

Hoofdstuk 3

De rol van chemische en fysische eigenschappen in technische materialen

Twee voorbeelden van materiaalkeuze op basis van fysieke eigenschappen, elektrische isolatie en warmte-isolatie

Foto's: Demarco / 123rf.com; Patryk Kosmider / Shutterstock



Leerdoelen

1. Vertrouwd raken met de chemische en fysische eigenschappen van materialen.
2. Kennis opdoen van de eigenschappen die van toepassing zijn op verschillende materiaalsystemen en op het ontwerp.

Materiaalkeuze is gebaseerd op gewenste eigenschappen. De materiaalgebruiker moet beslissen welke eigenschappen vereist zijn voor het materiaal voor een bepaalde toepassing en vervolgens de eigenschappen van de kandidaat-materialen tegen elkaar afwegen. Voordat we de voor- en nadelen van allerlei materiaalsystemen kunnen bespreken, moeten we eerst de terminologie van eigenschappen vaststellen. In dit hoofdstuk definiëren we daarom de eigenschappen uit verschillende technische domeinen, te weten de chemische en de fysische eigenschappen. We bespreken de belangrijkste van deze eigenschappen, en laten zien hoe ze van toepassing zijn op de belangrijke materiaalsystemen (polymeren, metalen en keramische materialen). We leggen ook uit hoe deze eigenschappen gebruikt worden bij de materiaalkeuze. In hoofdstuk 4 behandelen we andere belangrijke materiaaleigenschappen, de mechanische eigenschappen.

3.1 Het spectrum van eigenschappen

Materiaaleigenschappen zijn *kenmerken* die het ene materiaal van het andere onderscheiden. Om het juiste materiaal voor een bepaalde toepassing te kunnen kiezen is het nodig om te begrijpen wat die eigenschappen betekenen, hoe ze worden gemeten en hoe ze tijdens het selectieproces met elkaar moeten worden vergeleken.

Wie een auto of een koelkast gaat kopen, stelt enkele selectiecriteria vast voor bijvoorbeeld de grootte, het uiterlijk, het vermogen en de prijs. Voor elk van deze punten gelden bepaalde wensen, en elke auto of koelkast heeft zo zijn eigen kwaliteiten op dit gebied. Een verstandige koper bekijkt verschillende merken, beoordeelt die afzonderlijk op diverse eigenschappen, en maakt vervolgens een keuze. Het doel is een product dat het beste aan de wensen voldoet en tegelijkertijd betaalbaar is. Wie een materiaal moet selecteren, gaat feitelijk op dezelfde wijze te werk.

De belangrijkste categorieën van chemische en fysische eigenschappen die bij de materiaalkeuze

moeten worden overwogen, worden weergegeven in figuur 3-1.

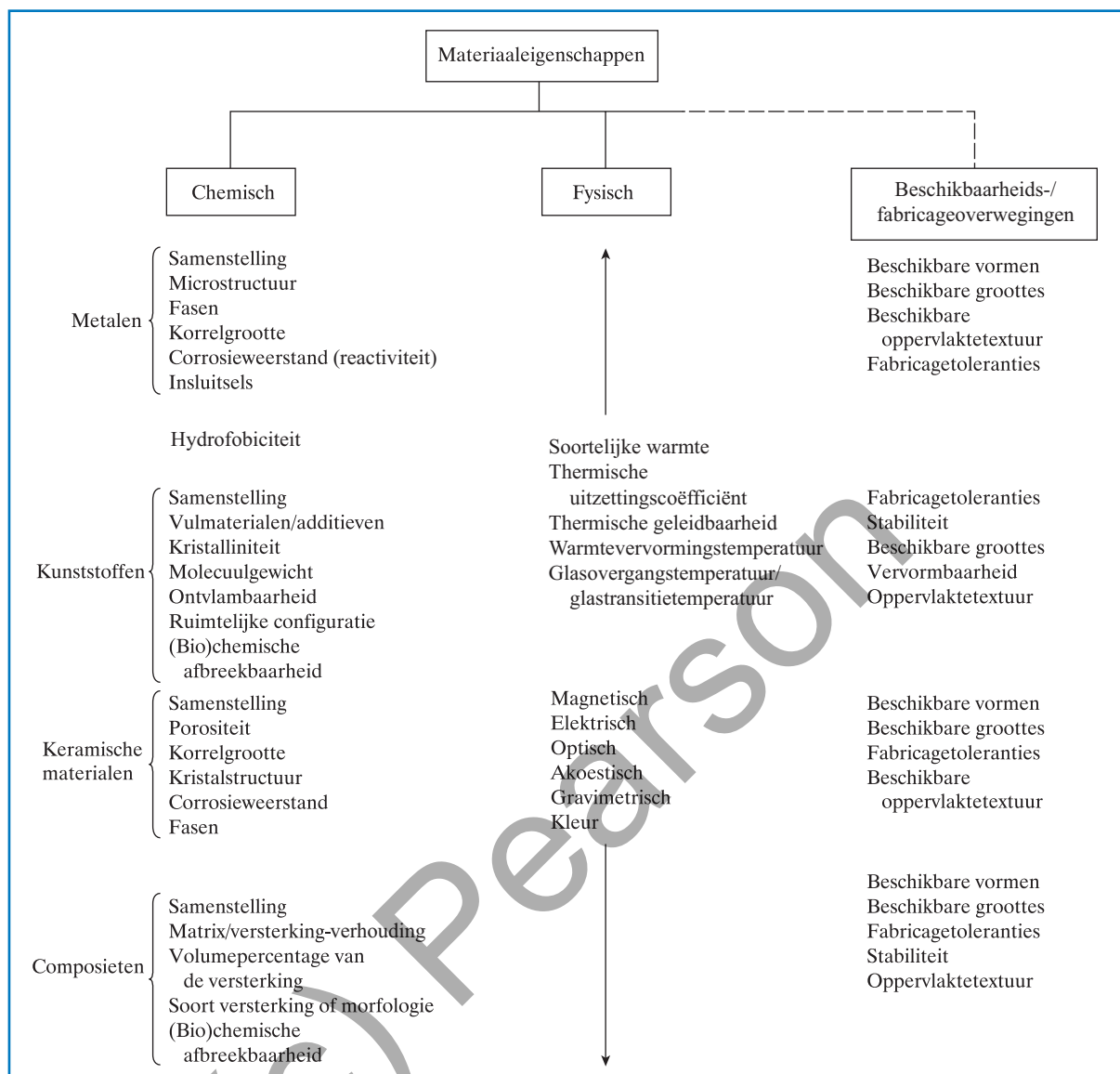
Chemische eigenschappen zijn materiaaleigenschappen die verband houden met de structuur van een materiaal, hoe het uit de samenstellende elementen wordt vervaardigd, en de reactiviteit met chemische stoffen, andere materialen en de omgeving. Deze eigenschappen worden gemeten in een chemisch laboratorium en kunnen niet worden vastgesteld door visuele waarneming.

Fysische eigenschappen zijn de eigenschappen van materialen die verband houden met de wisselwerking van deze materialen met diverse vormen van energie en met de menselijke zintuigen. Ze vallen onder de natuurkunde. Ze kunnen meestal worden gemeten zonder het materiaal te vernietigen of te veranderen. Kleur is bijvoorbeeld een fysische eigenschap die kan worden bepaald door gewoon naar een stof te kijken of met behulp van een instrument. Gevoel is een fysische eigenschap die van groot belang is bij het maken van consumptieartikelen. Hout voelt anders aan dan metaal, plastic voelt anders aan dan glas, en bont voelt anders aan dan katoenweefsel. De **dichtheid** kan worden vastgesteld door het object te wegen en het volume te meten.

Beschikbaarheid en *fabriceerbaarheid* worden niet vermeld in de meeste handboeken over materialen en worden volgens de meeste normen zelfs niet beschouwd als een echte categorie. De beschikbare grootte, vorm, afwerking en toleranties van de materialen zijn echter vaak de belangrijkste factoren bij de materiaalkeuze. Daarom noemen we hier een aparte categorie van eigenschappen die verband houden met de vorm van een materiaal en de oppervlakte-eigenschappen. Dit zijn strikt genomen geen materiaaleigenschappen maar producteigenschappen, die dus op een ander niveau een rol spelen. Oppervlakteruwheid is bijvoorbeeld een afmetingseigenschap die kan worden gemeten en die van belang is voor een groot aantal toepassingen.

Materiaaleigenschappen gelden voor alle categorieën van materialen, maar bepaalde specifieke eigenschappen gelden mogelijk alleen voor een bepaalde groep materialen. Zo is de ontvlambaarheid een belangrijke chemische eigenschap van kunststoffen, maar meestal niet relevant voor de keuze bij metalen en keramische materialen.

