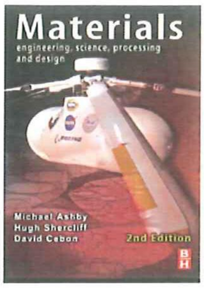
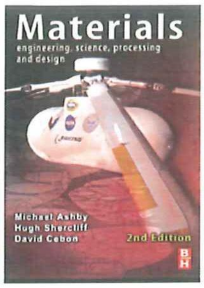


Tentamen WB6101 – Materiaalkunde I voor WB over de leerstof van studiejaar 2010-2011

2 november 2010

Met uitwerkingen



- **Scheur het antwoordformulier los en schrijf je naam en studienummer bovenaan de eerste bladzijde van het antwoordformulier. Lever alleen het antwoordformulier in.**
- Het is toegestaan om formules, grafieken en gegevens uit Ashby, Shercliff and Cebon's boek *Materials: engineering, science, processing and design* en uit de *Powerpoint lecture notes* te gebruiken. Andere bronnen mogen ook gebruikt worden.
- Kleine afrondingsfoutjes spelen geen rol.
- **Credits** Alle vraagonderdelen hebben hetzelfde gewicht.

Mogelijkerwijs nuttige gegevens (voor andere gegevens zie het boek van Ashby, Shercliff en Cebon)
1 eV = 1.60×10^{-19} J
$k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K (Boltzmann constant)
$u = 1.66 \times 10^{-27}$ kg (atomaire massa-eenheid; atomic mass unit)

Het Engelse werkwoord *yield* is in de opgaven meestal onvertaald gebleven (= vloeien, plastisch vervormen)

Probleem 1

Original design is de term gebruikt voor nieuwe producten die met iets wezenlijk nieuws in het ontwerp gestart zijn. Het tegengestelde hiervan is *redesign*. Welk van de volgende producten is **niet** een typisch voorbeeld van *original design*?

Niet wezenlijk nieuw. Er waren al iPods voordat de iPod nano verscheen.

- ☐ Afstandsbediening
- ☐ iPod nano
- ☐ Transistor
- ☐ De Havilland Comet

Probleem 2

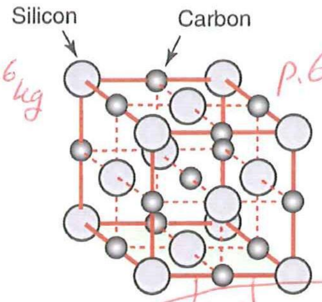
We willen een materiaal selecteren voor de weggooivorken van een Fast Food restaurant. Bij het formuleren van de *objectives* en *constraints* voor dit materiaal –zie de antwoordenlijst– wordt er één genoemd die eigenlijk vrij onbelangrijk is. Welke?

- ☐ Gemakkelijk te vormen
- ☐ Voldoende sterk en stijf
- ☐ Niet giftig
- ☐ Hoge vermoeiingssterkte
- ☐ Minimale kosten

Onbelangrijke eigenschap. Een weggooivork ondergaat maar een klein aantal wisselende belastingen in normaal gebruik

Probleem 3

Siliciumcarbide (SiC) is een kristallijne stof met een kubische eenheidscel. De dichtheid is $\rho = 3.10$ Mg/m^3, en het kristal telt per eenheidscel 8 atomen. De massa van een Si-atoom is 4.66×10^{-26} kg en van een C-atoom 1.99×10^{-26} kg.



p.63 Fig. 4.13

(a) Bereken de lengte van de ribbe van de kubische eenheidscel.

8 atomen per cel $\rightarrow m_{cel} = 4 \times (4.66 + 1.99) \times 10^{-26}$ kg $= 2.66 \times 10^{-25}$ kg

$\rho = 3100$ kg/m^3 $\rightarrow V_{cel} = \frac{2.66 \times 10^{-25} \text{ kg}}{3100 \text{ kg/m}^3} = 8.58 \times 10^{-29}$ m^3

Eenheidscel is kubisch $\rightarrow \sqrt[3]{V_{cel}}$ = ribbe = 4.41×10^{-10} m

$a_0 = 0.5 \times 10^{-9}$ m

☐ 0.441 nm
☐ 4.41 nm
☐ 0.556 nm
☐ 0.882 nm

(b) Een ander materiaal, laten we de samenstelling met AB aangeven, heeft precies dezelfde kristalstructuur als SiC, alleen is de lengte van de ribbe van de kubische eenheidscel anders, namelijk 1.00 nm. Gegeven is dat de Young's modulus E de waarde 300 GPa heeft. Bereken de bindingsstijfheid S in dit kristal.

