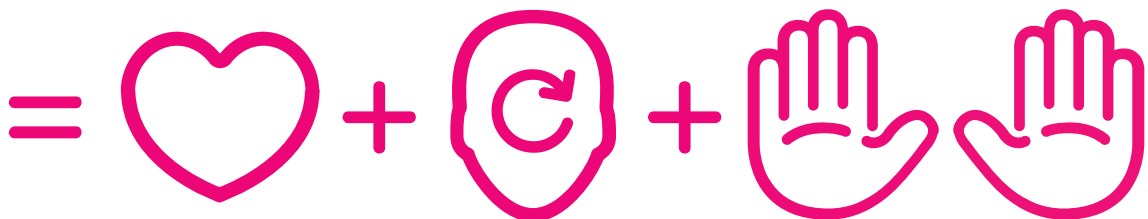


ROC Gilde Opleidingen Venlo | Rene Clabbers

Leerjaar 1 - Periode 4 - Materialenleer

18-04-2025

YVNX2F4K





COLOFON

©2025 Kenteq, Amersfoort

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand dan wel openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opname, of enige andere wijze, zonder voorafgaande toestemming van de uitgever.

uitgeverij@kenteq.nl

Inhoudsopgave

1	Materiaalbeproeving (destructief)	5
1.1	Trekproef	6
1.2	Hardheidsmetingen	12
1.3	Buigproef	20
1.4	Kerfslagproef	21
1.5	Vermoeiingsproef	24
1.6	Samenvatting	25
1.7	Antwoorden	26
2	Vragen Materiaalbeproeving (destructief)	27
3	Materiaalbeproeving (niet-destructief)	33
3.1	Niet-destructieve materiaalbeproeving	34
3.2	Visuele inspectie	35
3.3	Magnetisch onderzoek	36
3.4	Penetrant onderzoek	38
3.5	Wervelstroomonderzoek	40
3.6	Ultrasoon onderzoek	42
3.7	Radiografisch onderzoek	45
3.8	Akoestisch onderzoek	46
3.9	Samenvatting	47
3.10	Antwoorden	48
4	Vragen Materiaalbeproeving (niet-destructief)	49
5	Kunststoffen (algemeen)	53
5.1	Indeling van kunststoffen	54
5.2	Fabricage van kunststoffen	55
5.3	Materiaaleigenschappen	57
5.4	Toevoegmiddelen	60
5.5	Milieu-aspecten en recycling	61
5.6	Samenvatting	65
5.7	Antwoorden	66
6	Vragen Kunststoffen (algemeen)	67
7	Kunststofsoorten	71
7.1	Thermoplasten	72
7.2	Thermoharders	86
7.3	Elastomeren	89
7.4	Vezelversterkte kunststoffen	90
7.5	Samenvatting	95
7.6	Antwoorden	96
8	Vragen Kunststofsoorten	97

1 Materiaalbeproeving (destructief)

Inleiding

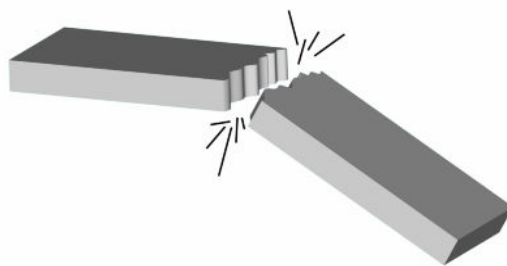
Als je met een hamer een spijker in de muur slaat, verwacht je niet dat de spijker een deuk slaat in de hamerkop. Het materiaal van de hamerkop wordt daarom getest op hardheid. De kabels van een lift moeten sterk genoeg zijn om de toegestane last te kunnen hijsen. De kabels worden getest op trekkracht.

Je kunt dus de eigenschappen van materialen testen. Je kunt bijvoorbeeld testen welke treksterkte en hardheid een materiaal heeft. Bij het testen zijn er twee varianten.

Als je het materiaal beschadigd, noem je dat *destructief* onderzoek. Als je het materiaal niet beschadigd, noem je dat *niet-destructief* onderzoek.

Verschillende destructieve materiaalproeven zijn:

- de trekproef
- de hardheidsmeting
- de buigproef
- de kerfslagproef
- de vermoeiingsproef.



Destructieve materiaalbeproeving

Leerdoelen

Je kunt:

- het verschil uitleggen tussen destructief- en niet-destructief onderzoek
- verschillende destructieve materiaalproeven beschrijven
- uitleggen hoe een trekkromme opgebouwd is
- toepassingen van de materiaalproeven noemen

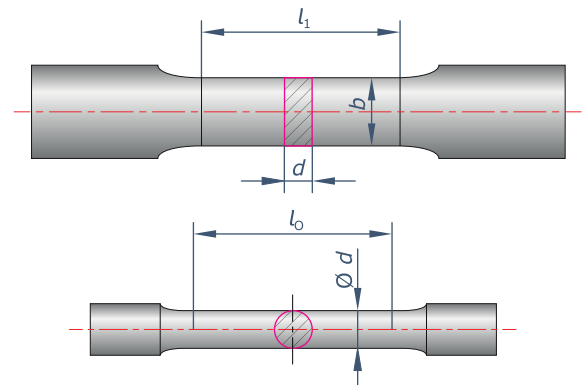
1.1 Trekproef

Als je de treksterkte van een materiaal wilt weten, moet je het materiaal belasten tot het breekt. Je wilt de testresultaten dan vergelijken met die van andere materialen. Maar er zit nogal verschil in de vormen en afmetingen van materialen. De manier waarop je de trekproef uit moet voeren is vastgelegd in normen. Hierin staan ook de voorgeschreven vormen en afmetingen van de trekproefstaven. Daarnaast voer je elke trekproef uit bij dezelfde temperatuur. Met de trekproef bepaal je de treksterkte van een materiaal. Dit gebeurt op een trekbank. Het resultaat van een trekproef is een spanningsrekdiagram ook wel een trekkromme genoemd.

Trekproefstaven

Trekproefstaven kunnen een ronde of platte doorsnede hebben. Er zijn ook vierkante, rechthoekige of driehoekige proefstaven.

De uiteinden zijn dikker uitgevoerd om ze goed in de trekbank te kunnen klemmen.



Rechthoekige en ronde proefstaaf

Meetlengte

Trekproefstaven zijn zo uitgevoerd dat de ingeklemde gedeelten geen invloed hebben op de resultaten van de proef. De meetlengte is een gedeelte van het 'dunne stuk' (aangeduid met L_0) van de proefstaaf.

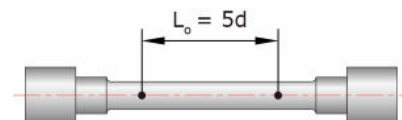
dp 5-trekproefstaaf

Bij een ronde dp 5-trekproefstaaf geldt voor de meetlengte:

$$5,65\sqrt{\text{staafdoorsnede}}$$

Bij een rechthoekige dp 5-trekproefstaaf geldt voor de meetlengte:

$$L_0 = 5,65\sqrt{A_0}$$



dp 5-trekproefstaaf

dp 10-trekproefstaaf

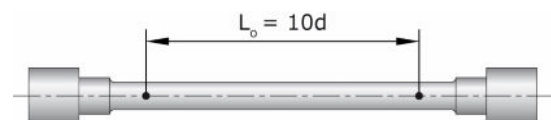
Soms worden er proefstaven gebruikt die twee keer zo lang zijn:

dp 10-trekproefstaven.

Dit levert dan voor ronde proefstaven een meetlengte op van $L_0 = 10 \cdot d$

Voor alle andere proefstaven geldt

$$L_0 = 11,3\sqrt{A_0}$$



dp 10-trekproefstaaf

Trekbank

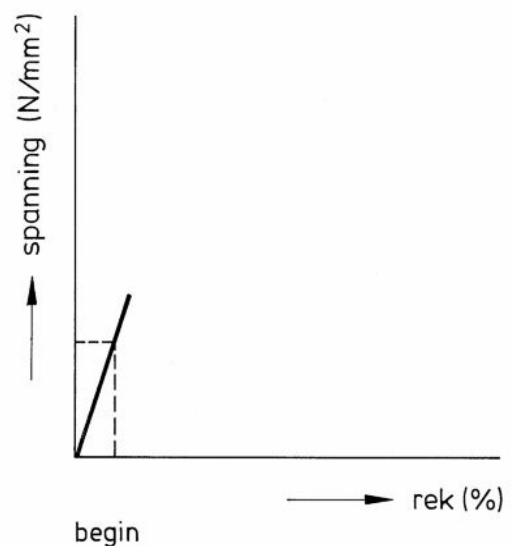
Voor het uitvoeren van een trekproef wordt de proefstaaf in een trekbank bevestigd. Met de trekbank kun je een regelmatig toenemende kracht uitoefenen op de proefstaaf.



Trekbank

Begin van de proef

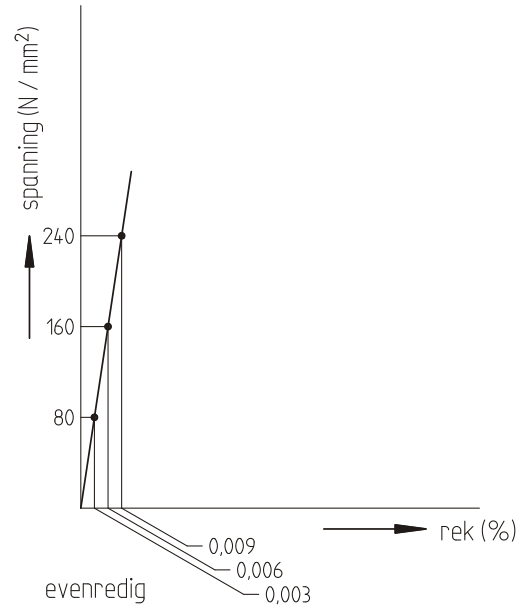
De proefstaaf wordt ingespannen en er wordt een trekspanning aangebracht die geleidelijk wordt opgevoerd. De proefstaaf rekt hierbij langzaam uit.



Evenredigheid

Het blijkt dat bij verdubbeling van de spanning ook de rek van de proefstaaf verdubbelt. Bij verdere verhoging van de spanning neemt de rek in dezelfde verhouding toe.

De rek verloopt evenredig met de spanning.

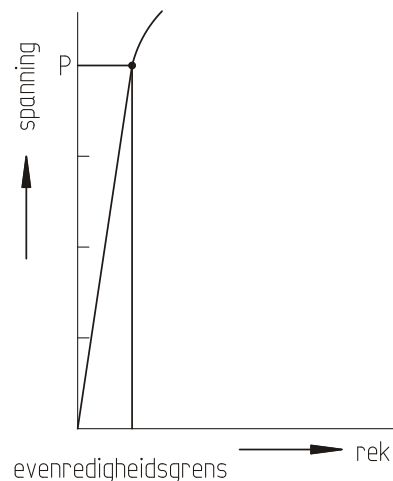


Evenredigheidsgrens

De rek neemt evenredig met de spanning toe tot een bepaalde spanning.

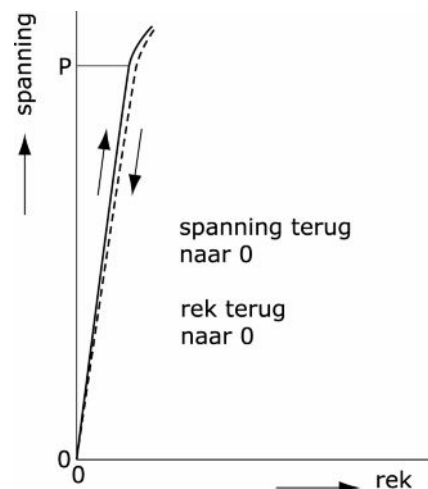
Vanaf die spanning zal de rek iets meer dan evenredig toenemen.

De *evenredigheidsgrens* is de maximale spanning waarbij de rek evenredig verloopt met de spanning, aangeduid met P (dit staat voor *Proportionaliteitsgrens*).



Elasticiteit

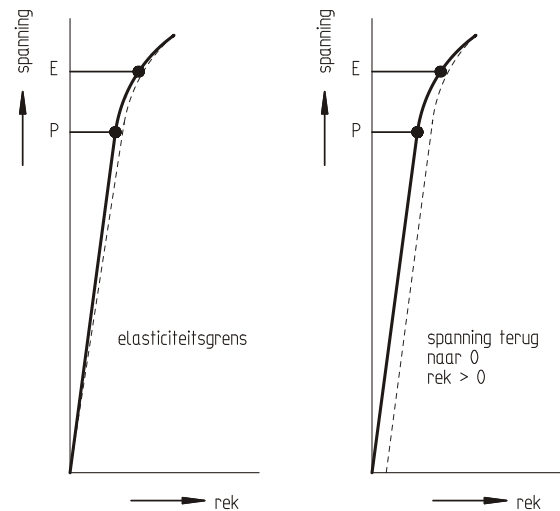
De proefstaaf zal weer volledig terugveren naar zijn oorspronkelijke lengte als tijdens de beginfase van de proef de spanning weer wordt weggenomen. Er is dan geen blijvende vervorming. De rek was volledig elastisch.



Elasticiteitsgrens

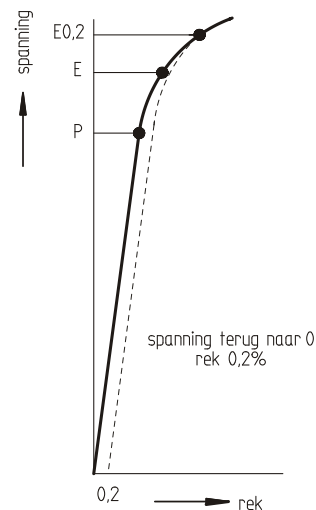
De *elasticiteitsgrens* E is de maximale spanning waarbij geen blijvende vervorming optreedt.

Boven deze spanning vindt blijvende (plastische) verlenging plaats. Daarom is elasticiteitsgrens een belangrijke grens voor constructeurs.



Rekgrens 0,2%

Het is in de praktijk vaak moeilijk om de elasticiteitsgrens te bepalen. Daarom is om praktische redenen de *0,2-rekgrens* ingevoerd, aangeduid met $E_{0,2}$ of R_p 0,2. Dit is de spanning waarbij een blijvende rek van 0,2% optreedt.



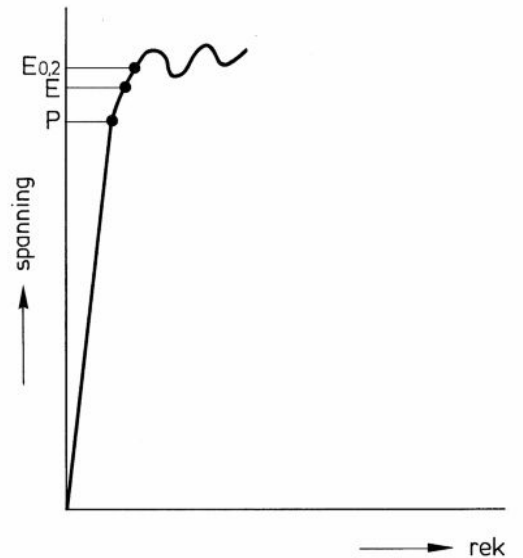
Vloeigrens

Bij zacht staal (constructiestaal) gebeurt iets bijzonders in de trekkromme. Het materiaal verliest plotseling een deel van zijn weerstand en rekt ineens sneller uit bij verdere evenredige toename van de spanning.

De reksnelheid is hierbij groter dan de snelheid waarmee de trekbank de staaf uitrekt. De spanning wordt hierdoor even iets minder. De trekbank loopt echter door, zodat meteen daarna de spanning weer toeneemt.

Het materiaal geeft dan opnieuw een deel van zijn weerstand op, zodat weer even een snelle rek optreedt. Dit verschijnsel, dat zich een paar keer kan herhalen, wordt 'vloeien' van het materiaal genoemd.

De vloeigrens is de laagste spanning waarbij het materiaal voor het eerst tijdens de proef rekt zonder dat de spanning toeneemt.
De vloeigrens is het punt waarop het materiaal in de trekbank begint te vervormen. Vanaf dat punt begint de blijvende rek.



Contractie

Tijdens het vloeien wordt over de gehele meetlengte de diameter iets kleiner. De lengte neemt tegelijkertijd aanzienlijk toe. Dit verschijnsel wordt *contractie* genoemd.

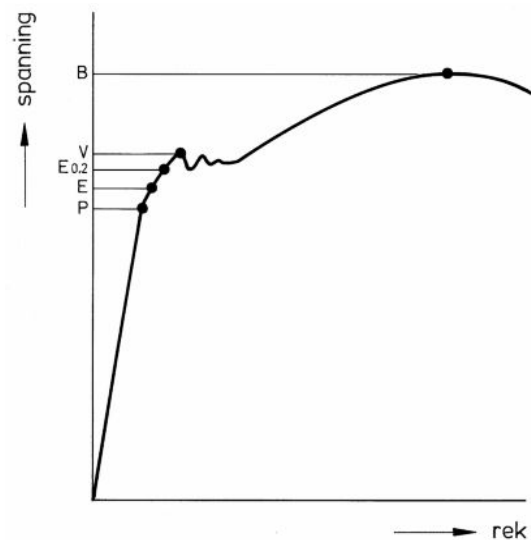


Diameter wordt kleiner en de lengte neemt toe

Treksterkte

De trekbank voert de trekspanning verder op tot de maximale spanning optreedt die het materiaal kan verdragen. Deze spanning noem je de *treksterkte* R_m (of *breekgrens*).

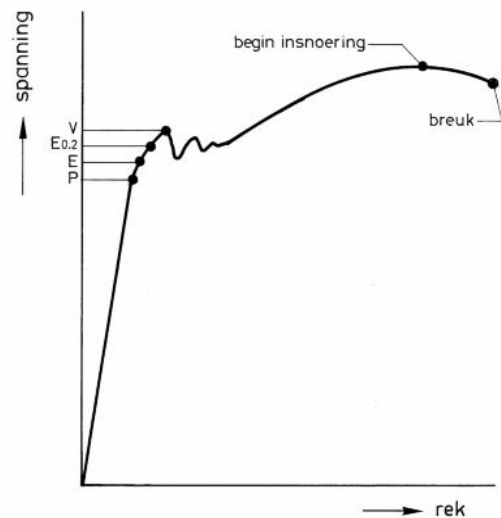
In de afbeelding 'B = breekgrens' is de treksterkte aangeduid met B.
Een constructie mag nooit belast worden tot de treksterkte, omdat het materiaal bij deze spanning kan breken.



B = breekgrens

Insnoering

Als de treksterkte is bereikt treedt er ergens in de proefstaaf plotseling een sterke doorsnede-vermindering op. Dit verschijnsel wordt *insnoering* genoemd.



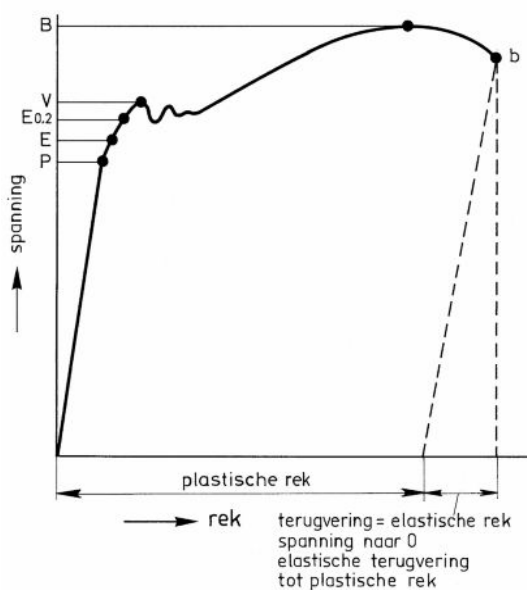
Door deze insnoering wordt de reksnelheid steeds groter en neemt de spanning af. De doorsnede is nu zo verkleind dat de staaf kort hierna breekt op de (zwakke) plek van de insnoering.



Breekpunt

Het breekpunt is het punt in het spanning-verlengingsdiagram waarbij de staaf breekt.

De spanning is hierbij niet van belang. Dit punt bepaalt de totale rek van de staaf, aangeduid met b.



Terugvering

De staaf veert iets terug doordat bij het breekpunt de trekspanning volledig wegvalt.



1. Hoe kun je de trekkracht meten van een materiaal?



2. Hoe wordt het spanningsrekdiagram ook wel genoemd?

1.2 Hardheidsmetingen

De hardheid van een materiaal is de weerstand die dat materiaal biedt tegen blijvende vervorming, door indrukking met een bepaalde kracht. Hardheid is een belangrijke mechanische eigenschap. Een hard materiaal is over het algemeen goed bestand tegen slijtage. Maar de ruwheid van het oppervlak heeft ook invloed op de slijtage. Omdat er veel verschillende materialen zijn, zijn er ook veel methoden ontwikkeld om de hardheid nauwkeurig te meten. Bij de meeste hardheidsmetingen wordt er een indruklichaam (kogel, piramide, kegel) met een bepaalde kracht in het materiaal gedrukt. Daarna wordt de vervorming gemeten.

Er zijn:

- Vast opgestelde hardheidsmetingen: Brinell, Vickers, Rockwell
- Mobiele hardheidsmetingen: Equotip, Microdur, Shore, Poldihamer.

Brinell-hardheidsmeting

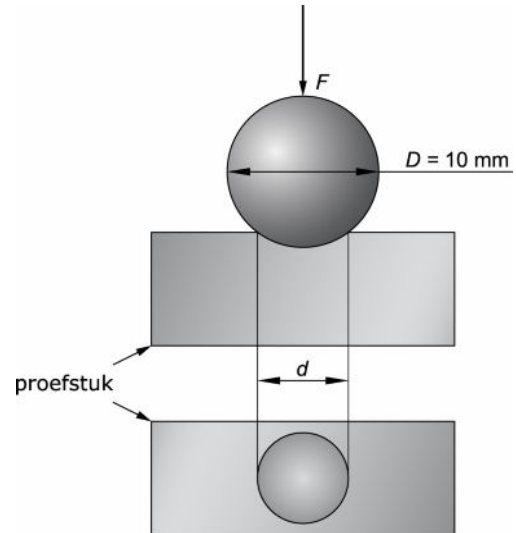
De Brinell-hardheidsmeting wordt vooral gebruikt om de hardheid van gietijzersoorten te bepalen.



Brinell-hardheidsmeter (rechts)

Principe

Je legt het proefstuk waarvan je de hardheid wilt meten op het ondersteuningsvlak van de Brinell-hardheidsmeter. De hardheidsmeter drukt een geharde stalen kogel (met een gekozen diameter) met een vooraf ingestelde kracht en tijdsduur in het materiaal. Na de ingestelde tijdsduur wordt de kracht weggenomen en meet je met een vergrootglas de diameter van de indrukking.



Principe hardheidsmeting

Meetwaarde en notatie

Je berekent de Brinell-hardheid (in N/mm^2) door de gebruikte indrukkraft F (in N) te delen door de oppervlakte van de indrukking A .

$$HB = \frac{F}{A}$$

De oppervlakte van de indrukking kun je berekenen met de formule:

$$A = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)$$

D = diameter kogel

d = diameter indrukking.

In berekeningen wordt voor kracht (F) de eenheid Newton (N) en voor A de eenheid mm^2 gebruikt (SI-eenheden). De omrekeningfactor van N naar kgf ($1/g = 1/9,81 = 0,102$) is nodig om toch de juiste Brinellhardheidswaarde (kgf/mm^2) te krijgen.

Voorbeeld

Je voert een Brinell-hardheidsmeting uit met een indrukkraft $F = 25000 \text{ N}$.

Je berekent de oppervlakte van de indrukking: $A = 8,53 \text{ mm}^2$.

Voor de Brinell-hardheid geldt:

$$HB = F/A = 25000 \text{ N} / 8,53 \text{ mm}^2 = 2930 \text{ N/mm}^2$$

Om de juiste HB-waarde te krijgen (in kgf/mm^2) vermenigvuldig je dit met 0,102.

$$HB = 2930 \text{ N/mm}^2 \times 0,102 = 298,9 \text{ kgf/mm}^2$$

De hardheid Brinell wordt dan: 300 HB

300 HBS 10/255/30

300 = hardheidswaarde

HBS = meting volgens Brinell uitgevoerd met een stalen kogel

10 = diameter van de kogel

255 = kracht in kgf (25000 N)

30 = belastingtijd in seconden

300 HBW 5/255/30

300 = hardheidswaarde

HBW = meting volgens Brinell uitgevoerd met een hardmetalen kogel

5 = diameter van de kogel

255 = kracht in kgf (25000 N)

30 = belastingtijd in seconden

Voor- en nadelen Brinell

Voordelen:

- Geschikt voor hardheidsmeting van niet-homogene materialen, zoals gietijzer. De relatief grote diameter van de kogel zorgt voor een grote indrukking en levert daardoor een goede gemiddelde waarde op.
- Het meetoppervlak hoeft niet glad te zijn.

