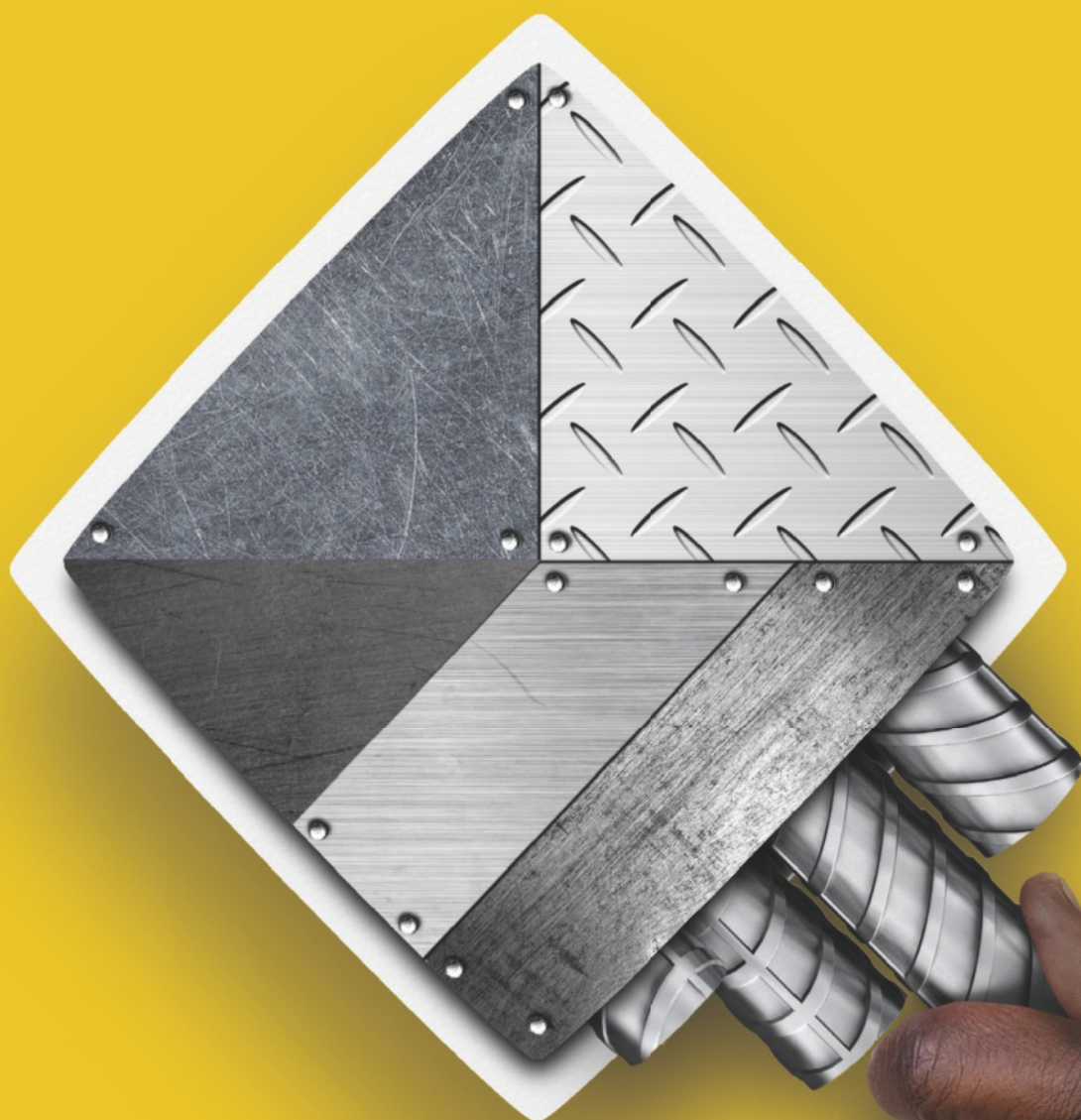


LEERWERKBOEK NIVEAU 3&4

Metalen 1



TOUCHTECH



Metalen 1



Over ThiemeMeulenhoff

ThiemeMeulenhoff ontwikkelt zich van educatieve uitgeverij tot een learning design company. We brengen content, leerontwerp en technologie samen. Met onze groeiende expertise, ervaring en leeroplossingen zijn we een partner voor scholen bij het vernieuwen en verbeteren van onderwijs. Zo kunnen we samen beter recht doen aan de verschillen tussen lerenden en scholen en ervoor zorgen dat leren steeds persoonlijker, effectiever en efficiënter wordt.

Samen leren vernieuwen.

www.thiememeulenhoff.nl

ISBN 978 90 06 14099 6

1e druk, 1e oplage, 2021

© ThiemeMeulenhoff, Amersfoort, 2021

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

Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16B Auteurswet 1912 j° het Besluit van 23 augustus 1985, Stbl. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan Stichting Publicatie- en Reproductierechten Organisatie (PRO), Postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp (www.stichting-pro.nl). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet) dient men zich tot de uitgever te wenden. Voor meer informatie over het gebruik van muziek, film en het maken van kopieën in het onderwijs zie www.auteursrechtenonderwijs.nl.

De uitgever heeft ernaar gestreefd de auteursrechten te regelen volgens de wettelijke bepalingen. Degenen die desondanks menen zekere rechten te kunnen doen gelden, kunnen zich alsnog tot de uitgever wenden.

Deze uitgave is volledig CO₂-neutraal geproduceerd.
Het voor deze uitgave gebruikte papier is voorzien van het FSC®-keurmerk. Dit betekent dat de bosbouw op een verantwoorde wijze heeft plaatsgevonden.

Inhoudsopgave

1	MET04 Inleiding materialen	7
	Introductie	8
	Theorie	9
	Kernvragen	9
	Technische materialen	9
	Begrippen materialenleer	18
	Verbeteren van de basiseigenschappen	20
	Samenvatting	25
	Video	26
	Begrippen	26
	Theorieopdrachten	28
	Opdrachten uit de praktijk	30
	Evaluatie en reflectie	35
	Checklist	35
	Zelftoets	35
2	MET05 Ruwijzer en staal	37
	Introductie	38
	Theorie	39
	Kernvragen	39
	Het hoogovenproces	39
	Staalfabricage	42
	Staalverwerking	44
	Walserij	45
	Samenvatting	49
	Video	50
	Begrippen	51
	Theorieopdrachten	52
	Opdrachten uit de praktijk	53
	Evaluatie en reflectie	57
	Checklist	57
	Zelftoets	57
3	MET02 Hardheidsmetingen en kerfslagproef	59
	Introductie	60
	Theorie	61
	Kernvragen	61
	Hardheidsmetingen en kerfslagproef	61
	Hardheid	61
	Kerfslagproef	73
	Samenvatting	77
	Video	79
	Begrippen	79
	Theorieopdrachten	81
	Opdrachten uit de praktijk	83
	Evaluatie en reflectie	86
	Checklist	86
	Zelftoets	86