p.68

ribbe van kubus voor 1 atoom

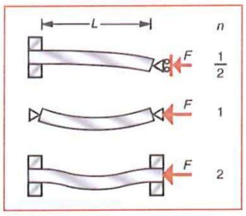
Vgl. (4.17): Bond stiffness $S = E a_0$

Hier: $S = 300 \times 10^9$ Pa $\times$ 0.5×10^{-9} m $=$ 150 Pa.m = 150 N/m

☐ 150 N/m
☐ 300 N/m
☐ 600 N/m
☐ 60 N/m

Probleem 4

Buckling (=knikken). Je houdt een dun massief staafje tussen duim en wijsvinger en je oefent met duim en wijsvinger elk een naar elkaar gericht kracht F uit, precies langs de as van het staafje. De diameter van het staafje is 2.00 mm, de lengte is 7.00 cm en de Young's modulus is $E = 2.00$ GPa.



p.89 Fig. 5.5

(a) Bij welke kracht zal het staafje knikken? Hier $n = 1$ (zie figuur)

Vgl. (5.9) $F_{crit} = \frac{n^2 \pi^2 E I}{L^2}$

$I = \frac{\pi}{4} r^4$ (Fig. 5.2, pag 86) $= \frac{\pi}{4} \times (1.00 \times 10^{-3}\text{ m})^4 = 7.85 \times 10^{-13}$ m^4

$F_{crit} = \frac{1 \times \pi^2 \times 2.00 \times 10^9 \text{ Pa} \times 7.85 \times 10^{-13} \text{ m}^4}{(7.00 \times 10^{-2}\text{ m})^2} = 3.16$ N

☐ 50.6 N
☐ 6.32 N
☐ 1.58 N
☐ ~~0.79 N~~
☐ ...3.16 N...

(b) In welke materialengroep zal je dit staafje vinden?

☐ Metalen
☐ Keramische stoffen
☐ Elastomeren
☐ Thermoplastics Tabel pag. A-10, $E \approx 2$ GPa
☐ Polymeerschuimen

Probleem 5

De hardheid H van een materiaal is vergelijkbaar met de *yield stress* σ_y. Beide drukken de weerstand van het materiaal tegen plastische vervorming uit, maar bij de hardheid gaat het om een gelocaliseerde puntbelasting en bij de *yield stress* om een gespreide belasting, over een veel groter oppervlak. Waarom is de hardheid H groter dan de *yield stress* σ_y?

Dit staat uitgelegd op p. 116.

☐ Omdat bij een puntbelasting het materiaal direct rondom het werkpunt niet vervormt en daarmee de vervorming tegenhoudt. Hierdoor moet er meer druk geleverd worden dan bij een gespreide belasting, voor dezelfde plastische rek.
☐ H is helemaal niet groter dan σ_y. Ze drukken beide vrijwel dezelfde eigenschap uit en zijn daarom ook vrijwel even groot.
☐ H is helemaal niet groter dan σ_y. H is zelfs kleiner dan σ_y. Kijk maar naar vergelijking (6.4), die zegt dat $H_v \approx \sigma_y/3$.

Deze vergelijking mengt verschillende eenheden. Op pag. 116 wordt hiervoor gewaarschuwd

Probleem 6

We kijken naar een kubus van nikkel (Ni) met een volume van 1.00 cm^3 en een dislocatiedichtheid van 4.00 $\times$ 10^8 mm^{-2}. De Young's modulus is $E = 200$ GPa en de atoomdiameter is $b = 0.249$ nm. Neem aan dat de dislocaties een vierkant patroon van parallelle lijnen vormen. Dit lijkt op Example 6.4, pag. 132

(a) Bereken de totale dislocatielengte.

$\rho_d = 4.00 \times 10^8\ mm^{-2} = \dfrac{\text{Totale lengte}}{\text{Volume}}$

Totale lengte $= (1.00 \times 10^{-6}\ m^3) \times (4.00 \times 10^{14}\ m^{-2}) = 4.00 \times 10^8\ m$

☐ 1.00 × 10^5 m
☐ 4.00 × 10^5 m
☐ 4.00 × 10^8 m
☐ 4.00 × 10^8 km

(b) Bereken de bijdrage τ_{wh} aan de sterkte van het kristal (*tip: let goed op de eenheden*).

