

**Tentamen Materiaalkunde**  
**voor studenten Technische Bedrijfswetenschappen**  
**17 november 1999, 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 Fasendiagrammen**

- a. Bepaal de fraktie van  $\gamma$  (austeniet) en ijzercarbide in een 99Fe-1C staal bij 850 °C, 728 °C en 726 °C. Zie Fig.1.
- b. Welke fraktie van perliet bestaat uit ferriet na de eutectoïdische reactie? Zie Fig.1.
- c. Wat is de fraktie aan pro-eutectoïdisch ijzercarbide in een 99Fe-1C staal? Hoe ziet schematisch de microstructuur van dit staal eruit na normale afkoeling naar kamertemperatuur? Is dit staal geschikt als constructie-staal? Waarom wel of niet?

**Opgave 2 Verstevinging en breuk**

- a. Geef vier verschillende methoden om een metallische legering te verstevingen. Leg in het kort de mechanismen uit. Bepaalde typen defecten spelen bij alle vier methoden een belangrijke rol. Beschrijf deze defecten en bespreek hun rol
- b. Noem drie verschijnselen waarbij een materiaal bij een duidelijk lagere belasting dan de treksterkte kapot gaat en beschrijf onder welke condities deze verschijnselen optreden.
- c. Noem twee redenen waarom keramische materialen in het algemeen veel slechter bestand zijn tegen thermische schokken dan metalen.

**Opgave 3 Keramiek en Kunststoffen**

- a. Voor materialen opgebouwd uit ionen (keramische materialen) bepaalt de verhouding van de ionstralen van de cationen en de anionen in belangrijke mate het coördinatie-nummer. Bereken welke verhouding van de cation staat tot anionstraal minimaal nodig is voor een 6-voudige (octaedrische) en 8-voudige (kubische) omringing.
- b. Bij materialen opgebouwd uit polymeren (kunststoffen/plastics) kan niet over 1 molekuulgewicht gesproken worden, maar treedt een verdeling over gewichten op. Stel we hebben de volgende sterk vereenvoudigde (en dus onrealistische) distributie: 20% van het aantal ketens heeft een massa van 100 (monomeer-eenheden), 50% van het aantal ketens een massa van 1000, 20% een massa van 5000 en uiteindelijk 10% van het aantal ketens een massa van 10000. Bereken nu zowel het aantalgemiddelde molekuulgewicht als het gewichtsgemiddelde molekuulgewicht (in monomeer-eenheden). Het aantal- en gewichtsgemiddelde molekuulgewicht verschillen; 1 van de 2 is altijd groter. Welke en waarom?
- c. In Fig.2 wordt de relaxatie-modulus ( $E_r$ ) als functie van de temperatuur (T) weergegeven voor poly-isopreen en PVC. Hoe worden de twee temperaturen genoemd waarbij  $\log(E_r)$  sterk verandert bij een kleine verandering van T? Hoe wordt het gedrag van polymeren genoemd in de twee T-ranges waar  $\log(E_r)$  vrijwel onafhankelijk van T is? Verklaar nu het typische verloop van  $\log(E_r)$  als functie van T aan de hand van de structuur en het veranderende gedrag van de polymeerketens als functie van T.
- d. Welke verschillen tussen polymeren poly-isopreen en PVC liggen ten grondslag aan de verschillen in hun gedrag van  $\log(E_r)$  als functie van T en waarom is dit zo? Waaraan kan je direct zien dat poly-isopreen ongevulcaniseerd is en waarom denk je dat ze dit vermelden?
- e. Schets in één diagram, waar de spanning tegen de rek is uitgezet, de typische curven die voor poly-isopreen en PVC bij 0 °C op basis van Fig.2 verwacht mogen worden. Het gaat met name om het relatieve gedrag van beide polymeren, maar probeer in de grafiek ook een schatting van de grootte van de spanning (MPa) en de rek (%) te geven.

#### Opgave 4 Halfgeleiders

Als uitgangsmateriaal hebben we 99.999999 at.% Si (= 8 negens of 8N). Het bevat als enige verontreiniging arseen en we noemen dit 8N-Si(As) (zie periodiek systeem). Electronbewegelijkheid in Si:  $\mu_e=0.19 \text{ m}^2/(\text{Vs})$ , gatbewegelijkheid in Si:  $\mu_h=0.045 \text{ m}^2/(\text{Vs})$ , eenheidslading:  $1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  en de dichtheid van Si:  $\rho=2.33 \text{ g/cm}^3$ .