4	MET01 Trekproef, drukproef en buigproef	89
	Introductie	90
	Theorie	91
	Kernvragen	91
	Trekproef, drukproef en buigproef	91
	Trekproef	91
	Drukproef	104
	Buigproef	105
	Samenvatting	107
	Video	109
	Begrippen	109
	Theorieopdrachten	111
	Opdrachten uit de praktijk	113
	Evaluatie en reflectie	116
	Checklist	116
	Zelftoets	116
5	MET07 Indeling en normalisatie van staal	119
	Introductie	120
	Theorie	121
	Kernvragen	121
	Indeling staalsoorten	121
	Speciale constructiestaalsoorten	126
	Normalisatie van staal	130
	Samenvatting	136
	Video	137
	Begrippen	138
	Theorieopdrachten	139
	Opdrachten uit de praktijk	141
	Evaluatie en reflectie	144
	Checklist	144
	Zelftoets	144
6	MET06 Gietijzer en gietmethoden	147
	Introductie	148
	Theorie	149
	Kernvragen	149
	Gietijzer	149
	Gietmethoden	159
	Samenvatting	168
	Video	169
	Begrippen	169
	Theorieopdrachten	171
	Opdrachten uit de praktijk	173
	Evaluatie en reflectie	177
	Checklist	177
	Zelftoets	177

7	MET09 Aluminium en aluminiumlegeringen	181
	Introductie	182
	Theorie	183
	Kernvragen	183
	Aluminium	183
	Mechanische eigenschappen	184
	Fysische eigenschappen	186
	Aluminiumlegeringen	187
	Niet-veredelbare kneedlegering	188
	Veredelbare kneedlegering	188
	Aanduiding kneedlegering	189
	Eigenschappen en toepassingen van aluminium kneedlegeringen	191
	Aanduiding gietlegering	194
	Eigenschappen en toepassingen van aluminium gietlegeringen	196
	Verwerken en bewerken van aluminium en aluminiumlegeringen	197
	Samenvatting	199
	Video	199
	Begrippen	200
	Theorieopdrachten	201
	Opdrachten uit de praktijk	203
	Evaluatie en reflectie	206
	Checklist	206
	Zelftoets	206
8	MET10 Koper en koperlegeringen	209
	Introductie	210
	Theorie	211
	Kernvragen	211
	Herkomst en verwerking koper	211
	Aanduiding koper en koperlegeringen	213
	Koperlegeringen	217
	Samenvatting	223
	Video	223
	Begrippen	224
	Theorieopdrachten	225
	Opdrachten uit de praktijk	226
	Evaluatie en reflectie	229
	Checklist	229
	Zelftoets	229

9	MET1 1 Overige non-ferro metalen en legeringen	233
	Introductie	234
	Theorie	235
	Kernvragen	235
	Oriëntatie	235
	Lood (Pb)	235
	Tin (Sn)	237
	Magnesium (Mg)	240
	Titaan (Ti)	241
	Zink (Zn)	244
	Superplastische materialen	247
	Samenvatting	249
	Video	250
	Begrippen	250
	Theorieopdrachten	251
	Opdrachten uit de praktijk	253
	Evaluatie en reflectie	256
	Checklist	256
	Zelftoets	256
	Register	259

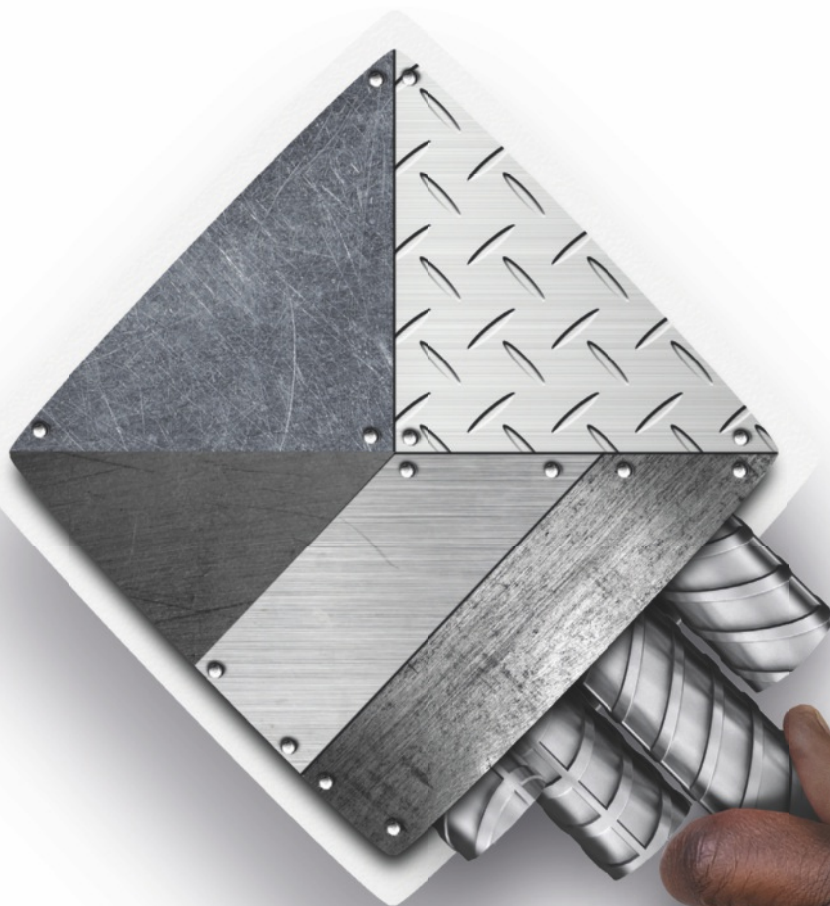
1

MET04

Inleiding materialen



TOUCHTECH



Auteur
H. Hebels

Eindredactie
G. Siemens

v1.1

ThiemeMeulenhoff

Introductie

Onder de motorkap van een Golf GTI

Onder de motorkap van een Volkswagen Golf GTI zitten twee bronnen. Allereerst de krachtbron die de auto op een door jou gewenste snelheid voortstuwt. Daarnaast een bron van verschillende materialen. Welke materialen kom je zoal tegen? De huidige motoren zijn gemaakt van aluminium, omdat dit een licht materiaal is. De kleppen zijn van hittebestendig staal. Verder zie je verschillende kunststoffen, die corrosiebestendig zijn en licht. Trouwens niet alleen onder de motorkap zie je kunststoffen. Ook de spatborden en bumpers zijn gemaakt van kunststof om gewicht te besparen. Voor de bekabeling worden geïsoleerde koperen kabels gebruikt. De vele leidingen worden tot een strak geheel gebundeld door stalen beugels en klemmen. Ook de ophangogen van de motor zijn van staal, evenals de klemmen die de accu op zijn plaats houden. Kortom: een rijke bron van veel verschillende materialen.



