

DET TEKNISK – NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

EKSAMEN I: (BIM120-1 Materialmekanikk)

DATO: 09.12.2008

TID FOR EKSAMEN: 4 timer

**TILLATTE HJELPEMIDDEL: Ingen trykte eller håndskrevne hjelpemidler.
Kalkulator: HP30S, Casio FX82, TI-30**

OPPGAVESETTET BESTÅR AV 5 OPPGAVER PÅ 3 SIDER + 3 SIDER VEDLEGG

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

Vedlegg 2 inneholder to figurer og en tabell.

For enkelte ord er det engelske ordet gitt i parentes; skrevet i kursiv.

Ved bedømmelsen vil hver av deloppgavene telle likt, unntatt 5b som teller det dobbelte.

Totalt vil oppgave 1 vil telle ca. 15%, oppgave 2 telle ca. 27%, oppgave 3 ca. 20% oppgave 4 ca. 27% og oppgave 5 ca. 12%.

Oppgave 1

- Jern har atomnummer 26. Hva er det som angir atomnummeret til et grunnstoff?
- Vi har veid opp 1 mol med jernatomer. Hvor mange jernatomer er det?
- Forklar hva som menes med grunntilstand til atomer og valenselektroner.
- Fordel elektronene til jern i henhold til figur 1, se vedlegg 2. Hvor mange elektroner blir å finne i 3d orbitalet?

Oppgave 2

Jernatomer (atomnummer 26) ordnet i bcc krystallstruktur med gitterparameter $a = 0.287$ nm.

Vi antar at jernatomene er stive kuler som berører hverandre. Atomvekta til jern er 55.85 g/mol.

- Tegn bcc enhetscella til jern med akser. Senterne til atomene markeres med små skraverete sirkler. I figuren skal du også tegne inn og markere [110] og [123] retningene.
- Atomarrangementet for (110)-planet skal tegnes i papirplanet for både bcc og fcc jern. Planet skjærer origo i enhetscella. Atomenes plasser markeres og tegnes som stive kuler med "rett" radius på figuren i forhold til de lengder du har tegnet på enhetscellekantene.
- Regn ut atomradius for jern. Vis beregninger.
- Regn ut gitterparameteren for fcc jern. Vis beregninger
- Regn ut atomær plantetthet (*Planar density*: PD) for (110)-planet både for bcc og fcc jern. Vis beregninger
- Regn ut den atomære linjetettheten (*Linear density*: LD) for $[\bar{1}10]$ og $[\bar{1}11]$ retningene i (110)-planet for både bcc og fcc jern. Vis beregninger
- Hva er et glidesystem (*slip system*)? Det finnes ett glidesystem blant de plan og retninger som er beregnet i e) og f). Hvilket? Begrunn svaret.

Oppgave 3

De fleste konstruksjonsmaterialer er legeringer. Vi skal se nærmere på en legering av aluminium tilsatt 4.0 wt% Cu. Kobberatomene er i fast løsning. Rent aluminium har fcc-struktur med gitterparameter $a = 0,404$ nm. Med matriks i denne legeringen menes de aluminium-rike områdene med samme fcc-struktur som aluminium.

- Kobberatomene befinner seg substitusjonelt i matriks. Hva menes med det?
- Vi antar at kobber er substitusjonelt løst aluminiumen. Hvordan er hardheten til en aluminiumslegering med 4 wt% Cu i forhold til en med 1.0 wt% Cu? Begrunn svaret og tegn en illustrasjon av mikrostruktur som belyser svaret.
- For å få kobberatomene i fast løsning har legeringen først vært varmet opp til en høy temperatur og så bråavkjølet i vann. Når legeringen holdes ved den høye temperaturen så vil det også dannes vakanser. Hva er en vakans og hva er likevektskonsentrasjonen av vakanser ved henholdsvis 450°C og 550°C i en prøve som er på 1 m^3 og som vi antar har totalt tilgjengelig 10^{28} atomplasser/ m^3 uavhengig av temperaturen på prøven. Dannelsesenergien for vakanser i aluminium er 0.66 eV.
- Legeringen blir så delt i to biter. Den ene biten blir varmebehandlet ved 130°C i 10 dager og den andre biten ved 190°C i 1 dag. Beregn diffusjonskoeffisienten for kobber i aluminium for de ved 130°C og ved 190°C? Vis beregning. (Se vedlegg 2)
- Under varmebehandlingene som ble beskrevet i deloppgave d) felles ut små partikler. Hva er en partikkel og hvorfor bidrar små partikler til økt Vickers hardhet i materialet?

Oppgave 4

I enakset strekk ble følgende verdier observert for en 20 mm i diameter prøvestang av støpejern. Målelengde, l_0 , for staven er 40 mm.

Kraft (N)	0	25000	50000	75000	90000	105000	120000	131000 [*]	125000 [#]
Δl	0.000	0.0185	0.0370	0.0555	0.20	0.60	1.56	4.00	7.52

Målpunktet merket ^{*} (nest siste) er ved maksimal last og brudd skjer ved punktet merket [#] (siste).

