

**DET TEKNISK – NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET**

**EKSAMEN I: (MSK200 Materialteknologi)**

**DATO: 11.12.2014**

**TID FOR EKSAMEN: 4 timer**

**TILLATTE HJELPEMIDDEL: Ingen trykte eller håndskrevne hjelpemidler.  
Kalkulator: godkjent kalkulator.**

**OPPGAVESETTET BESTÅR AV 4 OPPGAVER PÅ 4 SIDER + 2 SIDER VEDLEGG**

**MERKNADER: Vedlegg 1 består av nyttig informasjon, bl.a. formler og konstanter.**

**Vedlegg 2 inneholder 2 figurer.**

**Ved bedømmelsen vil hver av deloppgavene telle likt.**

**Totalt vil oppgave 1 telle ca. 33,3%, oppgave 2 telle ca. 28,6%, oppgave 3 ca. 14,3% og oppgave 4 ca. 23,8%.**

---

**Oppgave 1**

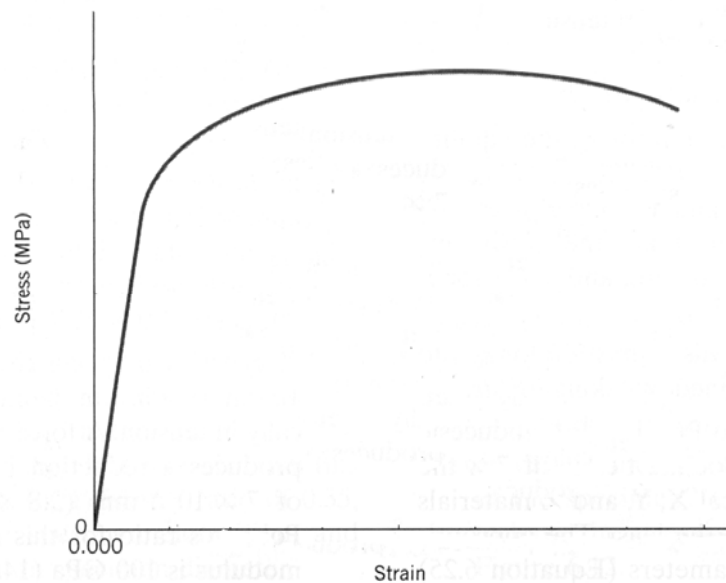
Rent jern (Fe) kan ha både FCC og BCC type struktur i fast fase. Vi antar at atomene er stive kuler (hard-sphere) som berører hverandre (touch each other) langs de mest tettpakka krystallografiske retningene (directions).

- Tegn en FCC enhetscelle (unit cell) (atomene skal være markert som små runde kuler) og deretter planet med Millers indekser (110) for FCC enhetscelle (atomene skal være avmerket som kuler i (110)-planet også). Det skal være to avskilte figurer.
- Utlede relasjonen:  $a = 2R\sqrt{2}$  for en FCC struktur hvor  $a$  er akselengden (cube edge length) og  $R$  atomradius. Hint: bruk det tegna (110) planet fra oppgave 1a) til å vise/forklare hvordan uttrykket utledes.
- Tegn to kubiske enhetsceller uten atomer. Aksene  $x$ ,  $y$  og  $z$  må være avmerka på begge figurene. I den ene enhetscella tegnes inn planet med Miller indekser (123), i den andre enhetscella tegnes inn retningsvektoren (direction vector)  $[2\ 3\ 3]$ . Vis utregninger.