Figuur 1 Onder de motorkap van een Golf GTI (Bron: Shutterstock / Everyonephoto Studio)

Oriënterende vragen

- Waarom gebruik je koper voor stroomkabels?
- Waarom moet je de kleppen van een motor van hittebestendig staal maken?

Theorie

Kernvragen

- Hoe ziet de praktische indeling van technische materialen eruit?
- Wat versta je onder ijzermetalen en non-ferrometalen? Welke metalen vallen hieronder?
- Hoe kun je de basiseigenschappen van metalen verbeteren?
- Welke niet-metalen gebruik je in de praktijk en hoe deel je ze in?
- Op basis van welke eigenschappen bepaal je de keuze voor een materiaal?

Technische materialen

De eerste ijzerlegeringen die werden gebruikt, waren eigenlijk een primitief soort gietijzer. Dit 'ijzer' bleek vaak niet geschikt, omdat het nauwelijks rek had en niet was te vervormen. Bij de fabricage van ijzer zoekt men nog steeds naar mogelijkheden het materiaal voor vele doeleinden geschikt te maken.

Naast ijzer zijn er in de loop der jaren in de techniek steeds meer andere materialen in gebruik genomen. Materialen die tegenwoordig worden gebruikt, kun je als volgt indelen:

- metalen, zoals staal, gietijzer, aluminium en hun legeringen;
- niet-metalen, zoals rubber, kunststof, hout en keramische materialen.

Binnen de metalen is de groep staal en gietijzer zo groot en zo belangrijk, dat ook hier twee groepen zijn:

- metalen met het element ijzer (Fe = ferro) als hoofdbestanddeel, de ijzermetalen of **ferrometalen**;
- metalen met een ander hoofdbestanddeel, de niet-ijzermetalen of **non-ferrometalen**.

Het is niet zo dat in een niet-ijzermetaal geen ijzer voorkomt. Het betekent alleen dat het element ijzer niet het hoofdbestanddeel is.

De groep niet-ijzermetalen kun je verdelen in lichte en zware niet-ijzermetalen.

Voorbeelden van lichte metalen zijn aluminium en magnesium. Koper is een veelgebruikt zwaar non-ferrometaal.

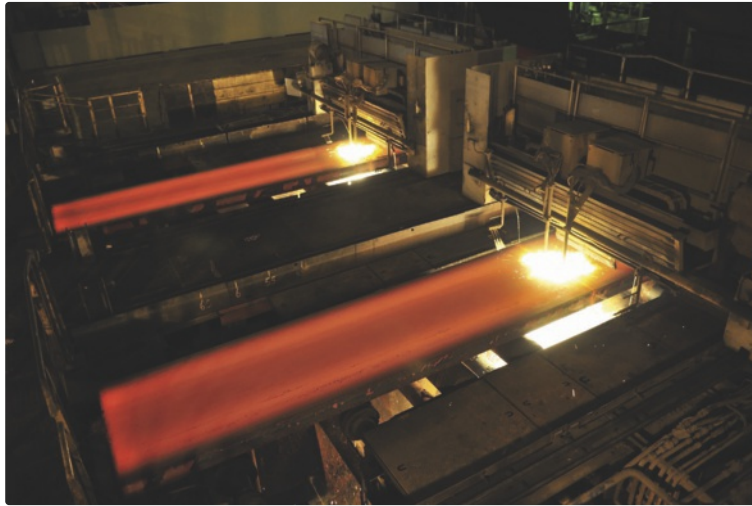
Ijzermetalen

Je kunt de groep ijzermetalen weer in twee groepen verdelen: staal en gietijzer.

Staal

Zuiver ijzer wordt in de praktijk bijna niet gebruikt. Het wordt wel veel gebruikt als magneetijzer in elektrotechnische onderdelen.

Als metaal voor constructies, machines en gereedschappen wordt ijzer (Fe) altijd gebruikt in combinatie met koolstof (C). Deze combinatie noem je staal. Staal is dus een **legering** van ijzer, koolstof en andere elementen. Het koolstofgehalte in staal is zelden meer dan 2%. Staal is meestal een kneedproduct. Dat wil zeggen dat je het tot halffabricaat vormt door **walsen** of **smeden**.



Figuur 2 Walsen van staal (Bron: Shutterstock / T photography)

Staal kun je ook gieten. Dan noemen je het gietstaal. Gietstaal bevat 0,2 tot 0,5% koolstof.

Gietijzer

Een ander ijzermetaal dat je giet is gietijzer. Het is een legering van ijzer, koolstof en vrijwel altijd silicium en andere elementen. Het koolstofgehalte van gietijzer ligt tussen 2,5 en 4%. Gietijzeren producten maak je altijd met een gietproces. Hierbij vul je een holte (met de vorm van het product) met vloeibaar gietijzer. De holte spaar je uit in speciaal zand.



Figuur 3 Gieterij (Bron: Shutterstock / industryviews)

Niet-ijzermetalen

De niet-ijzermetalen verdeel je in de zware niet-ijzer- of non-ferrometalen en de lichtmetalen.

Zware niet-ijzermetalen

Zware niet-ijzermetalen zijn non-ferrometalen met een hoge dichtheid ($\rho > 5000 \text{ kg/m}^3$). De voornaamste daarvan is koper (Cu). Je gebruikt koper in zuivere vorm (als stroomgeleider), maar meestal als koperlegering.



Figuur 4 Scheepsschroef (brons) (Bron: Shutterstock / akiyoko)

De meest voorkomende koperlegeringen zijn:

- brons, ofwel koper met tin (Sn);
- messing, ofwel koper met zink (Zn).

Enkele andere zware niet-ijzermetalen zijn bijvoorbeeld lood, tin, nikkel en chroom.

Lichtmetalen

Lichtmetalen zijn niet-ijzermetalen met een dichtheid $\rho < 5000 \text{ kg/m}^3$. Het zijn voornamelijk aluminium (Al), magnesium (Mg) en titaan (Ti). Aluminium gebruik je soms in min of meer zuivere vorm, maar meestal als aluminiumlegering. Het wordt vaak gelegeerd met silicium (silumin), koper (duralumin) en magnesium.

Als constructiemateriaal gebruik je magnesium vrijwel niet in ongelegeerde toestand. Magnesiumlegeringen hebben goede sterkte-eigenschappen. Je komt ze tegen onder de verzamelnaam elektron.



Figuur 5 Pallet met blokken magnesiumlegeringen (Bron: commons.wikimedia.org)

Titaan wordt ondanks de hoge prijs steeds meer gebruikt. Het is een materiaal dat een laag gewicht koppelt aan een zeer hoge sterkte. Ook behoudt het zijn sterkte bij hoge temperatuur. Daarom wordt het veel gebruikt in de ruimtevaart en bij de fabricage van racewagens. En omdat titaan nauwelijks door het lichaam wordt afgestoten, wordt het veelvuldig toegepast in de medische industrie.