Nadelen:

- Een grote kogel maakt een grote beschadiging in het materiaal.
- De Brinell-methode is ongeschikt voor zeer hard materiaal, omdat de kogel kan vervormen. De maximale waarde is 430 HB.
- Koudvervormen tijdens de meting.
- Vrij omslachtige meetmethode.
- Ongeschikt voor kleine vlakken.

Vickers-hardheidsmeting

Met de Vickers-hardheidsmeting kun je de hardheid van zeer harde metalen bepalen.

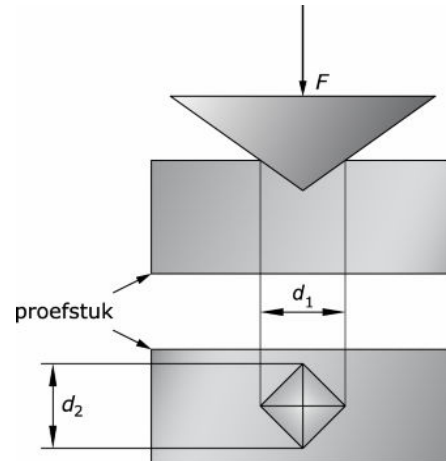
Bij deze hardheidsmeting gebruik je een diamanten piramide als indruklichaam.

Diamant is het hardste materiaal dat voorkomt in de natuur.

Principe

De diamanten piramide heeft vier vlakken en een tophoek van 136° . Deze vorm zorgt ervoor dat de Vickers-hardheid (HV) bij zachte homogene materialen gelijk is aan de Brinell-hardheid (HB). Dit geldt tot 350 HV.

De punt van de piramide wordt bij kamertemperatuur met een instelbare kracht in het materiaal gedrukt. De kracht wordt langzaam aangebracht. Na de ingestelde belastingtijd wordt de kracht weggenomen. Voor staal, koper en koperlegeringen is de belastingtijd 10-15 seconden. Bij lichtmetalen is dat 30 seconden.



Principe Vickers-hardheidsmeting

De grootte van de oppervlakte van de indrukking tussen de diagonalen d_1 en d_2 is een maat voor de hardheid. Hoe zachter het materiaal, hoe groter deze oppervlakte is. In tegenstelling tot Brinell is de diepte van de indrukking niet van invloed op de nauwkeurigheid van de meting.

Voor- en nadelen Vickers

Voordelen:

- de proef is geschikt voor zachte en harde materialen
- de indrukking is klein. Daardoor kun je ook de hardheid van zeer dunne materialen meten
- diepte indrukking heeft geen invloed op nauwkeurigheid
- geringe beschadiging van het werkstukoppervlak
- nauwkeurige meetmethode.

Nadelen:

- niet-homogene materialen zijn niet of moeilijk te meten
- het materiaaloppervlak moet glad bewerkt zijn vanwege de kleine indrukking
- meting moet loodrecht op het oppervlak van het materiaal plaatsvinden
- tijdrovende meting.

Rockwell-hardheidsmeting

De Rockwell-hardheidsmetingen worden het meest toegepast, omdat ze snel en eenvoudig uitvoerbaar zijn. Er zijn hierbij twee methodes:

- HRC (Cone):
het indruklichaam is een diamanten kegel. Deze methode is geschikt voor harde materialen (bijvoorbeeld gehard staal).
- HRB (Ball):
het indruklichaam is een kleine geharde stalen kogel. Deze methode is geschikt voor zachte materialen (zacht staal, aluminium, koper en hun legeringen).

Principe

Bij beide Rockwell-metingen wordt het indruklichaam met een *voorbelasting* in het materiaal gedrukt. De voorbelasting zorgt ervoor dat het meetresultaat niet meer wordt beïnvloed door kleine materiaal-oneffenheden. Vervolgens wordt de *hoofdbelasting* toegevoegd aan de voorbelasting.

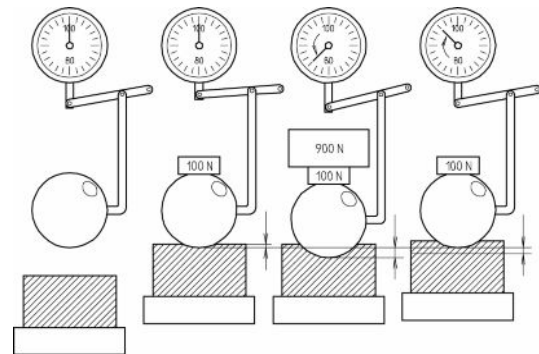
De blijvende indrukdiepte is een maat voor de hardheid. Er wordt dus niet gekeken naar de oppervlakte van de indrukking, zoals bij de Brinell- en Vickers-hardheidsmeting.

Bij de Rockwell-hardheidsmetingen geldt: hoe dieper het indruklichaam in het materiaal wordt gedrukt, hoe zachter het materiaal is.

Als de hoofdbelasting wordt weggenomen kun je de hardheidswaarde direct aflezen op een display, of bij oudere testapparaten op een meetklok.



Rockwell-hardheidsmeter

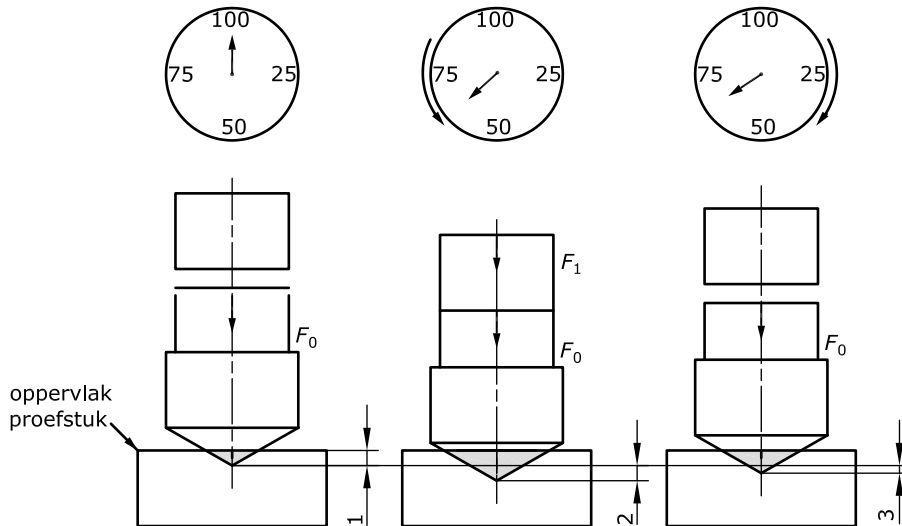


Aflezen op een meetklok

Hardheid Rockwell Cone (HRC)

Bij de methode Hardheid Rockwell Cone (HRC) gebruik je een diamanten kegel met een tophoek van 120° . Je brengt een voorlast F_0 aan van 10 kgf. Daarna stel je de display of de meetklok in op 100 eenheden Cone. De waarde 100 geldt voor het hardste materiaal (geen indrukking) en de waarde 0 voor het zachtste materiaal. Je brengt de hoofdlast F_1 aan op het proefstuk. Bij HRC is deze hoofdlast 140 kgf. Er staat nu dus een totale last van 150 kgf ($F_0 + F_1$) op de kegel. Na het aanbrengen van de hoofdlast loopt de meetwaarde terug (bij HRC 100 is er geen indrukking). Na minimaal 20 seconden wordt de hoofdlast verwijderd. Het materiaal veert nu terug, maar is wel blijvend vervormd.

Als de meetwaarde niet meer dan 80 schaaldelen is teruggegaan, is de meting geldig geweest. Je kunt dan de Hardheid Rockwell Cone (HRC) aflezen. In de afbeelding is dit HRC 60. Als de wijzer meer dan 80 schaaldelen is teruggegaan (< 20 HRC), is de meting ongeldig. De indrukking is dan te groot omdat het materiaal zeer zacht is. Gebruik dan de methode Hardheid Rockwell Ball (HRB).

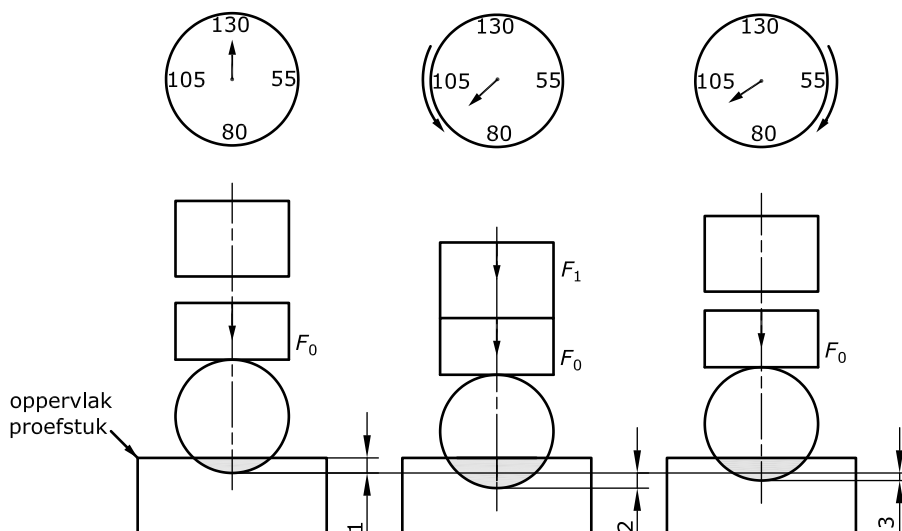


Bepaling Hardheid Rockwell Cone

Hardheid Rockwell Ball (HRB)

De Rockwell Ball-hardheidsmeting wordt uitgevoerd met een gehard stalen kogel. De meest gebruikte kogel heeft een diameter van 1/16 inch. Je brengt een voorlast F_0 aan van 10 kgf. Daarna stel je het display of de meetklok in op 130 eenheden Ball. De waarde 130 geldt voor het hardste materiaal (geen indrukking) en de waarde 30 voor het zachtste materiaal.

Je brengt de hoofdlast F_1 aan op het proefstuk. Bij HRB is deze hoofdlast 90 kgf. Er staat nu dus een totale last van 100 kgf ($F_0 + F_1$) op de kogel. Na het aanbrengen van de hoofdlast loopt de meetwaarde terug (HRB 130 = geen indrukking). Na minimaal 20 seconden wordt de hoofdlast verwijderd. Het materiaal veert nu terug, maar is wel blijvend vervormd. Het display of de meetklok geeft nu de hardheid Rockwell Ball aan. In dit voorbeeld is dit: HRB 80.



Bepaling Hardheid Rockwell Ball

Voor- en nadelen Rockwell

Voordelen:

- hardheidswaarde direct afleesbaar
- geringe beschadiging van het materiaal
- zeer geschikt voor metingen tijdens productieproces
- HRC-methode is geschikt voor het meten van zeer harde materialen.

Nadelen:

- niet geschikt voor niet-homogene materialen (bijvoorbeeld gietijzer)
- niet geschikt voor dunne materialen
- minder nauwkeurig.

Mobiele hardheidsmetingen

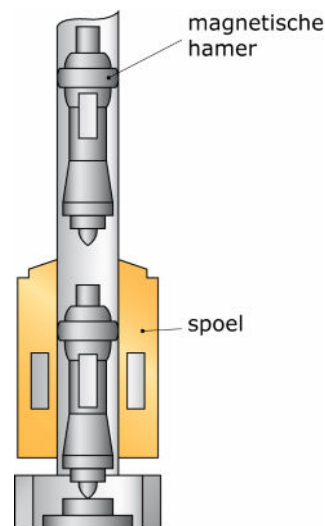
Bij de hardheidsmetingen volgens Brinell, Vickers en Rockwell gebruik je vrij grote testapparaten. Deze zijn meestal vast opgesteld in het laboratorium van een kwaliteitsafdeling van een bedrijf. Er zijn ook draagbare hardheidsmeters, waarmee je op locatie de hardheid kunt bepalen. Deze worden bijvoorbeeld gebruikt voor hardheidsmetingen in de warmtebeïnvloede zones van lasverbindingen. Of voor het bepalen van de hardheid van zeer grote constructies.



Hardheid meten op locatie

Equotip

Een Equotiptester (of: Reboundtester) bestaat uit een stift met een veerbelaste, magnetisch hamer en een meetunit. De hamer wordt tegen de veerkracht ingedrukt en op spanning vastgehouden. De stift wordt op het te testen materiaaloppervlak geplaatst. Vervolgens wordt de ontgrendelknop ingedrukt, waardoor de hamer op het werkstuk slaat en vervolgens terugschiet. In de stift bevindt zich een spoel. De meetunit meet de spanning die de magnetische hamer in deze spoel opwekt bij het terugschieten. Deze spanning is een indicatie van hoe ver de hamer is teruggeschoten.

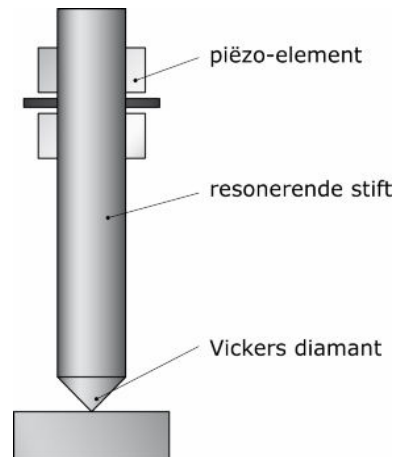


Principe Equotip-test

De meetunit rekent de spanning om naar HB, HV, HRC, HRB of shore. Vanwege de grote onnauwkeurigheid wordt meestal het gemiddelde van vijf meetwaarden genomen.

Microdur

Een Microdur-tester bestaat uit een stift met aan het uiteinde een Vickers-diamant, en een meetunit. Een piezo-element brengt de stift in hoogfrequente (ultrasone) trilling. Als je de diamant op het te testen oppervlak plaatst zal deze gaan resoneren. De resonantiefrequentie hangt af van de hardheid van het materiaaloppervlak.



Principe Microdur-test

De meetunit meet de frequentieverandering en zet deze om in een hardheidswaarde die je kunt aflezen van het display. Omdat de vervorming door deze test zeer klein is, wordt de Microdur-test vaak ook gerekend tot het niet-destructieve materiaalonderzoek. De test is geschikt voor zeer dunne materialen, bijvoorbeeld folie.

Shore

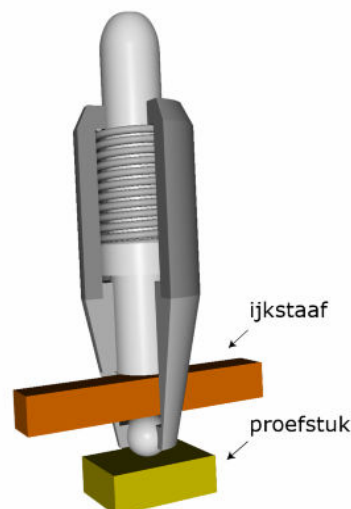
Bij de shore-test gebruik je een durometer, die de indrukdiepte van een naald neemt als maat voor de hardheid. De Shore-hardheid is hierbij direct afleesbaar op een meetklok. De shore-test wordt vooral gebruikt voor het meten van de hardheid van kunststoffen en composietmateriaal.



Skatewielen met Shore-hardheid 84A

Poldihamer

De Poldihamer is een eenvoudig apparaat waarmee je de Brinell-hardheid kunt bepalen. Je maakt bij deze methode gebruik van een staafje waarvan de hardheid bekend is. Dit noem je de ijkstaaf. Je slaat een indrukking in dit staafje en tegelijkertijd in het materiaal met de onbekende hardheid. Daarna meet je beide indrukkingen op en vergelijkt deze met elkaar. Met een bijgeleverde tabel kun je de hardheid vaststellen. De methode komt steeds minder voor, omdat deze vrij onnauwkeurig is.



Poldihamer



3. Noem drie verschillende hardheidsmethoden.

1.3 Buigproef

De buigproef is een simpele en goedkope test waarmee je de buigbaarheid en de taaiheid van een materiaal kunt bepalen. De buigproef wordt vaak gebruikt als een kwaliteitstest voor stompe lasverbindingen.

Voordeel van de buigproef is dat zowel de buigstaaf als het benodigde apparaat eenvoudig zijn. Je hebt geen dure testapparatuur nodig. De proefstukken kunnen snel worden gemaakt en je kunt de test uitvoeren op de werkvloer.

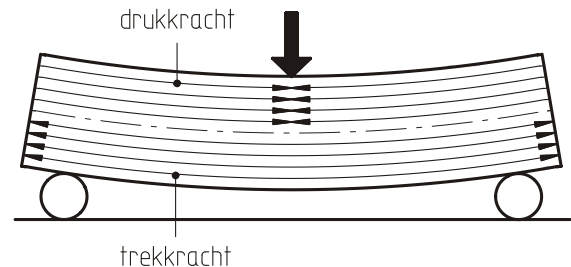


Buigproef met een buigdoorn

Je kunt de proefstaaf vrij buigen met een doorn of een rol. Taaie materialen buigen ver door en het duurt lang voor ze breken. Brosse materialen zullen weinig doorbuigen en snel breken.

Buigsterkte

Er is een bepaalde kracht nodig om een voorwerp te buigen. Hierdoor ontstaan in het ene deel trekkrachten en in het andere deel drukkrachten. De krachten worden uitgedrukt in Newton (N) of kiloNewton (kN).



Buigsterkte bepalen

De trek- en drukkrachten veroorzaken hierin een spanning (kracht per oppervlakte-eenheid).

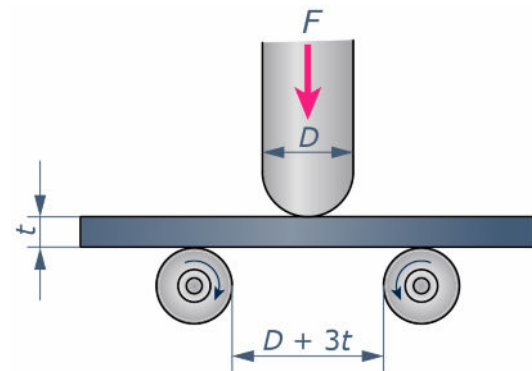
Deze spanning is de buigspanning, uitgedrukt in N/mm^2 .

Definitie buigsterkte

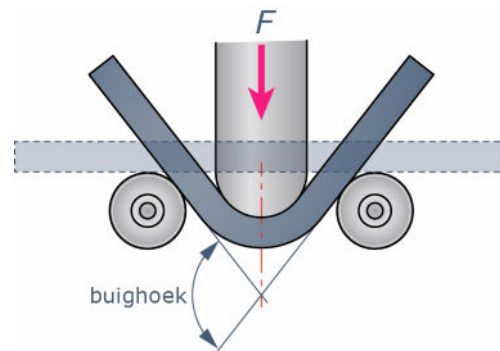
De buigsterkte is de maximale spanning die een materiaal kan verdragen zonder te bezwijken.

Spanning in de buigstaaf

Als voorbeeld nemen we een buigdoorn.
De spanning in de proefstaaf hangt af van de diameter van de doorn waarmee de buigstaaf wordt gebogen. De diameter staat in relatie met de dikte (t) van de buigstaaf. Meestal wordt de diameter uitgedrukt in een veelvoud van t . Bijvoorbeeld $3t$, $4t$ enzovoorts.
Voor slecht vervormbare materialen, zoals volledig geharde aluminiumlegeringen, kan de diameter toenemen tot $8t$. Aan de andere kant kunnen voor gegloeid laaggelegeerde stalen diameters tot $3t$ worden toegepast. De hoek van de buiging mag 90° , 120° of 180° zijn.
Tenslotte wordt de proefstaaf onderzocht op defecten aan de trekspanningszijde.



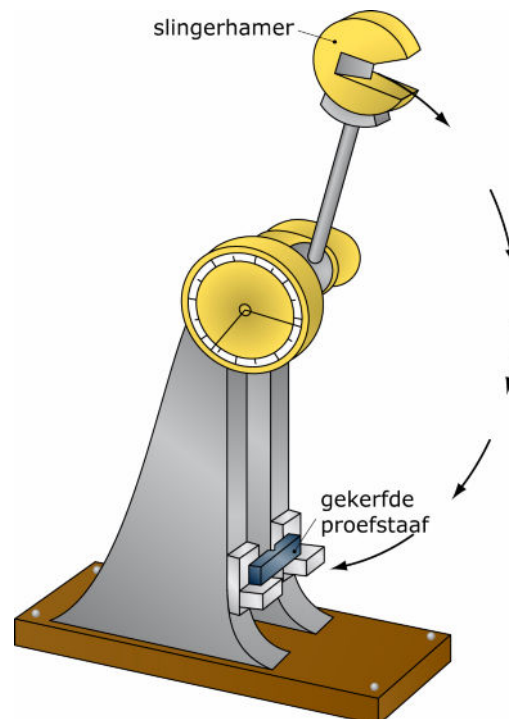
De diameter staat in relatie met de dikte



De hoek van de buiging

1.4 Kerfslagproef

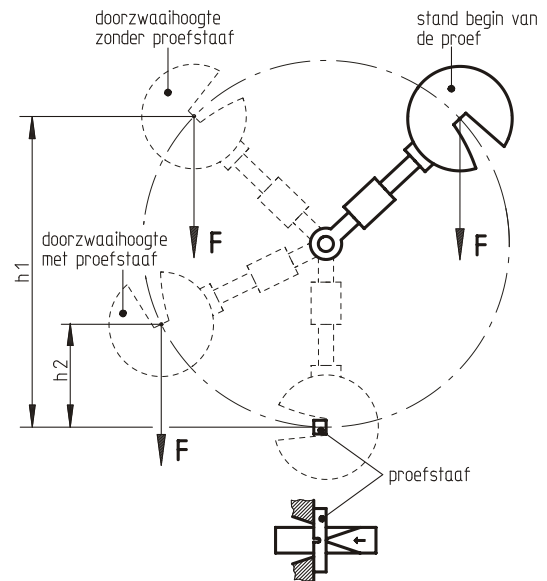
De kerfslagproef is een proef waarmee je de gevoeligheid voor brose breuk van een materiaal kunt voorspellen. Het ontstaan van brose breuken is ontdekt door de opkomst van het lassen in de jaren dertig van de vorige eeuw. Verschillende constructies braken spontaan (meestal in de winter). Bijvoorbeeld een stalen brug bij Hasselt (België, 1938). Het vreemde was, dat het staal van deze constructies bij trekproeven goed was gebleken. Om brose breuk van staalconstructies te voorkomen is een testmethode ontwikkeld, de kerfslagproef (ook wel de Charpy proef genoemd).
De kerfslagproef wordt gebruikt voor onderdelen die op stoot worden belast, zoals drijfstenen en drijfstenenbouten. Maar vooral voor staal waaraan gelast moet worden zoals staalconstructies en drukvaten, en dan vooral bij lage ontwerptemperaturen.



De kerfslagproef

Hoe werkt de kerfslagproef

Je plaatst een vierkant staafje met een gekalibreerde zaagsnede in het Charpy-meettoestel. Aan het uiteinde van de pendel zit een slingerhamer. De hamer valt eerst zonder teststuk vanaf zijn ruststand en zwaait op tot een bepaalde hoogte. Daarna plaats je het proefstaafje in het pad van de hamer waarna de hamer het kapot slaat. De hamer zwaait minder hoog op, omdat het staafje weerstand biedt. Als het materiaal te taai is, kan het zijn dat het niet wordt kapotgeslagen en gebruik je een zwaardere hamer.

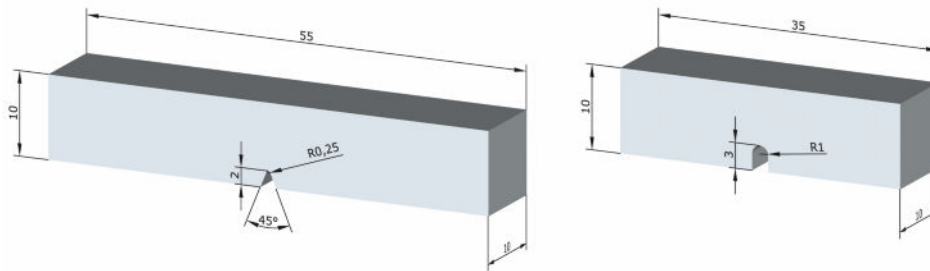


Werking kerfslagproef

De taaiheid van staal is temperatuursafhankelijk. In de Europese normen zijn vier meettemperaturen vastgelegd 20 °C, 0 °C, -20 °C en -40 °C. Door de test uit te voeren bij een temperatuur die overeenkomt met gebruikstemperatuur van het materiaal, weet je of het materiaal bestand is tegen bros breken.

Kerfslagproefstaaf

De proefstaven zijn genormaliseerd. De kerf is voor taaie materialen meestal scherp uitgevoerd, voor brosse materialen is de kerf afgerond.