In figuur 3-1 hebben we voor de belangrijkste groepen technische materialen (metalen, kunststoffen, keramische materialen en composieten) een aantal chemische en fysische eigenschappen vermeld, samen met een aantal beschikbaar-



FIGUUR 3-1 Spectrum van materiaaleigenschappen en hoe deze gelden voor diverse materiaalsystemen. NB Fysische eigenschappen zijn in gelijke mate geldig voor alle systemen.

heidsoverwegingen die waarschijnlijk belangrijk en relevant zijn bij de keuze van deze materialen voor een specifieke toepassing. In principe kunnen alle genoemde eigenschappen voor elk materiaal worden bepaald, maar bij de materiaalkeuze zijn ze niet altijd even relevant; dit hangt af van de toepassing.

Soms zijn bepaalde eigenschappen voor een bepaalde toepassing niet bekend. De ontwerper moet dan testen (laten) uitvoeren om ze te bepalen. Diverse internationale normenorganisaties (zie tabel 3-1) hebben standaardtesten ontwikkeld voor het meten van de meeste materiaaleigenschappen. Ze worden beschreven in zogeheten normbladen, die voorschrijven op welke manier een test moet

worden uitgevoerd en hoe de eigenschappen die eruit voortkomen benoemd moeten worden. Er zijn veel standaardtestmethoden geschreven voor een specifiek materiaal. Er bestaan bijvoorbeeld testmethoden voor de chemische analyse van aluminiumlegeringen, koperlegeringen, staalsoorten enzovoort. Inmiddels zijn alle testen te vinden op de websites van de betreffende norminstituten of hun uitgeverijen en ook (elektronisch) te raadplegen in de bibliotheken van de technische universiteiten in Nederland.

Het gebruik van deze standaardtesten wordt aangeraden. Zo wordt voor de ontwerper, materiaalgebruiker en eindgebruiker gewaarborgd dat iedereen op dezelfde manier testen uitvoert en

interpreteert. Bovendien heeft de trend in de richting van wereldwijde industriële markten die in de jaren negentig van de vorige eeuw begon, vele industrieën ertoe aangezet om hun kwaliteitsprogramma's te laten certificeren door de International Standards Organization (ISO). Sommige bedrijven werken alleen nog met organisaties die aantoonbaar voldoen aan de ISO 9000 en andere kwaliteitscriteria. Een onderdeel van het certificatieproces is het op schrift vastleggen van alle testprocedures. Toepassing van de normen maakt dus accreditatie voor ISO 9000 en dergelijke veel gemakkelijker.

TABEL 3-1 Internationale normenorganisaties

Normenorganisatie	Afkorting
ASTM International*	ASTM
American National Standards Institute	ANSI
British Standards Institution	BSI
European Committee for Standardization	CEN
Deutsches Institut für Normung e.V. (Duits normeninstituut)	DIN
International Standards Organization	ISO

*Vroeger de American Society for Testing and Materials.

In de rest van dit hoofdstuk bespreken we enkele van de meest gebruikte chemische, fysische en maatvoeringseigenschappen. Het is de verantwoordelijkheid van de ontwerper en materiaalgebruiker om vast te stellen welke eigenschappen belangrijk zijn voor een toepassing en om na te gaan aan welke voorwaarden die eigenschappen moeten voldoen. We zullen bij het beschrijven van specifieke eigenschappen ook aangeven hoe ze gebruikt moeten worden in het selectieproces, zowel op productniveau als op materiaalniveau.

3.2 Chemische eigenschappen

Chemische samenstelling

De chemische samenstelling is nog altijd een essentieel onderdeel van elk technisch materiaal die de fabrikanten en technici moeten weten. De samenstelling bepaalt immers mede de eigenschappen van het in producten of constructies gebruikt materiaal.

De gebruikelijke manier om de **samenstelling** van metalen weer te geven is het vermelden van de naam van het metaal of de legering, de elementen

in het metaal (Cu, Zn, Sn, enzovoort) en de nominale samenstelling, bijvoorbeeld:

Rood messing (85 Cu, 5 Zn, 5 Sn, 5 Pb)

De *nominale samenstelling* geeft gewoonlijk het gemiddelde weer van het samenstellingsbereik. Tenzij anders vermeld hebben de percentages betrekking op het gewicht, zie figuur 3-2. Vaak wordt een toelaatbaar samenstellingsbereik aangegeven voor legeringen, bijvoorbeeld 80/85% Cu, 4/6% Zn, 4/6% Sn enzovoort voor het net genoemde roodkoper.

Keramische materialen en glas zijn vaak mengsels of legeringen van verbindingen, en deze verbindingen worden in een soortgelijke vorm vermeld als in de elementenlijst voor metalen. Elke soort kunststof heeft een afkorting die het polymeer aanduidt die de basis vormt van de kunststof, alsmede percentages van andere polymeren of vulstoffen:

PPS 40% GF (glasvezel)

PPS = polyfenyleensulfide

Samenstellingen van in de natuur voorkomende technische materialen worden meestal niet vermeld, maar er bestaan zeker samenstellingsverschillen in composietmaterialen zoals multiplex. Gebruikers moeten zich bewust zijn van de 'chemische' opbouw van materialen waaruit een constructie is samengesteld.

Technisch materiaal	Nominale chemische samenstelling
Geelkoper C26000*	70% Cu, 30% Zn
D2-gereedschapsstaal	86% Fe, 12% Cr, 2% C
Vensterglas	72% SiO ₂ , 1% AlO ₂ , 10% CaO, 14% Na ₂ O, 3% MgO
Versterkt zirkoniumoxide	4% MgO, Zr ₂ O rest
PPS plastic composiet	40% glasvezels, polyfenyleensulfidehars rest
Aluminiumoxide	98% Al ₂ O ₃ , verontreinigingen rest
Hout van gele spar	Cellulosevezels, lignine bindmiddel

*Europese aanduiding: CW505L

FIGUUR 3-2 Het vermelden van de samenstelling van diverse technische materialen (in gewichtsprocent)

Samenvattend kan worden gezegd dat de samenstelling een fundamentele eigenschap is van ieder technisch materiaal, en dat materiaalgebruikers de samenstelling als eerste in overweging moeten nemen bij elke materiaalevaluatie. Technische materialen moeten niet door de handelsnaam worden gespecificeerd, maar alleen door een aanduidingssysteem dat betrekking heeft op een specifieke samenstelling.

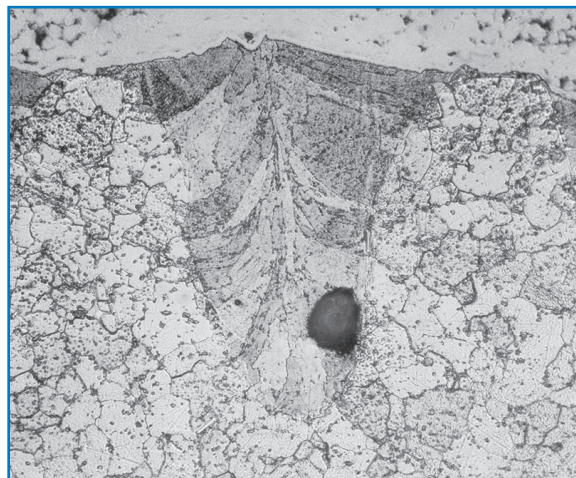
Microstructuur

De **microstructuur** van materialen is voor de materiaalkeuze uiterst belangrijk. Zo bepalen bij metalen eigenschappen zoals de korrelgrootte, de aanwezige fasen, de warmtebehandelingen, de insluitsels en dergelijke onder andere de corrosie en het mechanische gedrag. Het analyseren van de microstructuur van materialen wordt gedaan door een polijst- en etsmethode, die **metallografie** heet voor metalen en **keramografie** voor keramische materialen. Als de metaalkundige bijvoorbeeld de korrelgrootte van een bepaalde staalsoort wil meten, dan zaagt hij of zij een klein stukje af van het voorwerp, plaatst het in een gietvorm, polijst het oppervlak hoogglanzend en laat er vervolgens een chemisch etsmiddel op inwerken. Korrelgrenzen lossen met een andere snelheid in het etsmiddel op dan de korrels zelf, waardoor de korrels zich duidelijk aftekenen en met een optische microscoop zichtbaar zijn. In figuur 3-3 is een metallurgische microscoop te zien en in figuur 3-4 een typische microfoto van een metaalstructuur. Omdat polymeren resistent zijn tegen chemische etsmiddelen, wordt de microstructuur van polymeren vaak vastgesteld door middel van speciale kleurings- en belichtingstechnieken. Men laat dan bijvoorbeeld gepolariseerd licht door dunne plakjes of schijfjes schijnen die met een *microtoom*



FIGUUR 3-3 Metallurgische microscoop

Foto: Paul Marshall / Imageselect



FIGUUR 3-4 Optische fotomicrograaf van een laserpuntlas in 1006 staal (400x)

(microzaag) van het proefmonster af gehaald zijn. Deze techniek wordt *microtomie* genoemd.

