

Het materiaal kunststof

1 Het materiaal kunststof

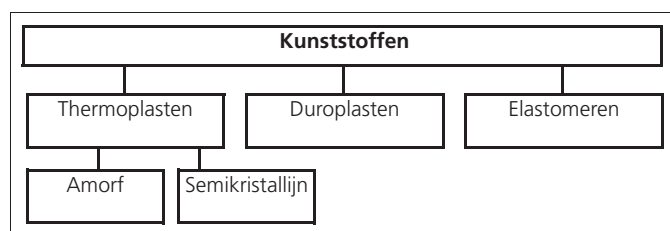
Kunststof is zowel in de techniek als in het dagelijkse leven een bekend begrip en wordt veelvuldig toegepast. Doordat kunststof is doordrongen tot nagenoeg alle aspecten van het dagelijkse leven is dit materiaal niet meer weg te denken uit onze maatschappij. Hoewel we dagelijks hebben te maken met kunststof, moeten de meeste mensen toegeven dat zij eigenlijk weinig weten van dit materiaal.

Ook op het gebied van leidingsystemen, apparatenbouw en de productie van speciale elementen worden ontwerpers en uitvoerders in toenemende mate geconfronteerd met het materiaal kunststof. Op dat moment vraagt menigeen zich af: 'wat is kunststof?', 'Hoe moet ik omgaan met dit materiaal?', 'Welke voordelen biedt dit materiaal ten opzichte van traditionele materialen zoals beton, gietijzer etc.?'.

Om de toegankelijkheid van de algemene kunststoftechniek te vergroten, is in dit hoofdstuk de belangrijkste informatie vastgelegd over kunststof en kunststofverwerkingsmachines. Dit hoofdstuk is dus uitsluitend informatief van aard.

1.1 Indeling van kunststoffen

De kunststoffen worden ingedeeld in drie hoofdgroepen. In afbeelding 1.1 worden de afzonderlijke groepen kunststoffen weergegeven, en in afbeelding 1.2 de structuurmodellen daarvan.



Afbeelding 1.1 Indeling van kunststoffen in hoofdgroepen: thermoplasten, duroplasten en elastomeren

1.2 Duroplasten en elastomeren

Duroplasten en elastomeren spelen bij kunststof leidingsystemen een ondergeschikte rol en worden om deze reden slechts kort behandeld in dese technische hoofdstukken.

Duroplastische kunststoffen bezitten een fijnmazige, macromoleculaire structuur (afbeelding 1.2). Dit heeft tot gevolg dat deze kunststoffen in

de regel hard, bros en niet meer smeltbaar zijn. Om deze reden wordt al bij de fabrikant aan de gietmassa vulmateriaal toegevoegd dat niet alleen een 'opvullende' (materiaalbesparende) taak heeft, maar met name de eigenschappen van de kunststof verbetert. Duroplastische kunststoffen worden in leidingsystemen ondermeer toegepast in de installatiebouw (glasvezelversterkte reservoirs, flenzen etc.).

Elastomeren, beter bekend onder de naam 'rubber', worden door middel van een vernettingsreactie (vulcanisatie) vervaardigd van natuurlijk of synthetisch rubber. De vulcanisatie van het rubber zorgt voor een wijdmazige, ruimtelijke verbinding, die het rubber bij de gebruikelijke toepassingen de typische elastische eigenschappen verleent (afbeelding 1.2). Elastomeren worden in leidingsystemen onder meer toegepast als afdichtingen (O-ringen, vlakke pakkingen etc.) tussen verbindingselementen.

1.3 Thermoplasten

Thermoplasten zijn veel belangrijker voor leidingsystemen. Indien kunststoffen worden toegepast in leidingsystemen zijn dat meestal polyolefinen. De belangrijkste daarvan zijn polyethyleen en polypropyleen. Zij behoren tot de semikristallijne thermoplasten.

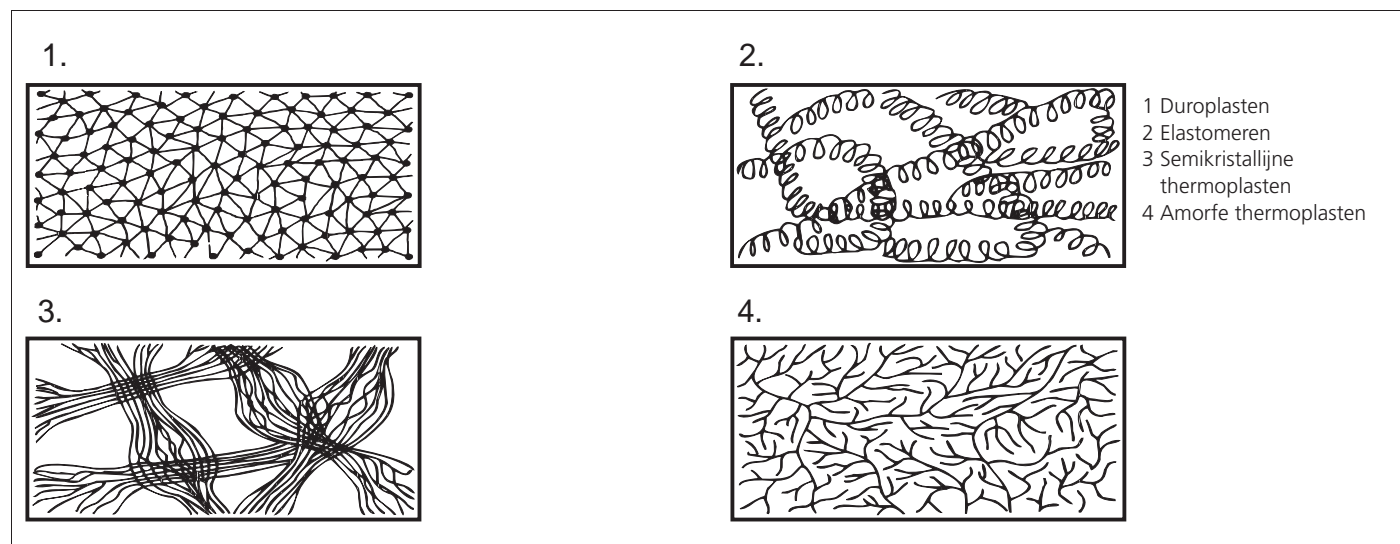
Thermoplasten worden in de regel vervaardigd met behulp van één van de volgende processen:

- polymerisatie
- polyadditie
- polycondensatie

Met behulp van deze processen kan een groot aantal kunststoffen met verschillende eigenschappen worden vervaardigd. Ieder afzonderlijk proces kent verschillende speciale processen, die van invloed zijn op het uiterlijk en de eigenschappen van de kunststoffen. De thermoplasten kunnen worden onderverdeeld in twee subgroepen: amorse en semikristallijne thermoplasten. Daarbij dient te worden vermeld dat kunststoffen tegenwoordig niet in pure vorm worden toegepast, maar ook als mengsels, zogenaamde blends c.q. compounds.

Dit is afhankelijk van het gebruiksdoel en het toepassingsgebied. Met behulp van mengsels kunnen nieuwe of veranderde (mechanische, fysische en chemische) eigenschappen worden gerealiseerd.

Het is echter niet mogelijk om ieder type kunststof naar believe te combineren met een ander type kunststof. Om een verbinding te kunnen realiseren zijn vaak geschikte bindmiddelen of andere additieven vereist.