Vgl. (6.14) $\tau_{wh} \approx \dfrac{Eb}{2}\sqrt{\rho_d} = \dfrac{200 \times 10^9\ Pa \times 0{,}249 \times 10^{-9}\ m}{2}\sqrt{4.00 \times 10^{14}\ m^{-2}}$

$= 4.98 \times 10^8$ Pa

☐ 498 MPa
☐ 249 MPa
☐ 49.8 MPa
☐ 0.498 MPa

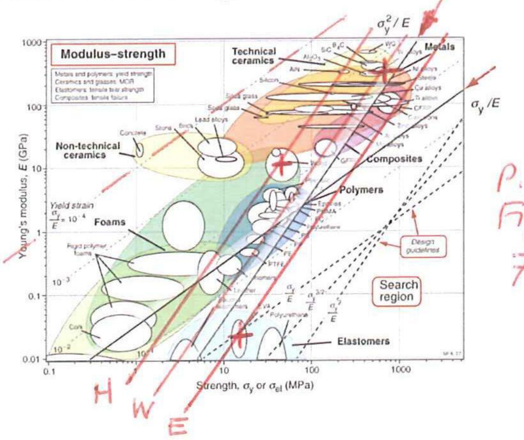
Probleem 7

We zoeken naar het beste materiaal voor een kleine veer, d.w.z. het materiaal dat het meeste energie per volume kan opslaan zonder plastisch te vervormen. Onze kandidaten zijn de materialen hout, EVA, en een wolfraamlegering.

(a) Zet de drie materialen in de volgorde beste – minder goed – slechtste. Neem in Fig. 7.9 het midden van de ellipsen als waarden.

Best spring material: index $M = \dfrac{\sigma_y}{E}$

index for spring material



p. 157 Fig. 7.9

☐ W-legering, EVA, hout
☐ EVA, hout, W-legering
☐ hout, W-legering, EVA
☐ EVA, W-legering, hout

We moeten kijken naar de lijnen H, W, E. Welke ligt het meest naar rechtsonder?

(b) Welk van de drie materialen kan de grootste rek verdragen zonder plastisch te vervormen?

☐ W-legering
☐ EVA
☐ hout

Nu moeten we kijken naar de lijnen evenwijdig aan "Yield strain". Welke ligt het meest naar rechtsonder?

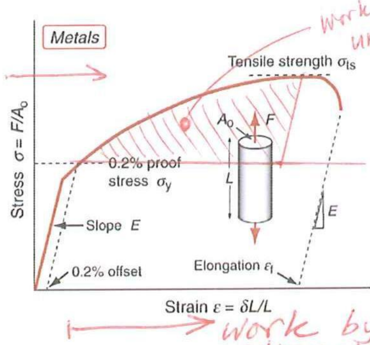
Probleem 8

Fig. 6.1, pag. 113

Waarom is in metalen de treksterkte vrijwel altijd hoger dan de *yield strength*?

tensile strength

yield strength



☐ Vanwege *work hardening*.
☐ Vanwege opgeloste atomen van een andere soort.
☐ Vanwege insnoering (*necking*).
☐ Omdat in een polykristallijn materiaal slipvlakken in alle standen voorkomen

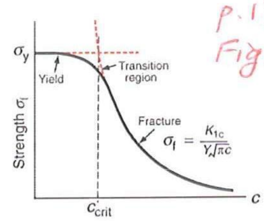
Probleem 9

De kritische scheurlengte, of *transition crack length*, in een materiaal onder "mode 1" belasting is gelijk aan de straal r_y van de plastische zone wanneer de spanningsintensiteit K_1 (ten gevolge van de belasting) gelijk is aan de breuktaaiheid K_{1c}. We bekijken een materiaal met een Young's modulus $E = 45$ GPa en een breuktaaiheid $K_{1c} = 15$ MPa m$^{1/2}$.

(a) Wat gebeurt er als de kritische scheurlengte groter is dan de breedte van het object waarin de scheur zit?

Dit staat uitgelegd in Example 8.2 (pag. 174) en op pag. 173. Zie ook de figuur hiernaast

p. 173, Fig. 8.7



☐ Het object zal door plastische vervorming bezwijken.
☐ Het object zal door scheurgroei breken.
☐ Het object zal door vermoeiing bezwijken.
☐ De scheur zal stabiel blijven en de kritische lengte houden

(b) Hoeveel energie kost het minimaal om een scheur van 1.00 cm breed over een afstand van 1.00 cm te laten uitgroeien, zodat er dus twee stukken nieuw oppervlak van 1.00 cm^2 ontstaan?

Vgl. (8.10): $G_c = \frac{K_{1c}^2}{E} = \frac{(15 \times 10^6 \text{ Pa m}^{1/2})^2}{45 \times 10^9 \text{ Pa}} = 5 \times 10^3 \text{ Pa.m} = 5 \times 10^3 \text{ J/m}^2$

(Niet (8.9), die is 'approximate'!)