Microstructuurgegevens zijn van onschatbare waarde voor de materiaalkundige bij het oplossen van problemen, en om te kunnen begrijpen hoe een materiaal op behandelingen reageert. Door structuuronderzoek kan een complete product(ie)-historie worden blootgelegd, waardoor processen en materialen verbeterd kunnen worden. Stel bijvoorbeeld dat een gebruiker leest over een supercoating die alle slijtageproblemen kan oplossen. Hij of zij kan het materiaal dan laten analyseren met metaalkundige technieken voordat wordt besloten om de coating op een duur onderdeel aan te brengen. Microstructuuronderzoek is ook een belangrijk hulpmiddel bij het analyseren waarom een bepaald onderdeel niet werkt. Figuur 3-4 toont de microstructuur van een laserpuntlas in doorsnede, gepolijst en 400 keer vergroot. De figuur toont de microstructuur van het staal (korrelgrootte) en de laspenetratie, en laat zien dat er porositeit bestaat bij de wortel van de las. Dit is een voorbeeld van de manier waarop optische microscopie kan helpen bij het oplossen van materiaalproblemen.

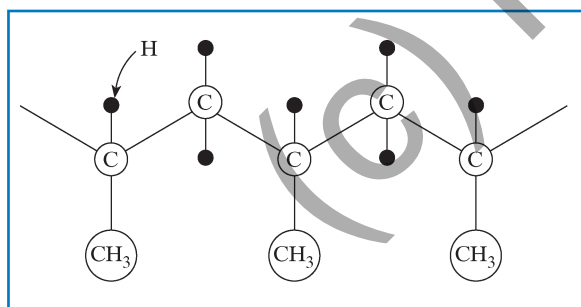
Kristalstructuur en stereospecifiteit

Technici kiezen materialen vaak mede op basis van de kristalstructuur. In metalen en keramische materialen is kristalstructuur een eigenschap die de gebruiker kan helpen om andere, meer met het ontwerp verband houdende, eigenschappen te begrijpen. Zo worden bijvoorbeeld koolstofstalen met een bcc-structuur bij temperaturen lager

dan 0 °C erg bros, maar metalen met een fcc-rooster meestal niet.

Het begrip kristalstructuur is in feite alleen van toepassing op kristallijne materialen, maar ook vele polymeren hebben een structuur met voldoende ordening om te kunnen spreken van kristallijn materiaal. De kristalliniteit en de **stereospecificiteit** zijn van invloed op de smelteigenschappen en een groot aantal mechanische eigenschappen van polymeren. De eigenschap stereospecificiteit heeft betrekking op de driedimensionale ruimtelijke rangschikking van de elementen in polymeermoleculen. In figuur 3-5 is een isotactische vorm van polypropyleen weergegeven. Met behulp van speciaal ontwikkelde technieken hebben onderzoekers kunnen aantonen dat in deze vorm van polypropyleen alle methylgroepen (CH₃) zich aan dezelfde kant van de polymeerketen bevinden. Als deze groepen op willekeurige wijze aan de keten verbonden waren, zou er geen sprake zijn van stereospecificiteit.

De kristalstructuur kan worden bepaald door geavanceerde technieken, zoals Röntgendiffractie. Door structuuranalyse kan de materiaalgebruiker bijvoorbeeld vaststellen of het materiaal een fcc- of bcc-rooster heeft, en het wordt ook gebruikt om structuurveranderingen tijdens de verwerking te onderzoeken. Ook veel eigenschappen van keramische materialen worden beïnvloed door het type kristalstructuur of het ontbreken van een kristalstructuur.



FIGUUR 3-5 Isotactische vorm van polypropyleen

Chemische reactiviteit

Wanneer technische materialen worden gemaakt, veranderen de bindingseigenschappen van de elementen. Dit heeft gevolgen voor de chemische reactiviteit van de materialen. Chemische reactiviteit en de chemische weerstand van materialen zijn bijna altijd keuzefactoren. Voor elk technisch materiaal moeten materiaalgebruikers de juiste materialen kiezen voor de chemische reacties en omgevingen waarin zij worden gebruikt.

Voor metalen is corrosie een van de schadelijkste chemische reacties. Hoofdstuk 6 is geheel aan dit onderwerp gewijd. Er bestaan vele vormen van corrosie en talrijke manieren om deze te meten. In wezen is corrosie de afbraak van een materiaal doordat het reageert met de omgeving. Het materiaal hoeft daarvoor niet te worden ondergedompeld in chemische stof. Met het roesten van staal is bijna iedereen wel bekend. Aluminium kan niet zonder deklaag worden gebruikt in zoute omgevingen. Het wordt ook aangetast door zeepsoorten (basen). Deze reactiviteit beperkt de inzetbaarheid van aluminium. Lithium is het lichtste bruikbare metaal dat ons bekend is en het zou nuttig zijn om er dingen van te maken, ware het niet dat het reageert met vocht in de lucht.

De meeste kunststoffen reageren met organische oplosmiddelen. Dat is de reden dat het vaak moeilijk is om kunststoffen te reinigen. Bij kunststoffen is sprake van verminderde chemische weerstand en niet van corrosie. De chemische weerstand van rubbersoorten en elastomeren kan vaak een beperkende factor zijn in een machine of een proces. Rubbersoorten zijn vooral vatbaar voor degeneratie in oliesoorten. Wanneer rubberen afdichtingen en pakkingen degenereren in automotoren of -transmissies, kunnen de repercussies zeer kostbaar zijn. Vaak barsten ze, zwellen op of absorberen chemische stoffen en dichten dan niet langer af, hoewel ze er intact uitzien.

Sommige elementen zijn juist nuttig als technische materialen omdat ze niet graag deelnemen aan chemische reacties: de inerte gassen He, Ne, Ar enzovoort. Deze worden bijvoorbeeld gebruikt als beschermingsgassen bij het lassen.

3.3 Fysische eigenschappen

Gebruik van fysische eigenschappen

Er bestaan zoveel fysische eigenschappen dat het niet mogelijk is om ze allemaal zelfs maar in het kort te beschrijven en aan te geven hoe ze worden gemeten. De lijst in figuur 3-1 is een poging om ze in groepen in te delen, maar deze lijst (van thermische, elektrische, magnetische, dichtheids-, optische en akoestische eigenschappen) is nog niet compleet. Met de opkomst van radioactieve materialen in de techniek is er een geheel nieuwe groep fysische eigenschappen ontstaan. Natuurkundigen meten in die groep bijvoorbeeld de neutronenabsorptie-eigenschappen van een materiaal en de gevoeligheid voor stralingschade.

Thermische eigenschappen

De materiaalgebruiker dient zich bezig te houden met de thermische eigenschappen van materialen wanneer een onderdeel gebruikt moet worden bij een andere temperatuur dan die waarin het gemaakt is, of wanneer het moet dienen voor warmteoverdracht. Hieronder bespreken we de vier belangrijkste soorten thermische eigenschappen.

Soortelijke warmte

Soortelijke warmte is de hoeveelheid energie die nodig is om een gegeven massa van een bepaald materiaal een gegeven temperatuurverandering te geven (J/kg-K in het metrisch systeem; BTU/lb-°F in het Engelse systeem). Deze fysische eigenschap is zeer belangrijk bij de warmtebehandeling van metalen omdat zij grotendeels de kosten bepaalt. Elke eenheid energie, zoals de kilowatt, heeft een bepaalde prijs, en berekeningen van soortelijke warmte zoals die in figuur 3-6 worden gebruikt om de energiekosten van de warmtebehandeling te schatten. Deze parameter is ook van toepassing op afkoelingskosten, met name bij het bepalen van de grootte van koelsystemen.

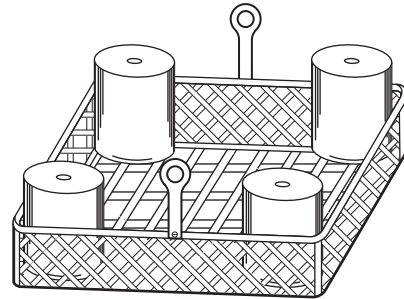
Thermische uitzetting

Thermische uitzetting is de verandering in de dimensies van een materiaal bij een verandering in temperatuur. De eenheden voor thermische uitzetting zijn mm/mm-°C (millimeter/millimeter-graden Celsius of mm/mm-K). Let op: doordat mm/mm = 1, vindt men in handboeken vaak alleen 1/°C of 1/K als eenheid. Thermische uitzetting is een fysische eigenschap die van toepassing is op alle materialen, en in de techniek is het van belang bij ieder ontwerp. Het is onder andere belangrijk wanneer ongelijksoortige materialen aan elkaar gehecht en verwarmd worden, en wanneer materialen plaatselijk worden verwarmd.