- Welk type halfgeleider is het? Beschrijf de 3 typen halfgeleiders en maak daarbij gebruik van (en bespreek !) de schematische weergaven van de relevante electronen-banden structuur.
  - Wat is het geleidingsvermogen van dit materiaal? Waarom neemt bij toenemende temperatuur de geleiding relatief sterker toe voor intrinsiek Si dan voor extrinsiek Si?
- Naast het uitgangsmateriaal zijn ook de hulpmaterialen 8N-Si(Al) en 8N-Si(P) voorradig.
- We willen een intrinsieke halfgeleider maken door samensmelten van het uitgangsmateriaal met een van de hulpmaterialen. Welk hulpmateriaal moeten we kiezen en in welke verhouding moet samensmelten plaatsvinden?
  - Met welke van de twee hulpmaterialen en het uitgangsmateriaal kunnen we een extrinsieke halfgeleider maken met een geleidingsvermogen  $\sigma = 10 (\Omega\text{m})^{-1}$ , welk type halfgeleider is het dan en in welke verhouding moet het hulpmateriaal met het uitgangsmateriaal samengesmolten worden?

#### Opgave 5

Bij een optimaal ontwerp van een as die op torsie wordt belast zijn niet alleen de materiaaleigenschappen belangrijk, maar speelt de doorsnede van de as ook een grote rol (aannemende dat deze uniform over de lengte van de as is). Voor de twist (hoekverdraaiing door torsie)  $\theta$  in de as geldt:  $\theta = \frac{Tl}{GJ}$ , waarbij T het koppel (torque) is dat op de as staat, l de lengte en G de shear modulus van de as is (neem aan  $G \approx 0.4E$  met E de elasticiteitsmodulus). J is het polaire traagheidsmoment van de as en is gedefinieerd als:  $J = \int r^2 dA$ , waarbij dA infinitesimaal kleine oppervlakte-elementen zijn en r de afstand van deze elementen tot de torsie-as. De efficiency van de doorsnede van de balk, de shape-factor, is nu te definiëren als:  $\phi_T^e = \frac{2\pi}{A^2} J$  met A het totale materiaal-oppervlak in de doorsnede.

- Bereken de shape-factor van een massieve as met straal R en van een holle as met uitwendige straal  $r_0$  en wanddikte t, waarbij geldt  $t \ll r_0$ . Voor welke waarde van t ten opzichte van  $r_0$  heeft de shape-factor voor een holle as een waarde 20?
- Leidt voor de op torsie belaste as 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 twist van de as maximaal de waarde  $\theta_M$  heeft bij een koppel  $T_a$ . De performance-functie kan hierbij als produkt van 3 termen geschreven worden: performance = f(functionele eisen)g(geometrische parameters)m(materiaal-eigenschappen inclusief vorm).
- Bepaal nu hoe de 'performances' voor een massieve as van hout (parallel aan vezel) en aluminium zich verhouden door gebruik te maken van Fig.3. Trek hiervoor 2 lijnen van konstante performance in Fig.3 en schrijf op basis daarvan je antwoord. Hoe verhouden zich de performances voor een massieve as van hout (parallel aan vezel) en een holle as van aluminium met een shape-factor van 20? Laat zien in Fig.3 en beschrijf wat de nu bijkomende invloed van de shape-factor 20 is. **N.B.:** lever Fig.3 met naam en studie-nummer in.

