

## GENERELLE FREMGANGSMÅTER TIL Å STYRKE METALLENE

- MATERIALSTYRKE, FLYTEGRENSE OG HARDHET
  - vanligvis KNYTTET TIL kriterier for begynnende og i makroskopisk målestokk MÅLBAR PLASTISK DEFORMASJON
- PLASTISK DEFORMASJON er betinget av at GLIDNING kan finne sted MELLOM ATOMPLAN
- prosessen avhengig av HVOR LETT DISLOKASJONER KAN BEVEGE SEG i strukturen
- metallenes kan styrkes ved å:
  - **BEGRENSE ANTALL DISLOKASJONER**
  - **HINDRE DISLOKASJONSBEVEGELSE**
- i praksis ikke mulig å begrense antall dislokasjoner

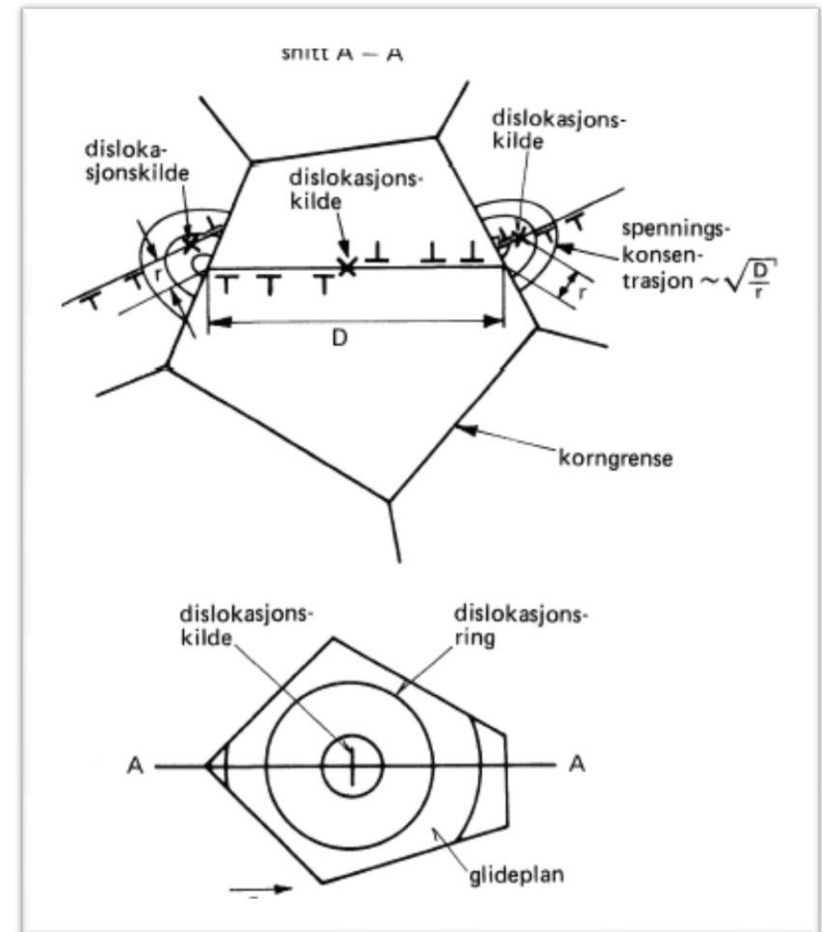
### HVORDAN styrke metallene ved å HINDRE DISLOKASJONSBEVEGELSE?

#### 4 muligheter:

- ① **REDUSERE KORNSTØRELSEN**
- ② innlegere elementer som danner blandkrystaller med grunnmetallet,  
**LØSNINGS- ELLER BLANDKRISTALLSTYRKING**
- ③ innlegere elementer som danner nye faser,  
**PARTIKKEL- ELLER UTFELLINGSSTYRKING**
- ④ kalddeformering,  
**DEFORMASJONSSTYRKING ELLER FASTNING**

## ① REDUSERE KORNSTØRRELSEN

- plastisk deformasjon kan måles - når lokal glidning har funnet sted
- glidning er forårsaket av skjærspenninger -  $\tau$
- glidning fra et korn til nabokornet
  - vanskelig hvis glideplan og glideretning ikke passer sammen
- dislokasjonene hoper seg opp langs korn grensene
  - uordnede områder
- opphoping av dislokasjoner
  - gir lokal spenningskonsentrasjon proporsjonal med antallet
- spenningskonsentrasjonen
  - kan aktivere dislokasjonskilde i et gunstig orientert plan i nabokornet
- for flyting
  - prosessen må være i gang i større målestokk