Figuur 3-7 laat zien hoe deze eigenschap wordt gebruikt om de grootte te bepalen van de thermische uitzetting en inkrimping waarmee rekening moet worden gehouden in een stalen brug. Er zal onvermijdelijk iets verzakken, verbuigen of defect raken als de brug niet ontworpen is om op zijn steunpunten te bewegen bij temperatuurfluctuaties.

Toen de beroemde 192 meter hoge boog (Gateway Arch) over de Mississippi Rivier in St. Louis, Missouri in de Verenigde Staten werd gebouwd, begonnen de staalconstructeurs bij beide basispunten. Op de dag dat het afsluitende stuk dat de boog zou voltooien op zijn plaats zou worden gezet, verwarmde de zon het oostelijke gedeelte meer dan

Opdracht: Bereken de hoeveelheid warmte die vereist is om de temperatuur van een ovenlading stalen onderdelen te verhogen van kamertemperatuur (20°C) tot 980°C.



De soortelijke warmte van deze staalsoort is 502 J/kg-K.
De onderdelen wegen 110 kg.

$$Q = 502 \text{ J/kg-K} \times 110 \text{ kg} \times (980 - 20)^\circ\text{C}$$

$$Q = 53.021.760 \text{ J, oftewel } 53.022 \text{ kJ.}$$

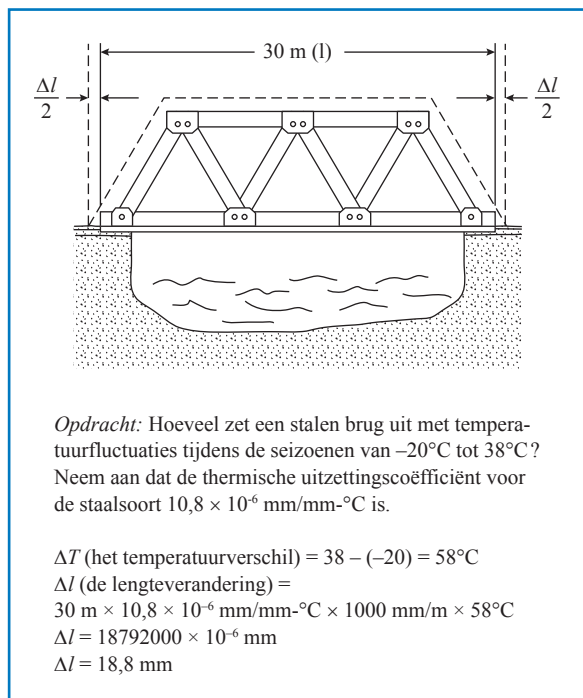
FIGUUR 3-6 Gebruik van soortelijke warmte om te bepalen hoeveel warmte-energie nodig is om een lading staal te verwarmen tot diens uithardingstemperatuur

het westelijke gedeelte en werd het te hoog om aan te sluiten op de andere zijde. De brandweer zorgde voor ladderwagens om water te spuiten op het te hoge segment totdat het voldoende gekrompen was om het andere segment erop aan te sluiten.

Een constante bron van verwarring betreffende deze eigenschap houdt verband met de volgende vraag: als een ringvormig product wordt verhit, wordt het gat in het midden dan groter of kleiner? Er worden hele discussies gevoerd over wat er gebeurt, maar het is een feit dat in een voorwerp de thermische uitzetting in alle delen van het materiaal plaatsvindt. Het gat in de ring wordt dus groter, net als de buitendiameter en de dikte van de ring. Elke afmeting van het stuk materiaal moet met deze factor worden vermenigvuldigd.

Thermische geleidbaarheid

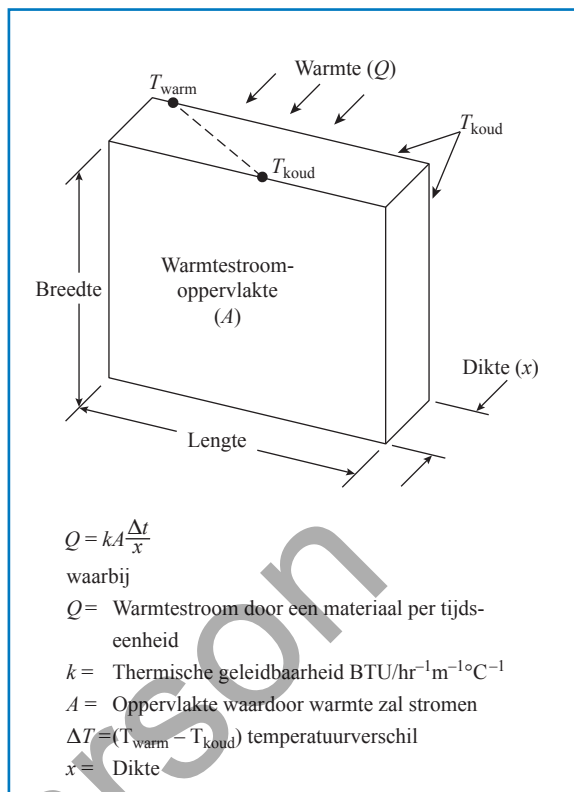
Thermische geleidbaarheid is de hoeveelheid warmte die wordt overgebracht door een materiaal met een gegeven dikte (t) en temperatuurverschil (ΔT) per eenheidsoppervlakte (A). Deze eigenschap heeft de eenheid W/m-K (watt/meter-Kelvin) in het metrische systeem en BTU/hr/ft/°F in het Engelse systeem. Figuur 3-8 geeft de basisvergelijking en figuur 3-9 laat een voorbeeld zien van het gebruik van deze eigenschap bij het vergelijken van de isolatiecapaciteit van verschillende venstermaterialen. De fysische eigenschap thermische geleidbaarheid is de k in de warmtestroomvergelijking.



FIGUUR 3-7 Gebruik van de thermische uitzettingscoëfficiënt om de verwachte uitzetting/inkrimping van een constructie te berekenen

Er is een analoge parameter voor vloeistoffen, zodat warmteoverdracht ook kan worden berekend bij convectie (door een vloeistof) in plaats van geleiding.

Thermische geleidbaarheid is belangrijk in vele machinetoepassingen, waaronder warmteafdichtingskoppen, warmtewisselaars, warmteputten, verwarmingsplaten, gietvormen en kunststofgietholten. Maar ook voor de oplossingen van problemen van de klimaatverandering is het een fysische eigenschap van groeiend belang. De meeste isolatiematerialen gebruiken een gas als hun basis. Lucht heeft een thermische geleidbaarheid bij 20°C van ongeveer $0,15 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, vergeleken met 4 voor baksteen, 35 voor staal, en meer dan 200 voor koper. De meeste isolatiesystemen gebruiken daarom nog steeds lucht als isolatiemedium. Hoewel bewegende lucht warmte overbrengt via zowel convectie als geleiding, is in piepschuim of glasvezels de lucht echter gevangen. Deze materialen zijn dus thermische isolatoren, omdat de lucht daarin stilstaat. De glasvezel- en kunststofschuimisolaties waarmee de meeste huiseigenaren vertrouwd zijn, worden gewaardeerd met R-waarden, de omgekeerde van de k -waarde in de geleidingsvergelijking. R geeft de weerstand tegen warmtestroom weer. Tabellen van technische materialen geven echter de traditionele thermi-



FIGUUR 3-8 Basisvergelijking voor stabiele warmtegeleiding

sche geleidbaarheidsfactor k , zoals ook gebruikt in ons voorbeeld in figuur 3-9.

De thermische geleidbaarheid van een vaste stof kan worden gemeten door het plaatsen van een warmtebron, zoals een elektrisch verwarmd blok aluminium of koper, op de bovenkant van het te meten materiaal en een watergekoeld blok met een vergelijkbare grootte op de onderkant. Deze 'sandwich' wordt in een adiabatische kamer gezet – een vat dat zo goed geïsoleerd is dat er geen warmte in of uit gaat behalve door de elektriciteitsdraad die het vat ingaat en door het verwarmde water (of een andere vloeistof) dat eruit komt. De temperatuurverhoging in het water is de testmeeteenheid. Dit levert Q in de basisgeleidingsvergelijking op, zie figuur 3-8. De temperaturen van de blokken aan beide kanten van het testmateriaal worden gemeten door thermokoppels. Dit geeft ΔT in de vergelijking, en de geleidingsoppervlakte is de oppervlakte van de blokken en het testmonster. Wanneer al deze parameters bekend zijn, is k de enige onbekende.

Gebruikstemperatuur

Wanneer een polymeer wordt gebruikt bij hoge temperaturen, moet men altijd zorgvuldig onderzoeken hoe het op de te verwachten omgevings-

Opdracht: Vergelijk de warmtestroom door een glazen venster met de warmtestroom door een venster van acrylkunststof.

