

# Tentamen WB6101 – Materiaalkunde I voor WB

## 3 november 2009

- 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.
- **Credits** Alle vraagonderdelen hebben hetzelfde gewicht
- Write your name and student number on the top of each page.
- It is permitted to use formulas, graphs, and data from Ashby's book *Materials and the Environment* and from the *Powerpoint lecture notes*. Other sources may also be used.
- **Credits** All problem items have the same weight

### Potentially useful data

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

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

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

---

### Probleem 1

---

Het hypothetische chemische element xaron (Xa) heeft de fcc kristalstructuur, en de straal van een Xa-atoom is 0.155 nm.

The hypothetical chemical element xaron (Xa) has the fcc crystal structure, and the radius of a Xa-atom is 0.155 nm.

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

(a) Calculate the *lattice constant* of xaron. This is the length of the cube edge of the unit cell.

(b) Het atomaire massagetal van Xa is 128. Bereken de dichtheid van xaron in  $\text{kg/m}^3$ .

(b) The atomic mass number of Xa is 128. Compute the density of xaron in  $\text{kg/m}^3$ .

---

### Probleem 2

---

We vergelijken vijf verschillende verpakkingen voor vloeistoffen: glas, PE, PET, aluminium, en staal.

We compare five different containers for liquids: glass, PE, PET, aluminum, and steel.

(a) Welke verpakking heeft de kleinste *embodied energy*?

(a) Which container has the lowest embodied energy?

(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).

(b) How much energy is required *per km* to transport 10000 filled 440 ml steel beer cans by a 14-tonne truck. Assume that beer has the same density as water (1 kg/litre).

---

### Probleem 3

---

We willen een zo licht mogelijke balk, die minimaal een vereiste buigstijfheid moet hebben.

We want the lightest possible beam that has at least a minimum required bending stiffness.

(a) Gebruik hoofdstuk 12 uit het boek om het optimale materiaal te kiezen uit de volgende kandidaten:

- Polyvinylchloride (tpPVC)
- Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)
- Magnesium alloy
- Carbon fiber reinforced composite (CFRP, Isotropic)

Wanneer de materiaolgegevens als waardengebied gegeven zijn, neem dan de gemiddelde waarde van het gebied.

(b) In plaats van een vierkante balk met een doorsnede van  $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ , en dus met een *second moment of area*  $I$  gelijk aan  $(1/12)\text{ cm}^4$ , nemen we een dunwandige ronde buis, met een buitendiameter  $d = 2\text{ cm}$  en een wanddikte  $w$ . Voor een dergelijke buis geldt  $I = (\pi/16)d^3w$ . Hoe groot moet  $w$  gekozen worden om dezelfde buigstijfheid als de vierkante balk te krijgen?

(a) Use chapter 12 of the book to select the optimum material from the following candidates:

- Polyvinylchloride (tpPVC)
- Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)
- Magnesium alloy
- Carbon fiber reinforced composite (CFRP, Isotropic)

If the materials data are specified as a *range* of values, take the average value of the range.

(b) Instead of a square beam having a cross sectional area of  $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ , and therefore having a *second moment of area*  $I$  equal to  $(1/12)\text{ cm}^4$ , we take a thin-walled round tube with an outside diameter  $d = 2\text{ cm}$  and a wall thickness  $w$ . For such a tube  $I$  is given by  $I = (\pi/16)d^3w$ . How large should  $w$  be chosen to get the same bending stiffness as the square beam?

---

#### Probleem 4

---

Een bepaald materiaal heeft een sterkte (yield strength) van 500 MPa wanneer de gemiddelde korrelgrootte  $1\text{ }\mu\text{m}$  bedraagt, en 300 MPa wanneer de gemiddelde korrelgrootte  $100\text{ }\mu\text{m}$  bedraagt.

(a) Bereken de sterkte voor een gemiddelde korrelgrootte van  $10\text{ }\mu\text{m}$ .

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

(c) Gegeven is dat de Young's modulus voor het materiaal in (b) gelijk is aan 50 GPa. Wanneer een staaf van dit materiaal 0.4% uitgerekt wordt, vindt er dan plastische vervorming plaats?

