

Tentamen Materiaalkunde (en Ontwerpen)
voor studenten Technische Natuurkunde
9 februari 2005, 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. Welke fasen met welke samenstelling (i.e. gewichtspercentage koolstof, wt.% C) ontstaan als vloeibaar staal met 4.3 wt.% C omgezet wordt in vaste stof?
- b. Bepaal de fractie γ (austeniet) en fractie cementiet (Fe_3C) in staal met 1 wt.% C bij 850 °C, 728 °C en 726 °C. Schrijf hierbij steeds de geschatte samenstellingen van alle betrokken fasen op.
- c. Bij welke (geschatte) temperatuur bestaat staal met 0.2 wt.% C voor 1/3 uit γ en 2/3 uit α (ferriet) en bij welke (geschatte) temperatuur voor 2/3 uit γ en 1/3 uit α ?
- d. Wat is bij 726 °C de totale fractie cementiet in staal met 1 wt.% C en welk gedeelte hiervan is pre-eutectoïdisch cementiet en welk gedeelte bevindt zich in perliet? Laat zien hoe je aan je antwoorden komt.
- e. Beschrijf de mikrostructuur die bij 500 °C normaal verwacht mag worden voor dit staal met 1 wt.% C. Is dit staal geschikt als constructie-staal? Waarom wel of niet?

Opgave 2

Een dunne coating van TiC is bij 700 °C (met Chemical Vapor Deposition) aangebracht op een stalen oppervlak met een afmeting van 0.200 x 0.200 m². 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 °C) spanningen op in de laag (bij benadering ontstaan geen significante spanningen in het staal). 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.

- a. Welke redenen kunnen er zijn om een TiC laag op staal aan te brengen?
- b. Welke spanning treedt op in de TiC laag en welke in het staal?
- c. Zijn de spanningen die door het afkoelen in de laag zijn ontstaan in het algemeen gunstig of ongunstig? Motiveer deze keuze.
- d. 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).
- e. Verschillende modificaties van staal zijn aanwezig. Staalplaat in koud gewalste en 'gerekristalliseerde' toestand en beide toestanden met 0.3 of 0.45 wt.% C. Leg uit welke van deze 4 soorten plaat tot een hogere vloeigrens van het staal aanleiding geven en waarom dat zo is.
- f. Keramiek is altijd veel minder plastisch vervormbaar dan metalen. Waarom is dit zo? Leg daarna uit waarom dit grote invloed heeft op de 'fracture toughness' (K_{Ic}) van metaal en keramiek.

Opgave 3

- a. 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: 30% van het aantal ketens heeft een massa van 500 (monomeer-eenheden), 40% 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).
- b. In Fig.2 wordt de relaxatie-modulus (E_r) als functie van de temperatuur (T) weergegeven voor poly-isopreen en PVC. (i) Hoe worden de twee temperaturen genoemd waarbij $\log(E_r)$ sterk

verandert bij een kleine verandering van T? (ii) Op welke wijze verandert het gedrag van de macro-moleculen bij deze temperaturen? (iii) Hoe wordt het gedrag van polymeren genoemd in de twee T-ranges waar $\log(E_r)$ vrijwel onafhankelijk van T is?

- Welke verschillen tussen de polymeren poly-isopreen en PVC kunnen ten grondslag liggen aan de verschillen in hun gedrag van $\log(E_r)$ als functie van T en waarom treden de verschillen dan op?
- Waarom denk je dat ze vermelden dat poly-isopreen ongevulcaniseerd is en waaraan had je dit ook zonder vermelding al in de grafiek kunnen zien?
- Schets in 1 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.
- Polymeren vertonen bij mechanische belasting visco-elastisch gedrag dat uit 3 deelbijdragen is opgebouwd. Geef voor deze 3 deelbijdragen het (mathematische) verband tussen de rek, de spanning en de tijd.

Opgave 4

- Halfgeleiders worden onderverdeeld in intrinsieke en extrinsieke n- of p-type halfgeleiders. Beschrijf deze drie typen halfgeleiders door hun elektronen-energie bandenstructuren schematisch weer te geven (zo eenvoudig mogelijk, maar volledig).
- Waarom is de geleidbaarheid van n of p type halfgeleiders bij kamertemperatuur (i.h.a.) veel hoger dan van intrinsieke halfgeleiders en waarom verdwijnt dit verschil bij hoge temperaturen?
- In indiumfosfide is in 1 op de 10^5 eenheidscellen (roosterkonstante $a_{\text{InP}}=0.600$ nm) een fosforatoom vervangen door een galliumatoom (Ga). Welk type halfgeleider is het InP voor en welk type na de vervanging en geef aan waarom (zie het periodiek systeem)?
- De mobiliteit van elektronen $\mu_e=0.50$ m²/(Vs) en van gaten $\mu_g=0.015$ m²/(Vs). De eenheidslading = $0.16 \cdot 10^{-18}$ C en het getal van Avogadro $N_{\text{Av}}=6 \cdot 10^{23}$ /mol. Bereken het geleidingsvermogen na de vervanging.