Neem aan dat de dikte van het glas en de kunststof gelijk is, 8 mm = 0,008 m.

$$Q = kA \frac{\Delta T}{x}$$

Glas:

$$\begin{aligned} k_{\text{glas}} &= 1 \text{ W/m-K} \\ x &= 8 \text{ mm} = 0,008 \text{ m} \\ \Delta T &= 10^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$A = 0,1 \text{ m}^2$ (neem aan dat glas en kunststof dezelfde oppervlakte hebben)

$$Q_{\text{glas}} = 1 \text{ W/m-K} \times 0,1 \text{ m}^2 \times 10^\circ\text{C} / 0,008 \text{ m}$$

$$Q_{\text{glas}} = \boxed{125 \text{ W}}$$

Kunststof:

$$k_{\text{plastic}} = 0,3 \text{ W/m-K}$$

Neem dezelfde ΔT , A , x aan

$$Q_{\text{plastic}} = 0,3 \text{ W/m-K} \times 0,1 \text{ m}^2 \times 10^\circ\text{C} / 0,008 \text{ m}$$

$$Q_{\text{plastic}} = \boxed{37,5 \text{ W}}$$

FIGUUR 3-9 Gebruik van thermische geleidbaarheid voor het vergelijken van warmteverliezen bij vensters

omstandigheden zal reageren. Veel polymeren raken bij temperaturen boven 100°C alle technisch bruikbare eigenschappen kwijt. Twee belangrijke selectiefactoren voor polymeren zijn de maximale **gebruikstemperatuur** en de **verwerkingstemperatuur** (heat distortion temperature of HDT-waarde). De verwerkingstemperatuur is meer kwantitatief en geeft aan hoe het materiaal reageert onder een bepaalde mechanische spanning.

Stel bijvoorbeeld dat je een verlichtingsarmatuur ontwerpt en je enkele onderdelen van kunststof wilt maken. Metingen tonen echter aan dat bij continu gebruik de plastic onderdelen te maken krijgen met temperaturen van 93°C . Hoe selecteer je een geschikte kunststof voor deze toepassing? Je kunt maximale gebruikstemperatuurtabellen raadplegen, maar deze gegevens gelden zonder mechanische belasting. Verwerkingstemperatuur is daarom een betere eigenschap om als basis te nemen voor een vergelijking (zie figuur 3-10). Deze gegevens kunnen worden gebruikt om kunst-

stoffen te rangschikken op basis van de weerstand tegen verbuiging onder een bepaalde belasting bij hoge temperatuur. PS en PMMA zijn in dit geval mogelijk geen geschikte kandidaten. PEEK is de kandidaat met de hoogste veiligheidsfactor voor de verlichtingstoepassing, maar wel veel duurder dan andere kunststoffen.

Bij 264 psi (1820 kPa)

PEEK	=	166°C
PF	=	149°C
PC	=	132°C
POM	=	124°C
PA	=	107°C
PMMA	=	71°C
ABS	=	93°C
PS	=	88°C

FIGUUR 3-10 Verwerkingstemperatuur van enkele veelvoorkomende kunststoffen

Bij polymeren is het *waterabsorptievermogen* ook een zeer belangrijke selectiefactor als de afmetingen van een bepaald onderdeel maar heel weinig mogen afwijken. Veel polymeren nemen aanzienlijk in volume toe als de relatieve vochtigheid van de omgeving toeneemt. Als de afmetingen van het onderdeel essentieel zijn, dient het waterabsorptievermogen dus zo laag mogelijk te zijn.

Elektrische eigenschappen

De elektrische eigenschappen van materialen zijn zeer belangrijk wanneer een ontwerp vraagt om een onderdeel dat elektrisch geleidend of isolerend is. De *soortelijke weerstand* bepaalt hoeveel elektrische stroom door een gegeven dwarsdoorsnede en over een gegeven lengte passeert. Een materiaal dat geleidend is, heeft een lage soortelijke weerstand tegen de beweging van elektronen, een isolator heeft juist een zeer hoge soortelijke weerstand. Voor metalen gebruikt men als eenheid van soortelijke weerstand de $\mu\Omega\text{-cm}$ (micro-ohm-centimeter) of $\Omega\text{-m}$ (ohm-meter) in het SI-stelsel. De soortelijke weerstand, ρ , wordt afgeleid uit de formule

$$\rho = \frac{AR}{L}$$

waarbij

A = doorsnede van de draad

R = weerstand in ohm

L = lengte van de draad waarover de meting wordt uitgevoerd

Let wel, de weerstand, R , is geen materiaaleigenschap. Deze is immers afhankelijk van de maat van het materiaal. Alle vormen van koper hebben bijvoorbeeld dezelfde soortelijke weerstand, maar een lange, dunne koperen draad heeft een hogere weerstand dan een korte, dikke koperen draad. Daarom geeft men de soortelijke weerstand als materiaaleigenschap aan.

De soortelijke weerstand van metalen ligt tussen 1 en $200 \Omega\text{-cm}$, terwijl de weerstand van keramische materialen en andere goede isolatoren meestal groter is dan $10^{15} \Omega\text{-cm}$. Keramische materialen en polymeren worden om die reden vaak gebruikt als elektrische isolatoren. Er bestaan nog andere manieren om de elektrische weerstand van een materiaal te meten en weer te geven, maar voor metalen is de soortelijke weerstand voldoende. De geleidbaarheid, σ , is eenvoudig het omgekeerde van de soortelijke weerstand. Sommige meettechnieken voor het bepalen van deze eigenschappen worden besproken in hoofdstuk 11.

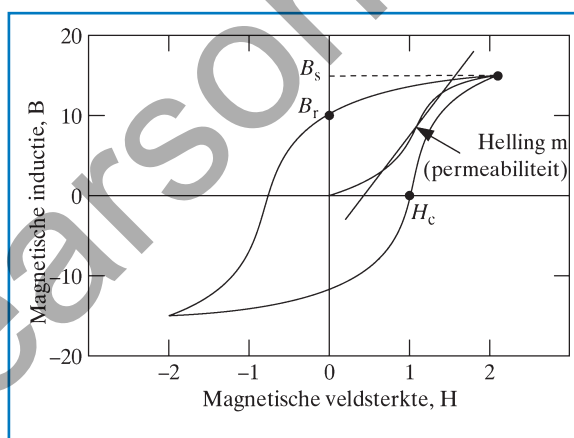
Magnetische eigenschappen

Het gebruik van magnetische eigenschappen bij de materiaalkeuze kan ingewikkelder zijn dan het gebruik van elektrische eigenschappen. Niet minder dan twintig van deze eigenschappen worden vermeld in de handboeken (ASTM A 340): permeabiliteit, verzadiging, hystereseverlies, coërviteit, intrinsieke inductie enzovoort. De ruimte in dit boek laat niet toe dat we het gebruik van magnetische eigenschappen uitvoerig bespreken. Het vraagstuk waarmee ontwerpers het meest te maken zullen hebben, is eenvoudig of een materiaal wordt aangetrokken door een magnetisch veld of niet.

Van de stabiele elementen zijn er slechts vijf die deze eigenschap, **ferromagnetisme**, bezitten: ijzer, nikkel, kobalt, gadolinium en dysprosium. De belangrijke ferromagnetische materialen bestaan uit legeringen van de eerste drie elementen. Ferromagnetisme is het resultaat van een aantal omstandigheden die verband houden met de magnetische momenten van elektronen en de configuratie van atomen in een materiaal. Alle staalsoorten, behalve de austenitische structuren (fcc), zijn ferromagnetisch bij temperaturen lager dan de Curietemperatuur. Alle overige metalen, met uitzondering van enkele nikkel- en kobaltlegeringen, zijn niet ferromagnetisch. Bij gebruik van de laatstgenoemde is het raadzaam om de gegevensbladen voor deze materialen te raadplegen als de eigenschap van ferromagnetisme een selectiefactor is. Sommige nikkel- en kobaltlegeringen

zijn zelfs niet ferromagnetisch bij kamertemperatuur, terwijl de niet-magnetische austenitische roestvaste staalsoorten soms magnetisch kunnen worden door vervorming. Vele oxiden en andere keramische verbindingen kunnen ook ferromagnetisch zijn.

Alle metalen en vele niet-metalen reageren op de een of andere manier op magnetische velden. Dit gedrag ziet men door de magnetische inductie (B) in het materiaal te meten als het wordt geplaatst in een magnetisch veld waarvan men de magnetische veldsterkte (H) laat veranderen. De helling van de B - H -kromme, zie figuur 3-11, is een maat voor de magnetische eigenschappen van een materiaal. Als men in een cyclisch magnetisch veld test, is de vorm van de kromme een maat voor hoe het materiaal zich onder zulke omstandigheden gedraagt.

