

**Tentamen Materiaalkunde
voor studenten (Technische) Natuurkunde
20 juni 2002, 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 (γ) in een legering met de eutectische samenstelling bij $1147\text{ }^{\circ}\text{C}$ en wat is de samenstelling van dit austeniet?
- b. Welke fraktie van staal met 1.5 gewichts-% C bezit na afkoelen de perlietische structuur? Laat zien hoe je aan je antwoord komt.
- c. 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.
- d. 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 α -matrix voorkomen. Op welke wijze moet perliet gegloeid worden om deze structuur te verkrijgen en wat is de rede dat deze structuur dan ontstaat?
- e. 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

- a. 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 zien hoe je aan je antwoord komt.
- b. Bij materialen opgebouwd uit polymeren (kunststoffen/plastics) kan niet over 1 molekulgewicht gesproken worden, maar treedt een verdeling over gewichten op. Stel we hebben de volgende sterk vereenvoudigde (en dus onrealistische) distributie: 40% van het totaal aantal ketens heeft een massa van 200 (monomeer-eenheden), 30% een massa van 400, 20% een massa van 600 en uiteindelijk 10% van het totaal aantal ketens een massa van 800 monomeer-eenheden. Bereken nu zowel het aantal-gemiddelde molekulgewicht als het gewichtsgemiddelde molekulgewicht (in monomeer-eenheden).
- c. Eigenschappen van kunststoffen kunnen beïnvloed worden door het gemiddelde molekulgewicht. Noem 2 zulke eigenschappen en beschrijf waarom en hoe ze veranderen bij een toename van het gemiddelde molekulgewicht.
- d. Cis 1,4 poly-isopreen is natuurrubber en trans 1,4 poly-isopreen het veel hardere gutta-percha (met veel minder gunstige eigenschappen dan van natuurrubber). Kennelijk kan een beperkte verandering in de molekulstructuur een grote invloed op de eigenschappen hebben. Geef aan wat het verschil tussen de cis- en trans-structuur is.

Opgave 3

- Zuiver koper heeft bij $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ een geleidbaarheid van $6.0 \cdot 10^7 (\Omega\text{m})^{-1}$. Zuiver zilver van $6.8 \cdot 10^7 (\Omega\text{m})^{-1}$.
- a. Bepaal bij benadering de geleidbaarheid van Cu bij $170\text{ }^{\circ}\text{C}$. 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 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 is $0.16 \cdot 10^{-18}$

- C, het getal van Avogadro $N_{Av} = 6 \cdot 10^{23} \text{ (mol)}^{-1}$ en de konstante 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?
- d. De geleidbaarheid van GaAs bij $500 \text{ }^\circ\text{C}$ is $10 \text{ (}\Omega\text{m)}^{-1}$. Wat is de grootte van de bandgap van GaAs.
- 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 eruit ziet en bespreek de werking van de door je weergegeven LED.

Opgave 4

Een dunne coating van TiC is bij $700 \text{ }^\circ\text{C}$ aangebracht op een stalen oppervlak met een afmeting van $0.200 \times 0.200 \text{ m}^2$. Door het verschil in lineaire uitzettingscoëfficiënt van de laag en substraat, resp. $5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ en $12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, treden bij kamertemperatuur ($20 \text{ }^\circ\text{C}$) spanningen op in de laag (bij benadering ontstaan geen significante spanningen in het staal; dus alle verschil in uitzetting wordt door de laag opgenomen). Vervolgens wordt dit materiaal in een constructie belast, waarbij de zijden van het vierkante oppervlak 0.2 mm langer worden. De Elasticiteitsconstanten (Young's Moduli) van het TiC en staal zijn resp. 449 en 212 GPa en hun Poisson constanten zijn 0.19 en 0.29 .

- Welke redenen kunnen er zijn om een TiC laag op staal aan te brengen?
- Welke spanningen treden op in de TiC laag en in het staal? Zijn de spanningen die door het afkoelen in de laag zijn ontstaan in het algemeen gunstig of ongunstig? Motiveer deze keuze.
- De spanningen worden opgevoerd tot boven de vloeigrens (yield strength) van 550 MPa van het staal. 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).
- Verscheidende modificaties van staal zijn aanwezig. Staalplaat in koud gewalste en gerekristalliseerde toestand en staal met 0.3 en $0.45 \text{ wt.}\%$ C. Leg uit welke van deze modificaties (koud gewalst of gerekristalliseerd en 0.3 of 0.45%) tot een hogere vloeigrens van het staal aanleiding geven en waarom dat zo is.

Opgave 5

We willen uitzoeken welke materialen het meest geschikt zijn voor toepassing in vliegwielen.

