

Oppgave 5.1

- a) Figur 5.1 viser et forenklet tilstandsdiagram for det metastabile system jern-karbon, Fe-C. Skriv på diagrammet strukturelementene og fasene som tilhører de enkelte flater. Merk av eutektisk og eutektoidisk reaksjon

Se Figur L-5.1.1.

- b) To stål med henholdsvis 0,5% C og 1,3% C avkjøles sakte fra austenittområdet og ned til værelsestemperatur, slik at det hele tiden følger likevektsdiagrammet. Forklar nøye hva som skjer med strukturen under avkjølingen, og finn masseforholdet mellom de strukturelementer vi har ved romtemperatur.

Vi ser først på nedkjøling av stål med 0,5% C. Ved ca. 1450°C har all smelten størknet til en fase med flatesentrert struktur, γ -fasen, også kalt austenitt. Ved videre nedkjøling er austenitten stabil helt ned til like under 800°C, se Figur L-5.1.1 punkt A. Her blir austenitten mettet på Fe og den spaltes opp i to faser, α -jern med et lite C-innhold og γ -jern. Det er vanlig å se bort fra det lille C-innholdet i α -jern, og regne fasen som rent jern. α -jern kalles også ferritt.

Etter hvert som temperaturen synker og det utskilles C fattig α -jern, øker γ -fasens andel av C. Sammensetningen av γ -fasen er gitt av linjen A-C. Vi ser α -jern får en noe større andel av C etter som temperaturen synker. Ved temperaturen $A_1 = 723^\circ\text{C}$ har både α - og γ -fasene sin største oppløselighet av C, henholdsvis 0,05% C og 0,8% C, se Figur L-5.1.1 punkt D og C. Legeringens totale sammensetning er selvfølgelig uforandret, og gitt av punktet B.

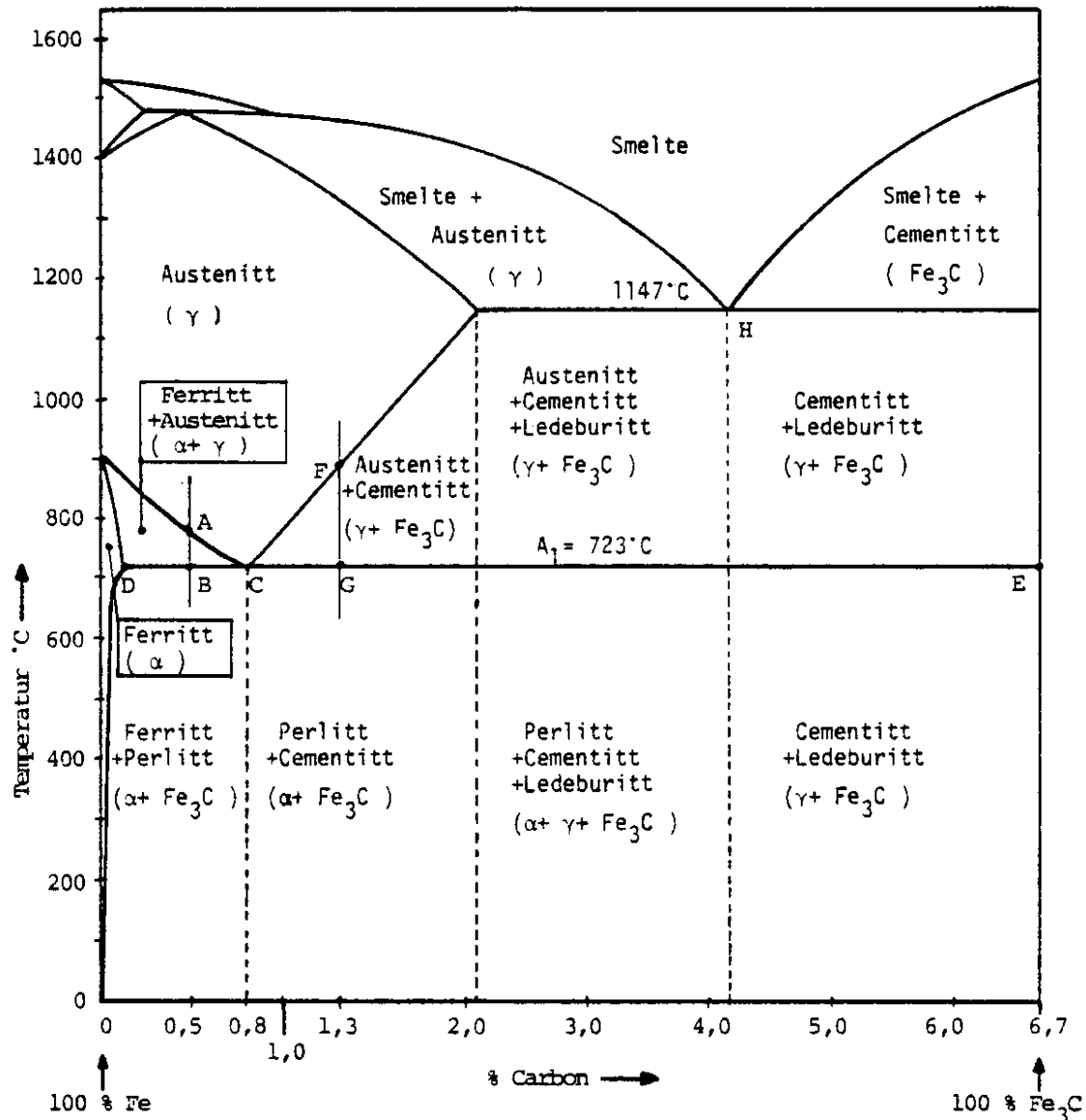
Ved denne temperaturen kan austenitten, γ -fasen, oppfattes som mettet både på Fe (ferritt) og karbon, punkt C. Ved ytterligere varmebortledning spaltes austenitten til eutektoidet perlitt som er en finfordelt mekanisk blanding av ferritt og cementitt (Fe_3C).