Afbeelding 1.2 Structuurmodellen van duroplasten, elastomeren en semikristallijne en amorse thermoplasten

Het materiaal kunststof

1.3.1 Amorfe thermoplasten

De ordeningstoestand in het molecuulverband is afhankelijk van diverse beïnvloedingsfactoren. Met name van belang is de chemische opbouw van de ketenmoleculen (c.q. structuur van de macromoleculen). De grote, grove zijketens van de macromoleculen verhinderen een geordende ruimtelijke structuur. Het molecuulverband bevindt zich in een ideale wanorde en komt overeen met de structuur van een dot watten. De bekendste vertegenwoordigers van deze groep zijn:

- polystyreen (PS)
- polycarbonaat (PC)
- polymethylmethacrylaat (PMMA → plexiglas)
- polyvinylchloride (PVC)

Amorfe thermoplasten zijn in ongekleurde toestand glashelder.

1.3.2 Semikristallijne thermoplasten

Bij semikristallijne thermoplasten worden zowel chemisch regelmatige als geometrische gebieden gevormd (afbeelding 1.2). Dat wil zeggen dat er gebieden zijn waarin kristallen worden gevormd. Onder kristallieten worden parallelle bundels van molecuulsegmenten of groeperingen van molecuulketens verstaan. Daarbij kunnen afzonderlijke ketenmoleculen gedeeltelijk het kristallijne of amorfe gebied doorlopen. Soms kunnen zij zelfs behoren tot verschillende kristallieten tegelijk. Semikristallijne thermoplasten bezitten een witachtige kleur. Vanwege de compacte ordening van de moleculen in het kristalverband is in de kristallieten sprake van lichtbreking.

De kristallisatiegraad beïnvloedt in hoge mate de eigenschappen en de doorzichtigheid (transparantie) van de kunststof in ongekleurde toestand. Door een geforceerde afkoeling kan de neiging van de kunststof tot kristallisatie aanzienlijk worden beïnvloed. Belangrijke vertegenwoordigers van de semikristallijne thermoplasten zijn:

- polyethyleen (PE)
- polypropyleen (PP)
- polyoxymethyleen (POM)

1.4 Eigenschappen van amorfe en semikristallijne thermoplasten

Amorfe en semikristallijne thermoplasten bezitten gedeeltelijk afwijkende eigenschappen. De belangrijkste verschillen worden hieronder weergegeven.

Amorfe thermoplasten bezitten in vergelijking met semikristallijne thermoplasten:

- een grotere vastheid
- een grotere stijfheid
- een grotere oppervlaktehardheid
- een hogere oppervlaktekwaliteit
- een geringere warmte-uitzetting
- een geringere neiging tot kromtrekking

Semikristallijne thermoplasten onderscheiden zich van amorfe thermoplasten door:

- een grotere taaheid
- een grotere slagongevoeligheid
- een grotere flexibiliteit en elasticiteit

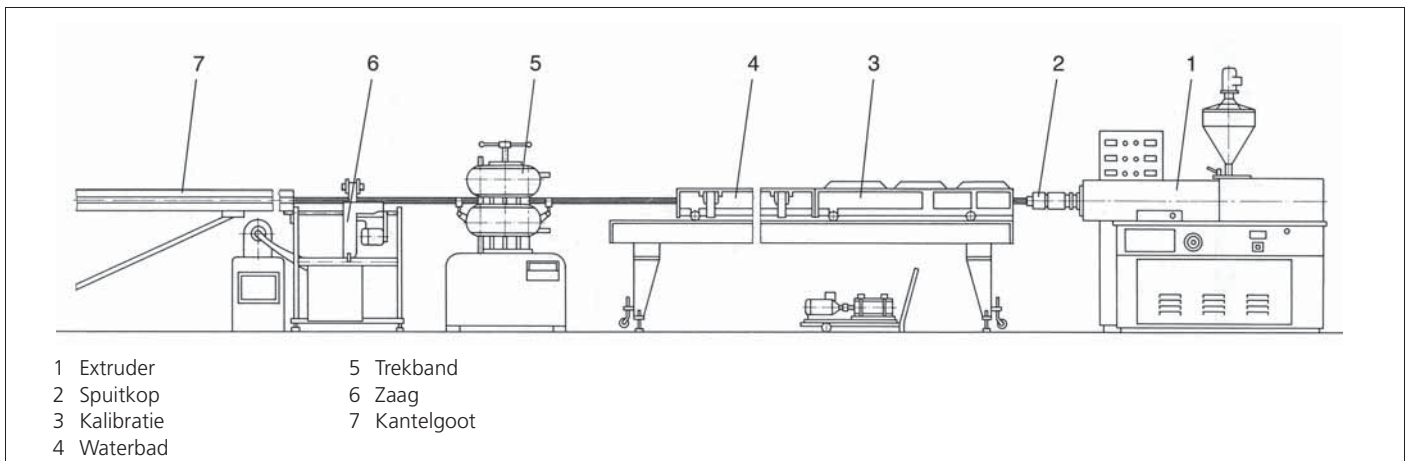
1.5 Kunststofverwerkingsmachines

Kunststoffen (meestal in granulaatvorm) worden in kunststofverwerkingsmachines verwerkt tot halffabrikaten. Hieronder worden kort de belangrijkste kunststofverwerkingsmachines alsmede hun functie en de toepassingsgebieden weergegeven. Het betreft met name machines die van belang zijn voor de vervaardiging van buizen en fittingen van kunststof.

1.5.1 Extruders

Voor de vervaardiging van buizen worden extruders toegepast met overeenkomstige matrijzen, koelinrichtingen, trekrichtingen en scheidingsinstallaties (zagen). Door de strenge kwaliteitseisen behoren 'inline' geschakelde meetinrichtingen (bijv. meting van de wanddikte), die het mogelijk maken om in geval van onregelmatigheden tijdens het productieproces direct in te grijpen, tegenwoordig tot de standaarduitrusting van een moderne extrusie-installatie. Het werkingsprincipe van de extruder is als volgt: het toegevoerde basismateriaal (bijv. granulaat) wordt opgesmolten (geplastificeerd) en door een matrijs gedrukt in combinatie met de koelinrichting in de latere vorm gebracht. In afbeelding 1.3 wordt een buisextrusie-installatie weergegeven.

