

Tentamen Materiaalkunde
voor studenten (Techn.) Natuurkunde / Minor 'Science for Scientists'
28 Januari 2010, 9.00-12.00 uur

Vermeld naam en studienummer duidelijk op ieder ingeleverd blad. Nummer de ingeleverde bladen en vermeld op blad 1 het totaal aantal ingeleverde bladen.

Opgave 1

- a. Een koper-zink legering, beter bekend als messing, met 50 gewichts-% Zn wordt vanaf 1100 °C langzaam afgekoeld tot 400 °C; zie Figuur 1. Beschrijf op basis van Fig.1 welke fasen achtereenvolgens optreden en specificer hierbij zo nauwkeurig als mogelijk is de temperaturen waarbij een fasentransformatie begint en eindigt en de samenstelling van de fasen die vlak voor en vlak na een overgang aanwezig zijn (vergeet dit laatste niet!).
- b. De stippellijnen in het fasendiagram geven fasengrenzen aan die niet nauwkeurig bekend zijn; neem aan dat ze correct zijn. Van het gebied onder de horizontale stippellijn wordt niet aangegeven welke fase of fasen daar aanwezig is of zijn. Gaat het hier om een 1-fase, 2- of 3-fasen gebied? Leg uit waarom? Geef de naam of de namen van de fase(n) in dat gebied? Het gebied β' eindigt bij 250 °C in 1 punt. Hoe wordt een dergelijk punt in een fasendiagram genoemd? *eutectoid*.
- c. Bereken met de hefboomregel de fracties aan verschillende fasen die bij 200 °C aanwezig zijn bij Cu-Zn legeringen met achtereenvolgens 20, 40, 80 en 90 gewichts-% Zn. (Schrijf hierbij steeds de samenstelling van alle betrokken fasen op.)
- d. Indien een Cu-Zn legering met 20 gewichts-% Zn niet langzaam afgekoeld wordt, is de kans groot dat de vaste stof α die uit de vloeistof gevormd wordt geen homogene samenstelling krijgt, maar dat van binnen naar buiten in de gevormde korrels een verloop van de samenstelling optreedt. Dit effect wordt segregatie ("coring") genoemd. Kun je voor deze Cu-Zn legering aangeven hoe het verloop van de samenstelling van binnen naar buiten in de korrels zal zijn bij snelle stolling? Geef hierbij aan hoe je aan je antwoord komt.

Opgave 2

- a. Een messing (Cu-Zn legering) staaf, met een diameter van 20 mm, wordt evenwijdig aan zijn lange as in trek belast. Door de belasting verandert de diameter van de staaf 5 μm . Bereken de belasting (in Newtons) die op de staaf staat. Ga er daarbij vanuit dat de belasting volledig elastisch is, maar controleer achteraf of dit gerechtvaardigd was. De vloeigrens van het messing is 75 MPa, de elasticiteitsmodulus 97 GPa, de Poissonconstante 0.34.
- b. Welk maximaal gewicht kan (bij benadering) aan de messing staaf gehangen worden voordat plastische vervorming optreedt?
- c. De spanningen worden opgevoerd tot boven de vloeigrens (yield strength) van het messing. Leg uit wat op microscopische schaal in het staal dan gaat plaatsvinden. Bespreek hierbij de rol van kristalvlakken en defecten in het kristalrooster van het staal (bespreek hierbij ook specifiek de invloed van korrelgrenzen).
- d. Noem 2 methoden waarmee het messing harder en sterker te maken is (d.w.z. die de vloeigrens verhogen) en leg uit waarom de toename in sterkte en hardheid optreedt.
- e. Waarom is het belangrijk dat een constructie-materiaal niet alleen voldoende sterk is, maar ook plastisch vervormbaar moet zijn? Bespreek in je uitleg met name de essentiële rol die spanningsconcentraties spelen.

