

**Tentamen Materiaalkunde en Ontwerpen
voor studenten Technische Natuurkunde
21 maart 2001, 9.00-12.00 uur**

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

Opgave 1

- a. Vloeistoffen en amorfe vaste stoffen vervormen viskeus en polymeren vertonen visco-elastisch gedrag bij een mechanische belasting. Hoe verloopt de rek als functie van de tijd bij elastisch, viskeus en visco-elastisch gedrag als op tijdstip t_0 een belasting aangebracht wordt die constant gehouden wordt en op tijdstip t_1 weer weggenomen wordt? Geef het gedrag schematisch in grafiekjes weer en laat hierbij ook zien wat er na tijdstip t_1 nog gebeurt.
- b. Welke defecten spelen een essentiële rol bij plastische vervorming van kristallijne materialen? Geef schematisch weer hoe een dergelijk defect er uit kan zien.
- c. De spanning waarbij de overgang van elastisch naar plastisch gedrag optreedt (de vloeigrens) kan in kristallijne materialen beïnvloed worden. Beschrijf tenminste drie mogelijkheden om de vloeigrens te verhogen en geef aan waarom de vloeigrens hierbij verhoogd wordt.
- d. Voor een éénkristal van fcc (kubisch vlakken gecentreerd) koper dat in een $\langle 111 \rangle$ richting met een eenassige trekproef belast wordt, blijkt de vloeigrens bij 147 MPa te liggen. Wat is de critical resolved shear stress van Cu? Bedenk hierbij dat het glijstelsel van Cu $\langle 110 \rangle \{111\}$ is.
- e. Stel dat we het éénkristal van opgave 1.d heroriënteren, zodat de trekspanning nu langs een $\langle 100 \rangle$ richting werkt. Wat is in dit geval de vloeigrens van het éénkristal? De 'yield strength' hangt dus sterk af van de oriëntatie van het kristal. Waarom kan voor constructiematerialen toch met één waarde voor de vloeigrens worden volstaan?
- f. De meeste metalen die bij relatief lage temperaturen (lager dan 50°C) plastisch vervormd worden, kunnen een zogenaamde rekristallisatie ondergaan. Geef voor het rekristallisatieproces kwalitatief het verband tussen de mate van plastische vervorming, de minimum rekristallisatietemperatuur en de resulterende korrelgrootte.
- g. Geef een reden waarom de plastische vervormbaarheid van een kristallijn keramisch materiaal als magnesium- of aluminium-oxide zoveel kleiner is dan van een willekeurig metaal. Noem enkele positieve eigenschappen die in het algemeen gelden voor keramische materialen.
- h. Materialen met een beperkte vervormbaarheid hebben meestal een heel lage 'fracture toughness'. Leg uit waarom dat zo is. Toch kan een materiaal met een lage fracture toughness onder ideale omstandigheden een hoge treksterkte hebben. Onder welke ideale omstandigheid is dat het geval?
- i. De stijfheid (relaxatie- of kruip-modulus) van de meeste polymeren varieert zeer sterk binnen een relatief klein temperatuur-interval (typisch binnen 200°C). Een amorf polymeer als polystyreen of PVC vertoont bij twee verschillende temperaturen een zeer sterke verandering van de stijfheid. Hoe worden deze twee overgangen genoemd en wat verandert er in het gedrag van de polymeerketens bij deze overgangen?
- j. Beschrijf hoe de structuur van het polymeer van opgave 1.i aangepast moet worden om één van de twee overgangen (welke dan?) te laten verdwijnen.

Opgave 2

Zie het Fe-C fasendiagram in Fig.1.

- a. Beschrijf de kristallografische structuren van ferriet, austeniet, cementiet.
- b. Bepaal de fracties van austeniet (γ) en cementiet in een 98.5wt.%Fe-1.5wt.%C staal bij 1000°C , 728°C en 726°C .
- c. Welke fractie van 1020 staal, dat 0.20 gewichtspercentage koolstof bevat, bestaat bij 726°C uit een perlitische structuur?
- d. Wat is de laagst mogelijke temperatuur voor puur austeniet van 1020 staal?
- e. Bij welke temperatuur zal dit 1020 staal 1/3 austeniet en 2/3 ferriet bevatten en bij welke temperatuur 2/3 austeniet en 1/3 ferriet?

Opgave 3

- 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.
- 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 eenheid van lading = $0.16 \cdot 10^{-18} \text{ C}$, het getal van Avogadro $N_{\text{Av}}=6 \cdot 10^{23} (\text{mol})^{-1}$ en de constante van Boltzmann $k=8.617 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K}$. 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.
- 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 en geef typische toepassingen voor beide typen magneten.

Opgave 4

In Fig.2 is een zogenaamde Ashby map weergegeven, waarin de stijfheid (Young's modulus E) uitgezet is tegen de dichtheid (ρ) van materialen. Voor een dunne staaf onder een uniaxiale drukbelasting is knikken van de staaf de beperkende factor. Indien de staaf zo licht mogelijk ontworpen moet worden, dient $\sqrt{E/\rho}$ maximaal te zijn. Voor een dunne staaf onder een uniaxiale trekbelasting dient de verhouding E/ρ gemaximeerd te worden. We hebben de keuze uit vurenhout (parallel to grain), een aluminium-legering en staal.