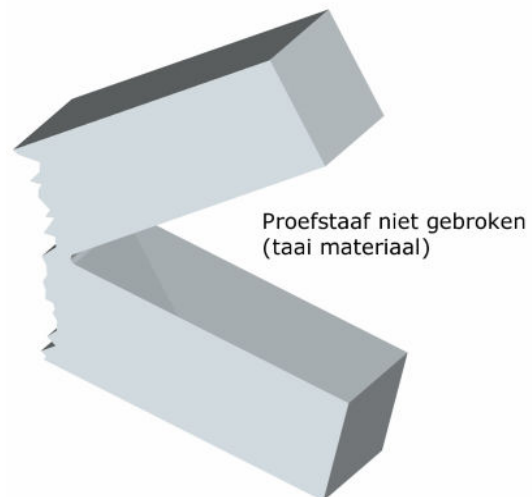
De proefstaven zijn genormaliseerd

Aard van de breuk

De breuk kan verschillende vormen en oppervlakken hebben.

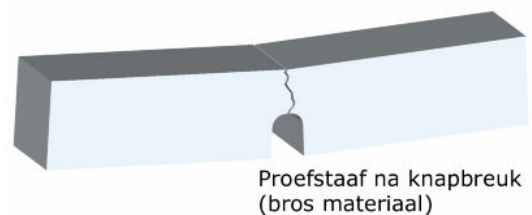
Taaie breuk

Bij een taaie breuk is de proefstaaf sterk vervormd en daarna doorgescheurd (hoge kerfslagwaarde). Het breukvlak is onregelmatig en heeft een vezelachtig uiterlijk.



Brosse breuk

Bij een brosse breuk is de proefstaaf niet of nauwelijks vervormd en ineens doorgebroken (lage kerfslagwaarde). Het breukvlak heeft een glinsterend oppervlak.



Gemengde breuk

De gemengde breuk is deels bros en deels taai. Deze breuk komt het meest voor. Bij dit breuktype moet je inschatten hoeveel procent bros en hoeveel procent taai is.



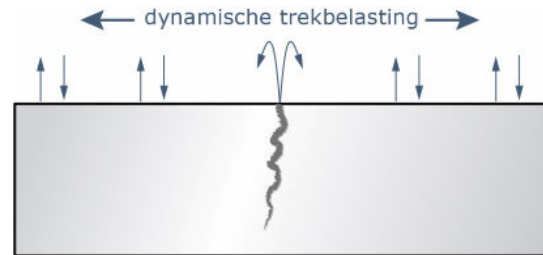
4. Wordt staal bij lage of bij hoge temperatuur brosser?

1.5 Vermoeiingsproef

Rond het jaar 1800 nam het vervoer per trein sterk toe. Men ontdekte dat veel belaste wagonassen voortijdig braken. Na onderzoek kwam men tot de conclusie dat er sprake was van vermoeiingsbreuken. Vermoeiingsbreuken zijn zeer verraderlijk, omdat ze zonder waarschuwing kunnen leiden tot grote rampen. Een bekend voorbeeld is het ongeluk met het Comet vliegtuig in 1954. Dit vliegtuig scheurde tijdens een vlucht open.

Vermoeiing

Vermoeiing ontstaat door het wisselend (dynamisch) belasten van een materiaal. De voortdurende spanningswisselingen veroorzaken microscheurtjes in het materiaal, die uiteindelijk tot breuk leiden. Het materiaal is niet bestand tegen deze spanningspieken.



De voortdurende spanningswisselingen veroorzaken microscheurtjes in het materiaal

Vermoeiingsgrens

De vermoeiingsgrens is een maat voor de vermoeiingssterkte. Dit is de maximale spanning waarbij geen falen optreedt, ongeacht het aantal wisselingen. Staal is een materiaal met een vermoeiingsgrens. Aluminium heeft bijvoorbeeld geen vermoeiingsgrens.

Bij berekeningen wordt voor dynamische belastingen een lagere grenswaarde aangehouden dan bij statische belastingen.

1.6 Samenvatting

- Als je het materiaal beschadigd, noem je dat destructief onderzoek. Als je het materiaal niet beschadigd, noem je dat niet-destructief onderzoek.
Verschillende destructieve materiaalproeven zijn:
 - de trekproef
 - de hardheidsmeting
 - de buigproef
 - de kerfslagproef
 - de vermoeiingsproef
- Als je de treksterkte van een materiaal wilt weten, moet je het materiaal belasten tot het breekt.
- De manier waarop je de trekproef uit moet voeren is vastgelegd in Europese normen. Hierin staan ook de voorgeschreven vormen en afmetingen van de trekproefstaven.
- De proefstaven kunnen een ronde of vierkante vorm hebben. De meest bekende proefstaven zijn de dp5 trekproefstaaf en de dp10 trekproefstaaf.
- Het verband tussen spanning en rek wordt in een spanningsrekdiagram weergegeven. Dit wordt ook wel de trekkromme genoemd.
 - De *evenredigheidsgrens*
 P is de maximale spanning waarbij de rek evenredig verloopt met de spanning.
 - De *elasticiteitsgrens*
 E is de maximale spanning waarbij geen blijvende vervorming optreedt.
 - De *vloeigrens*
is de laagste spanning waarbij het materiaal voor het eerst tijdens de proef rekt zonder dat de spanning toeneemt.
 - De insnoering
is de doorsnede-vermindering van een proefstaaf.
 - *Contactie*
Tijdens het vloeien wordt over de gehele meetlengte de diameter iets kleiner.
 - De *treksterkte*
is de maximale spanning die een materiaal kan hebben.
 - Het *breekpunt*
is het punt in het spanning-verlengingsdiagram waarbij de staaf breekt.
- Hardheid is de weerstand die een materiaal biedt tegen blijvende vervorming veroorzaakt door indrukking van een ander lichaam.
- Bekende hardheids meetmethoden zijn:
 - Brinell (HB), Vickers (HV), Rockwell (HR)
 - Poldihamer, Scleroscoop (Shore), Microdur, Equotip
- De buigproef wordt gebruikt om de buigbaarheid en vastheid van een materiaal te bepalen. De buigproef is een goedkope en gemakkelijke meetmethode.
- Brosse materialen zullen sneller breken als taaie materialen.
- De kerfslagproef is een methode om gevoeligheid voor brose breuk bij staal te voorspellen. Deze proef wordt gebruikt voor voorwerpen die op stoot worden belast. Voor een goede meetwaarde moet de test bij voorkeur worden uitgevoerd bij de gebruikstemperatuur.
- Vermoeiing ontstaat door het wisselend (oftewel dynamisch) belasten van een materiaal. De voortdurende spanningswisselingen veroorzaken microscheurtjes in het materiaal, die uiteindelijk tot breuk leiden.

1.7 Antwoorden

Antwoord 1

De trekkracht van een materiaal kun je meten door een trekproef te doen. Dit gebeurt op een trekbank.

Antwoord 2

Het spanningsrekdiagram wordt ook wel de trekkromme genoemd.

Antwoord 3

hardheidsmeetmethoden kunnen zijn:

- Brinell (HB)
- Vickers (HV)
- Rockwell (HR) veel toegepast in de Verenigde Staten
- Poldihamer
- Scleroscoop (Shore)

Antwoord 4

Staal wordt bij lage temperatuur brosser.

2 Vragen Materiaalbeproeving (destructief)

Vraag 1

In welke twee varianten kun je materiaalonderzoek verdelen ?

Vraag 2

Noem drie vormen van destructief materiaalonderzoek.

Vraag 3

Wat wordt met de trekproef bepaald?

Vraag 4

Waarom zijn de testen vastgelegd in normen?

Vraag 5

Wat is een trekspanning?

Vraag 6

Waarom zijn de uiteinden van een trekproefstaaf dikker uitgevoerd?

Vraag 7

Wat is een spanningsrekdiagram?

Vraag 8

Hoe wordt het spanningsrekdiagram ook wel genoemd?

Vraag 9

Wat versta je onder de evenredigheidsgrens?

Vraag 10

Wat versta je onder de elasticiteitsgrens?

Vraag 11

Wat versta je onder de vloeigrens?

Vraag 12

Wat versta je onder contractie?

Vraag 13

Wat versta je onder de hardheid van een materiaal?

Vraag 14

Waar kan hardheid voor nodig zijn?

Vraag 15

Noem drie vormen van hardheidsmeting.

Vraag 16

Verklaar de werking van Brinell.

Vraag 17

Verklaar de werking van Vickers.

Vraag 18

Welke hardheid meetmethode wordt hier weergegeven?



Vraag 19

Noem een voordeel van de buigproef.

Vraag 20

Wat versta je onder de buigsterkte van een materiaal?

Vraag 21

Verklaar de werking van de kerfslagproef.

Vraag 22

Bij welke temperaturen is materiaal brosser?

- ☐ koude temperatuur
- ☐ warme temperatuur

Vraag 23

Wat versta je onder vermoeiing van een materiaal?

Vraag 24

Vermoeiing treedt op bij

- ☐ dynamische belasting.
- ☐ statische belasting.

3 Materiaalbeproeving (niet-destructief)

Inleiding

Je kunt de kwaliteit van een geproduceerd product meestal niet met het blote oog controleren. Tijdens de productie kunnen er fouten en defecten in het product ontstaan, die grote gevolgen kunnen hebben tijdens gebruik. Denk bijvoorbeeld aan lasfouten in gelaste drukvaten, kraanconstructies en vliegtuigonderdelen.

Het is dus belangrijk om de aanwezigheid, de ligging, de afmetingen en de aard van fouten op te sporen. Om deze reden zijn er diverse onderzoeksmethoden ontwikkeld die tijdens de productie (maar ook daarna, tijdens onderhoud) kunnen worden ingezet. Met deze onderzoeksmethoden kun je fouten vroegtijdig opsporen en het product goedkeuren, laten repareren, of afkeuren.



Materiaalonderzoek

Leerdoelen

Je kunt:

- niet-destructieve onderzoeksmethoden noemen
- de werking van niet-destructieve onderzoeksmethoden uitleggen
- toepassingsgebieden van niet-destructieve onderzoeksmethoden noemen
- veiligheidseisen noemen voor niet-destructieve onderzoeksmethoden

3.1 Niet-destructieve materiaalbeproeving

Niet-destructieve materiaalbeproeving geeft een indruk van de kwaliteit van een las of een constructie. Bij niet-destructieve materiaalbeproeving wordt het materiaal niet beschadigd. Niet-destructief onderzoek (NDO) levert een belangrijke bijdrage aan de kwaliteitscontrole tijdens en na het productieproces.

Niet-destructieve onderzoeksmethoden kun je op vrijwel alle technische materialen toepassen. Bijvoorbeeld op metalen, maar ook op polymeren en keramische materialen. De laatste jaren is ook de beproeving van composieten steeds meer in opkomst.

Met NDO-methoden kun je naast fouten in de materiaalstructuur bijvoorbeeld ook de mechanische eigenschappen, de chemische samenstelling en inwendige spanningen van een product bepalen. NDO-methoden kun je inzetten bij de productie, maar ook voor procesbewaking en voor inspectie tijdens bedrijf en bij onderhoud.

NDO-methoden en toepassing

NDO (niet-destructief materiaalonderzoek) kan op veel verschillende manieren plaatsvinden. Zowel aan de apparatuur als aan de bediening worden hoge eisen gesteld. Dat wil zeggen dat de bediener van deze onderzoeken gecertificeerd moet zijn om de onderzoeken uit te mogen voeren.

In de volgende tabel 'Toegepaste NDO-methoden' zie je de meest toegepaste NDO-methoden en de fouten die met deze methoden op te sporen zijn. Ook is aangegeven voor welk inspectiegebied van het materiaal de NDO-methoden geschikt zijn.

NDO-methode	Inspectiegebied	Opspoorbare fouten
Visuele inspectie	Oppervlakte	Wals- en smeedfouten, inkarteling bij lassen, verzinkfouten.
Magnetisch onderzoek	Oppervlakte	Wals- en smeedfouten, oppervlaktescheuren bij lassen, oppervlaktefouten bij gieten, afwijkende laagdikte bij verzinken en verkoperen, hardingsscheuren, scheuren bij spanningsarmgloeien, vermoeiing en brosse breuk, corrosie.
Penetrant onderzoek	Oppervlakte	Oppervlaktescheuren, gietfouten, hardingsscheuren, scheuren bij spanningsarmgloeien, vermoeiing en brosse breuk, corrosie.
Wervelstroom-onderzoek	Oppervlakte	Afwijkende laagdikte bij plastificeren van staal, hechttingsfouten bij keramische deklagen op metalen objecten, afwijkende indringdiepte bij carboneren, wanddikteafname en scheurvorming door corrosie.
Ultrasoon onderzoek	Gehele volume	Wals- en smeedfouten, vrijwel alle voorkomende lasfouten, onvoldoende hechting bij solderen en lijmen, gietfouten, verzinkfouten, wanddiktemeting, hardingsfouten en fouten door spanningsarmgloeien, vermoeiing en brosse breuk, corrosie.
Radiografisch onderzoek	Gehele volume	Lasfouten, hechttingsfouten bij lijmen, gietfouten, corrosie.
Akoestisch onderzoek	Gehele volume	Waterstofscheuren bij lassen.

Toegepaste NDO-methoden

Keuze van de methode

Naast enkel onderzoek kun je ook kiezen uit *inspectie tijdens bedrijf* en *inspectie tijdens onderhoud*.

Bij inspectie tijdens onderhoud wordt er periodiek gecontroleerd, tijdens onderhoudsbeurten.

Bijinspectie tijdens bedrijf bewaken controlemiddelen een proces of constructie continu. Bijvoorbeeld drukvaten met chemische stoffen, of constructies die dynamisch worden belast.

Je hebt ook nog de mogelijkheid om op afstand te controleren. Denk hierbij aan constructies onder water, of aan kerncentrales. Hiervoor kunnen robots worden ingezet.

Om tot de juiste onderzoeksmethode te komen, moet je een gegevens kennen van het te onderzoeken materiaal:

- materiaaldikte
- materiaalsamenstelling (mechanisch-, fysisch- en chemisch gedrag)
- fabricagemethode (lassen, lijmen, gieten, smeden)
- structuur (oppervlaktegesteldheid, vormgeving, toegankelijkheid)
- te verwachten fouten
- kosten
- beschikbaarheid van getraind/gecertificeerd personeel
- gewicht en volume.

3.2 Visuele inspectie

De eenvoudigste en goedkoopste NDO-methode is inspectie met het blote oog.

Werkingsprincipe

Bij visuele inspectie bekijk je het oppervlak van een werkstuk om daarin bijvoorbeeld wals- en smeedfouten op te sporen. Een visuele inspectie is voor veel producten voldoende.

Visuele inspectie wordt ook vaak toegepast als eerste inspectiemethode. Als je fouten constateert, of het vermoeden hebt dat er fouten aanwezig zijn, kun je daarna andere NDO-methoden inzetten om het product nauwkeuriger te onderzoeken.

Hulpmiddelen

Hulpmiddelen voor visuele inspectie:

- vergrotingsapparatuur (vergrootglas, microscoop)
- boroscoop en periscoop
- gesloten camerasysteem voor moeilijk bereikbare plaatsen



Boroscoop

Toepassingsgebieden

- Automobiellndustrie:
inspectie van pompen, radiatoren, versnellingsbakken.
- Vliegtuigindustrie:
inspectie van schoepen en verbrandingskamers van straalmotoren, hogedrukpompen, aandrijvingen.
- Scheepsbouw:
inspectie van dieselmotoren en gasturbines.
- Metaalindustrie:
inspectie van gietstukken, lassen in drukvaten, oppervlaktegesteldheid van boringen.
- Chemische industrie:
inspectie van gascilinders, leidingen en tanks.
- Nucleaire industrie:
inspectie van koelkanalen, koelribben van warmtewisselaars.

Veiligheid

Bij visuele inspectie is het soms verstandig dat je een veiligheidsbril of gelaatsscherm opzet. Denk hierbij aan het losspringen van een lasrups.



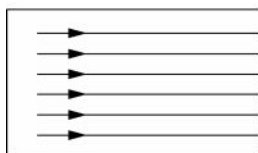
1. Waarom is visuele inspectie een goedkope NDO-methode?

3.3 Magnetisch onderzoek

Met magnetisch onderzoek kun je fouten in, of vlak onder het oppervlak van magnetiseerbare materialen opsporen. De meeste staalsoorten zijn magnetiseerbaar. Het werkstuk wordt gemagnetiseerd door een elektrische stroom. De stroom kan direct door het materiaal lopen, of door een magnetiseerbaar materiaal dat op het te testen werkstuk wordt geplaatst. Door het magnetiseren ontstaat er een magnetisch veld in het werkstuk.

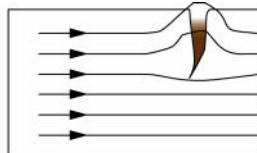
Bij een foutloos werkstuk lopen de veldlijnen van het magnetisch veld zonder verstoringen door het werkstukoppervlak. Als er een fout in of onder het werkstukoppervlak zit (bijvoorbeeld een scheur), ontstaat een *lekveld* (afwijkende veldlijnen).

Voor een goed meetresultaat moeten de veldlijnen loodrecht op de richting van de fout staan. Fouten die evenwijdig aan de veldlijnen lopen zijn niet met magnetisch onderzoek op te sporen.

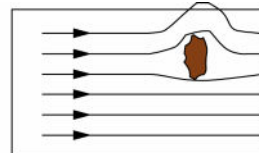


foutloos

Veldlijnen



fout aan het oppervlak



fout niet aan het oppervlak

Aantonen lekveld

Je kunt het lekveld op drie manieren aantonen:

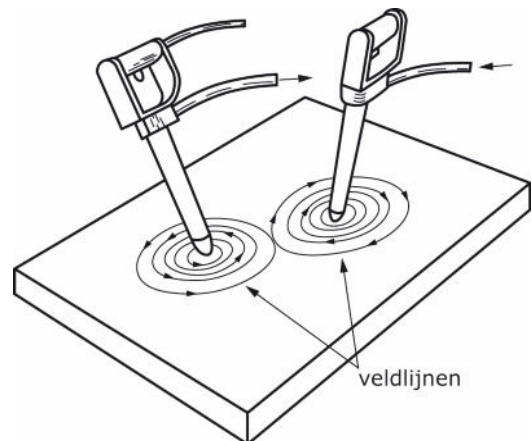
- Met de droge methode:
IJzeroxidedeeltjes in poedervorm worden over het werkstuk geblazen en laten het lekveld zien. De droge methode is geschikt voor het aantonen van dieper gelegen fouten.
- Met de natte methode:
IJzeroxidedeeltjes worden in water of olie gedompeld en op het werkstuk aangebracht. Voor het aantonen van hele kleine fouten wordt er een fluoriserende laag aangebracht. De natte methode is geschikt voor het aantonen van haarscheurtjes in het werkstukoppervlak.
- Met een meetsonde:
Deze methode wordt toegepast bij geautomatiseerde inspectie.

Magnetisatiemethoden

Er zijn verschillende manieren om het werkstuk te magnetiseren:

Directe methode:

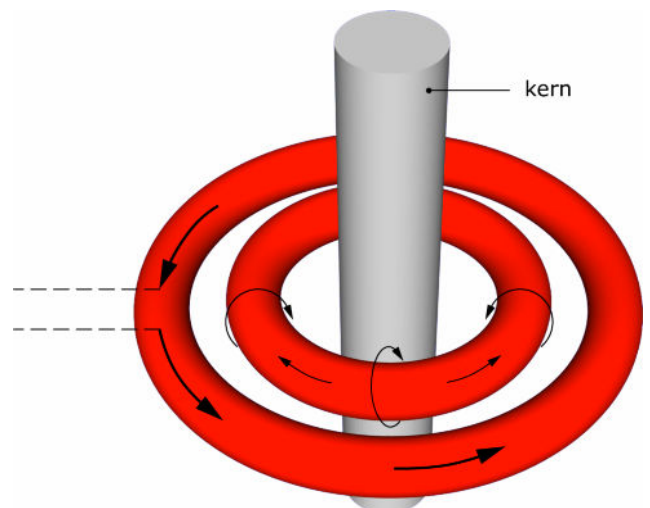
speciale elektroden (prods) worden op het werkstuk geplaatst en brengen een elektrische stroom door het werkstuk op gang.



Directe methode met Prods

Indirecte methode:

het elektrisch veld door het werkstuk wordt tot stand gebracht met behulp van een spoel, een stroomgeleider binnen het werkstuk, een permanente magneet of een elektromagneet.



Indirecte methode met een stroomgeleider

Toepassingsgebieden

- smeedstukken (bijvoorbeeld krukassen)
- lasinspecties
- vermoeiingsinspectie bij constructies
- constructies onder water

- aantonen van putcorrosie.

?

2. Welke drie methoden voor het aantonen van fouten worden gebruikt bij magnetisch onderzoek?

3.4 Penetrant onderzoek

Met penetrant onderzoek kun je alleen fouten opsporen die in verbinding staan met het oppervlak van het materiaal (bijvoorbeeld scheuren en lekken). De methode wordt toegepast op alle technische materialen, maar het materiaal mag niet te poreus zijn. Penetrant onderzoek is eenvoudig uitvoerbaar en goedkoop, maar moet wel zorgvuldig worden uitgevoerd.



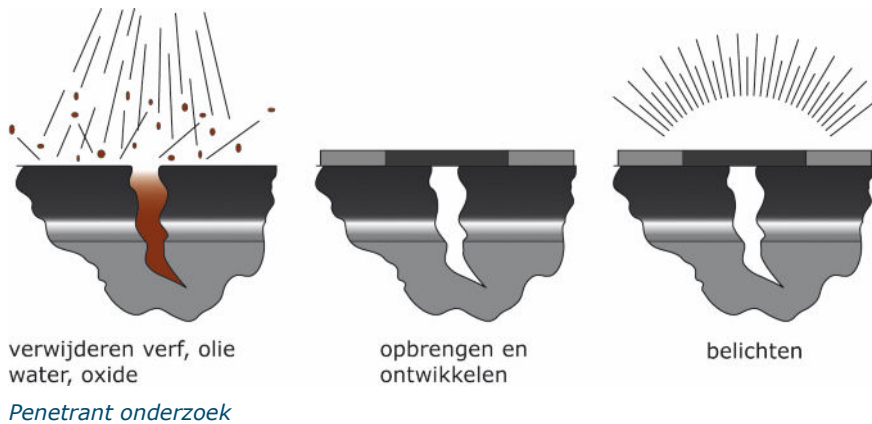
penetrant onderzoek

Werkingsprincipe

Het werkstukoppervlak wordt eerst schoongemaakt, waarbij verf, olie, water of oxidelagen worden verwijderd. Vervolgens wordt er een vullende vloeistof (de *penetrant*) in een spuitbus handmatig op het werkstukoppervlak gespoten. Bij grote series en afmetingen worden de werkstukken in een bad gedompeld. Het onderzoek vindt dan geautomatiseerd plaats.

De penetrant dringt diep door in de kleinste scheurtjes en holtes in het materiaaloppervlak. De fabrikant geeft de tijd op die hiervoor nodig is (*penetratietijd*). Na deze tijd verwijder je de overtollige penetrant van het werkstukoppervlak met een daarvoor geschikte reinigingsvloeistof. Er blijft penetrant achter in de scheurtjes en de holtes.

Dan wordt er een laagje kalk op het oppervlak gespoten. De kalk zuigt de resterende penetrant uit de scheurtjes en holtes. Als je het materiaaloppervlak nu belicht met Uv-licht, worden zelfs de kleinste scheurtjes zichtbaar, als rode streepjes of als puntjes. Dit noemt men *ontwikkelen*.



Penetranttypen

De zichtbaarheid van fouten in het materiaaloppervlak wordt vergroot door een kleurstof of een fluorescerende stof toe te voegen aan de penetrant.

Penetrant met rode kleurstof:

- is geschikt om kleine fouten met een geringe diepte (minimaal 10 μm) en breedte (minimaal 2 μm) op te sporen
- is zichtbaar bij normaal (wit) licht
- voordelen: overal toepasbaar, zeer eenvoudige werkwijze, toepasbaar op de meeste materialen
- nadelen: moeilijk te reinigen in hoeken van het werkstuk (rode kleur blijft achter).

Penetrant met een fluorescerende stof:

- is geschikt voor het opsporen van kleinere fouten (minimale breedte 0,2 μm)
- kun je zichtbaar maken met speciale kwikdamp- of LED-lampen
- voordelen: groot toepassingsgebied en geschikt op ruwe werkstukken met gaten en schroefdraad.
- nadelen: je hebt een verduisterende ruimte nodig (alleen waarneembaar met UV-licht).

Toepassingsgebieden

- Alle technische materialen, maar vooral voor non-ferrometalen
- Bijvoorbeeld in de scheepsbouw voor inspectie van schroeven
- Lekdetectie
- Grote werkstukken.

