

**Tentamen Materiaalkunde en Ontwerpen
voor studenten Technische Natuurkunde
9 juni 1998, 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

In het ontwerp van materialen voor toepassingen bij hoge temperatuur, bijvoorbeeld turbine-bladen moet rekening worden gehouden met de verandering van zowel de Young's modulus (E), de thermische uitzettingscoëfficiënt en de mogelijk optredende plastische vervormingen.

- a. De E-modulus van Cu gaat van 110 MPa bij 20 °C naar 107 MPa bij 50 °C. De thermische uitzettingscoëfficiënt α is $17 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Wat is de verandering van de totale lengte van een staaf van 1.5 meter lengte als de mechanische spanning constant wordt gehouden op 165 MPa in het elastische gebied en de temperatuur toeneemt van 20 °C tot 50 °C?
- b. Veronderstel dat de mechanische spanning wordt opgevoerd tot aan de elastische limiet van 200 MPa waarna plastische deformatie begint. Uitgaande van het kubisch vlakken-gecentreerde ('face-centered cubic') rooster van Cu met een roosterconstante van $3.61 \cdot 10^{-10}$ meter, bereken de dichtheid van de Cu atomen op een {111} en {110} vlak. Op welke vlakken en in welke richtingen treedt slip op?
- c. Wat is de effectieve mechanisch spanning ('resolved shear stress') die heerst op één van de glijvlakken in een glijrichting als de staaf wordt belast in de <100> richting?
- d. Op welke wijze zou je het Cu-éénkristal voor de toepassing bij hoge temperatuur kunnen verstevigen. Verklaar in het kort de aanbevolen methode(s).

Opgave 2

Zie het Fe-C fasendiagram in Fig. 1.

- a. Bepaal de frakties van austeniet (γ) en cementiet in een 99wt.%Fe-1wt.%C staal bij 850 °C, 728 °C en 726 °C.
- b. Welke fraktie van een uitgegloeid 1020 staal dat 0.20 gewichtspercentage koolstof bevat, kan een perlietische structuur bezitten?
- c. Bij welke temperatuur zal dit 1020 staal $\frac{1}{3}$ austeniet en $\frac{2}{3}$ ferriet bevatten?
- d. Wat is de laagst mogelijke temperatuur voor puur austeniet van 1020 staal? Op welke wijze zou je deze temperatuur kunnen laten stijgen of dalen bij constant koolstofgehalte? Verklaar in het kort de aanbevolen methode.
- e. Om scheurvoortplanting te vermijden welke microstructuur van het staal zou je kiezen: puur ferriet, puur austeniet, of een mengvorm? Verklaar je antwoord.

Opgave 3

- 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 aantal-gemiddelde molekulgewicht als het gewichtsgemiddelde molekulgewicht (in monomeer-eenheden). Het aantal- en gewichtsgemiddelde molekulgewicht verschillen; 1 van de 2 is altijd groter. Welke en waarom?
- 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 amorfe polymeren, waarbij eentje de glasovergangstemperatuur boven en de andere de glas-temperatuur beneden kamertemperatuur heeft en leg uit wat het verschil is tussen beide krommen en waarom?
- 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

- Zuiver silicium heeft een bandgap (tussen de valentie- en de geleidingsband) van 1.11 eV. Met welke faktor verandert het geleidingsvermogen van dit silicium als we de temperatuur verhogen van 25 °C naar 225 °C (de konstante van Boltzmann $k=8.617 \cdot 10^{-5}$ eV/K)?
- Vervolgens doteren we het silicium met aluminium. Het geleidingsvermogen bij 225 °C blijkt nu 36.7% groter dan bij 25 °C. Wat is de nieuwe schijnbare bandgap van dit gedoteerde silicium geworden? Verklaar het verschil in waarden voor de bandgap in vraag a en b; maak hierbij eventueel gebruik van een schematisch plaatje van de elektronbanden structuur.
- Op welke wijze verandert bij metalen het geleidingsvermogen als functie van de temperatuur. Het geleidingsvermogen van metalen kan ook beïnvloed worden door een verandering in de kristallen van het metaal. Noem zo'n verandering en verklaar waarom de geleiding van het metaal beïnvloed wordt.

Opgave 5

Bij een optimaal ontwerp van een balk die op buiging wordt belast zijn niet alleen de materiaaleigenschappen belangrijk, maar speelt de vorm van de doorsnede van de balk ook een grote rol (aannemende dat deze doorsnede uniform over de lengte van de balk is). Voor de maximale doorbuiging van de balk in y-richting δ geldt: $\delta = \frac{Fl^3}{CEI_x}$, waarbij F de belasting in y-richting is die op de balk wordt gezet, l en E de lengte en elasticiteitsmodulus van de balk zijn en C een konstante die afhangt van de wijze waarop F op de balk aangebracht is en waarop de balk ingespannen is. I_x is het lineaire traagheidsmoment van de balk en is

gedefinieerd als: $I_{xx} = \int y^2 dA$, waarbij dA infinitesimaal kleine oppervlakte-elementen zijn en y de afstand van deze elementen tot de *buigingsas*. De efficiency van de vorm van de doorsnede van de balk, de shape-factor, is nu te definiëren als: $\phi_B^e = \frac{4\pi}{A^2} I_{xx}$ met A het totale materiaal-oppervlak in de doorsnede.

