

DET TEKNISK – NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

EKSAMEN I: (BIM120-1 Materialmekanikk)

DATO: 09.12.2009

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 + 2 SIDER VEDLEGG
SOM TOTALT BLIR 5 SIDER.**

**MERKNADER: Vedlegg 1 består av nyttig informasjon, bl.a. formler og konstanter.
Vedlegg 2 inneholder figurer.**

Noen ord er satt inn på engelsk i teksten med mindre font og inne i parentes. Engelske ord er kun tenkt som en språklig hjelp. Det er den norske teksten som er den gjeldende. Der hvor det måtte være uoverensstemmelse mellom norske og engelske ord er det norske som er gjeldende og vil gjelde ved sensurering.

Ved bedømmelsen vil hver deloppgave i utgangspunktet telle følgende: 1a), 2a), 2b), 3a) og 3c) telle 2. Oppgave 5b) teller 3. De resterende deloppgavene teller alle 1. Totalt vil oppgave 1 vil telle 20%, oppgave 2 telle 24%, oppgave 3 telle 20%, oppgave 4 telle 16% og oppgave 5 telle 20%.

Oppgave 1

Atomstruktur og interatomære bindinger.

Figur 1 og 2, vedlegg 2, inneholder informasjon knyttet til deler av denne oppgaven.

- a) Tegn (draw) Bohrs atommodeller for hver av de tre typene atomer: beryllium (Be), fluor (F) og natrium (Na).

- b) Et nøytralt atom fra ett grunnstoff (an element) har elektronkonfigurasjonen $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$. Hva står symbolene i notasjonen for og hvilket grunnstoff har denne elektronkonfigurasjonen?
- c) Ett grunnstoff i det periodiske systemet (the periodic table of the elements) har elektronkonfigurasjonen $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$. Det neste grunnstoffet i det periodiske systemet har elektronkonfigurasjonen $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^1 4s^2$. Hva er grunnen til elektronene fyller opp i 4s orbitalen før 3d?
- d) Figur 2 viser Bohrs atommodell for et fast stoff (solid state). Hvilke to typer atomer (A og B) består dette faste stoffet av og hvilken type binding binder atomene sammen? Begrunn svarene.

Oppgave 2

Gull (Au) i fast fase har FCC krystallstruktur. Gullatomene betraktes som stive kuler med radius R, se vedlegg 1.

- a) Tegn enhetscella til gull i fast fase og tegn planene (110) og (001). Beregn både gitterparameteren, a, (lattice parameter, a,) for gull og avstanden mellom nest nærmeste naboatomer i strukturen (vis beregninger; numeriske verdier i nm skal oppgis).
- b) Regn ut plantettheten, PD, (antall atomer pr. arealenhet) både for $(001)_{Au}$ og $(111)_{Au}$. Vis nødvendige figurer og beregninger.
- c) Hvilke av de to planene $(001)_{Au}$ eller $(111)_{Au}$ har størst grenseflateenergi (largest energy of interface) hvis disse flatene skulle danne metalloverflate (surface)? Begrunn svaret.
- d) Ett hydrogenatom har kommet inn i materialet og finnes i posisjonen $\frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2}$ i en enhetscelle. Hvilken betegnelse har vi på atomer som inngår i en slik posisjon i en FCC enhetscelle?

Oppgave 3

En forenklet (a simplified) skjematisk illustrasjon av en kantdislokasjon er vist i figur 3, vedlegg 2. Atomene representerer aluminiumatomer i en FCC struktur. Lengden av de angitte vektorene x og y er lik gitterparameteren, a, (lattice parameter, a,) som for aluminium er 0,404 nm.

- a) Tegn en forbedret (improved) skjematisk illustrasjon av en kantdislokasjon enn den som er gitt i figur 3 med tanke på atomenes plassering i omgivelsene rundt dislokasjonslinja (the dislocation line). Marker tydelig Burgers vektor på figuren og angi vektorens lengde (length) og retning (direction) på en korrekt krystallografisk måte. Vektorens lengde og retning skal angis numerisk.
- b) I strukturen finnes legeringsatomer av både magnesium (Mg) og sink (Zn) løst substitusjonelt i matriks. Rundt en kantdislokasjon vil det være energetisk gunstige plasser for legeringselementer (alloying elements). Marker på skissen gjort i delspørsmål

- 3a) hvor det er energetisk gunstig (energetic favorable) for henholdsvis sink og magnesium atomer å være i strukturen. Begrunn plasseringene.
- c) Undersøkelse av ett materiale viser at det har stor tetthet (density) av dislokasjoner. Hva er det rimelig å anta at har skjedd med materialet? Hvilken type eksperimentell teknikk brukes for studier av dislokasjonsstruktur? Hva vil skje med mikrostrukturen til dette materialet hvis vi varmer det opp til høy temperatur?

