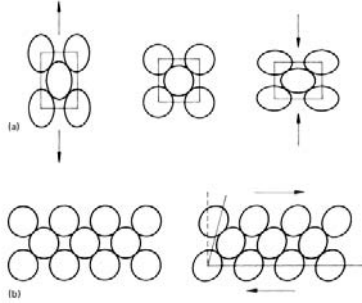


Oppgave 3.1

Hva er en elastisk deformasjon?

En ikke varig formendring. Atomene beholder sine naboer.

**Oppgave 3.2**

Hvilke lov gjelder for elastisk deformasjon?

Hooke's lov:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E}$$

hvor:

- ε = relativ lengdeendring [m/m]
- Δl = lengdeendring $l - l_0$ [m]
- l = målt lengde med last [m]
- l_0 = målt lengde uten last [m]
- σ = spenning [N/m^2]
- E = elastisitetsmodul [N/m^2]

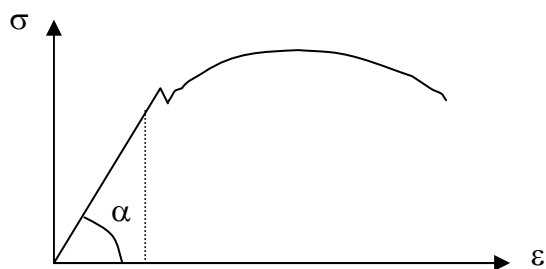
Oppgave 3.3

Definer E-modulen.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \tan \alpha$$

hvor:

- E = hellingen på den elastiske del av strekk-kurven



Figur

Spenning - tøyning ved strekkprøving.

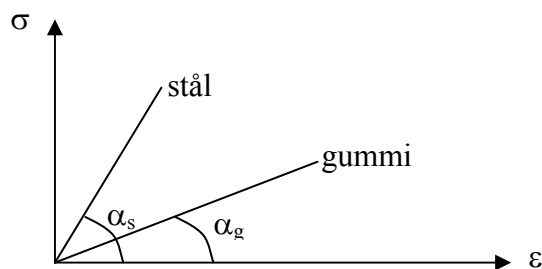
Oppgave 3.4

Hva er mest elastisk av stål og gummi, og hvilket av disse to stoffene har høyest E-modul?

Gummi er mest elastisk.

$$\tan \alpha_s > \tan \alpha_g$$

$$E_s > E_g$$



Figur

Spenning - tøyning ved strekkprøving.

Oppgave 3.5

Hva er sammenhengen mellom E-modul og stivhet?

Eksempel nedbøyning av en bjelke:

$$y = \frac{\textit{konstant}}{E \cdot I}$$

hvor:

konstant er avhengig av hvordan bjelke er belastet

E = elastisitetsmodul avhengig av materiale [N/m^2]

I = arealtrehetsmoment bjelke avhengig av tverrsnitt [m^3]

$E \cdot I$ = bjelkens stivhet

Hvis vi velger materiale med mindre E , må I økes tilsvarende så $E \cdot I$ blir det samme for samme nedbøyning.

Oppgave 3.6

Hva er skjærspenning?

Skjærspenning:

$$\tau = \frac{F}{S_0} = G \cdot \gamma$$

hvor:

F = skjærkraft [m^3]

S_0 = areal som skjæres over [m^2]

G = skjærmodulen [N/m^2]

γ = tøyning i skjær [m/m]

Oppgave 3.7

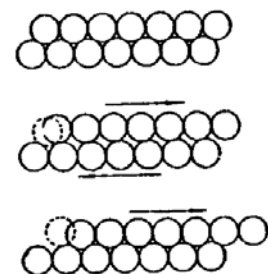
Er E-modulen avhengig av varmebehandling eller kalddeformering?

E-modulen forandres ikke merkbart ved varmebehandling eller kalddeformering.

Oppgave 3.8

Hva menes med glidning?

Ved belastninger som er høyere enn i det elastiske området får vi plastisk deformasjon som skjer som følge av at atomplan glir i forhold til hverandre under påvirkning av skjærspenninger.

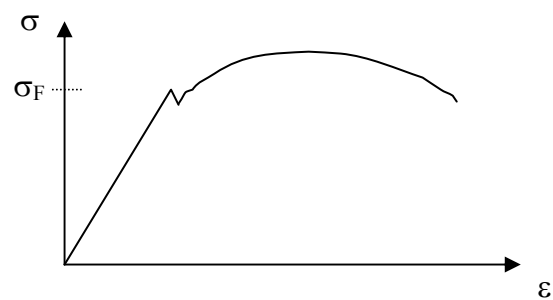


Figur

Oppgave 3.9

Hva forstås med flytegrense?

Flytegrense er spenningen hvor det oppstår glidning mellom atomplan p.g.a. skjærspenninger, og hvor det skjer en målbar varig forlengelse.



Spenning - tøyning ved strekkprøving.

Oppgave 3.10

Hvordan defineres plastisk deformasjon?

I konstruksjoner er vi vanligvis ikke interessert i at materialet skal deformeres plastisk ved større spenninger. Ved plastisk deformasjon vil konstruksjonens form endres og ikke være egnet for formålet.

Oppgave 3.11

Hva kan være betydningen av plastisk deformasjon ved uhell, for eksempel bilfelgen i en påkjørsel?

Ved tilfeldig overbelastning av en konstruksjon kan det være en fordel at materialet deformeres plastisk i stedet for at det oppfører seg sprøtt, for eksempel bilfelgen.

Oppgave 3.12

Hvilke glidemuligheter er det i en kubisk flatesentrert gitterstruktur og i en heksagonal gitterstruktur?

Glidning foregår lettest i de atomplan hvor atomtettheten er størst og hvor atomavstanden er minst.

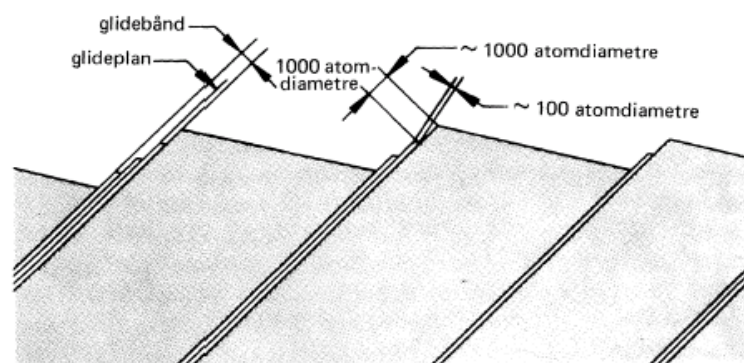
Kubisk flatesentrert gitterstruktur har mange plan med tettest mulig atompakning og derfor høy duktilitet (seighet).

