangeleverd worden. Tijdens het proces kan een In Mould Coating (IMC) op het product worden aangebracht. Dit gebeurt nadat de hars de gehele matrijsholte heeft gevuld. Deze coating zorgt voor een verbetering van de oppervlaktekwaliteit aan de zichtzijde

| kenmerken Sheet Moulding Compound |                                                                      |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|                                   | geschikt voor middelgrote schaalvormige producten                    |
|                                   | goede oppervlakte mogelijk met behulp van coating (In Mould Coating) |

*tabel 35 kenmerken*

### ■ GMT....Glasmat versterkte thermoplast

De grondstof voor deze techniek is een thermoplast (meestal polypropyleen, PP) gemengd met glasvezels (20-40%). Deze grondstof wordt geleverd in plaatvorm (blanks). Het op maat geknipte materiaal wordt op een lopende band verwarmd in een infrarood oven tot 190-210 °C.

Hierbij smelt het PP, maar de glasmat zorgt voor de samenhang. Het verwarmde materiaal dat uit de oven komt, wordt handmatig of met een robot ingelegd in een matrijs. De pers sluit met hoge snelheid en onder hoge druk vloeit het materiaal uit.

De matrijstemperatuur is 50-60 °C. Na 10-15 seconden (afhankelijk van de wanddikte) is het product gestold, waarna de matrijs wordt geopend.

Met uitwerpers wordt het product uit de matrijs gestoten.

| toepassingen GMT |                                                                    |
|------------------|--------------------------------------------------------------------|
|                  | zitschalen                                                         |
|                  | motoromkapselingen (noise shields)                                 |
|                  | accubakken                                                         |
|                  | bumperdragers                                                      |
| kenmerken        |                                                                    |
|                  | korte cyclustijd                                                   |
|                  | goede maatbeheersing                                               |
|                  | complexe vormen mogelijk door hoge vloeibaarheid van het materiaal |
|                  | geschikt voor massaproductie                                       |

**tabel 36** toepassingen en kenmerken

## ■ Autoclaaf

De autoclaaf is een oven waarin temperatuur en druk instelbaar zijn. In een autoclaaf worden producten uitgehard onder hoge druk en temperatuur. Het product ligt hierbij in een enkelzijdige mal ingepakt onder een vacuümfolie. Door de verhoogde druk en temperatuur is een hoog vezelgehalte en een laag gehalte aan luchtinsluitingen mogelijk. De hoge temperatuur maakt toepassing van warmhardende harssystemen -meestal epoxy- mogelijk. Voordelen hiervan zijn het werken met van tevoren geïmpregneerde vezels en goede mechanische en thermische eigenschappen van het eindproduct. De prepregs worden op rol aangeleverd door de materiaalfabrikant en zijn eenvoudig op maat te snijden. Het uithardingproces wordt met temperatuur en druk gestuurd en verloopt daardoor gecontroleerd.

Vezels en vezelmatten worden voor deze techniek vooraf geïmpregneerd, onder druk en warmte of met een oplosmiddel, met een voorgekatalyseerde hars. Het materiaal is op deze manier enkele weken of maanden te gebruiken. Om de gebruiksduur of opslagtijd te verlengen wordt het materiaal vaak bevroren.

De hars is bij kamertemperatuur bijna uitgehard waardoor het een plakkerig gevoel geeft. Prepregs worden handmatig op een maloppervlak gelegd, vacuüm getrokken en vervolgens verhit tot 120-180 °C (Low Temperature prepregs harden uit bij temperaturen tussen 60-100 °C). Hierdoor wordt de hars in eerste instantie weer vloeibaar en zal in tweede instantie uitharden.

