

**Tentamen Materiaalkunde (en Ontwerpen)  
voor studenten Technische Natuurkunde  
21 augustus 2003, 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 200 °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 dan betrokken 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 stippelijlijn 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? Heb je een idee welke naam de fase heeft of welke namen de fasen hebben in dat gebied? Het gebied  $\beta'$  eindigt bij 250 °C in 1 punt. Hoe wordt een dergelijk punt in een fasendiagram genoemd?
- c. Bereken met de hefboomregel de frakties 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  $\alpha$  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  $\mu\text{m}$ . 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 Poissonkonstante 0.34.
- b. 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 defekten in het kristalrooster van het staal (bespreek hierbij ook specifiek de invloed van korrelgrenzen).
- c. 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..
- d. 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. In kunststoffen (plastics) is niet sprake van een molecuul met 1 gewicht, maar treedt een verdeling over molekulgewichten op. Stel we hebben de volgende sterk vereenvoudigde (en dus onrealistische) distributie: 60% van het aantal ketens heeft een massa van 100 (monomeer-eenheden), 30% van het aantal ketens een massa van 1000 en uiteindelijk 10% van het aantal ketens een massa van 10000. Bereken nu zowel het aantalgemiddelde molekulgewicht als het gewichtsgemiddelde molekulgewicht (in monomeer-eenheden).

- Een belangrijk verschijnsel bij polymeren is de glasovergang. Wat gebeurt er bij deze overgang met het gedrag van het polymeer en hoe wordt het materiaal(-gedrag) onder en boven de glasovergang genoemd?
- Schets in een diagram waarin de spanning tegen de rek uitgezet is de typische krommen die gemeten zullen worden bij kamertemperatuur voor twee amorf polymeren, waarbij een de glasovergangstemperatuur boven en de andere de glas-temperatuur beneden kamertemperatuur heeft.
- Natuurlijk treedt de glasovergang ook bij gewoon glas (laag moleculair-gewicht ten opzichte van polymeren) op en geeft dan de overgang van vast naar vloeibaar aan. Teken in een figuur hoe het verband tussen het soortelijk volume en de temperatuur er uitziet rond het smeltpunt voor glas en voor een kristallijn materiaal.
- Gerelateerd aan de maximale spanning die in het materiaal optreedt, is keramisch materiaal sterker bij buiging dan bij trek. Leg uit waarom dat zo is.

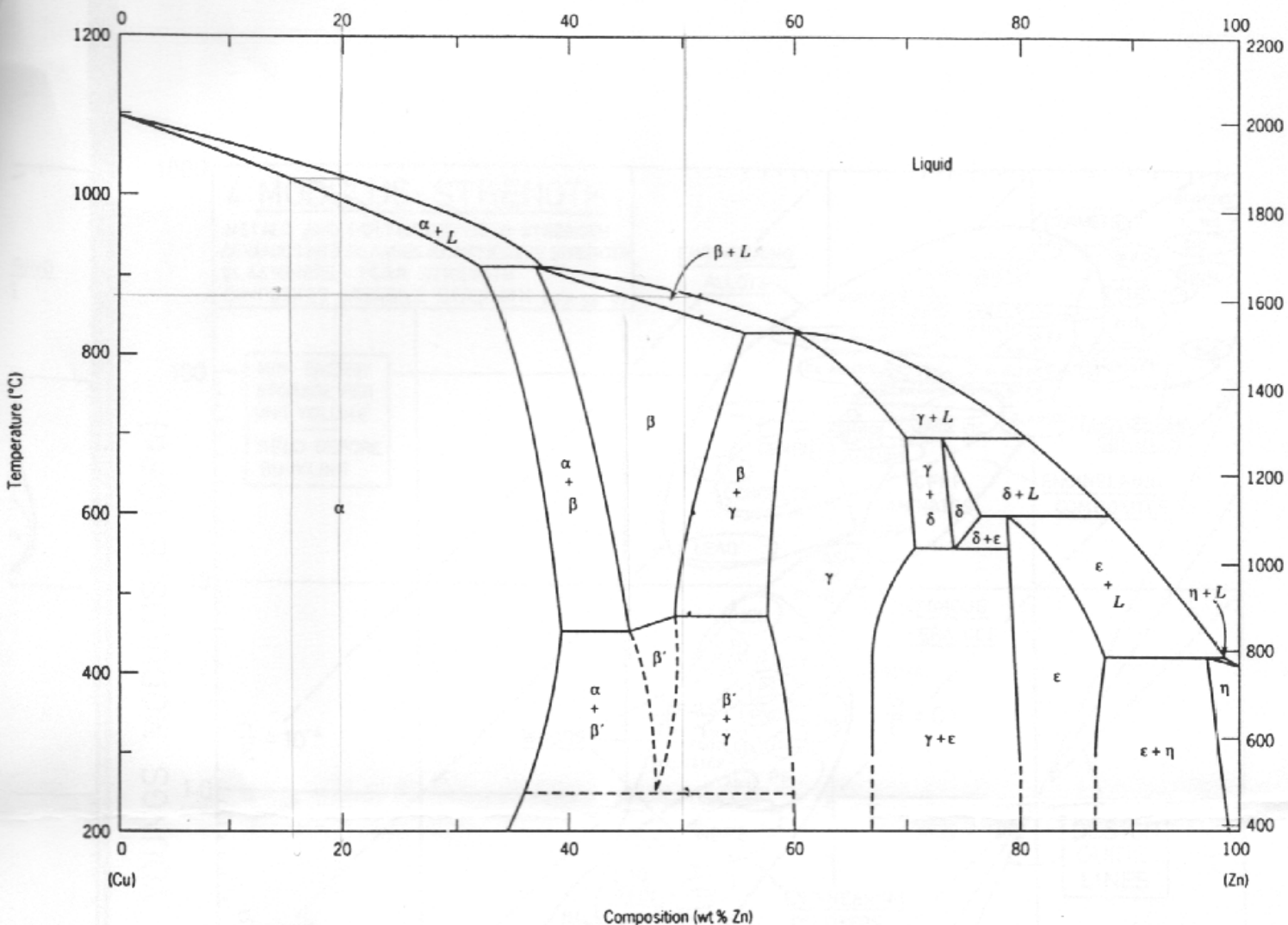
#### Opgave 4

- 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 in Tabel 1 vermelde metalen zijn mogelijke kandidaten hiervoor?
- De verandering van de elektrische geleidbaarheid als functie van de temperatuur is zeer verschillend voor metalen en (intrinsieke) halfgeleiders. 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.
- Intrinsiek GaAs heeft bij kamertemperatuur 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 =  $0.16 \cdot 10^{-18} \text{ C}$ . Wat is de concentratie elektronen en wat is de concentratie gaten bij deze temperatuur?
- Beschrijf beknopt maar volledig de (verschillende) magnetische gedragingen van dia-, para- en ferro-magneten. Voor de fysische oorsprong van het magnetisme is een beschrijving waarin elektronen vermeld worden essentieel, maar daarnaast moet voor een volledig antwoord de schaal vergroot worden, zodat het gedrag van grote groepen atomen ook in ogenschouw genomen wordt.
- Magneten die op grote schaal toegepast worden zijn ferro-magneten. Deze magneten kunnen worden onderverdeeld in harde en zachte magneten. Leg uit wat het verschil is tussen beide typen magneten (maak hierbij gebruik van de hysteresis- kromme waarbij de magnetisatie van de ferromagneet tegen het aangelegde magnetische veld is uitgezet) en geef typische toepassingen voor beide typen magneten.

#### Opgave 5

Welk materiaal is geschikt om polsstokken van te maken? In de begintijd waren polsstokken van hout (bamboe), later ook van staal en aluminium (holle buis natuurlijk), maar wat is op het moment de beste keuze? Een internationale standaard legt de maximale lengte en doorsnede van de polstok vast. Bij gebruik wordt de polstok in het eerste gedeelte van de vlucht elastisch gebogen, waarbij de opgeslagen energie in het tweede gedeelte aan de springer wordt overgedragen om deze zo hoog mogelijk te brengen. Het beste materiaal voor de polstok moet dus maximale elastische energie kunnen opnemen en weer afgeven.

- Geef de performance index die geldt voor de elastische energie (d.w.z. geef de formule voor de elastische energie op basis van materiaaleigenschappen; je kunt hem eventueel makkelijk zelf afleiden).
- Gebruik de Ashby Map gegeven in Fig.2 om nu te bepalen welke materialen geschikt kunnen zijn voor een polstok. Noem een aantal verschillende materialen die mogelijk geschikt zijn.
- Een belangrijk punt is dat de stok ook licht van gewicht moet zijn. Geef aan welke materialen die je bij b. genoemd hebt nu beter of slechter voldoen.