Twee stukken oppervlak van 1.00 cm^2

Onderaan p. 170: Effective surface energy replacing 2γ, dus energie is $G_c \times 1.00 \text{ cm}^2 = 5 \times 10^3 \text{ J/m}^2 \times 1.00 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 0.500 \text{ J}$

☐ 500 J
☐ 2.50 J
☐ 1.00 J
☐ 0.25 J
☐ 0.500 J..

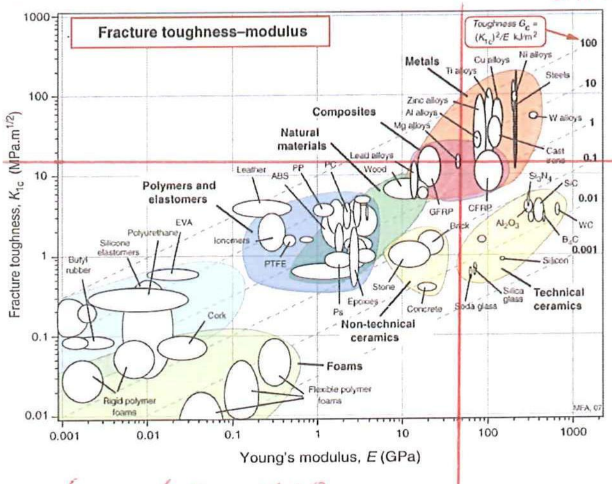


Fig. 8.8 pag. 175

(c) Welk materiaal is dit?

Volgt direct uit de waarden van K_{1c} en E

☐ Een Ti-legering.
☐ PTFE.
☐ Soda glas.
☐ Een Mg-legering

(d) Gegeven is verder nog dat de *yield stress* σ_y de waarde 200 MPa heeft. Bereken de kritische scheurlengte in dit materiaal (neem aan dat $Y = 1$).

vgl. (8.13) $c_{crit} = \frac{K_{1c}^2}{\pi \sigma_y^2} = \frac{(15 \times 10^6 \text{ Pa m}^{1/2})^2}{\pi (200 \times 10^6 \text{ Pa})^2} = 1.79 \times 10^{-3} \text{ m}$

☐ 1.48 mm
☐ 1.79 mm
☐ 5.63 mm
☐ 23.9 mm

Probleem 10

Een motoronderdeel is onderhevig aan een *high-cycle* belasting met een R-waarde van -1. Het materiaal gedraagt zich onder vermoeiing volgens de wet van Basquin met een b-waarde van 0.08. Bij een *stress range* $\Delta\sigma = 231.8$ MPa bezwijkt het onderdeel na 10^6 cycli.

(a) Bereken de vermoeiingslimiet (*endurance limit*) van dit materiaal.

p. 191. Basquin's law, Eq. (9.4): $\Delta\sigma (N_f)^b = C_1$

Hier: $C_1 = (231.8 \times 10^6 \text{ Pa})(10^6)^{0.08} = 7.00 \times 10^8 \text{ Pa}$

$\sigma_e = \frac{1}{2}\Delta\sigma_{(N_f=10^7)} = \frac{1}{2} \times C_1 \times (10^7)^{-0.08}$ ⟹

$\sigma_e = 9.64 \times 10^7 \text{ Pa}$

- ☐ 10^7
- ☐ 700 MPa
- ☐ 193 MPa
- ☐ 96.5 MPa

(b) In een ander onderdeel van hetzelfde materiaal wordt een cyclische belasting met een *range* $\Delta\sigma = 223.0$ MPa uitgevoerd rond een gemiddelde spanning van 100 MPa. Het onderdeel bezwijkt na 10^5 cycli. Bereken de treksterkte van het materiaal.

p. 193, Eq. (9.7) $\Delta\sigma_{\sigma_m} = \Delta\sigma_0 \left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_{ts}}\right)$ ⟹

$$\sigma_{ts} = \frac{\sigma_m}{1 - \frac{\Delta\sigma_{\sigma_m}}{\Delta\sigma_0}} = \frac{100 \text{ MPa}}{1 - \frac{223 \text{ MPa}}{278.7 \text{ MPa}}}$$

$$\boxed{\begin{aligned}\Delta\sigma_{0,(N_f=10^5)} &= C_1 \times (10^5)^{-0.08} \\ &= 7.00 \times 10^8 \text{ Pa} \times (10^5)^{-0.08} \\ &= 278.7 \text{ MPa}\end{aligned}}$$

- ☐ 279 MPa
- ☐ 500 MPa
- ☐ 2634 MPa