*Dislokasjonsoppbygging på en korn grense, skjematisk.*

- i en strekkstav med enakset spenning er  $\tau_{\text{maks}} = 0,5 \cdot \sigma$

hvor:

$\tau_{\text{maks}}$  = maksimal skjærspenning

$\sigma$  = normalspenning

- det kan vises (fra linærelastisk bruddmekanikk) at flytegrensen,  $R_e$ , kan skrives som

$$R_e = \sigma_i + \frac{k}{\sqrt{D}} \quad (\text{Patch - Hall ligning})$$

hvor:

$\sigma_i$  = friksjonsspenning, motstand mot glidning mellom atomplan.

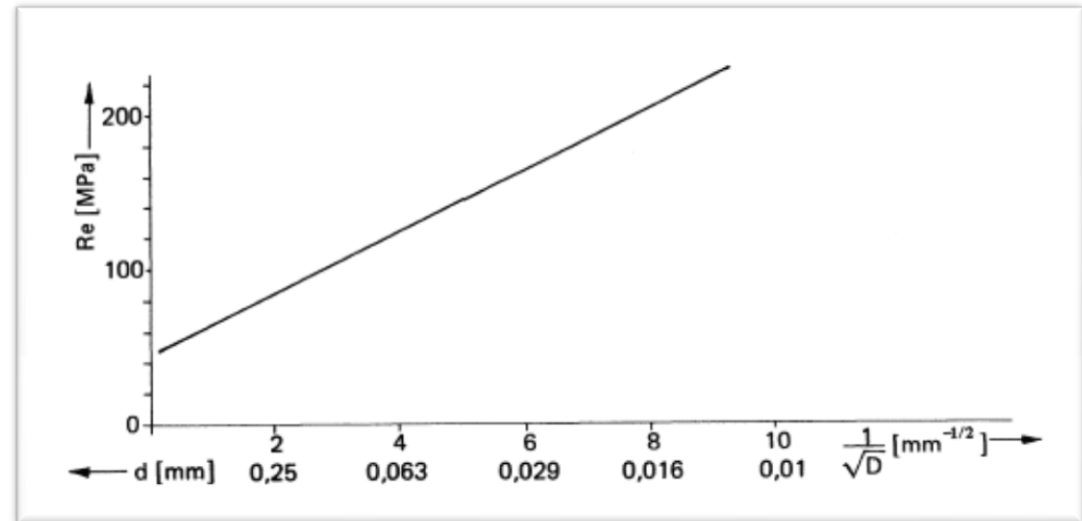
Konstant for et bestemt materiale.

$k$  = konstant avhengig av kornstørrelsen (vanligvis  $k = 2$ )

$D$  = ferrittkornstørrelsen (midlere kornsekant)

- materialstyrken ligger i det 3-dimensjonale nettverk som korngrænseflatene representerer
- jo større nettverkstetthet, jo større materialstyrke

- [Extent of Grain Size Strengthening in Different Materials](#) steeluniversity



*Flytegrensens avhengighet av kornstørrelsen i bløtt stål.*

## ② LØSNINGS- ELLER BLANDKRISTALLSTYRKING

- innlegere elementer som danner blandkrystaller med grunnmetallet

- innlegering ved å benytte elementer som danner blandkrystaller med grunnmetallet - øker materialfastheten
- eksempler:
  - messing : kobber (Cu) levert med sink (Zn)
  - bronse : kobber (Cu) levert med tinn (Sn)
- flytegrensen øker med innholdet av legeringselementet

### 2 METODER:

A) blandkrystallstyrking ved SUBSTITUSJONSLØSNING

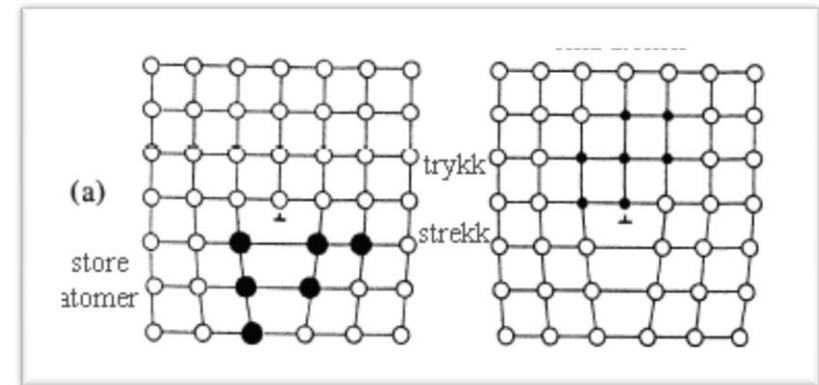
B) blandkrystallstyrking ved ADDISIONSLØSNING (MELLOMROMSLØSNING)