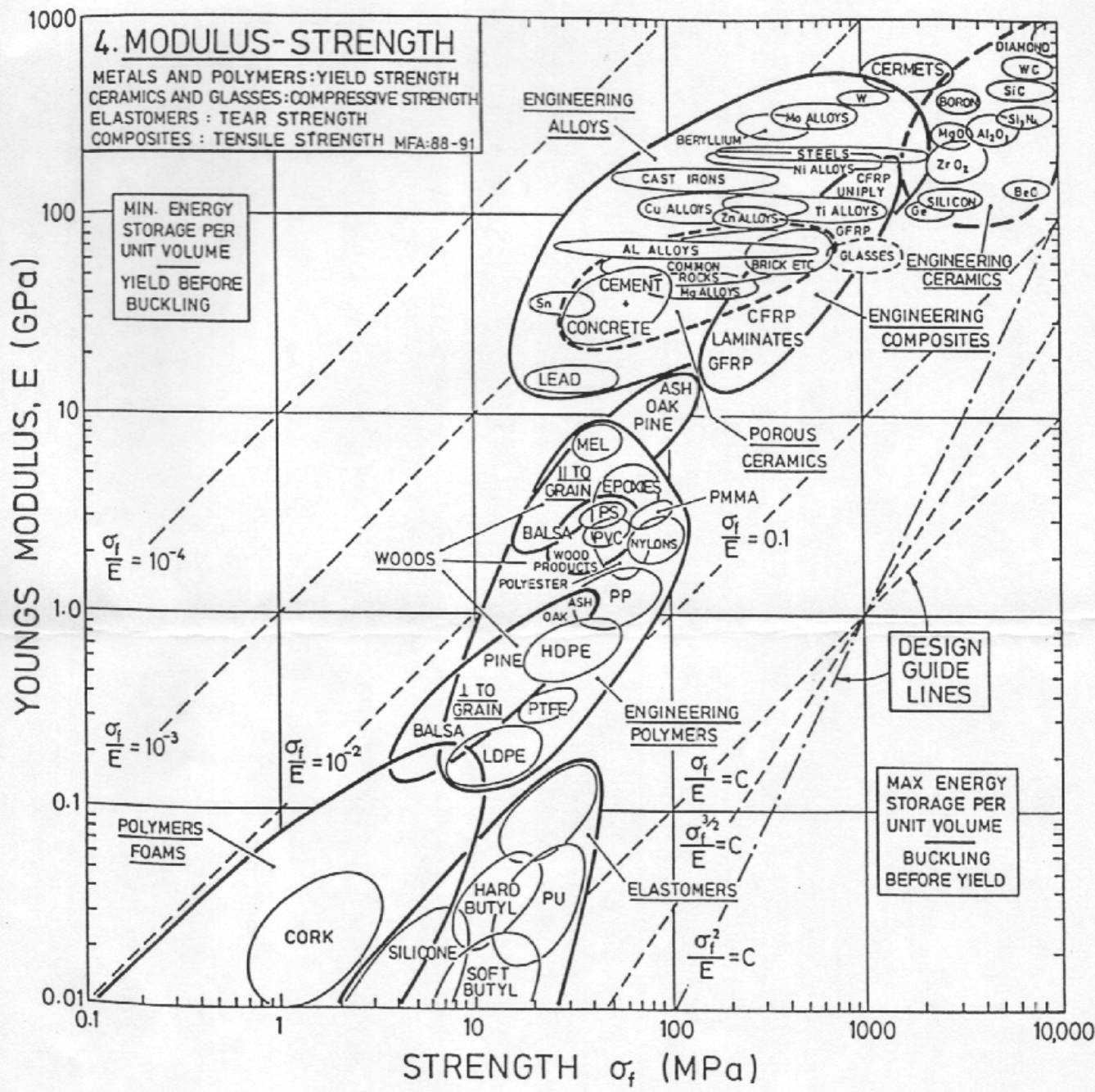


Composition (wt % Zn)

**Figure 11** The copper-zinc phase diagram. (Adapted from *Metals Handbook: Metallography, Structures and Phase Diagrams*, Vol. 8, 8th edition, ASM Handbook Committee, T. Lyman, Editor, American Society for Metals, 1973, p. 301.)

**TABLE 1** Room-Temperature Electrical Conductivities for Eight Common Metals and Alloys

| Metal               | Electrical Conductivity<br>[( $\Omega\cdot m$ ) <sup>-1</sup> ] |
|---------------------|---|
| Silver              | $6.8 \times 10^7$   |
| Copper              | $6.0 \times 10^7$   |
| Gold                | $4.3 \times 10^7$   |
| Aluminum            | $3.8 \times 10^7$   |
| Iron                | $1.0 \times 10^7$   |
| Brass (70 Cu-30 Zn) | $1.6 \times 10^7$   |
| Plain carbon steel  | $0.6 \times 10^7$   |
| Stainless steel     | $0.2 \times 10^7$   |



**2**  
 FIG. 2 Chart 4: Young's modulus,  $E$ , plotted against strength  $\sigma_f$ . The design guide lines help with the selection of materials for springs, pivots, knife edges, diaphragms and hinges; their use is described in Chapters 5 and 6.