Vi har altså nå to strukturelementer, ferritt og perlitt. Ferritten inneholder bare en fase α -jern, mens perlitten inneholder begge fasene som er til stede, α -jern og cementitt (Fe_3C). α -jernets sammensetning er gitt av punkt D, cementittens sammensetning av punktet E og perlittens sammensetning av punktet C, se Figur L-5.1.1.

Ved den videre nedkjøling til normaltemperatur forblir disse strukturebestanddelene uforandret. Den eneste forandringen som finner sted, er at ferrittens oppløselighet av C avtar, slik at C diffunderer ut av ferritten og inn i cementitten.

Vi vil nå finne masseforholdet mellom de to strukturelementene vi har ved romtemperatur, ferritt og perlitt, ved hjelp av hevarmloven, idet vi ser helt bort fra den lille andelen C som fortsatt finnes i ferritten Vi har da fra diagrammet i Figur L-5.1.1:

Oppgave 5.1b, forts.



Figur L-5.1.1

Den eutektoide reaksjonen er markert med bokstaven C. Den eutektiske reaksjonen er markert med bokstaven H.

$$\text{ferritt} \cdot 0,5 = \text{perlitt} \cdot (0,8 - 0,5)$$

$$\frac{\text{ferritt}}{\text{perlitt}} = \frac{0,8 - 0,5}{0,5} = \underline{\underline{0,6}}$$

vi ser nå på nedkjøling av stål med 1,3% C. Ved ca. 1300°C har all smelten størknet til fast fase, austenitt. Ved videre nedkjøling er austenitten stabil helt ned til ca. 900°C, se Figur L-5.1.1, punkt F. Her blir austenitten mettet på C, og den spaltes opp i to faser, cementitt (Fe_3C) og austenitt. Cementittens sammensetning er gitt av punkt E i Figur L-5.1.1. Etter hvert som temperaturen synker og det skilles ut mer cementitt med C innhold på 6,7%, synker γ -fasens andel av C. Sammensetningen av γ -fasen følger linjen F-C i diagrammet. Cementittens oppløselighet av C er hele tiden 6.7%.