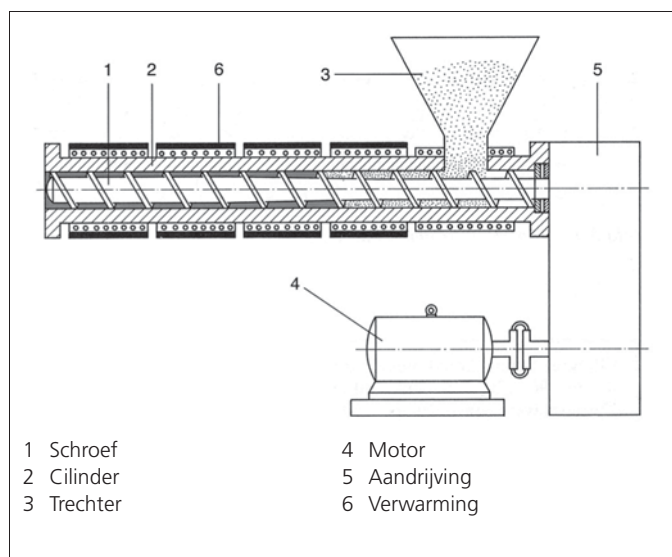
Extruders (afbeelding 1.4) kunnen worden uitgerust met één, twee of meer schroeven. Afhankelijk van het te verwerken materiaal en de te produceren halffabrikaten worden tevens speciale extruders geproduceerd die zijn afgestemd op de speciale eisen van het productieproces. Voor het eigenlijke plastificeringsproces, d.w.z. het smelten van het aangevoerde basismateriaal, zijn de schroef, de schroefgeometrie en de temperatuur van de verwarmde cilinder van wezenlijk belang. Door de schuifkrachten in het materiaal, bij een overeenkomstige cilindertemperatuur en drukopbouw, alsmede de schroefgeometrie en de matrijs wordt het materiaal geplastificeerd en in de schroefgangen getransporteerd. Het te plastificeren (te smelten) materiaal wordt in de regel in granulaatvorm aangevoerd. In gestandaardiseerde enkelschroefextruders worden meestal schroeven toegepast die bestaan uit drie zones en barrierschroeven. Het geplastificeerde materiaal wordt door de matrijs geperst en vervolgens in een kalibratie- en koeltraject afgekoeld. In de kalibratie-inrichting wordt het vormstuk (bijv. buis, profiel, staaf) gefixeerd. Hierdoor wordt de kunststof (met name de macromoleculketens) in een bepaalde richting c.q. configuratie gedwongen. Dit heet in



Afbeelding 1.3 Werkingsprincipe van een buisextrusie-installatie

Het materiaal kunststof

vaktaal 'oriëntatie'. Extrusie betreft een ononderbroken proces, d.w.z. het proces wordt pas onderbroken nadat de machine is uitgeschakeld of zodra er geen nieuw materiaal meer wordt aangevoerd.



- | | |
|------------|---------------|
| 1 Schroef | 4 Motor |
| 2 Cilinder | 5 Aandrijving |
| 3 Trechter | 6 Verwarming |

Afbeelding 1.4 Opbouw van een extruder

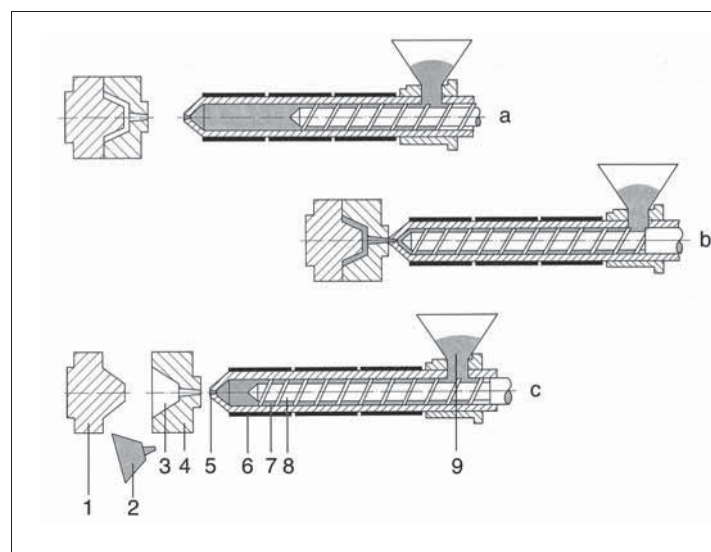
1.5.2 Spuitgietmachine

De opbouw van een spuitgietmachine (afbeelding 1.5) lijkt op de opbouw van een extruder. Het belangrijkste verschil tussen deze twee machines is de beweging van de schroef. De schroef voert na de bij de extruder reeds beschreven rotatiebeweging tevens een axiale beweging uit. In tegenstelling tot extrusie is het proces bij spuitgieten discontinu. Een discontinu productieproces stelt speciale eisen aan de machine, de matrijs en de bijbehorende vereiste matrijskoeling. Voor de productie van een spuitgietelement zijn met name drie parameters van belang:

- temperatuur
- tijd
- druk

Deze drie parameters hebben grote invloed op het spuitgietproces. Dit proces bestaat uit drie onderdelen:

- plasticering
- insputing
- afkoeling



Afbeelding 1.5 Werkingsprincipe van een spuitgietmachine

Door de rotatie van de schroef in de verwarmde cilinder wordt de te verwerken kunststof geplastificeerd. De eigenlijke plasticering komt grotendeels overeen met de plasticering in de extruder. Het geplastificeerde materiaal wordt via de schroefgangen naar het uiteinde van de schroef getransporteerd.

Daarbij wordt het geplastificeerde materiaal voorverdicht. Zodra zich voldoende materiaal bevindt in het 'reservoir', d.w.z. het voorste gedeelte van de plasticiteerunit, wordt het materiaal onder hoge druk via een spuitneus in de matrijs gespoten. Om samentrekking van het materiaal tegen te gaan wordt tijdens de afkoelingsfase het geplastificeerde materiaal gedurende een bepaalde tijd nagedrukt. De machineparameters zijn afhankelijk van het te verwerken materiaal en het te vervaardigen vormstuk. Na beëindiging van de spuitcyclus begint het proces opnieuw.

1.6 Mechanische eigenschappen

1.6.1 Bepaling van de levensduur

Het levensduurgedrag is één van de belangrijkste eigenschappen van buizen en fittingen. Onder levensduurgedrag wordt de levensverwachting van een kunststofbuis of fitting verstaan die wordt belast met inwendige druk. De inwendige druk zorgt in de buiswand voor een spanningstoestand. De bijbehorende vergelijkingsspanning (σ_v) blijkt uit de relatie tussen de inwendige druk (p_i), de veiligheidscoëfficiënt (SF) en de diameter-wanddikteverhouding (SDR). De vergelijkingsspanning (σ_v) kan worden berekend met behulp van de zogenaamde ketelformule. Deze formule luidt als volgt:

$$\sigma_{toel} = p_i \cdot \frac{(SDR - 1)}{20} \quad \text{met} \quad \sigma_{toel} = \frac{\sigma_v}{SF}$$

Formule 1.1

- σ_v = vergelijkingsspanning (N/mm²)
- σ_{toel} = toelaatbare spanning (N/mm²)
- p_i = inwendige druk (bar)
- SDR = diameter-wanddikteverhouding
- SF = veiligheidscoëfficiënt = gezamenlijke ontwerpcoëfficiënt 'C'

- a) De draaiende schroef heeft granulaat onttrokken aan de trechter en transporteert dit via de schroefgangen naar het uiteinde van de schroef.
- b) De matrijs wordt gesloten, de insputunit loopt tegen de aansputbus, de schroef drukt als een zuiger het geplastificeerde granulaat in de matrijs.
- c) Het afgekoelde spuitgietelement valt uit de geopende matrijs, de schroef transporteert nieuw granulaat naar het uiteinde van de schroef, de insputunit gaat los van de spuitneus.

- 1 Bewegbare matrijsheft
- 2 Spuitgietvorm
- 3 Holle ruimte in matrijs
- 4 Vaste matrijsheft
- 5 Spuitneus
- 6 Verwarmingsband
- 7 Insputcilinder
- 8 Schroef
- 9 Trechter

Het materiaal kunststof

De vergelijkingsspanning (σ_v) komt nagenoeg overeen met de spanning in omtrekrichting ter plaatse van het inwendige buisoppervlak. In tegenstelling tot deze spanning is de spanning in axiale richting van de buis slechts half zo groot. De toelaatbare spanning (σ_{toel}) in het desbetreffende materiaal vormt, met toepassing van de ketelformule, de basis voor de dimensionering van kunststofbuizen. Daarbij dient rekening te worden gehouden met het feit dat de spanning die leidt tot een breuk in zeer hoge mate afhankelijk is van de temperatuurbelasting en de belastingsduur van de kunststof.