Figuur 6 Titaan uitlaatsysteem voor Porsche 911 (Bron: commons.wikimedia.org)

Niet-metalen

Niet-metalen zijn materialen die geen metalen als basis hebben. Ze komen voor als natuurproduct of ze worden kunstmatig gemaakt. Daarom zijn er twee groepen: de natuurlijke technische materialen en de kunstmatige technische materialen.

Natuurlijke technische materialen

Dat zijn bijvoorbeeld leer, olie en natuurrubber. Om deze natuurproducten te kunnen gebruiken, moet je ze vaak speciaal bewerken.

Kunstmatige technische materialen

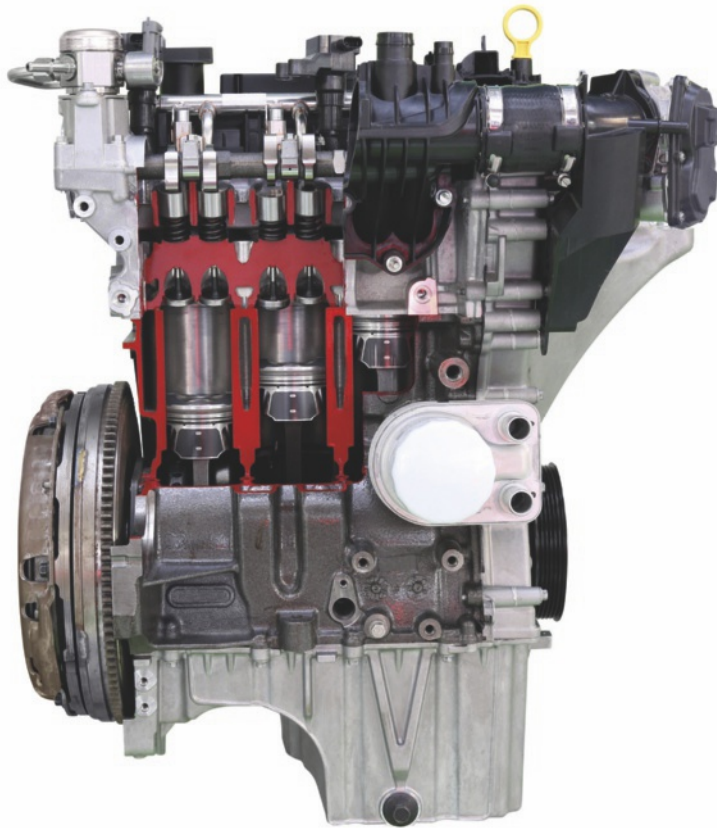
Dat zijn de technische materialen die via chemische processen tot stand komen. Je noemt ze meestal kunststoffen. Je spreekt ook wel van synthetische stoffen. Voorbeelden zijn: nylon, PVC en synthetische rubber (de verschillende soorten rubber noem je ook wel elastomeren). In figuur 7 zie je een toepassing van kunststof verbindingstukken.



Figuur 7 Verbindingsstukken van kunststoffen (Bron: Shutterstock / Sergey Chirkov)

Automotor

In de werktuigbouw gebruik je zoveel verschillende soorten materialen, omdat ze aan veel verschillende eisen moeten voldoen. Als voorbeeld bekijk je een opengewerkte automotor van de Golf GTI.



Figuur 8 Opengewerkte automotor (Bron: Shutterstock / risteski goce)

Je zou kunnen uitgaan van het meest gebruikte materiaal, namelijk constructiestaal. Van dit materiaal zijn ook fietsenrekken en bureaus gemaakt. Zou dit materiaal geschikt zijn voor een aantal onderdelen van een automotor? Meestal niet.

Om gewicht te besparen is het motorblok gemaakt van een lichte, aluminium gietlegering.

Drijfstang

Zo'n GTI-motor ontwikkelt heel wat kracht. Alle kracht breng je via drijfstangen over naar de **krukas**. Als je zo'n **drijfstang** van gewoon staal zou maken, zou hij binnen de kortste keren breken. Je kunt de drijfstangen natuurlijk dikker maken, maar dan is het gewicht weer veel te groot.



Figuur 9 Drijfstang (Bron: Shutterstock / Luxon Portfolio)

Dus moet je een staalsoort toepassen die sterker is. Maar wat is sterk? Als je materialen wilt verbeteren, moet je goed afspreken wat je onder sterkte verstaat.

Krukas

Net zoals de drijfstang moet ook de krukas uit figuur 10 sterk zijn.



Figuur 10 De krukas (Bron: Shutterstock / Volodymyr Horbovyi)

Als je een gewoon stukje staal gebruikt op de plaats waar de lagers zitten, slijt de krukas hier het snelst. De krukas kan dan gaan rammelen in de motor. Om die slijtage te beperken, maak je het contactvlak met het lager hard en slijtvast. Om te weten of de slijtvastheid van een materiaal verbeterd is, moet je de hardheid meten en moet je afspreken wat je onder hardheid verstaat. De hardheid druk je dan uit in een getal.

Beugel waarmee de leidingen vastzitten

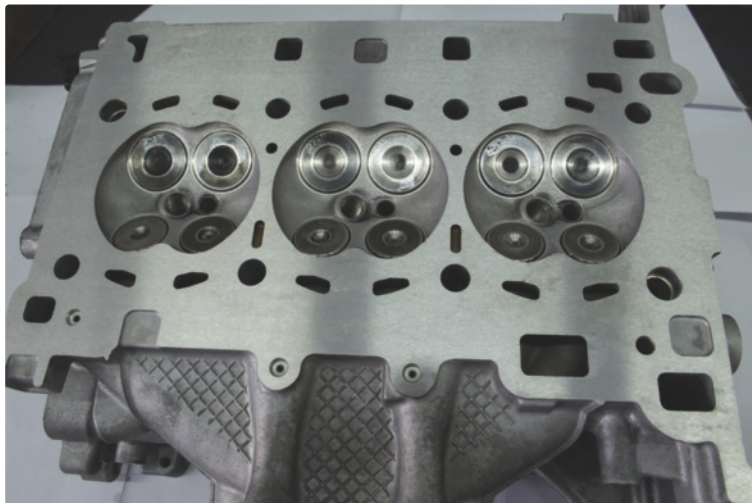
De eisen waaraan deze beugel moet voldoen zijn vooral:

- Het materiaal moet een hoge rek hebben, zodat je het goed kunt buigen en vormen.
- Het materiaal moet zo goedkoop mogelijk zijn, ook bij de Golf GTI.

Hiervoor kun je gewoon constructiestaal gebruiken, want dit bezit deze twee belangrijke eigenschappen.

