

**Tentamen Materiaalkunde
voor studenten (Technische) Natuurkunde
7 Februari 2007, 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 (zie Fig.1)

- Wat is bij 1147 °C de fractie austeniet (γ) in een legering met de eutectische samenstelling (i.e. 4.3 gewichtsprocenten C) en wat is de samenstelling van dit austeniet?
- Wat is bij 726 °C de fractie ferriet (α) in een legering met de eutectoïdische samenstelling (i.e. 0.77 gewichts-% C) en wat is de samenstelling van dit ferriet?
- Welke fractie van staal met 0.6 gewichts-% C bezit na afkoelen de perlitische structuur en wat is de fractie pre-eutectoïdisch ferriet? Laat zien hoe je aan je antwoorden komt.
- 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.
- 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 reden dat deze structuur dan ontstaat?
- 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.)

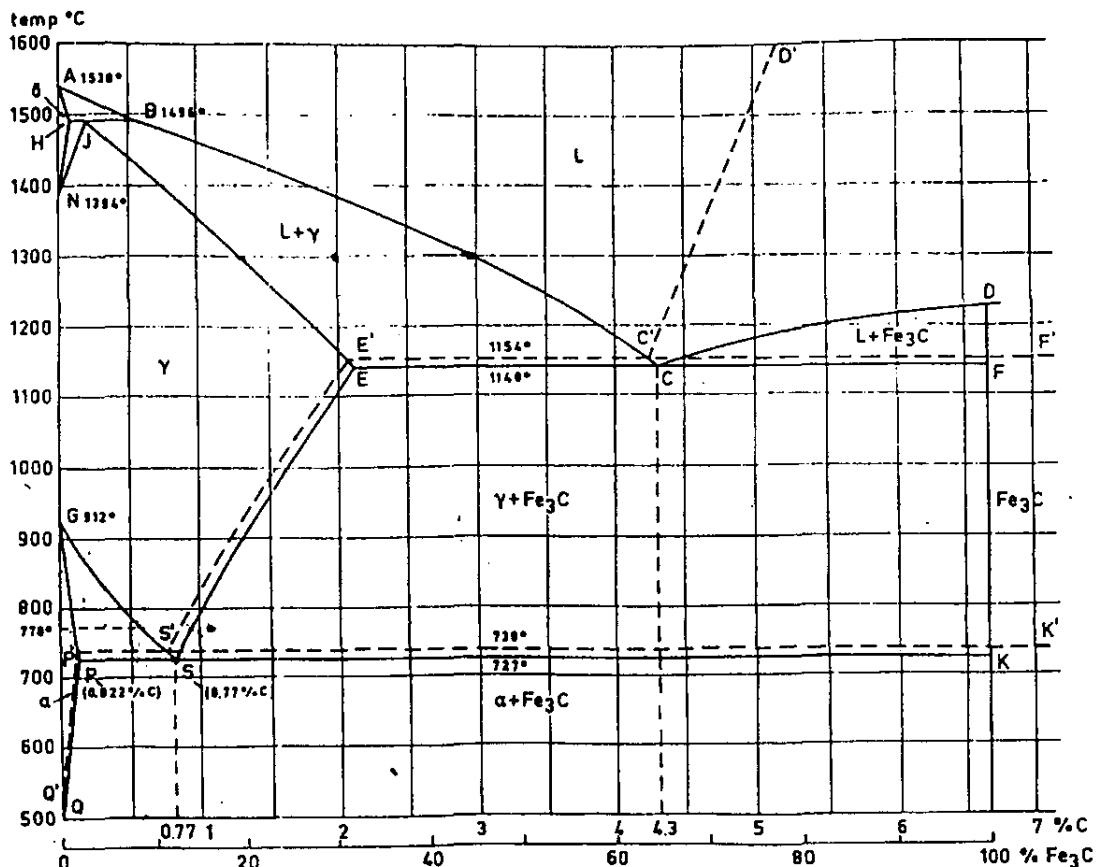


Figure 1. Het ijzer-koolstof diagram.

Opgave 2

- Een zuiver metaal (bestaat voor 100% uit 1 element) kan op twee manieren sterker en harder gemaakt worden zonder dat de zuiverheid aangetast wordt. Welke twee manieren zijn dat en leg uit (m.b.v. defecten in de atomaire/micro-structuur) waarom het metaal hierbij sterker/harder wordt.
- Een methode van harding die bij veel metaallegeringen wordt toegepast, onder ander bij aluminiumlegeringen die gebruikt worden in vliegtuigconstructies, is precipitatieharding. Wat houdt precipitatieharding in? Stel: we hebben een binaire A-B legering, die precipitatieharding moet ondergaan. Aan welke eisen moet het fase-diagram van de A-B legering voldoen om potentieel geschikt te zijn voor precipitatieharding? Het uitvoeren van de precipitatieharding bestaat dan uit het gloeien gedurende bepaalde tijden bij verschillende temperaturen van de A-B legering. Leg uit waarom deze gloeibehandeling wat betreft temperatuur en tijd kritisch is.
- Wat is het glijstelsysteem (vlakken waartussen en richting waarin glijding optreedt) van Ni, dat een 'face-centered cubic' structuur heeft en waarom is dit het glijstelsysteem?
- De kritische afschuifspanning (critical resolved shear stress) van Ni is 40 MPa. Bepaal voor een Ni ééncristal de spanning waarbij plastische vervorming gaat optreden (i.e. de vloeigrens of 'yield stress') als de belasting parallel aan de [110] kristalrichting aangebracht wordt.
- Geef schematisch (in een grafiekje) weer hoe het soortelijk volume van zuiver SiO₂ glas en van zuiver kristallijn Al₂O₃ verandert als functie van de temperatuur rond hun smeltemperatuur.