| toepassingen Autoclaaf |                                                                      |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|                        | luchtvaart                                                           |
|                        | ruimtevaart                                                          |
|                        | racewagens                                                           |
|                        | volvo-oceanracer                                                     |
| kenmerken              |                                                                      |
|                        | hoogwaardige producten                                               |
|                        | kleine series                                                        |
|                        | minder luchtinsluitingen dan bij handlamineren of spuiten            |
|                        | hoog vezelgehalte haalbaar                                           |
|                        | goed gecontroleerde vezelplaatsingen d.m.v. unidirectionele prepregs |
|                        | zeer schoon proces met weinig afval                                  |
|                        | zeer goede maatbeheersing                                            |
|                        | complexe vormen mogelijk (ribben, sandwiches, kleine wanddiktes)     |

**tabel 37** toepassingen en kenmerken

---

### ■ Tow placement technology

Tow placement technology, is een technologie om de vulstof vezel voor vezel in een mal te leggen. Het wordt gebruikt voor zeer complexe producten met name voor toepassingen in de vliegtuig industrie

## ■ Ontwerpen

De vrijheid die de composieten bieden, houdt ook een gevaar in. Door verkeerd gekozen vezeloriëntaties kunnen allerlei ongewenste effecten optreden, die bij metalen uitgesloten zijn.

Een voorbeeld hiervan is het geheel weglaten van vezels in de richting waar geen spanningen zouden optreden. In de praktijk treden er in constructies vaak wel spanningen op in richtingen waar men het in eerste instantie niet zou verwachten. Denk hierbij vooral aan krachtsinleidingen, hanteringskrachten, dwarscontractie en randeffecten. Een dunne constructie met vezels in één richting kan al breken door het verkeerd te hanteren. Composieten gedragen zich in dit opzicht hetzelfde als hout: soms is het verstandiger om multiplex te gebruiken in plaats van massief hout, met name op plaatsen met verbindingen.

Belangrijk is om te letten op:

- vezelrichting
- vezellengte loodrecht op de richting van de kracht
- soms kruislings om externe krachten tegen te gaan



## ■ Hoofdstuk 6

### Cases

#### ■ Volvo ocean racer

De Volvo ocean race is een zeilwedstrijd rond de wereld die elke 3 jaar gehouden wordt. De boten komen in aanraking met zeer extreme weersomstandigheden. De boten moeten dus bijzonder sterk en stijf zijn.

De eisen aan de Volvo ocean racer van ABN-AMRO zijn vergelijkbaar met een formule 1 auto: tijdens zeer extreme omstandigheden en bij hoge snelheden moeten deze voertuigen bescherming bieden aan mensen. De boot is daarom zwaar overgedimensioneerd.

De productie van zo'n boot gaat op de volgende wijze: verschillende lagen carbonvezels worden loodrecht op elkaar gelegd, en vervolgens met een harslaag geïmpregneerd. Om luchtinsluitels te voorkomen is ervoor gekozen om gebruik te maken van een peelply (poreuze laag). Daaroverheen wordt een vacuümzak getrokken om alle luchtinsluitels af te voeren. Daarna moet de boot 24 uur in een autoclaaf bij 120 °C uitharden. De hars wordt door de hitte eerst vloeibaar, waardoor de peelply de overtollige hars op kan nemen. De peelply wordt verwijderd, waardoor de kans op luchtinsluitels minimaal is.

