

**Oppgave 2.1**

Definer begrepet fase. Nevn eksempler på at et metall kan oppføre seg med forskjellig fase innen samme aggregattilstand.

**Definisjon fase:**

En homogen tilstand, når homogen refererer til atom- eller molekylarrangementet.

Jern, Fe, kan oppføre seg med flere faser i samme aggregattilstand, i fast tilstand.

Fra den termiske analysen ser vi at under  $910^{\circ}\text{C}$  har Fe kubisk romsentrert gitterstruktur og denne fasen kaller vi Ferritt,  $\alpha\text{-Fe}$  (alfa). Over  $910^{\circ}\text{C}$  har Fe kubisk flatesentrert gitterstruktur og fasen Austenitt,  $\gamma\text{-Fe}$  (gamma). Mellom  $1390^{\circ}\text{C}$  og smeltepunktet  $1535^{\circ}\text{C}$  har Fe igjen kubisk romsentrert gitterstruktur og fasen  $\delta\text{-Fe}$  (delta).

**Oppgave 2.2**

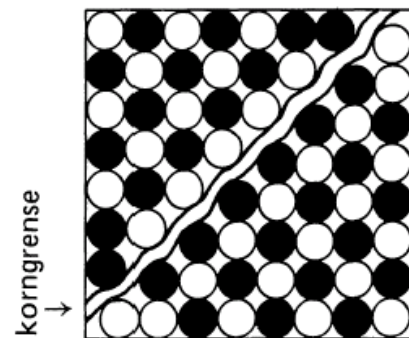
Hvilke tre prinsipielt forskjellige størkningsforløp kan vi skjelne mellom? Hva er betingelsene for å kunne lage en brukbar legering?

3 tre prinsipielt forskjellige fasediagram:

1. De to komponentene er fullstendig løselige i hverandre i fast tilstand.

*Figur a*

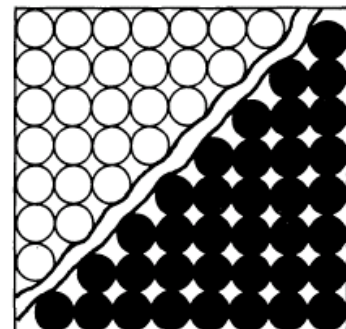
*Atomarrangement i legeringer med fullstendig løselighet.*



2. De to komponentene er ikke løselige i hverandre i fast tilstand.

*Figur b*

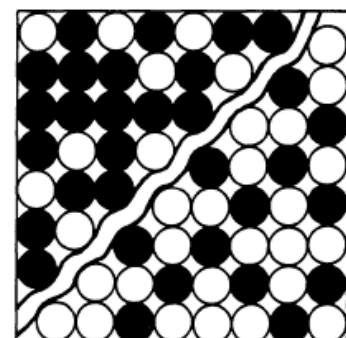
*Atomarrangement i legeringer med ingen løselighet.*



3. De to komponentene er delvis løselige i hverandre i fast tilstand.

*Figur c.*

*Atomarrangement i legeringer med delvis løselighet.*



For å lage en brukbar legering må vi stille som betingelse at det er full løselighet i smeltet tilstand.

**Oppgave 2.3**

Skisser fasediagrammet for systemet Ag - Cu.  
Redegjør for størkingen for en vilkårlig valgt legering.

Vilkårlig legering, 20% Cu (80% Ag):  
900°C:

Alt er smelte.

Ca. 880°C:

De første  $\alpha$ -blandkrystallene dannes i smelta.