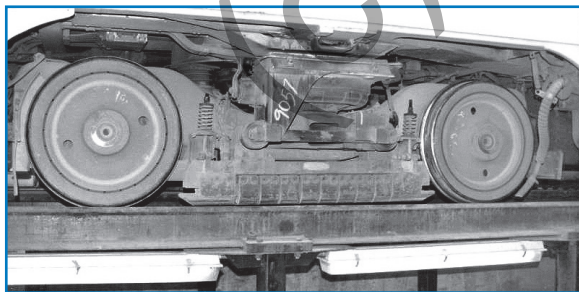


FIGUUR 3-11 Typische magnetisatiekromme

Als een materiaal gemakkelijk gemagnetiseerd en gedemagnetiseerd kan worden, dat wil zeggen als het *zacht* is, heeft de B - H -kromme een **hysteresislus** met een kleinere oppervlakte. *Zachte magnetische materialen* worden gemagnetiseerd wanneer ze in een magnetisch veld geplaatst worden, maar verliezen weer snel hun magnetisatie als het veld wordt verwijderd. De helling van de aanvankelijke magnetisatiekromme is de permeabiliteit. Hoe groter de helling, des te gemakkelijker het materiaal gemagnetiseerd kan worden. De oppervlakte binnen de gesloten lus is een maat voor de energie die verloren gaat tijdens een complete magnetisatiecyclus, het **hystereseverlies**. Als het materiaal niet mag opwarmen tijdens het gebruik, moet deze oppervlakte zo klein mogelijk zijn. Voor een gemakkelijk magnetiseerbaar – **zacht magnetisch** – materiaal moet de *verzadigingsmagnetisatie* B_s hoog zijn en de *restmagnetisatie* (permanente magnetisatie) B_r laag. Restmagnetisatie is

niet wenselijk voor zachte magnetische materialen. Aan deze kromme wordt ook de *coërcitieve kracht* H_c ontleend. Dit is de magnetische kracht die nodig is om de geïnduceerde magnetisatie nul te maken. In zachte magnetische apparaten moet deze waarde laag zijn.

Een materiaal dat de neiging heeft om bij afname van de veldsterkte gemagnetiseerd te blijven is *hard* en vertoont een brede hysteresislus. De wenselijke eigenschappen van **hard magnetische** materialen zijn tegengesteld aan die van de zachte magnetische materialen. Een hoge coërcitieve kracht en restmagnetisatie zijn wenselijk. De kwaliteit van een permanente magneet kan worden gemeten via het *energieproduct*. Deze waarde is het product van de inductie B en de magnetische veldsterkte H in het tweede kwadrant van de hysteresislus. Voor een goede permanente magneet moeten deze waarden zo hoog mogelijk zijn. Deze waarde wordt vaak vergeleken met de dichtheid. Een materiaal met een hoger energieproduct per gegeven volume zal minder ruimte innemen. De eenheden van het energieproduct in het SI-stelsel zijn tesla-ampère/meter (TA/m). Een magnetisch hard materiaal zou een goede permanente magneet zijn, geschikt bijvoorbeeld voor de nood- en parkeerremmen van treinen, zie figuur 3-12. Zij zouden echter niet geschikt zijn voor een elektrisch apparaat zoals de kern van een elektromagneet, die gemakkelijk gemagnetiseerd en gedemagnetiseerd moet kunnen worden. Harde magnetische materialen, waaruit goede permanente magneten bestaan, zijn onder andere geharde laaggelegeerde staalsoorten en speciale ijzerlegeringen die aluminium, nikkel en kobalt bevatten (zogenaamde alnico's).



FIGUUR 3-12 De nood- en parkeerrem tussen de wielen van veel treinstellen en trams zijn magnetisch en gemaakt van gietijzer

Foto: Sean Lamb

Elektronische eigenschappen

Heden ten dage is een van de belangrijkste eigenschappen van bepaalde materialen het vermogen om functies te vervullen op atomair en subatomair

niveau. Hoewel deze eigenschappen met de beweging van elektronen te maken hebben, noemt men ze op dit niveau elektronische eigenschappen in plaats van elektrische eigenschappen. De transistor is een van de eerste onderdelen die gebruikmaakte van dit soort eigenschappen. Een transistor is een schakelaar die wordt geproduceerd door een metalloïde om als een metaal of een niet-metaal te functioneren. Transistors zijn nu heel klein en worden gecombineerd in geïntegreerde schakelingen voor gebruik voor geïntegreerde circuits in computerchips.

Computerchips worden gemaakt van zogeheten halfgeleiders op basis van de metalloïden silicium en germanium. Deze twee elementen hebben covalente bindingen en zijn op zich dus niet geleidend. Echter, er zit bij deze elementen weinig ruimte tussen de energiebanden van de elektronen. Wanneer verontreinigingsatomen zoals boor (B) en fosfor (P) aan silicium worden toegevoegd, kan van het resulterende materiaal een halfgeleiderschakelaar worden gemaakt. Computers zijn gebaseerd op de 'enen' en 'nullen' die worden gecreëerd door schakelaars van het transistortype. De huidige computerchips kunnen honderden miljoenen activeringen per seconde produceren op een enkele chip. Computerchips worden gemaakt van silicium éénkristallen die kunnen uitgroeien tot 350 mm in diameter en in dunne plakken kunnen worden gesneden. Deze substraten worden dan gemaakt door er diverse geleidende en niet-geleidende films op af te zetten.

Andere elektronische apparaten maken gebruik van materialen die taken uitvoeren door het veranderen van de toestand van atomen. Een voorbeeld: lichtemitterende diodes (LED's) nemen de plaats in van conventionele gloeilampen in keuken- of winkelverlichting nu de verkoop van gloeilampen in Europa verboden is. Cholesterische vloeibare kristallen, het actieve materiaal in liquid crystal displays (LCD's), zijn vloeistoffen die geleiden en reageren op elektronische prikkels. Lasers worden gemaakt door elektronen te dwingen in metastabiele energieniveaus. Wanneer de elektronen terugvallen naar hun basistoestand, zenden ze energie uit in de vorm van fotonen. Deze energie-uitbarsting (licht) wordt versterkt en levert zo een laserstraal op.

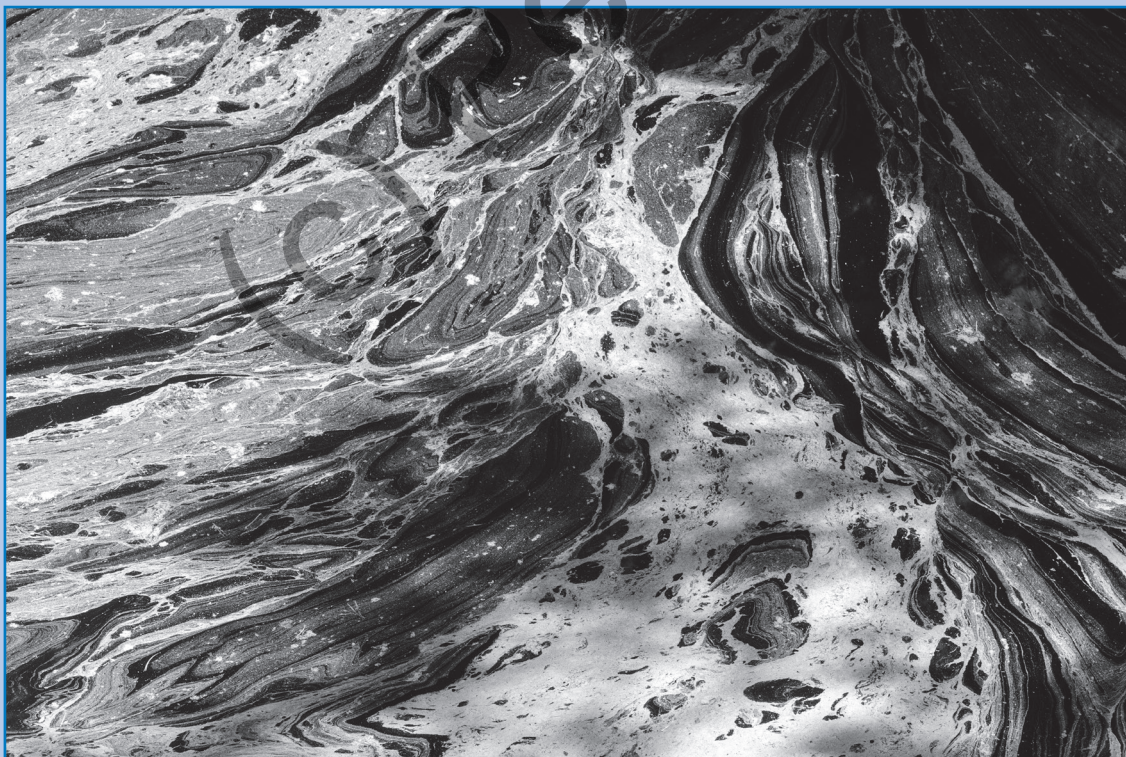
In dit boek gaan we niet in op de details van al deze apparaten, maar we willen wel dat de lezer begrijpt dat fysische eigenschappen op atomair niveau deel uitmaken van de materiaaltechniek. Meer materialen en methoden produceren steeds kleinere, steeds verbazingwekkender elektronische

De smartphone, zeldzame aarden en het milieu

We bevinden ons nog aan het begin van dit boek, maar we kunnen niet vroeg genoeg beginnen met nadenken over de invloed van het gebruik van materialen op het milieu en de consequenties daarvan voor de materiaalkeuze. In dit hoofdstuk bespreken we de fysieke eigenschappen van materialen, eigenschappen zoals kleur, geleidbaarheid, magnetisme enzovoort. Een van de recente ontwikkelingen van de moderne technologie is de smartphone. Om de smartphone goed te laten functioneren maakt men veel gebruik van zeldzame aarden, onder andere dysprosium, gadolinium, lanthanium, praseodymium en terbium. Zulke elementen vindt men in het kleurenscherm, het telefooncircuit, de luidsprekers en het trilmechanisme van smartphones. Zeldzame aarden maken deel uit van 's werelds krachtigste magneten en worden onder andere ook gebruikt in spaarlampen.

