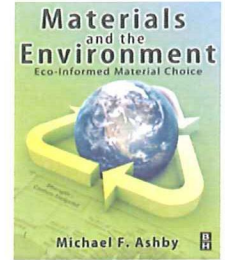


Tentamen WB6101 – Materiaalkunde I voor WB
over de leerstof van studiejaar 2009-2010
2 november 2010



Met uitwerkingen

- Scheur het antwoordformulier los en schrijf je naam en studienummer bovenaan de eerste bladzijde van het antwoordformulier. Lever alleen het antwoordformulier in.
- Schrijf je naam en studienummer bovenaan elke bladzijde.
- Het is toegestaan om formules, grafieken en gegevens uit Ashby's boek *Materials and the Environment* 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.

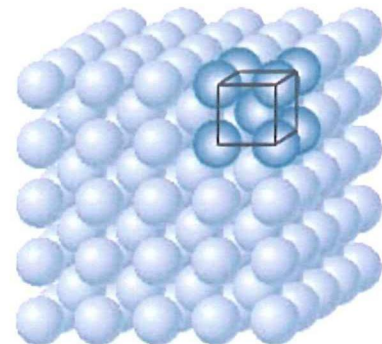
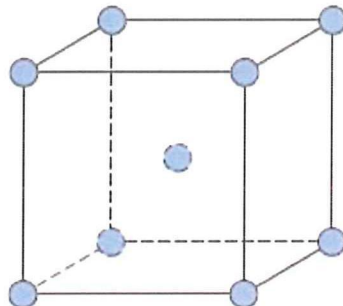
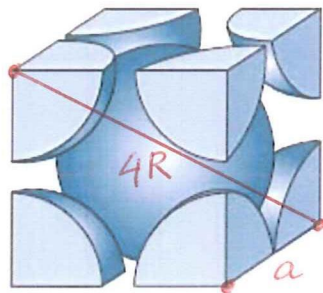
Mogelijkerwijs nuttige gegevens (voor andere gegevens zie het boek van Ashby)

$$1 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K (Boltzmann constant)}$$

$$u = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg (atomaire massa-eenheid; atomic mass unit)}$$

Probleem 1



Het denkbeeldige chemische element molytalam (My) heeft de bcc kristalstructuur (zie de figuren hierboven), en de straal van een My-atoom is 0.150 nm.

(a) Bereken de roosterconstante a van My. Dit is de lengte van de kubusribbe van de eenheidscel.

We zien: $4R = a\sqrt{3}$. Met $R = 0,150 \text{ nm}$ krijgen we

$$a = \frac{4}{\sqrt{3}} \times 0,150 \text{ nm} = 0,346 \text{ nm}$$

- 0.424 nm
- 0.346 nm
- 0.212 nm
- 0.173 nm

(b) Het atomaire massagetal van My is 150. Bereken de dichtheid van molytalam in kg/m^3 .

Een eenheidsceel bevat 2 atomen, namelijk het atoom in het midden plus $8 \times \frac{1}{8}$ atoom op de hoekpunten.

- $6.01 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
- $1.20 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$
- $2.40 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$

$$\text{dichtheid } \rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}} = \frac{2 \times 150 \times u}{a^3} = \frac{2 \times 150 \times 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}}{(0,346 \times 10^{-9} \text{ m})^3} = 1.20 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$$

(c) Hoeveel buuratomen van een My-atoom liggen op de kortste afstand, 0.300 nm?

Kijk vanuit het centrale atoom. Er liggen 8 atomen (op de hoekpunten) op de kortste afstand.

- 12
- 8
- 6
- 4

(d) Hoeveel buuratomen van een My-atom liggen op de afstand a ?

- 12
- 8
- 6
- 4

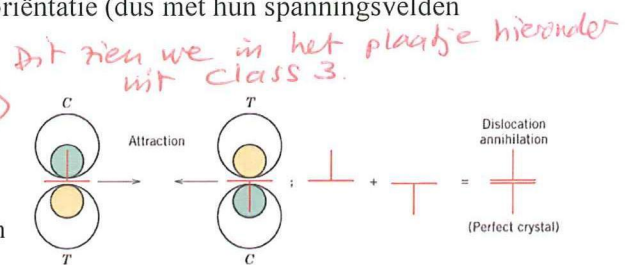
Kijk vanuit een atoom op een hoekpunt. Er liggen 6 atomen op afstand a , namelijk de atomen boven/beneden, links/rechts, voor/achter.