- Toon aan dat I_{xx} voor een balk met een holle vierkante doorsnede $\frac{2}{3}b^3t$ is waarbij b de zijde van de doorsnede is en t de wanddikte en waarbij geldt $t \ll b$.
- Voor welke waarde van t ten opzichte van b heeft de shape-factor voor een holle vierkante balk een waarde 10? Welke waarde heeft de shape-factor voor een massieve vierkante balk?
- Leidt voor een balk, belast op buiging en met een variabele shape-factor, de 'performance'-functie af, waarbij gewicht geminimaliseerd moet worden (gewicht is dus performance) en de eis van het ontwerp is dat de stijfheid van de balk, d.w.z. kracht per eenheid van doorbuiging van de balk minimaal de waarde S_B heeft. De performance-functie kan hierbij als produkt van 3 termen geschreven worden: performance = $f(\text{functionele eisen})g(\text{geometrische parameters})m(\text{materiaal-eigenschappen inclusief vorm})$.
- Bepaal nu hoe de 'performances' voor massieve vierkante balken van hout (parallel aan vezel) en aluminium zich verhouden door gebruik te maken van Fig.2. Trek hiervoor 1 of 2 lijn(en) van constante performance in Fig.2 en schrijf op basis daarvan je antwoord. Hoe verhouden zich de performances voor een massieve vierkante balk van hout (parallel aan vezel) en een holle vierkante balk van aluminium met een shape-factor van 10? Laat zien in Fig.2 en beschrijf wat de nu bijkomende invloed van de shape-factor 10 is?