Opgave 3

- a. Geef schematisch (in een grafiekje) weer hoe het soortelijk volume van zuiver SiO_2 glas en van zuiver kristallijn Al_2O_3 (keramiek) verandert als functie van de temperatuur rond hun smelttemperatuur.
- b. Bij keramische materialen opgebouwd uit ionen wordt de wederzijdse omringing van de kationen⁺ en anionen⁻ bepaald door hun relatieve ionstralen, r_K en r_A , respectievelijk. Bereken de minimale en de maximale waarde voor r_K/r_A die gelden voor een 6-voudige omringing zoals bijvoorbeeld optreedt in de veel voorkomende NaCl-type structuren.

- c. Cis 1,4 poly-isopreen is natuurrubber en trans 1,4 poly-isopreen het veel hardere gutta-percha (met veel minder gunstige eigenschappen dan van natuurrubber). Kennelijk kan een beperkte verandering in de molekuulstructuur een grote invloed op de eigenschappen hebben. Geef aan wat het verschil tussen de cis- en trans-structuur is.
- d. Een polymeer heeft de volgende sterk vereenvoudigde (en dus onrealistische) distributie van molecuulmassa's: 30% van het aantal ketens heeft een massa van 300 monomeer-eenheden, 25% van het aantal ketens een massa van 400, 20% een massa van 500, 15% een massa van 600 en uiteindelijk 10% van het aantal ketens een massa van 700. Bereken nu zowel het aantal-gemiddelde molekulgewicht als het gewichtsgemiddelde molekulgewicht (in monomeer-eenheden).
- e. Eigenschappen van kunststoffen kunnen beïnvloed worden door het gemiddelde molekulgewicht. Noem 2 zulke eigenschappen en beschrijf waarom en hoe ze veranderen bij een toename van het gemiddelde molekulgewicht.

Opgave 4

- a. Halfgeleiders worden onderverdeeld in intrinsieke en extrinsieke n- of p-type halfgeleiders. Leg uit wat nodig is om een intrinsieke halfgeleider om te zetten in een n- of een p-type halfgeleider.
- b. Intrinsiek GaAs heeft bij kamertemperatuur (20 °C) een geleidbaarheid van $10^{-6} (\Omega\text{m})^{-1}$. De mobiliteit van de elektronen en de gaten is respectievelijk 0.88 en $0.04 \text{ m}^2/(\text{Vs})$. De eenheidslading = $0.16 \cdot 10^{-18} \text{ C}$ en de 'band gap' van GaAs bedraagt 1.42 eV. Wat is de concentratie elektronen en wat is de concentratie gaten bij deze temperatuur?
- c. Wat is de geleidbaarheid (in $(\Omega\text{m})^{-1}$) van GaAs bij 500 °C? De constante van Boltzmann $k=8.617 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K}$.
- d. De verandering van de elektrische geleidbaarheid als functie van de temperatuur is zeer verschillend voor een metaal en een intrinsieke halfgeleider. Op welke (mathematische) wijze verandert bij beide typen materialen de geleidbaarheid als functie van de temperatuur? Geef de verklaring voor de optredende veranderingen; essentieel daarbij is wat met het aantal vrije elektronen en met de mobiliteit van deze elektronen gebeurt als functie van de temperatuur.
- e. Een metalen draad met een cirkelvormige doorsnede van 3 mm diameter moet een stroom geleiden van 12 A met een spanningsafname die niet groter mag zijn dan 0.01 V per 300 mm draad. Welke van de volgende metalen zijn mogelijke kandidaten hiervoor? De geleidbaarheid in $(\Omega\text{m})^{-1}$ bij 20 °C is: Ag: $6.8 \cdot 10^7$, Cu: $6.0 \cdot 10^7$, Au: $4.3 \cdot 10^7$, Al: $3.8 \cdot 10^7$, Fe: $1.0 \cdot 10^7$, Pt: $0.94 \cdot 10^7$.

Opgave 5

Hieronder (Figuur 2) is een 'Ashby map' weergegeven, waarin de stijfheid (Young's modulus E) uitgezet is tegen de dichtheid (ρ) van materialen. We willen een as van een turbine ontwerpen met een zo laag mogelijk gewicht. Als de as onder torsie wordt belast en het ontwerp voldoende stijf moet zijn, voldoen die materialen het best die een zo groot mogelijke waarde voor $E^{0.5}/\rho$ hebben. Als de as onder trek wordt belast voldoen die materialen het best die een zo groot mogelijke waarde voor E/ρ hebben. We hebben de keuze uit aluminiumlegeringen, titaanlegeringen en staal.