De kleppen

Tijdens het draaien van de automotor worden de kleppen roodgloeiend.



Figuur 11 Kleppen van verbrandingsmotoren (Bron: Shutterstock / Dima Aletskyi)

Toch moeten ze hun werk blijven doen; ze mogen niet wegsmelten, kromtrekken, slijten of anderszins aangetast worden. Als je voor de klep gewoon constructiestaal gebruikt, verbrandt hij bijna meteen. Hij wordt zacht en slap, en slaat vast op de klepzitting.



Figuur 12 Verbrande klep (Bron: Shutterstock / eleonimages)

Je wilt dus dat het staal ook bij hoge temperaturen zijn eigenschappen behoudt. Je noemt dat hittevast staal. Om staal hittevast te maken, moet je het **legeren**. Dat wil zeggen: je voegt andere elementen toe aan het staal.

Zuiger

Bij langzaam draaiende motoren was vroeger het gewicht van de zuiger niet van belang, en deden zware gietijzeren zuigers het prima. Bij de moderne, snel draaiende motoren is één ding belangrijk: de zuiger moet licht zijn. Bovendien moet de zuiger ook warmte afvoeren. Daarom moet het materiaal de warmte goed kunnen geleiden. Verder moet de zuiger natuurlijk sterk zijn.

Door al deze eisen moet de keuze wel op aluminium vallen. Toch zijn daarbij grote problemen te overwinnen, zoals de minder gunstige glij-eigenschappen van aluminium, de niet zo hoge hittevastheid en de grote uitzetting door warmte (waardoor de zuigers kunnen gaan klemmen in de cilinder).



Figuur 13 Problemen met glij-eigenschappen van aluminium (Bron: Shutterstock / GolfStandard)

Deze moeilijkheden zijn opgelost door het aluminium te legeren, door een **warmtebehandeling** en door de constructie aan te passen aan het materiaal.



Figuur 14 Moderne aangepaste zuigers (Bron: Shutterstock / yanik88)

Elektrische bedrading

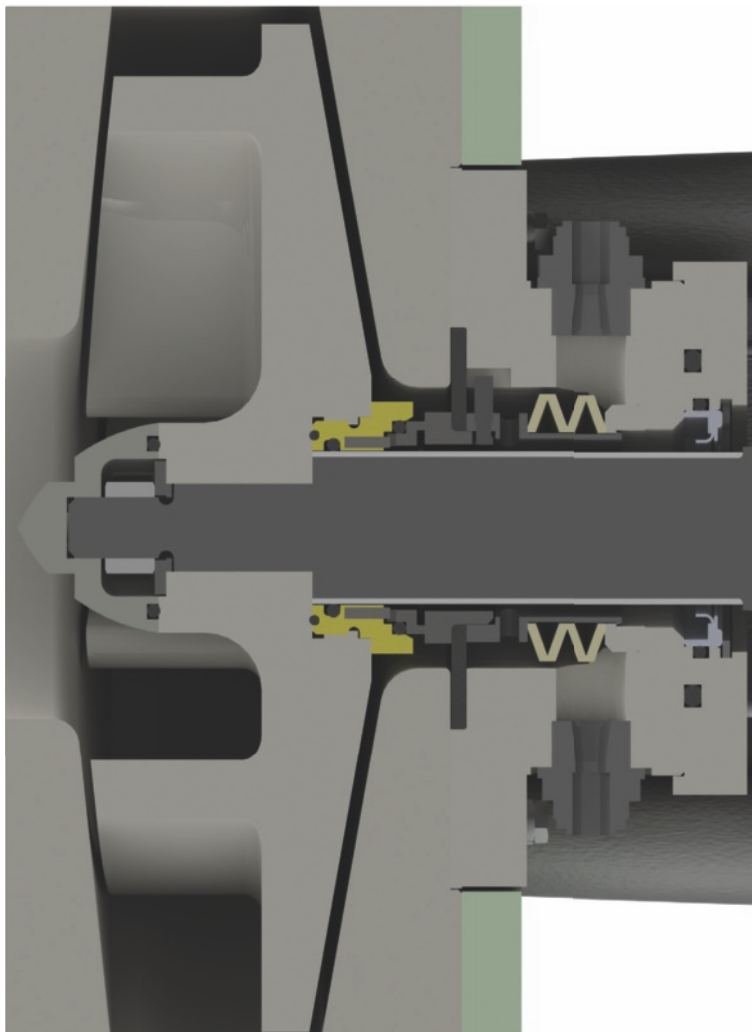
Je zou elektrische bedrading van staal kunnen maken. Maar dat is niet zo'n goed idee, omdat staal een tienmaal zo grote elektrische weerstand heeft als koper. Daarom zou de bedrading pakweg tienmaal zo dik worden. Daarom kies je voor koper in plaats van staal, ook al is koper veel duurder.



Figuur 15 Hoogspanningskabel (Bron: Shutterstock / laowaika)

Afdichtingen

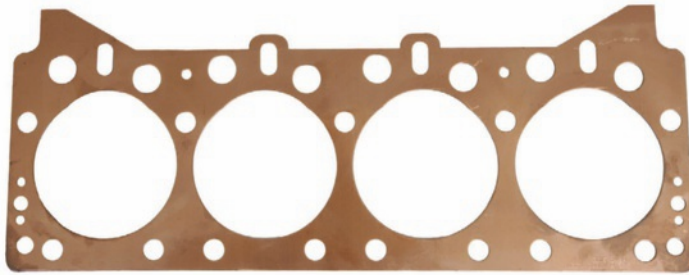
Afdichtingen van draaiende assen, zoals bij een koelwaterpomp, moeten flexibel zijn. Om lekkage te voorkomen moeten ze goed afsluitend om de as blijven zitten. Hiervoor blijkt rubber (in een bepaalde samenstelling) de juiste keuze te zijn.



Figuur 16 Asafdichting (Bron: ARBO Pompen en Filters BV)

Sommige afdichtingen moeten warmtebestendig zijn, zoals bijvoorbeeld bij een uitlaat of tussen de cilinderkop en het cilinderblok (koppakking). Het materiaal moet ook

zacht genoeg zijn om zich te laten samenpersen en de **bewerkingsgroeven** van de afdichtingsvlakken te vullen. Staal zou te hard zijn als afdichting voor de aluminium cilinderkop. Je kiest hier voor fiberfrax of grafietweefsel met een dunne koperbekleding. Je kunt ook kiezen voor pakkingen van zuiver koper.



Figuur 17 Koperen koppakking (Bron: commons.wikimedia.org)

Bij de aansluiting van een waterpomp heb je bijvoorbeeld geen hoge drukken en geen hoge temperaturen. Daarom kun je hiervoor een heel geschikt en goedkoop materiaal gebruiken als afdichting, namelijk papier.