Oppgave 4

Oppgaven tar for seg problemstillinger knyttet til mekanisk testing i en-akset strekk og Vickers hardhetsmålinger. Delspørsmålene a), b) og c) består blant annet av å skissere (to draw) skjematiske spenning-tøyingsdiagram (stress-strain diagram). For disse spenning-tøyingsdiagrammene skal nominell tøyning (strain) på x-aksen plottes mot nominell spenning (stress) på y-aksen. Ingen av diagrammene skal være for systemer hvor øvre og nedre flytegrenser oppstår (for system without upper and lower yield stress). Diagrammene skal vise hele forløpet fram til brudd (fracture).

- Tegn to (draw two) spenning-tøyingsdiagram. Ett for et sprøtt (brittle) materiale og ett for et duktilt materiale. Anta samme enheter på aksene for begge diagrammene.
- Tegn to kurver i ett og samme spenning tøyingsdiagram hvor det ene har en større E-modul (modulus of elasticity) enn det andre. Angi hvilket som har størst E-modul på figuren. Hva representerer E-modulen med tanke på kurven?
- Tegn ett spenning/tøyingsdiagram for et duktilt materiale. Avsett på diagrammet: flytegrensen svarende til 0,2% plastisk deformasjon (yield strength using the 0,2% offset method), strekkfastheten (tensile strength) og tøyningen etter brudd (strain after fracture). Ta med detaljer i diagrammene slik at det går tydelig fram at forståelsen er fullstendig.
- Hva er det som måles (measure) vha. hardhetsmålinger mikrostrukturelt sett? (Tips: hardhet er ikke det korrekte svaret.)

Oppgave 5

Vi skal betrakte messing (brass) som har vært varmebehandla (heat-treated) 650°C i 40 og 100 minutter etter at den var fullstendig rekrystallisert. Etter 40 minutter var gjennomsnittlig korndiameter (average grain diameter) 0,056 mm som videre ble forgrovet (coarsed) til 0,08 mm etter 100 minutter. Eksponenten i uttrykket for å beregne kornforgroving i dette systemet settes lik 2.

- Hva er den drivende kraften (driving force) for kornforgrovingen (grain coarsening) og hvilken atomær prosess er kornforgrovingen helt avhengig av?
- Beregn gjennomsnittlig (average) korndiameteren (grain diameter) når varmebehandlingen startet og etter 200 minutter varmebehandling.
- Hvordan endres Vickers hardhet til materialet fra 100 til 200 minutters varmebehandling? Forklar (explain) på mikroskala hva som er grunnen til den endrede hardheten (change in hardness).

Vedlegg 1

Formler og konstanter

| Atomtype | Al | Mg | Zn | Au |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| Atomradius (nm) | 0,143 | 0,160 | 0,133 | 0,144 |

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

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

$$k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/atom}\cdot\text{K}$$

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

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

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

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

$$A = \pi r^2$$

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

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

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 : likevektskonsentrasjon av vakanser ved en gitt temperatur