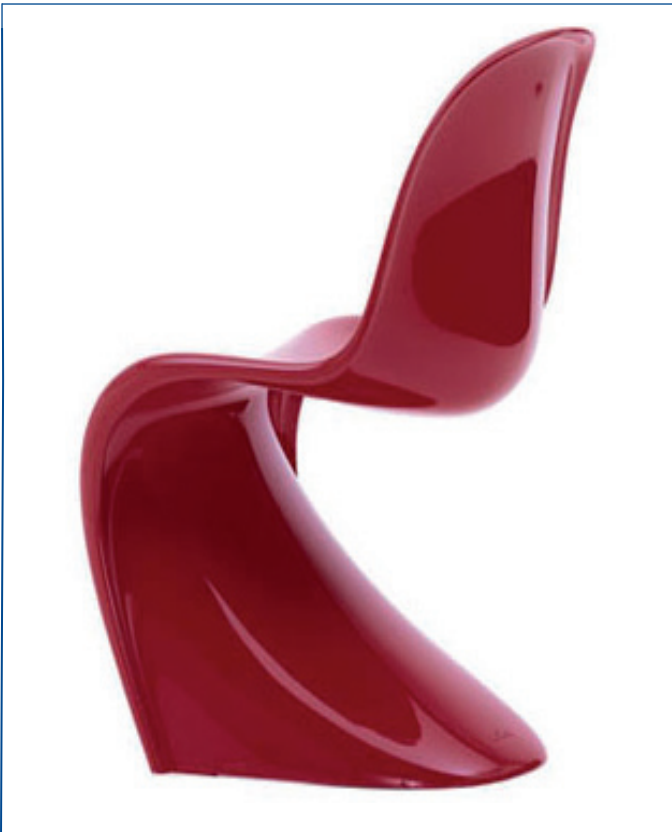
|                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| materiaal       | carbon/epoxy    |
| gewicht         | 1800 kg         |
| uitharden       | in de diepvries |
| uithardingstijd | ongeveer 48 uur |

*tabel 38 materiaal specificatie*

## ■ Panton Stoel

De Panton stoel is een mooi voorbeeld van een hoogwaardig composiet serie product. Deze stoel wordt vervaardigd door middel van vacuüm injectie techniek. Droge koolstofmatjes worden in een mal gelegd. De mal wordt gesloten en vervolgens geïnjecteerd met polyesterhars. De vezellaag wordt hierdoor volledig doordrenkt met epoxy.

Er wordt vaak gebruik gemaakt van 'chopped strands' (gestrooide glasvezels) om op een goedkope manier dikte en stijfheid te creëren. Dit is een zeer rendabele techniek bij een serie van een paar honderd. Omdat de matrijskosten laag zijn (houten of aluminiummal kan volstaan) is het geschikt om een betaalbaar composiet product te fabriceren.

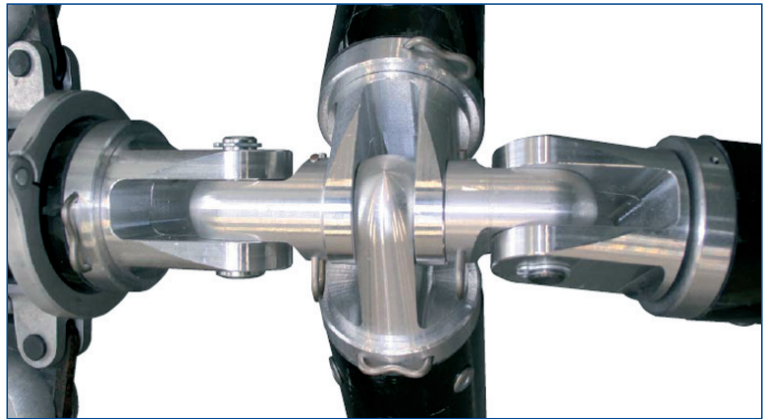


figuur 39 Panton stoel

### ■ 3D-connect

Creative constructions maakt modulaire bouwkoppelingen (het 3D-connect systeem) van carbon. Deze koppelingen kunnen voor veel doeleinden gebruikt worden.

Het productieproces bestaat uit het spuitgieten van carbon versterkte epoxy. In dit product mogen totaal geen oneffenheden zitten. Een klein luchtinsluitsel kan al grote gevolgen hebben voor de constructie, en dit moet dus te allen tijde voorkomen worden. Dit gebeurt door het productieproces zo nauwkeurig mogelijk uit te voeren.