- Solid Solutions steeluniversity

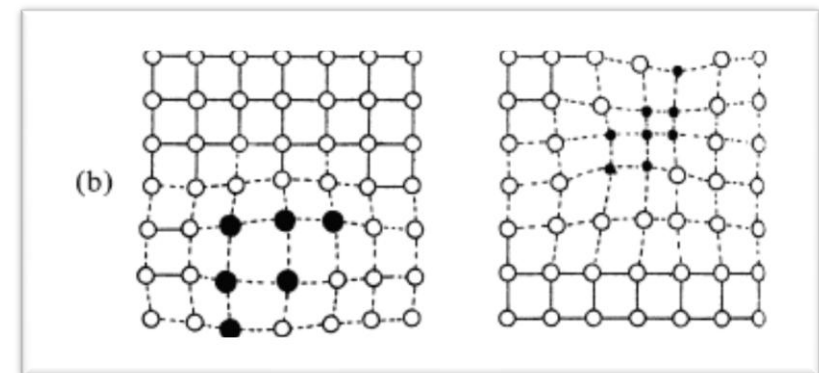
## A) blandkrystallstyrking ved SUBSTITUSJONSLØSNING

- løste atomer lager fortrekninger i atomgitteret
  - p. g. a. forskjellen i atomstørrelse
- en større spenning kreves for å tvinge dislokasjonene gjennom gitteret
- de løste atomene danner "atmosfærer" omkring dislokasjonene
- når dislokasjoner blir tvunget til å bevege seg ut av "atmosfæren", reorganiserer atomene seg
- det oppstår en fortrekning av gitteret
- nødvendig spenning til å bevege dislokasjonene øker
- noen atomer følger med dislokasjonen, nye blir plukket opp underveis, nye "atmosfærer" dannes
- resultat
  - "atmosfærene" danner bremse på dislokasjonens bevegelse