Heksagonal gitterstruktur har bare et plan med tettest mulig pakning og er derfor sprø.

Oppgave 3.13

Hva er glidebånd?

Glideplanene i et deformert krystall fordeler seg ikke jevnt i et deformert krystall, men konsentrerer seg i glidebånd.



Oppgave 3.14

Hvordan virker krysall- (korn-)grensen på glideprosessen?

Krystall-(korn-)grensene virker som barrierer mot glidning da korngrensene er uordnede områder. Glidning på et plan i en retning vil ikke uten videre kunne fortsette i nabokornet.

Oppgave 3.15

Hva vil det si at et materiale er isotropt?

Hvis et materiale er isotropt, har det samme egenskaper i alle retninger.

Oppgave 3.16

Hva er et kløvningsbrudd?

Kløvningsbrudd er direkte separasjon av bestemte atomplan forskjellige fra glideplanene. Kløvningsbrudd inntreffer når normalspenningene i en trekakset belastningstilstand blir mye høyere (3-5 ganger) enn flytegrensen. Det blir ingen plastisk deformasjon.

Oppgave 3.17

Når kan et kløvningsbrudd opptre?

Kløvningsbrudd kan opptre ved skarpe tverrsnittsoverganger og/eller som følge av termiske spenninger som skyldes lokal oppvarming.

Oppgave 3.18

Hvorfor er teoretiske beregninger av metalls styrke gale?

Teoretiske beregninger av metalls styrke forutsetter at metallene er perfekte og gir høye verdier. I metaller er det alltid feil i ordningen av atomene (punktfeil, kantfeil, etc.) som vil gi lavere styrke.

Oppgave 3.19

a) I teoretiske materialer (perfekte enkrystaller) vil vi ut fra betraktninger omkring atomære bindingskrefter finne at deres styrke er flere dekader høyere enn hva tilfellet er for praktiske ingeniørmaterialer. Hva er årsaken til dette?

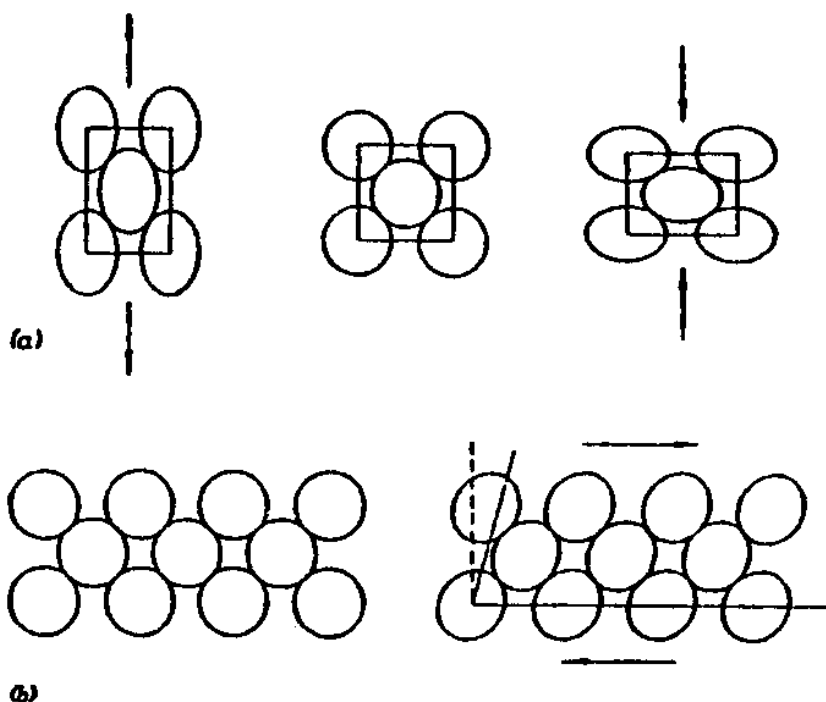
I praktiske ingeniørmaterialer eksisterer det neppe noe perfekt krystall. Krystallene inneholder tvert imot ulike typer feil i gitterstrukturen, og disse kan i betydelig grad bidra til å nedsette materialets styrke. Praktiske materialer er i tillegg ikke enkrystaller. Størkingen fra smelte til fast tilstand begynner samtidig fra en rekke kim i den flytende smelten. Krystallene som dannes fra disse kornene, vokser til de støter mot hverandre og gjensidig hindrer hverandres vekst. På denne måten får vi et polykrystallinsk materiale, et materiale som i fast form har et stort antall krystaller med uregelmessig ytre form og vilkårlig orientering.

Korngrensene, områdene der de ulike kornene (krystallene) støter sammen, blir på grunn av at korn med forskjellig gitterorientering møtes, områder med meget høy konsentrasjon av feilsteder. Korngrensene bidrar således til at et polykrystallinsk materiale får en vesentlig lavere styrke enn teoretiske materialer.

Oppgave 3.19, forts.

b) Hva er, atomert sett, den prinsipielle forskjell mellom elastisk og plastisk deformasjon i et metallisk gitter? Illustrer svaret med figur.

Elastisk deformasjon. Denne deformasjonstypen oppstår når spenningene er forholdsvis små. Atomgitteret blir deformert, men ikke mer enn at alle atomene beholder sine opprinnelige plasser i gitteret. Deformasjonen består bare av en relativt liten forandring av avstanden mellom atomene, den er proporsjonal med den ytre kraft, og den er reversibel.