Oppgave 5.1b, forts.

Når legeringen er avkjølt til $A_1 = 723^\circ\text{C}$, punkt G, har austenitten sammensetning gitt av punkt C. Austenitten kan her oppfattes som mettet både med ferritt og med karbon, og ved videre varmebehandling spaltes den til eutektoidet perlitt (blanding av ferritt og cementitt).

Legeringen består nå av to strukturelementer, cementitt og perlitt. Cementtitten består kun av en fase, Fe_3C , mens perlitten inneholder begge fasene som er til stede, α -jern og Fe_3C . α -jernets sammensetning er gitt av punkt D, cementittens sammensetning av punkt E og perlittens sammensetning av punkt C.

Den eneste forandring som finner sted ved den videre nedkjøling til normaltemperatur, er at α -fasens oppløselighet av C avtar, slik at C diffunderer ut av ferritten og inn i cementtitten.

Vi finner nå masseforholdet mellom de to strukturelementene vi har ved romtemperatur, cementitt og perlitt, ved hjelp av hevarmloven, idet vi ser helt bort fra den lille andelen C som fortsatt finnes i α -fasen. Vi har da fra diagrammet i Figur L-5.1.1:

$$\text{cementitt} \cdot (6,7 - 1,3) = \text{perlitt} \cdot (1,3 - 0,8)$$

$$\frac{\text{cementitt}}{\text{perlitt}} = \frac{1,3 - 0,8}{6,7 - 1,3} = 0,09$$

- c) Ved mikroundersøkelse av karbonstål er det funnet at 10% av slipets areal består av korngrænse-cementitt og resten av perlitt. Cementitt og perlitt kan regnes å ha samme tetthet. Hva er stålets karboninnhold i %?

Vi skal finne stålets sammensetning, q_x %C, når vi vet at 10% av slipets areal består av cementitt og resten av perlitt.

Vi vet at cementittens sammensetning $m\&$ være gitt av punkt E og perlittens sammensetning av punkt C i Figur L-5.1.1.

Ved bruk av hevarmloven får vi:

$$\text{cementitt} \cdot (6,7 - q_x) = \text{perlitt} \cdot (q_x - 0,8)$$

$$\frac{\text{cementitt}}{\text{perlitt}} = \frac{q_x - 0,8}{6,7 - q_x} = \frac{0,1}{0,9} = 0,11$$

$$q_x - 0,8 = (6,7 - q_x) \cdot 0,11$$

$$q_x - 0,8 = 0,74 - 0,11q_x$$

$$(1 + 0,11)q_x = 0,74 + 0,8$$

$$\Rightarrow \underline{q_x} = \frac{1,54}{1,11} = \underline{1,39\%}$$

Oppgave 5.1, forts.

d) Forklar hvorfor oppløseligheten av C i α -jern er mye mindre enn i γ -jern.

Finn ved hjelp av det gitte utsnitt av faseagrammet for jern-karbon i figuren, mengdeforholdet mellom de eksisterende strukturelementer ved hhv. 800°C og ved romtemperatur. Navngi strukturelementene.

Legeringens karboninnhold er 0,3%.

Karbon og jern danner addisjonsoppløsning. I kubisk romsentrert struktur (α -jern) gir mellomrommene mellom atomene mindre plass for fremmedatomer enn tilfellet er for kubisk flatesentrert struktur selv om kubisk flatesentrert struktur er mer tettpakket enn kubisk romsentrert struktur.

Mengdeforholdet mellom strukturelementene ved 800°C:

Legeringen består av to faser: Ferritt (α -) med $q_{\alpha 1} = 0,025\%C$ og austenitt (γ) med $q_{\gamma 1} = 0,4\%C$. (Karbonprosentene finnes fra Figur L-5.1.1 i oppgaveteksten. Et utsnitt av figuren er vist nedenfor).