*figuur 40* bouwkoppeling

## ■ RT orbit blocks

Ronstan maakt zeilbootkatrollen (RT orbit blocks) van carbon. Deze werden eerst gemaakt van RVS of aluminium, maar omdat er met carbon minder materiaal nodig is, en daarom minder gewicht om dezelfde krachten op te vangen, worden deze katrollen nu van carbon gemaakt. Het gaat hierbij om lang vezelige kunststoffen. Door deze materiaalomschakelingen zijn deze katrollen de lichtste ter wereld. De gewichtsbesparing is zo'n 30% zonder verlies van de hoogwaardige eigenschappen.

Het product is geheel met de computer gemodelleerd om alle interne spanningen te optimaliseren. De vezel die gebruikt is, is 10x zo sterk en lichter dan staal. Het bedrijf dat de matrijzen hiervoor maakt is Axiom ([axiom.co.nz](http://axiom.co.nz))

De 3D-connect en RT orbit blocks zijn voorbeelden van 'specialties'. Hiermee gaat een grote investering gepaard, maar daartegenover staat dat er weinig tot geen bedrijven zullen zijn die deze markt zullen overnemen.



figuur 41 zeilbootkatrol

### ■ Mogelijke uitdagingen

De laatste tijd is er een verplaatsing gaande van productie-activiteiten naar Aziatische landen. Dit komt vooral door de lage uurlonen die daar gehanteerd worden. De bedrijven daar zijn vooral geïnteresseerd in producten die in grote series en zonder hoogwaardige processen gemaakt kunnen worden.

De westerse wereld zou daarom meer naar hoogwaardige productieprocessen moeten kijken, omdat we de kennis en de mogelijkheden hiervoor hebben. Composieten zouden hier een goede optie kunnen zijn.



## RAAK-SIA

Dit boekje is gerealiseerd in het kader van het project "Materialen in Ontwerp", gesubsidieerd door RAAK SIA. (Stichting Innovatie Alliantie).

Het lectoraat Industrial Design heeft samen met bedrijven kennis ontwikkeld op de drie volgende thema's::

### ■ Nieuwe materialen en systeemintegratie.

Op welke wijze kunnen nieuwe materialen bijdragen aan de functionaliteit van het project?

### ■ Duurzaamheid.

Welke materialen bieden de combinatie van positieve life cycle analyses én functionaliteit, toepasbaarheid en maakbaarheid?

### ■ Gebruiksgerichte materialen.

Hoe kan vanuit kritische gebruikssituaties de vertaling gemaakt worden naar de (functionele) rol van materialen? Hoe kan de beleving van materialen (zacht, hard, flexibel, warm) in actieve zin gebruikt worden in de toepassing ervan? De 'look' van een product wordt voor een groot deel bepaald door het gebruikte materiaal. Op welke wijze kan de 'kunst' van het materiaal gebruikt worden in het ontwerpproces.



## RAAK

RAAK staat voor: **Regionale Aandacht en Actie voor Kenniscirculatie** en is een regeling vanuit het Ministerie van OCenW.

### Doelstelling

De initiële doelstelling van deze regeling is om de kennisuitwisseling tussen hogescholen, BVE-instellingen en het midden- en kleinbedrijf in regionale innovatieprogramma's te verbeteren. Daarbij gaat het vooral om het versterken van de kennisbrugfunctie die deze instellingen kunnen hebben in de relatie tussen MKB-bedrijven en het totaal van de kennisinfrastructuur.

## ■ Bronvermelding

### Presentatie

- vezelversterkte thermoharders  
Joris Swaak

### Literatuur

- Polymeren -van keten tot kunststof-  
A.K. van der Vegt  
L.E. Govaert
- Kunststoffen, IO serie bijzondere ontwerpen 5  
M.W.v. Dalen
- Module F Branche- en procesbeschrijvingen  
FO-Industrie
- Lesbrieven materialen  
GPO Venlo