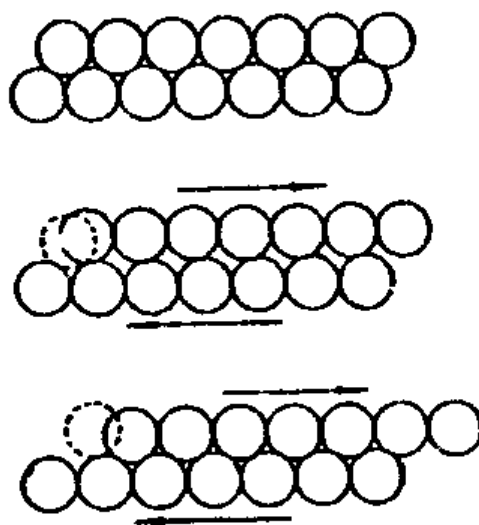


Figur

Elastisk deformasjon. Avstanden mellom atomene forandres, men alle atomene beholder sine naboer. (a) Strekk og trykk. (b) Skjær.

Plastisk deformasjon. Denne deformasjonstypen oppstår ved høyere spenninger, over materialets såkalte flytegrense. Skjærspenningene blir her så høye at atomplan begynner å gli i forhold til hverandre, se figuren til høyre.

Deformasjonene kommer altså i stand ved at atomene bytter plass i gitteret, den er ikke proporsjonal med den ytre kraft, og er ikke reversibel.



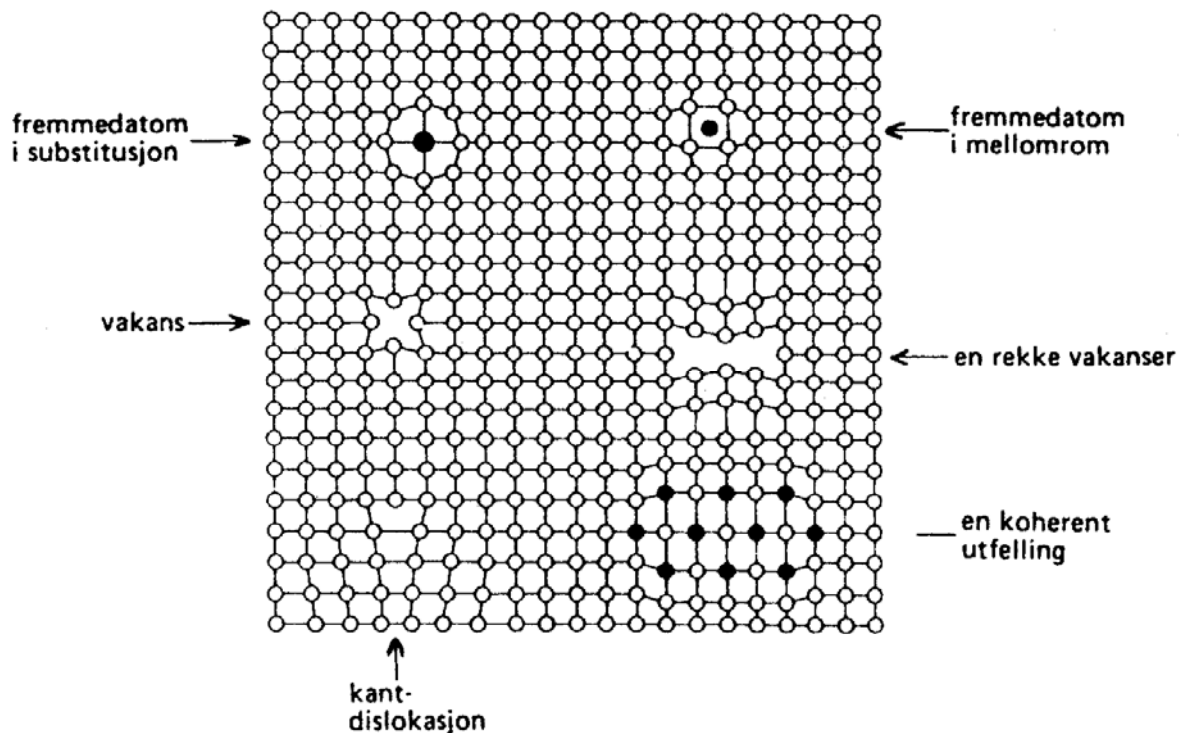
Figur

Plastisk deformasjon finner sted ved gliding mellom atomplan.

Oppgave 3.20

Nevn noen typer punktfeil i et metallgitter.

Fremmedatom i substitusjon eller i addisjon, eget atom i addisjon og vakanser.

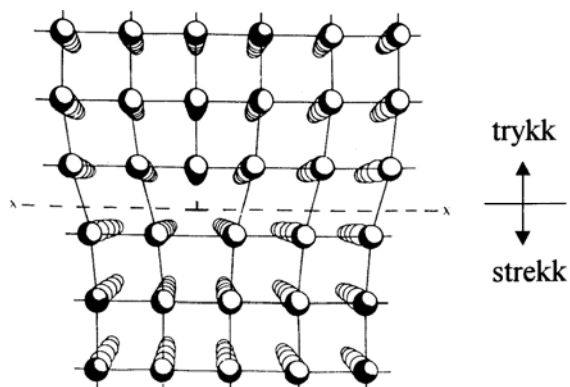


Figur

Oppgave 3.21

Hva forstås med en kantdislokasjon?

En kantdislokasjon er en kantfeil, et ekstra innskutt atomplan i strukturen.

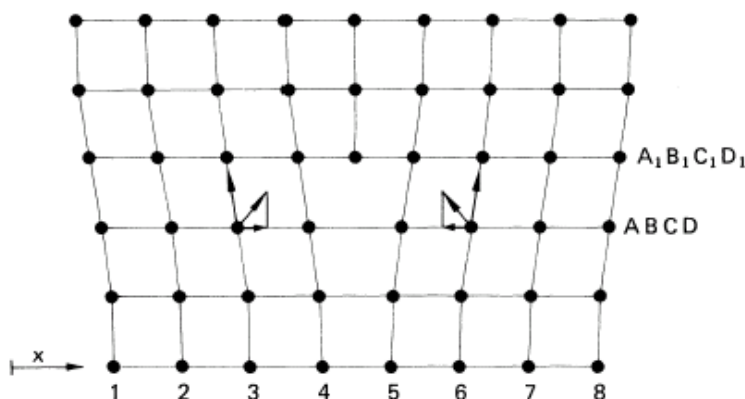


Oppgave 3.22

Hvorfor kreves det mindre kraft til glidning når det er dislokasjoner i gitteret?