- d) Regn ut teoretisk massetettheten (density) for både FCC og BCC jern. Vis utregninger (svar i  $\text{g/cm}^3$ ) og forklar grunnen til forskjell i massetettheten for de to strukturene.
- e) Rent jern "begraves" i en kasse med finknust karbon. Kassa holdes ved en høy temperatur uten at krystallstrukturen til jern endres. Hva kalles denne teknologisk prosessen som skjer ved den høye temperaturen og hva kalles mekanismen som fører til at karbonatomene forflyttes (moves) fra overflatene (surfaces) og innover i jernet?
- f) Karbonatomene beskrevet i prosessen i delspørsmål (1e) vil være i fast løsning (solid solution) i jern. Hva vil det si at atomene er i fast løsning og hva heter den atomposisjonen karbonatomene vil være i? Begrunn svaret for valgt atomposisjon.
- g) Legeringselementer (alloying elements) i fast løsning gir et hardhetsbidrag. Forklar kort grunnen til dette.

## Oppgave 2

- a) Tegn på svararket et skjematisk spenning tøyingsdiagram (schematic stress-strain diagram), mest mulig likt Figur 1. Marker på den tegna figuren hvor du ville lest av: 1) flytegrense (yield strength) svarende til 0,2% plastisk deformasjon; 2) strekkfasthet (tensile strength) og 3) bruddtøyningen (failure strain) etter brudd.



Figur 1. Skjematisk diagram som viser nominell spenning som funksjon av nominell tøyning.

- b) Angi gyldighetsområdet (interval of validity) og hva symbolene i de gitte to likningene:  $\sigma_T = \sigma(1 + \epsilon)$  og  $\epsilon_T = \ln(1 + \epsilon)$  står for.

- c) En 30 meter lang stang som har en uniform sirkulær tvernsnittsdiameter på 5 millimeter forlenges elastisk 3 millimeter når den utsettes for en strekk kraft på 200 N. Regn ut stangas elastisitetsmodul (modulus of elasticity). Vis utregningen.
- d) Hva er de karakteristiske trekkene med hensyn på spenningstilstand for et materiale som har vært utsatt for utmattingsbrudd (fatigue failure)?
- e) Hvilke to mikrostrukturelle trekk kan man se i bruddoverflata (fracture surface) etter et utmattingsbrudd som beviser at det var et utmattingsbrudd?
- f) I dette kurset har vi lært at vi kan få store spenningskonsentrasjoner (stress concentration) lokalt i et materiale nær en bestemt type feil ved enakset strekk. Skriv likningen for beregning av maks spenning i forbindelse med denne typen feil og hva de ulike symbolene i likningen står for.

### Oppgave 3

Sølv har kjemisk symbol Ag og kobber har Cu. Figur 2 viser fasediagrammet til sølv-kobber systemet. Vi har en legering som består av 30 wt% sølv og en annen legering som består av 71,9 wt% sølv. Vi antar likevektsstørkning (equilibrium solidification).

- a) Tegn en skjematisk skisse av mikrostrukturen av legeringen bestående av 71,9 wt% sølv ved en temperatur rett under den temperaturen hvor all smelte er størknet. Sett symbol på fasen/fasene i henhold til fasediagrammet. Regn også ut faseandel (determine phase amount) av hver av fasene hvis det er flere faser tilstede i denne tilstanden.
- b) Ved hvilken temperatur (svar i °C) og med hvilken sammensetning (composition) størkner det første faste stoffet i en legering som består av 30 wt% sølv?
- c) Tegn en skjematisk skisse av mikrostrukturen for en legering som består av 30 wt% sølv ved 780°C. Sett symbol på fasen/fasene i figuren i henhold til fasediagrammet.

### Oppgave 4

Jern-karbon systemet er et av de viktigste legeringssystemer teknologisk sett. Vi vil nå se på en legering som består av jern med eutektoid sammensetning, det vil si legert med 0,76 wt% karbon.

- a) Mikrostrukturen til en legering med eutektoid sammensetning består av to faser dersom avkjølingshastigheten (cooling rate) har vært tilstrekkelig langsom (slow). Vi har et eget navn på slik eutektoid struktur i jern-karbon systemet. Hva kalles den eutektoide strukturen og hvilke to faser består den av?
- b) Figur 3 er et TTT-diagram for en jern karbonlegering med eutektoid sammensetning. Hva står de tre T'-ene for og hvorfor er det flere faser i TTT-diagrammet, figur 3, enn for jern-karbon fasediagrammet?