Probleem 2

Krachten op een materiaal kunnen leiden tot het bewegen van dislocaties in het materiaal. Dislocaties die achter elkaar aan over hetzelfde slijpvlak in een kristal lopen, komen (net als auto's op de snelweg) in een file terecht wanneer de voorste op een obstakel stuit. Dit noemt men een dislocatie-ophoping.

(a) Waarom hebben alle dislocaties in een ophoping dezelfde oriëntatie (dus met hun spanningsvelden dezelfde kant op wijzend)?

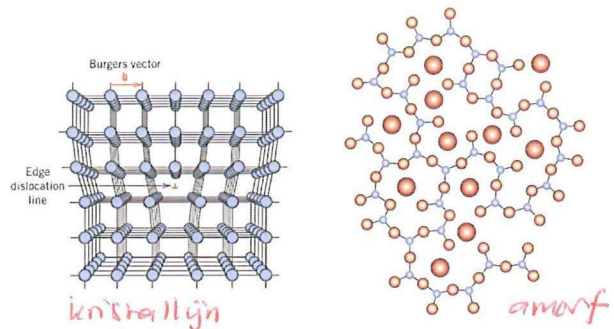
- Een tegengesteld georiënteerde dislocatie zal door zijn buurman geannihileerd worden en dus verdwijnen.
- Tegengesteld georiënteerde dislocaties kunnen niet op hetzelfde slijpvlak bewegen.
- Een tegengesteld georiënteerde dislocatie zal door de ophoping en het obstakel heen bewegen en dus doorlopen.



(b) Hoe bewegen dislocaties in een amorfe stof vergeleken met een kristallijne stof van dezelfde samenstelling

- Over het algemeen trager dan in het kristal.
- Over het algemeen sneller dan in het kristal.
- Dislocaties bestaan niet in een amorfe stof.

Een dislocatie is een defect in de regelmaat van een kristal



Probleem 3

In de wand van een procesketel wil men een kijkvenster aanbrengen met een oppervlak $A = 10.0 \text{ cm}^2$ en een dikte $w = 1.00 \text{ cm}$. De binnentemperatuur in de ketel is $50 \text{ }^\circ\text{C}$, de buitentemperatuur is $20 \text{ }^\circ\text{C}$. De ontwerp eis is, dat het vermogen dat verloren wordt ten gevolge van warmtegeleiding door het venster niet hoger mag zijn dan 5.00 W . Er worden drie transparante materialen overwogen: PET, polystyreen (PS) en sodalime glas.

(a) Hoeveel van deze drie materialen voldoen aan de eis?

(NB. Gebruik de gemiddelde waarden van de data-intervallen gegeven voor de materialen.)

Pag. 212, Vgl. (9.14): warmteverlies per oppervlakte-eenheid in tijd t :

$$Q = \lambda \frac{(T_i - T_o)}{w} t$$

- 0
- 1

Dus per tijdseenheid, door een oppervlakte A :

$$P = \frac{Q}{t} A \quad (\text{vermogen}) = \lambda (T_i - T_o) \frac{A}{w}$$

Gemiddelde waarden voor de warmtegeleidingscoëfficiënt λ en de maximum servicetemperatuur ($^{\circ}$) uit de tabel

	λ (W/Km)	T_{max} ($^{\circ}$ C)	dus P (W)	
<input checked="" type="checkbox"/> 2 <input checked="" type="checkbox"/> 3	PET 0.1445	76.9	0.434	Alle drie voldoen
	PS 0.126	89.95	0.378	
	Soda lime 1.0	285	3.00	

(b) Stel dat de binnentemperatuur 120 $^{\circ}$ C wordt en dat nog steeds het maximale vermogen 5.00 W mag zijn. Hoeveel van de drie materialen zouden dan nog gebruikt kunnen worden.