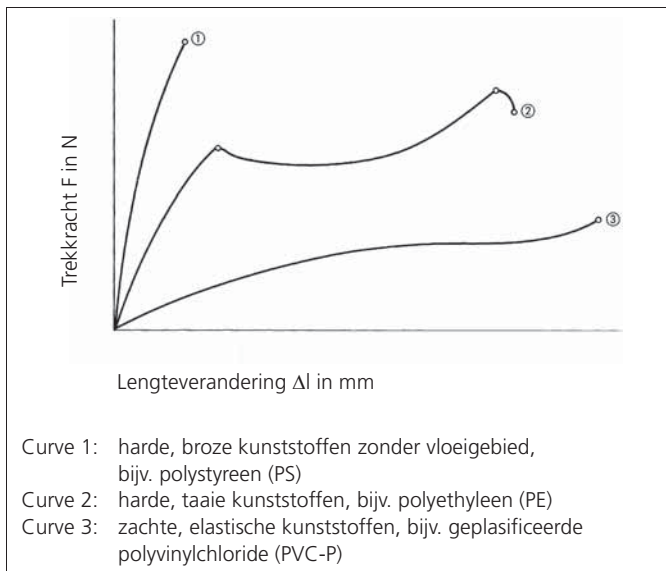
In de regel worden met water gevulde, gestandaardiseerde buisstukken beproefd. Tijdens de beproeving bevinden de te beproeven buisstukken zich in een waterbad.

In geval van speciale toepassingen dienen buisstukken te worden beproefd die zijn gevuld met het latere doorstroommedium. De resultaten van dergelijke beproevingen worden vastgelegd in een dubbellogaritmisch diagram, waarbij de vergelijkingsspanning in de tijd wordt weergegeven. De beproevingen worden uitgevoerd bij verschillende temperaturen. Uit de afbuiging van de curve kan worden afgeleid wanneer de buis naar verwachting gebreken zal vertonen. Op basis van de resultaten van de beproeving bij hoge temperaturen is interpolatie naar het levensduurgedrag van een buis bij lagere temperaturen mogelijk. Hieruit kan de levensduurverwachting van een buis bij bepaalde belastingen worden afgeleid. Levensduurcurven voor PE100 zijn afgebeeld in bijlage A1.

1.6.2 Bepaling van de mechanische kengetallen

De trekproef wordt beschreven in NEN-EN-ISO 527-1, NEN-EN-ISO 527-2 en NEN-EN-ISO 527-3.

Bij de trekproef worden nauwkeurig gedefinieerde proefobjecten uitgerekt totdat zij breken, en de daartoe vereiste krachten worden geregistreerd. In de regel betreft het een eenzijdige belasting van de proefobjecten. De toegepaste kracht wordt tijdsafhankelijk weergegeven. Door tijdens de beproeving met behulp van een schrijver op de trekproefmachine de relatie tussen kracht en lengteverandering te registreren, ontstaat een kracht-lengteveranderingsdiagram dat kan worden omgezet in een spannings-rekdiagram.



Afbeelding 1.6 Kracht-rekdiagram

Uit het diagram kunnen de volgende karakteristieke kengetallen worden afgeleid:

- uitzetting (ϵ): lengteverandering (Δl) in %, gerelateerd aan de uitgangslengte (l_0), op ieder moment van de proef
- trekvastheid (σ_B): trekspanning bij de grootste kracht
- breuksterkte (σ_R): trekspanning ten tijde van het scheuren

- vloeispanning (σ_{5B}): spanning waarbij de stijging van de kracht-uitzettingcurve voor de eerste maal nihil is

De mechanische kengetallen zijn in zeer hoge mate afhankelijk van de beproevingsomstandigheden. Om deze reden worden de beproevingen uitgevoerd bij normale klimatologische omstandigheden (23°C en rel. luchtvochtigheid 50%). De trekproef behoort tot de korteduur-proeven. Het is niet mogelijk om uit de resultaten daarvan het gedrag van het materiaal bij langdurige mechanische belasting af te leiden. Semikristallijne materialen zoals PP en PE hebben meestal een duidelijke rekgrens en een grote uitzetting (afbeelding 1.6).

1.6.3 Bepaling van de elasticiteitsmodulus (kruipmodulus)

Korteduur-waarden

De elasticiteitsmodulus (E-modulus) is het quotiënt van de spanning (σ) en de uitzetting (ϵ):

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad E = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\epsilon_1 - \epsilon_2}$$

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad \epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Formule 1.2

σ_1 = normale spanning bij 0,05% uitzetting (N/mm²)

σ_2 = normale spanning bij 0,25% uitzetting (N/mm²)

ϵ_1 = uitzetting van 0,05 (%)

ϵ_2 = uitzetting van 0,25 (%)

F = kracht (N)

A_0 = begindoorsnede (mm²)

Δl = verandering van de meetlengte door kracht (F) (mm)

l_0 = beginlengte (mm)

E = E-modulus (N/mm²)

In DIN 53457 wordt de bepaling van de E-modulus beschreven op basis van de resultaten van de trekproef (E_t), de drukproef (E_d), de 3-puntsbuigproef (E_{B3}) en de 4-puntsbuigproef (E_{B4}).

Langeduur-waarden

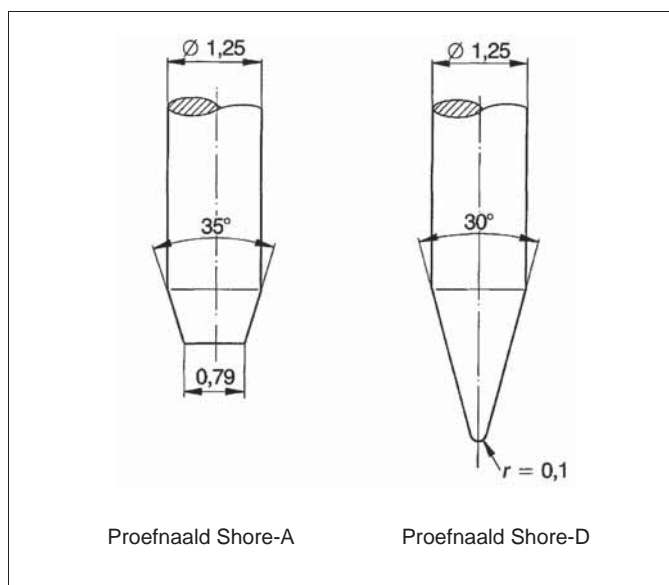
De E-modulus bij trekbelasting kan worden afgeleid uit het resultaat van de levensduur-trekproef volgens NEN-EN-ISO 899-1. Met behulp van de levensduur-trekproef kan de kruipmodulus (E_{cR}) worden bepaald. Over het algemeen wordt de trekproef geprefereerd boven buig- of drukproeven, omdat de trekproef normaal gesproken eenvoudiger kan worden uitgevoerd. De proefstukken worden in een constant proefklimaat eenzijdig belast met krachten die tijdens de duur van de beproeving constant blijven. Indien deze beproevingen worden uitgevoerd bij temperaturen die overeenkomen met de latere toepassingstemperaturen, leveren de diagrammen voor de constructeur zeer belangrijke informatie op voor de beoordeling van het gedrag van het desbetreffende materiaal.