- c) Lag en skisse av fin perlitt (fine pearlite) og en av grov perlitt (coarse perlite) og forklar hva er forskjellen i mikrostrukturen. Hva er grunnen (reason) til forskjellen i mikrostrukturen? Forklar forskjellen i mikrostruktur for grov perlitt og fin perlitt ut i fra dannelsesmekanismen.
- d) Anta at to stålbit(er), stålbit(I) og stålbit(II), har vært varmebehandlet (heat treat) lenge nok ved  $760^{\circ}\text{C}$  til at en har fått en homogen austenittisk fase. Stålbit(I) bråkjøles så til  $700^{\circ}\text{C}$  og holdes der i  $10^4$  sek. Deretter bråkjøles til romtemperatur. Stålbit(II) bråkjøles til  $450^{\circ}\text{C}$  og holdes så der i 10 sek. Deretter bråkjøles deretter til  $165^{\circ}\text{C}$  og holdes så ved denne temperaturen i 10 sek. Deretter bråkjøles til romtemperatur. Hvilken mikrostruktur/mikrostrukturer består stålbit(I) og stålbit(II) av ved romtemperatur etter angitte varmebehandlinger. Angi også hvis mulig prosentvis andel av fasene i de to stålbitene.
- e) For stål med eutektoid sammensetning beskriver Avrami likningen den isoterme varmebehandlingen austenitt  $\rightarrow$  perlitt (ved en bestemt temperatur) ganske godt med tallverdiene  $k = 10^{-9}$  og  $n = 3,4$  (det forutsettes at  $t$  angis i sekunder). Bruk Avrami likningen til å beregne hvor lang tid det tar for å oppnå 50% omvandling fra austenitt  $\rightarrow$  perlitt ved denne temperaturen. Vis utregning.

Formler og konstanter

Atomtype	C (Hex.) (karbon)	Al (FCC) (aluminium)	Fe (BCC) (jern)	Fe (FCC) (jern)
Atom vekt (g/mol)	12,01	26,98	55,85	55,85
Atomradius (nm)	0,071	0,1431	0,1241	0,1241
Akselengde, a, (nm)		0,4047	0,2866	0,3510

$$N_A = 6,023 \times 10^{23} \text{ atomer/mol}$$

$$R = 8,31441 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$$

$$D_0 \text{ (Cu i Al)} 0,000078 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Q \text{ (Cu i Al)} 211 \text{ kJ/mol}$$

$$A = \pi r^2$$

$$V = (4/3)\pi r^3$$

$$1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ GPa} = 10^9 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ }\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$$

$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$$

$$\rho = \frac{nA}{V_C N_A}$$

LD = (number of atoms centered on direction vector)/(length of direction vector)

PD = (number of atoms centered on a plane)/(area of plane)

APF = (volume of atoms in the unit cell)/(total unit cell volume)