- **Size Factor** | steeluniversity

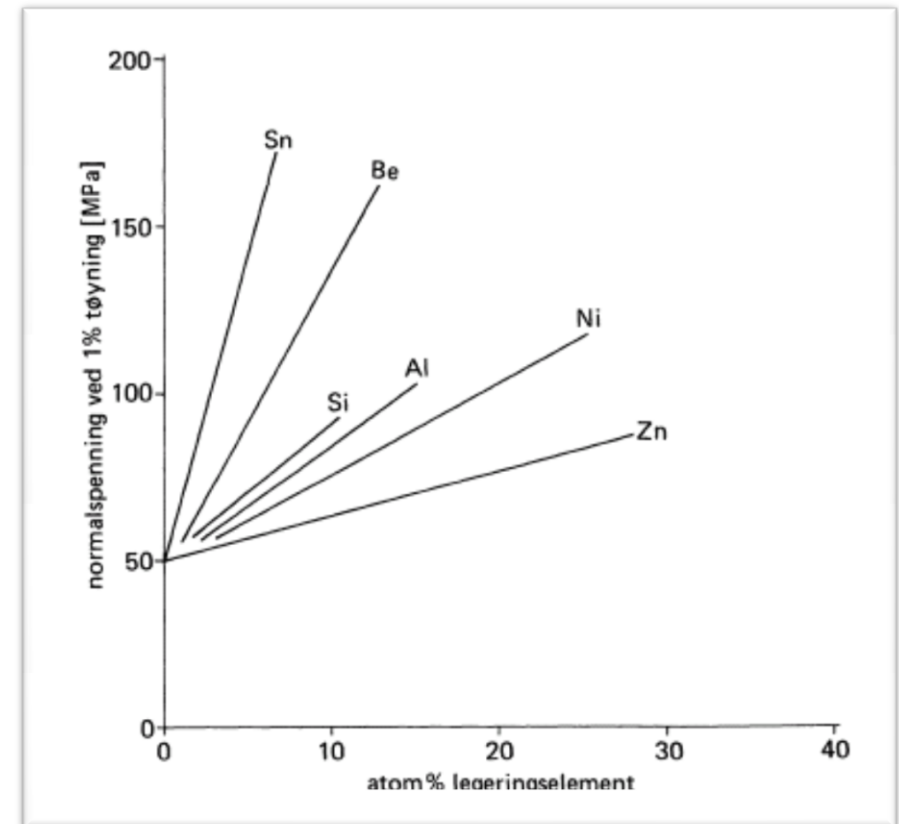


*Oppløste atomer finner mer stabile plasser i områder omkring en stabil dislokasjon.*



*Reorganisering av atomene etter at dislokasjonene har beveget seg ut.*

- styrkeveksten er større jo større gitterfortrekning
- for kubisk flatesentrert struktur
  - styrken ofte proporsjonal med konsentrasjonen av legerings-elementet i atom-%



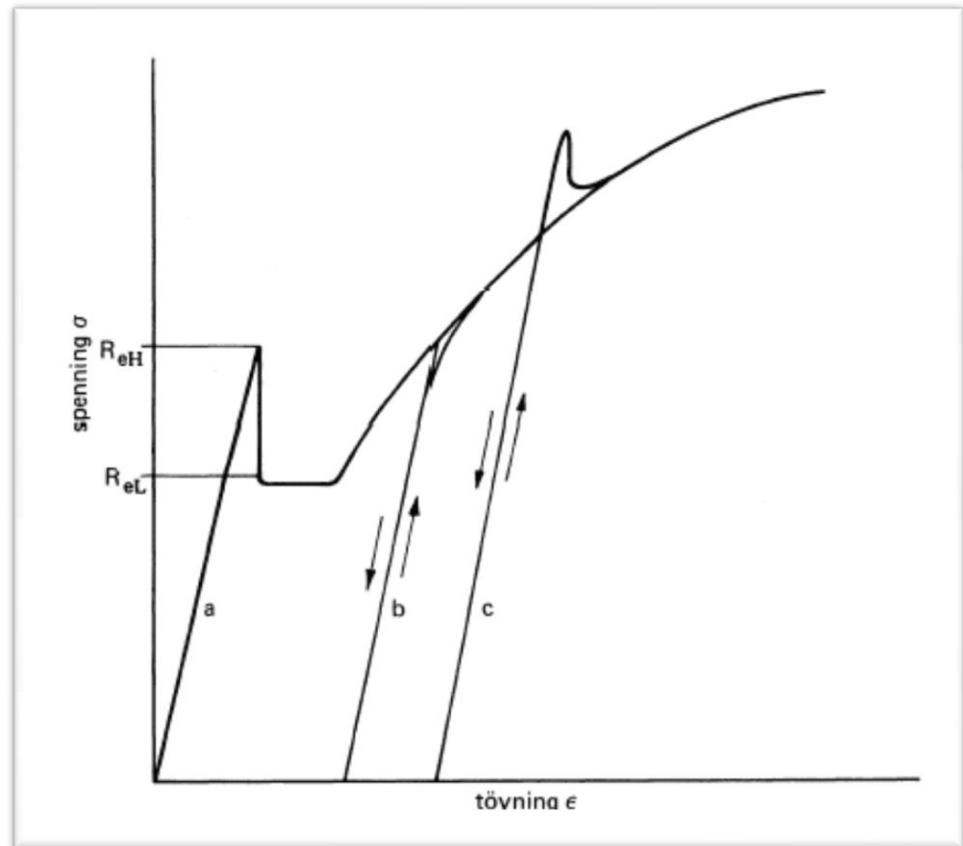
*Kobber, Cu, danner blandkrystaller med mange forskjellige elementer, styrken  $\approx$  proporsjonal med konsentrasjonen i atom-%*

**B) blandkrystallstyrking ved ADDISJONSLØSNING (MELLOMRØMSLØSNING)**

- gitterfortrekning pr. oppløst atom blir mye større (enn ved substitusjonsløsning)
- sjelden maksimal utnyttelse p.g.a. sterkt begrenset løselighet
- stor praktisk betydning
  - eksempler:
    - **DEFORMASJONSELDING I STÅL**
    - **HERDING AV STÅL**