1.6.4 Slagvastheid

De uitvoering van de slagbuig- en kerfslagbuigproeven wordt beschreven in DIN 53453 en DIN 53753. Deze proeven dienen ter bepaling van het stootgedrag, de zgn. taaiheid van de kunststoffen. Gemeten wordt de slagarbeid, gerelateerd aan de doorsnede van het proefobject, die leidt tot de breuk van staaf- of plaatvormige, evt. van kerven voorziene proefobjecten. De kracht wordt gerealiseerd met behulp van een pendelende kerfslaghamer, die met hoge snelheid het proefstuk raakt. In Europa wordt meestal de beproevingsmethode volgens 'Charpy', met een pendelende kerfslaghamer volgens NEN-EN-ISO 179 toegepast, of de beproevingsmethode volgens 'Izod', waarbij gebruik wordt gemaakt van een Dynstat-apparaat volgens NEN-EN-ISO 180. Bij de bepaling van de kerfslagvastheid worden drie gedefinieerde soorten kerven toegepast.

1.6.5 Oppervlaktehardheid

Als oppervlaktehardheid geldt de weerstand die een proefobject biedt om het binnendringen van een gedefinieerd proefobject te voorkomen. In NEN-EN-ISO 868 is de beproeving volgens Shore vastgelegd. Voor het bepalen van de Shore-hardheid van een materiaal zijn twee methoden beschikbaar: de methode volgens Shore-A en de methode volgens Shore-D. Deze beide methoden verschillen van elkaar wat betreft de geometrie van de proefobjecten (proefnaald). In afbeelding 1.7 worden de beide proefobjecten weergegeven. De Shore-hardheid is dimensieloos, en het bereik van de hardheid loopt van 0 tot 100. De methode volgens Shore-A wordt overwegend toegepast voor zachtere kunststoffen, de methode volgens Shore-D voor hardere kunststoffen. Naast de hardheidstest volgens Shore kan de hardheid van een materiaal tevens worden bepaald volgens NEN-EN-ISO 2039-1, met behulp van de zogenaamde indrukhardheidsproef. Deze methode wordt meestal toegepast indien de hardheid van een materiaal met behulp van de methoden volgens Shore niet meer kan worden bepaald. Als proefobject dient een kogel met een diameter van 5 mm, die bij een gedefinieerde belasting gedurende 30 seconden op het proefobject inwerkt.



Afbeelding 1.7 Proefobject voor hardheidstest volgens Shore-A en Shore-D

1.7 Thermische eigenschappen

1.7.1 Warmte-uitzettingscoëfficiënt

Bij de bepaling van de warmte-uitzettingscoëfficiënt wordt onderscheid gemaakt tussen de lineaire uitzettingscoëfficiënt (thermische lengte-uitzettingscoëfficiënt (α_l)) en de kubieke uitzettingscoëfficiënt (ruimtelijke of volumetrische uitzettingscoëfficiënt (β_v)). De lineaire uitzettingscoëfficiënt (α_l) geeft aan in welke mate een materiaal met een standaardlengte van een meter bij een temperatuurverandering van 1 K langer of korter wordt. De kubieke uitzettingscoëfficiënt (β_v) geeft aan in welke mate een kubieke meter materiaal bij een temperatuurverandering van 1 K langer of korter wordt. In DIN 53752 wordt de beproeving met behulp van de lineaire en kubieke uitzettingscoëfficiënt beschreven. De eenheid van de uitzettingscoëfficiënt is $1/K$, K^{-1} of $mm/m \cdot K$.

1.7.2 Vormvastheid bij warmte

Iedere verandering van de eigenschappen is voor de constructeur van belang, met name het gedrag bij warmte-inwerking. Om deze reden worden diverse beproevingen uitgevoerd, om bij benadering de grenstemperaturen vast te stellen waarbij de vormstabiliteit nog behouden blijft. In NEN-EN-ISO 75-1 en NEN-EN-ISO 75-2 is vastgelegd hoe de warmtebestendigheid dient te worden bepaald.

Bepaling van de vormvastheid is mogelijk met behulp van drie methoden:

1. Martens (DIN 53462)
2. Vicat
3. ISO/R 75 (ASTM D 640)

Op basis van de vastgestelde kengetallen kunnen geen conclusies worden getrokken met betrekking tot de werktemperatuur van de beproefde kunststoffen. Vergelijkbaar zijn alleen vastgestelde waarden van kunststoffen die zijn beproefd met behulp van dezelfde methode en onder dezelfde omstandigheden. De uitwendige temperatuurinvloeden door lucht of vloeibare media alsmede de vorm en de wijze van vervaardiging van de proefstukken beïnvloeden de meetresultaten aanzienlijk.

1.7.3 Warmtegeleidbaarheid

De warmtegeleidbaarheid of warmtegeleidingscoëfficiënt (λ) met de dimensie (W/mK) is een temperatuurafhankelijke materiaalwaarde, die iets zegt over het vermogen van een materiaal om warmte te geleiden. De warmtegeleidbaarheid of het isolatievermogen (negatieve thermische warmtegeleidbaarheid) van een materiaal kan worden beproefd met behulp van een methode volgens DIN 52612-1 of DIN 52613 (ISO/DIS 8497-1988). De warmtegeleidbaarheid van een materiaal kan door vul-, versterkings- en hulpmaterialen en kleurstoffen aanzienlijk worden beïnvloed.

1.7.4 Warmteovergangcoëfficiënt

De warmteovergangcoëfficiënt (α_w) is een belangrijk kengetal, dat naast de specifieke warmtegeleidbaarheid (λ) wordt benodigd voor het berekenen van de warmtedoorgangcoëfficiënt (k) van een materiaal. De warmtegeleidbaarheid is, evenals de warmteovergangcoëfficiënt, sterk afhankelijk van uitwendige invloeden zoals scheidingsvlak, geometrie en doorgangssnelheid van het medium.

1.7.5 Warmtedoorgangcoëfficiënt

Uit de warmtedoorgangcoëfficiënt (k) kan het isolatievermogen van een materiaal worden afgeleid. De eenheid is (W/m^2K). Hoe lager de k -waarde is, des te groter is het isolatievermogen van het desbetreffende materiaal. De warmtedoorgangcoëfficiënt wordt berekend met behulp van formule 1.3.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{w1}} + \frac{d_w}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{w2}}}$$

Formule 1.3

- k = warmtedoorgangcoëfficiënt (-)
- α_{w1} = warmteovergangcoëfficiënt medium 1 op wand (W/m^2K)
- α_{w2} = warmteovergangcoëfficiënt wand op medium 2 (W/m^2K)
- λ = warmtegeleidbaarheid wand (W/mK)
- d_w = dikte van de scheidingswand (m)

1.7.6 Brandgedrag

Kunststoffen zijn organische verbindingen die van nature brandbaar zijn. De Europese norm NEN-EN 13501-1 definieert een klasseringsstelsel voor materiaalgedrag bij brand voor bouwproducten en bouwconstructies. Het brandgedrag van een eindproduct (zoals dat wordt toegepast), dient te worden beschreven in de vorm van haar bijdrage aan het ontwikkelen en het verspreiden van brand en rook in een ruimte of omgeving. In het geval van brand kunnen bouwproducten worden blootgesteld aan vuur dat in een ruimte is ontstaan. Deze brand kan vervolgens groeien (toenemen) en uiteindelijk overslaan. Dit scenario bevat drie brandsituaties die overeenkomen met de ontwikkeling van een brand:

- Ontbrandbaarheid: ontstaan van brand door ontbranding dmv een kleine vlam op een klein oppervlak/product.
- Rookontwikkeling: ontwikkeling en eventuele overslag van brand.
- Brandende druppels/delen: overslag na de brand, wanneer alle brandbare materialen bijdragen aan de brandlast.