Veiligheid en hygiëne

Bij penetrant onderzoek moet je rekening houden met de volgende veiligheidsrisico's:

- de gebruikte middelen zijn soms brandbaar
- sommige stoffen zijn schadelijk voor de gezondheid
- de meeste penetranten zijn vetonttrekkend
- de dampen van de schoonmaakmiddelen kunnen giftig zijn.

Je kunt de volgende veiligheidsmaatregelen nemen:

- rubberen handschoenen dragen
- zorgen voor een goede afzuiging
- ademhalings bescherming dragen
- zorgen voor een goede en juiste afvoer van de giftige stoffen die je gebruikt.

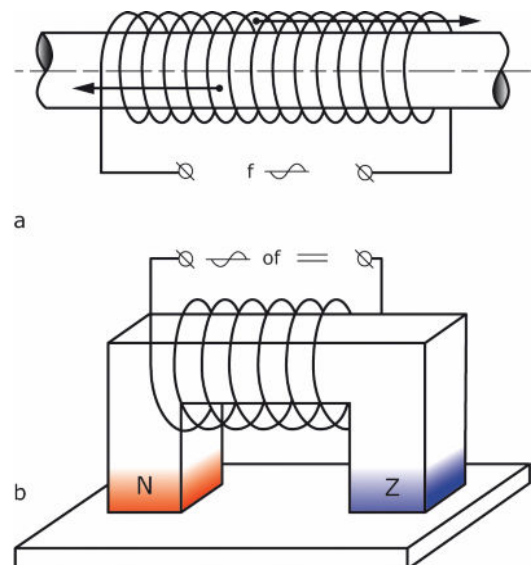


3. Waarom is het verstandig om rubberen handschoenen te dragen bij het penetrant onderzoek?

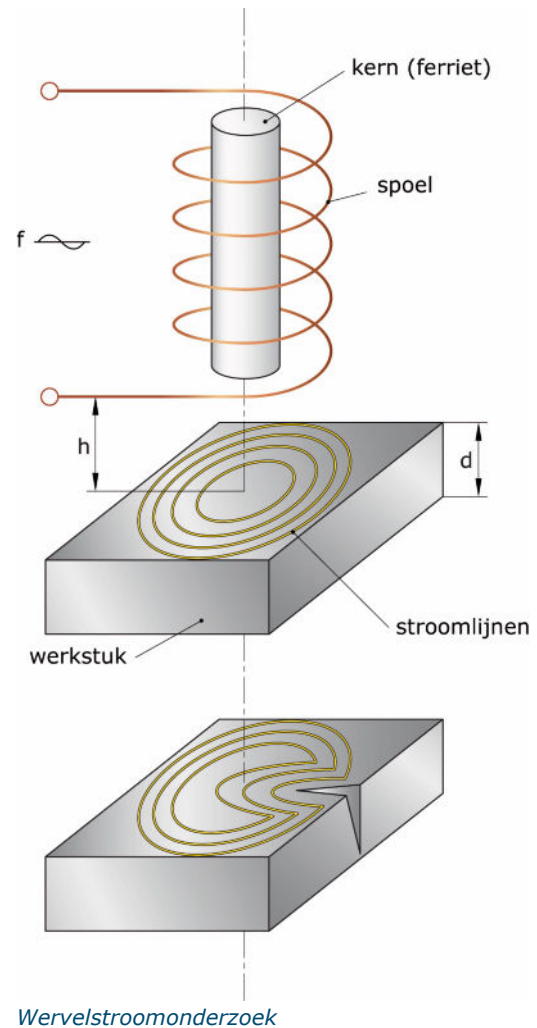
3.5 Wervelstroomonderzoek

Met wervelstroomonderzoek kun je scheuren, gasholten en insluitels in, of onder het oppervlak van metalen opsporen. Het onderzoek is contactloos en kan zeer snel en met grote nauwkeurigheid worden uitgevoerd. Wervelstroomonderzoek is alleen geschikt voor het onderzoek aan (magnetische en niet-magnetische) metalen en metaallegeringen.

Bij wervelstroomonderzoek plaats je een *onderzoeksspoel* boven het werkstukoppervlak (b) dat je wilt onderzoeken (*oppervlakteprincipe*). Het is ook mogelijk om het werkstuk binnen de onderzoeksspoel (a) te plaatsen (*doorloopprincipe*).



Een wisselstroom door de onderzoekspoel wekt een elektromagnetisch veld op in het werkstuk. Dit magnetisch veld wekt op zijn beurt kringvormige *inductiestromen* op in het werkstuk. Deze inductiestromen noem je *wervelstromen*. De wervelstromen wekken op hun beurt een magnetisch tegenveld op. Dit magnetisch tegenveld wekt een *inductiespanning* op in een meetspoel. Deze spanning wordt gemeten en geeft een indicatie van eventuele fouten in het materiaal. Als er fouten in het materiaaloppervlak zitten, is de elektrische weerstand van het materiaal hoger. De wervelstromen moeten dan om de fout heen buigen, waardoor de stroomkring langer wordt. Daardoor wekken de wervelstromen een lagere inductiespanning op in de meetspoel. Het meetsysteem geeft dan een lagere spanningswaarde aan. Door nu deze lagere spanningswaarde te vergelijken met de *referentiewaarde* bij foutloos materiaal, kun je scheuren, holten en insluitingen in het materiaal opsporen.



Toepassingsgebieden

- opsporen van scheuren, gasinsluitingen en corrosie
- materiaalidentificatie
- bepaling mechanische en chemische eigenschappen
- inspectie en sorteren bij grote productie-aantallen
- laagdiktemetingen.

Voordelen

Wervelstroomonderzoek heeft de volgende voordelen:

- het onderzoek is contactloos
- het heeft een grote nauwkeurigheid
- de onderzoekssnelheid is groot
- de methode leent zich voor automatisering.



4. Noem tenminste drie voordelen van wervelstroomonderzoek.

3.6 Ultrasoon onderzoek

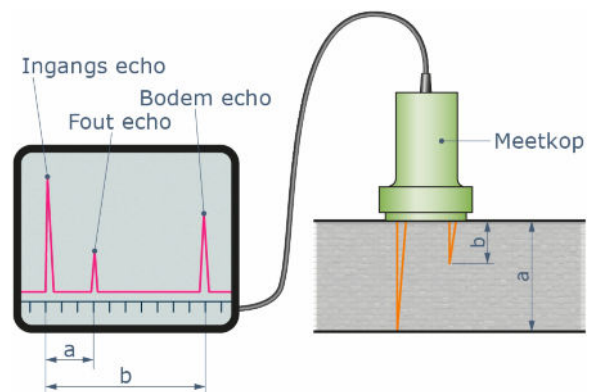
Ultrasoon onderzoek is geschikt voor het onderzoek naar fouten in het gehele volume van een materiaal. Dit in tegenstelling tot oppervlaktemethoden, zoals magnetisch en penetrant onderzoek. Ultrasoon onderzoek wordt de laatste jaren steeds meer toegepast, vooral voor het opsporen van fouten in lasverbindingen. Nieuwe methoden voor ultrasoon onderzoek vervangen steeds vaker het (relatief dure en complexe) radiografisch onderzoek.



Ultrasoon onderzoek

Werkingsprincipe

Homogene materialen zijn goede geleiders van geluidsgolven. Bij ultrasoon onderzoek wordt met een taster hoogfrequent geluid opgewekt en door het materiaal gestuurd. De taster werkt als zender en als ontvanger van geluidsgolven. De geluidsgolven planten zich rechtlijnig voort door het materiaal.



Werkingsprincipe u.s.-onderzoek

Als de geluidsgolven een grensvlak bereiken (bijvoorbeeld een scheur of een holte), worden ze verzwakt teruggekaatst (echo). De teruggekaatste geluidsgolven worden dan weer opgevangen door de taster.

Door de tijd tussen het uitzenden en ontvangen van de geluidsgolven te meten, krijg je een indicatie van de locatie van eventuele fouten in het materiaal. Er zijn ook een aantal bekende echo's te zien op het beeldscherm. De ingangsecho en de echo van de tegenoverliggende wand zijn altijd zichtbaar. Tussentijdse echo's geven een inwendige fout aan.

Tasters

Je kunt de volgende typen tasters gebruiken:

- rechte taster
- hoek- of prisma-taster
- SE-taster
- Phased Array

Technieken

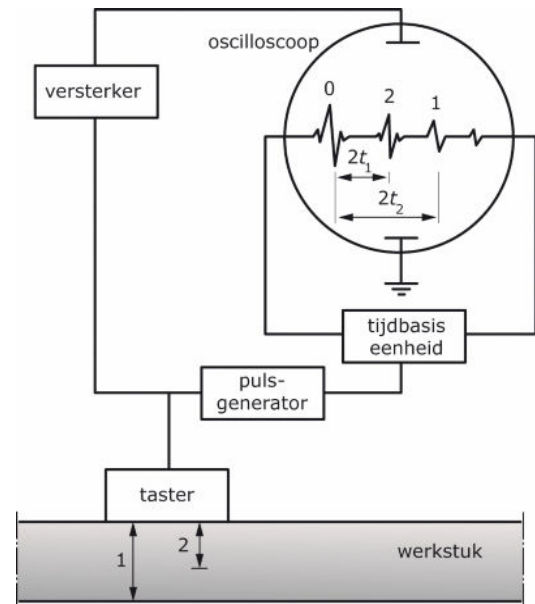
De pulse-echotechniek is de oudste en nog altijd meest gebruikt methode voor ultrasoon onderzoek. De laatste jaren zijn er een aantal technieken bij gekomen waarbij de geluidsbundel op een andere manier tot stand wordt gebracht. Deze technieken leveren een betrouwbaardere foutdetectie en een nauwkeuriger bepaling van de grootte van defecten op.

Pulse-echo

De pulse-echomethode is geschikt voor het opsporen van fouten en defecten in materiaal, maar levert geen informatie op over de grootte van de onvolkomenheden.

Een pulsgenerator geeft elektrische pulsen aan de taster, waardoor het piëzokristal in trilling wordt gebracht. Er ontstaat een ultrasone geluidsgolf, die zich voortplant door het materiaal en wordt teruggekaatst bij een fout of defect in het materiaal.

De teruggekaatste ultrasone geluidsgolven worden opgevangen door de taster en via een versterker weergegeven op een monitor (oscilloscoop).



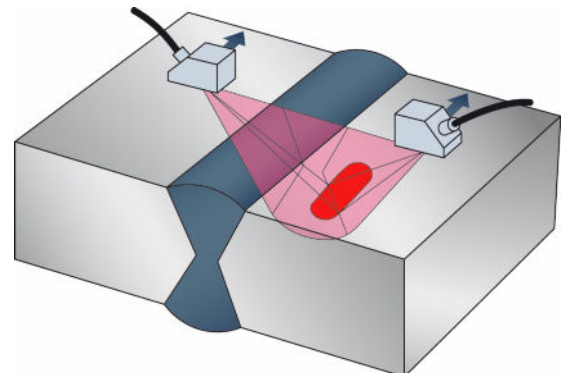
Pulse-echomethode

Time of Flight Diffraction (ToFD)

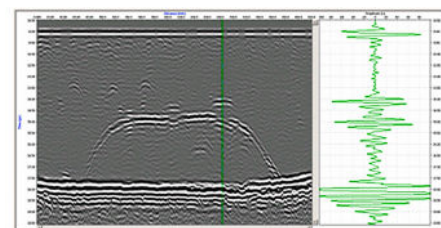
Time of Flight Diffraction (ToFD) is een ultrasone NDO-methode die vooral wordt toegepast voor het onderzoeken van defecten in lasverbindingen. Met name bij lasverbindingen in drukvaten en dikwandige leidingssystemen.

Bij ToFD heeft de zendtaster een klein piëzokristal, waardoor de geluidsbundel een grote spreiding krijgt. Daardoor worden de geluidsgolven door een groot volume van het materiaal gestuurd. De looptijden van de golven door verschillende plaatsen van een (foutloos) referentiemateriaal zijn bekend. Als er een fout of defect in het te testen materiaal aanwezig is, variëren de looptijden van de geluidsgolven ter plaatse. Met een berekening kan vervolgens de plaats en de grootte van de fout of het defect worden bepaald. Door de tasters langs de las te bewegen kan op elke positie een beeld van de doorsnede van een sector worden opgeslagen.

Dit beeld noemt je een D-scan.



ToFD

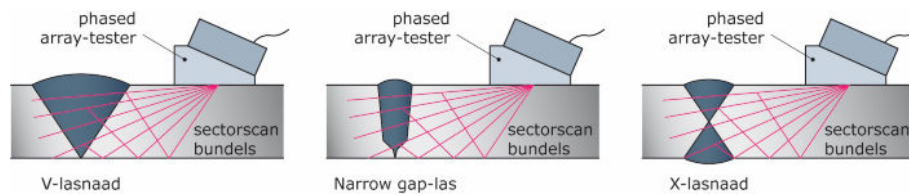


D-scan

Phased Array

De phased array-techniek wordt al jaren gebruikt in de medische wereld (echo's). Sinds de jaren 90 van de vorige eeuw wordt deze techniek ook op steeds grotere schaal toegepast voor NDO, en dan met name voor het onderzoek naar lasverbindingen.

Omdat een phased array-taster onder meerdere hoeken kan zenden en ontvangen, is het mogelijk om hele sectoren van het materiaal te scannen. Op deze manier kun je snel een groot gedeelte van het materiaal onderzoeken. Bijvoorbeeld het volume van een las, met de daarbij horende warmtebeïnvloede zone (HAZ).



Sectorscan bij phased array

Het werk hoeft voor het maken van een sectorscan niet te worden stilgelegd, zoals bij radiografisch onderzoek (vanwege straling) wel vaak het geval is. Verder zijn de resultaten vrij kort na het lassen al beschikbaar, zodat de lasparameters tijdig kunnen worden bijgesteld. Met phased array-tasters is het bovendien mogelijk om ToFD en Puls-echotechnieken te genereren. Hierdoor zullen de ToFD- en puls-echotechniek minder vaak worden toegepast.

Toepassingsgebieden

- onderzoek van lasverbindingen: slakinsluiting, porositeit, bindingsfouten, scheuren, holten
- inspectie van lijmverbindingen
- inspectie van kunststoffen
- diktemeting van werkstukken
- boutspanningen
- hardheidsmetingen.

Voordelen

Voordelen van ultrasoon onderzoek zijn:

- de kans dat een fout wordt ontdekt is groot
- inspectie van honderden meters per dag
- verwijderen van isolatiemateriaal is niet nodig
- je hoeft geen stellingen te bouwen
- de leiding kan in gebruik blijven.



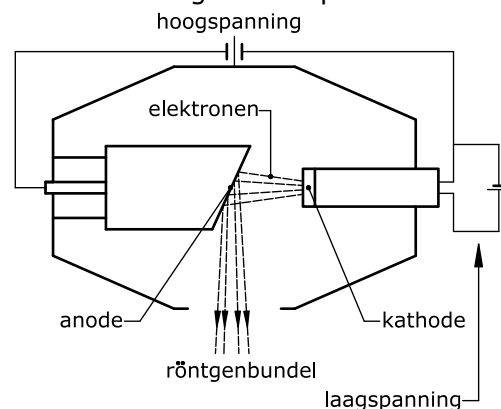
5. Noem minimaal vier toepassingen van ultrasoon onderzoek.

3.7 Radiografisch onderzoek

Radiografisch onderzoek is (net als ultrasoon onderzoek) een geschikte NDO-methode voor het opsporen van fouten in het gehele volume van een materiaal. Radiografisch onderzoek wordt vooral uitgevoerd om slakinsluiting en porositeit in lasverbindingen op te sporen. Omdat radiografisch onderzoek vrij duur is, en scheuren in het oppervlak niet kunnen worden opgespoord, wordt dit onderzoek steeds vaker vervangen door ultrasoon onderzoek.

Werkingsprincipe

Bij radiografisch onderzoek wordt het te onderzoeken materiaal bestraald met röntgenstralen. Achter het materiaal bevindt zich een fotografische plaat. Het materiaal absorbeert de röntgenstralen en laat maar een beperkt gedeelte daarvan door. Als er ergens een holte, een scheurtje of een insluiting in het materiaal zit, worden de stralen op die plaats minder geabsorbeerd. Tegenwoordig wordt het beeld voornamelijk direct geprojecteerd op monitoren. Op de monitor is dan ter plaatse van de fout een dieper zwart gekleurd gedeelte zichtbaar.



De röntgenstralen zijn niet zichtbaar of voelbaar, maar kunnen het weefsel van de huid onherstelbaar beschadigen. Daarom is persoonlijke veiligheid bij deze methode erg belangrijk. Radiografisch onderzoek mag alleen worden uitgevoerd door gecertificeerde personen en instanties, bijvoorbeeld door de Röntgen Technische Dienst (RTD). Bedrijven moeten hiervoor een speciale ruimte inrichten (vaak een betonnen bunker). Bij grote werkstukken lopen de transportkosten ook erg op. Radiografisch onderzoek is dus erg kostbaar.

Toepassingsgebieden

- opsporen van lasfouten: porositeit, slakinsluiting, lasscheuren, slechte doorlassingen
- opsporen van gietfouten: gasholten, slinkholten
- bepaling van legeringselementen
- inspectie van vezelversterkte kunststoffen.



6. Waarom is radiografisch onderzoek zo duur?

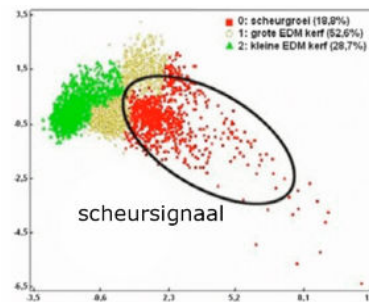
3.8 Akoestisch onderzoek

Materialen maken geluid bij structuurveranderingen, scheurvorming, scheurgroei en plastische vervormingen. Dit geluid is niet altijd hoorbaar met het menselijk oor, maar wel met zeer gevoelige apparatuur. Met akoestisch onderzoek kan worden bepaald welke oorzaken deze geluiden hebben, zodat men fouten in materialen kan opsporen.

Werkingsprincipe

Spanningen in een materiaal wekken golven op, die de oppervlakte van het materiaal bereiken.

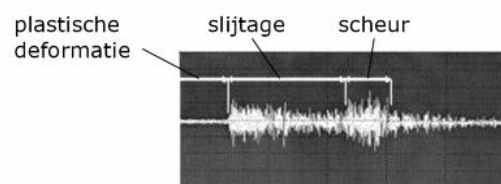
Daar veroorzaken deze spanningen kleine vormveranderingen, die gedetecteerd kunnen worden met een taster. De taster zet de meetwaarden om in elektrische spanningen met een bepaald patroon. Deze spanningen worden na versterking en filtering opgeslagen in het meetsysteem voor verder onderzoek.



Patroonherkenning gescheurd tandwiel

Verschillende fouten en defecten die kunnen optreden in een materiaal leveren ook verschillende signaalpatronen op. Bij brosse insluitels, zoals carbiden, zie je daarom een andere signaalpatroon dan bij vermoeiingsscheuren of een taai breuk.

Het meetsysteem kan het signaalpatroon vaak automatisch herkennen en aangeven welk type fout of defect in het materiaal optreedt.



Patroonherkenning pluiner van een pers

Toepassingsgebieden

- permanente bewaking van constructies
- opsporen spanningscorrosie of waterstofscheuren
- bewaken smelt- en weerstandslasprocessen
- bestudering breukmechanismen.



7. Noem drie toepassingsmogelijkheden van akoestisch onderzoek.

3.9 Samenvatting

- Niet-destructief onderzoek (NDO) levert een belangrijke bijdrage aan de kwaliteitscontrole tijdens en na het productieproces.
- Bij niet-destructieve materiaalbeproeving wordt het materiaal niet beschadigd.
- Niet-destructieve materiaalbeproeving geeft een indruk van de kwaliteit van een las of een constructie.
- Niet-destructieve onderzoeksmethoden kun je op vrijwel alle technische materialen toepassen. Bijvoorbeeld op metalen, maar ook op polymeren en keramische materialen.
- NDO kan op veel verschillende manieren plaatsvinden.
- Zowel aan de apparatuur als aan de bediening worden hoge eisen gesteld. Dat wil zeggen dat de bediener van deze onderzoeken gecertificeerd moet zijn om de onderzoeken uit te mogen voeren.
- Visuele inspectie wordt vaak toegepast als eerste inspectie. De eenvoudigste en goedkoopste NDO-methode met het blote oog.
- Met magnetisch onderzoek kun je fouten in, of vlak onder het oppervlak van magnetiseerbare materialen opsporen. De meeste staalsoorten zijn magnetiseerbaar.
- Met penetrant onderzoek kun je alleen fouten opsporen die in verbinding staan met het oppervlak van het materiaal (bijvoorbeeld scheuren en lekken).
- Met wervelstroomonderzoek kun je scheuren, gasholten en insluitels in, of onder het oppervlak van metalen opsporen. Het onderzoek is contactloos en kan zeer snel en met grote nauwkeurigheid worden uitgevoerd. Wervelstroomonderzoek is alleen geschikt voor het onderzoek aan (magnetische en niet-magnetische) metalen en metaallegeringen.
- Ultrasoon onderzoek is geschikt voor het onderzoek naar fouten in het gehele volume van een materiaal. Dit in tegenstelling tot oppervlaktemethoden, zoals magnetisch en penetrant onderzoek. Ultrasoon onderzoek wordt de laatste jaren steeds meer toegepast, vooral voor het opsporen van fouten in lasverbindingen.
- Radiografisch onderzoek is (net als ultrasoon onderzoek) een geschikte NDO-methode voor het opsporen van fouten in het gehele volume van een materiaal. Radiografisch onderzoek wordt vooral uitgevoerd om slakinsluiting en porositeit in lasverbindingen op te sporen. Omdat radiografisch onderzoek vrij duur is, en scheuren in het oppervlak niet kunnen worden opgespoord, wordt dit onderzoek steeds vaker vervangen door ultrasoon onderzoek.
- Met akoestisch onderzoek kan worden bepaald welke oorzaken geluiden hebben, zodat men fouten in materialen kan opsporen. Materialen maken geluid bij structuurveranderingen, scheurvorming, scheurgroei en plastische vervormingen. Dit geluid is niet altijd hoorbaar met het menselijk oor, maar wel met zeer gevoelige apparatuur.

3.10 Antwoorden

Antwoord 1

Visuele inspectie wordt vaak met het blote oog gedaan.

Antwoord 2

Voor het aantonen van fouten onderscheiden we:

- de droge methode
- de natte methode
- de methode waar de fout wordt aangetoond met een meetsonde.

Antwoord 3

Het dragen van rubberen handschoenen is verstandig omdat je met brandbare en gevaarlijke stoffen werkt. Verder is de vloeistof waar je mee werkt vetonttrekkend.

Antwoord 4

Wervelstroomonderzoek heeft de volgende voordelen:

- het onderzoek is contactloos
- het heeft een grote nauwkeurigheid
- de onderzoekssnelheid is groot
- de methode leent zich voor automatisering

Antwoord 5

Toepassingen van ultrasoon onderzoek zijn:

- onderzoek van lasverbindingen: slakinsluiting, porositeit, bindingsfouten, scheuren, holten
- inspectie van lijmverbindingen
- inspectie van kunststoffen
- diktemeting van werkstukken
- boutspanningen
- hardheidsmetingen

Antwoord 6

Radiografisch onderzoek is duur omdat bedrijven over een bunker moeten beschikken vanwege de gevaarlijke straling. Als een bedrijf niet beschikt over een bunker, moet het product vervoerd worden. Dit brengt dan hoge transportkosten met zich mee. Ook mag het onderzoek alleen uitgevoerd worden door gecertificeerde mensen.

Antwoord 7

Toepassingen voor akoestisch onderzoek zijn:

- permanente bewaking van constructies
- opsporen spanningscorrosie of waterstofscheuren
- bewaken smelt- en weerstandslasprocessen
- bestudering breukmechanismen

4 Vragen Materiaalbeproeving (niet-destructief)

Vraag 1

Noem een kenmerkend verschil tussen destructief onderzoek en niet-destructief onderzoek.

Vraag 2

Noem minimaal vier methoden van niet-destructief onderzoek.

Vraag 3

Waarvan is de keuze van de onderzoeksmethode afhankelijk? Noem minstens vier aandachtspunten.

Vraag 4

Welke hulpmiddelen kun je gebruiken bij visuele inspectie?

Vraag 5

Kun je bij magnetisch onderzoek wel of niet het hele volume van een werkstuk onderzoeken.

Vraag 6

Hoe worden de elektroden die een stroom op gang brengen ook wel genoemd?

Vraag 7

Leg de werking uit van penetrant onderzoek.

Vraag 8

Welke veiligheidsmaatregelen moet je nemen bij penetrant onderzoek?

Vraag 9

Wat kun je met het wervelstroomonderzoek opsporen?

Vraag 10

Leg de werking uit van ultrasoon onderzoek.

Vraag 11

Noem minimaal drie voordelen van ultrasoon onderzoek.