- Waarom worden vliegwielen in technische toepassingen gebruikt, i.e. wat is het doel van vliegwielen?
- Een belangrijk kenmerk van een vliegwiel is het traagheidsmoment J . Als het vliegwiel uit één materiaal met dichtheid ρ gemaakt wordt dan geldt: $J = \rho \int r^2 dV$ met r de afstand van de infinitesimaal kleine volume elementen dV tot de rotatie-as. De meeste vliegwielen zijn opgebouwd uit platte cilindrische schijven. Dan geldt: $dV = t 2\pi r dr$ met t de dikte van de schijf op afstand r . Bereken het traagheidsmoment van de volgende twee vliegwielen. Beide zijn gemaakt van staal met een dichtheid van 7800 kg/m^3 . De eerste heeft een dikte van 10 cm en een diameter van 50 cm . De tweede heeft een dikte van 7 cm voor afstanden tussen 0 en 20 cm tot de rotatie-as en daarna van 20 tot 25 cm tot de rotatie-as een dikte van 15 cm .
- Wat is het gewicht van beide vliegwielen?
- Als de bepalende randvoorwaarde bij het ontwerp is dat het vliegwiel veilig heel moet blijven en het vliegwiel zo licht van gewicht mogelijk moet zijn dan zijn de beste materialen voor vliegwielen die met de hoogste waarde voor σ/ρ , waarbij σ de treksterkte van het materiaal is. Bepaal m.b.v. de Ashby map in Fig.2 welk type materiaal nu het meest geschikt is om een vliegwiel van te maken.
- Hoe veel lichter worden de vliegwielen uit vraag c nu?
- Als de bepalende randvoorwaarde van het vliegwiel het toerental is, d.w.z. de toeren worden nooit zo hoog dat het materiaal in de buurt van de treksterkte wordt belast dan zijn de beste materialen voor vliegwielen die met de hoogste waarde voor ρ . Bepaal m.b.v. de Ashby map in Fig.2 welk materiaal nu gebruikt kan worden voor het vliegwiel.