Nu is $T_i - T_o = 100K$, waarmee de warmteverliezen worden:

<input checked="" type="checkbox"/> 0	PET	$P = 1.45 W$	Soda-limeglas valt af vanwege een te groot warmteverlies, maar PET en PS vallen af omdat 120 $^{\circ}$ C (binnentemperatuur) te hoog is voor het gebruik.
<input type="checkbox"/> 1	PS	$P = 1.26 W$	
<input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3	Soda lime	$P = 10.0 W$	

Probleem 4

In een bepaalde constructie zit een massieve aluminium balk met vierkante doorsnede. Iemand beweert dat hij die balk kan vervangen door een dunwandige ronde balk van dezelfde aluminiumlegering en met dezelfde stijfheid, maar met slechts 1/10 van het gewicht. Kunnen we dit geloven?

- Ja, zo'n dunwandige balk kan waarschijnlijk wel gemaakt worden.
- Nee, zo'n dunwandige balk zal waarschijnlijk niet gemaakt kunnen worden.

p.193

Table 8.9 The effect of shaping on stiffness and mass of beams in different structural materials

Material	Typical maximum shape factor (stiffness relative to that of a solid square beam)	Typical mass ratio by shaping (relative to that of a solid square beam)
Steels	64	1/8
Al alloys	49	1/7
Composites (GFRP, CFRP)	36	1/6
Wood	9	1/3

1/7 zou typisch nog wel kunnen, maar 1/10 is een te grote reductie

Probleem 5

De productiesnelheid van het element dysprosium, gebruikt in lasers, groeit exponentieel en is over de afgelopen 10 jaar toegenomen van 50 tot 75 ton per jaar. De huidige dysprosium-reserves bedragen 1500 ton. Bereken de huidige waarde van de dynamic index voor dysprosium.

Vgl. (2.2)^a, pag. 25: $\ln \frac{P}{P_0} = \frac{r}{100} (t - t_0)$
 Hier dus $\ln \frac{75}{50} = \frac{r}{100} \times 10 \text{ yr}$ $\rightarrow \frac{r}{100} = 0.0405 \text{ yr}^{-1}$

Vgl. (2.6), pag. 30: $t_{ex,d} = \frac{100}{r} \ln \left\{ \frac{r}{100} \frac{R}{P_0} + 1 \right\}$
 Hier: $R = 1500 \text{ ton}$, en (let op!) $P_0 = 75 \text{ ton}$. Hiermee $t_{ex,d} = 14.7 \text{ yr}$

Probleem 6

We vergelijken vijf veel voorkomende verpakkingen voor vloeistoffen: flessen van glas (750 ml), PE (1000 ml) en PET (400 ml), en blikjes van aluminium (440 ml) en staal (440 ml).

(a) Welke verpakking heeft de grootste embodied energy?

Dit zien we in de tabel: aluminium, zowel per kg als per liter.

- glas
- PE
- PET

Table 9.2 Data for the containers with embodied energies for virgin material

Container type	Material	Mass, Grams	Embodied energy MJ/kg	Energy/Liter MJ/Liter
Staal 440 ml can		45	32	3.3
PET 400ml bottle	PET	25	84	5.3
PE 1 liter milk bottle	High-density PE	38	81	3.8
Glass 750ml bottle	Soda glass	325	15.5	6.7
Al 440ml can	5000 series Al alloy	20	208	9.5

p.202

- aluminium
- staal
- dat hangt af van hoe je het berekent: per kg verpakking of per liter inhoud

(b) Hoeveel energie kost het *per km* om 10000 gevulde 440 ml stalen bierblikjes met een 14-tons truck te vervoeren? Neem voor bier dezelfde dichtheid als voor water (1 kg/liter).

1 gevuld blikje weegt
 $440\text{ g} + 45\text{ g} = 485\text{ g}$
~~10000~~ 10000 gevulde blikjes
 wegen 4.85 ton
 Met een energieverbruik
 van 0.90 MJ/ton.km
 worden we 4.37 MJ/km

- 0.621 MJ/km
- 4.46 MJ/km
- 7.92 MJ/km
- 8.73 MJ/km
- 4.37 MJ/km

Table 6.7 The energy and CO₂ costs of transport

Fuel and vehicle type	Energy (MJ/tonne.km)
Diesel—ocean shipping	0.16
Diesel—coastal shipping	0.27
Diesel—rail	0.31
Diesel—32 tonne truck	0.46
Diesel—14 tonne truck	0.90
Diesel—light goods vehicle	1.36

Probleem 7

Een bepaald materiaal heeft een sterkte (*yield strength*) van 500 MPa wanneer de gemiddelde korrelgrootte 1 μm bedraagt, en 300 MPa wanneer de gemiddelde korrelgrootte 100 μm bedraagt.