Etter brudd var diameteren på 18.35 mm. Plot nominelt spenning-tøyningsdiagrammet og finn:

- E-modul (GPa)
- Flytegrense (MPa), svarende til 0.2% plastisk deformasjon. Angi verdi og vis på grafen.
- Strekfasthet (MPa) (*tensile strength*). Angi verdi og vis på grafen.
- Beregn den totale lengden av det som var målområdet etter bruddet, dvs. i avlasta tilstand. Gjøres ved utregning, ikke grafisk. Vis beregninger.
- Beregn sann spenning ved brudd. Vis beregninger.
- Hva mener vi med resiliensen til et materiale, hva representerer denne grafisk?
- Anta at Poissons forhold er 0.30 for metallet som strekkstaven var laget av. Beregn kontraksjonen når strekkstaven utsettes for en kraft på 50 000 N.

Oppgave 5

En messingstang (*cylindrical rod of brass*) ble støpt ut som en stang med et sirkulært tverrsnitt på 20 mm. For å få de ønskede mekaniske egenskaper ble den rundvalsa kald ned til en sirkulær stang med tverrsnittsdiameter 18 mm.

- Hvor mange prosent kaldeformasjon (%CW) ble foretatt? Angi også strekkfasthet og duktilitet til materialet etter denne kaldeformasjonen. (Se vedlegg 2)
- Nå viste det seg at bestillingen var feil. Stanga skulle hatt en diameter på 10 mm. De mekaniske egenskapene skulle derimot være de som ble oppnådd i a) delen av oppgaven. Beskriv prosedyren for hvordan du vil gå fram for å få det ønskede materialet ut fra stanga i deloppgave a). Gjør nødvendige beregninger som legges ved besvarelsen og begrunn din valgte prosedyre. Anta at messing sprekker etter 65% CW.

Vedlegg 1

Formler og konstanter

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

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

$$k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/atom}\cdot\text{K} = 8.62 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$$

$$\text{Atomradius aluminium} = 0.143 \text{ nm}$$

$$\text{Atomradius kobber} = 0.128 \text{ nm}$$

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

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

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

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

$$0^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$$

$$A = \pi r^2$$

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

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

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)

$$N_v = N \{ \exp[-Q_v/(kT)] \}$$

N_v : likevektkonsentrasjon av vakanser ved en gitt temperatur.

N : totale antall tilgjengelige atomplasser i prøven.

Q_v : energien som kreves for å danne en vakans.