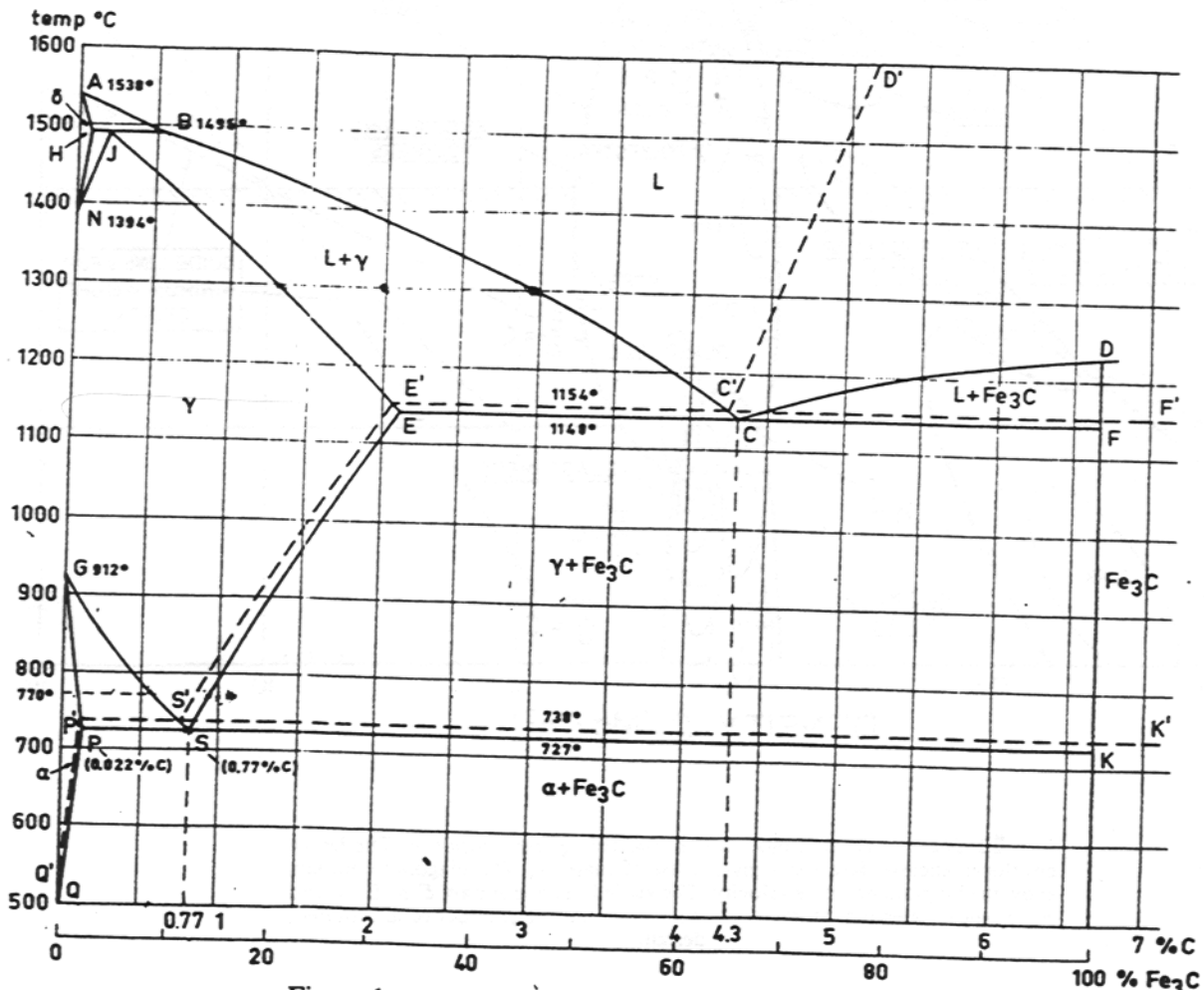


Figure 1. Het ijzer-koolstofdiagram.

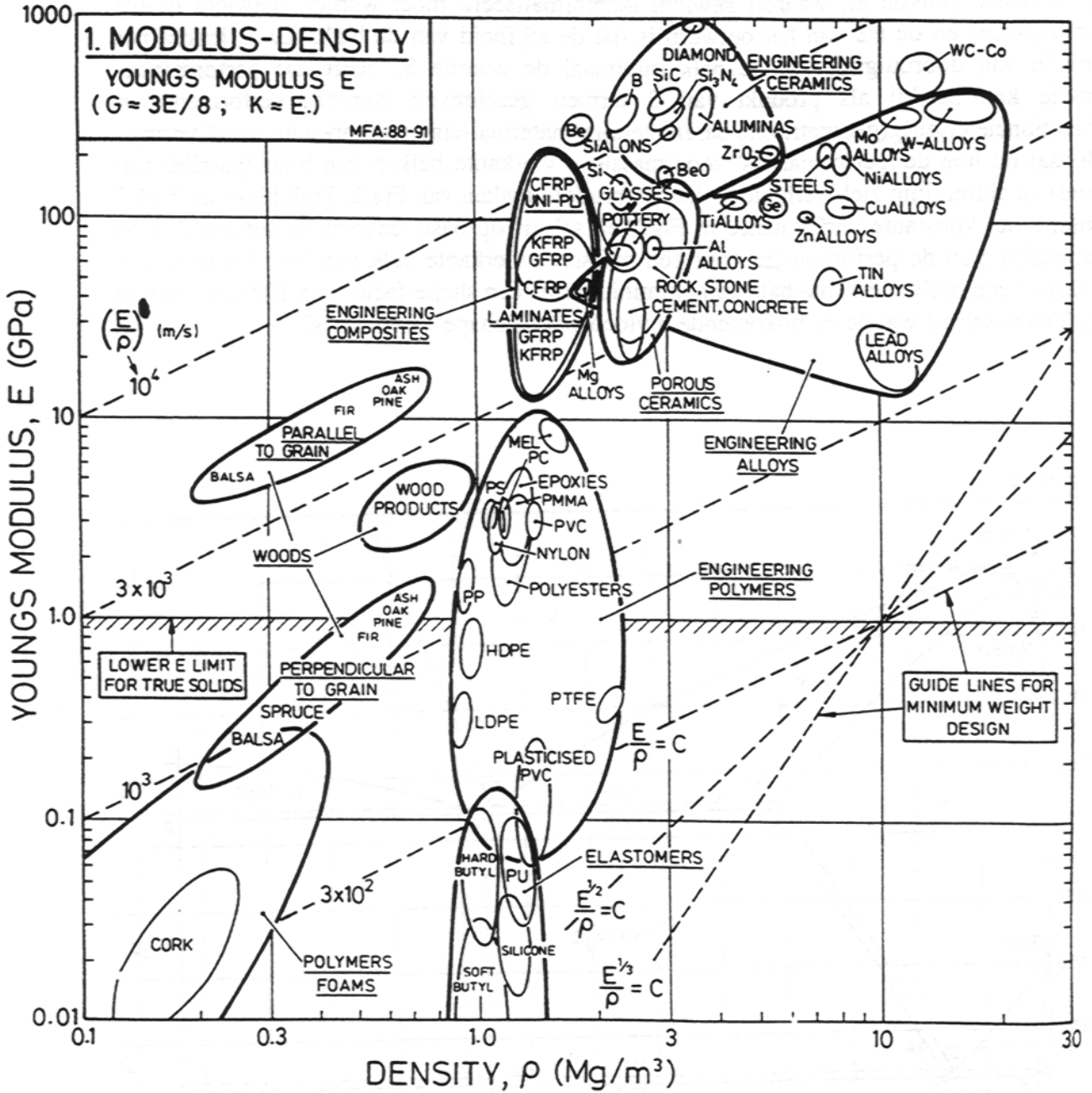


FIG. 1.2 Chart 1: Young's modulus, E , plotted against density, ρ . The heavy envelopes enclose data for a given class of material. The diagonal contours show the longitudinal wave velocity. The guide lines of constant E/ρ , $E^{1/2}/\rho$ and $E^{1/3}/\rho$ allow selection of materials for minimum weight, deflection-limited, design.