Vraag 12

Noem minimaal twee toepassingsgebieden van radiografisch onderzoek.

Vraag 13

Noem minimaal twee toepassingsgebieden van akoestisch onderzoek.

5 Kunststoffen (algemeen)

Inleiding

De zeiljachten in de Volvo Ocean Race zijn voor een groot deel gemaakt van vezelversterkte kunststoffen.

Vezelversterkte kunststoffen zijn erg licht en sterk. Sommige zeiljachten halen door hun lichte constructie zelfs snelheden van 70 km/h!

In plaats van ferro- en non-ferrometalen, kiezen ontwerpers steeds vaker voor hoogwaardige kunststoffen.



Zeiljacht in de Volvo Ocean Race

Kunststoffen zijn meestal eenvoudig vorm te geven. Je kunt er complexe productvormen van maken en ze hebben goede materiaaleigenschappen. Kunststoffen worden gemaakt met chemische processen. Ze worden vaak *plastics* genoemd. Een plastic is een kunststof die na verwarming plastisch kan worden vormgeven. Maar dat geldt (zoals je nu gaat lezen) lang niet voor alle kunststoffen.

Leerdoelen

Je kunt:

- de hoofdindeling van kunststofsoorten noemen
- uitleggen hoe kunststoffen worden gemaakt
- de materiaalstructuur van kunststofsoorten verklaren
- materiaaleigenschappen van kunststoffen noemen
- de belangrijkste toevoegmiddelen voor kunststoffen noemen
- uitleggen hoe je kunststoffen kunt hergebruiken en recyclen

5.1 Indeling van kunststoffen

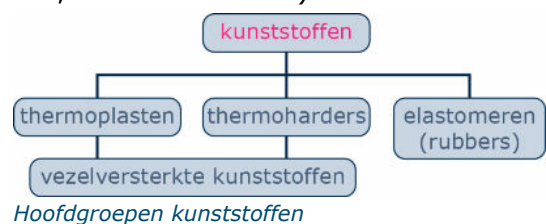
De eerste kunststof (bakeliet) werd toegepast in het jaar 1909. Tegenwoordig worden kunststoffen gebruikt voor de meest uitlopende producten. Het gebruik van kunststoffen neemt nog altijd toe. Er worden steeds nieuwe kunststoffen ontwikkeld, vooral voor technisch gebruik.



Toepassingen van kunststof

Je kunt kunststoffen naar toepassing indelen in kunststoffen voor *algemeen gebruik* (bijvoorbeeld voor verpakkingen, speelgoed, folie) en in *technische kunststoffen* (bijvoorbeeld voor constructies, leidingen, tanks, auto's en kasten).

Daarnaast worden kunststoffen volgens hun materiaalstructuur ingedeeld in vier hoofdgroepen. Bij deze groepen verschilt de ligging en opbouw van de molecuulketens sterk.



Thermoplasten

Thermoplasten hebben lineaire of vertakte molecuulketens, die los van elkaar liggen. De molecuulketens kunnen in plastische toestand langs elkaar schuiven. Thermoplasten zijn daardoor na verwarming steeds opnieuw vervormbaar.



Thermoplasten zijn linear of vertakt zoals struiken

Je kunt thermoplasten dus vrij eenvoudig vormgeven, bijvoorbeeld door *extruderen* of *sputgieten*. Je kunt ze ook goed recycleren. Om deze redenen zijn thermoplasten de meest toegepaste kunststoffen.

Thermoharders

Thermoharders hebben zeer veel dwarsverbindingen tussen de molecuulketens. Je kunt deze verbindingen niet of nauwelijks verbreken.

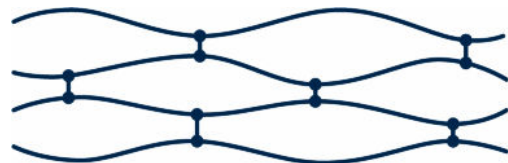


Thermoharders vormen een net met nauwe mazen

Een thermoharder blijft hard en is niet opnieuw plastisch vervormbaar (ook niet na verwarming). Boven een bepaalde temperatuur ontleden of verbranden thermoharders. Daardoor kun je ze niet opnieuw gebruiken.

Elastomeren

Elastomeren zijn natuurlijke en synthetische rubbersoorten. De materiaaleigenschappen van natuurlijke elastomeren (latex) lijken op die van synthetische elastomeren.



Elastomeren vormen een net met grote mazen

De molecuulketens van elastomeren hebben weinig dwarsverbindingen. Ze zijn daardoor bij kamertemperatuur elastisch vervormbaar en hebben een grote rek. Zodra de belasting wegvalt krijgen elastomeren weer hun oorspronkelijke afmetingen.

Vezelversterkte kunststoffen

Vezelversterkte kunststoffen (vvk) bestaan uit een grondmassa (de matrix) en uit een versterkend materiaal. De matrix kan een thermoplastische of thermohardende kunststof zijn. Vezels, poeders of vlokken kunnen worden gebruikt als versterkend materiaal. Vezelversterkte kunststoffen hebben een hoge treksterkte en een lage dichtheid (laag gewicht). Ze worden daarom steeds vaker gebruikt als constructiemateriaal.



Rotorblad van vezelversterkte kunststof



1. Waarom kun je thermoharders niet omsmelten tot nieuwe producten?

5.2 Fabricage van kunststoffen

Kunststoffen worden geproduceerd door grote chemische bedrijven als Akzo, Shell, DSM, DuPont, Bayer en Hoechst. Ze leveren bijvoorbeeld:

- granulataten of korrels voor het spuitgieten en extruderen van thermoplasten
- dik- of dunvloeiende producten, bijvoorbeeld harsen voor thermoharders
- vezels of garens voor vezelversterkte kunststoffen of kabels
- kunststofpoeders

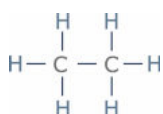
Kunststoffen zijn synthetisch (kunstmatig gemaakt). Ze bestaan niet uit natuurlijke materialen, maar worden met chemische processen gemaakt van fossiele brandstoffen (aardgas, aardolie en steenkool). Bij de fabricage worden ook stoffen als cellulose, zout en melkeiwitten gebruikt.

Polymeren

Het ontleden (chemisch splitsen) van aardolie en aardgas in andere stoffen, noem je *kraken*. Kraken gebeurt tijdens het destillatieproces in een olieraffinaderij. Bij het kraken ontstaan koolwaterstoffen. Dit zijn stoffen die alleen uit verbindingen van koolstofatomen (C) en waterstofatomen (H) bestaan. Bijvoorbeeld:

- methaan CH_4
- ethaan C_2H_6
- propaan C_3H_8
- butaan C_4H_{10}

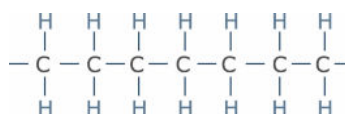
De moleculen van een koolwaterstof vormen door een chemische reactie één groot molecuul (*macromolecuul*), met nieuwe eigenschappen. Er ontstaat dus een nieuwe stof. Die nieuwe stof noem je een *polymeer*.



Een koolwaterstof...
(ethaan)



... wordt een monomeer
(etheen) ...



... en wordt een polymeer.
(polyetheen)

Sommige polymeren vind je in de natuur. Bijvoorbeeld hout, katoen, wol en zijde. Dit zijn *natuurlijke polymeren*. Kunststoffen zijn *synthetische polymeren*.

Vulkanisatie

Synthetische elastomeren (rubbers) worden gemaakt door *vulkanisatie*. Je kunt bijvoorbeeld zuurstof en zwavel laten inwerken op vloeibaar natuurrubber (latex). Er ontstaan dan bruggen tussen de molecuulketens. De molecuulketens worden op verschillende plaatsen met elkaar verbonden. Daardoor kunnen ze niet meer langs elkaar bewegen.

Vloeibaar latex (*polyisopreen*) wordt door de zwavelbruggen stijver en brosser. Verder blijft het bij kamertemperatuur elastisch vervormbaar. Hoe meer zwavel je toevoegt, hoe stijver en brosser het natuurrubber wordt. Zo worden verschillende soorten elastomeren gemaakt.

Natuurlijke vulkanisatie ontstaat als elastomeren in contact komen met zuurstof uit de lucht. Ze worden hierdoor langzaam stijver en brosser. Dit zie je bijvoorbeeld bij het verouderen van autobanden. Door veroudering ontstaan scheuren in een band.



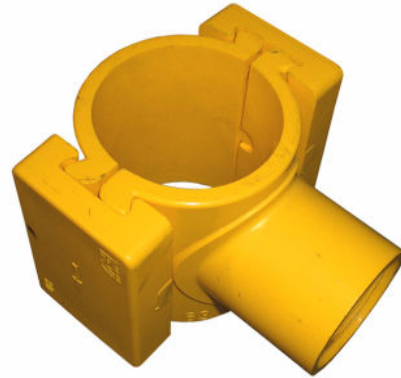
2. Wat is een polymeer?

5.3 Materiaaleigenschappen

De materiaaleigenschappen van kunststoffen variëren per kunststoftype. Toch hebben alle kunststoftypen een aantal kenmerkende gezamenlijke eigenschappen.

Technologische eigenschappen

Kunststoffen zijn geschikt voor massaproductie van ingewikkelde productvormen. De kostprijs ligt (bij massaproductie) veel lager dan bij het gebruik van metalen. Kunststoffen hebben een glad oppervlak dat je bijna niet hoeft te nabewerken, nabehandelen of onderhouden. Verder kun je kunststoffen verwerken in alle mogelijke kleuren. De meeste thermoplasten zijn goed te lassen. Daarnaast kun je de meeste kunststoffen verspanen en (op enkele uitzonderingen na) lijmen.



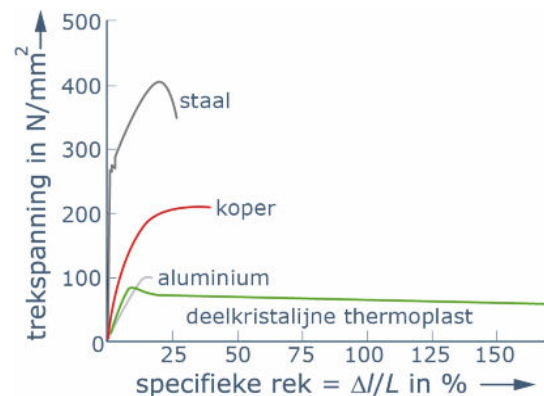
Gasleidingkoppeling van kunststof (ABS)

Mechanische eigenschappen

Voor constructies zijn de mechanische eigenschappen van kunststof erg belangrijk. Je kunt de spanningsrekdiagrammen van enkele willekeurige metaalsoorten (zoals staal, koper, aluminium) en thermoplastische kunststof met elkaar vergelijken. Je ziet dan behoorlijke verschillen tussen de treksterkte, de stijfheid (elasticiteitsmodulus) en de breukrek.

Treksterkte, stijfheid en breukrek

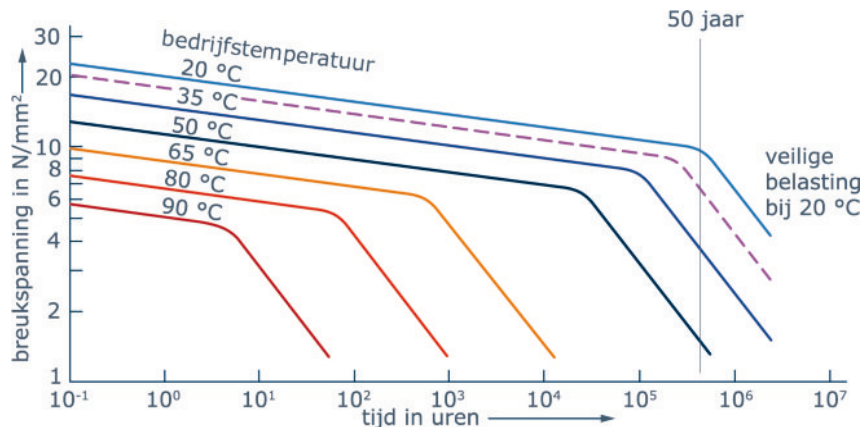
Het verschil in breukrek is het meest opvallend. Bij thermoplasten kan deze oplopen tot wel 1200%. Thermoharders hebben een veel lagere breukrek. Ook is er tussen de diverse materialen een groot verschil in treksterkte. Bij kunststoffen hangt de treksterkte onder andere af van de manier waarop de macromoleculen in de kunststof zijn gerangschikt.



Spanning-rekdiagram van enkele materialen

Mechanische belastingen

Kunststoffen reageren anders op mechanische belastingen dan metalen. De toelaatbare trekspanning neemt af bij hoge bedrijfstemperaturen en als de kunststof ouder wordt (*verouderen*). Een ontwerper gaat daarom uit van de toelaatbare trekspanning bij een bepaalde temperatuur en levensduur.

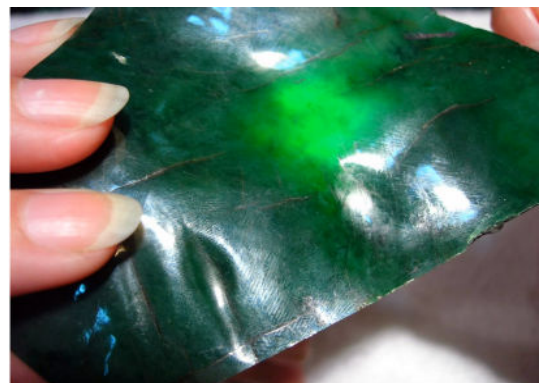


Trekspanning bij verschillende temperaturen en levensduur

Scheurvorming

In kunststoffen kunnen inwendige spanningen ontstaan. Bijvoorbeeld door dikteverschillen tijdens het vormgeven. In het materiaal vind je daardoor plekken waar de dichtheid minder is. Dit noem je *crazes*.

Door veroudering of chemicaliën kunnen er vanuit de crazes scheuren ontstaan. Deze scheuren noem je *cracks*. Door cracks kan een hele constructie na verloop van tijd gaan scheuren.



Scheurvorming bij kunststof

De scheuren ontstaan vaak in één bepaalde richting. Kunststoffen zijn over het algemeen niet in alle richtingen even sterk (*anisotroop*). De richtingsafhankelijke eigenschappen worden vooral bepaald door de ligging van de macromoleculen.

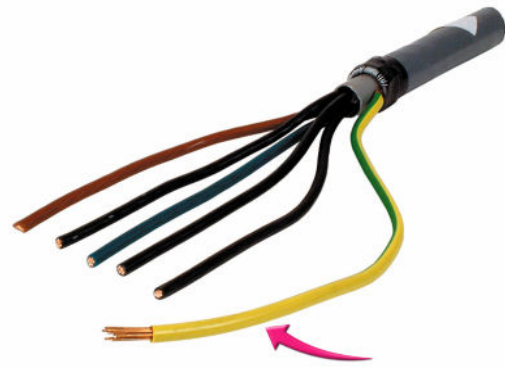
Fysische eigenschappen

Zoals je hiervoor hebt gelezen zijn kunststoffen niet bestand tegen hoge temperaturen. Er zijn kunststoffen die tot 400°C gebruikt kunnen worden. Maar er zijn ook kunststoffen die al bij 50°C hun sterkte verliezen (*verweken*). Temperaturen onder het vriespunt kunnen ook problemen geven. Verder kunnen bij temperatuurveranderingen de materiaaleigenschappen van kunststoffen veranderen en een product kan sterk uitzetten.

De meeste kunststoffen geleiden slecht warmte en elektriciteit (vergeleken met metalen). Ze worden daarom veel toegepast als isolatiemateriaal.

Bijvoorbeeld in:

- handvatten van kookpannen en strijkijzers
- warmte- en koude-isolatie voor verwarmingsapparatuur, koelapparaten en gebouwen
- isolatie van stroomdraad, elektrisch schakelmateriaal



Aderisolatie van polyetheen

Vergeleken met de meeste metalen hebben kunststoffen een zeer lage dichtheid. Met kunststoffen kun je dus lichter construeren. Dan moet je de minder goede mechanische eigenschappen wel compenseren. Dat wordt bijvoorbeeld gedaan bij vezelversterkte kunststoffen. Daaraan wordt een versterkend materiaal toegevoegd.

Materiaal	Dichtheid ($\cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$)
Kunststoffen	0,9 - 2,2
Grijs gietijzer	7,2
Staal	6,9 - 8,0
Aluminium	2,7 - 2,8
Koper/koperlegeringen	8,5 - 8,9
Lood	11,4

Chemische eigenschappen

Bij normaal gebruik zijn de meeste kunststoffen goede bestand tegen aantasting en corrosie. Onder invloed van Uv-straling kunnen de materiaaleigenschappen van kunststof verslechteren (*Uv-degradatie*). Door bepaalde chemische stoffen kunnen thermoplasten:

- verkleuren
- opzwellen
- oplossen
- verkrumelen
- vervormen
- verweken

Omdat kunststoffen bij een vrij lage temperatuur verbranden, is de brandbaarheid een groter probleem dan bij metalen. Bij het verbranden van kunststoffen komen namelijk schadelijke gassen en dampen vrij en er ontstaan vaak brandende druppels.



3. Noem drie voordelen van kunststoffen ten opzichte van metalen.

5.4 Toevoegmiddelen

Aan kunststoffen worden vaak de volgende middelen toegevoegd:

- Kleurstoffen en pigmenten:
aanpassen optische eigenschappen.
- Stabilisatoren:
afbraak molecuulketens voorkomen, beschermen tegen veroudering.
- Weekmakers:
kunststof zachter en soepeler maken.
- Vulmiddelen:
verbeteren mechanische eigenschappen, kostprijs verlagen.

Kleurstoffen en pigmenten

Kunststoffen kunnen gekleurd, lichtdoorlatend, reflecterend of lichtabsorberend worden gemaakt. Dat maakt ze aantrekkelijk voor een groot aantal toepassingen. Voor het kleuren worden kleurstoffen en pigmenten gebruikt.

Kleurstoffen zijn *organisch* (komen voor in de natuur). Ze lossen op in kunststof en kunnen daardoor de materiaaleigenschappen nadelig beïnvloeden. Daarom worden er steeds vaker *anorganische* pigmenten gebruikt om kunststoffen te kleuren.

Pigmenten zijn fijn verdeelde vaste stoffen, die de materiaaleigenschappen niet of nauwelijks beïnvloeden.

Vroeger werden er vooral metaaloxiden toegepast voor het kleuren. Aangezien deze giftig en milieuverontreinigend zijn worden ze steeds minder toegepast.

Stabilisatoren

De macromoleculen van een aantal kunststoffen worden afgebroken of aangetast door Uv-straling of zuurstof. Daardoor verandert het uiterlijk van deze kunststoffen.

Sommige kunststoffen kunnen bijvoorbeeld vergelen of verbleken. Dit noem je *Uv-degradatie*. Daarnaast kunnen de mechanische eigenschappen verslechteren onder invloed van tijd en hoge temperaturen (verouderen).

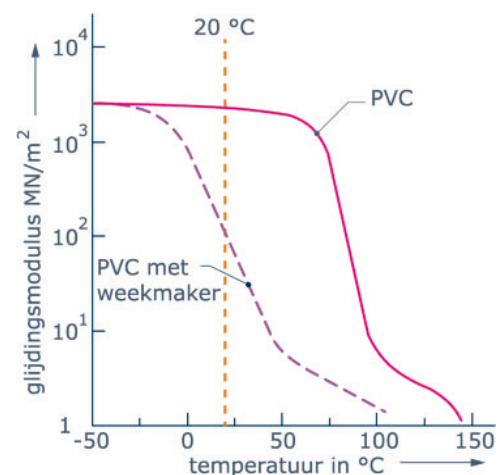
Stabilisatoren voorkomen het afbraakproces van de ketenstructuur door Uv-degradatie en veroudering. Bekende stabilisatoren zijn bijvoorbeeld roet, organische tinverbindingen en lood-zinkverbindingen.

Weekmakers

Weekmakers worden toegevoegd aan kunststoffen waarvan 'soepele' producten worden gemaakt, zoals kunstleer, foliën, schoeisel, handschoenen en draadisolatie. Ook zijn weekmakers van belang bij fabricageprocessen als extruderen en spuitgieten.

Een kunststof wordt beter vervormbaar als de macromoleculen gemakkelijk langs elkaar kunnen glijden. Door weekmakers toe te voegen:

- wordt de stijfheid lager
- wordt de kunststof moeilijker herkenbaar
- wordt een zelfdovend materiaal soms brandbaar



Invloed weekmaker bij een schuif- of wringbelasting (glijdingsmodulus)

- veranderen de elektrische eigenschappen

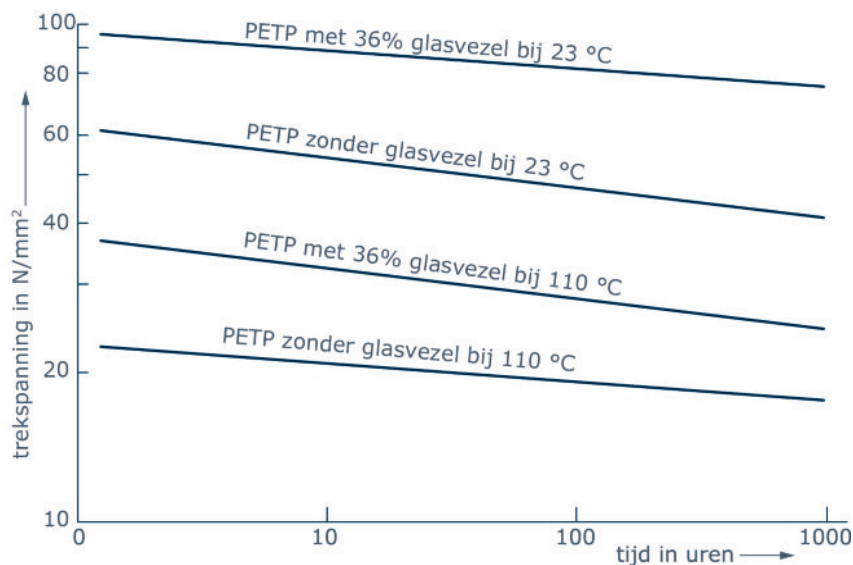
Na verloop van tijd kan een weekmaker uittreden, onder invloed van warmte of andere milieu-omstandigheden. De kunststof wordt dan bros.

Vulmiddelen

Vulmiddelen worden vaak aan kunststoffen toegevoegd om:

- de mechanische eigenschappen te verbeteren;
- de kostprijs te verlagen;
- uitstraling van elektrische of magnetische velden tegengaan.

Kalk, gips, kwartsmeel, houtmeel, textielafval en glasvezel worden veel gebruikt als vulmiddel. Bij poreuze vulmiddelen neemt de vochtgevoeligheid toe. De brandbaarheid kan ook toenemen.



Invloed van glasvezel op de treksterkte



4. Waarom worden stabilisatoren toegevoegd aan kunststoffen?

5.5 Milieu-aspecten en recycling

Een gemiddeld Nederlands gezin gooit per jaar ongeveer 25 kg kunststof weg. In 2011 was de totale hoeveelheid kunststofafval in Nederland 526 miljoen kg! Kunststof is goed bestand tegen aantasting en corrosie en verteert niet of zeer langzaam. Het zou dus een grote milieuramp betekenen als al het kunststofafval in het milieu terecht zou komen.

Het voorkomen van kunststofafval en het inperken van de totale hoeveelheid wordt steeds belangrijker. Je kunt hier zelf ook aan bijdragen. Bijvoorbeeld door duurzame producten te kopen en door producten te kopen die verpakt zijn in recyclebaar materiaal. Daarnaast kun je kunststofafval gescheiden aanbieden.

Afvalverwerking

Ongeveer 50% van al het kunststofafval wordt ingezameld, gesorteerd en opnieuw gebruikt. Gemeenten zamelen het kunststofafval tegenwoordig gescheiden in zodat het niet hoeft te worden gescheiden van het overige huishoudelijke afval. Het kunststofafval wordt in overslagstations samengeperst, zodat het makkelijker te vervoeren is. Een sorteerinstallatie scheidt het afval vervolgens in verschillende soorten.



Samengeperste kunststofflessen

Speciale kunststofverwerkingsbedrijven reinigen het kunststofafval (bijvoorbeeld PET-flessen), zodat het opnieuw kan worden gebruikt. Een deel van het gereinigde kunststofafval wordt gesmolten en opnieuw toegepast als grondstof voor kunststofproducten. Het andere deel wordt verbrand, waarbij de vrijgekomen energie opnieuw wordt gebruikt. Bij het verbranden moet rekening gehouden worden met het vrijkomen van giftige gassen (o.a. dioxine en chloorgas bij het verbranden van PVC). Maar 2% van al het kunststofafval komt op vuilnisbelten terecht. Dit is om meerdere redenen de minst milieuvriendelijke optie:

- er gaat veel energie verloren die in het materiaal is opgeslagen
- fossiele brandstoffen (de grondstof voor kunststoffen) worden steeds schaarser
- kunststof breekt niet of zeer moeilijk af
- eventuele giftige stoffen kunnen het milieu aantasten

Hergebruik van thermoplasten

De meeste thermoplasten zijn prima om te smelten en vorm te geven tot nieuwe producten. Bij het scheiden en sorteren moet echter wel duidelijk zijn om welke kunststofsoorten het gaat. Verder is het belangrijk dat er zo min mogelijk niet- of moeilijk te recyclen kunststoffen worden gebruikt. Tot slot moeten de gebruikte kunststoffen een hoge zuiverheidsgraad hebben.