Zeldzame aarden zorgen echter voor veel milieuvervuiling. Het winnen van zeldzame

aarden is extreem moeilijk en heeft veel zuur en andere chemicaliën nodig. Er wordt ook veel radioactiviteit bij geproduceerd, omdat deze elementen vaak in de buurt van uraan worden gevonden. Door het gebrek aan milieuwetgeving in China is het niet verrassend dat dit land bijna alle zeldzame aarden in de wereld produceert. Recycling van zeldzame aarden uit smartphones is niet rendabel, omdat het om zulke kleine hoeveelheden gaat. Maar die kleine hoeveelheden zorgen er wel voor dat smartphones doen wat we willen.



Foto's: Olkesiy Mark / 123RF; Naturbild / Imageselect

apparaten, dit onder andere op basis van recente vooruitgang in de zogenaamde nanotechnologie. Elektronische eigenschappen van materialen vormen een groeiend vakgebied en zullen dat in de toekomst nog wel even blijven.

Gravimetrische eigenschappen

Een andere categorie van fysische eigenschappen die in figuur 3-1 wordt genoemd, gravimetrische eigenschappen, heeft te maken met het gewicht of de massa van materialen. De belangrijkste eigenschappen op dit gebied in verband met de materiaalkeuze zijn de *dichtheid* en de relatieve dichtheid. Het is een goede gewoonte om bij het vergelijken van de prijzen van diverse materialen ook rekening te houden met de dichtheden. Veel technische kunststoffen kosten ongeveer € 3 per kilogram. Het zou kunnen lijken alsof deze kunststoffen te duur zijn om te gebruiken als vervanging voor een stalen onderdeel dat € 1,50 per kilogram kost. Kunststof heeft echter een dichtheid van 1,2 g/cm³ en staal van 7,85 g/cm³. Als men aanneemt dat kunststof aan alle eigenschapseisen voldoet waaraan het staal voldoet, kan men het onderdeel zes keer lichter maken. Het kunststof onderdeel gaat dus van twee keer zo duur naar drie keer goedkoper. Dichtheid kan op die manier de materiaalkeuze in hoge mate bepalen (zie figuur 3-13). Informatie over dichtheid of relatieve dichtheid van een materiaal kan ook bruikbaar zijn voor het vaststellen van porositeit. Keramische materialen en poedermetalen die door verdichten en sinteren worden gemaakt, zijn in uiteenlopende mate poreus. Soms vermelden de eigenschapstabellen het percentage van de theoretische dichtheid of de schijnbare dichtheid. Dit soort gegevens

geeft informatie over porositeit. In constructieonderdelen is porositeit vaak ongewenst vanwege verminderde sterkte. In lagerdelen van poedermetaal is porositeit daarentegen vaak wel gewenst voor het vasthouden van smeermiddelen.

Kleur

Kleur is een belangrijke eigenschap die te vaak vanzelfsprekend gevonden wordt en niet de juiste plaats krijgt in de hiërarchie van materiaalkeuze-eigenschappen. Kleur is regelmatig selectiefactor nummer één voor decoratieve producten. De messing deurknoppen in figuur 3-14 kosten meer dan de deur en worden door gebruik bijvoorbeeld te snel mat. Om de glanzende messingkleur te houden werd een deklaag van harde titaniumnitrider met dezelfde kleur aangebracht.

Kleur is op zich echter geen technische, fysische eigenschap. Kleuren zijn namen die mensen geven aan dat deel van het zichtbare lightspectrum van elektromagnetische straling dat een materiaal weerkaatst. Iedere cultuur benoemt kleuren op haar eigen wijze. Sommige vormen van *yellow* in het Engels ('geel') noemt men in het Nederlands 'oranje', terwijl sommige vormen van *orange* in het Engels 'rood' genoemd worden in het Nederlands. Hoewel men kleur niet als zodanig kan meten, kan men wel de spectra meten zonder een materiaal kapot te maken. Op basis van diverse theoretische modellen kan men een spectrum een technische aanduiding geven en die met de naam van een bepaalde kleur in verband brengen. Zo hebben de meeste verfswinkels een systeem dat een kleurformulering geeft op basis van een kleurmonster van de klant en in beeldbewerkingssoftware vindt men bepaalde kleurcodes.

Opdracht: Vergelijk de kosten van het maken van een gegoten onderdeel uit kandidaat-gietlegeringen. Het onderdeel heeft een volume van 50 cm³. De gietmetaalkandidaten zijn de volgende:

Zink	à 1,35 €/kg
Gietijzer	à 0,85 €/kg
Aluminium	à 1,52 €/kg
Epoxy	à 2,03 €/kg
Magnesium	à 1,52 €/kg

	Dichtheid	Onderdeelkosten
Zn	7140 kg/m ³ × 50 cm ³ × 1,35 €/kg × (1/10 ⁶ m ³ /cm ³) =	€ 0,48
G	7150 kg/m ³ × 50 cm ³ × 0,85 €/kg × (1/10 ⁶ m ³ /cm ³) =	€ 0,30
Al	2710 kg/m ³ × 50 cm ³ × 1,52 €/kg × (1/10 ⁶ m ³ /cm ³) =	€ 0,21
E	1100 kg/m ³ × 50 cm ³ × 2,03 €/kg × (1/10 ⁶ m ³ /cm ³) =	€ 0,13
Mg	1740 kg/m ³ × 50 cm ³ × 1,52 €/kg × (1/10 ⁶ m ³ /cm ³) =	€ 0,13

FIGUUR 3-13 Gebruik van dichtheid bij de materiaalkeuze



FIGUUR 3-14 Kleur (messing) was de belangrijkste fysische eigenschap bij de keuze van een materiaal voor dit decoratieve deurbeslag

Elasticiteitsmodulus

In de Engelse versie van dit boek wordt de elasticiteitsmodulus als fysische eigenschap behandeld. Men kan het meten zonder het materiaal kapot te maken, dus is het in feite een fysische eigenschap. De elasticiteitsmodulus wordt in de technische

en natuurwetenschappelijke wereld echter bijna uitsluitend gebruikt om het mechanisch gedrag van materialen en structuren te beschrijven. Daarom vindt men de discussie over de elasticiteitsmodulus in het volgende hoofdstuk, waarin het gaat over mechanische eigenschappen. ■

Samenvatting

In de bovenstaande bespreking van chemische en fysische eigenschappen zijn ongeveer vijftig eigenschappen die bij sommige toepassingen belangrijk kunnen zijn, ongenoemd gebleven. Helaas bestaan er te veel fysische eigenschappen om ze allemaal gedetailleerd te behandelen in dit boek. De optische eigenschappen van polymeren en keramische materialen zijn bijvoorbeeld soms belangrijke selectiefactoren. Er zijn ontwerpsituaties waarbij de snelheid van het geluid in een materiaal (een akoestische eigenschap) een belangrijke selectiefactor is. De hier besproken eigenschappen behoren echter wel tot de belangrijkste eigenschappen die een rol kunnen spelen bij de meeste selectieproblemen van materialen. De essentiële ideeën die men uit dit hoofdstuk moet onthouden, zijn:

- Elk onderdeel- of constructieontwerp heeft chemische en fysische eigenschappen die belangrijk zijn. Deze moeten worden herkend en vergeleken met de eigenschappen van kandidaat-materialen.
- Tot de algemeen gebruikte chemische eigenschappen die van toepassing zijn op alle materialen, behoren samenstelling, microstructuur, kristalliniteit en chemische reactiviteit.
- Tot de algemeen gebruikte fysische eigenschappen die van toepassing zijn op alle materialen, behoren thermische uitzetting, thermische en elektrische geleidbaarheid, ferromagnetisme, dichtheid en kleur.
- Diverse soorten materialen hebben unieke fysische en chemische eigenschappen. Kunststoffen hebben bijvoorbeeld een fysische eigenschap die verwerkingstemperatuur heet. Deze is niet van toepassing op metalen en keramische materialen. Keramische materialen hebben kristalliniteitseigenschappen die sommige kunststoffen niet hebben, en metalen hebben elektrische weerstandskennmerken die anders zijn dan die van kunststoffen, cermets en veel composieten.