K : Boltzmanns konstant

T : temperatur i K

$$\tau = G\gamma$$

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

$$\nu = -(\epsilon_X/\epsilon_Z) = -(\epsilon_Y/\epsilon_Z)$$

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

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

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

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

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

$$\epsilon_T = \ln(1 + \epsilon)$$

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

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

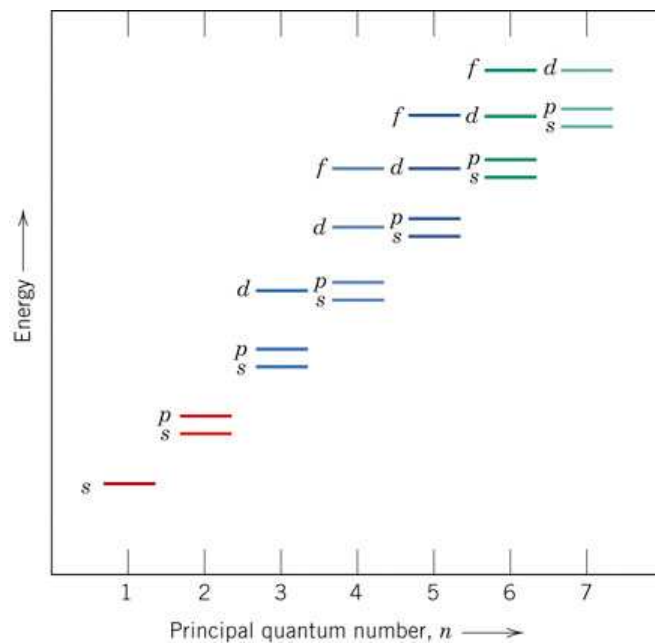
$$d^n - d_0^n = Kt$$

$$\%CW = [(A_0 - A_d)/A_0] \times 100$$

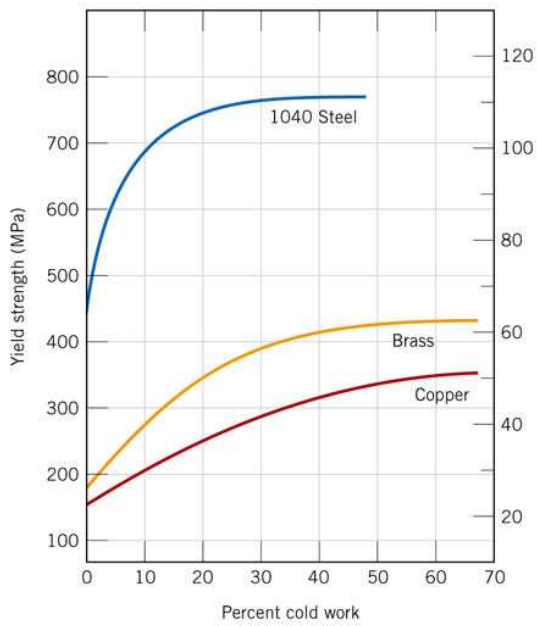
Tabell 1. Tabell over diffusjonsdata

Diffusing Species	Host Metal	$D_0(m^2/s)$	Activation Energy Q_d		Calculated Values	
			kJ/mol	$eV/atom$	$T(^{\circ}C)$	$D(m^2/s)$
Fe	α -Fe (BCC)	2.8×10^{-4}	251	2.60	500	3.0×10^{-21}
					900	1.8×10^{-15}
Fe	γ -Fe (FCC)	5.0×10^{-5}	284	2.94	900	1.1×10^{-17}
					1100	7.8×10^{-16}
C	α -Fe	6.2×10^{-7}	80	0.83	500	2.4×10^{-12}
					900	1.7×10^{-10}
C	γ -Fe	2.3×10^{-5}	148	1.53	900	5.9×10^{-12}
					1100	5.3×10^{-11}
Cu	Cu	7.8×10^{-5}	211	2.19	500	4.2×10^{-19}
Zn	Cu	2.4×10^{-5}	189	1.96	500	4.0×10^{-18}
Al	Al	2.3×10^{-4}	144	1.49	500	4.2×10^{-14}
Cu	Al	6.5×10^{-5}	136	1.41	500	4.1×10^{-14}
Mg	Al	1.2×10^{-4}	131	1.35	500	1.9×10^{-13}
Cu	Ni	2.7×10^{-5}	256	2.65	500	1.3×10^{-22}

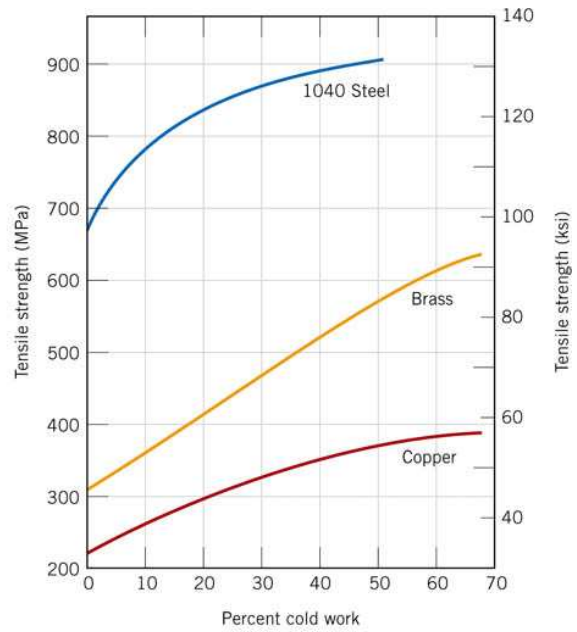
Source: E. A. Brandes and G. B. Brook (Editors), *Smithells Metals Reference Book*, 7th edition, Butterworth-Heinemann, Oxford, 1992.



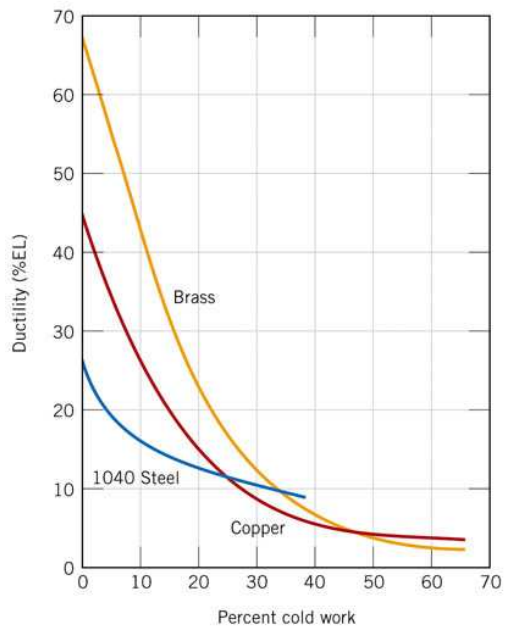
Figur 1. Skjematisk representasjon av den relative energien til elektronene for ulike skall og underskall (*shells and subshells*).



(a)



(b)



(c)

Figur 2. Diagrammer som viser sammenhengen mellom prosent kalddeformasjon og noen mekaniske egenskaper for 1040 stål, messing og kobber. (a) Økning av flytespenning, (b) økning av strekkfastheten, og (c) reduksjon av duktilitet (%EL) med prosent kalddeformasjon.