Om deze redenen is in de kunststofwereld het volgende afgesproken:

- beperk het aantal te gebruiken kunststoffen tot maximaal zeven soorten
- gebruik, indien mogelijk, standaard polymeren zonder toevoegmiddelen
- gebruik, indien mogelijk, één soort kunststof voor een samengesteld product
- houdt bij het ontwerpen van producten ook rekening met hergebruik (cradle to cradle)
- geef kunststofonderdelen recyclingcodes, zodat zichtbaar is om welke kunststofsoort het gaat
- vermijd het gebruik van PVC (vanwege het vrijkomen van giftige gassen bij het verbranden)

Recyclingcodes

Code	Kunststofsoort	Toepassingen en hergebruik
 01 PET	Polyethyleentereftalaat	Polyestervezels, folie, frisdrankflessen
 02 PE-HD	Hoge dichtheid Polyetheen	Frisdrankflessen, boodschappentassen, vuilnisemmers, buizen, kunsthout
 04 PE-LD	Lage dichtheid Polyetheen	Plastic zakken, emmers, dispenserflessen voor zeep, plastic tubes
 03 PVC	Polyvinylchloride	Kozijnen, buizen, flessen (voor chemicaliën, lijm, enz.)
 05 PP	Polypropreen	Bumpers en interieurpanelen voor auto's, industriële vezels
 06 PS	Polystyreen	Speelgoed, bloempotten, videocassettes, asbakken, koffers, polystyreen-schuim
 07 O	Overige kunststoffen	Polymethylmethacrylaat (PMMA), Acrylonitril Butadien Styreen (ABS), Polycarbonaat (PC), Polyamide (PA), etc.

Hergebruik van thermoharders

Thermoharders zijn niet opnieuw plastisch vervormbaar en kunnen dus niet omgesmolten worden tot nieuwe producten. Deze kunststofsoorten werden tot voor kort dan ook niet of nauwelijks hergebruikt.

Tegenwoordig worden thermoharders vermalen en versnipperd tot poeder en vezels. De kleine materiaaldeeltjes kunnen worden gebruikt als grondstof voor nieuwe producten van vezelversterkte kunststof. Grotere stukken kunnen worden gebruikt als vulmateriaal voor dakbedekkingen en bestrating.

Een voordeel van het hergebruiken van thermoharders is dat deze niet gesorteerd hoeven worden. Het is voor hergebruik namelijk niet belangrijk om welke kunststofsoort het gaat.



5. Waarom heeft het hergebruiken van kunststofproducten de voorkeur boven het omsmelten en opnieuw vormgeven?

5.6 Samenvatting

- Je kunt kunststoffen naar toepassing indelen in algemeen gebruik en technische kunststoffen
- Volgens hun materiaalstructuur worden kunststoffen ingedeeld in vier hoofdgroepen:
 - Thermoplasten: lineaire of vertakte molecuulketens, na verwarming plastisch vervormbaar, grote breukrek.
 - Thermoharders: veel dwarsverbindingen tussen de molecuulketens, niet plastisch vervormbaar, lage breukrek.
 - Elastomeren: natuurlijke en synthetische rubbersoorten, weinig dwarsverbindingen, elastisch bij kamertemperatuur, zeer grote rek.
 - Vezelversterkte kunststoffen: thermoplastische of thermohardende grondmassa met vezels, poeders of vlokken als versterkend materiaal.
- Kunststoffen worden geproduceerd door grote chemische bedrijven als Akzo, Shell, DSM, Dupont, Bayer en Hoechst.
- Kunststoffen zijn synthetisch. Kunststoffen worden met chemische processen gemaakt van fossiele brandstoffen zoals aardgas, aardolie en steenkool.
- Het ontleden van aardolie en aardgas in andere stoffen noem je kraken.
- De moleculen van een koolwaterstof vormen door een chemische reactie één groot macromolecuul met nieuwe eigenschappen. De nieuwe stof noem je polymeer.
- Synthetische elastomeren worden gemaakt door vulkanisatie. De molecuulketens worden op verschillende plaatsen met elkaar verbonden.
- Technologisch eigenschappen:
Massaproductie van ingewikkelde vormen mogelijk, nauwelijks nabewerking en onderhoud nodig, goed te lassen, verspanen en (met enkele uitzonderingen) lijmen.
- Mechanisch eigenschappen:
Ten opzichte van staal een hogere breukrek, lagere treksterkte, lagere stijfheid. Bij mechanische belastingen moet rekening worden gehouden met kruip, veroudering, crazes en cracks.
- Fysisch eigenschappen:
Niet bestand tegen hoge temperaturen, slechte geleiding van warmte en elektriciteit, lage dichtheid.
- Chemisch eigenschappen:
Goed bestand tegen aantasting en corrosie, hoge brandbaarheid.
- Aan kunststoffen worden vaak middelen toegevoegd:
kleurstoffen en pigmenten, stabilisatoren, weekmakers, vulmiddelen.
- Kunststoffen kunnen gekleurd, lichtdoorlatend, reflecterend of lichtabsorberend worden gemaakt.
- Stabilisatoren voorkomen het afbraakproces van de ketenstructuur door Uv-degradatie en veroudering.
- Weekmakers worden toegevoegd aan kunststoffen om soepele producten te maken.
- Vulmiddelen worden toegevoegd om de mechanische eigenschappen, de kostprijs of magnetische velden tegen te gaan.
- Ongeveer 50% van al het kunststofalval wordt ingezameld, gesorteerd en opnieuw gebruikt.
- De meeste thermoplasten zijn prima om te smelten en vorm te geven tot nieuwe producten.
- Thermoharders zijn niet opnieuw plastisch vervormbaar en kunnen niet omgesmolten worden tot nieuwe producten.

5.7 Antwoorden

Antwoord 1

Omdat thermoharders zeer veel dwarsverbindingen tussen de molecuulketens hebben, die niet of nauwelijks verbroken kunnen worden.

Antwoord 2

Een polymeer is een kunststof die ontstaat door de chemische binding van monomeren tot macromoleculen.

Antwoord 3

Goedkoper, makkelijker vorm te geven, lichter.

Antwoord 4

Stabilisatoren voorkomen het afbraakproces van de ketenstructuur door uv-degradatie en veroudering.

Antwoord 5

Voor het hergebruiken van kunststof is minder energie nodig.

6 Vragen Kunststoffen (algemeen)

Vraag 1

Teken de polymeerketens van een thermoplast, een elastomeer en een thermoharder.

<i>Thermoplast</i>	<i>Elastomeer</i>	<i>Thermoharder</i>

Vraag 2

Waarom kan een thermoharder niet opnieuw gesmolten worden?

Vraag 3

Uit welke elementen bestaat een vezelversterkte kunststof?

Vraag 4

Noem drie gunstige materiaaleigenschappen van kunststoffen.

Vraag 5

In de auto-industrie nemen kunststoffen een steeds belangrijker plaats in.

- Noem vijf auto-onderdelen van kunststof.
- Geef bij elk onderdeel aan waarom kunststof is toegepast.

Auto-onderdeel	Reden van toepassing
1	
2	
3	
4	
5	

Vraag 6

Geef twee redenen waarom de kostprijs van veel kunststofproducten zo laag kan zijn.

Vraag 7

Vergelijk de algemene materiaaleigenschappen van staal en kunststof in de volgende tabel.

Gebruik woorden als hoog/laag, goed/slecht, sterk/zwak, groot/klein.

Materiaaleigenschap	Staal	Kunststof
Dichtheid		
Treksterkte		
Breukrek		
Temperatuurbestendigheid		
Geleiding van warmte en elektriciteit		

Vraag 8

Hoe ontstaan crazes en cracks?

Vraag 9

In welke groepen kun je toevoegmiddelen voor kunststoffen onderverdelen?

Vraag 10

Noem drie redenen waarom weekmiddelen worden toegevoegd aan kunststoffen.

Vraag 11

Wat gebeurt er met kunststofafval na het sorteren in de sorteerinstallatie?

Vraag 12

Noem vier afspraken die in de kunststofwereld zijn gemaakt om beter hergebruik van kunststof mogelijk te maken.

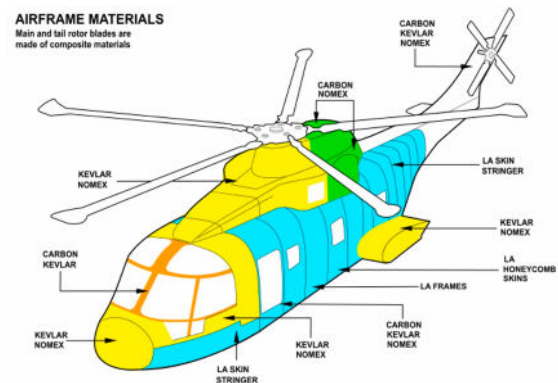
Vraag 13

Hoe worden thermoharders hergebruikt?

7 Kunststofsoorten

Inleiding

De Merlin AW101 helikopter bestaat voor 75% uit vezelversterkte kunststoffen (*composieten*). De rotorbladen zijn bijvoorbeeld gemaakt van lagen kunststof, die versterkt zijn met lagen koolstof-, glas- en aramidevezels. Deze vezelversterkte kunststof met honingraatvorm heet *Nomex*. Nomex geeft de bladen een grote sterkte bij een laag gewicht en geringe geluidsproductie. De Merlin helikopter is maar één toepassing van kunststoffen. Er zijn nog veel meer toepassingen voor de verschillende kunststofsoorten. Verder heeft elke kunststofsoort zijn eigen vormgevings- en bewerkingsmethoden.



Composieten in een Merlin AW101 helikopter

Leerdoelen

Je kunt:

- kunststofsoorten en hun aanduidingen en toepassingen noemen
- vormgevings- en bewerkingsmethoden voor kunststoffen noemen

7.1 Thermoplasten

Thermoplasten zijn de meest toegepaste kunststoffen. Door hun plastisch gedrag bij opwarming zijn thermoplasten eenvoudig vorm te geven en te recyclen. Het aantal toepassingsmogelijkheden is enorm.

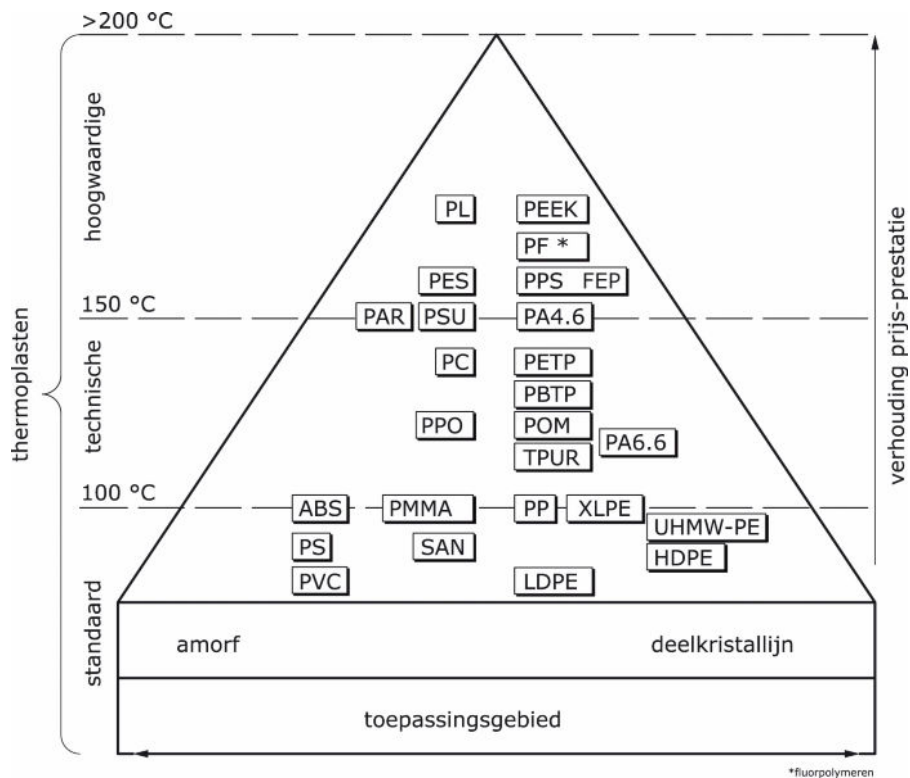
Thermoplasten worden bijvoorbeeld gebruikt voor verpakkingsmaterialen, frisdrankflessen, veiligheidsbrillen, ramen van caravans en behuizingen van smartphones.



Behuizing van thermoplastisch materiaal

Soorten en toepassingen

Je kunt thermoplasten indelen op basis van hun toelaatbare gebruikstemperatuur.



Thermoplasten ingedeeld op basis van gebruikstemperatuur

Standaard thermoplasten (< 100°C)

Soort	Afkorting	Eigenschappen	Toepassingen
Hoge dichtheid polyethyleen	HDPE	zeer stijf, hoge breukrek, onbreekbaar	benzinetanks, drukbestendige buizen, kratten, ramen
Lage dichtheid polyethyleen	LDPE	zeer hoge breukrek, nagenoeg onbreekbaar	folie, kabelommanteling, huishoudelijke voorwerpen, flessen
Polypropreen	PP	hoge weerstand tegen vermoeiing, hard, stijf, taai, nagenoeg onbreekbaar	verpakkingen van levensmiddelen (boterkuipjes), folie, scharnieren, sleepkabels
Polystyreen	PS	hard, bros, lage stijfheid, doorzichtig	verpakkingen voor dvd's en bluray's, schuim voor warmte/koude-isolatie en verpakkingen ('piepschuim')
Polymethylmethacrylaat	PMMA	hard, bros, helder, zeer goede optische eigenschappen, krasgevoelig	doorzichtig materiaal voor lichtkoepels, ramen van caravans (plexiglas), tekendriehoeken
Polyvinylchloride	PVC	hard PVC: hard, niet buigzaam, lage breukrek, slag- en stootvast zacht PVC (weekmakers): taai, flexibel, lage stijfheid	hard PVC: buizen, goten, profielen, plaat zacht PVC: slangen, kabelisolatie, schuim, folie en kunstleer (skai), regenjassen, pendeldeuren
Acrylonitrilbutadienstyreen	ABS	hoge slagsterkte, grote stijfheid	binnenkast van koelkasten, behuizingen (TV's, computers), onderdelen van carrosserieën, surfplanken, speelgoed

Standaard thermoplasten

PE

Polyetheen (PE) wordt ook wel *polyethyleen* genoemd. Het is de meest gebruikte kunststof. Polyetheen ontstaat door het verbinden van etheenmoleculen. Ongeveer 1% van de aardolie wordt gebruikt om polyetheen te produceren. Polyetheen wordt gemaakt met twee verschillende processen:

- HDPE (Hoge dichtheid polyetheen):
wordt gemaakt bij lage druk met behulp van een katalysator.
De dichtheid is 0,95 g/cm³.
- LDPE (Lage dichtheid polyetheen):
wordt gemaakt bij hoge druk (ongeveer 200 MPa).
De dichtheid is 0,92 g/cm³.

➤ Let op!

HDPE maak je niet bij hoge druk, LDPE wel. Bij lage druk ontstaan lineaire ketens waardoor de stof kristallijn wordt. Bij hoge druk ontstaan meer vertakkingen waardoor de stof weinig kristallijn wordt.

Een uitzondering vormt lineair lage dichtheid polyetheen (LLDPE, 0,93 g/cm³), dat wel hoofdzakelijk lineaire ketens bevat.

UHPE ('ultra high molecular weight PE') is een vierde variant. Dit type gebruik je bijvoorbeeld voor supersterke vezels.

Door het opsmelten van PE-korrels kun je verschillende producten maken, zoals:

- Huishoudelijk:
 - flesjes
 - zakjes
 - verpakkingsfilm
- Industrieel:
 - mantels van elektrische kabels
 - waterleiding (bv. in de grond)
 - riolering
 - gasleidingen
 - technische vezels



PE-ribbelbuis

HDPE voor flexibele waterleidingen noem je ook wel 'tyleen'. Polyetheen voor rioleringsbuizen kun je lassen met een stompe lasverbinding. Dit wordt ook wel *spiegellassen* genoemd.



Spiegellassen

PP

Polypropeen (PP) wordt ook wel *polypropyleen* genoemd. Het is een thermoplastische kunststof met veel toepassingen. Polypropeen ontstaat door het verbinden van propeenmoleculen. Het polymeer kun je heet in een vorm persen, maar ook zagen, frezen of lassen. PP is goed bestand tegen chemische oplosmiddelen, basen en zuren. Polypropeen lijkt op polyetheen en is net zo goedkoop, maar veel sterker.

PP wordt gebruikt voor:

- Huishoudelijk:
 - voor plastic flessen en meubelen
 - in tapijten en touw
- Industrieel:
 - voor kleine open zeilbootjes en veel auto-onderdelen
 - in buizen en plastic producten van hogere kwaliteit dan PE
 - als filtermateriaal



PP-zwanenhals

Polypropeen kun je zeer zuiver maken. Dan is het geschikt voor de halfgeleiderindustrie. Het is ook bestand tegen bacteriegroei en is daarom geschikt voor wegwerpspuiten en andere medische apparatuur. Polypropeen kun je eenvoudig recyclen.

PMMA

Polymethylmethacrylaat (PMMA) ken je misschien onder de naam *Plexiglas*. PMMA bestaat uit een verbinding van zeer grote methylmethacrylaat-moleculen. De grondstoffen zijn aceton, methanol, waterstofcyanide en zwavelzuur. Dit zijn gevaarlijke stoffen, maar het eindproduct is onschadelijk, reukloos en smaakloos. PMMA laat ongeveer 90% van het licht door. Het wordt daarom vaak gebruikt in plaats van glas.

Voordelen van PMMA:

- licht
- splintert niet
- eenvoudig in allerlei vormen te produceren
- meer lichtdoorlatend dan glas

Nadelen van PMMA:

- minder hard dan glas (krassen)
- laat zonder toevoegingen ultraviolet licht door (kan ook een voordeel zijn)
- minder hittebestendig dan glas en zeer brandbaar

Plexiglas in plaatvorm kun je eenvoudig bewerken. Als je het met zeep insmeert is het te zagen met een figuurzaag. Na verwarming boven 150°C kun je het in elke vorm buigen.

Je gebruikt plexiglas ook voor ramen die klappen krijgen, zoals in ijshockeystadions, voor racewagens met lichte ramen (niet de voorruit), veiligheidsbrillen en voor doorzichtige buizen.



Veiligheidsbril van plexiglas

PVC

Polyvinylchloride (PVC) ontstaat door het verbinden van vinylchloridemoleculen. Na enkele bewerkingen bestaat het eindproduct uit kleine korrels ofwel granulaat. Dit granulaat wordt verder verwerkt tot het eindproduct.

PVC is goedkoop, eenvoudig te bewerken, in veel kleuren te leveren en gemakkelijk te lijmen. Daarom is het een veel gebruikte kunststof.

De toepassingen zijn:

- Huishoudelijk:
 - buizen voor elektrische bedrading
 - behang: vinylbehang
 - vloerbedekking zoals zeil
 - speelgoed
 - beschermende kleding, chemische pakken en regenkleding.
- Industrieel:
 - constructies (zoals kunststof ramen) dashboards en vloeren
 - riolering
 - coatings



PVC-bocht met buis

Slagvast PVC wordt gemaakt door 20% gechloreerd PE aan PVC toe te voegen. Dit materiaal noem je PVC/CPE. De slagvastheid van PVC/CPE is 8 keer groter dan die van PVC. PVC/CPE is ook beter bestand tegen chemische stoffen die in aardgas voorkomen. Daarom wordt PVC/CPE vaak gebruikt voor gasleidingen.



PVC/CPE buis

ABS

Acrylonitrilbutadiëenstyreen (ABS) is een thermoplast die je gebruikt voor hardere voorwerpen. ABS is een vormvast materiaal en heeft weinig neiging tot kruip. De maximale gebruikstemperatuur ligt tussen 85°C en 100°C, afhankelijk van de modificatie. De minimale gebruikstemperatuur loopt tot -35°C. ABS bestaat uit 5% tot 30% butadiëen en ca. 50% styreen.

ABS wordt gebruikt voor:

- autobumpers
- legoblokjes
- golfclubs
- apparaatbehuizingen
- pijpen
- profielen
- goedkopere motorhelmen



ABS-profielen

Technische thermoplasten (100 - 150°C)

Soort	Afkorting	Eigenschappen	Toepassingen
Polyethyleen-teraftalaat	PETP	vormvast, hoge stijfheid, ongevoelig voor veroudering door Uv-straling	garens (polyester, dralon, dacron), flessen, films, doosjes voor dvd's en bluray's
Polyamide	PA	sterk, slijtvast, wrijvingscoëfficiënt, vochtopnemend	Er zijn veel soorten: PA6, PA11, PA12, PA6.6. Lagers, kabels, garens (nylon), profielen (gordijnrail), wioldoppen, deurkrukken, loop- en tandwielen, platen, buis
Polyoximethyleen	POM	sterk, slijtvast, niet Uv-bestendig	lagers, machine-onderdelen, deurgrepen, tanks voor gasaanstekers, fijnmechanische onderdelen
Polycarbonaat	PC	zeer slagvast, helder, doorzichtig	deksels voor pannen, zuigflessen, lenzen voor veiligheidsbrillen, valhelmen, tandwielen, veiligheidsruiten, politieschilden, kogelwerend glas
Polyurethaan	PUR	scheur- en slijtvast, hoge treksterkte	skischoenen, auto-onderdelen, drijfriemen, loopwielen, flexibele afdichtingsprofielen, kabelommantelingen, folie

Technische thermoplasten

Hoogwaardige thermoplasten (> 150°C)

Soort	Afkorting	Eigenschappen	Toepassingen
Polytetrafluoretheen	PTFE	zeer lage wrijvingscoëfficiënt, zeer chemisch bestendig, bestand tegen hoge temperaturen	glijlagers, tape, afdichtingsringen, anti-aanbaklaag voor pannen en strijkijzers (teflon)
Polyimide	PI	bestand tegen hoge temperaturen, trillingsdempend, lage wrijvingscoëfficiënt, zelfsmarend	zuigerringen, bussen in straalmotoren, afdichtingsringen, onderlaag voor het dragen van IC's, printschakelingen, rekstrookjes
Polyetherether-keton	PEEK	goede chemische bestendigheid bij hoge temperaturen, goed bestand tegen veroudering	chemische industrie, bekleding van glijlagers en schoepenwielen bij pompen voor hete vloeistoffen, zuigers, ommanteling van kabels in ruimten met hoge temperaturen
Polyvinylideenfluoride	PVDF	piëzo-elektrische en pyro-elektrische eigenschappen, chemisch stabiel	microfoons, kleine signaalbronnen, chemische industrie, galvano-technische toepassingen, schakelmateriaal, warmtewisselaars

Hoogwaardige thermoplasten

Vormgeven en bewerken

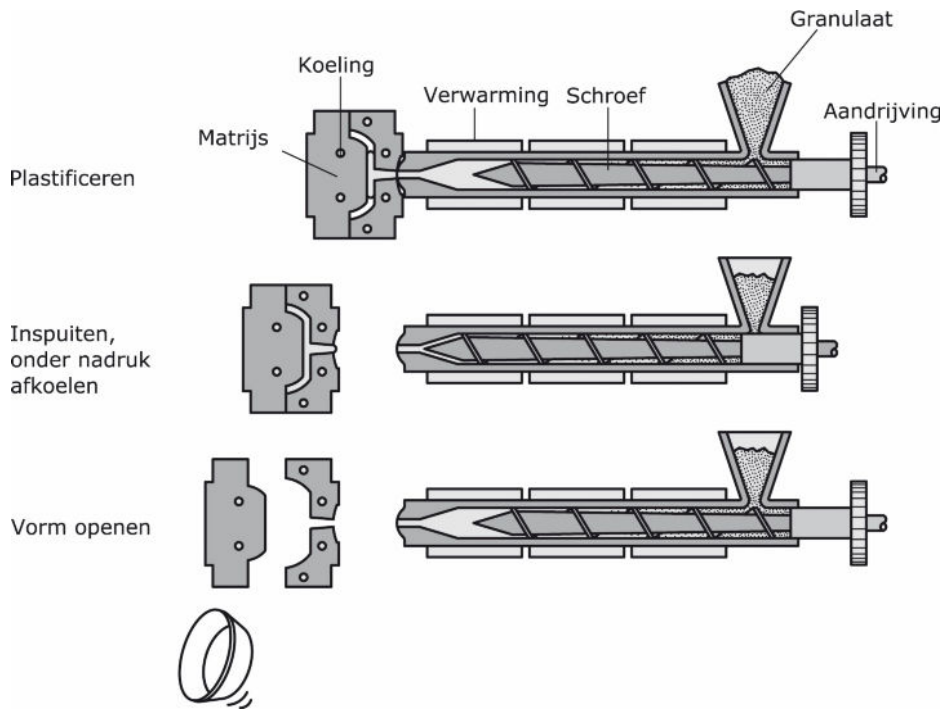
Doordat thermoplasten vrij eenvoudig vormbaar zijn, kun je daarvan veel verschillende productvormen maken. Er zijn dan ook veel verschillende vormgevingsmethoden voor thermoplasten. Je kunt thermoplastische kunststoffen na het vormgeven verder bewerken door ze te lijmen, lassen of verspanen.