(a) Bereken de sterkte voor een zeer grote (oneindig grote) gemiddelde korrelgrootte.

In powerpointslides van Class 3

Hall-Petch relation: $\sigma_y = \sigma_0 + \frac{k}{\sqrt{d}}$

σ_0 en k constanten voor een bepaald materiaal
 d gemiddelde korrelgrootte.

Twee vergelijkingen beschikbaar: $500\text{ MPa} = \sigma_0 + k \times 10^3\text{ m}^{-1/2}$
 $300\text{ MPa} = \sigma_0 + k \times 10^2\text{ m}^{-1/2}$

(b) Bereken de sterkte voor een gemiddelde korrelgrootte van 10 μm .

Aftrekken: $200\text{ MPa} = k \times 900\text{ m}^{-1/2}$, dus $k = \frac{2}{9}\text{ m}^{-1/2}\text{ MPa}$

Dit invullen in een van de twee vergelijkingen levert $\sigma_0 = 278\text{ MPa}$

Na Hall-Petch gebruiken om σ_y uit te rekenen.

(a) voor $d = \infty$ krijgen we $\sigma_y = \sigma_0$

(b) voor $d = 10^{-5}\text{ m}$ krijgen we $\sigma_y = 348\text{ MPa}$

(c) Gegeven is dat de Young's modulus voor het materiaal met een sterkte van 300 MPa gelijk is aan 70 GPa. Wanneer een staaf van dit materiaal 0.5% uitgerekt wordt, vindt er dan plastische vervorming plaats?

$\sigma = E \frac{\Delta l}{l} = (70 \times 10^9\text{ Pa}) \times (5 \times 10^{-3}) = 350\text{ MPa}$.

Dit is groter dan de sterkte (*yield strength*), dus er zal plastische vervorming optreden.

- ja
- nee

Probleem 8

Een auto heeft een massa $m = 1200\text{ kg}$ inclusief bestuurder, en het product $c_d A$, ofwel *drag coefficient* \times frontaal oppervlak, is 0.775 m^2 . De dichtheid van lucht is $\rho_{\text{air}} = 1.29\text{ kg/m}^3$. De auto rijdt met een constante snelheid $v = 72\text{ km/h}$ tegen een helling van 5 % op. In deze situatie is het benodigde mechanische vermogen gegeven door

$$Power = \frac{1}{2} \rho_{air} c_d A v^3 + mg \alpha v,$$

met $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ en α de helling (hier $\alpha = 0.05$). Rolweerstand is hier verwaarloosd.

(a) Bereken het energiegebruik van de auto in kW, uitgaande van een verbrandingsmotor met een efficiency van 25%.

$$\begin{aligned} \text{Mechanisch vermogen is } & \frac{1}{2} \rho_{air} c_d A v^3 + mg \alpha v \\ & = \frac{1}{2} \times 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \left(20 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 + 1200 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.05 \times 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ & = 15.8 \text{ kW}. \end{aligned}$$

15.8 kW

63.1 kW

746 kW

Efficiency van de motor is 25% dus vier maal zoveel motorvermogen nodig \rightarrow 63.1 kW

(b) Stel dat er daarna met constante snelheid gereden wordt op een vlakke weg. Bij welke snelheid is het benodigde mechanische vermogen dan de helft van het mechanische vermogen bij de rit tegen de helling op?

$$\text{Helft van } \overset{\text{mechanisch}}{\text{vermogen}} \text{ is } \frac{15.8 \text{ kW}}{2} = 7.9 \text{ kW}$$

Dit is gelijk aan

$$\frac{1}{2} \rho_{air} c_d A v^3 + 0 = \frac{1}{2} \times 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times v^3$$

$$\text{Hieruit volgt } v^3 = \frac{7900 \text{ W}}{\frac{1}{2} \text{ kg/m}^3} = 15800 \frac{\text{W} \cdot \text{m}}{\text{kg}} = 15800 \frac{\text{m}^3}{\text{s}^3}$$

$$\text{dus } v = 25.1 \text{ m/s}$$

$$v = 90.3 \text{ km/h}$$

31.6 km/h

90.3 km/h

113.7 km/h