Het materiaal kunststof

Fase 1: ontbrandbaarheid

Klasse	Brandproeven	Vlamoverslag	Bijdrage	Praktijk
F	Niet getest, of voldoet niet aan klasse E	Niet-geclassificeerd	Niet bepaald	Uiterst brandbaar
E	EN-ISO 11925-2 (15 sec-Fs<150 mm-20 sec)	Vlamoverslag 100 kW <2 min.	Zeer hoge bijdrage	Zeer brandbaar
D	EN 13823, Figra <750 W/s/EN-ISO 11925-2 (30 sec-Fs<150 mm-60 sec)	Vlamoverslag 100 kW >2 min.	Hoge bijdrage	Goed brandbaar
C	EN 13823, Figra <120 W/s + Thr <15 MJ/EN-ISO 11925-2 (30 sec-Fs<150 mm-60 sec)	Vlamoverslag 100 kW >10 min.	Grote bijdrage	Brandbaar
B	EN 13823, Figra <120 W/s + Thr <7,5 MJ/EN-ISO 11925-2 (30 sec-Fs<150 mm-60 sec)	Geen vlamoverslag	Erg beperkte bijdrage	Heel moeilijk brandbaar
A2	EN ISO 1182 of EN-ISO 1716 plus EN 13823, Figra <120 W/s + Thr <7,5 MJ	Geen vlamoverslag	Nauwelijks bijdrage	Praktisch niet brandbaar
A1	EN ISO 1182 = Niet brandbaar/EN-ISO 1716 = Calorische waarde	Geen vlamoverslag	Geen enkele bijdrage	Niet brandbaar

Tabel 1.1

Fase 2: rookontwikkeling

Klasse	Omschrijving
s3	Grote rookontwikkeling
s2	Gemiddelde rookontwikkeling
s1	Geringe rookontwikkeling

Tabel 1.2

Fase 3: brandende druppels/delen

Klasse	Omschrijving
d2	Delen branden langer dan 10 sec.
d1	Delen branden korter dan 10 sec.
d0	Geen productie van brandende delen

Tabel 1.3

Brandveiligheid

Het vereiste brandveiligheidsniveau van een gebouw is niet in elke Europese lidstaat gelijk. Elke lidstaat mag in zijn regelgeving bepalen welke producten waar mogen worden toegepast en welke brandklasse men daarvoor geschikt vindt.

Brandveiligheidsniveau in Nederland

Het brandveiligheidsniveau in Nederland wordt nader bepaald in het bouwbesluit. Het bouwbesluit is van toepassing op bovengrondse leidingsystemen. Voor ondergrondse leidingen kan het brandgedrag buiten beschouwing worden gelaten.

1.8 Chemische eigenschappen

1.8.1 Chemische bestendigheid

De chemische resistentie van PE en PP tegen media wordt uitvoerig behandeld in hoofdstuk 2 (tabel 2.3).

1.8.2 Permeatie

Onder permeatie wordt het diffunderen van een medium door een kunststof verstaan (bijv. bij reservoir-, schacht- of buiswanden). Contact tussen een kunststof en chemische media kan onder bepaalde omstandigheden leiden tot zwelling of oplossing van de kunststof. Migratie van weekmakers en hulpstoffen en het uitbloeden van kleurstoffen kunnen eveneens tot problemen leiden. Praktijkgerichte beproevingsmethoden zijn vastgelegd in DIN 53405 (migratie) en NEN-EN-ISO 183 (uitbloeden van kleurstoffen).

1.8.3 Waterabsorptie

Veel kunststoffen neigen tot waterabsorptie. Door zwelling verandert de dimensiestabiliteit van kunststof. PE is waterafstotend, d.w.z. dat het niet door zwelling wordt beschadigd. De wijze van uitvoering van de beproeving wordt beschreven in NEN-EN-ISO 62.

1.9 Verwerkingseigenschap: smeltindex

De bepaling van de smeltmassastroomindex (Melt mass-Flow Rate = MFR) volgens NEN-EN-ISO 1133, ook bekend onder de naam MFI (Melt Flow Index), is een gestandaardiseerde beproevingsmethode die een relatief snelle en kwantitatieve conclusie mogelijk maakt met betrekking

Het materiaal kunststof

tot het kruipgedrag van een kunststof. De MFR-waarde geeft de massa van een thermoplastisch gietsel weer in grammen, die binnen 10 minuten bij een vastgelegde zuigerkracht en massatemperatuur door een gestandaardiseerde spuitneus wordt geleid. In tabel 1.4 zijn enkele beproevingsvoorwaarden vastgelegd.

Beproevoingsvoorschrift	Beproevoingsvoorwaarden	
ISO 1133	Temperatuur (°C)	Belasting (kg)
1	190	2,16
6	190	10,00
12	230	2,16
18	190	5,00
20	230	5,00

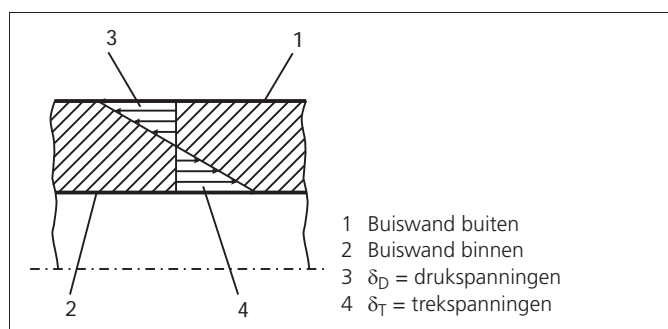
Tabel 1.4 Beproevoingsvoorschriften en -voorwaarden voor bepaling van de MFR-waarde

Met behulp van de volumestroomindex van een kunststofgietsel MVR (Melt Volumeflow Rate), ook bekend onder de naam MVI (Melt Volume-Index), wordt het kruipgedrag van een gietsel beproefd bij een gedefinieerde massatemperatuur en een constante zuigerkracht. De eenheid van MVR is $\text{cm}^3/10 \text{ min}$.

1.10 Fysica van kunststof

1.10.1 Inwendige spanningen

Alle elementen van kunststof bezitten een bepaald potentieel aan inwendige spanningen. Dit potentieel ontstaat niet door uitwendige krachten, maar door de verwerkings- en afkoelingsomstandigheden. Bij de extrusie van platen, buizen en profielen wordt het geplastificeerde granulaat door een matrijs geperst. Hierdoor worden de macromoleculen uitgerekt. Vervolgens worden zij in een kalibratie-inrichting gekoeld en gefixeerd. Aangezien de buis meestal alleen aan de buitenkant wordt gekoeld, koelt de buiswand niet uniform af. Dit heeft gevolgen voor de structuur c.q. dichtheid van de buiswand. In de buiswand ontstaan aan de als eerste gekoelde zijde inwendige drukspanningen (δ_D), en aan de als laatste gekoelde zijde inwendige trekspanningen (δ_T) (afbeelding 1.8). Deze spanningen dienen in hoge mate te worden gereduceerd. Dit is mogelijk door middel van temperen, d.w.z. dat de buis bij een gedefinieerde temperatuur nogmaals wordt verwarmd. Door deze aansluitende verwarming worden de inwendige spanningen die zijn ontstaan gereduceerd. Deze reductie heeft een gunstig effect op de maatvastheid, krimp, samentrekking en levensduur. De maatvastheid is bij buizen en fittingen van groot belang, aangezien iedere verandering van de diameter negatieve gevolgen kan hebben voor de dichtheid van een verbinding. In de regel worden alle PE-buizen getemperd.