Vormgevingsmethode	Producten
Spuitsieten	kratten, kopjes, emmers, tandwielen, modelbouwproducten
Extruderen	staven, profielen, platen, buizen, slangen, kabel- en profielmantels, garens
Extrusievormblazen	holle voorwerpen, flessen, zakken, folie
Vacuümvormen	interieurdelen automobiel- en vliegtuigindustrie, stoelen, behuizingen
Kalenderen	bladen, banen, folie
Schuimen	blokken, platen, profielen, vormstukken
Warmvormen	badkuipen, vaten, bekers, verpakkingen, koepels
Rapid Prototyping/Manufacturing	borden, bestek, kopjes, bekers, speelgoed, telefooncovers, prothesen, behuizingen voor elektronica, tandwielen

Vormgevingsmethoden en productvormen

Spuitgieten

Bij het spuitgieten wordt met een extruder thermoplastische kunststof in een gesloten vorm (*matrijs*) gespoten. De kunststofkorrels of poeders (*granulaat*) worden door het draaien van de extruder naar voren geperst. Door de hoge druk en door de hitte van verwarmingsspiralen smelt de kunststof. De extruder beweegt nu naar voren (plunjerwerking), waardoor de kunststof door de spuitkop in de matrijsholte wordt geperst. In de gekoelde matrijs koelt de kunststof snel af, waardoor deze weer hard en glasachtig wordt. Als de matrijs wordt geopend kan het kunststofproduct direct worden uitgenomen.



Spuitgietproces

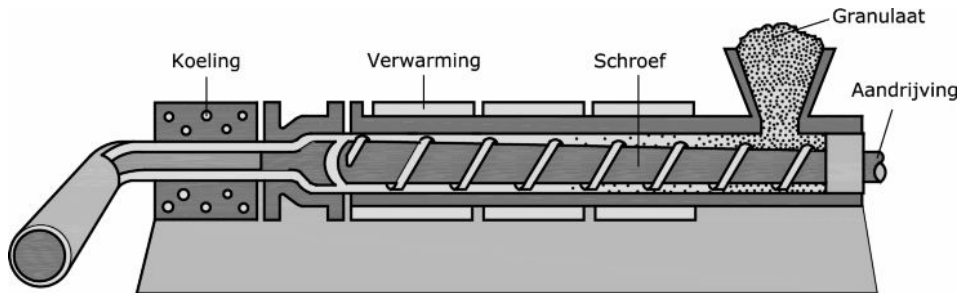
De kwaliteit van spuitgietproducten is hoog. Spuitgietproducten zijn te herkennen aan een aanspuitpunt, waarlangs de vloeibare kunststof de vorm is binnengekomen. De matrijzen kunnen zeer ingewikkelde vormen hebben en worden gemaakt door gespecialiseerde gereedschaps- of matrijzenmakers (vaak met behulp van *vonkeroderen*).



Spuitgietmachine

Extruderen

Vrijwel alle thermoplasten kunnen worden vormgegeven door extruderen. De extruder perst het aangevoerde granulaat of poeder naar een spuitmond. De as van de extruder is conisch, waardoor de ruimte voor de kunststof steeds kleiner wordt en een hoge persdruk ontstaat. Door de persdruk, wrijving en verwarming wordt de kunststof vloeibaar. De persdruk kan ook bereikt worden met een extruder waarvan de spoed van de schroefdraad steeds kleiner wordt. De kerndiameter van de as is dan overal gelijk.



Extrusieproces

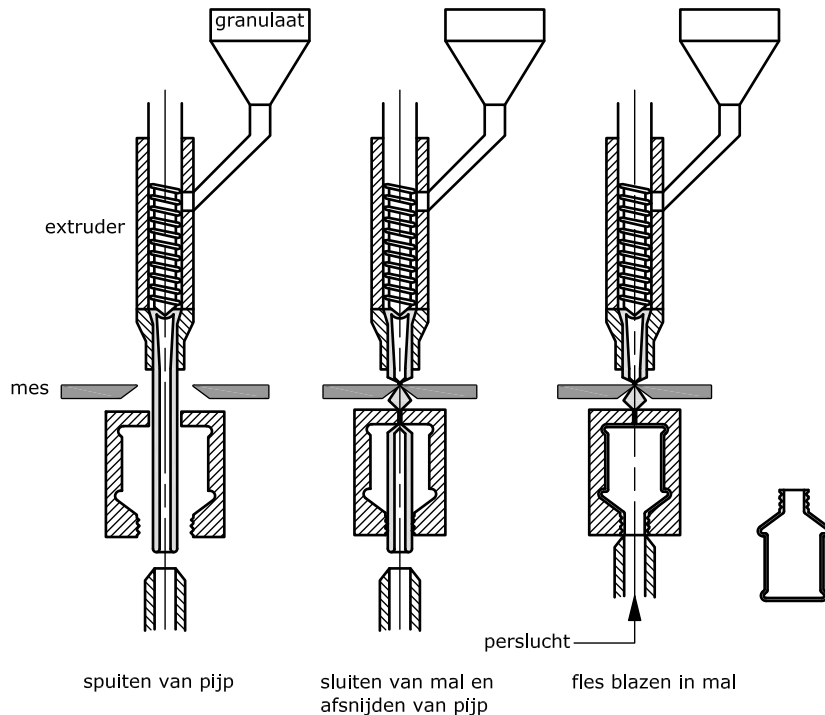
De vloeibare kunststof wordt door een spuitmond of spuitkop geperst. Door de opening van de spuitmond een bepaalde vorm te geven, ontstaan staven en profielen. Na het verlaten van de spuitmond worden de producten afgekoeld. De productvorm blijft ontstaan zolang je granulaat of poeder blijft aanvoeren en de extruder laat draaien (*continuproces*). Er worden speciale spuitmonden gebruikt voor slangen, buizen, kabelisolatie en garens.



Extrusiemachine

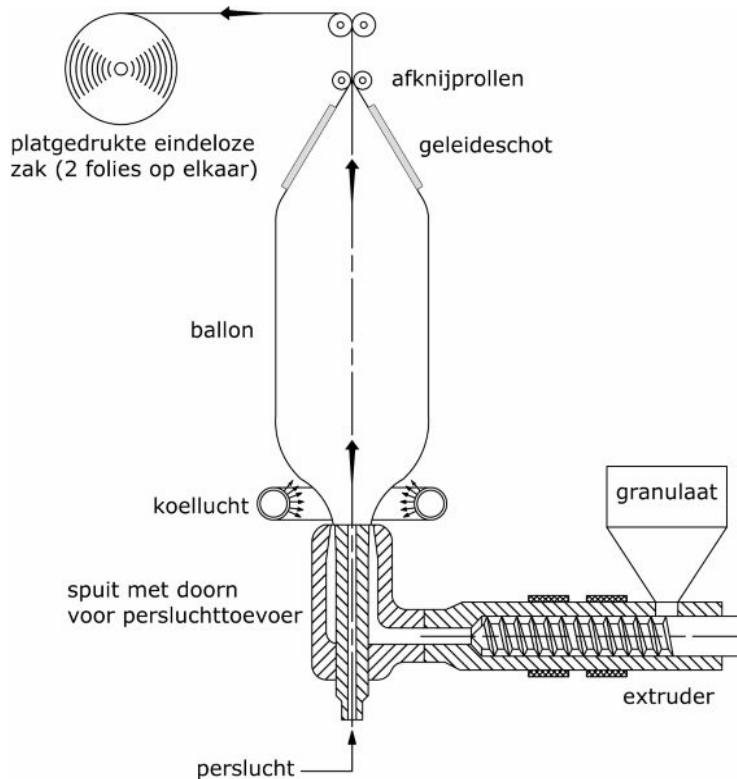
Extrusievormblazen

Bij extrusievormblazen wordt eerst een stuk buis geëxtrudeerd. Vervolgens worden er twee matrijshelften om de buis geplaatst. Na het sluiten van de matrijs wordt er lucht in de buis geblazen. Het materiaal wordt tegen de binnenwand van de matrijs gedrukt en koelt af. Zo ontstaat er een hol voorwerp, bijvoorbeeld een fles. Na opening van de matrijshelften wordt het product uitgestoten.



Extrusievormblazen van een fles

De productie van kunststof zakken (bijvoorbeeld vuilniszakken) is een bijzondere vorm van extrusievormblazen. Hierbij wordt lucht in een stuk geëxtrudeerde buis geblazen. Door extreme vergroting van de diameter neemt de wanddikte af en ontstaat er een zak. Het proces is geheel gemechaniseerd zodat een continue productie mogelijk is.

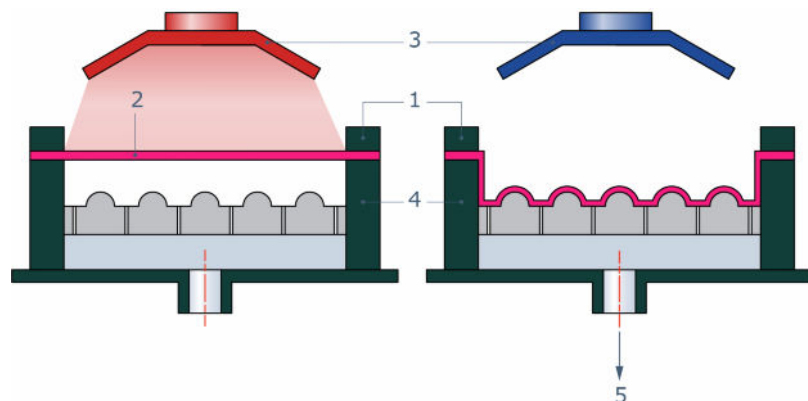


Extrusievormblazen van zakken

Vacuümvormen

Bij vacuümvormen wordt een thermoplastische plaat boven een mal met de gewenste vorm van het product geklemd. Een warmtestraler verwarmt de plaat tot deze vloeibaar (plastisch) is. Dan verwijdert men de warmtestraler en wordt de kast vacuüm gezogen. De zachte plaat wordt dan op de mal gezogen en krijgt de juiste vorm.

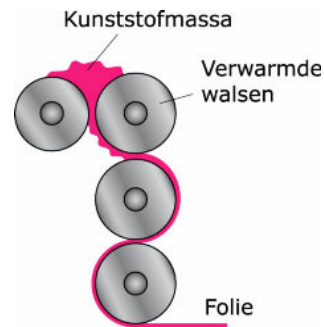
1. raam
2. plaatmateriaal
3. warmtestraler
4. kast
5. afzuigen van lucht



Vacuümvormen

Kalanderen

Kalanderen is uitwalsen van thermoplastische kunststof in plastische toestand. Het gebruikte walswerktuig heet een kalender. Uit de kalender komen halffabrikaten in de vorm van plaat of folie. Bij folie kan papier of textielweefsel worden meegewalst. De folie kan generfd (kunstleer), bedrukt, bevlokt (kunstfluweel) of gemetalliseerd worden. Deze methode is vooral geschikt voor PVC en elastomeren.



Walsen van folie op kalanders

Schuimen

Door roeren (zoals bij eiwit), door gasinblazing of door toevoeging van chemische blaasmiddelen kan lucht in de kunststofmassa worden ingesloten. Hierbij kunnen open, gesloten en gemengde celstructuren ontstaan. Je kunt dit zien als je het materiaal van een spons en van piepschuim met elkaar vergelijkt.

Schuimen is aantrekkelijk omdat:

- het gewicht van een constructie lager wordt zonder dat dit de sterkte vermindert
- het materiaalgebruik wordt beperkt
- het warmte-isolerend vermogen stijgt
- het materiaal makkelijk te bewerken en verwerken is
- de veerkracht en stootbestendigheid hoog zijn.

Bijna alle kunststoffen zijn te schuimen, maar het proces wordt vooral toegepast voor polystyreen (PS) en polyurethaan (PUR). Met de dichtheid van het schuim (grote cellen of kleine cellen) neemt de sterkte en de massa toe, maar daalt het warmte-isolerend vermogen. Integraalschuimen zijn producten die binnenin geschuimd zijn, maar aan het oppervlak geen celstructuur hebben.

Warmvormen

Door plaatmateriaal of folie te verwarmen kun je deze verwerken tot holle producten. Door dieptrekken of vacuümvormen kun je kuipvormen maken. Bij dieptrekken wordt het materiaal met een stempel in een vorm gedrukt. Vacuümvormen is hiervoor al beschreven en is een toepassing van warmvormen.

Een nadeel is dat door de vervorming de wanddikte niet overal gelijk is. Je kunt dat vaststellen bij kunststof schaaltes waarin bonbons zijn verpakt. Bij dieptrekken heeft men systemen ontwikkeld met navulling waardoor het nadeel van de verschillen in wanddikte wordt ondervangen.

Door een plaat op een speciale bak te klemmen, te verwarmen en er perslucht onder te blazen, ontstaat een bolle vorm. Op deze manier worden lichtkoepels gemaakt.

Rapid prototyping/manufacturing

Rapid prototyping/manufacturing is een verzamelbegrip voor relatief nieuwe technieken waarmee je snel prototypen (*prototyping*) en fysieke producten (*manufacturing*) kunt maken. Hiervoor wordt een CAD/CAM-proces toegepast. De vorm van het prototype of product wordt ontworpen met een CAD-programma (3D), of door *reverse-engineering* afgeleid van een bestaande productvorm. Een CAM-pakket converteert de contouren van het product en de benodigde bewerkingen vervolgens naar een computerprogramma. Dat programma is geschikt om de gebruikte vormgevingmachine aan te sturen.

De volgende thermoplastische kunststoffen worden daarbij veel gebruikt:

- acrylonitril-butadiëenstyreen (ABS)
- polyamide (PA)
- polycarbonaat (PC)
- polymelkzuur (PLA) (biologisch afbreekbaar kunststof)

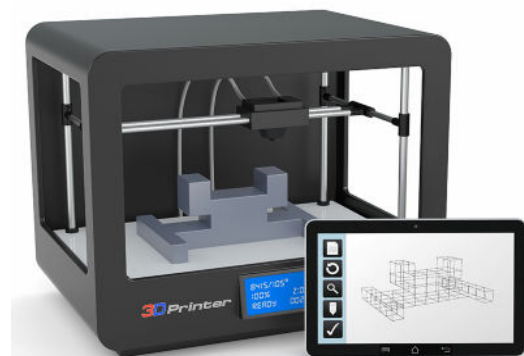
Veel toegepaste vormgevingstechnieken zijn:

- Fused Deposition Modeling (FDM)
- Stereolithografie (SLA)

Fused Deposition Modeling (FDM)

Fused Deposition Modeling wordt in de volksmond meestal *3D-printen* genoemd. Het is een Rapid prototyping/manufacturing-techniek waarbij de kunststof laag voor laag aan elkaar wordt gesmolten, zodat er een compleet product ontstaat.

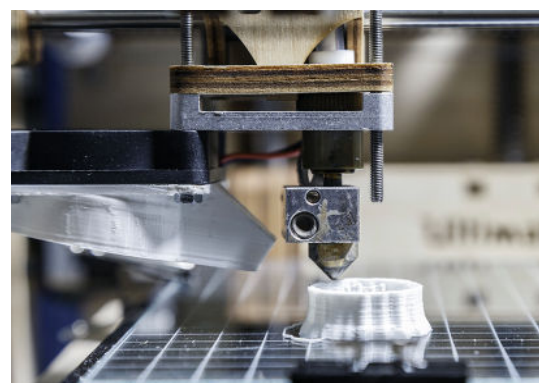
Fused Deposition Modeling is nu nog een relatief duur proces. Door snelle ontwikkelingen wordt 3D-printen echter steeds goedkoper.



3D-printer

In de medische wereld wordt 3D-printen al langer toegepast. Bijvoorbeeld om op locatie protheses te kunnen maken. De uitgangsbasis voor het FDM-proces is het STL-bestand. Dit 3D-model wordt met behulp van software vertaald in sturingcommando's voor de 3D-printer.

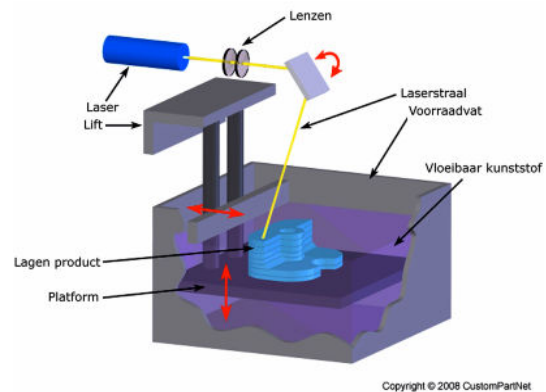
Een thermoplastische kunststof wordt tot smelten gebracht en door middel van een spuitmond-extruder op een platform gespoten. De extruder en/of het platform worden voortbewogen door draadspindels, die worden aangedreven door servomotoren. Daardoor zijn ze verplaatsbaar volgens het XYZ-coördinatenstelsel. De spuitmond kan hierdoor de gewenste productvorm gericht laag voor laag aanbrengen.



Fused Deposition Modeling

Stereolithografie (SLA)

Bij *stereolithografie* wordt de 3D-tekening van het prototype/product door software opgedeeld in dunne schijfjes. De machine bestaat uit een laser (waarvan de straal wordt gefocust door een prisma), een vat met thermoplastische kunststof (in vloeibare toestand of poedervorm) en een verplaatsbaar platform (volgens het X,Y,Z-coördinatenprincipe). De laserstraal verhard de oppervlakte van de vloeibare kunststof op het platform laag voor laag.



Stereolithografie

Lijmen

De meeste kunststoffen kunnen worden gelijmd. Voor elke soort kunststof is vaak een speciale lijm nodig. Eén lijmsoort vormt een uitzondering: cyanolijm. Cyanolijm kan worden gebruikt voor bijna alle soorten kunststoffen, rubber en staal. Cyanolijm is behoorlijk duur.

Lassen

Thermoplasten kun je lassen omdat je ze plaatselijk kunt verwarmen. Door verhitting kun je delen van producten samensmelten tot een geheel. Dit kan zonder, maar ook met toevoegmateriaal. Voorwaarde is dat de te lassen delen van hetzelfde materiaal zijn gemaakt. De verschillende lasmethoden onderscheiden zich door de warmtebron die gebruikt wordt.

In de tabel 'Lasmethoden en gebruikte warmtebronnen bij thermoplasten' zie je de methoden en de daarbij gebruikte warmtebronnen.

Lasmethode	Warmtebron
Heetgaslassen	hete lucht laspistool
Stuik- of stompassen	elektrisch of met gasvlam verwarmde stempel of liniaal.
Wrijvingslassen	wrijvingswarmte: - delen langs elkaar te bewegen bijvoorbeeld op een draaimachine - mechanisch ultrasoon in trilling brengen van een stempel (ultrasoonlassen)
Hoogfrequent lassen	- tussen twee elektroden een elektrisch veld in trilling te brengen - door rollen als elektroden te gebruiken is een continu proces mogelijk - polaire thermoplasten als PVC zijn geschikt voor deze methode

Lasmethoden en gebruikte warmtebronnen bij thermoplasten

Verspanen

Kunststofhalffabrikaten, zoals staven en plaat, zijn relatief eenvoudig te verspanen (boren, zagen, draaien en frezen). Houdt hierbij rekening met de volgende aandachtspunten:

- de verspaningstemperatuur, vaak is veel koeling nodig
- eventuele opname van vocht (geen waterkoeling)
- de slijphoeken van het snijgereedschap
- de snijsnelheid (zie tabellen)
- er zijn geen grote verspaningskrachten mogelijk
- er kunnen schadelijke dampen en gassen vrijkomen.



1. Noem drie standaard thermoplasten die veel worden gebruikt.
Geef zowel de afkorting als de betekenis van de afkorting.



2. Noem drie veel gebruikte vormgevingsmethoden voor thermoplasten.

7.2 Thermoharders

Thermoharders worden minder vaak toegepast dan thermoplasten, omdat ze moeilijker te verwerken en recyclen zijn. Thermoharders worden namelijk niet opnieuw plastisch bij verwarming. Ze zijn ook brosser dan thermoplasten. Boven een bepaalde temperatuur verbrandt of ontleedt het materiaal. Daarentegen hebben thermoharders ten opzichte van thermoplasten een betere maatvastheid en krasvastheid.



Riolering van thermohardend polyesterhars (UP)

Soorten en toepassingen

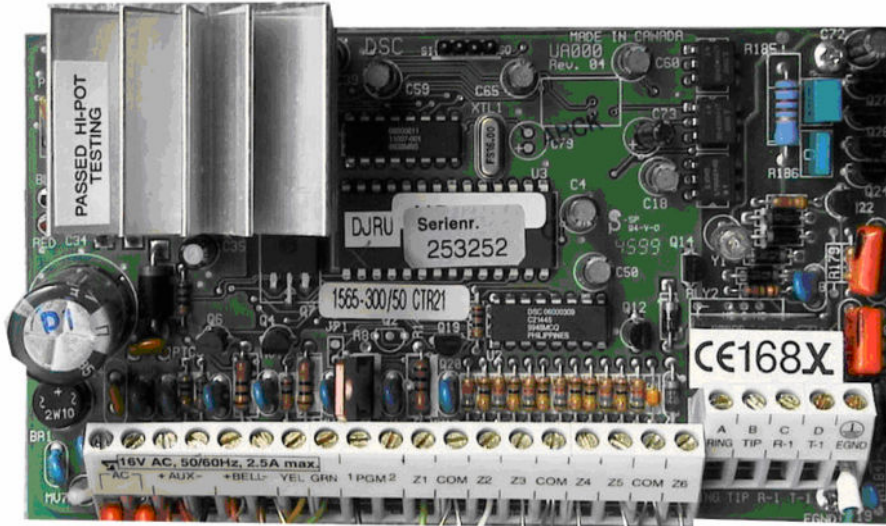
Soort	Afkorting	Eigenschappen	Toepassingen
Caseïne-formaldehydehydars (half synthetische kunsthoorn)	CF	reukloos, lost niet op in water	knopen, gespen
Fenoformaldehydehydars (bakeliet)	PF	hard, bros, stijf, vochtgevoelig	behuizingen schakelmateriaal (pertinax = laminaat van PF en papier), tandwielen (novotex = laminaat van PF en textielweefsel)
Ureumformaldehydehydars	UF	als PF, maar stijver, goed kleurbaar	deurkrukken, lijm- en verfindustrie, keukenmachines
Melamine-formaldehydehydars (mepal, formica)	MF	als, PF, maar sterker, hard en krasvast, reuk- en smaakloos, vochtbestendig	serviesgoed, deklagen voor tafels, keukenbladen, plaatmateriaal
Polyurethaan	PU	buigzaam, sterk, slijt en krasvast	zacht schuim voor matrassen, sponzen hard schuim voor verpakkingen, autolakken, houtlijm, gietvloeren
Alkydhars	AP		verf, inbedden van elektrische circuits
Epoxyhars	EP	als polyester, maar gunstiger	schakelmateriaal, ingieten van kabelverbindingen, lijmen
Onverzadigd polyester	UP	slagvast, sterk en slijtvast	in combinatie met versterkende vezels (glas, carbon, aramide) voor boten, onderdelen van carrosserieën en schepen, rotorbladen, golfplaten
Siliconenhars	SI	hoge temperatuurbestendigheid	afstotende, corrosiewerende lagen, lossingsmiddel voor matrijzen

Soorten, eigenschappen en toepassingen thermoharders

Fenolformaldehydehydars

Fenoformaldehydehydars ontstaat door een chemische reactie van fenol en formaldehyde.

Een voorbeeld van fenoformaldehydhar is het materiaal Pertinax. Dit materiaal is elektrisch isolerend en heeft een hoge doorslagspanning. Je gebruikt het als isolatiemateriaal voor elektrisch bedrading en voor printplaten in elektrische en elektronische apparatuur. Pertinax wordt steeds verder verdrongen door met glasvezels versterkte epoxyhars (FR4).