- a. Hoe verhouden zich de prestaties van de 3 materialen onder torsie? Motiveer je antwoord.
- b. Hoe verhouden zich de prestaties van de 3 materialen onder trek? Motiveer je antwoord.
- c. Bereken de shape-factor bij torsie van een massieve as met straal R en van een holle as met uitwendige straal r_0 en wanddikte t, waarbij geldt $t \ll r_0$. De shape-factor is gedefinieerd als $\phi_t^e = 2\pi J/A^2$ waarin $J = \int r^2 dA$ met r de afstand tot de rotatie-as bij torsie en A het materiaaloppervlak in de doorsnede (en dA dus infinitesimaal kleine delen van het oppervlak). Voor welke waarde van t ten opzichte van r_0 heeft de shape-factor voor de holle as een waarde 10?
- d. De aluminium-as heeft een massieve ronde doorsnede. Met welke shape factor moet staal toegepast worden om ongeveer dezelfde prestaties bij torsie als het aluminium te krijgen? Leg uit, op basis van Fig.2, hoe je aan je antwoord komt. Geef schematisch weer hoe de vorm van de doorsnede van het staal er dan uit zou moeten zien.
- e. Is een shape factor van belang bij trekbelasting? Leg uit waarom wel of waarom niet.

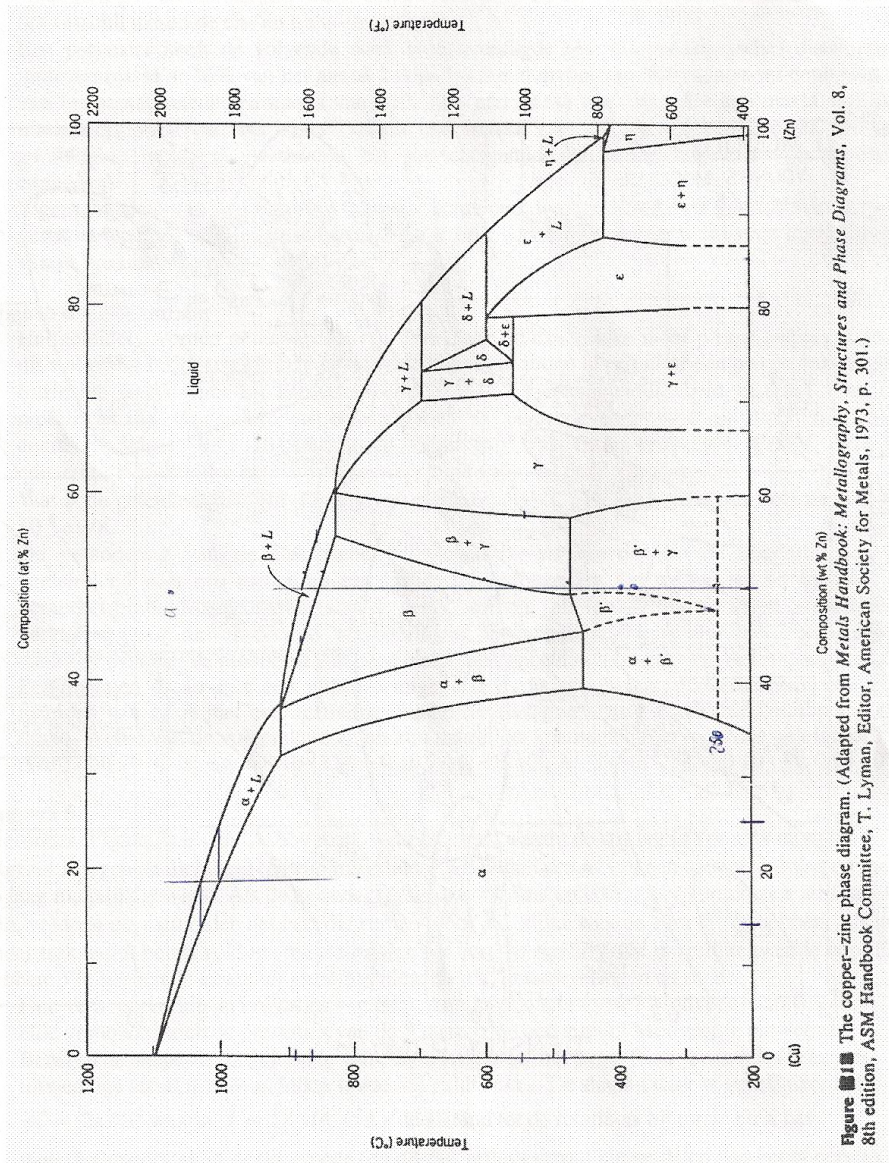
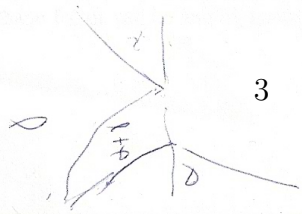
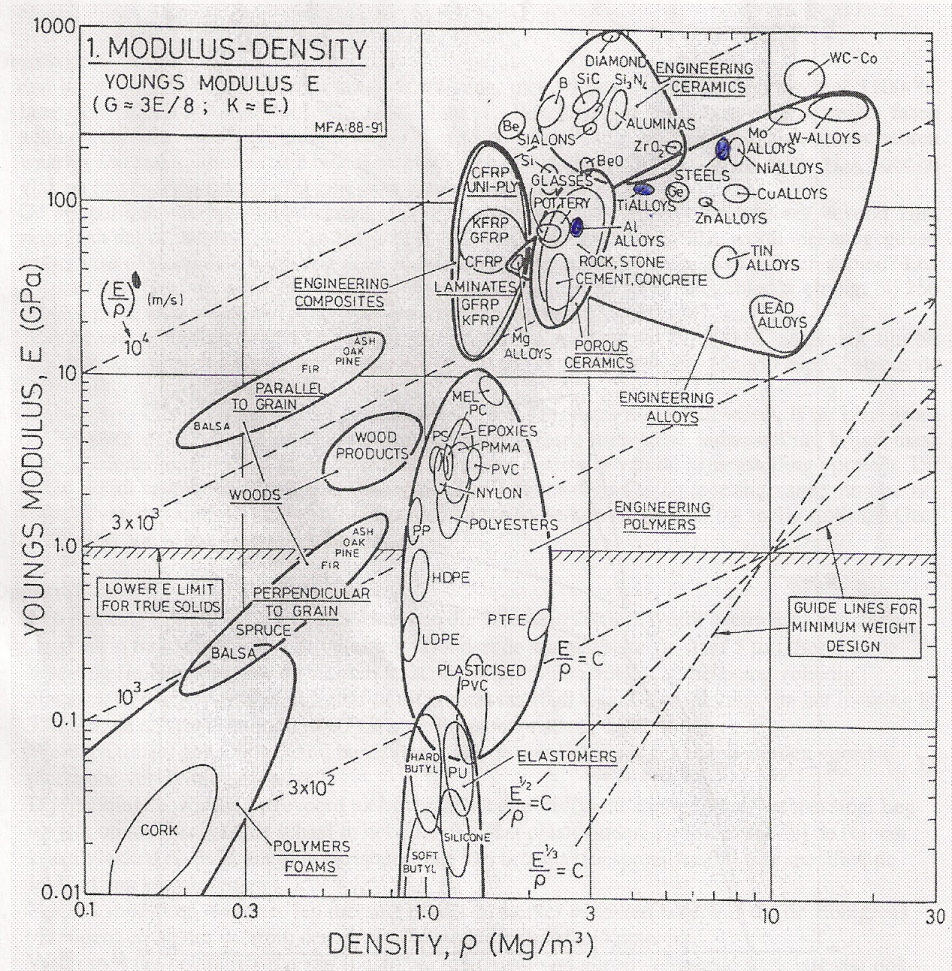


Figure 1 The copper-zinc phase diagram. (Adapted from *Metals Handbook: Metallurgy, Structures and Phase Diagrams*, Vol. 8, 8th edition, ASM Handbook Committee, T. Lyman, Editor, American Society for Metals, 1973, p. 301.)

Figuur 1





Figuur 2