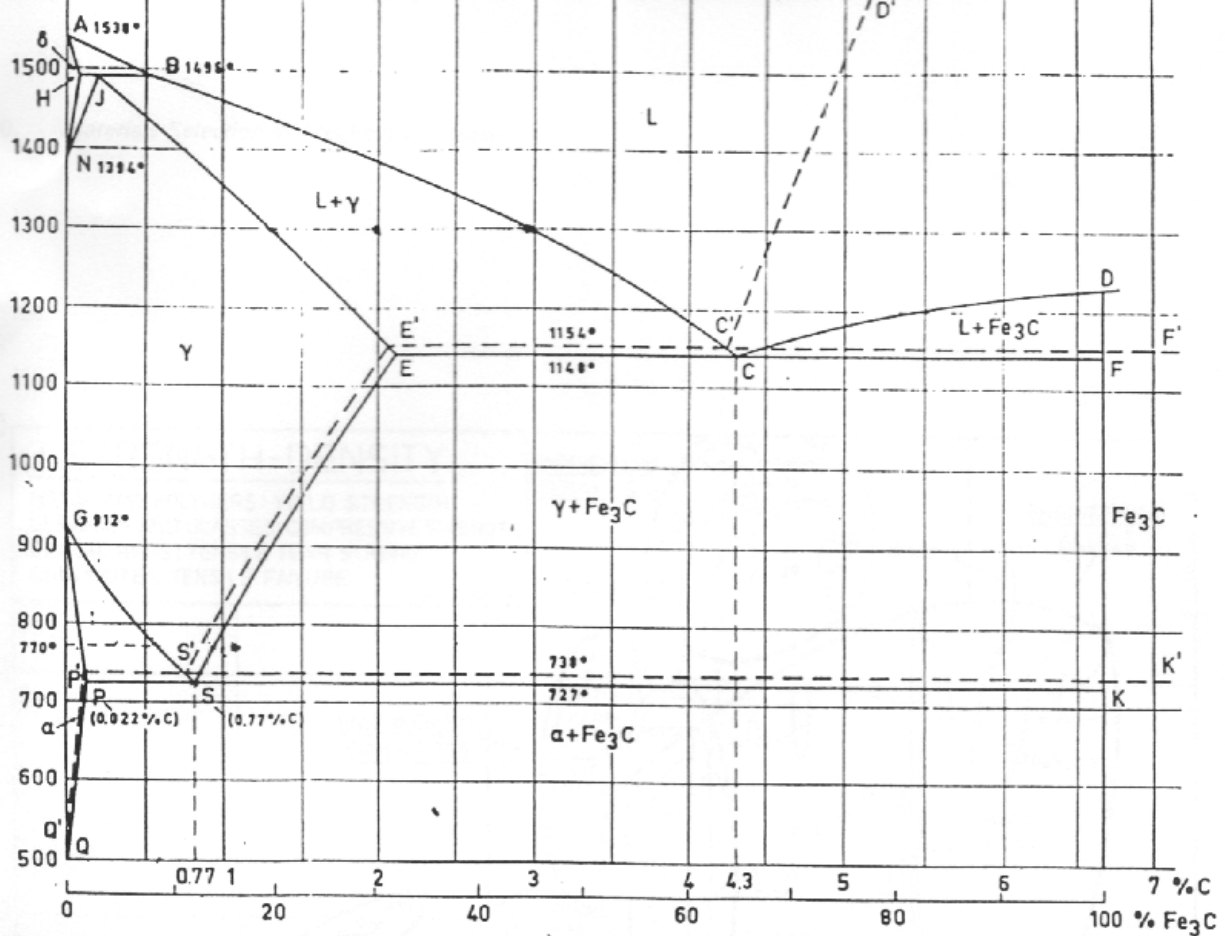
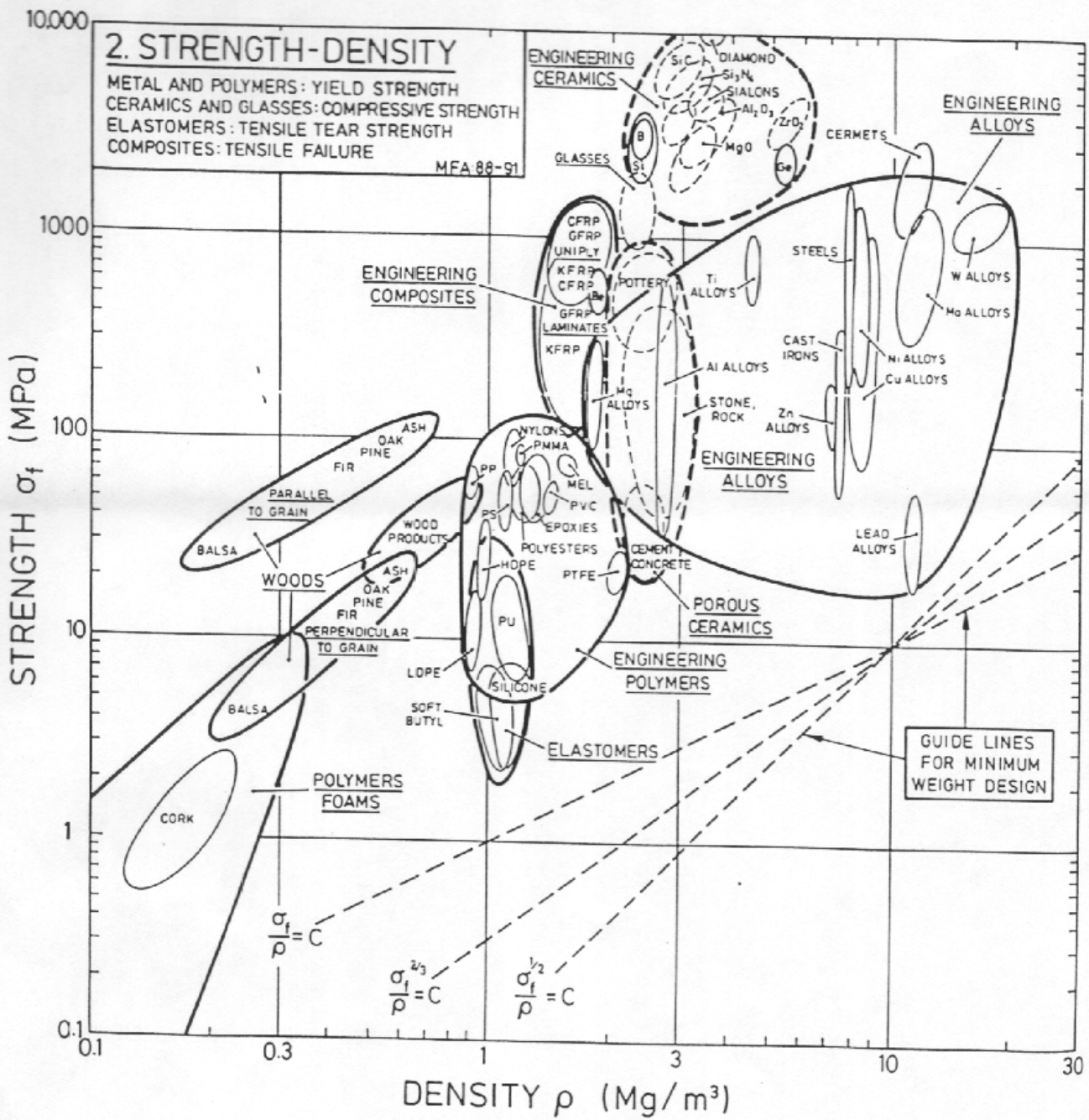


Figure 1. Het ijzer-koolstofdiagram.

Periodic Table of the Elements

IA		IIA		VIII										IB	IIIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA																																																							
1 H 1.0080	2 He 4.0026	3 Li 6.939	4 Be 9.0122	5 B 10.811	6 C 12.011	7 N 14.007	8 O 16.000	9 F 18.998	10 Ne 20.183	11 Na 22.990	12 Mg 24.312	13 Al 26.982	14 Si 28.086	15 P 30.974	16 S 32.064	17 Cl 35.453	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)																																											



2
 FIG. 2 Chart 2: Strength, σ_f , plotted against density, ρ (yield strength for metals and polymers, compressive strength for ceramics, tear strength for elastomers and tensile strength for composites). The guide lines of constant σ_f/ρ , σ_f^2/ρ and σ_f^3/ρ are used in minimum weight, yield-limited, design.