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) θ in de as geldt: $\theta=(Tl)/(GJ)$, 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 gedefinieerd als: $\phi_r^e = 2\pi J/A^2$ 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 θ_M heeft bij een koppel T_a .
- Bepaal nu hoe de 'performances' voor massieve assen 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. (Als je geen antwoord bij b hebt, kun je hier en dan ook voor d. een aanname doen welke 'guide line' voor het ontwerp geldig is.)
- 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.

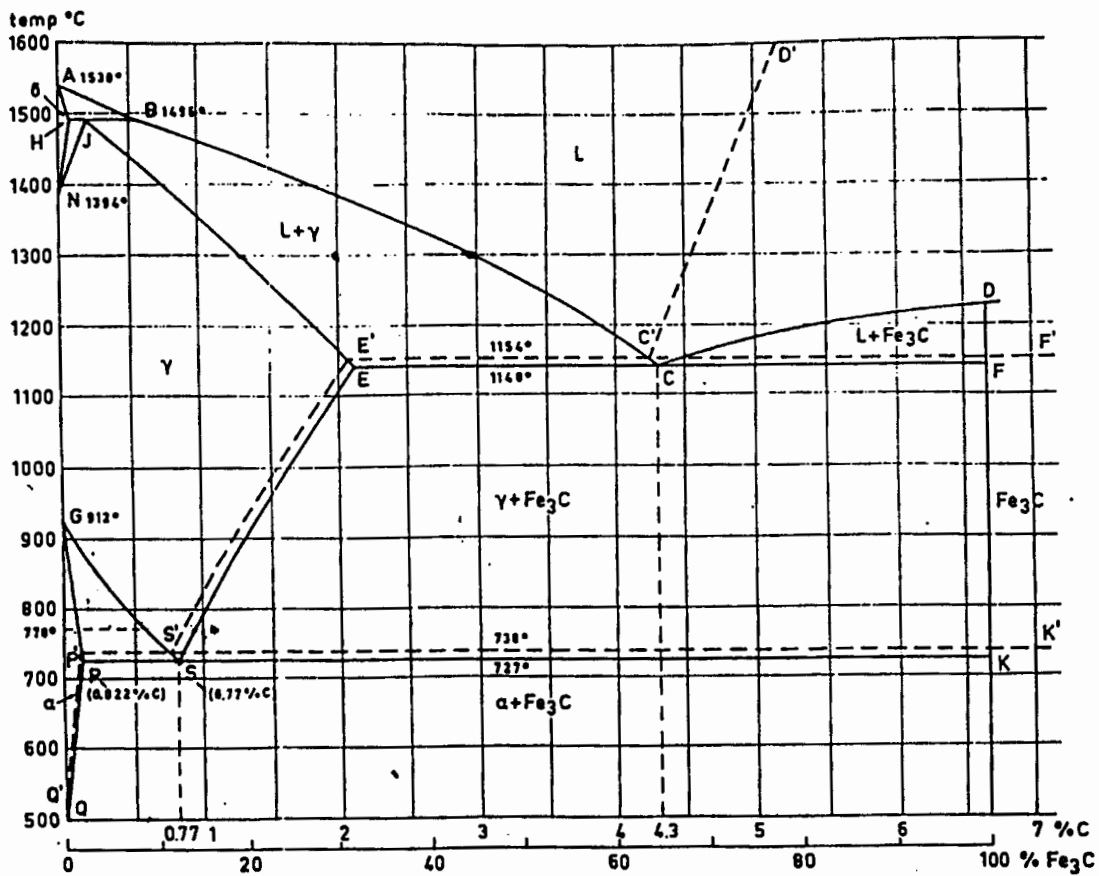


Figure 1. Het IJzer-koolstofdiagram.

