

Tentamen Materiaalkunde

TN/TBK/TM

11 november 2011, 9.00-12.00 uur

*Vermeld naam en studentnummer duidelijk op ieder ingeleverd blad.
Nummer de ingeleverde bladen en vermeld op blad 1 het totale aantal ingeleverde bladen.*

Opgave 1

- Bepaal op basis van figuur 1 het smeltpunt in °C van zowel lood als magnesium.
- Een legering van 20 gewichtsprocent lood (en 80% magnesium) wordt van 700°C afgekoeld. Bij welke temperatuur ontstaat de eerste vaste stof en wat is de samenstelling van deze eerste vaste stof?
- Welke fasen zijn in deze legering aanwezig bij achtereenvolgens 600, 400 en 200°C? Bereken de fracties van de afzonderlijke fasen in deze legering bij iedere temperatuur.
- Het diagram bevat een eutecticum; bepaal het gewichtspercentage lood en de temperatuur van dit punt. Neem aan dat tijdens het afkoelen de samengestelde stof precies het eutecticum passeert. Welke fasen bestaan er voor en na het passeren van dit punt? Beschrijf het proces dat dan plaats vindt en de microstructuur die je dan verwacht.
- Mag je verwachten dat onder bepaalde voorwaarden precipitatie harding op kan treden in dit mengsel van materialen. Licht je antwoord toe.

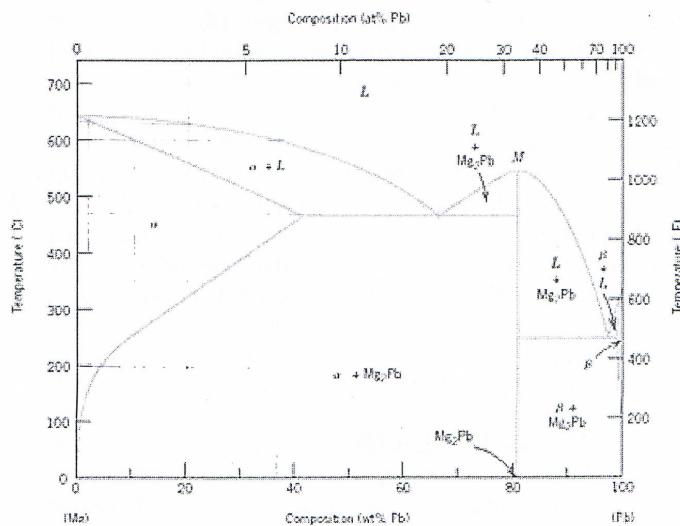


Fig. 1 The magnesium-lead phase diagram. [Adapted from *Phase Diagrams of Binary Magnesium Alloys*, A. A. Nayeb-Hashemi and J. B. Clark (Editors), 1988. Reprinted by permission of ASM International, Materials Park, OH.]

Opgave 2

Een dunne coating van TiC is bij 700 °C (met Chemical Vapor Deposition) aangebracht op een stalen oppervlak met een afmeting van 20 x 20 cm². Door het verschil in lineaire uitzettingscoëfficiënt van de laag en substraat, resp. 5 · 10⁻⁶ K⁻¹ en 12 · 10⁻⁶ 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 0.1 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 (ten minste twee) kunnen er zijn om een TiC laag op staal aan te brengen?
- Welke spanning treedt op in de TiC laag en welke in het staal?
- Zijn de spanningen die door het afkoelen in de laag zijn ontstaan in het algemeen gunstig of ongunstig? Motiveer deze keuze.

2

$$\sigma_{II} = \frac{E}{1-\nu} \int (\alpha_{\text{substraat}} - \alpha_{\text{laag}}) dT$$

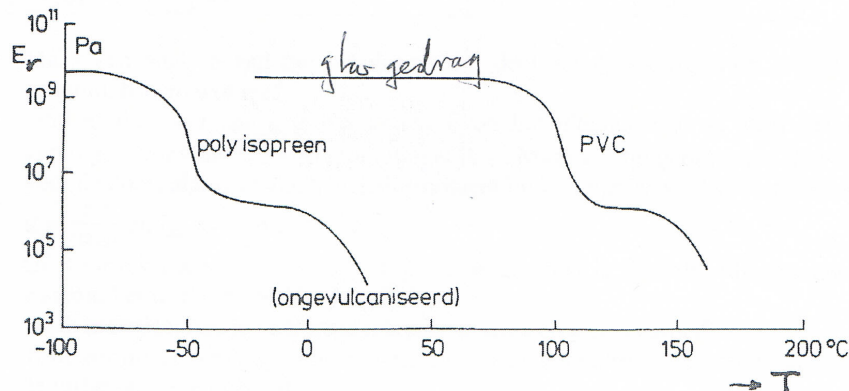
2

- d. Welk gewicht in kilogrammen moeten we aan een stalen staaf met een diameter van 5 cm hangen om ongeveer dezelfde spanning te krijgen als in het staal in opgave b.? Als je bij b. geen antwoord hebt, kun je hier een spanning van 100 MPa nemen.
- e. De spanningen worden opgevoerd tot boven de vloeigrens (yield strength) van 250 MPa van het staal. Leg uit wat op microscopische schaal in het staal dan gaat plaatsvinden. Bespreek hierbij de rol van kristalvlakken en defecten in het kristalrooster van het staal en bespreek hierbij ook specifiek de invloed van korrelgrenzen.
- f. Keramiek (zoals TiC) is altijd veel minder plastisch vervormbaar dan metalen. Waarom is dit zo? Leg uit waarom dit grote invloed heeft op de 'fracture toughness' (K_{Ic}) van metaal en keramiek.