779°C:

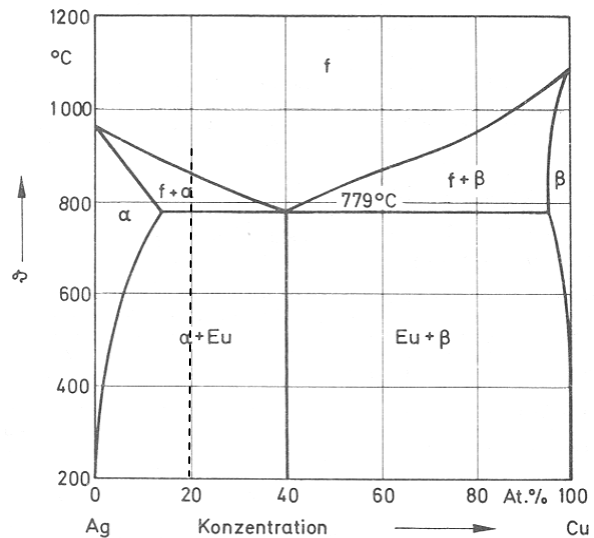
Resterende smelte danner eutektikum med 40% Cu som består av  $\alpha$ - og  $\beta$ -blandkrystaller som ligger adskilt lagvis.

Legeringen består nå av  $\alpha$ -blandkrystaller og eutektikum.

Under 779°C:

Legeringen består av  $\alpha$ -blandkrystaller og eutektikum.

Når temperaturen faller mot romtemperatur reduseres løseligheten av Cu i  $\alpha$  (faselinje går mot venstre) og Ag i  $\beta$ . Det skilles ut sekundær  $\beta$  med mindre Ag i  $\alpha$  og sekundær  $\alpha$  med mindre Cu i  $\beta$ .



Figur

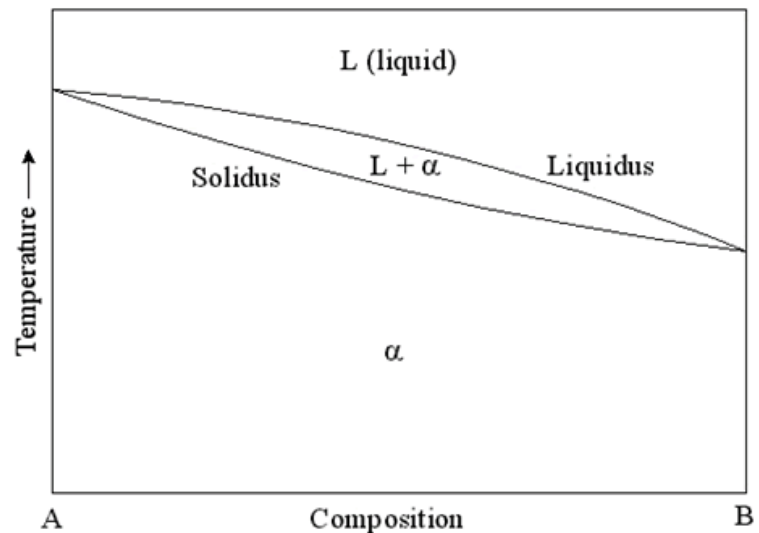
Skisse fasediagram for Ag - Cu.

**Oppgave 2.4**

Tegn den type fasediagram som gjelder for legeringssystemet med full oppløselighet i fast tilstand.

Et typisk fasediagram som gjelder for legeringssystemet med full oppløselighet i fast tilstand er Cu (B), Ni (A).

$\alpha$  = blandkrystaller av A og B,  
1 fase i fast tilstand.



Figur

**Oppgave 2.5**

Forklar ut fra diagrammet i oppgave 2.3, hvordan krystallseigring oppstår.

**Krystallseigring** er det fenomenet at blandkrystaller opptrer med ujevn sammensetning.

For legeringen  $q_x$ :

Ved  $T_1$  når et krystall fødes, er konsentrasjonen  $a_1$ .

Ved  $T_2$  skulle konsentrasjonen i krystallfasen vært  $a_2$  under forutsetning av langsom avkjøling.

Ved praktisk avkjølingshastighet blir det ikke tid til fullstendig utjevning.