Opgave 3

- 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: 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 molekuulgewicht als het gewichtsgemiddelde molekuulgewicht (in monomeer-eenheden).
- Als maat voor de stijfheid geldt de (logaritme van de) relaxatie-modulus $E_r = \sigma(t)/\epsilon_0$, met $\sigma(t)$ de tijdsafhankelijke spanning beschouwd voor een zekere tijd t en ϵ_0 de opgelegde rek. Hoe ziet schematisch het verband tussen $\log(E_r)$ en de temperatuur T er dan uit voor: (i) een amorf polymeer, (ii) een gedeeltelijk kristallijn polymeer en (iii) een thermoharder? Teken het verloop van $\log(E_r)$ versus T in één figuur (om onderling vergelijk goed mogelijk te maken) en geef korte verklaringen voor het karakteristieke verloop dat in de 3 gevallen optreedt.
- Noem 2 manieren waarmee de smeltemperatuur van polymeren verhoogd kan worden?
- Aan welke voorwaarde(n) moeten de moleculen in een polymeer voldoen, zodat zij een kristallijne structuur kunnen vormen?
- 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 molekuulstructuur een grote invloed op de eigenschappen hebben. Geef aan wat het verschil tussen de cis- en trans-structuur is.

Opgave 4

Als uitgangsmateriaal hebben we 99.999999 at.% Si (= 8 negens of 8N). Het bevat als enige verontreiniging boor en we noemen dit 8N-Si(B) (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: $1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, de dichtheid van Si: $\rho=2.33 \text{ g/cm}^3$, atoommassa Si 28.08 en het getal van Avogadro $6.022 \cdot 10^{23}$.

- 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 (bij kamertemperatuur)?
 - Op welke (mathematische) wijze verandert het aantal elektronen en/of gaten als de temperatuur wordt verhoogd? Leg uit waarom de genoemde veranderingen optreden.
- Naast het uitgangsmateriaal zijn ook de hulpmaterialen 8N-Si(Ga) en 8N-Si(As) 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 (bij kamertemperatuur van) $\sigma = 7.6 (\Omega\text{m})^{-1}$, welk type halfgeleider is het dan en in welke verhouding moet het hulpmateriaal met het uitgangsmateriaal samengesmolten worden?

Opgave 5

Hieronder is een 'Ashby map' weergegeven, waarin de stijfheid (Young's modulus E) uitgezet is tegen de dichtheid (ρ) van materialen. We willen een as van een turbine ontwerpen met een zo laag mogelijk gewicht. Als de as onder torsie wordt belast en het ontwerp voldoende stijf moet zijn, voldoen die materialen het best die een zo groot mogelijke waarde voor $E^{0.5}/\rho$ hebben. Als de as onder trek wordt belast voldoen die materialen het best die een zo groot mogelijke waarde voor E/ρ hebben. We hebben de keuze uit aluminiumlegeringen, titaanlegeringen en staal.

- Hoe verhouden zich de prestaties van de 3 materialen onder torsie? Motiveer je antwoord.
- Hoe verhouden zich de prestaties van de 3 materialen onder trek? Motiveer je antwoord.
- Bereken de shape-factor bij torsie van een massieve as met straal R en van een holle as met uitwendige straal r_0 en wanddikte t , waarbij geldt $t \ll r_0$. De shape-factor is gedefinieerd als $\phi_T^e = 2\pi J/A^2$ waarin $J = \int r^2 dA$ met r de afstand tot de rotatie-as bij torsie en A het materiaaloppervlak in de doorsnede (en dA dus infinitesimaal kleine delen van het oppervlak). Voor welke waarde van t ten opzichte van r_0 heeft de shape-factor voor de holle as een waarde 10?
- De aluminium-as heeft een massieve ronde doorsnede. Met welke shape factor moet staal toegepast worden om ongeveer dezelfde prestaties bij torsie als het aluminium te krijgen? Leg uit, op basis van Fig.2, hoe je aan je antwoord komt. Geef schematisch weer hoe de vorm van de doorsnede van het staal er dan uit zou moeten zien.
- Is een shape factor van belang bij trekbelasting? Leg uit waarom wel of waarom niet.

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 | Nh | Hs | Mt | Uun | Uuu | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|--|--------|--------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Lanthanide Series | | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 |
| | | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | | | | | | | | |
| | | 140.12 | 140.91 | 144.24 | (144.91) | 150.36 | 151.97 | 157.25 | 158.93 | 162.50 | 164.93 | 167.26 | 171.03 | 174.97 | 178.07 | | | | | | | | |
| | | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 | 103 | | | | | | | | |
| Actinide Series | | Th | Pa | U | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm | Md | No | Lr | | | | | | | | |
| | | 232.04 | 231.04 | 238.03 | (237.04) | (244.06) | (247.07) | (251.08) | (259.10) | (267.11) | (272.11) | (287.10) | (293.10) | (297.10) | (262.11) | | | | | | | | |