Begrippen materialenleer

Je ziet dat je aan materialen zeer uiteenlopende eisen stelt, zoals:

- **sterkte**: hoe sterk is het?
- **rek**: kun je het vervormen?
- **hardheid**: is het slijtvast?

Sterkte

Om de sterkte van een materiaal te achterhalen, kun je verschillende materialen vergelijken en hun sterkte meten. Het is vrij eenvoudig de sterkte van de staaldraden 1 en 2 in figuur 18 te vergelijken.



Figuur 18a Fiets aan een staaldraad van 1 mm (Bron: Shutterstock / Aleksandr Petrunovsky)



Figuur 18b Motorfiets aan een staaldraad van 1 mm (Bron: Shutterstock / Dafinchi)

Beide staaldraden zijn even dik, namelijk 1 mm.

- Draad 1 (waar de fiets aan hangt) is gewoon staaldraad. Deze draad breekt al als je er een fiets aan ophangt.
- Draad 2 (waar de motorfiets aan hangt) is een pianosnaar, zo ongeveer de sterkste staaldraad die er bestaat. Deze draad bezwijkt pas onder het gewicht van een complete Harley-Davidson.

Niet alle belaste staven of draden hebben echter dezelfde dikte of dezelfde afmetingen. Om ze goed te kunnen vergelijken, moet je kijken naar de grootste kracht die de draad kan opbrengen in verhouding tot zijn doorsnede (de oppervlakte waarop de kracht werkt.) Als je de kracht deelt door de oppervlakte van de doorsnede, krijg je de sterkte per oppervlakte-eenheid. Je noemt dit de **treksterkte R_m** . Het symbool R is afgeleid van het Franse woord resistance, dat weerstand betekent. De index m staat voor maximaal.

Rek

Als je met een grote kracht aan een staaf of draad trekt wordt deze langer. Als je dit lengteverschil uitdrukt als fractie van de oorspronkelijke lengte, dan noem je het rek. Na het stuktrekken van een staaf kun je meten hoeveel de staaf blijvend langer is geworden. Deze verlenging noem je de plastische verlenging. Om dit goed te kunnen meten, leg je de gebroken delen nauwkeurig tegen elkaar. Het langer worden van de staaf is een maat voor de rek. In dit geval noem je dat **breekrek**.



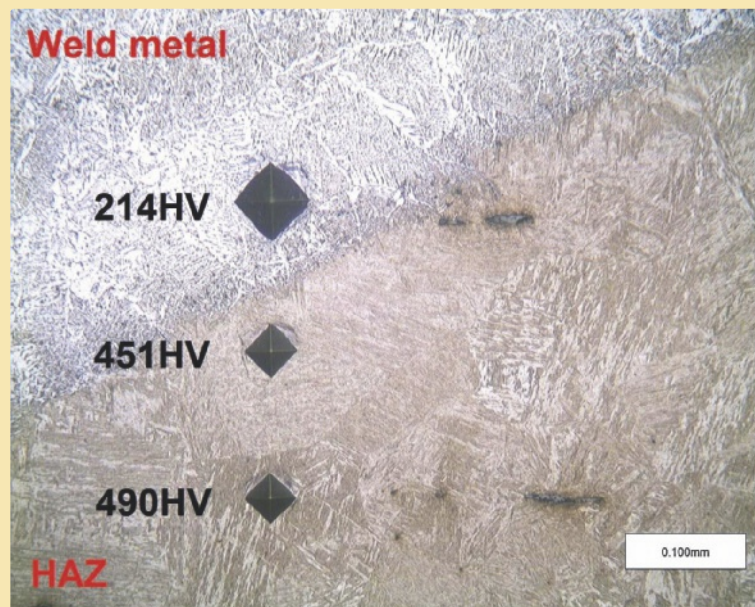
Figuur 19 Opmeten van de breekrek (Bron: Shutterstock / Kimtaro)

Je kunt de breekrek zien als een maat voor de vervormbaarheid van het materiaal. Als het materiaal een grote breekrek heeft, noem je het week. Materiaal met een kleine breekrek noem je bros. Sterkte en rek bepaal je met een trekproef. De uitkomst van de proef geeft een getalswaarde, die je koppelt aan het materiaal dat je hebt beproefd. Zo heeft de staalsoort **S235** een rekgrens $R_e = 235 \text{ N/mm}^2$.

Hardheid

Het is wel duidelijk wat de begrippen hard en zacht betekenen. Maar het is moeilijk het begrip hardheid zo te formuleren dat je het kunt meten, zodat je de hardheid van twee materialen kunt vergelijken. Volgens afspraak is de hardheid 'de weerstand tegen blijvend indrukken door een indruklichaam met een bepaalde vorm en met een bepaalde kracht'. Hierdoor kun je de hardheid tamelijk eenvoudig meten. Het resultaat van de meting geeft een getalswaarde die je koppelt aan het materiaal dat je hebt beproefd. Het hangt van de meetmethode af of je met een kogeltje, een kegeltje of een piramide in het materiaal drukt.

Praktijkvoorbeeld: Indrukking met piramidevormige geslepen diamant



Figuur 20 Indrukken van hardheidsmeting volgens Vickers (Bron: METLAB LIMITED New Zealand)

Je ziet hier verschillende indrukkingen gemaakt met een piramidevormige diamant, die gebruikt wordt bij de Vickers-methode. De afmeting van de indrukking geeft de hardheid aan. Het getal geeft de waarde van de hardheid aan. 214HV is minder hard dan 451HV. Hoe groter de indrukking, des te lager de hardheid.

Hoe groter of dieper de blijvende indrukking, hoe zachter het materiaal is. De afmeting van de indrukking is een maat voor de hardheid.

Verbeteren van de basiseigenschappen

Behalve de constructie veranderen, kun je op enkele manieren de sterkte-eigenschappen van een materiaal aanpassen, zodat het aan de eisen van een constructie kan voldoen:

- legeren
- warmtebehandeling

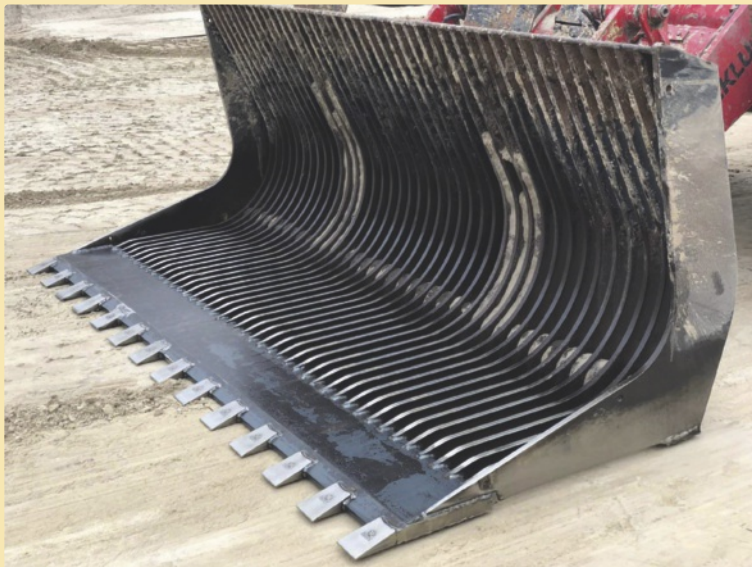
Legeren

Als je materialen, en zeker metalen, wilt gebruiken als constructiemateriaal, voldoen ze vaak niet in hun zuivere vorm. Zo zijn zuiver ijzer, koper en aluminium zacht en zwak. Om de eigenschappen te verbeteren, kun je elementen toevoegen aan die zuivere metalen. Dat noem je legeren. Dit gebeurt meestal als het te legeren metaal nog vloeibaar is, dus in de smeltoven. In vaste (gestolde) toestand hebben de gelegeerde metalen aangepaste eigenschappen, waardoor je ze voor bepaalde toepassingen kunt gebruiken.

Voorbeelden van eigenschappen van staal die je door legeren kunt aanpassen zijn:

- verhogen van de rekgrens;
- vergroten van de slijtvastheid;
- verbeteren van de gietbaarheid;
- vergroten van de corrosiebestendigheid.

Praktijkvoorbeeld: Slijtvaste tanden van een shovelpak



Figuur 21 Shovelpak met slijtvaste tanden (Bron: Beugels Metaal & Techniek / Trip)

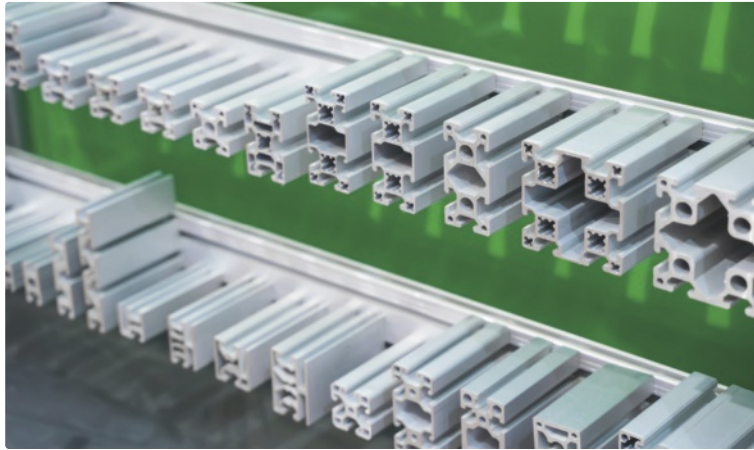
Om de slijtvastheid van staal te verbeteren, kun je het legeren met mangaan. Het gelegeerde slijtvaste staal blijft goed lasbaar. De tanden en het slijtmes kun je zonder problemen aan gewoon staal lassen.

Bij legeren kunnen ook minder gewenste eigenschappen naar voren komen, bijvoorbeeld:

- minder vervormbaar;
- minder goed te lassen met normale lasprocessen;
- minder geleiding voor bijvoorbeeld elektriciteit en warmte.

Legeren doe je om zoveel mogelijk eigenschappen te verbeteren, zonder dat je goede eigenschappen verliest. Opvallend is dat je van twee zwakke of zachte materialen samen vaak een sterke, harde legering kunt vormen. Dat zie je bijvoorbeeld als je koper mengt met tin. Beide zijn zachte metalen. De legering noem je brons. Afhankelijk van de hoeveelheid tin kan brons zeer hard zijn.

Het zachte aluminium wordt meestal gelegeerd met koper, silicium of magnesium om de sterkte, hardheid of een andere eigenschap te verbeteren.



Figuur 22 Sterke profielen van een aluminiumlegering (Bron: Shutterstock / asharkyu)

Een metaal hoeft je overigens lang niet altijd met een metaal te legeren. Koolstof en silicium zijn allebei geen metaal, maar koolstof komt voor in staal en silicium in aluminiumlegeringen.

Warmtebehandeling

Warmtebehandeling is letterlijk spelen met vuur. Je verhit het metaal of de legering tot een bepaalde temperatuur en koelt het daarna snel of langzaam af.



Figuur 23 Het smeden en harden van staal: de kunst van staal én vuur én water (Bron: Shutterstock / Diane079F)

Warmtebehandelingen kunnen zeer gecompliceerd zijn. Het vergt veel aandacht om te verhitten tot een bepaalde temperatuur en af te koelen met een bepaalde snelheid. Verhitten gebeurt daarom in ovens met een nauwkeurige temperatuurregeling.



Figuur 24 Gloeien in een kameroven (Bron: Shutterstock / industryviews)

De meest voorkomende warmtebehandelingen zijn:

- **harden**: om de hardheid te vergroten;
- **veredelen**: om de sterkte en de rekgrens te vergroten;
- **carboneren** en **nitreeren**: om vooral de buitenste laag van het materiaal hardbaar (bij carboneren) of hard te maken (bij nitreeren);
- **gloeien**: om spanningen in het materiaal te verminderen, de structuur te verbeteren en (soms) de hardheid te verkleinen.

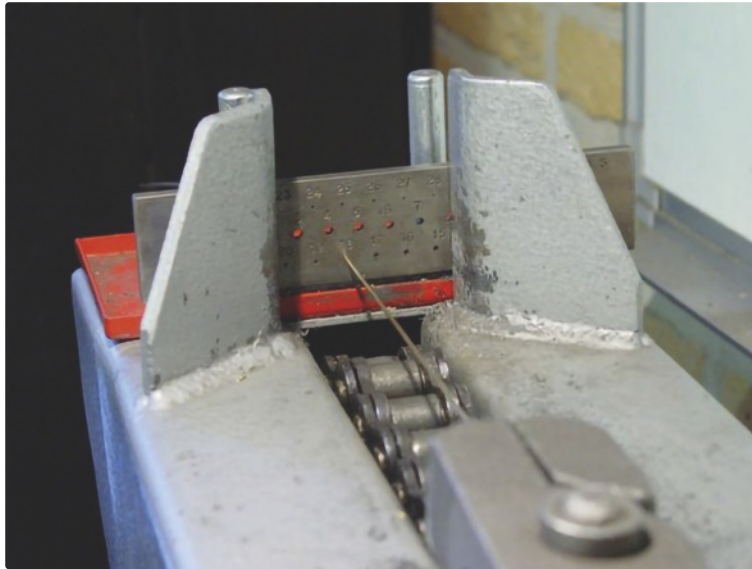
Verstevigen door koud vervormen

Het resultaat van **verstevigen** kun je zelf voelen. Als je een knik in een stukje staaldraad (ijzerdraad) maakt, zul je merken je dat het terugbuigen moeilijker gaat. Het metaal wordt steeds sterker. Als je probeert om die knik er weer uit te buigen, lukt dat niet. Je hebt het materiaal verstevigd.