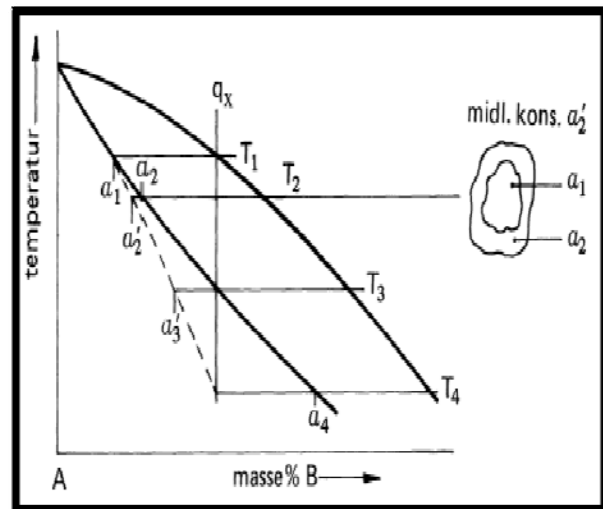
Ved synkende temperatur øker konsentrasjonen av de sist ordnede atomer.

Ved  $T_2$  har det samme krystall en kjerne med konsentrasjon  $a_1$ , og i det ytterste lag er den øket til  $a_2$ .

Den gjennomsnittlige konsentrasjonen er  $a_2'$ .

Den gjennomsnittlige konsentrasjonen øker langs den prikkede linje når temperaturen faller.

Utgangskonsentrasjonen  $q_x$  nås først ved  $T_4$  hvor det sist størknede har sammensetningen  $a_4$ .



Figur

**Oppgave 2.6**

Hva er forskjellen på primær og sekundær utfelling?

Primær utfelling er utfelling i en smelte.  
(Eksempel, se Oppgave 2.3 under Ca. 880°C)

Sekundær utfelling er utfelling inne i en fast fase.  
(Eksempel, se Oppgave 2.3 Under 779°C)

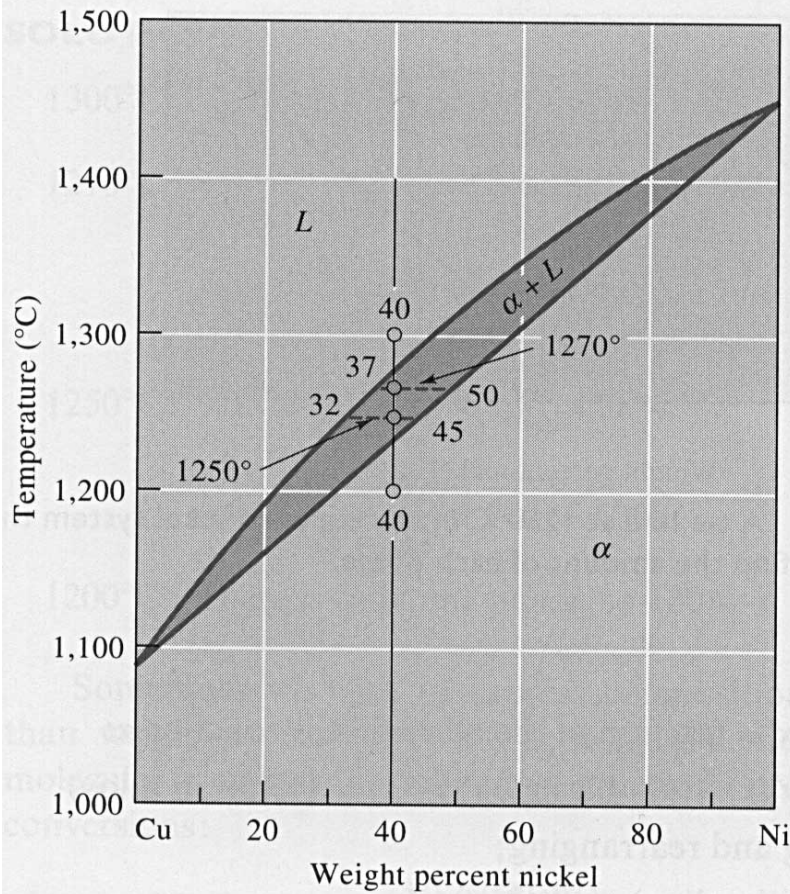
**Oppgave 2.7**

Determine the composition of each phase in a Cu-40% Ni alloy at 1300 °C, 1270 °C, 1250 °C, and 1200 °C.