*glijsystemen met
distortie beweeglijkheid*

Opgave 3

- a. Bij materialen opgebouwd uit polymeren (kunststoffen/plastics) kan niet over 1 molecuulgewicht gesproken worden, maar treedt een verdeling over gewichten op. Stel we hebben de volgende sterk vereenvoudigde (en dus onrealistische) distributie: 40% van het aantal ketens heeft een massa van 500 (monomeer-eenheden), 30% van het aantal ketens een massa van 1000, 20% een massa van 1500 en uiteindelijk 10% van het aantal ketens een massa van 2000. Bereken nu zowel het aantalgemiddelde molecuulgewicht als het gewichtsgemiddelde molecuulgewicht (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. Hoe worden de twee temperaturen genoemd waarbij $\log(E_r)$ sterk verandert bij een kleine verandering van T en op welke wijze verandert het gedrag van de macro-moleculen bij deze temperaturen? Hoe wordt het gedrag van polymeren genoemd in de twee T-ranges waar $\log(E_r)$ vrijwel onafhankelijk van T is?
- c. 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?
- d. Waarom denk je dat ze vermelden dat poly-isopreen onge vulcaniseerd is en waaraan had je dit ook zonder vermelding al in de grafiek kunnen zien?
- e. 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.



Figuur 2.

$$n_{i0} = C e^{-\frac{E_g}{2kT}}$$

Opgave 4

- Halfgeleiders worden onderverdeeld in intrinsieke en extrinsieke n- of p-type halfgeleiders. Leg uit wat nodig is om een intrinsieke halfgeleider om te zetten in een n- of een p-type halfgeleider.
- Intrinsiek GaAs heeft bij kamertemperatuur (20 °C) 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 = $0.16 \cdot 10^{-18} \text{ C}$ en de 'band gap' van GaAs bedraagt 1.42 eV. Wat is de concentratie elektronen en wat is de concentratie gaten bij deze temperatuur?
- Wat is de geleidbaarheid (in $(\Omega\text{m})^{-1}$) van GaAs bij 500 °C? De constante van Boltzmann $k=8.617 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K}$.
- De verandering van de elektrische geleidbaarheid als functie van de temperatuur is zeer verschillend voor een metaal en een intrinsieke halfgeleider. Beschrijf in woorden (kort, maar zo volledig mogelijk) hoe bij beide typen materialen de geleidbaarheid als functie van de temperatuur verandert? Geef de verklaring voor de optredende veranderingen; essentieel daarbij is wat met het aantal vrije elektronen en met de mobiliteit van deze elektronen gebeurt als functie van de temperatuur.

Opgave 5

Een massieve rechthoekige staaf met breedte b , hoogte h en lengte l wordt als onderdeel gebruikt in een constructie van een liftstelsel voor een Dakar-truck. De staaf wordt op buiging belast. De breedte van de staaf ligt vast. De ontwerpers van de constructie willen de staaf zo licht mogelijk maken, zonder dat deze teveel doorbuigt. Een aantal materialen met hun eigenschappen staat gerangschikt in onderstaande tabel.

Materiaal	E (GPa)	ρ (g/cm ³)	Prijs (€/ kg)	σ_{breuk} (MPa)
Eikenhout	22	0.9	10	50
Si ₃ N ₄ (keramiek)	310	3.2	30	500
Al 2024-T6	72	2.7	2	360
Staal 4130 (N)	210	7.8	0.6	500
Ti - 3Al - 2.5V	93	4.5	80	500

- Maak een analyse van het probleem (tip: doel staaf, wat ligt vast, wat is vrij, wat moet geoptimaliseerd worden?)
- Leid af dat voor een gegeven kracht F op het uiteinde van de staaf het laagste gewicht verkregen wordt als $\sqrt[3]{E/\rho}$ zo groot mogelijk is. Maak hierbij gebruik van de volgende formules voor de doorbuiging en het traagheidsmoment bij buiging (*second moment of area*):

$$u = \frac{Fl^3}{3EI_{xx}}$$
 en
$$I_{xx} = \frac{1}{12}bh^3$$
- Ga voor elk materiaal na of het in principe geschikt is voor deze toepassing. Geef de reden waarom het wel/niet geschikt is.
- Welk materiaal zou je voor deze toepassing selecteren en waarom?
- Wanneer prijs doorslaggevend is, welk materiaal zou je dan selecteren waarom? (Tip: leid eerst de juiste prestatie index af.)
- Stel dat de staaf niet massief, maar hol mag zijn. Leg uit of dat van invloed is op je keuze bij d) en welk materiaal je dan bij vraag d) zou selecteren.