Figuur 25 Verstevigen door koudvervormen (Bron: Eduardo media BV)

Verstevigen gebeurt bij het koudvervormen van metalen. Hiervan maak je gebruik om metalen die eigenlijk zacht zijn, zoals messing (koper plus zink) en aluminium, harder en sterker te maken. Daartoe geef je het materiaal zijn eindvorm om het bijvoorbeeld koud in plaats van warm te walsen. Of je trekt het materiaal door een **treksteen** waarbij je de staaf of draad dunner maakt en dus koudvervormt (zie figuur 26). Het materiaal wordt bij het verstevigen niet alleen sterker en harder, maar ook brosser. Dit is lang niet altijd een voordeel.



Figuur 26 Draadtrekken (Bron: commons.wikimedia.org)

De sterkte toename treedt bijvoorbeeld op bij de pianosnaar waar de Harley-Davidson aan hangt. Om zulk staal te maken, moet je een hele trukendoos opentrekken. Want:

- eerst wordt het staal gelegeerd;
- vervolgens ondergaat het een warmtebehandeling (veredelen);
- daarna trek je het nog eens in koude toestand, waarbij versteviging optreedt, met als resultaat een treksterkte van maar liefst 2500 tot 3000 N/mm².

Dat is bijna tienmaal zo sterk als het constructiestaal S235 waarvan een tuinhek gemaakt is. Verstevigen gebeurt nogal veel. Vormen van verstevigd materiaal zijn bijvoorbeeld koudgewalste profielen van staal en aluminium.



Figuur 27 Koudgewalste stalen profielen (Bron: Shutterstock / studiovin)

Als je niet wilt dat versteviging optreedt in een materiaal, kun je dit voorkomen door niet koud maar warm te vervormen. Het gebruik van verstevigd materiaal heeft bijvoorbeeld geen zin als je aan de constructie moet lassen. Daardoor verdwijnt de versteviging van het materiaal bij de lasplek en verzwakt je het materiaal in een bepaalde zone. De verminderde sterkte in deze zone is dan bepalend voor de sterkte van de gehele constructie.

Duurzaamheid

In de huidige praktijk spelen niet alleen sterkte, rek en hardheid een grote rol bij de materiaalkeuze voor een product. Net zo belangrijk is de duurzaamheid van het materiaal. Een materiaal is duurzaam als:

- er weinig energie en hulpstoffen zijn gebruikt om het te produceren;
- het recyclebaar is en je het dus kunt hergebruiken;
- het gemakkelijk uit een product terug te winnen is.

Samenvatting

Technische materialen rangschik je in:

- metalen:
 - ijzerhoudende metalen
 - niet ijzerhoudende metalen
- niet metalen:
 - natuurlijke technische materialen
 - kunststoffen

Ijzerhoudende metalen noem je ijzermetalen of ferrometalen. Bekende ijzermetalen zijn staal, gietstaal en gietijzer, die altijd in combinatie met koolstof voorkomen.

Staal bevat 0 - 2,0% koolstof (C).

Gietstaal bevat 0,2 - 0,5% koolstof.

Gietijzer bevat 2,5 - 4% koolstof.

Niet ijzerhoudende metalen noem je non-ferrometalen. Je onderscheidt:

- zware non-ferrometalen met een dichtheid $\rho > 5000 \text{ kg/m}^3$, zoals koper;
- lichte non-ferrometalen of lichtmetalen met een dichtheid $\rho < 5000 \text{ kg/m}^3$, zoals aluminium en titaan.

Metalen als koper en aluminium worden niet veel in zuivere toestand gebruikt. Je legeert ze om verschillende eigenschappen te verbeteren.

Bekende koperlegeringen zijn:

- messing, een legering van koper en zink (Zn);
- brons, een legering van koper en tin (Sn).

Veel gebruikte aluminiumlegeringen zijn:

- silumin, een legering van aluminium en silicium (Si);
- duralumin, een legering van aluminium en koper.

Kunstmatige technische materialen noem je ook wel synthetische materialen. Meer gebruikelijk is de term kunststoffen. Voorbeelden zijn nylon, PVC en plexiglas.

TouchTech – Techniek die je raakt

Dit boek is onderdeel van TouchTech, een complete modulaire methode voor mbo Techniek niveau 3 en 4. Dit standaardboek is opgebouwd uit een aantal opeenvolgende modules van één vakgebied. TouchTech is in boekvorm, als boek OpMaat en digitaal beschikbaar. TouchTech heeft een breed aanbod van circa 400 modules voor de vele vakgebieden in de elektrotechniek, werktuigkunde en mechatronica.

Het leerwerkboek Metalen 1 bevat negen modules over materiaal en omvat het deelgebied metalen. In de modules wordt de theoretische basis behandeld voor ruwijzer, staal, gietijzer, aluminium, koper, overige non-ferro-metalen en diverse legeringen.

Learning by doing

De serie TouchTech helpt de verbinding te maken tussen theorie en praktijk. Elke module start met kernvragen (leerdoelen), zodat je weet wat je gaat leren. Binnen elke module wordt beknopte theorie gekoppeld aan praktijkvoorbeelden. Na de theorie volgen korte verwerkings- en toepassingsopdrachten om de lesstof eigen te maken en de relatie met de praktijk te leggen.

Anytime/anywhere

Met deze nieuwe serie is de benodigde theorie anytime/anywhere beschikbaar. De theorie is beschikbaar in modules op onderwerp, zodat je eenvoudig kunt beschikken over alleen de theorie die je op dat moment nodig hebt tijdens lessen, praktijkopdrachten en projecten.

Bewezen didactiek

De didactische opbouw van elke module is gebaseerd op het zesleerfasenmodel: na een introductie vanuit de praktijk volgt de theorie, verduidelijkt met praktijkvoorbeelden. In het tweede deel ga je aan de slag met verwerkingsvragen, toepassingsvragen en ten slotte met de evaluatie en reflectie.

Diversiteit aan leermiddelen

TouchTech is leverbaar op papier of digitaal in een volgorde die jij wilt. De opzichzelfstaande modules zijn samen te stellen tot maatwerkreaders, maar ook als standaardboek (leerwerkboek) met vaste volgorde per vakgebied te bestellen. Digitaal is de methode als licentie beschikbaar voor scholen, waarbij zelf een curriculum samengesteld kan worden uit het brede aanbod van modules.

TouchTech bevat modules die onder andere geschikt zijn voor de kwalificaties:

- Middenkader Engineering
- Elektrotechnische installaties
- Mechatronica
- Human Technology
- Werktuigkundige installaties

Auteurs:

H. Hebels
G. Siemens

Eindredactie:

H. Hebels
G. Siemens



9 789006 140996