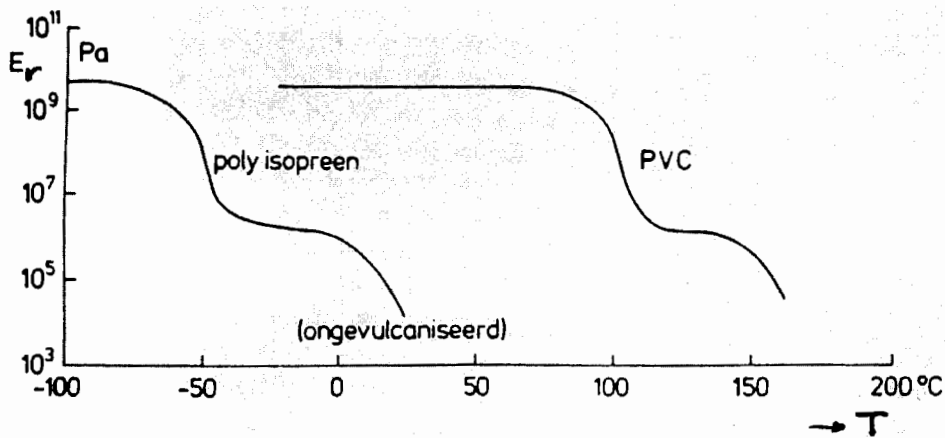


Fig.2

Periodic Table of the Elements																		
1																	18	
1	H																He	
2	Li Be												B	C	N	O	F	Ne
3	Na Mg												Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Ha	Sg	Ns	Hs	Mt	Uun	Uuu							
Lanthanide Series																		
		57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71		
		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			
Actinide Series																		
		89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103		
		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr			

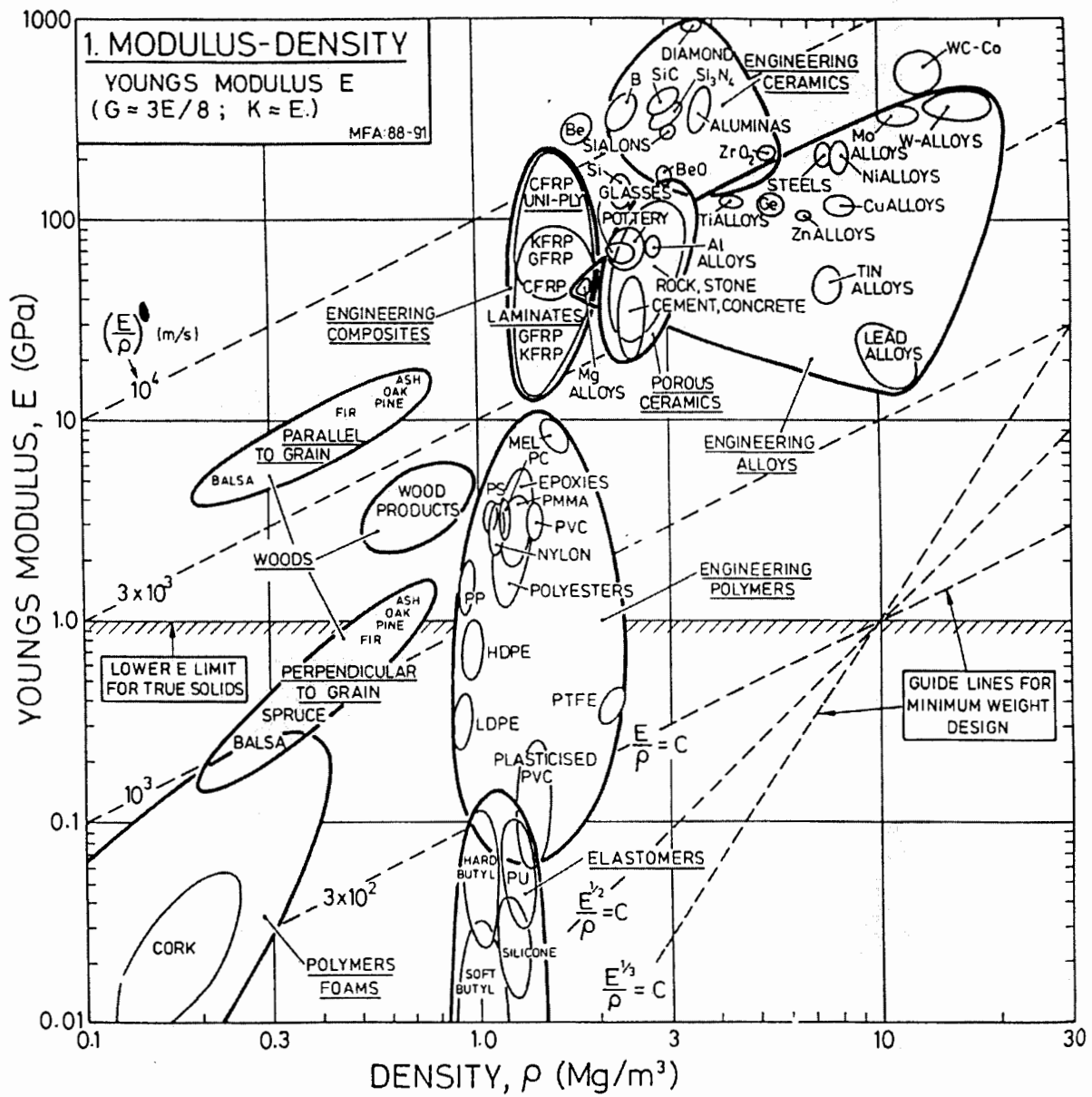


Fig.3