## FLYTEGRENSE OG DEFORMASJONSELDING I STÅL

- C, og N går i mellomromsløsning i Fe, plasserer seg i "atmosfærer" omkring dislokasjonene
- ved lave  $\sigma$ , alle dislokasjoner fastlåst, elastisk deformasjon
- ved  $R_{eH}$  (øvre flytegrense) :  $\tau$  så høy at dislokasjonene løsriveres
- ved  $R_{eL}$  (nedre flytegrense): plastisk deformasjon med atomplanglidning
- stigning ved fortsatt deformasjon, deformasjonsstyrking
- kurve b: - avlasting og umiddelbar pålasting  
- kontinuerlig overgang fra elastisk til plastisk deformasjon
- kurve c: - avlasting og liggetid  
- oppløste atomer diffunderer tilbake til dislokasjonene  
- ved pålasting, ny spenningsspiss  
- **DEFORMASJONSELDING**



Spennings- tøyningsdiagram for bløtt stål.  
Linje c angir eldingsprøhet.

- [Introduction to Strain Ageing](#) steeluniversity



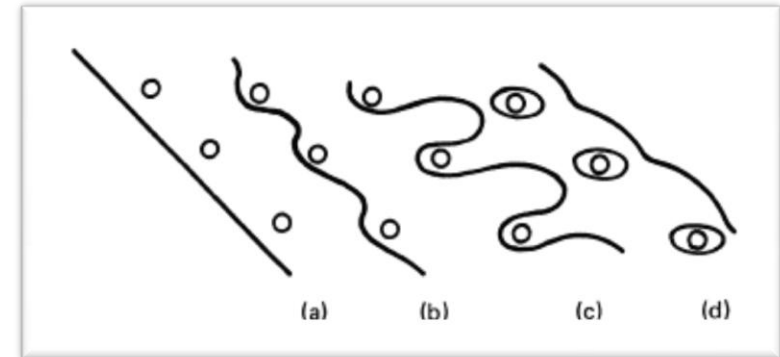
- ved værelsestemperatur, etter et par dager → **NATURLIG ELDING**
- ved 100-150°C, virkning etter 20-30min. → **KUNSTIG ELDING**
- fastlåste dislokasjoner gir økt  $R_e$  i udeformert stål, en fordel
- deformasjonselding er forbundet med høy  $\sigma$  i stedsbegrensede områder hvor dislokasjoner løsrives og resulterer i sprekker.  
**ELDINGSSPRØHET**
- i moderne stål begrenses innholdet av N for å redusere faren for eldingssprøhet

### ③ PARTIKKEL - ELLER UTFELLINGSSTYRKING

- innlegere elementer som danner nye faser

- når et legeringselement tilsettes i en slik mengde at oppløsningsgrensen ved værelsestemperatur overskrides, opptrer det en ny fase i strukturen
- utfellingene kan skje fra fast fase
  - opptrer da som finfordelte partikler
- en dislokasjon har vanskeligheter med å passere et slikt partikkelnett som da oppstår
- Skjærspenningen,  $\tau$ , i glideplanet driver dislokasjonen ut i buer mellom partiklene
  - etterlater dislokasjonsringer
- partiklene fører til flytegrenseøkning i materialet
- i stål forekommer utfellingene ofte som niobkarbid, NbC, og vanadiumnitrid, VN