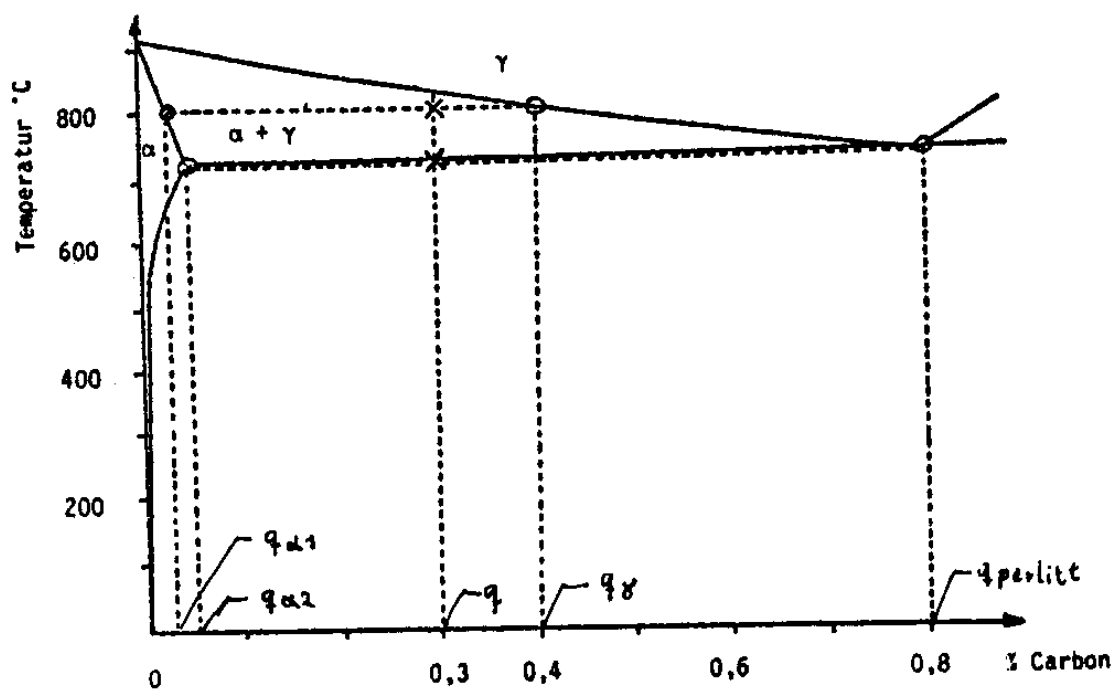
I dette tilfellet er strukturelementene lik fasene. Hver fase utgjør ett strukturelement.

Legeringens karboninnhold: $q_x = 0,3\%$

Hevarmloven:

$$q_x \cdot (\alpha + \gamma) = q_{\alpha 1} \cdot \alpha + q_{\gamma 1} \cdot \gamma$$

$$\frac{\alpha}{\gamma} = \frac{0,4 - 0,3}{0,3 - 0,025} = 0,36$$



Figur L-5.1.2

Oppgave 5.1d, forts.

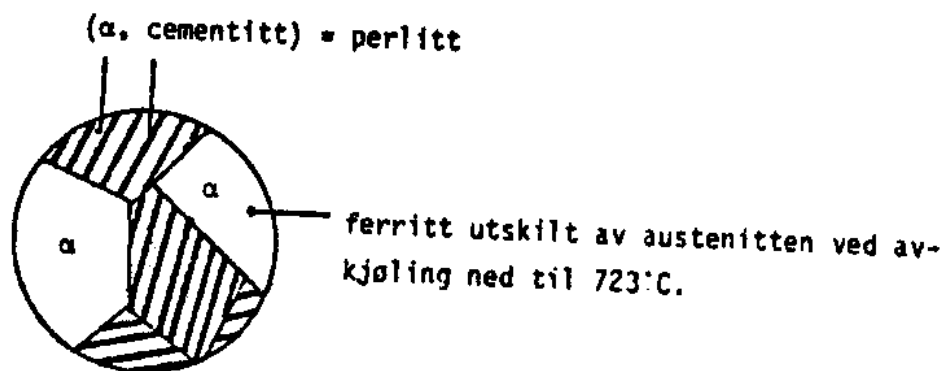
Mengdeforholdet mellom strukturelementene ved romtemperatur:

Ved avkjøling av γ med 0,3% C fra høyere temperatur enn eutektoid temperatur, vil ferritt utskilles inntil eutektoid temperatur er nådd.