- Materiaalgebruikers moeten prioriteit geven aan de eigenschappen die vereist zijn voor een bepaalde toepassing.

Illustratief voorbeeld

Gevelbedekking van PVC

In de afgelopen twintig jaar zijn de meeste huizen in de Verenigde Staten voorzien van een gevelbedekking van kunststof, vooral vinyl (polyvinylchloride, oftewel PVC). Toen deze gevelbedekking ontwikkeld werd, was al snel duidelijk dat het losjes bevestigd moest worden en dat longitudinale verbindingen een aanzienlijke overlapping nodig hadden om te kunnen omgaan met een specifieke fysische eigenschap: de **thermische uitzettingscoëfficiënt**. PVC-platen waren normaal gesproken 20 foot (ongeveer 6,1 meter) lang in de Verenigde Staten, en in noordelijke staten kan de gevelbeplating worden blootgesteld aan temperatuurverschillen van bijna 56°C (een verschil van 100 °F). De thermische uitzettingscoëfficiënt voor stijve PVC is ongeveer $5,4 \times 10^{-5}$ mm/mm-°C. Het hout waaraan de gevelbeplating is bevestigd, heeft een thermische uitzettingscoëfficiënt van ongeveer $1,8 \times 10^{-5}$ mm/mm-°C. In de winter kan bij zo'n groot temperatuurverschil een 6,1 m lange plaat ongeveer 12,3 mm krimpen ten opzichte van de houten ondersteuning ($56^\circ\text{C} \times 3,6 \times 10^{-5}$ mm/mm-°C $\times$ 6100 mm). Door de overlapping van de platen heeft deze 'winterkrimp' geen gevolgen meer voor de gevel.

Samenvattend kan worden gezegd dat een fysische eigenschap zoals thermische uitzetting een belangrijke factor kan zijn bij het gebruik van een bepaald technisch materiaal. Materiaaleigenschappen moeten voor een nieuwe toepassing soms rigoureus worden herzien. Er wordt bijvoorbeeld gewerkt aan composietplanken die het PVC-decoratieprobleem kunnen oplossen.

Termenlijst

ASTM (vroeger American Society for Testing and Materials): een internationale organisatie voor standaardisatie

dichtheid: de massa van een gegeven volume van een materiaal

ferromagnetisme: het vermogen van een materiaal om aangetrokken te worden door een magneet

gebruikstemperatuur: de temperatuur die een kunststof continu kan weerstaan zonder te smelten of aanzienlijk in sterkte af te nemen

hard magnetisch: een ferromagnetisch materiaal dat de neiging heeft om gemagnetiseerd te blijven na magnetisatie

hysteresislus: de energie die vereist is om een materiaal te magnetiseren en te demagnetiseren

ISO: een internationale organisatie voor standaardisatie

metallografie: de techniek om metaalstructuren zichtbaar te maken voor microscopisch onderzoek

microstructuur: de interne kenmerken (korrels, fasen, insluitsels enzovoort) van een materiaal die kunnen worden bestudeerd via microscopie

samenstelling: de elementaire opmaak (gewicht % of atomaire %) van een materiaal (in dit boek, gewicht %)

soortelijke warmte: de hoeveelheid energie (Joules) die vereist is om de temperatuur ($^{\circ}\text{C}$) van een hoeveelheid materiaal (kg) te verhogen

stereospecificiteit: de neiging van een polymeermolecuul om een voorkeur te hebben voor een bepaalde driedimensionale ordening van atomaire of polyatomaire componenten

thermische geleidbaarheid: het vermogen van een materiaal om warmte te transporteren

thermische uitzettingscoëfficiënt: de kenmerkende volumeverandering van een materiaal bij verwarming of afkoeling ($\text{mm}/\text{mm}\cdot^{\circ}\text{C}$ of $1/^{\circ}\text{C}$)

weerstandvermogen: de weerstand van een materiaal tegen de beweging van elektronen

zacht magnetisch: een ferromagnetisch materiaal dat kan worden gemagnetiseerd, maar dat niet magnetisch blijft

Opgaven

1. Leg uit hoe fabricagetechnieken de beschikbare groottes en toleranties van technische materialen beïnvloeden.

2. Noem de chemische en fysische eigenschappen die belangrijk zijn voor een materiaal dat gebruikt gaat worden voor een deurbknop.
3. Hoe specificer je de samenstelling van een kunststof?
4. Welke van de volgende zaken speelt geen rol in de chemische eigenschappen van een materiaal?
 - a. valentie
 - b. smeltpunt
 - c. samenstelling
 - d. atoomnummer
 - e. corrosiviteit
 - f. wrijving
5. Hoe specificer je de samenstelling van een keramiek?
6. Bereken de energie die vereist is om een gietijzeren braadpan met een gewicht van 1 kg te verwarmen tot de schroeitemperatuur van 200°C . (Neem aan dat er geen warmte verloren gaat.)
7. Je wilt een stalen mof passen over een stalen schacht met een diameter van 10 mm. De mof heeft een buitendiameter van 40 mm en een lengte van 80 mm. Welke binnendiameter heb je nodig om 25 μm speling te krijgen? Tot welke temperatuur moet je de mof verwarmen om deze op de schacht te schuiven?
8. Welk element is de beste warmte-isolator?
 - a. Fe
 - b. Ni
 - c. Ag
 - d. Ti
 - e. W
 - f. Mo
9. Welk van de volgende materialen is de veiligste keuze voor gebruik in een lampreflector die warm kan worden?
 - a. polystyreen
 - b. PVC
 - c. piepschuim
 - d. fenol
 - e. polypropyleen
 - f. acryl

10. Vergelijk de Ohmse weerstand van 100 m koperdraad met een diameter van 1 mm met de Ohmse weerstand van dezelfde lengte nikkel-draad.
11. Welk van de volgende elementen is de beste elektrische geleider?
 - a. Cu
 - b. Ag
 - c. Pt
 - d. Hg
 - e. Ni
 - f. Au
12. De afmetingen van een baksteen zijn $60 \times 80 \times 400$ mm en het gewicht is 3 kilogram. Wat is de klaarblijkelijke dichtheid?
13. Wat is de dichtheid van de legering Monel (30% nikkel, Cu rest)?
14. Waardoor hebben materialen verschillende kleuren?
15. Wat is het verschil tussen elektrische geleidbaarheid en weerstand?

Referenties voor eigenschappen-gegevens

Metalen

Alloy Digest. ASM International, Materials Park, OH, wordt jaarlijks vernieuwd.

Aluminum Standards and Data. Washington, DC: Aluminum Association, 2009.

Materials Selector – Materials Engineering. Cleveland, OH: Penton Publishing, 2005.

Metals Handbook, 10th ed. *Volume 1, Properties and Selection: Irons, Steels and High Performance Alloys* (1990); *Volume 2, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials*. Materials Park, OH: ASM International, 1991.

Standards Handbook – Cast Copper, Bronze and Copper Alloy Products. New York: Copper Development Association, 1978.

Standards Handbook – Wrought Copper Alloy Mill Products. New York: Copper Development Association, 1973.

Steel Products Manual. Washington, DC: American Iron and Steel Institute. (Er is een publicatie voor elk type staalproduct, bijvoorbeeld gereedschapsstaal, plaatstaal, gewalst staal enzovoort.)

Woldman's Engineering Alloys, 8th ed. Materials Park, OH: ASM International, 1994. (Ook beschikbaar op cd-rom.)

Kunststoffen

Engineering Plastics. Volume 2, Engineered Materials Handbook. Metals Park, OH: ASM International, 1988.

Juran, R. (bew.), *Plastics Encyclopedia*, Volume 66, Number 11. New York: McGraw-Hill Book Company, 1993.

Keramische materialen

Chaing, Y., D.P. Birnie & W.D. Kingery, *Physical Ceramics: Principles for Ceramics Science and Engineering*. New York: John Wiley & Sons, 1996.

Kingery, W.D., H.K. Bowen & D.R. Uhlman. *Introduction to Ceramics* (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons, 1976.

Composieten

Composites. Volume 1, Engineered Materials Handbook. Metals Park, OH: ASM International, 1987.

Testmethoden

Annual Book of ASTM Standards. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials, jaarlijks bijgewerkt en gepubliceerd.

Alle materialen

Cide, D.R., *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. Boca Raton: CRC Press, nieuwe edities verschijnen jaarlijks.



Pearson | MyLab

Op www.pearsonmylab.nl vind je studiemateriaal en de eText om je begrip en kennis van dit hoofdstuk uit te breiden en te oefenen.