- [Dislocation/Precipitate or Particle Interactions II](#) steeluniversity



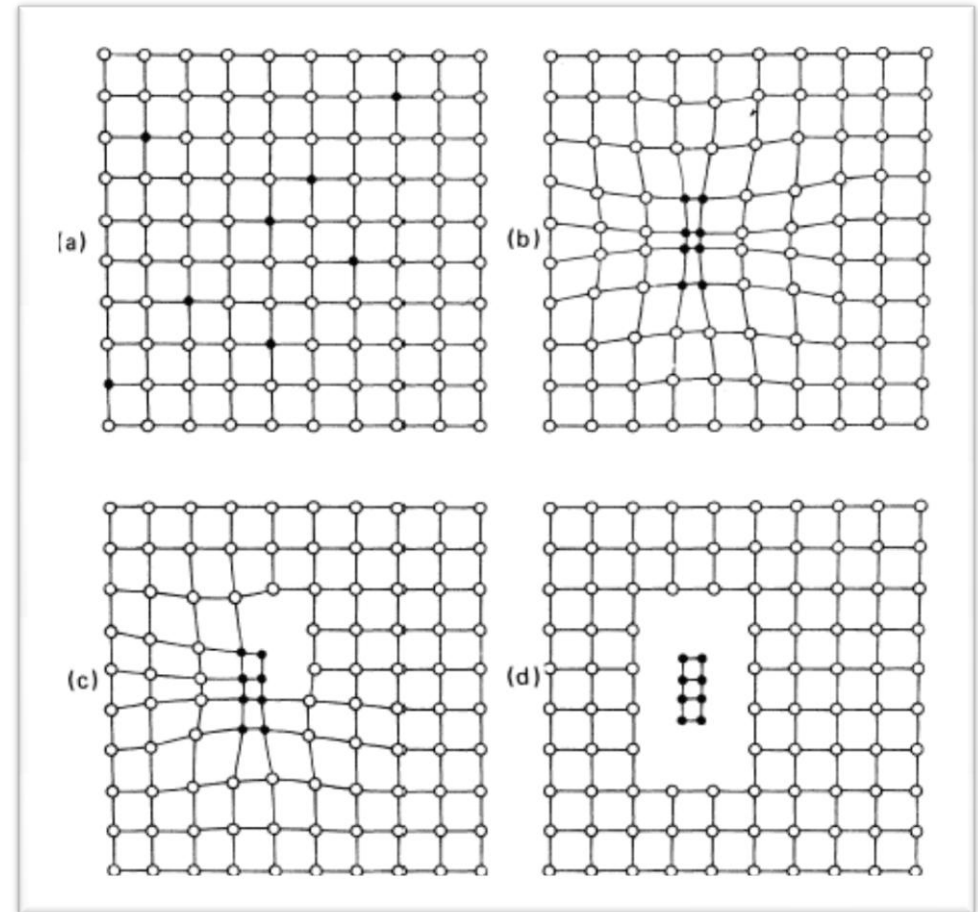
*Dislokasjonsringer.*

- en koherent sone forstyrrer modergitteret i et større område
  - mest effektivt

#### eksempel:

herdbar Al - Cu legering med 6% Cu

- ved hurtig avkjøling fra 500-600°C
    - overmettet løsning med Cu-atomene jevnt fordelt i gitteret
    - noe økning av flytegrensen
  - ustabil tilstand
    - eks. lagring ved ca. 150°C
    - Cu-atomene løper sammen til mindre plateformede områder
    - flytegrensen synker til verdi omtrent for lagring
  - høyeste flytegrense oppnås før koherensen brytes
    - 3-4 dobling
    - oppnås ved langsom avkjøling til romtemperatur etter legeringsbestemt tid
- overmettet oppløsning → overgangsstruktur  
→ likevektstruktur
- det praktiske problem er forbundet med å stanse prosessen ved OVERGANGSSTRUKTUREN som gir ØNSKET KOMBINASJON AV FLYTEGRENSE OG DUKTILITET



*Mekanismen ved partikkelstyrking.*

*(a) overmettet oppløsning*

*(b) en koherent sone dannes*

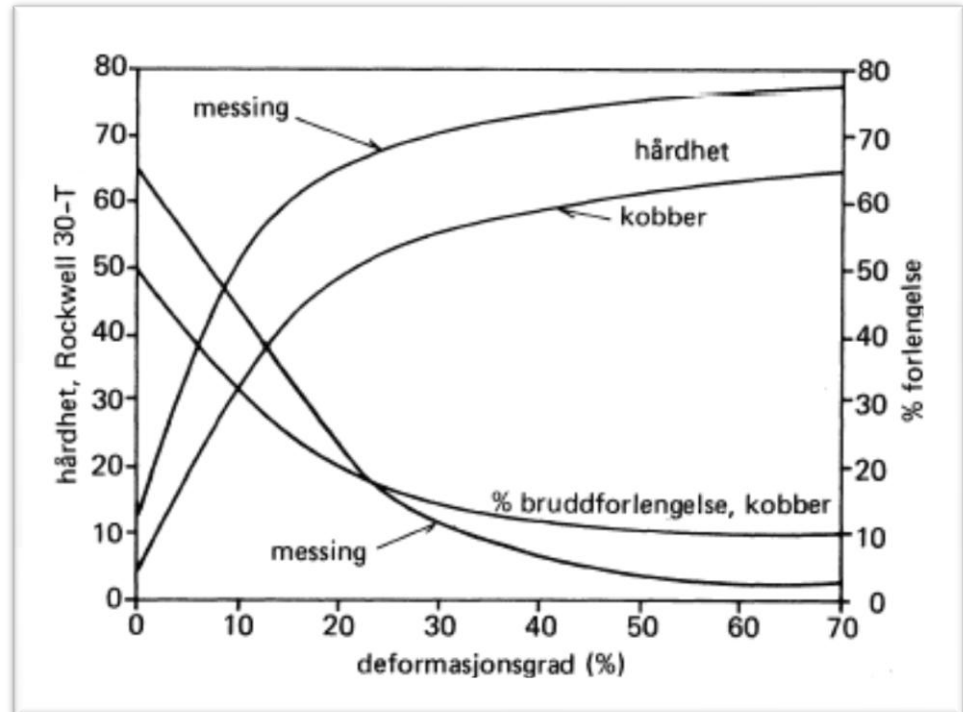
*(c) og (d) når sonen vokser, brytes koherensen*