Afbeelding 1.8 Spanningen in de buiswand

Over het algemeen houden de spanningen elkaar in evenwicht. Indien de spanningen vanwege uitwendige of inwendige invloeden niet meer in evenwicht zijn, worden de elementen vervormd.

De inwendige spanningen in een kunststofelement ontstaan echter niet alleen door afkoeling. Hieronder worden andere soorten spanning beschreven die het ontstaan van inwendige spanningen in een buis of fitting bevorderen.

- Inwendige oriëntatiespanningen

Deze spanningen hangen zeer nauw samen met de afkoelparameters. Afhankelijk van het feit hoe snel oriëntaties in lengte- en dwarsrichting worden gefixeerd (in vaktaal 'bevroren'), d.w.z. al naargelang de warmtevervorming inwerkt op de beide oriëntatietoestanden, is de oriëntatiegraad hoger of lager, wat leidt tot meer of minder spanningen.

- Inwendige nadrukspanningen

Deze spanningen ontstaan meestal bij spuitgietelementen, maar kunnen ook optreden bij extrusie. Een typische extrusie is bijv. de vervaardiging van staven, waarbij nadrukken is vereist om het ontstaan van krimpholtes (oneffenheden) of vacuolen (holle ruimten) te voorkomen. Indien de druk tijdens de afkoeling van het vormstuk te hoog is, blijft in het vormstuk restdruk achter die na het uitnemen kan leiden tot vervorming van het vormstuk.

- Inwendige kristallisatiespanningen

Deze spanningen ontstaan bij semikristallijne thermoplasten tijdens de kristallisatiefase. Bij de kristallietvorming tijdens de afkoeling van het gietsel vindt volumekrimp (volumeverandering) plaats. Indien de afkoeling niet gelijkmatig plaatsvindt, waardoor sprake is van een onregelmatig kristallisatieverloop, leidt dit tot spanning in de structuur.

- Spanningsvermindering

Bevroren spanningen (inwendige spanningen) kunnen worden verholpen door buizen te temperen. Naast reductie van de inwendige spanningen wordt door het temperen van buizen een nakristallisatie (bij semikristallijne kunststoffen) in gang gezet die de mechanische eigenschappen van de kunststoffen positief kan beïnvloeden.

Temperen omvat een speciale temperatuurgeleiding c.q. warmtebehandeling. De parameters voor het temperen zijn afhankelijk van de kunststof. Bij temperen mag de verwarming niet te groot zijn, aangezien in dit geval terugstelkrachten kunnen optreden die het vormstuk kunnen vervormen. De parameters zijn in de regel afhankelijk van de dikte van het te temperen vormstuk en de ligging van het spanningsprofiel. Belangrijk is dat de producten na opslag geleidelijk worden afgekoeld, aangezien anders op grond van plaatselijke temperatuurverschillen opnieuw spanningen kunnen ontstaan.

1.10.2 Buig-, warmte-, trek- en drukspanningen

Deze spanningen worden in hoofdstuk 6 uitvoerig behandeld, aangezien zij belangrijke criteria vormen voor het ontwerp en de uitvoering van leidingsystemen. Zij zijn van wezenlijk belang bij de constructie en vervaardiging van kunststofelementen.

1.10.3 Oriëntaties

Onder oriëntaties worden de toestanden van een kunststofelement verstaan waarin de macromoleculen worden uitgericht.

In de uitgangssituatie bevinden de macromoleculen van een kunststof zich in een ongeordende toestand (wirwar). Door de verwerkingsomstandigheden, bijv. extrusie of spuitgieten, worden de macromoleculen door matrijzen, trekrichtingen, koeling etc. in bepaalde richtingen gedwongen. Dat kan zowel langs (bij extrusie in trekrichting van het vormstuk) als dwars op de middenas zijn. De soort oriëntatie en de uitrichting daarvan hebben zeer grote invloed op de mechanische eigenschappen en de stabiliteit van de producten. Oriëntaties ontwikkelen zich ten gevolge van schuif- en uitzettingskrachten.

Schuifkrachten ontstaan zowel tijdens het spuitgiet- als het extrusieproces. Zij worden veroorzaakt door de afschuiving van aangrenzende smeltlagen met een verschillend snelheidsprofiel in de stromingen, bijvoorbeeld wanneer het plastische materiaal aan de matrijswand vastkleeft. Uitzettingskrachten ontstaan tijdens de doorgang van het plastische materiaal door vernauwingen of vloeikanalen zoals spuitneuzen. Bij geëxtrudeerde halffabrikaten (bijv. platen, buizen, profielen) geldt de extrusierichting als geprefereerde oriëntatierichting, en niet de dwarsrichting. In tegenstelling tot geperste halffabrikaten, waarbij geen sprake is van duidelijke oriëntaties, zijn de eigenschappen bij geëxtrudeerde halffabrikaten anisotroop, d.w.z. sterk richtingsafhankelijk. De mechanische eigenschappen zoals vastheid, slagvastheid en kerf-

Het materiaal kunststof

slagvastheid zijn bij anisotrope halffabrikaten in extrusierichting beter en in dwarsrichting slechter dan bij isotrope halffabrikaten. Aangezien thermo-elasticiteit pas optreedt bij temperaturen boven de stollings- of vriestemperatuur (c.q. kristalliet-smelttemperatuur), is het niet mogelijk om oriëntaties te verwijderen door middel van temperen.

1.10.4 Krimp

Onder krimp wordt de verandering van het vormstuk ten gevolge van opgedrongen lengteveranderingen van de macromoleculen verstaan. Deze verandering vindt met name plaats bij extrusie. Daarbij worden de moleculen door de extrusiematrijs en/of trekrichtingen in de regel axiaal, d.w.z. in de lengterichting, uitgerekt. Zodra de macromoleculen echter de mogelijkheid hebben om hun oorspronkelijke vorm aan te nemen, treedt een lengteverandering op tegen de trekrichting in. Dit wordt het 'memoryeffect' genoemd. Indien het kunststofgietsel snel afkoelt worden oriëntaties gefixeerd (bevroren). In geval van verwarming van de kunststof boven de vriestemperatuur, treedt het genoemde memoryeffect op en proberen de macromoleculen weer terug te keren in de uitgangstoestand (wirwar). Krimp is derhalve een pure lengtecontractie (lengteverandering) ten gevolge van oriëntaties van de macromoleculen in het vormstuk.

1.10.5 Samentrekking

Onder samentrekking wordt een volumekrimp van de vormstukken van kunststof verstaan. Evenals bij ieder ander materiaal treedt volumevergroting op indien het materiaal wordt blootgesteld aan een temperatuurverhoging.