Printplaat van pertinax

Melamineformaldehyde

Melamineformaldehyde wordt vaak onterecht *melamine* genoemd. Het is een organische base met hars. Door een chemische reactie met formaldehyde ontstaat thermohardende kunststof. DSM heeft de grootste melaminefabriek ter wereld. Deze heeft een capaciteit van 120.000 ton per jaar.

Melamine is sterk, licht, hard en bestand tegen zuren en basen. Het dient als basisgrondstof voor melamineharsen- en coatings, zoals de toplaag van hardplastics en laminaatvloeren, maar ook voor borden en bestek. Daarnaast is er gesulfoneerde hars dat wordt gebruikt als plastificeerder in beton en anhydriet. Andere toepassingen zijn lijmen en papier- en textielveredelingsmiddelen.



Melamine laminaatvloerdeel en borden

Epoxyhars

De naam epoxy stamt van epoxide. Epoxide is de scheikundige benaming voor een ring van drie atomen: twee koolstofatomen en een zuurstofatoom. Deze chemische samenstelling reageert gemakkelijk met andere verbindingen tot een nieuwe stof. Men voegt hars toe als harder, om het materiaal tot een vaste massa te maken. Het uitharden gebeurt bij temperaturen hoger dan de omgevingstemperatuur. Epoxyharsen zijn slijtvast en hebben een belangrijke toepassing in coatings, lagere en montagepanelen. Je kunt ze in combinatie met glasvezel of kleding toepassen als stevige, lichtgewicht materialen.



Surfplanken van epoxyhars

Polyesterhars

Een polyester is een polymeer die ontstaat door een reactie van een zuur met een alcohol. Polyester bestaat als thermoharder en als thermoplast. Thermohardend polyester is een vloeibaar mengsel van polyester en styreen. Deze componenten reageren met behulp van een verharder met elkaar tot een harde kunststof. Polyester wordt vaak met glasvezel versterkt. Deze vezelversterkte kunststof wordt veel toegepast in zeiljachten en roeiboten. Met polyesterhars kun je ook buizen en tanks wikkelen. Een lange bundel glasvezel gaat door een bad met polyester en wikkel je om een ronddraaiende mal. De buizen gebruik je voor vloeistofsystemen zoals:

- riolering
- pijpleidingen
- kunststofleidingen
- hulpstukken voor buizen
- drainage



3. Je kunt thermoharders na uitharding bewerken met verspanende productietechnieken. Onderzoek welke verspanende technieken hiervoor veel worden gebruikt. Noem er minstens drie.

7.3 Elastomeren

Elastomeren zijn alle natuurlijke en synthetische rubbersoorten. De materiaaleigenschappen van natuurlijke elastomeren lijken op die van synthetische elastomeren. Synthetische elastomeren worden gefabriceerd door natuurrubber (latex) te vulkaniseren met zuurstof en zwavel.

Soorten en toepassingen

Soort	Afkorting	Eigenschappen	Toepassingen
Isopreenrubber	IR	goede vloeieigenschappen	spuitgietartikelen
Butylrubber	IIR	hoge gasdichtheid	toevoeging aan andere rubbers, binnenbanden
Chloropreenrubber (Neopreen)	CR	hoge chemische bestendigheid	pakkingen, transportbanden, rubberslangen voor koelsystemen
Styreen-butadiëenrubber	SBR	slijtvast, lage wrijvingscoëfficiënt	autobanden, transportbanden, aandrijfriemen, pakkingen, slangen, stootkussens
Nitrilbutadiëenrubber	NBR	goede mechanische eigenschappen	O-ringen in hydraulische systemen, benzine- en olieslangen, membranen, zolen van werkschoenen
Siliconenrubber	SI	hoge temperaturen, goed bestand tegen veroudering	rubbermembranen, grafische industrie
Polyurethaanrubber	PUR	zacht	schuimen, matrassen, arm- en hoofdsteunen

Soorten, eigenschappen en toepassingen elastomeren



4. Noem een technische toepassing van een elastomeer.



5. Zijn synthetische elastomeren goed te hergebruiken? Waarom wel/niet?

7.4 Vezelversterkte kunststoffen

Het Solar Team van de Technische Universiteit Eindhoven bouwde in 2013 een gezinsauto voor vier personen, die volledig rijdt op zonne-energie. De carrosserie van deze auto is gemaakt van koolstofvezel versterkt epoxyhars. Dit geeft de carrosserie een hoge sterkte, terwijl het gewicht van de auto laag blijft. Daardoor is er minder energie nodig om de auto aan te drijven. Het team deed met deze auto mee aan de World Solar Challenge, een race van 3000 km dwars door Australië.



Stella, een gezinsauto die rijdt op zonne-energie

Door vezels toe te voegen aan thermoplasten of thermoharders kun je de sterkte en stijfheid aanzienlijk verbeteren. Vezelversterkte kunststoffen (vkv's) worden bijvoorbeeld gebruikt in voertuigen en schepen, in de ruimte- en luchtvaartindustrie en voor sportartikelen, zoals als tennisrackets en ski's.

Ze hebben de volgende voordelen:

- grote treksterkte en stijfheid
- laag eigen gewicht
- gecompliceerde vormen zijn mogelijk
- ongevoelig voor vermoeiing en corrosie
- lange levensduur.

Soorten en toepassingen

Vezelversterkte kunststoffen hebben sterk uiteenlopende eigenschappen en toepassingsmogelijkheden. Dit komt door de grote verscheidenheid in hars/vezelcombinaties.

Harssoorten

Bij gebruik van thermoplasten als grondmassa wordt het mogelijk om op een snelle manier complexe productvormen te produceren, met een goede buigzaamheid en elasticiteit. Thermoplasten zijn erg taai, waardoor de constructie minder gevoelig voor schade wordt. Voor vkv's in kritische constructies worden alleen technische en hoogwaardige thermoplasten gebruikt. Bijvoorbeeld polystyreen (PS) en polyamide (PA).

Thermohardende harsen zijn meer gebruikelijk, vanwege de betere mechanische eigenschappen. De gebruikte harsen zijn koud- of warmhardend. De uitharding wordt op gang gebracht met katalysatoren en/of reactieversnellers. Veel gebruikte harssoorten zijn:

- epoxyhars
- polyesterhars
- fenolhars.

Epoxyhars is een dunvloeibare twee componentenlijm. Het is een kwalitatief betere, maar ook duurder harssoort dan polyesterhars. Uitgehard epoxyhars heeft zeer goede mechanische eigenschappen. De druk- en treksterkte zijn zelfs groter dan die van beton. Verder is epoxyhars vloeistofdicht. De glastemperatuur T_g wordt lager onder invloed van vocht. Epoxyhars verkleurt onder invloed van Uv-licht.

Vezelsoorten

De volgende vezelsoorten worden gebruikt:

- textielvezels en -weefsels (celeron of novotex)

Fenolformaldehydehars met textielvezels

Een veel toegepast voorbeeld van met textielvezels versterkte kunststof is hardlinnen, hardweefsel, celleron of novotex. Het bestaat uit vele lagen linnen die in fenolformaldehydehars (PF) zijn gedrenkt. De lagen worden op elkaar geperst en er ontstaat een laminaat. Het materiaal wordt geleverd in plaat en staafvorm en wordt gebruikt voor isolerende frames en geluiddempende tandwielen.

Kenmerkende eigenschappen zijn:

- zeer goede elektrische isolator
- sterk en slijtvast
- lage wrijvingscoëfficiënt
- trillingdempend.

Polyesterhars met glasvezels

Onverzadigde polyesterhars (UP: Unsaturated Polyesther) met glasvezel wordt veel gebruikt voor spoilers, surfplanken, boten, caravans, dakgoten, golfplaten, containers en deksels. De in stukjes geknipte glasvezel wordt, vermengd met lucht, met een spuitpistool op het hars gespoten. Daarnaast wordt glasvezel aangebracht in de vorm van glasmat of glasweefselband. Om de vloeibare hars uit te harden wordt daaraan een versneller en een harder toegevoegd.

UP-harsen zijn bij aflevering vaak al vermengd met een versneller. Bij de verwerking wordt circa 3 tot 5% harder (een peroxide) toegevoegd. Onder bepaalde omstandigheden is de verwerkingstijd dan zo'n 30 tot 60 minuten. Naarmate meer harder wordt toegevoegd is de verwerkingstijd korter. Met 'potlife' wordt de verwerkingstijd van harsen aangeduid. Na het uitharden ontstaan tussen de macromoleculen vele dwarsverbindingen. Een nadeel is het ontstaan van styreendampen bij het uitharden. Bij inademing zijn deze gevaarlijk. Ook de harders en peroxiden zijn gevaarlijke chemicaliën. Bij het verwerken van UP met glasvezels zijn het dragen van handschoenen, veiligheidsbril en mondbescherming dan ook verplicht.

UP is sterk, hard, maar ook enigszins bros. Het materiaal wordt sterker door de glasvezels.

Het gewone lamineerhars is gevoelig voor weers- en milieu-invloeden. Vandaar dat constructies van een gelcoat of topcoat worden voorzien. De coating bevat enkele procenten paraffine om het uitdampen van harder tegen te gaan. UP is van zichzelf een mat grauwwit en enigszins transparant materiaal. Door aan de coating pigment toe te voegen, kun je allerlei kleuren krijgen.

Kunststoffen met koolstof- en aramidevezels

Met koolstof- en aramidevezels versterkte kunststoffen hebben zeer goede mechanische eigenschappen. Koolstofvezels zijn sterk, stijf, bros en elektrisch geleidend. Door de brosheid zijn ze niet bestand tegen schuifspanningen en puntbelastingen. Vanwege de elektrische geleiding moet je, bij toepassingen in combinatie met verschillende metalen, oppassen voor corrosie.

Koolstofvezels worden vooral gebruikt om constructies te versterken en stijver te maken. Vezelversterkte kunststoffen met aramidevezels (handelsnamen *Twaron* en *Kevlar*) zijn sterk, redelijk stijf, taai, veerkrachtig en hittebestendig. De aramidevezels verhogen ook de schuifsterkte.

Voorbeelden

Toepassingen zijn:

- autosport en luxe personenauto's
- scheepsbouw, lucht- en ruimtevaart
- ski's en tennisrackets
- kogelwerende en hittebestendige kleding
- remvoeringen als vervanger voor asbest.



Toepassing van vbk met koolstofvezel

Vormgeven en bewerken

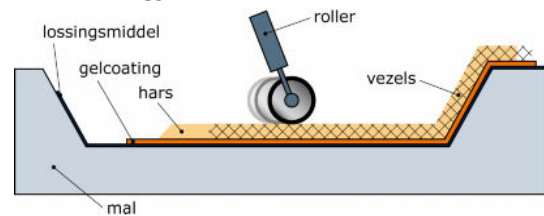
Er zijn verschillende technieken ontworpen om vezelversterkte kunststoffen vorm te geven. Het aantal technieken om gevormde vbk's te bewerken is echter vrij beperkt.

Handlamineren

Handlamineren is een arbeidsintensieve vormgevingstechniek, die daardoor vooral geschikt is voor kleine series. Met deze techniek worden bijvoorbeeld scheepsrompen, bruggen, koepels, vijvers en grote bakken gemaakt.

Het product wordt vormgegeven in een vormmal. Bij koudhardende harsen is dit een mal van hout of kunststof. Bij warmhardende harsen gebruikt men een stalen of aluminium mal. De mal wordt eerst voorzien van een lossingsmiddel en daarna van een gelcoating. De gelcoating zorgt voor een mooi glad oppervlak en beschermt het product tegen weersinvloeden, beschadigingen en chemische stoffen. De vezels zijn al op maat gesneden en voorgeïmpregneerd met een laagje hars.

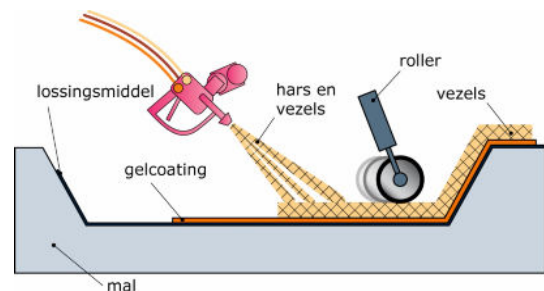
Ze worden laag voor laag in de mal gelegd. Elke laag wordt bevochtigd met een laag hars. Luchtinsluitsels kunnen het product verzwakken. Ze worden daarom met een speciale roller of spatel verwijderd. De uitharding vindt plaats bij kamertemperatuur.



Handlamineren

Vezelspuiten

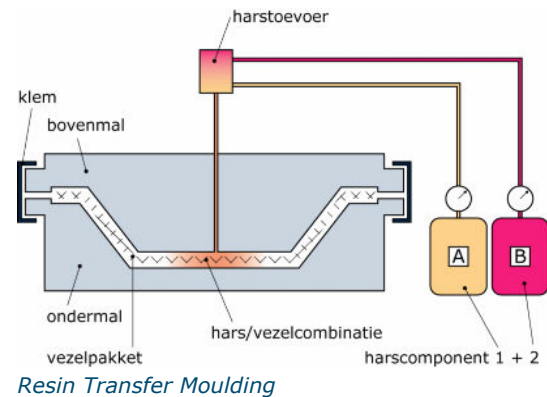
Vezelspuiten is vergelijkbaar aan handlamineren, maar dit proces is geautomatiseerd. De vezels worden van een rol getrokken en samen met de hars aangevoerd naar een spuitpistool. Het spuitpistool hak de vezels op de juiste lengte en spuit deze onder hoge luchtdruk samen met de hars in de voorgeïmpregneerde en ge-gelcoate mal.



Vezelspuiten

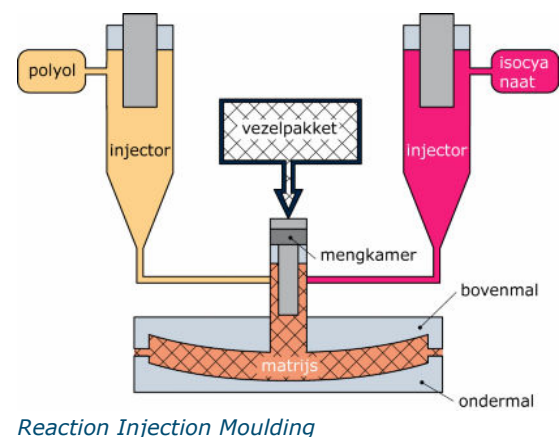
RTM

Bij *Resin Transfer Moulding* (RTM of *harsinjectie*) wordt er in één keer een pakket van vezels in een ondermal gelegd. Het pakket wordt afgedekt met een bovenmal. Vervolgens wordt de hars vanuit een voorraadvat tussen de boven- en ondermal gegoten. Met deze methode worden bijvoorbeeld wieken van windmolens en grote bakken of vaten geproduceerd. Het proces is schoner, sneller, maar ook duurder dan handlamineren of vezelspuiten.



RIM

Bij *Reaction Injection Moulding* (RIM) worden twee componenten in een matrijs gespoten. De componenten reageren in de matrijs met elkaar, waarna ze uitharden. Er kunnen vezels worden meegespoten of de vezels kunnen van tevoren aangebracht worden in de matrijs. Met deze techniek worden bijvoorbeeld panelen, autobumpers, grilles, kasten, integraalhelmen en surfplanken gemaakt.



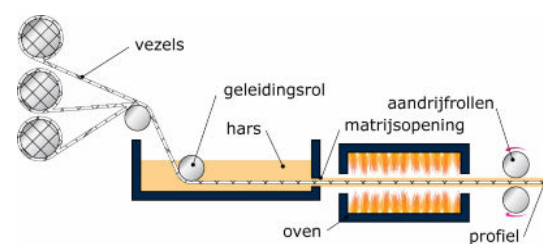
Wikkelen

Bij het wikkelen worden de vezels (rovings) continu van een rol getrokken en geïmpregneerd met hars. Daarna worden ze in verschillende hoeken om een metalen kern gewikkeld. Door de hoeken te wijzigen krijgt het materiaal in meerdere richtingen dezelfde sterkte en stijfheid. Als de hars is uitgehard wordt de metalen kern verwijderd.

Met deze techniek worden cilindrische en holle producten gemaakt. Bijvoorbeeld buizen, drukvaten, windmolenbladen, hengels, masten en lanceerkokers. Het is mogelijk om grote producten uit één stuk te maken. De cyclustijd is vrij lang. Het is niet mogelijk om de vezels in de lengterichting aan te brengen.

Pultrusie

Pultrusie is een continuproces voor het produceren van profielen van vezelversterkte kunststoffen. De vezels worden van een rol getrokken en in een harsbad geïmpregneerd. Vervolgens worden ze door een verwarmde matrijs getrokken, die de vorm heeft van het eindproduct.



Na het verlaten van de matrijs hard het profiel uit in een oven. Met deze techniek worden profielen voor bijvoorbeeld ski's, onderdelen van vliegtuigvleugels, ladders, bordessen, roosters en bruggen geproduceerd. Doordat pultrusie een continuproces is, is goede kwaliteitsbeheersing mogelijk. Door het hoge vezelvolumen krijgen de eindproducten een hoge sterkte en stijfheid. Een nadeel is dat de matrijs snel slijt, waardoor de doorsnede van het product groter wordt.

Verspanen

Vezelversterkte kunststoffen zijn uitstekend te verspanen, mits de verspaningscondities juist zijn. De verspaanbaarheid wordt vooral beïnvloed door de gebruikte vezelsoort en door de vezeloriëntatie. De grondmassa is hierop minder van invloed.



Verspanen kunststof

Bij het verspanen van vezelversterkte kunststoffen moet rekening worden gehouden met de volgende aandachtspunten:

- Door de gelaagdheid van de vezels is het alleen mogelijk om loodrecht op de vezelrichting te verspanen. Daarmee voorkom je rafelige randen.
- De meeste vezelversterkte kunststoffen geleiden slecht warmte. Gebruik een scherp gereedschap en pas koeling toe om warmtedegradatie te voorkomen. Bij sommige kunststoffen kan dit niet, omdat deze door koelvloeistoffen worden aangetast.
- Er kunnen fijne stofdeeltjes en schadelijke dampen en gassen vrijkomen. Gebruik de juiste persoonlijke beschermingsmiddelen en goede afzuiging met stoffilters. Met name bij het frezen van koolstof komt veel elektrisch geleidend stof vrij. Dit kan kortsluiting veroorzaken in elektrische circuits van motoren en computers.

Waterstraalsnijden

Waterstraalsnijden is een uitstekende techniek om vezelversterkte kunststoffen te bewerken. Vooral de taaie aramidevezels zijn hiermee perfect op maat te snijden.

Een voordeel van waterstraalsnijden ten opzichte van verspanende bewerkingen, is dat de stofproductie hierbij een stuk kleiner is. Verder is er geen warmteontwikkeling in het product.



Waterstraalsnijden



6. Noem drie voordelen van het toevoegen van vezels aan kunststoffen.

7.5 Samenvatting

- Thermoplasten zijn de meest toegepaste kunststoffen. Door hun plastisch gedrag bij opwarming zijn thermoplasten eenvoudig vorm te geven en te recyclen.
- Je kunt thermoplasten indelen op basis van hun toelaatbare gebruikstemperatuur.
- Polyetheen (PE) is het meest gebruikte kunststof. Het ontstaat door het verbinden van etheenmoleculen.
- Polypropreen (PP) kent ook veel toepassingen. het ontstaat door het verbinden van propeenmoleculen.
- Polymethylmethacrylaat (PMMA) is bekend onder de naam Plexiglas. Het bestaat uit een verbinding van zeer grote methylmethacrylaat moleculen.
- Polyvinylchloride (PVC) ontstaat door het verbinden van vinylchloride moleculen.
- Acrylonitrilbutadienstyreen (ABS) is een thermoplast die je gebruikt voor hardere voorwerpen.
- Doordat thermoplasten vrij eenvoudig vormbaar zijn, kun je daarvan veel verschillende productvormen maken. Er zijn dan ook veel verschillende vormgevingsmethoden voor thermoplasten. Je kunt thermoplastische kunststoffen na het vormgeven verder bewerken door ze te lijmen, lassen of verspanen.
- Thermoplastische vormgevingsmethoden zijn:
 - Spuitgieten
 - Extruderen
 - Extrusievormblazen
 - Vacuümvormen
 - Kalenderen
 - Schuimen
 - Warmvormen
 - Rapid Prototyping/Manufacturing
- Thermoharders worden minder vaak toegepast dan thermoplasten, omdat ze moeilijker te verwerken en recyclen zijn. Thermoharders worden namelijk niet opnieuw plastisch bij verwarming.
- Fenoformaldehydharz ontstaat door een chemische reactie van fenol en formaldehyde.
- Melamineformaldehyde is een organische base met hars. Door een chemische reactie met formaldehyde ontstaat thermohardende kunststof.
- Epoxyharsen zijn slijtvast en hebben een belangrijke toepassing in coatings, lagers en montagepanelen.
- Een polyester is een polymeer die ontstaat door een reactie van een zuur met een alcohol. Polyester bestaat als thermoharder en als thermoplast.
- Elastomeren zijn alle natuurlijke en synthetische rubbersoorten.
- Door vezels toe te voegen aan thermoplasten of thermoharders kun je de sterkte en stijfheid aanzienlijk verbeteren.
- Vezelversterkte kunststoffen hebben sterk uiteenlopende eigenschappen en toepassingsmogelijkheden. Dit komt door de grote verscheidenheid in hars/vezelcombinaties.
- Er zijn verschillende technieken ontworpen om vezelversterkte kunststoffen vorm te geven. Het aantal technieken om gevormde vvk's te bewerken is echter vrij beperkt.

7.6 Antwoorden

Antwoord 1

PE (Polyetheen), PP (Polypropeen), PMMA (Polymethylmethacrylaat)

Antwoord 2

Spuitsieten, extruderen, rapid prototyping/manufacturing.

Antwoord 3

Bijvoorbeeld boren, zagen, (CNC) draaien, (CNC) frezen.

Antwoord 4

Bijvoorbeeld O-ringen van MBR (Nitrilbutadiëenrubber).

Antwoord 5

Nee, bij verwarming kunnen ze verweken, maar er kan ook verbranding of ontleding optreden.

Antwoord 6

- grote sterkte en stijfheid
- laag eigen gewicht
- gecompliceerde vormen zijn mogelijk
- ongevoelig voor vermoeiing en corrosie
- lange levensduur

8 Vragen Kunststofsoorten

Vraag 1

Kun je thermoplasten lassen? Waarom wel/niet?

Vraag 2

Maak je koffiebekers van LDPE of van PP?
Waarom?

Vraag 3

Tot welke temperatuur is plexiglas bruikbaar?

Vraag 4

Waaruit bestaat pertinax?

Vraag 5

Waarvan worden rotorbladen van windmolens gemaakt?

Vraag 6

Wat is SBR en waar wordt het voor gebruikt?

Vraag 7

Welke kunststoffen worden voor tandwielen gebruikt?

Vraag 8

Welke materiaaleigenschappen zijn kenmerkend voor

- a. PMMA
- b. PC

Vraag 9

Van welk materiaal worden de zeilen van moderne zeiljachten gemaakt?

Vraag 10

- a. Welke kunststof wordt 'teflon' genoemd?
- b. Waarvoor wordt teflon gebruik?

Vraag 11

- a. Noem een aantal kunststoffen die slijt- en krasvast zijn.
- b. Geef van elke genoemde kunststof toepassingsvoorbeelden.

Vraag 12

Welke stoffen moeten er aan PVC voor dakgoten en regenpijpen worden toegevoegd?

Vraag 13

Welke stoffen worden toegevoegd aan goedkoop kinderspeelgoed, zoals trekkers en kruiwagens?

Vraag 14

Op welke manieren worden glasvezels in kunststoffen verwerkt?

Vraag 15

Waarom worden weefsels in verschillende richtingen in een constructie aangebracht, bijvoorbeeld door wikkelen?

Vraag 16

Welke bijzondere eigenschappen geven aramidevezels aan het materiaal? Geef enkele kenmerkende voorbeelden.

Vraag 17

Welke methode wordt toegepast voor de vervaardiging van:

- a. profiel voor raamkozijnen?
- b. melkflessen?
- c. vuilniszakken?
- d. kunstleer?
- e. bierkratten?

Vraag 18

Hoe komt de persdruk in een extruder tot stand?

Vraag 19

Hoe komen kunststofschuimen tot stand?

Vraag 20

- a. Welke methoden van warmvormen ken je?
- b. Noem bij elke methode een productvoorbeeld.

Vraag 21

Kunnen thermoharders worden gelast?
Geef een verklaring.

Vraag 22

Welke warmtebronnen worden bij het lassen van kunststof gebruikt?

Vraag 23

Waar moet je op letten bij het verspanen van kunststoffen?

Vraag 24

Geef van de kunststof PC

- a. de volledige benaming
- b. kenmerkende eigenschappen
- c. verwerkingsmethoden
- d. praktische toepassingsvoorbeelden