Ved den eutektoide temperatur vil resten av austenitten omvandles til perlitt (eutektoid). Austenitten har ved eutektoid temperatur oppnådd 0,8% karbon. Økning i austenittens karboninnhold skyldes at den ferritten som tidligere er utskilt, ikke kan inneholde mer enn noen hundredels prosent karbon.

Eutektoid består av to faser (ferritt + cementitt), men oppfattes som. Ett strukturelement fordi fasene har et bestemt mengdeforhold og er ordnet etter spesielle mønstre innenfor områder som kan sammenlignes med korn. I perlitt består disse områdene av lameller av vekselvis ferritt og cementitt. Under 723°C vil det være dannet to strukturelementer:

1. Ferritt, bestående av fasen ferritt.
2. Perlitt, bestående av fasene ferritt og cementitt.



Figur L-5.1.3

For å finne mengdeforholdet mellom strukturelementene ferritt og perlitt ved romtemperatur må vi bruke hevarmloven ved 723°C fordi det er her perlitten oppstår, og mengden perlitt vil ikke forandres (selv om ferritts evne til å oppløse karbon avtar ved lavere temperatur). Ved avkjøling til romtemperatur vil det fra ferritten utskilles mer cementitt, men denne inngår ikke i perlitt slik at perlittmengden er like stor ved 723°C som ved romtemperatur. Den sekundært dannede cementitt vil derimot ligge finfordelt i ferritten og være årsak til noe uttellingsherding. (Den sekundære utskilling foregår over lang tid, gjerne flere år fordi diffusjon av karbon er uhyre langsom i kaldt, kubisk romsentrert jern).

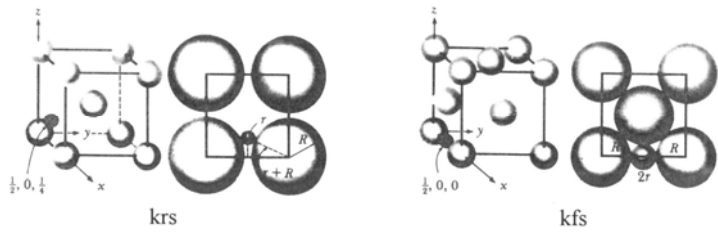
Hevarmloven:

$$q_x \cdot (\alpha + P) = q_{\alpha 2} \cdot \alpha + q_p \cdot P$$

$$\frac{\alpha}{P} = \frac{0,9 - 0,3}{0,3 - 0,04} = 1,9$$

Oppgave 5.2

Figuren under viser enhetscellene til kubisk romsentrert struktur, krs, og kubisk flatesentrert struktur, kfs, inkludert mulige mellomromsposisjoner for C.