The vertical line at 40% Ni represents the overall composition of the alloy:

1300 °C : Only liquid is present. The liquid must contain 40% Ni, the overall composition of the alloy.

1270 °C : Two phases are present. A horizontal line within the  $\alpha + L$  field is drawn. The endpoint at the liquidus, which is in contact with the liquid region, is at 37% Ni. The endpoint at the solidus, which is in contact with the  $\alpha$  region, is at 50% Ni. Therefore, the liquid contains 37% Ni and the solid contains 50% Ni.



Figure

*Tie lines and phase compositions for a Cu-40%M alloy at several temperatures.*

1250 °C : Again two phases are present. The tie line drawn at this temperature shows that the liquid contains 32% Ni and the solid contains 45% Ni.

1200 °C : Only solid  $\alpha$  is present, so the solid must contain 40% Ni.

In this example, we find that the solid  $\alpha$  contains more nickel than the overall alloy and the liquid L contains more copper than the original alloy. Generally, the higher melting point element (in this case, nickel) is concentrated in the first solid that forms.

### Oppgave 2.8

I en bly – tinn legering vet vi at blyinnholdet er større enn 50%. Ved mikroundersøkelse (linjefraksjonsundersøkelse) har vi funnet ut at mengden av eutektikum er 60%. Bestem legeringens sammensetning. Se faseagrammet i figuren.

Det er gitt i oppgaven at legeringen har et blyinnhold større enn 50%, og vi vet da at legeringen må ha en sammensetning som ligger til venstre for punkt B i Figur 2.9. Det er dessuten gitt at legeringen inneholder eutektikum i størknet tilstand, og den må da ha en sammensetning som ligger til høyre for punkt A. Hadde sammensetningen ligget til venstre for punkt A, ser vi at all smelten hadde størknet som  $\alpha$  bly, og det hadde, således ikke blitt dannet noe eutektikum.

Vi tar for oss en legering med en vilkårlig sammensetning mellom grensene A og B, for eksempel q, som er markert med en stiplet linje i figuren under. Vi følger størkningen av denne legeringen ved å gå nedover i diagrammet langs den stiplede linjen. Ved punkt E har vi bare smelte, men når denne blir avkjølt til temperaturen  $T_1$ , punkt F, blir den overmettet på bly. Vi får da dannet krystaller av  $\alpha$  bly som, inneholder en del tinn. Sammensetningen av de første krystallene som utskilles ved temperatur  $T_1$ , er  $\alpha_1$ , mens smelten har sammensetning  $q_x$ . Etter hvert som, temperaturen synker, utskiller smelten stadig mer bly i form av  $\alpha$  bly krystaller, og disse krystallenes andel av tinn øker stadig. I og med at bly utkrystalliseres, blir den resterende smelten stadig fattigere på bly og således rikere på tinn. Ved temperaturen  $T_2$  har  $\alpha$  bly krystallene sammensetningen  $\alpha_2$  og smelten sammensetning  $S_2$ .

Ved den eutektiske temperatur  $T_e$ , har  $\alpha$  bly krystallene sitt maksimale innhold av tinn (19%), punkt A. De første  $\alpha$  bly krystallene som ble dannet, hadde et lavere innhold av tinn ( $\alpha_1$ ), men vi regner med at det har funnet sted en fullstendig konsentrasjonsutjevning ved hjelp av diffusjon, slik at alle  $\alpha$  bly krystallene nå inneholder 19% tinn. Ved temperaturen  $T_e$  har den resterende smelten fått et så høyt innhold av tinn at den er blitt mettet med tinn. Smelten er nå mettet både med bly og tinn, og dens sammensetning er gitt av punkt B, det eutektiske punkt. Hele legeringens (summen av  $\alpha$  bly krystallene og smelten) totale sammensetning er selvfølgelig fortsatt  $q_x$ , ved temperaturen  $T_e$  representert ved punkt G. Resten av smelten størkner nå til et eutektikum som er en mekanisk blanding av  $\alpha$  bly og  $\beta$  tinn. Blyfasen (bly) i eutektiket har sammensetning gitt av punkt A og inneholder således 19% tinn, mens tinnfasen ( $\beta$  tinn) i eutektiket har sammensetning gitt av punkt C og inneholder således 3% bly.