Tiltrekningskraften mellom atomer i rekke $A_1B_1C_1D_1$ og ABCD er like store og motsatt rettet.

→ Rekke $A_1B_1C_1D_1$ kan forskyves i forhold til rekke ABCD med liten kraft. Atomene beveger seg forbi hverandre etter tur.

**Oppgave 3.23**

Hva er diffusjon?

Forflytting, vandring, av atomene i gitteret ved for eksempel ved hjelp av vakanser.

Oppgave 3.24

En av hovedmekanismene i sintringsprosessen er diffusjon. Anta at vi skal lage et veldig spesielt produkt av kobberpulver hvor vi tilsetter små mengder av gull i pulverform.

Hvor stor er inntrengningen av gull i kobber etter en time ved en sintringstemperatur på 800°C ?

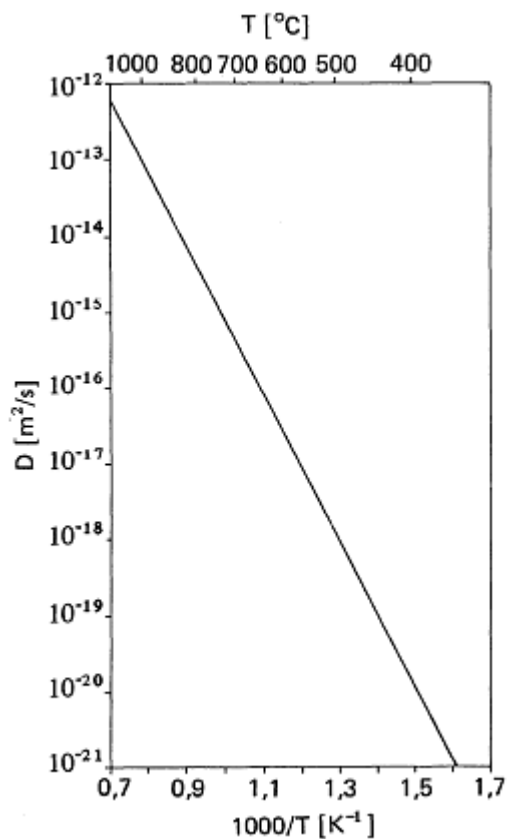
Fick's lov gir oss uttrykket for inntrengningen:

$$x^2 = 4Dt$$

Her er x = inntrengningen i m, D = diffusjonskoeffisienten i m^2/s og t er tiden i sekunder.

Diffusjonskoeffisienten, D , bestemmes fra figur: $D = 4,0 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{s}$. (Husk på at det er en logaritmisk skala!). Fra ligningen for inntrengningen finner vi da inntrengningen etter en time ved 800°C :

$$\underline{\underline{x = \sqrt{4 \cdot D \cdot t} = \sqrt{4 \cdot 4,0 \cdot 10^{-15} \cdot 3600} = 7,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}}}$$



Figur
Diffusjonskoeffisienten D for gull i kobber avhengig av temperaturen.

Oppgave 3.25

Hvordan skjer styrking av metallene generelt?

Styrking av metallene skjer ved å hindre dislokasjoner å bevege seg. Plastisk deformasjon som er avhengig av dislokasjonsbevegele vanskeligjøres.

Oppgave 3.26

Hvilke fire praktiske metoder benytter vi for å styrke metallene?

1. REDUSERE KORNSTØRRELSEN
2. INNLEGERTE ELEMENTER SOM DANNER BLANDKRISTALLER MED GRUNNMETALLET (løsnings- eller blandkrystallstyrking)
3. INNLEGERTE ELEMENTER SOM DANNER NYE FASER (partikkel- eller utfellingsstyrking)
4. KALDDEFORMERING (deformasjonsstyrking eller fastning)

Oppgave 3.27

Hvordan forklares styrkeøkningen i hvert av de fire metodene?

1. REDUSERE KORNSTØRRELSEN
 - Plastisk deformasjon → lokal glidning mellom atomplan i kornene
 - Dislokasjonene hoper seg opp langs korn grensene som hindrer videre bevegelse.
 - Små korn, flere hindringer (større nettverkstetthet) → større materialstyrke.
2. INNLEGERTE ELEMENTER SOM DANNER BLANDKRISTALLER MED GRUNNMETALLET (løsnings- eller blandkrystallstyrking)
 - Kan skje ved substitusjons- eller addisjonsløsning (mellomromsløsning)
 - Løste atomer lager fortrekninger i atomgitteret ("atmosfærer" omkring dislokasjonene)
 - Nødvendig spenning til å bevege dislokasjonene øker → materialet styrkes.
3. INNLEGERTE ELEMENTER SOM DANNER NYE FASER (partikkel- eller utfellingsstyrking)
 - Legeringselement tilsatt i en slik mengde at oppløsningsgrensen ved værelsestemperatur overskrides.
 - En ny fase, som finfordelte partikler, opptrer i strukturen.
 - Dette partikkelnett hindrer dislokasjonsbevegelsen → materialet styrkes.
4. KALDDEFORMERING (deformasjonsstyrking eller fastning)
 - Materialfastheten øker med graden av plastisk deformasjon (kaldvalsing, kaldtrekking)
 - Kornene blir forlenget, fiberstruktur.
 - Mekanismen er komplisert, ikke helt forstått.

Oppgave 3.28

Hva er deformasjonselding i stål? Årsak?

Hardheten hos et materiale øker etter endt plastisk deformasjon, raskere jo høyere temperatur. Årsak: C og N diffunderer inn mot feilstedene i stål rundt de opphopede dislokasjonene etter endt deformasjon. C og N blokkerer dislokasjonene.

Oppgave 3.29

Hva er dispersjonsharding?

Et legeringselement tilsettes i en slik mengde at oppløsningsgrensen ved romtemperatur overskrides. Det oppstår en ny fase i strukturen som jevnt fordelt vil hindre bevegelsen av dislokasjonene. Større spenninger trengs for at dislokasjonene kan bevege seg.

Oppgave 3.30

Hva er oppløsningsharding?