Q_v : energien som kreves for å danne en vakans

K : Boltzmanns konstant

T : temperatur i K

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

$$\tau = G\gamma$$

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

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

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

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

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

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

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

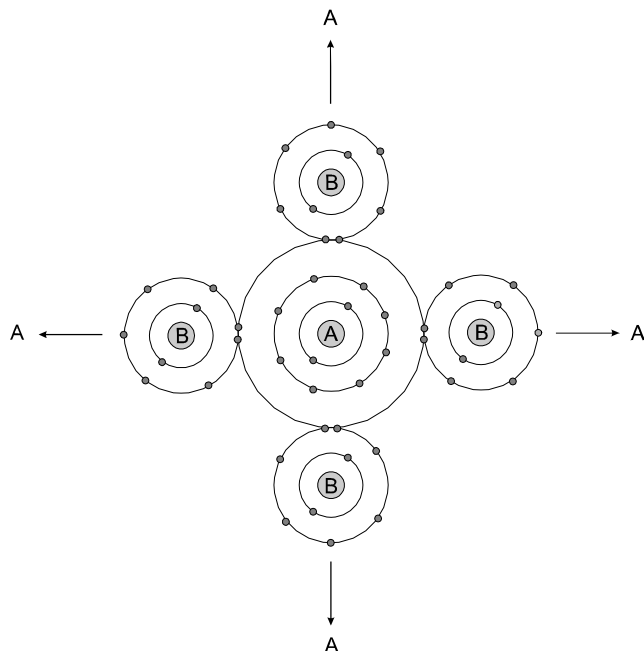
$$\epsilon_T = \ln(1 + \epsilon)$$

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

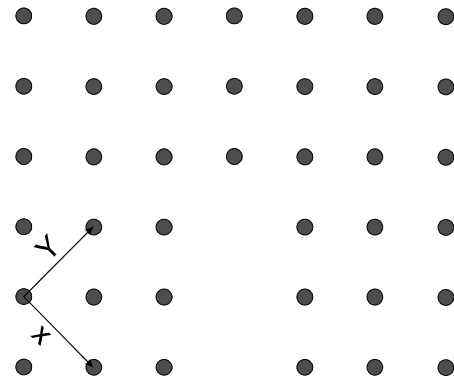
Vedlegg 2

| IA | | IIA | | | | | | | | | | | | III A | IV A | VA | VIA | VII A | 0 | | | | | |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|
| 1 H 1.0080 | | 3 Li 6.941 | 4 Be 9.0122 | | | | | | | | | | | | | | | | 5 B 10.811 | 6 C 12.011 | 7 N 14.007 | 8 O 15.999 | 9 F 18.998 | 10 Ne 20.180 |
| 11 Na 22.990 | 12 Mg 24.305 | | | IIIB | IVB | VB | VIB | VII B | VIII | | | IB | II B | 13 Al 26.982 | 14 Si 28.086 | 15 P 30.974 | 16 S 32.064 | 17 Cl 35.453 | 18 Ar 39.948 | | | | | |
| 19 K 39.098 | 20 Ca 40.08 | 21 Sc 44.956 | 22 Ti 47.87 | 23 V 50.942 | 24 Cr 51.996 | 25 Mn 54.938 | 26 Fe 55.845 | 27 Co 58.933 | 28 Ni 58.69 | 29 Cu 63.54 | 30 Zn 65.41 | 31 Ga 69.72 | 32 Ge 72.64 | 33 As 74.922 | 34 Se 78.96 | 35 Br 79.904 | 36 Kr 83.80 | | | | | | | |
| 37 Rb 85.47 | 38 Sr 87.62 | 39 Y 88.91 | 40 Zr 91.22 | 41 Nb 92.91 | 42 Mo 95.94 | 43 Tc (98) | 44 Ru 101.07 | 45 Rh 102.91 | 46 Pd 106.4 | 47 Ag 107.87 | 48 Cd 112.41 | 49 In 114.82 | 50 Sn 118.71 | 51 Sb 121.76 | 52 Te 127.60 | 53 I 126.90 | 54 Xe 131.30 | | | | | | | |
| 55 Cs 132.91 | 56 Ba 137.34 | Rare earth series | 72 Hf 178.49 | 73 Ta 180.95 | 74 W 183.84 | 75 Re 186.2 | 76 Os 190.23 | 77 Ir 192.2 | 78 Pt 195.08 | 79 Au 196.97 | 80 Hg 200.59 | 81 Tl 204.38 | 82 Pb 207.19 | 83 Bi 208.98 | 84 Po (209) | 85 At (210) | 86 Rn (222) | | | | | | | |
| 87 Fr (223) | 88 Ra (226) | Actinide series | 104 Rf (261) | 105 Db (262) | 106 Sg (266) | 107 Bh (264) | 108 Hs (277) | 109 Mt (268) | 110 Ds (281) | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rare earth series | | | 57 La 138.91 | 58 Ce 140.12 | 59 Pr 140.91 | 60 Nd 144.24 | 61 Pm (145) | 62 Sm 150.35 | 63 Eu 151.96 | 64 Gd 157.25 | 65 Tb 158.92 | 66 Dy 162.50 | 67 Ho 164.93 | 68 Er 167.26 | 69 Tm 168.93 | 70 Yb 173.04 | 71 Lu 174.97 | | | | | | | |
| Actinide series | | | 89 Ac (227) | 90 Th 232.04 | 91 Pa 231.04 | 92 U 238.03 | 93 Np (237) | 94 Pu (244) | 95 Am (243) | 96 Cm (247) | 97 Bk (247) | 98 Cf (251) | 99 Es (252) | 100 Fm (257) | 101 Md (258) | 102 No (259) | 103 Lr (262) | | | | | | | |

Figur 1. Det periodiske system.



Figur 2. Bohrs atommodell for et fast stoff.



Figur 3. Skjematiske skisse av kantdislokasjon.