- Hoe verhouden zich de prestaties van de 3 materialen onder trek? Motiveer je antwoord.
- Hoe verhouden zich de prestaties van de 3 materialen onder druk? Motiveer je antwoord.
- Stel we hebben een stalen staaf met een shape factor 10 en vurenhout met een shape factor 1. Hoe verhouden zich nu de prestaties van beide materialen onder druk? Motiveer je antwoord met behulp van Fig.2 en lever Fig.2 met naam en studienummer in.
- Geef een voorbeeld hoe de doorsnedes van de staven die onder druk worden belast eruit kunnen zien met een shape factor van ongeveer 10 en één met een factor van ongeveer 1.
- Als geëist wordt dat een materiaal, behalve licht, tevens goedkoper en sterker dan bepaalde waarden moet zijn, kan een probleem optreden. Op welke wijze kan een optimale materiaalkeuze gemaakt worden die aan alle doelstellingen tegelijk voldoet, d.w.z. welke procedure zou gevolgd moeten worden waarbij alle materialen beoordeeld (onderling vergeleken) kunnen worden met één bepaald eindcijfer voor hun prestatie?

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

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

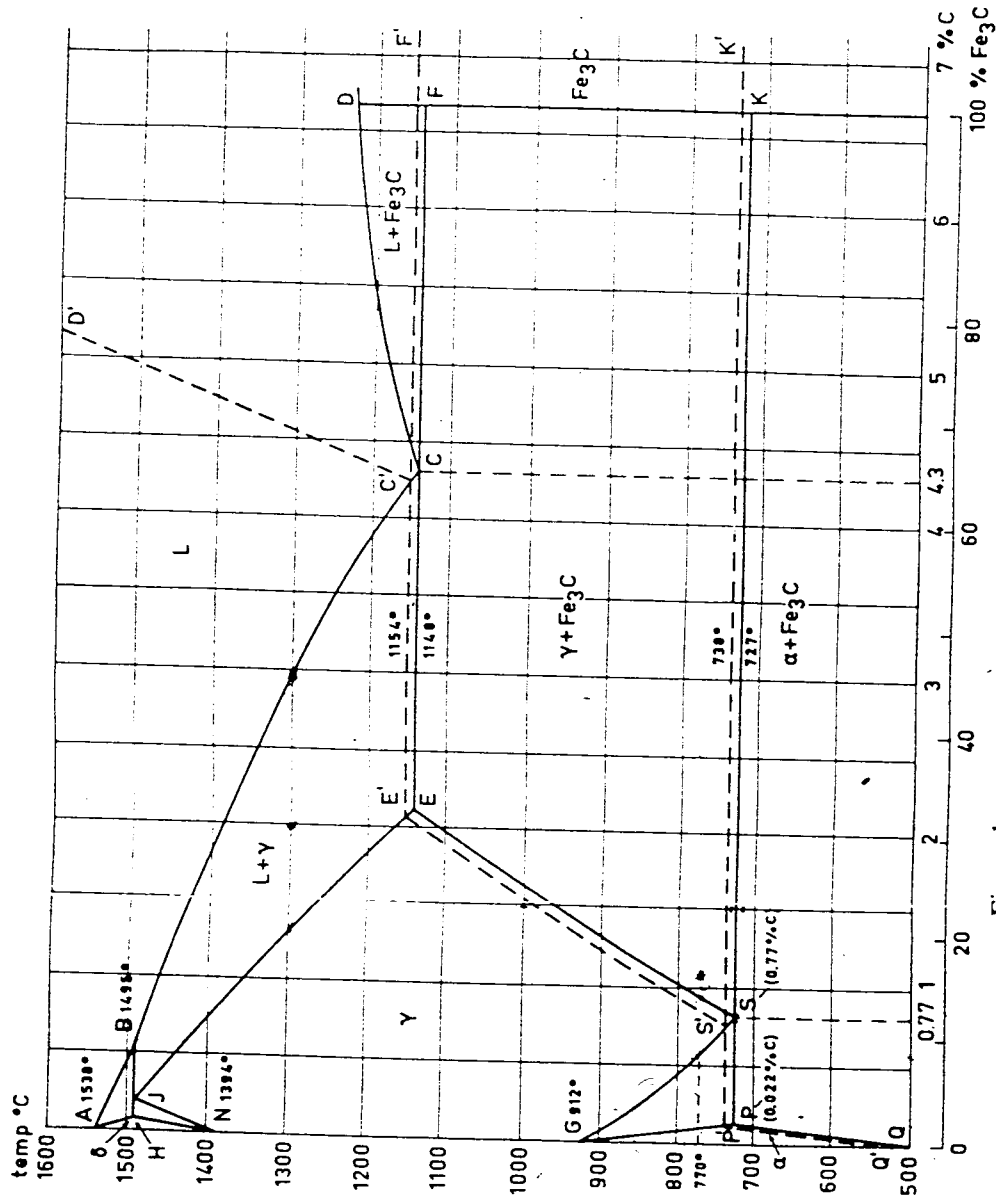
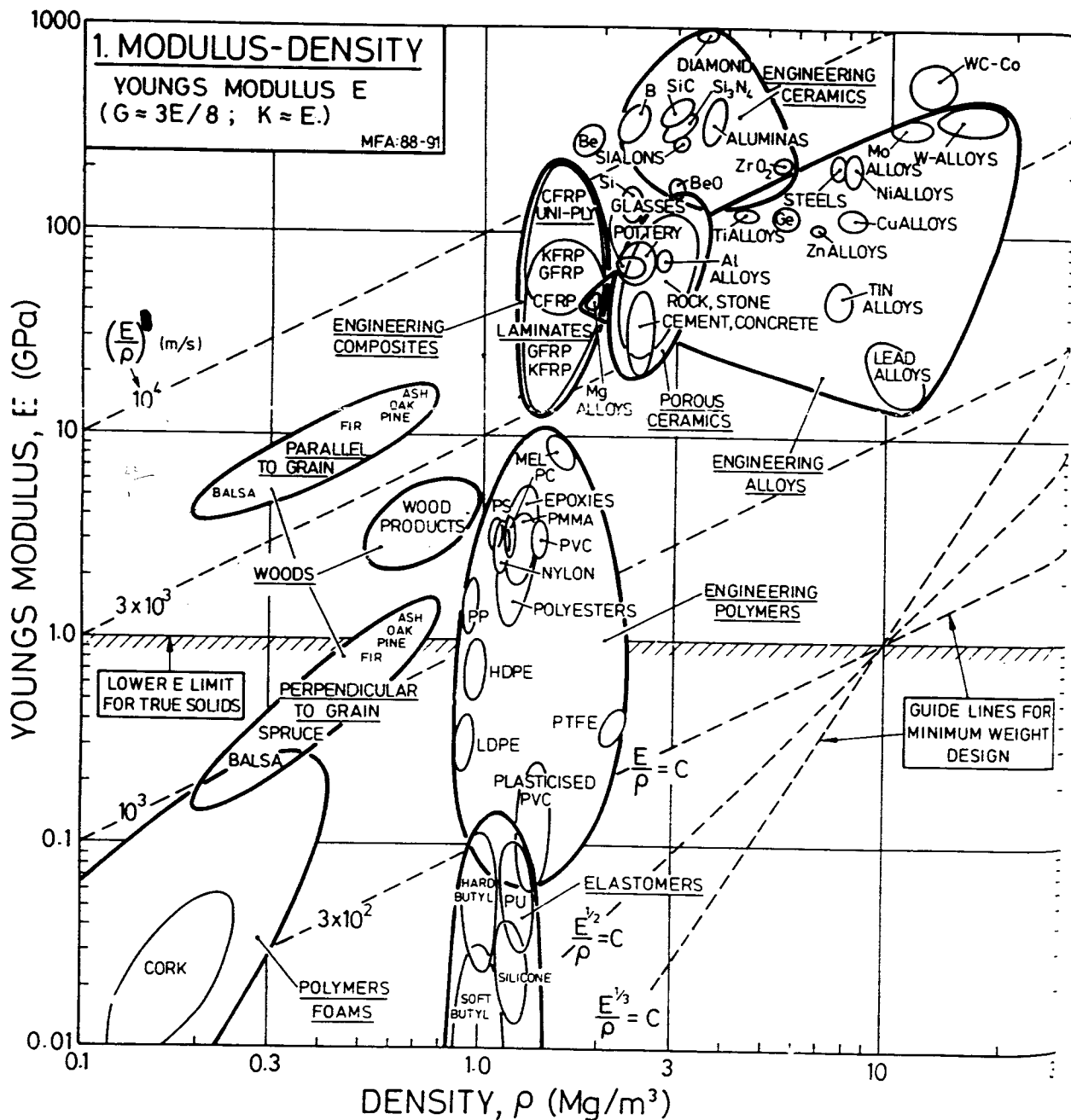


Figure 1. Het IJzer-koolstofdiagram.



2

Fig. 1 Chart 1: Young's modulus, E , plotted against density, ρ . The heavy envelopes enclose data for a given class of material. The diagonal contours show the longitudinal wave velocity. The guide lines of constant E/ρ , $E^{1/2}/\rho$ and $E^{1/3}/\rho$ allow selection of materials for minimum weight, deflection-limited, design.

weak
 leavin
 molec
 displa
 The
 0.01 C
 from l
 to rev
 shear
 (for w
 The
 materi
 to (E/ρ)
 materi
 wave s
 ceram
 quickl
 low bo
 across
 made
 The
 weigh
 are dr
 mater

The s
 The
 polyn
 been
 is the
 comp
 mater
 tear s
 less, l
 Fig
 failur
 of the
 alloy
 cluste
 area
 The
 decad
 10⁴ M
 impos
 stress
 involv
 does
 locali
 shear
 energ
 Very l
 far low
 fractur