### Internet

- [www.nps.nl](http://www.nps.nl)
- [www.designinsite.dk](http://www.designinsite.dk)
- [www.egberts-rubber.nl](http://www.egberts-rubber.nl)
- [www.jsw.co.jp](http://www.jsw.co.jp)
- [www.hollandcomposites.nl](http://www.hollandcomposites.nl)
- [www.cato-composites.com](http://www.cato-composites.com)
- [www.npsp.nl](http://www.npsp.nl)
- [www.tindvenlo.nl](http://www.tindvenlo.nl)
- [www.regattatime.nl](http://www.regattatime.nl)
- [www.creativeconstructions.com](http://www.creativeconstructions.com)
- [www.productionnavigator.nl](http://www.productionnavigator.nl)
- [www.conform.nl](http://www.conform.nl)
- [www.princefibretch.com](http://www.princefibretch.com)
- [www.bpf.co.uk](http://www.bpf.co.uk)
- [www.plasticsnews.com](http://www.plasticsnews.com)
- [www.techwood.com](http://www.techwood.com)
- [www.heideveld-polyester.nl](http://www.heideveld-polyester.nl)
- [www.kunstbus.nl](http://www.kunstbus.nl)

**Bedrijven**

## ● OMFL

[www.omfl.nl](http://www.omfl.nl)  
dhr. ing. F de Vos  
tel. (0320)- 28 67 91



Ontwikkelingsmaatschappij Flevoland B.V.

## ● Hameland Group

[www.hamelandgroep.nl](http://www.hamelandgroep.nl)  
dhr. K Leber  
tel. (0544)- 39 58 00

**Afbeeldingen**

- |                   |                                                                                  |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| ■ carbon fiber    | <a href="http://www.nec.co.jp">www.nec.co.jp</a>                                 |
| ■ carbon          | <a href="http://users.skynet.be">users.skynet.be</a>                             |
| ■ glasvezel fiber | <a href="http://www.profiltra.nl">www.profiltra.nl</a>                           |
| ■ pantonstoel     | <a href="http://ww.funkpopart.com">ww.funkpopart.com</a>                         |
| ■ 3D/connect      | <a href="http://www.creativeconstructions.com">www.creativeconstructions.com</a> |
| ■ Orbitblock      | <a href="http://www.skaane.no">www.skaane.no</a>                                 |

**RAAK**

- Stichting Innovatie Alliantie  
[www.innovatie-alliantie.nl](http://www.innovatie-alliantie.nl)

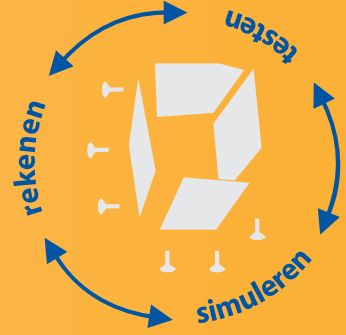
# Creatieve Productanalyse

Het vertalen van kritische gebruikssituaties naar:

- o rekenmodellen en computersimulatie
- o functioneel testen
- o materiaalkeuze onderzoek

ten behoeve van:

- o opstellen Programma van Eisen
- o verificatie van ontwerp
- o ondersteuning voor certificering
- o productverbetering



# Materialen in Ontwerp

Inspiratiebron bij materiaalkeuze.

Nieuwe mogelijkheden ontdekken door het ontsluiten van kennis over:

- o materiaaltoepassingen en materiaaleigenschappen
- o productie technieken
- o constructie principes en productopbouw

Het Materialen-lab bestaat uit:

- o een materialen bibliotheek met honderden materiaalvoorbeelden in hun specifieke toepassing
- o een interactieve product-databank
- o toegang tot diverse materialen databanken
- o gebundelde kennis van ervaren product ontwerpers

fi for inspiration

# Design for All

Gebruiksgemak voor iedereen.

Voor de jonge en oudere consument, maar ook voor de machine operator, de thuiszorger, de installateur en voor op kantoor.

Door gebruiksonderzoek en het ontwerpen vanuit kritische gebruikssituaties





uitgevoerd door:



in samenwerking met:

