

**Tentamen Materiaalkunde  
voor studenten (Technische) Natuurkunde  
2 Februari 2006, 14.00-17.00 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 (zie Fig.1)**

- a. Wat is de fraktie austeniet ( $\gamma$ ) in een legering met de eutectische samenstelling (i.e. 4.3 gewichtsprocenten C) bij 1147 °C en wat is de samenstelling van dit austeniet?
- b. Wat is de fraktie ferriet ( $\alpha$ ) in een legering met de eutectoïdische samenstelling (i.e. 0.77 gewichts-% C) bij 726 °C en wat is de samenstelling van dit ferriet?
- c. Welke fraktie van staal met 0.5 gewichts-% C bezit na afkoelen de perlietische structuur en wat is de fractie pre-eutectoïdisch ferriet? Laat zien hoe je aan je antwoorden komt.
- d. Hoe hoger de afkoelsnelheid bij de overgang van austeniet naar perliet des te dunner worden de lamellen waarin afwisselend ferriet en cementiet voorkomen. Leg uit welke twee factoren hier aan ten grondslag liggen.
- e. In plaats van de normale structuur van perliet met lamellen kan ook een zachtere structuur verkregen worden (geschikt voor b.v. dieptrekken) waarin bolletjes ('spheroids') cementiet in een  $\alpha$ -matrix voorkomen. Op welke wijze moet perliet gegloeid worden om deze structuur te verkrijgen en wat is de rede dat deze structuur dan ontstaat?
- f. Bij nog snellere afkoeling naar kamertemperatuur (of lager) van austeniet ontstaat een metastabiele fase die we martensiet noemen. Wat gebeurt er met de structuur als martensiet gevormd wordt en waarom kan verwacht worden dat dit martensiet heel hard (en ook bros) is? (Gebruik hierbij ook informatie uit Fig.1.)

**Opgave 2**

Gepatenteerd staal draad heeft een ongekend hoge treksterkte van 1800 MPa en wordt o.a. gebruikt in liftkabels, pianosnaren en als wapening in voorgespannen gewapend beton. De elasticiteitsmodulus (Young's modulus) is 210 GPa. Een kabel van dit staal wordt in een brugconstructie gebruikt. De lengte is 100 m. en de belasting is 400000 kg (400 ton); dat is evenveel als een Boeing 747 die volgeladen en volgetankt is. Als veiligheidsfactor bij belasting nemen we de waarde 2.

- a. Reken uit bij welke belasting, uitgedrukt in gewicht in kg, dit draad met een sterkte van 1800 MPa breekt als de doorsnede van het draad een oppervlak van 1 cm<sup>2</sup> heeft.
- b. Welke diameter moet de kabel in de brug krijgen?
- c. Hoeveel rekt de kabel o.i.v. de belasting uit?
- d. Maak een schatting met welk percentage de diameter van de draad afneemt door de trekbelasting en verklaar hoe je aan je antwoord komt.
- e. Geef twee verschillende manieren om een metaal, zonder verandering van van samenstelling, te verstevigen (harder te maken). Leg in het kort uit waarom het materiaal verstevigd. Bepaalde typen defecten spelen hierbij een belangrijke rol. Beschrijf deze defecten en bespreek hun rol.

**Opgave 3**

- a. Als maat voor de stijfheid geldt de (logaritme van de) relaxatie-modulus  $E_r = \sigma(t)/\epsilon_0$ , met  $\sigma(t)$  de tijdsafhankelijke spanning beschouwd voor een zekere tijd  $t$  en  $\epsilon_0$  de opgelegde rek. Hoe ziet schematisch het verband tussen  $\log(E_r)$  en de temperatuur  $T$  er dan uit voor:  
(i) een amorf polymeer, (ii) een gedeeltelijk kristallijn polymeer en (iii) een thermoharder?  
Teken het verloop van  $\log(E_r)$  versus  $T$  in één figuur (om onderling vergelijk goed mogelijk te maken) en geef korte verklaringen voor het karakteristieke verloop dat in de 3 gevallen optreedt.
- b. Noem 2 manieren waarmee de smelttemperatuur van polymeren verhoogd kan worden?