Figur L-5.2

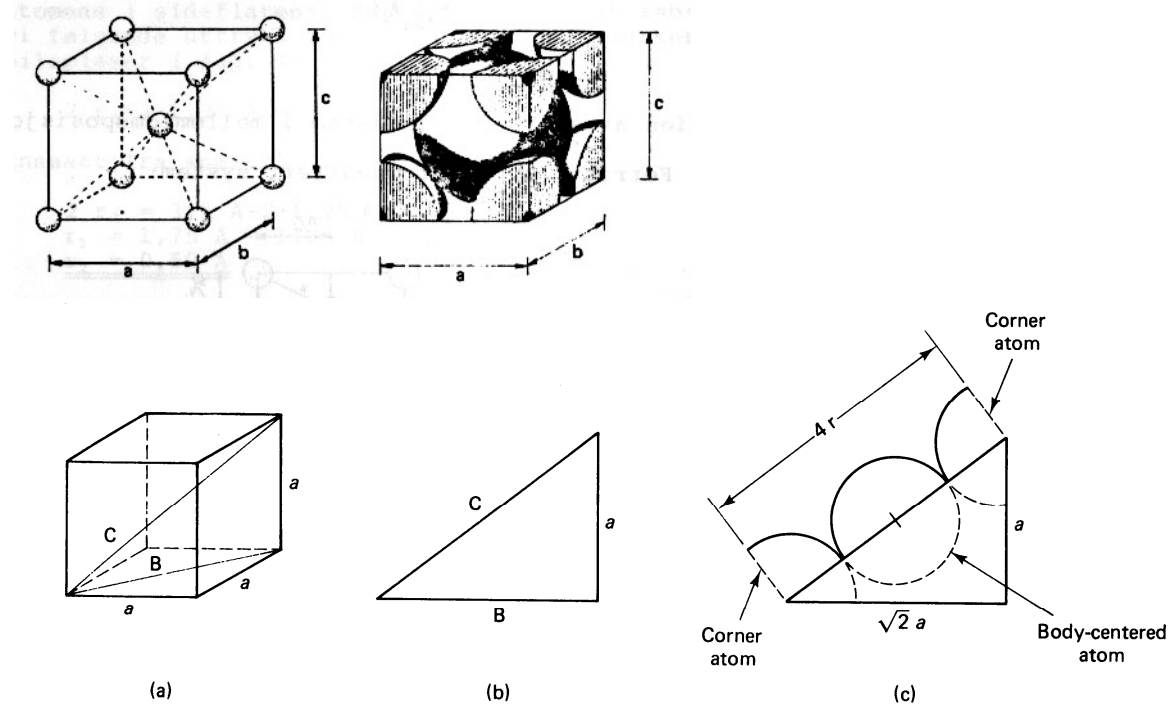
Enhetsceller i kubisk romsentrert struktur og kubisk flatesentrert struktur.

Størrelsen på atomene i stål avhengig av krystallstruktur er som følger:

ATOM:	KRYSTALLSTRUKTUR:	RADIUS (Å):
Fe	Ferritt, α	1,24
Fe	Austenitt, γ	1,29
C		0,71

a) Beregn størrelsen på mellomrommene i ferritt og austenitt, som C kan gå inn i.

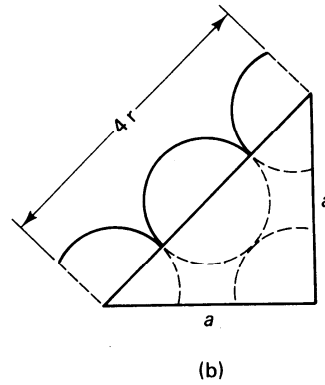
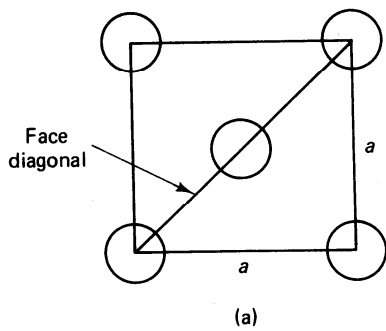
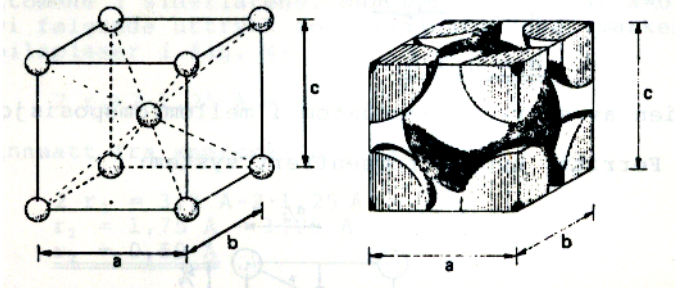
Kubisk romsentrert struktur, krs ($a = b = c$):



$$(4r_{Fe})^2 = a^2 + (a^2 + a^2) = a^2 + (\sqrt{2}a)^2 = 3a^2 \Rightarrow a = \frac{4}{\sqrt{3}} r_{Fe}$$

Oppgave 5.2a, forts.