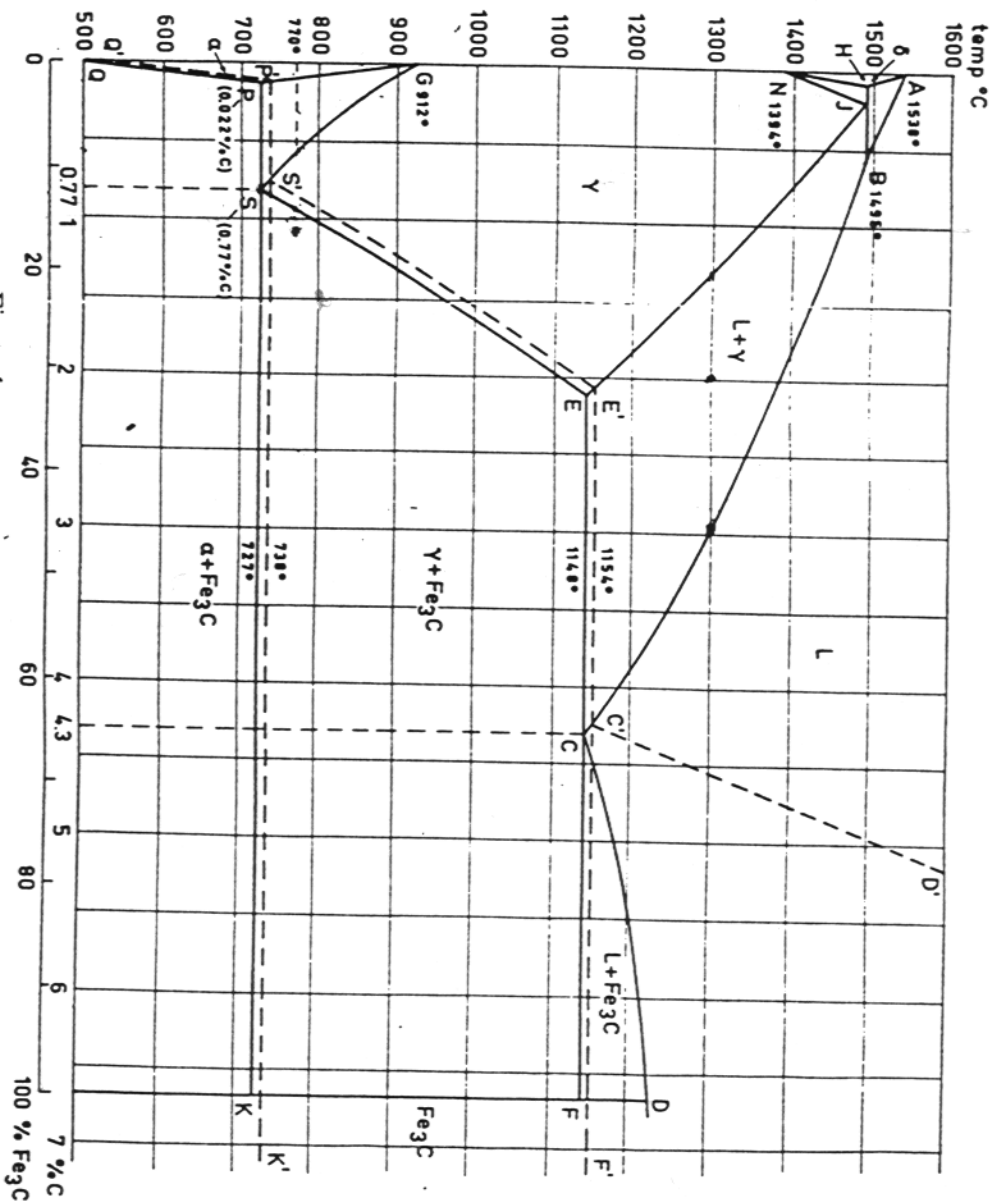


Figure 1. Het IJzer-koolstofdiagram.