A certain material has a yield strength of 500 MPa if the mean grain size is  $1\text{ }\mu\text{m}$ , and 300 MPa if the mean grain size is  $100\text{ }\mu\text{m}$ .

(a) Calculate the yield strength for a mean grain size of  $10\text{ }\mu\text{m}$ .

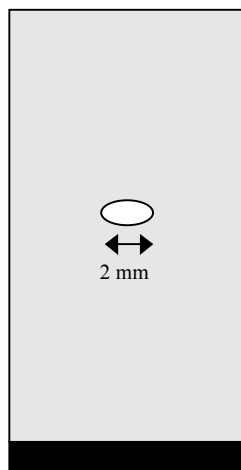
(b) Calculate the yield strength for ery large mean grain size.

(c) The Young's modulus of the material in (b) is 50 GPa. Will there be plastic deformation if a rod of this material is elongated by 0.4%?

---

#### Probleem 5

---



Een rechthoekige Pyrex plaat (borosilicaatglas) met een hoogte van 2 m, een breedte van 1 m en een dikte van 1 mm wordt in de verticale richting belast door er aan de onderkant over de hele breedte een zware strip aan te monteren (zie figuur). De massa van de strip is  $m$ . In de plaat zit een klein defect, een horizontale langwerpige holte over de hele dikte, met een lengte van 2 mm. Wat is de kleinste massa  $m$  die de glasplaat zal doen breken door de aanwezigheid van de holte. Verwaarloos de massa van de glasplaat zelf.

A rectangular Pyrex plate (borosilicate glass) having a height of 2 m, a width of 1 m, and a thickness of 1 mm is vertically loaded by mounting a heavy strip under the plate along the entire width (see figure). The mass of the strip is  $m$ . In the plate there is a small defect, a horizontal elongated cavity across the entire thickness, with a length of 2 mm. What is the smallest mass  $m$  that will let the glass plate fracture because of the presence of the defect? Neglect the mass of the glass plate itself.

---

### Probleem 6

---

Van een personenauto weten het volgende. Hij heeft een benzinemotor met een efficiency van 20 % (warmte  $\rightarrow$  mechanisch). De massa is 1500 kg. Het product  $c_d A$ , ofwel *drag coefficient*  $\times$  frontaal oppervlak, is  $0.775 \text{ m}^2$ . De dichtheid van lucht is  $\rho_{\text{air}} = 1.29 \text{ kg/m}^3$ . Ook is gegeven dat het effectieve mechanische vermogen berekend wordt op basis van een waarde  $d = 500 \text{ m}$  voor de gemiddelde afstand tussen de stops die de auto maakt. Rolweerstand en verplaatsingen over hellingen verwaarloosd mogen worden.

- (a) Bereken het energiegebruik van de auto in MJ/km. Gebruik hiervoor de *power law* fit aan de hele verzameling benzineauto's.
- (b) In het model waarmee het effectieve mechanische vermogen uitgerekend kan worden is sprake van een effectieve snelheid  $v$  van de auto. Bereken deze snelheid.
- (c) Stel dat er constant gereden wordt met de snelheid berekend in (b), zonder te stoppen en op te trekken. Bereken voor deze situatie het benzineverbruik in km per liter. *Tip: je hoeft hiervoor de snelheid berekend in (b) niet eens te weten.*

We know the following about a family car. It has a petrol (gasoline) engine with an efficiency of 20 % (heat  $\rightarrow$  mechanical). The mass is 1500 kg. The product  $c_d A$ , i.e. drag coefficient  $\times$  frontal area, is  $0.775 \text{ m}^2$ . The density of air is  $\rho_{\text{air}} = 1.29 \text{ kg/m}^3$ . We also know that the effective mechanical power is calculated on the basis of a value  $d = 500 \text{ m}$  for the average distance the car moves between stops. Rolling resistance and traveling over sloping roads may be ignored.

- (a) Calculate the energy consumption of the car in MJ/km. Use the *power law* fit to the entire collection of petrol cars.
- (b) The model with which the effective mechanical power can be calculated contains an effective velocity  $v$  of the car. Calculate this velocity.
- (c) Assume that the car moves steadily with the velocity calculated in (b), without stopping or accelerating. Calculate for this case the fuel consumption in km per litre. *Tip: for this you do not need to know the velocity calculated in (b).*