$$D = D_0 \exp[-Q_d/(RT)]$$

$$\tau = G\gamma$$

$$\nu = -(\epsilon_x/\epsilon_z) = -(\epsilon_y/\epsilon_z)$$

$$E = 2G(1 + \nu)$$

$$\sigma_m = 2\sigma_0(a/\rho_t)^{1/2}$$

$$\sigma_T = \sigma(1 + \epsilon)$$

$$\sigma_c = [(2E\gamma_s)/(\pi a)]^{1/2}$$

$$\sigma_T = \sigma(1 + \epsilon)$$

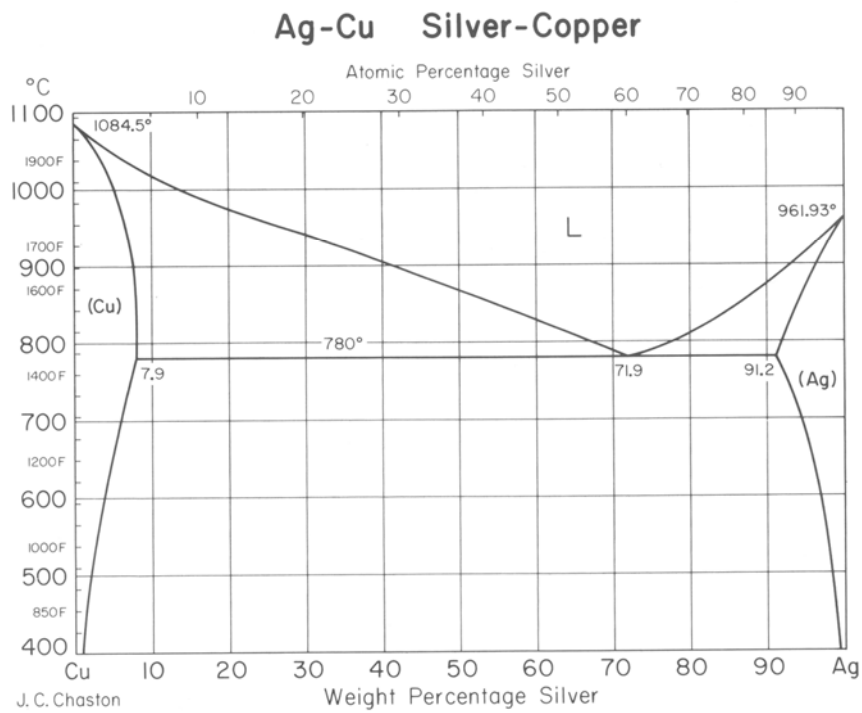
$$K_c = Y\sigma_c(\pi a)^{1/2}$$

$$\sigma_T = K\epsilon^n$$

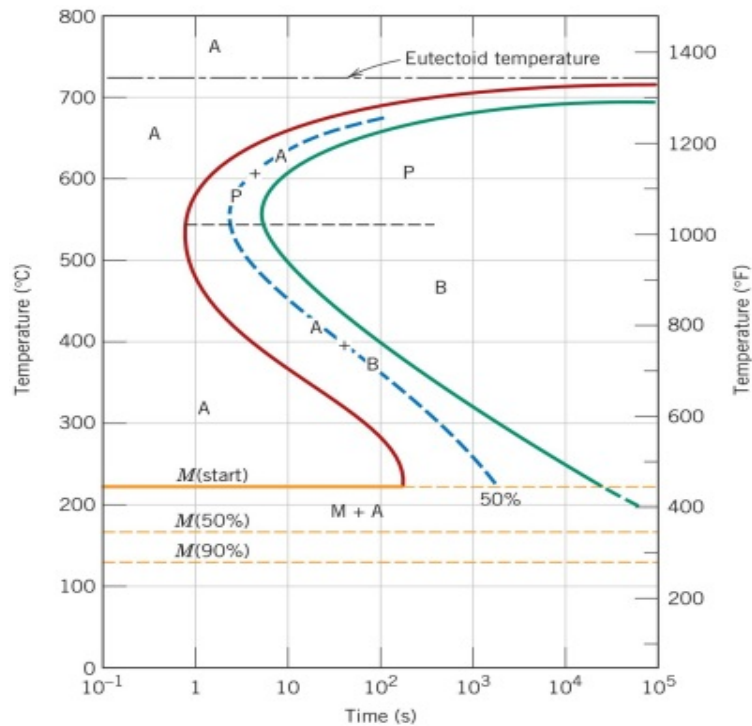
$$y = 1 - \exp(-kt^n)$$

$$\sigma_y = \sigma_0 + k_y d^{-1/2}$$

$$d^n - d_0^n = Kt$$



Figur 2. Fasediagram for sølv – kobber systemet



Figur 3. TTT-diagram for jern-karbon legering med eutektoid sammensetning