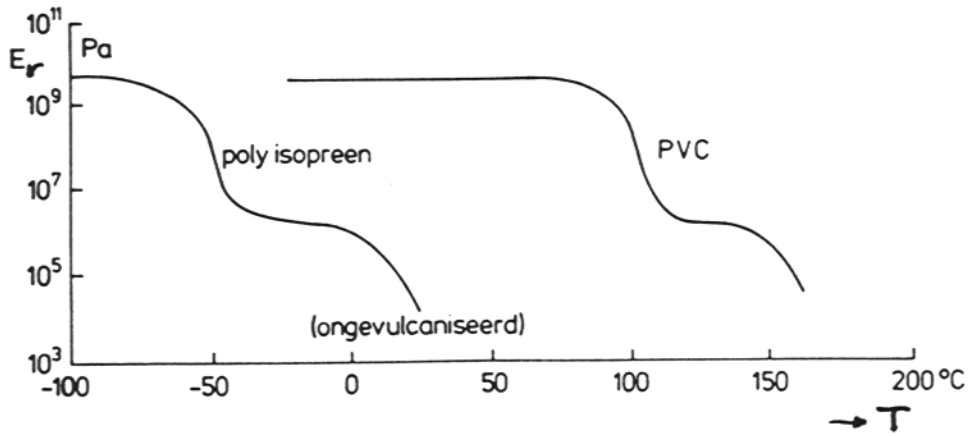


FIG. 2

Periodic Table of the Elements

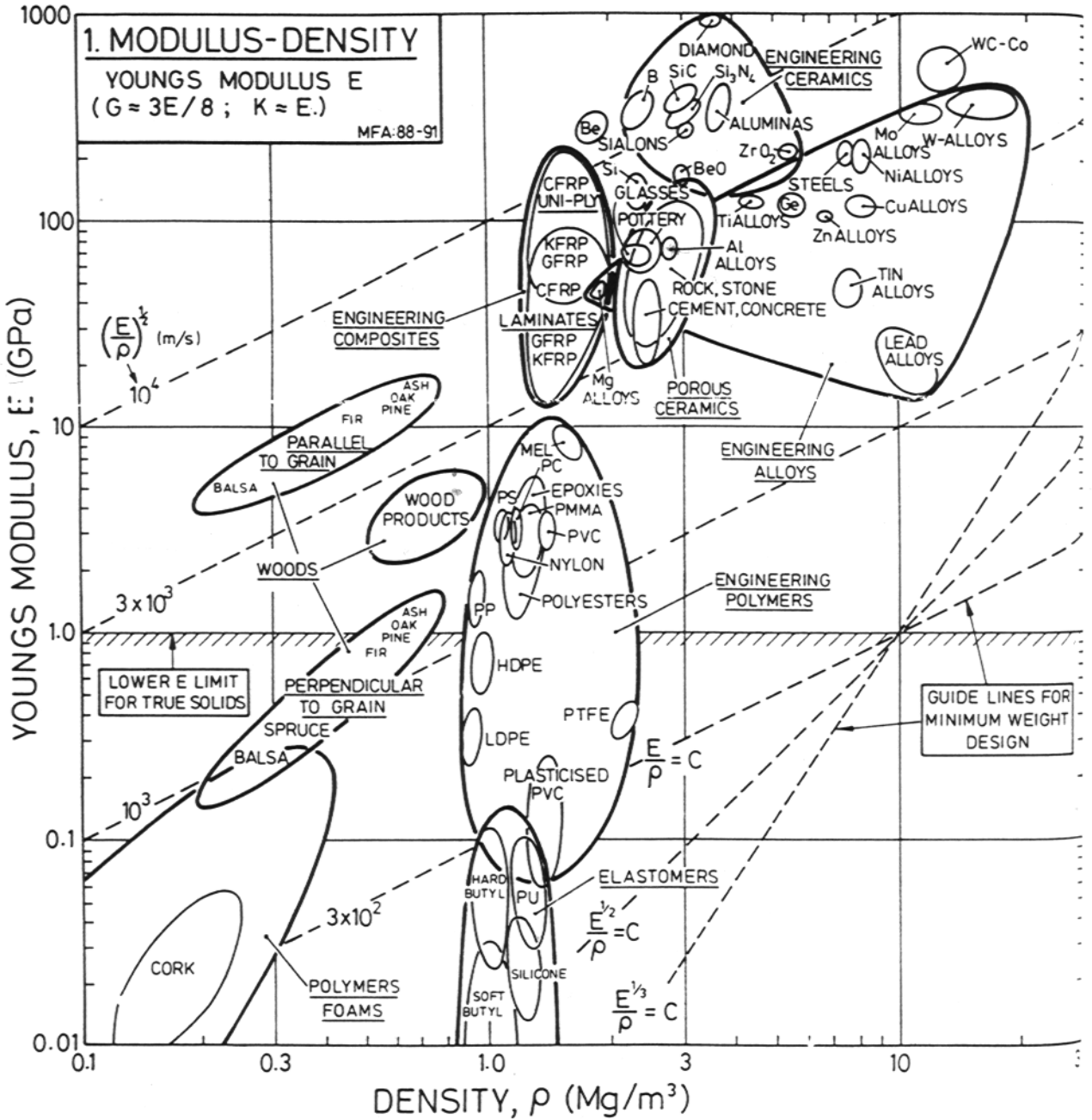
Key

- Atomic number
- Symbol
- Atomic weight

Legend:

- Metal
- Nonmetal
- Intermediate

IA																	0	
1 H 1.0080																	2 He 4.0026	
3 Li 6.939	4 Be 9.0122															10 Ne 20.183		
11 Na 22.990	12 Mg 24.312															18 Ar 39.948		
19 K 39.102	20 Ca 40.08	21 Sc 44.956	22 Ti 47.90	23 V 50.942	24 Cr 51.996	25 Mn 54.938	26 Fe 55.847	27 Co 58.933	28 Ni 58.71	29 Cu 63.54	30 Zn 65.37	31 Ga 69.72	32 Ge 72.59	33 As 74.922	34 Se 78.96	35 Br 79.91	36 Kr 83.80	
37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc (99)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.4	47 Ag 107.87	48 Cd 112.40	49 In 114.82	50 Sn 118.69	51 Sb 121.75	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.30	
55 Cs 132.91	56 Ba 137.34	Rare earth series	72 Hf 178.49	73 Ta 180.95	74 W 183.85	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.09	79 Au 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.37	82 Pb 207.19	83 Bi 208.98	84 Po (210)	85 At (210)	86 Rn (222)	
87 Fr (223)	88 Ra (226)	Actinide series																
Rare earth series		57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.35	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.92	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97		
Actinide series		89 Ac (227)	90 Th 232.04	91 Pa (231)	92 U 238.03	93 Np (237)	94 Pu (242)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (249)	99 Es (254)	100 Fm (253)	101 Md (256)	102 No (254)	103 Lw (257)		



**3**

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