All smelten er nå størknet og temperaturen er like oppunder  $T_e$ . Legeringen inneholder to faser,  $\alpha$  bly og  $\beta$  tinn. Begge fasene finnes i eutektiket, men i tillegg finnes det korn som bare inneholder  $\alpha$  bly fasen.

Vi kan nå beregne legeringens sammensetning:

60% av legeringen består av eutektikum. Eutektiket er sammensatt av 61% Sn og 39% Pb, punkt B i figuren under. Resten av legeringen, 40%, er korn som inneholder kun  $\alpha$  bly.  $\alpha$  bly er sammensatt av 81% Pb og 19% Sn, punkt A i figuren under.

## Oppgave 2.8 forts.

Legeringens innhold av bly:

$$\begin{array}{l} \text{Fra eutektiket: } 39 \times 0,6 = 23,4 \\ \text{Fra } \alpha \text{ bly: } 81 \times 0,4 = \underline{32,4} \\ \text{Totalt} \qquad \qquad \qquad \underline{55,8\%} \end{array}$$

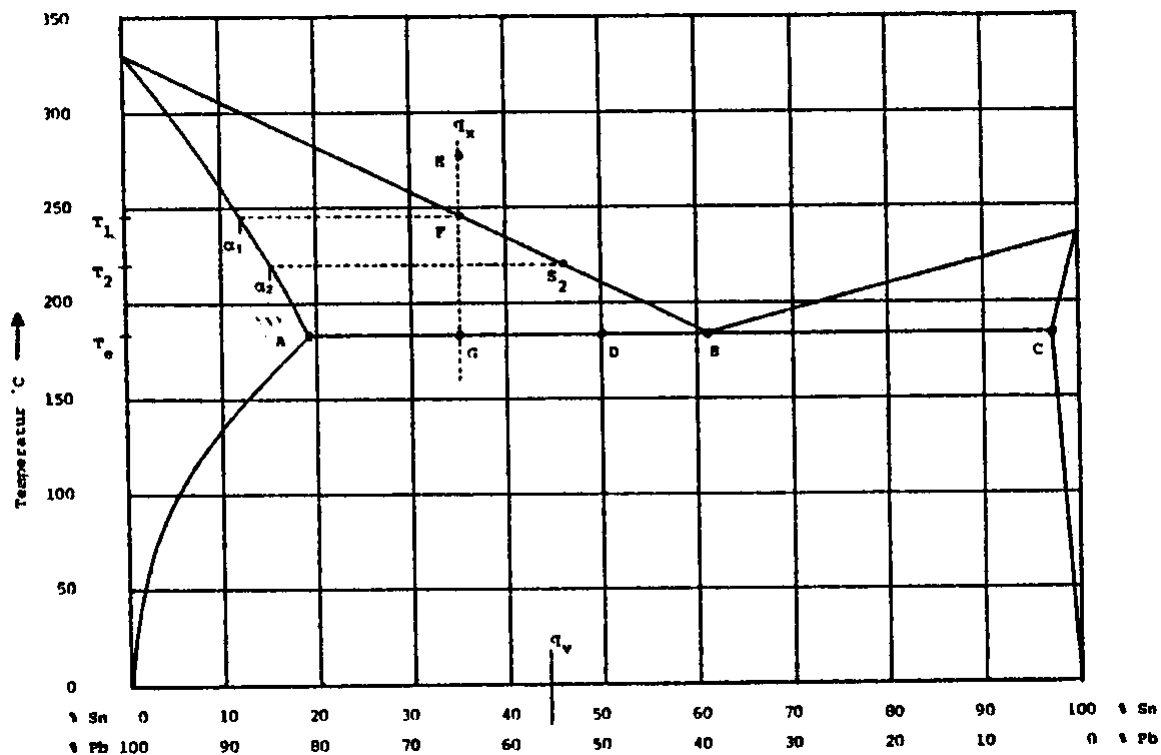
Legeringens innhold av tinn:

$$\begin{array}{l} \text{Fra eutektiket: } 61 \times 0,6 = 36,6 \\ \text{Fra } \alpha \text{ bly: } 19 \times 0,4 = \underline{7,6} \\ \text{Totalt} \qquad \qquad \qquad \underline{44,2\%} \end{array}$$

Denne virkelige sammensetningen er markert med  $q_v$  i figuren under, og forholdene ved avkjøling av denne legeringen vil selvfølgelig være lignende de som er omtalt for legeringen med sammensetning  $q_x$ .

Ved videre nedkjøling av den virkelige legeringen ser vi at bly fasens oppløselighet av tinn avtar fra 19% ved  $T_e$  til 0% ved  $0^\circ\text{C}$ . Tilsvarende ser vi at  $\beta$  tinn fasens oppløselighet av bly avtar fra 3% ved  $T_e$  til 0% ved  $0^\circ\text{C}$ . Dette betyr at vi vil få diffusjon av tinn fra  $\alpha$  bly fasen til  $\beta$  tinn fasen, og diffusjon av bly fra  $\beta$  tinn fasen til  $\alpha$  bly fasen ved videre nedkjøling. Avhengig av nedkjølingshastigheten vil vi også kunne få sekundære utfellinger av bly i  $\beta$  tinn fasen og tinn i  $\alpha$  bly fasen.

Men legeringens totale innhold av bly og tinn vil selvfølgelig forbli uforandret.



Figur

## Oppgave 2.9

a) Hva forstår vi med et eutektikum?

Eutektikum betyr egentlig god blanding. Vi benytter denne betegnelsen på en strukturbestanddel i en binær legering. Eutektikum skiller ut isotermt av en smeltfase som er mettet på begge de komponentene som inngår i legeringen. At smelten er mettet på begge komponentene, betyr at en utkrystallisering av den ene komponenten straks fører til at smelten blir overmettet med den andre komponenten, som følgelig også vil skille seg ut som krystaller. Konsentrasjonen holder seg således konstant under størkingen, og smeltfasen størkner altså til en mekanisk finfordelt blanding av de to bestanddelene, et eutektikum.

b) Med hvilke bokstaver er det eutektiske punkt avmerket i Figur a?  
Hvilke flater i figuren betegner en-faseområder, og hvilke betegner to-faseområde?

Det eutektiske punkt er avmerket med bokstav P, se figur a under.

c) I Figur b betegner hver bokstav en flate i diagrammet.  
Hvilke flater betegner en-faseområder, og hvilke betegner to-faseområder?

Av flatene i diagrammet i Figur b, betegner følgende enfaseområder:

Flate A =  $\alpha$  struktur

Flate D =  $\beta$  struktur

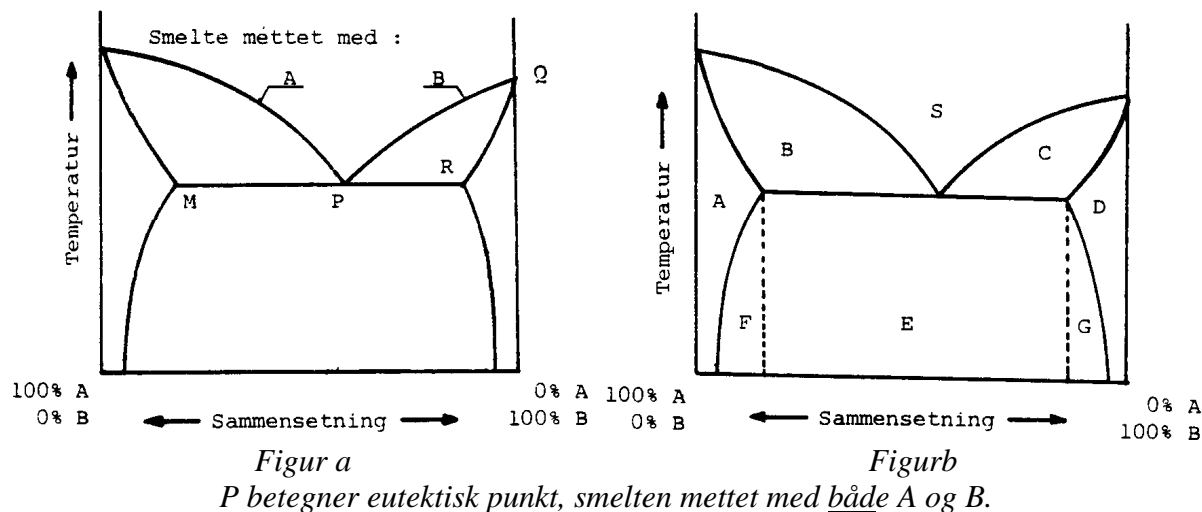
Flate S = smelte

Av flatene i diagrammet i figur b under, betegner følgende tofaseområder:

Flate B = Smelte +  $\alpha$  krystaller

Flate C = Smelte +  $\beta$  krystaller

Flate E, F og G  $\alpha$  krystaller +  $\beta$  krystaller

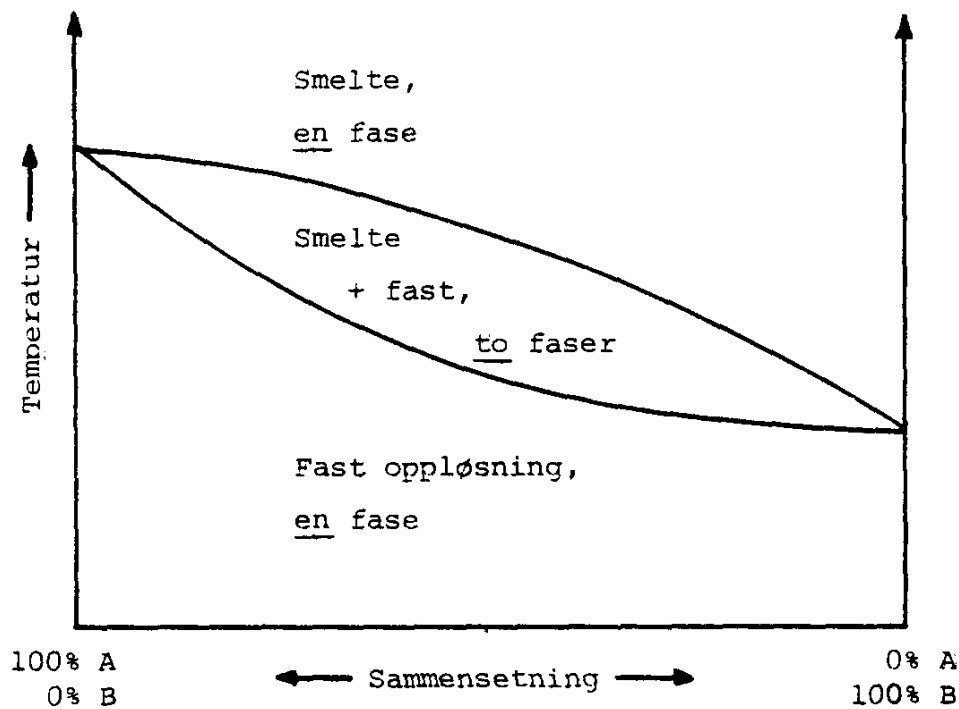


**Oppgave 2.10**

a) Hva er betingelsene for at en binær legering skal være fullt oppløselig i fast tilstand? Ta utgangspunkt i metallgitteret og atomradiene. Hvis en binær legering er fullt oppløselig i fast tilstand, innebærer dette at atomene av de to komponentene gjensidig skal kunne erstatte hverandre i metallgitterene. Dette er bare mulig hvis de to komponentene består av atomer med meget nær samme størrelse, og hvis de danner krystaller med den samme gitterstrukturen.

b) Skisser et typisk fasediagram for en binær legering med full oppløselighet i fast tilstand og merk av hva som er enfase- og hva som er to-faseområder.

I figuren under er det skissert et typisk fasediagram for en binær legering med full oppløselighet i fast tilstand, en enfaselegering.



Figur