Afkoeling van het materiaal heeft het tegenovergestelde effect. Aangezien dit verschijnsel bekend is, dient hiermee bij het ontwerp van de matrijzen en vormstukken rekening te worden gehouden om technisch hoogwaardige producten te kunnen vervaardigen. Bekend zijn twee soorten samentrekkingen:

- verwerkingskrimp (VK)
- nakrimp (NK)

1.10.6 Kerfwerking

Bij de berekening van de spanningen in bouwelementen wordt uitgegaan van ideale trek- en buigspanningen. De daadwerkelijke spanningen zijn echter afhankelijk van een groot aantal factoren zoals krassen, inhomogeniteiten in het materiaal, de constructieve vormgeving van de vormstukken etc., die een afwijking van de ideale toestand tot gevolg hebben. De omvang van de kerfen, de radius van de bodem van de kerf en de soort belasting zijn van grote invloed op de sterkte van een vormstuk. Hoe dieper en scherper een kerf is, des te groter is de spanningspiek op de bodem van de kerf en daarmee het risico van beschadiging van het bouwelement. Om deze reden is het raadzaam te zorgen voor zo klein mogelijke kerfen met ronde vormen (radii).

Het materiaal kunststof

1.11 Samenvatting

Kunststoffen	Kunststoffen worden onderverdeeld in drie hoofdgroepen: duroplasten, elastomeren en thermoplasten.
Elastomeren	Elastomeren zijn beter bekend onder de naam 'rubber'. Het betreft wijdmazig, ruimtelijk verbonden synthetisch of natuurlijk rubber. Vernetting door middel van vulcanisatie.
Duroplasten	Duroplasten hebben een fijnmazige, macromoleculaire structuur. Zij zijn hard, bros en niet meer plastificeerbaar (smeltbaar).
Thermoplasten	De thermoplasten worden onderverdeeld in amorfe en semikristallijne thermoplasten.
Polyolefinen	Zij behoren tot de groep van de semikristallijne thermoplasten. De belangrijkste vertegenwoordigers zijn polyethyleen (PE) en polypropyleen (PP).
Kunststofverwerkingsmachines	De extruder, spuitgietmachine en kalander (in deze prijslijst niet behandeld) zijn machines die worden gebruikt voor de vervaardiging van halffabrikaten van kunststof.
Extruder	Een extruder is verantwoordelijk voor de plastificering van het basismateriaal. Wordt bijv. gebruikt voor de vervaardiging van buizen, profielen en platen. Continu proces.
Spuitgietmachine	Het spuitgieten betreft een discontinu verwerkingsproces. De schroef voert zowel een rotatiebeweging als een axiale beweging uit. Belangrijke parameters voor het spuitgieten zijn: temperatuur, tijd en druk. Het spuitgietproces bestaat uit: plastificering, inspuiting en afkoeling.
Levensduur-drukproef	Simuleert de levensverwachting van een kunststofbuis bij inwendige drukbelasting. De bijbehorende vergelijkingsspanning (σ_V) is een functie van de inwendige druk, gemiddelde buisdiameter en wanddikte en wordt berekend met behulp van de ketelformule.
Korteduur-trekproef	In het kader van de korteduur-trekproef wordt een gedefinieerde proefstaaf uitgerekt tot deze breekt. Uit het resultaat kunnen de mechanische kengetallen van het beproefde materiaal worden afgeleid. De belangrijkste kengetallen zijn: uitzetting, trekvastheid, breuksterkte en breukrek.
Elasticiteitsmodulus (kruipmodulus)	De elasticiteitsmodulus is het quotiënt van de spanning en de uitzetting.
Levensduur-trekproef	De levensduur-trekproef dient ter bepaling van de kruipmodulus.
Slagvastheid	De slagvastheid wordt vastgesteld met behulp van de slagbuig- of kerfslagbuigproef met gedefinieerde kerf in het proefstuk. De belangrijkste beproevingsmethoden zijn de proeven volgens 'Charpy' en 'Izod'.
Oppervlaktehardheid	Geeft de weerstand tegen het binnendringen van een proefobject weer. De belangrijkste methoden zijn Shore-A, Shore-D en indrukhardheid.
Warmte-uitzettingscoëfficiënt	De warmte-uitzettingscoëfficiënt is een belangrijk kengetal in de kunststoftechniek. Bij mechanische kengetallen wordt in de regel de lineaire uitzettingscoëfficiënt (α_g) (in de literatuur meestal gemiddelde lineaire lengte-uitzettingscoëfficiënt α genoemd) weergegeven.
Warmtebestendigheid	Geeft de temperatuurgrenzen van thermoplasten aan bij warmte-inwerking. Beproevingsmethoden zijn Martens, Vicat en ISO/R 75. Geen conclusies met betrekking tot werktemperaturen mogelijk.
Warmtegeleidbaarheid	Kengetal voor het vermogen van een materiaal om warmte te geleiden. Vul-, versterkings- en hulpmaterialen en kleurstoffen beïnvloeden de warmtegeleidbaarheid.
Warmteovergangscoefficiënt	Dient tot vaststelling van de warmtedoorgangscoefficiënt en is afhankelijk van het scheidingsvlak, de geometrie en de doorgangssnelheid van het medium.
Warmtedoorgangscoefficiënt	Uit de warmtedoorgangscoefficiënt kan het isolatievermogen van een materiaal worden afgeleid.
Brandgedrag	Kunststoffen zijn organische verbindingen die van nature brandbaar zijn. PE wordt ingedeeld in brandklasse D-s3,d2.
Permeatie	Diffusieneiging van een materiaal, d.w.z. het doorlaten van vloeibare of gasvormige bestanddelen door de kunststof.
Waterabsorptie	Sommige kunststoffen neigen tot waterabsorptie (zwellings). In dit geval is de stabiliteit van de kunststof niet meer gegarandeerd. PE neigt nauwelijks tot waterabsorptie.
Smeltindex	De smeltindex geeft de vervloeibaarheid van een geplastificeerde kunststof aan. Vroeger bekend als MFI-waarde, tegenwoordig MFR-waarde genoemd.
Inwendige spanningen	Tijdens de extrusie ontwikkelen zich inwendige spanningen in de buis, bijv. door koeling of een te grote treksnelheid. Door middel van een speciale temperatuurgeleiding of warmtebehandeling (temperen) kunnen deze spanningen in de buis worden gereduceerd.
Inwendige oriëntatiespanningen	Afhankelijk van de afkoelingsomstandigheden. Bij een toenemende afkoelsnelheid wordt het spanningspotentieel in de buis groter.
Inwendige nadrukspanningen	Verschijsel bij spuitgieten. Bij extrusie kunnen inwendige nadrukspanningen optreden, aangezien bijv. bij de vervaardiging van staven ter voorkoming van vacuolen en krimpholtes nadrukken is vereist.
Inwendige kristallisatiespanningen	Deze spanningen ontstaan bij semikristallijne kunststoffen (bijv. PE) door kristallietvorming tijdens de afkoelingsfase.
Temperen	Warmtebehandeling ter beperking c.q. voorkoming van het inwendige spanningen-potentieel.
Oriëntaties	Uitrichting van de macromoleculen door externe invloeden (bijv. treksnelheid).
Krimp	Met krimp wordt de lengtecontractie (negatieve lengteverandering) in oriëntatierichting van de macromoleculen bedoeld.
Samentrekking	Met samentrekking wordt, in tegenstelling tot krimp, de volumecontractie (negatieve volumeverandering) ten gevolge van afkoeling bedoeld. In tegenstelling tot krimp is bij ieder kunststofelement sprake van volumeverandering. Met deze volumeveranderingen wordt in het ontwerp van de vormstukken c.q. matrijzen rekening gehouden.
Kerfwerking	De kerfwerking beïnvloedt de vastheid van de bouwelementen. Inkepingen, krassen, inhomogeniteiten en de constructieve vormgeving van de vormstukken kunnen de vormstukken negatief beïnvloeden.