Kubisk flatesentrert struktur, kfs ($a = b = c$):

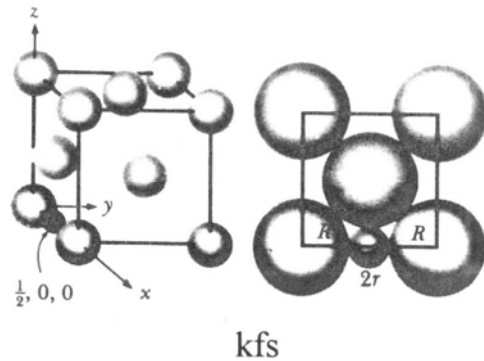
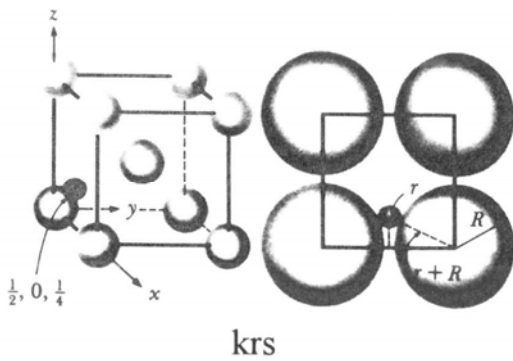


$$(4r_{\text{Fe}})^2 = a^2 + a^2 = 2a^2 \Rightarrow a = \frac{4}{\sqrt{2}} r_{\text{Fe}}$$

Setter:

$$r_{\text{Fe}} = R$$

$$r_{\text{mellomrom}} = r$$



$$(R + r)^2 = \left(\frac{a}{4}\right)^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 = \left(\frac{5}{16}\right)a^2 = \left(\frac{5}{16}\right)\left(\frac{4R}{\sqrt{3}}\right)^2 = \frac{5R^2}{3}$$

$$R + r = \frac{\sqrt{5R}}{\sqrt{3}}$$

$$\frac{r}{R} = 0,291$$

$$2R + 2r = a = \frac{4R}{\sqrt{2}}$$

$$R + r = \sqrt{2}R$$

$$\frac{r}{R} = 0,414$$

Oppgave 5.2a, forts.

Derfor er:

$$\alpha \text{ mellomrom} = (0,291) \cdot (1,24) = \underline{0,36\text{\AA}}$$

$$\gamma \text{ mellomrom} = (0,414) \cdot (1,29) = \underline{0,53\text{\AA}}$$

b) Forklar så forskjellen i maksimum løselighet av C i de to fasene.

Størrelsen på mellomrommene er mindre enn $r_C = 0,71\text{\AA}$. Dette fører til lav oppløselighet og god løsningsstyrking. Løseligheten er ca. 100 ganger større i austenitt enn i ferritt (α : $C_{\text{maks}} = 0,02\%$ og γ : $C_{\text{maks}} = 2,06\%$), p.g.a. større mellomrom i enhetscellen til kubisk flatesentrert struktur.

Oppgave 5.3

Beregn mengden (vekt - %) av ferritt og cementitt som er tilstede i perlitt.

Perlitt må inneholde $C = 0,8\%$.

Vi bruker hevarmloven:

$$1 \rightarrow \alpha(0,8 - 0,02) - \text{Fe}_3\text{C}(6,67 - 0,8) = 0$$

Vi kan også skrive:

$$2 \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C} = 1[100\%]$$

$$\Rightarrow \text{Fe}_3\text{C} = 1 - \alpha$$

Setter ligning 2 inn i 1:

$$\alpha(0,8 - 0,02) - (1 - \alpha)(6,67 - 0,8) = 0$$

$$\alpha(0,8 - 0,02) - (6,67 - 0,8) + \alpha(6,67 - 0,8) = 0$$

$$\alpha(0,8 - 0,02 + 6,67 - 0,8) = (6,67 - 0,8)$$

$$\alpha(6,67 - 0,02) = (6,67 - 0,8)$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{6,67 - 0,8}{6,67 - 0,02} \times 100\% = \underline{\underline{88,3\%}}$$

Fra ligning 2:

$$\text{Fe}_3\text{C} = 100 - 88,3 = \underline{\underline{11,7\%}}$$

Oppgave 5.4

En amerikansk bilfabrikk benytter et AISI 1050-stål med ca. 0,5% C til smiing av hjulaksler. En forhåndsundersøkelse av stålet før smiing og varmebehandling, viste at mikrostrukturen inneholdt ca. 60% perlitt og 40% ferritt.

a) Beregn mengden i % av hver fase og strukturelement som du regner med å finne i stålet.

$$C < 0,8\% \rightarrow \text{Ferritt } (\alpha) + \text{Perlitt } (P)$$

$$P = \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$$

Tot. α (inkl. α i P):

$$1 \rightarrow \alpha(0,5 - 0,02) - \text{Fe}_3\text{C}(6,67 - 0,5) = 0$$

$$2 \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C} = 1[100\%]$$

$$\alpha = \frac{6,67 - 0,5}{6,67 - 0,02} \times 100\% = \underline{\underline{92,8\%}}[\text{fase}]$$

$$\text{Fe}_3\text{C} = 100 - 92,8 = \underline{\underline{7,2\%}}[\text{fase}]$$

$$1 \rightarrow P(0,8 - 0,5) - \alpha(0,8 - 0,02) = 0$$

$$2 \rightarrow P + \alpha = 1[100\%]$$

$$P = \frac{0,5 - 0,02}{0,8 - 0,02} \times 100\% = \underline{\underline{61,5\%}}[\text{strukturelement, 2faser}]$$

$$\alpha = 100 - 61,5 = \underline{\underline{38,5\%}}[\text{strukturelement, 1fase}]$$

b) Er dette et AISI 1050 - stål?

Dette er et AISI 1050 - stål. De beregnede verdier ligger nære verdiene fra mikroundersøkelsen.

Oppgave 5.5

En bedrift mottar stangstål fra en leverandør. Mikroundersøkelser i laboratoriet viste at stålet inneholdt ca. 95% perlitt og 5% Fe₃C. Bestem stålets C - innhold.

$$P + \text{Fe}_3\text{C} \rightarrow \text{overeutektoid stål } C > 0,8\%$$

$$1 \rightarrow P(\%C - 0,8) - \text{Fe}_3\text{C}(6,67 - \%C) = 0$$

$$2 \rightarrow P + \text{Fe}_3\text{C} = 1[100\%]$$

$$P = \frac{6,67 - \%C}{6,67 - 0,8} \times 100\% = \underline{\underline{95\%}}$$

$$6,67 - \%C = 0,95(6,67 - 0,8)$$

$$\underline{\underline{\%C = 1,1\%}}$$

Oppgave 5.6

Et stål til produksjon av fjærer ble bestilt fra en leverandør.
Stålets innhold av fasene Fe_3C og α ble beregnet til henholdsvis 10% og 90%.
Kan vi anta at dette er et eutektoid stål?

Hevarmloven:

$$\alpha(\% \text{C} - 0,02) - \text{Fe}_3\text{C}(6,67 - \% \text{C}) = 0$$

$$\alpha = 90\% = 0,9$$

$$\text{Fe}_3\text{C} = 10\% = 0,1$$

$$0,9(\% \text{C} - 0,02) - 0,1(6,67 - \% \text{C}) = 0$$

$$\% \text{C}(0,9 + 0,1) = 0,9 \cdot 0,02 + 0,1 \cdot 6,67$$

$$\underline{\underline{\% \text{C} = 0,69\%}}$$

$\% \text{C} \neq 0,8\% \Rightarrow$ IKKE eutektoid stål (undereutektoid)