Innlegering som danner blandkrystaller med grunnmaterialet, enten som substitusjonsoppløsning eller addisjonsoppløsning. Disse elementene forstyrrer regelmessigheten i gitterstrukturen og fører til at større spenninger trengs for at dislokasjonene skal kunne bevege seg.

Oppgave 3.31

Hva er deformasjonsharding?

Når et materiale er plastisk deformert, trengs det en større kraft for å deformere materialet mere. Dislokasjonene filtrer seg sammen og vanskeliggjør videre deformasjon.

Oppgave 3.32

Hva forstår vi med homogenisering og utharding?

Homogenisering: Varmebehandling ved dispersjonsharding som bringer legeringselementene i oppløsning.

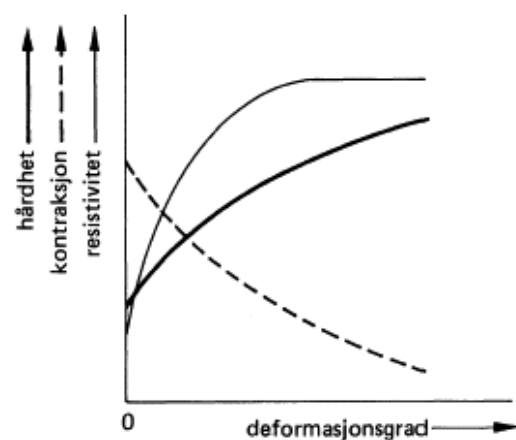
Utharding: Påfølgende lagring ved romtemperatur eller høyere.

Oppgave 3.33

Hvordan endres fasthetsegenskapene ved kalddeformasjon?

Ved økende deformasjonsgrad:

- Hardhet og fasthet øker.
- Kontraksjon og seighet reduseres.



Figur

Oppgave 3.34

Hva er avspenning?

Avspenning er en prosess for å redusere indre spenninger i et materiale. Avspenning foregår ved lav temperatur. Det skjer en reduksjon av punktdefekter og en reorganisering av dislokasjoner. Hardhet og seighet er uforandret.

Oppgave 3.35

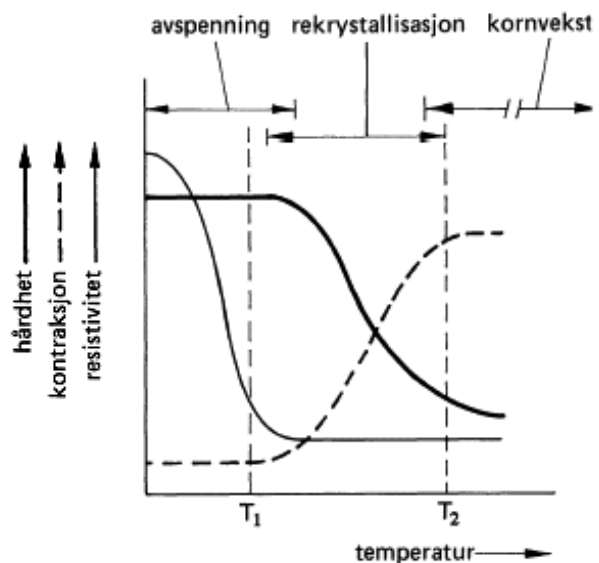
Beskriv prosessene rekrytallisasjon og kornvekst.

Rekrytallisasjon:

Nydannelse av spenningsfrie krystaller ut fra en deformert gitterstruktur. Hardhet faller og materialet blir seigere.

Kornvekst:

Skjer ved gløding til temperatur høyere enn rekrytallisasjonstemperaturen. I rene metaller faller hardheten og seigheten øker. I legeringer får vi en mere sprø struktur.



Figur

Oppgave 3.36

Hva er blokkseigring?

Ved størkning av et metall eller en legering i en kokille, vil de sist størknede områdene i blokka bli rikere på legeringselementene enn resten av den størknede blokka.

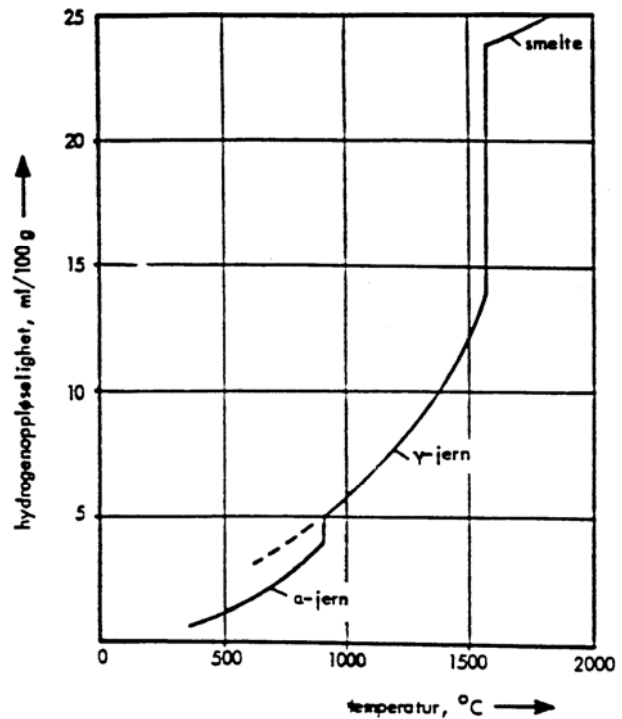
Forskjellene oppstår p.g.a. forskjell i oppløselighet i fast og i smeltet tilstand og forskjeller i smeltetemperatur. Legeringselementene med høyere smeltetemperatur forskyves forand størknefronten innover i blokka der hvor det p.g.a. avkjølingsforholdene størkner til sist. Diffusjonsavstandene blir for store for en konsentrasjonsutjevning.

Oppgave 3.37

Hvordan er oppløseligheten av gass generelt i metaller?

Oppløseligheten av gass er generelt størst i smeltet tilstand og minst i fast tilstand.

Eksempelet til høyre viser oppløseligheten av hydrogen, H, i jern (stål).



Figur

Oppgave 3.38

Hvilke forandringer av metallene kan vi oppnå ved varmebehandling?

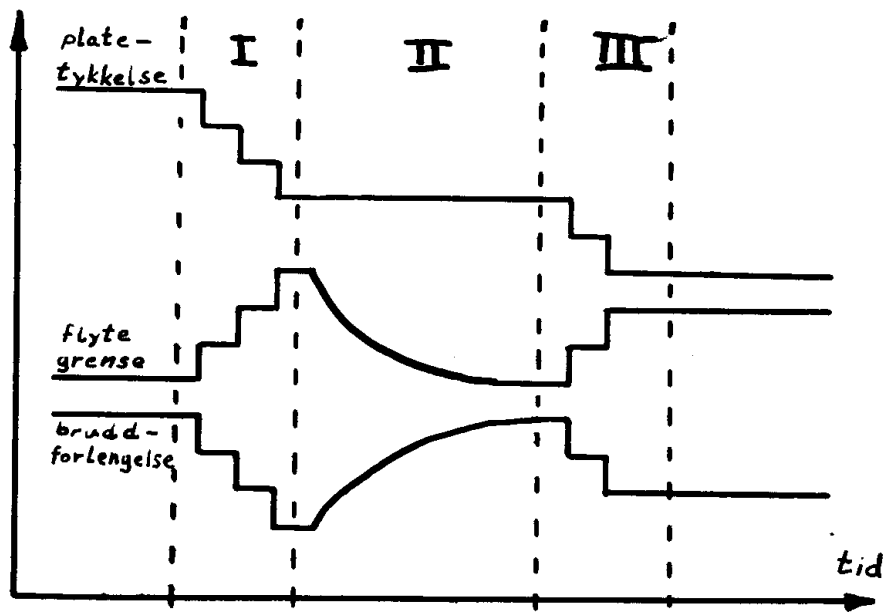
- 1 Hel eller delvis opphevelse av indre spenninger (støpespenninger, sveisespenninger etc.)
- 2 Utjevning av krystallseigringer i større eller mindre grad.
- 3 Ny og finere kornstruktur ved allotrope materialer (jern, Fe)

Oppgave 3.39

Prosessen nedenfor beskriver foredling av aluminium i 3 trinn (I, II, III). Utgangsmaterialet er en støpt plate av renaluminium (99% Al).

- I *Breakdownreduksjon* som innebærer valsing ved romtemperatur. Platetykkelsen reduseres ved denne valsingen til 40% av den opprinnelige. (I virkeligheten skjer dette i flere stikk.)
- II *Tempergløding* som innebærer at platen holdes ved 420°C i 3 timer og deretter avkjøles i luft.
- III *Temperreduksjon* som innebærer valsing ved romtemperatur slik at platetykkelsen reduseres med ytterligere 35%.

- a) Tegn et diagram (med tiden som abscisse) som viser skjematisk hvordan flytegrense og duktilitet varierer gjennom prosessen I – II – III.



Figur

Platetykkelse, flytegrense og bruddforlengelse gjennom prosesstrinnene I, II og III.

- b) Forklar kort den fysiske bakgrunn for bruddforlengelse - flytegrense - endringene under denne prosessen.

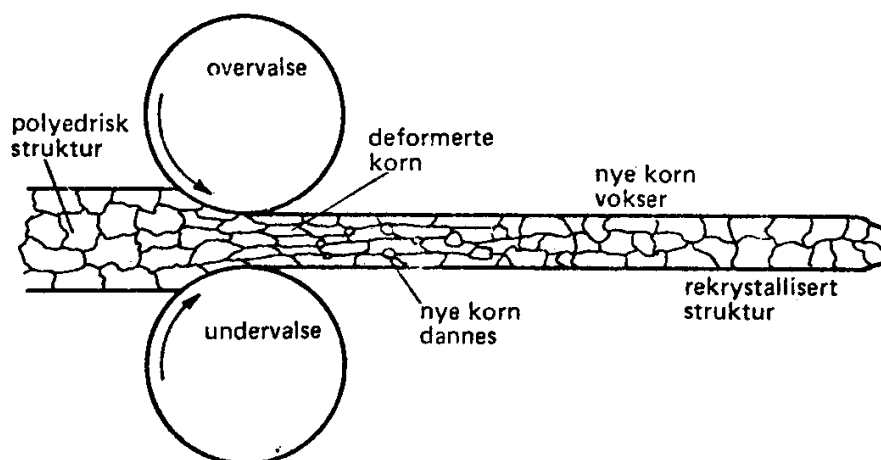
Under breakdown-reduksjonen (I) blir materialet påført en plastisk deformasjon hvor glidning skjer på mange krystallografiske plan. Dermed må dislokasjonene bevege seg, og det dannes stadig nye dislokasjoner. Dislokasjonene i de enkelte glideplan vil krysse hverandre og på grunn av spenningsfeltene som omgir dem, blir kryssing hemmet. Dette fører til at det hopper seg opp store dislokasjonsvaser som blir et nærmest ubevegelig nettverk og materialet får økt flytegrense.

Under temperaturlødingen skjer en avspenning og rekrySTALLISASJON av materialet. Dislokasjonene reorganiserer seg, spenningene i materialet utjevnes og det vokser frem nye polyedriske korn i den deformerte strukturen. Ved fortsatt varmebehandling kan de nye kornene begynne å vokse sammen slik at kornstørrelsen øker. Under hele denne prosessen vil flytegrensen synke ned mot nivået for breakdown-reduksjonen. Så lenge en ikke får noen utstrakt kornvekst, vil bruddforlengelsen øke opptil og kanskje forbi det opprinnelige nivå.

Under temperaturreduksjonen (III) vil materialet gjennomgå de samme prosesser som er nevnt under breakdownreduksjonen.

Oppgave 3.39, forts.

c) Tegn en figur som viser hvordan kornstørrelse og kornvekst varierer under prosessen I – II.



Figur
RekrySTALLISASJON under valsing.

d) Hvordan bør vi endre prosessen for å få et produkt (en plate) med samme tykkelse, men med mye høyere flytegrense? Det forutsettes at utgangsmaterialet for prosessen er det samme.

Dersom vi ønsker høyere flytegrense, kan vi redusere antallet valsestikk under breakdown-reduksjonen, og øke reduksjonsgraden tilsvarende under temperreduksjonen. Fastningen vil da bli større i de siste valsestikkene, og det ferdige produkt får en atskillig høyere flytegrense.

e) Hvilke innflytelse har kornstørrelsen på det ferdige produkts flytegrense? Bruk helst diagram som illustrasjon til kornstørrelsens innflytelse.

Kornstørrelsens innflytelse på flytegrensen kan uttrykkes ved hjelp av Hall & Petch's formel:

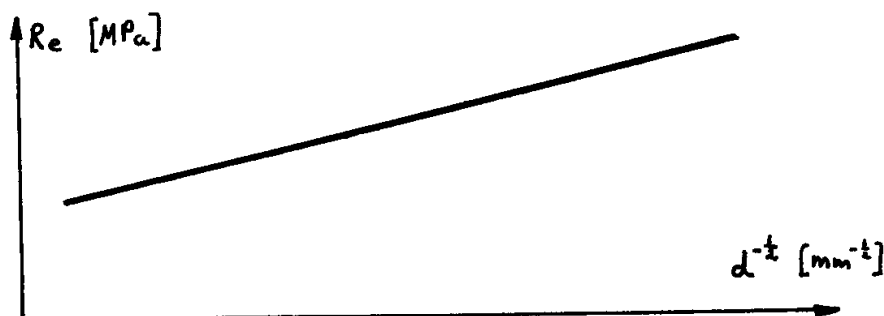
$$R_e = \sigma_i + k \cdot d^{-1/2}$$

hvor:

R_e = flytespenning

k og σ_i er konstanter

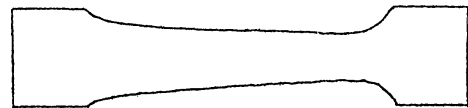
d = korndiameteren



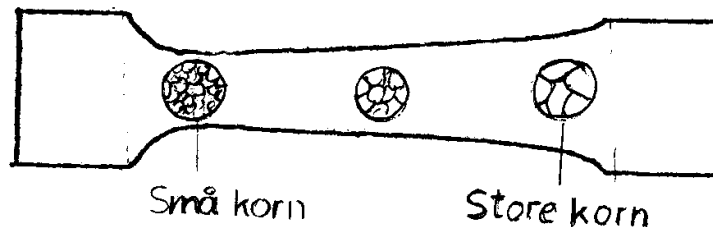
Figur
Flytegrensen er en lineær funksjon av $d^{-1/2}$

Oppgave 3.40

Vi har en prøvestav med utforming som vist på skissen nedenfor. Kornstørrelsen er jevn i staven. Vi strekker staven plastisk og gløder den ved høy temperatur.



- a) Lag en skisse som viser kornstørrelsens variasjon i stavens lengderetning etter gløding ved høy temperatur.



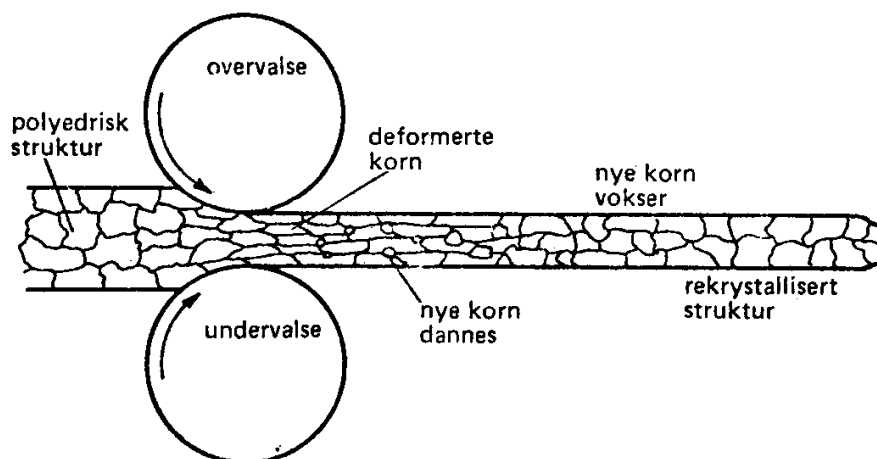
Figur

Den delen av staven hvor tverrsnittet er minst blir deformasjonene størst. Derfor blir det dannet mange kim som danner utgangspunkt for nye korn. Kornstrukturen blir derfor finest her. Strukturen blir grovere mot den tykkeste delen av staven. Dette skyldes at deformasjonene blir mindre og dermed blir antall kim mindre. Få kim gir store korn og grov struktur.

- b) Gi en beskrivelse av de prosesser som finner sted i de forskjellige deler av staven ved gløding

Vi har altså en kalddeformert struktur hvor den opprinnelige strukturen er ødelagt. Når vi så gløder den ved en høy temperatur, la oss si i nærheten av rekrystallasjonstemperaturen, vil det vokse fram en ny kornstruktur. Strukturen rekrystalliserer. Nye korn vokser fram fra stabile kim i den deformerte strukturen.

Vi får på ny dannet en polyedrisk kornstruktur i stedet for deformasjonsstrukturen med avlange korn.



Figur

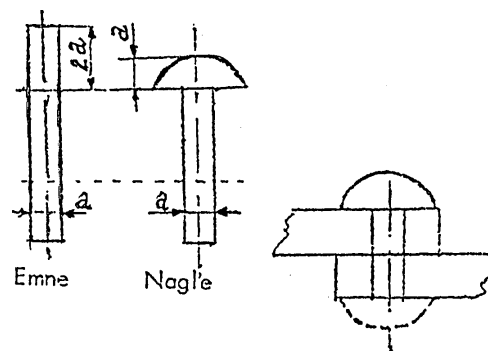
Rekrystallasjon under varmvalsing

De nye kornene vokser fram til de støter mot hverandre. Siden vi har få korn i den minst deformerte delen av staven, vil kornene bli ganske store for de støter mot hverandre.

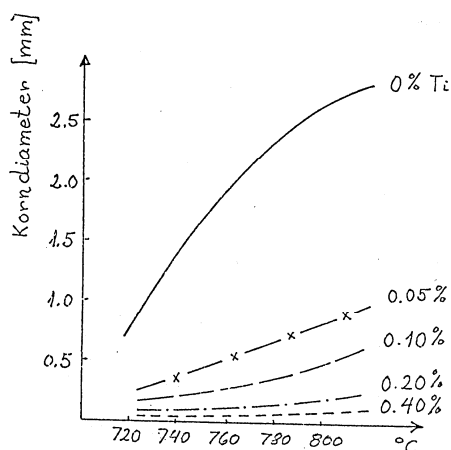
Oppgave 3.41

Du skal lage nagler for sammenføyning av en aluminiumkonstruksjon ved å støpe ut emner i AlCu. Naglene gis et hode ved kaldbearbeiding, slik som vist på skissen, og det forutsettes at det ved sammenklinkingen dannes et tilsvarende hode.

Ut fra konstruksjonen fastlegges en spenning på 140N/mm^2 i aksial retning. Støperiet oppgir en støpetemperatur på 780°C . Flytegrensen i støpetilstand bestemmes til $\sigma_F = 120\text{N/mm}^2$ (0% Ti).

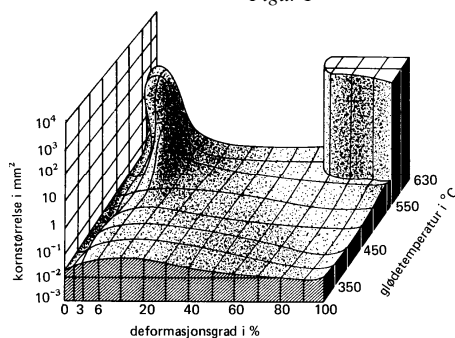


Figur 1



Figur 2

Sammenheng mellom støpetemperatur, %Ti og kornstørrelse i AlCu-legering.



Figur 3

Kornstørrelse ved rekrystallasjon av renaluminium, avhengig av deformasjonsgrad og glødetemperatur. 30min. glødetid.

- a) Støperiet anbefaler å styrke materialet ved en finkornbehandling med titan, Ti. Figur 2 gir opplysninger om behandlingen. P.g.a. at Ti har uheldig innvirkning på duktiliteten, bør vi holde innlegeringen så lav som mulig. Regn ut flytespenningen i avhengighet av Ti-innlegeringen, og bestem det minste legeringsnivå som tilfredsstiller styrkekravet. $\sigma_i = 110\text{N/mm}^2$ i Petch formel. Det forutsettes her at Ti ikke gir annen innflytelse på materialets styrke enn den som kan utledes direkte av opplysningene i Figur 2.

Vi benytter den såkalte Petch formel:

$$\sigma_F = \sigma_0 + \frac{K}{\sqrt{D}}$$

Her betegner σ_F flytespenningen, D kornstørrelsen, σ_0 initial spenning i et enkeltkorn, et korn, av det aktuelle materialet, og K er en konstant for det aktuelle materialet.

Det er forutsatt i oppgaven at tilsetningen av Ti ikke innvirker på annet enn kornstørrelsen, og vi regner derfor at styrken av de enkelte korn, uttrykt ved σ_0 , forblir konstant og lik den oppgitte verdien.

Oppgave 3.41a, forts.

Vi benytter de oppgitte verdiene til å bestemme konstanten K i Petch formel, $\sigma_0 = 110 \text{ N/mm}^2$ og $\sigma_F = 120 \text{ N/mm}^2$.

$$120 = 110 + \frac{K}{\sqrt{D}}$$

$$\frac{K}{\sqrt{D}} = 120 - 110$$

Vi leser verdien av D ut av Figur 2 ved støpetemperatur 780°C og 0% Ti til $D = 2,34\text{mm}$

$$K = 10\sqrt{D} = 10\sqrt{2,34} = \underline{15,30}$$

Vi leser verdien av D ut av Figur 2 for de ulike nivåene av Ti, og regner ut den tilsvarende flytegrensen for materialet:

$$0,05\% \text{ Ti: } \sigma_F = 110 + \frac{K}{\sqrt{D}} 110 + \frac{15,30}{\sqrt{0,66}} = \underline{129 \text{ N/mm}^2}$$

$$0,10\% \text{ Ti: } \sigma_F = 110 + \frac{K}{\sqrt{D}} 110 + \frac{15,30}{\sqrt{0,37}} = \underline{135 \text{ N/mm}^2}$$

$$0,20\% \text{ Ti: } \sigma_F = 110 + \frac{K}{\sqrt{D}} 110 + \frac{15,30}{\sqrt{0,15}} = \underline{150 \text{ N/mm}^2}$$

$$0,40\% \text{ Ti: } \sigma_F = 110 + \frac{K}{\sqrt{D}} 110 + \frac{15,30}{\sqrt{0,06}} = \underline{175 \text{ N/mm}^2}$$

Vi ser av dette at det minste legeringsnivå som tilfredsstillers styrkekravet $\sigma_F = 140 \text{ N/mm}^2$, er 0,20% Ti.

b) I stedet for finkornbehandling ved støping, velger vi å kaldbearbeide og rekrystallisere.

Dette foregår ved emnene støpes større og at de trekkes ned til riktig dimensjon. Anta at Figur 3 gjelder for den aktuelle legering. Bestem ut fra rekrystallisasjonsdiagrammet, Figur 3, den minste akseptable deformasjon ved trekkingen, når rekrystalliseringen skjer ved 510°C .

Hvilken konsekvens vil det få for hodene, som får stor plastisk deformasjon, dersom temperaturen ved en feil legges 100°C høyere?

Vi fant i spørsmål a) at kornstørrelsen ikke måtte overstige $0,15\text{mm}$ (0,20% Ti) for at materialet skulle tilfredsstillere det aktuelle styrkekravet $\sigma_F = 140 \text{ N/mm}^2$.

Vi har da:

$$D^2 = (0,15)^2 = 0,023\text{mm}^2$$

$$\lg 0,023 = -1,6$$

$$D^2 = 10^{-1,6} \text{ mm}^2$$

Med en rekrystalliseringstemperatur på 510°C , ser vi av Figur 3 at deformasjonsgraden må være minimum 40% for at kravet til kornstørrelse og derved materialstyrke skal kunne innfris. Vi ser også av figur at ved en rekrystalliseringstemperatur 100°C høyere, altså 610°C , og ved en deformasjonsgrad over 65%, får vi en voldsom kornvekst i materialet. Hodene på naglene har en deformasjonsgrad i dette området, og ved denne høye rekrystalliseringstemperaturen vil således materialet i hodene ikke holde kravet til styrke.