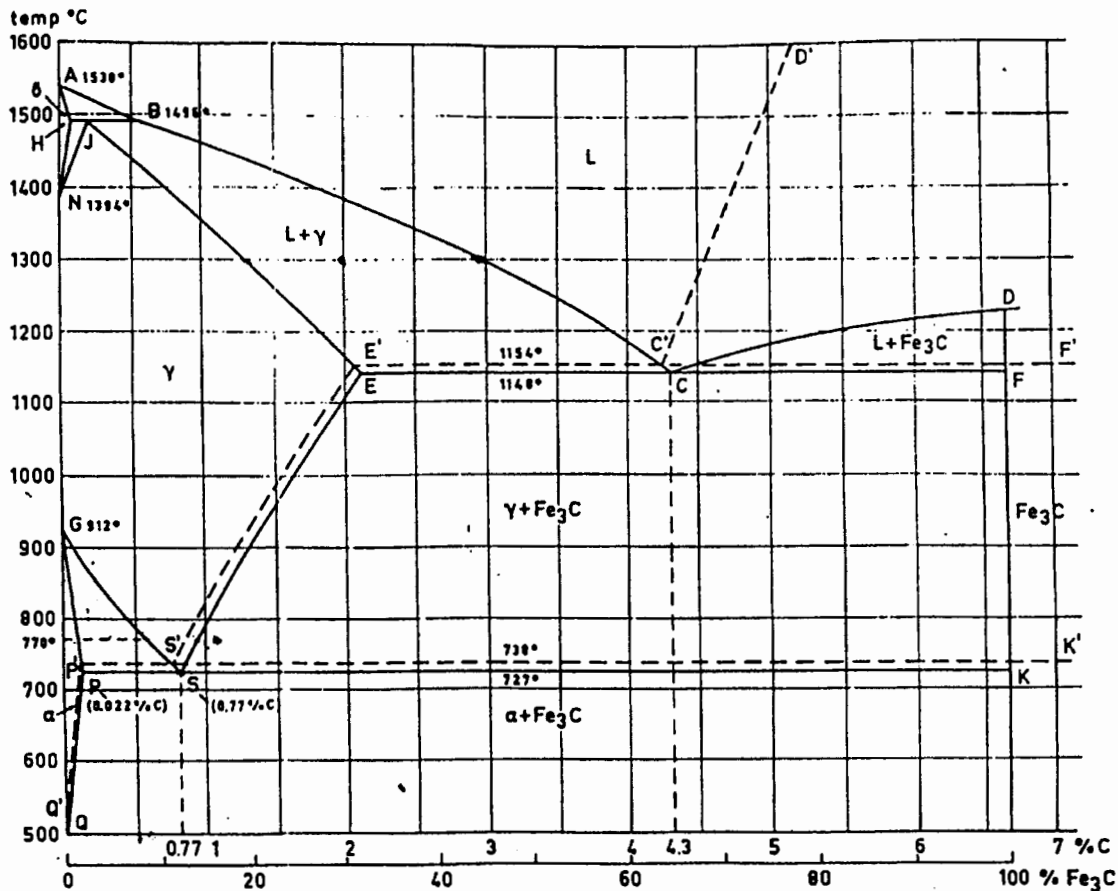


Figure 1. Het Ijzer-koolstofdiagram.

- c. Aan welke voorwaarde moeten de moleculen in een polymeer voldoen, zodat zij een kristallijne structuur kunnen vormen?
- d. De verhouding van de cation : anionstraal in MgO is 0.464 : 1. Heeft Mg een omringing met 6 of 8 naaste-buur atomen van zuurstof? Laat d.m.v. berekeningen zien hoe je aan je antwoord komt.

#### Opgave 4

- Zuiver koper heeft bij 20 °C een geleidbaarheid van  $6.0 \cdot 10^7 \text{ } (\Omega\text{m})^{-1}$ . Zuiver zilver van  $6.8 \cdot 10^7 \text{ } (\Omega\text{m})^{-1}$ .
- a. Bepaal bij benadering de geleidbaarheid van Cu bij 170 °C. Verklaar waarom de gegeven verandering van de geleidbaarheid optreedt.
  - b. Het Cu wordt verontreinigd met 2 at.% Ag. Wordt de geleidbaarheid van de legering beter of slechter dan van zuiver Cu? Motiveer je antwoord.
  - c. Intrinsiek GaAs heeft bij kamertemperatuur ( $T_K$ ) een geleidbaarheid van  $10^{-6} \text{ } (\Omega\text{m})^{-1}$ . De mobiliteit van de elektronen en de gaten is resp. 0.88 en  $0.04 \text{ m}^2/(\text{Vs})$ . De eenheidslading =  $0.16 \cdot 10^{-18} \text{ C}$ , het getal van Avogadro  $N_{Av} = 6 \cdot 10^{23} \text{ } (\text{mol})^{-1}$  en de konstante van Boltzmann  $k = 8.617 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K}$ . Wat is de concentratie geleidingselektronen en wat is de concentratie gaten bij deze temperatuur?
  - d. De geleidbaarheid van GaAs bij 500 °C is  $10 \text{ } (\Omega\text{m})^{-1}$ . Wat is de grootte van de bandgap van GaAs (als je aanneemt dat de mobiliteit niet significant verandert tussen  $T_K$  en 500 °C). Als je dit niet kunt uitrekenen, schrijf dan in ieder geval op wat je weet van de verandering van de geleiding van een halfgeleider als functie van de temperatuur; d.w.z. welke verandering treedt op en waarom?
  - e. Halfgeleiders kunnen luminiscentie vertonen; een verschijnsel dat in LEDs (Light Emitting Diodes) gebruikt wordt. Welk proces veroorzaakt luminiscentie. Geef schematisch weer hoe een LED er (eenvoudig) uitziet en bespreek de werking van de door je weergegeven LED.

## Opgave 5

Hieronder is een 'Ashby map' weergegeven, waarin de stijfheid (Young's modulus  $E$ ) uitgezet is tegen de dichtheid ( $\rho$ ) van materialen. Voor een dunne staaf die belast wordt onder druk is knikken van de staaf de beperkende factor. Indien de staaf wat betreft gewicht zo licht mogelijk ontworpen moet worden, voldoen die materialen het best die een zo groot mogelijke waarde voor  $E^{0.5}/\rho$  hebben. Voor een dunne staaf die onder trek wordt belast voldoen die materialen het best die een zo groot mogelijke waarde voor  $E/\rho$  hebben. We hebben vurenhout (parallel aan de vezel), een aluminiumlegering en staal.

- Hoe verhouden zich de prestaties van de 3 materialen onder druk? Motiveer je antwoord.
- Hoe verhouden zich de prestaties van de 3 materialen onder trek? Motiveer je antwoord.
- Bereken de 'shape factors' bij buiging van een massieve en holle vierkante balk, waarbij in het laatste geval de wanddikte veel kleiner is dan de breedte(=hoogte) van de balk. De shape factor is gedefinieerd als  $\phi_T^e = 4\pi I_{xx}/A^2$  waarin  $I_{xx} = \int y^2 dA$  met  $y$  de afstand tot de buigas en  $A$  het materiaaloppervlak in de doorsnede (en  $dA$  dus infinitesimaal kleine delen van het oppervlak).
- Hout (parallel aan de vezel) heeft een massieve (ronde) doorsnede. Met welke shape factor moet staal toegepast worden om ongeveer dezelfde eigenschappen onder druk als dit hout 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 kunnen zien.
- Welke rol speelt de vorm van de doorsnede en dus een shape factor bij trekbelasting?