- **coherent and Incoherent Particles** steeluniversity

#### ④ DEFORMASJONSSTYRKING ELLER FASTNING

- kalddeformering

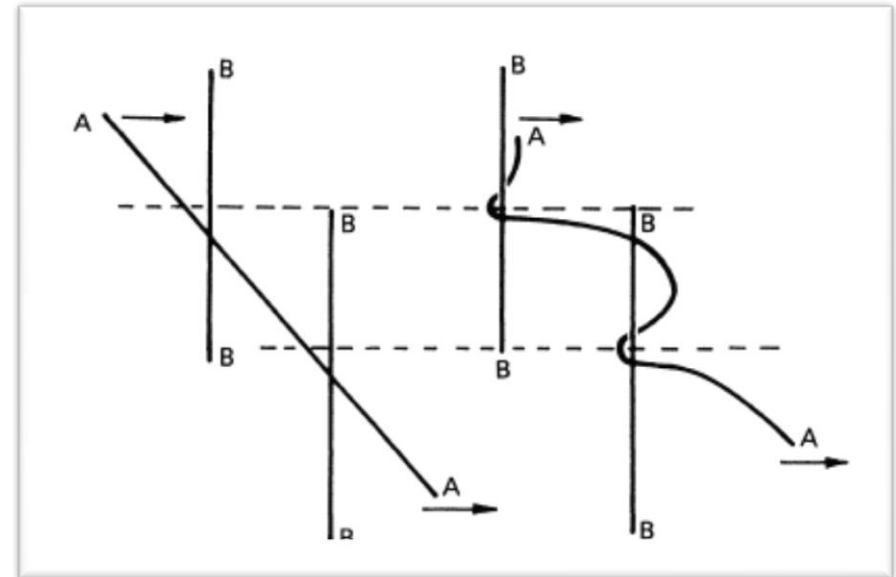
- i alle metaller og legeringer øker flytespenningen med graden av plastisk deformasjon
- materialet FASTNER
- utnyttes bevisst ved kaldvalsing og kaldtrekking
- eksempel:  
Ren Al og rent Cu kan oppnå flytegrenseøkninger opp til 100 ganger verdien før valsing
- ved plastisk deformasjon blir kornene forlenget i deformasjonsretningen, det dannes deformasjonsstruktur eller fiberstruktur
- mekaniske og fysiske egenskaper blir derfor mer eller mindre retningsavhengige
- mekanismen bak deformasjonsstyrking er komplisert og enda ikke helt forstått



*Hardhet og bruddforlengelse som funksjon av kalddeformasjonsgrad*

- [Work Hardening](#) steeluniversity

- mekanismen i polykrystallinsk materiale
  - ❶ det foregår glidning på mange forskjellige plan samtidig, kornene ville ellers ikke henge sammen
  - ❷
    - dislokasjoner i de enkelte glideplan må krysse hverandre
    - det dannes 3-dimensjonalt nettverk av nesten ubevegelige dislokasjoner
    - det er en grense for teknologisk utnyttelse av fastning, videre deformasjon gir sprekker
    - ustabil struktur, kan oppheves ved varmebehandling



*Dislokasjoner som krysser hverandre*

## ADDITIV VIRKNING

Flere styrkemekanismer kan virke samtidig

Eksempel:

Korngrensestyrking og partikkelstyrking, og en større eller mindre grad av plastisk deformasjon er nesten alltid tilstede.

De ulike bidragene er ikke nødvendigvis uavhengige av hverandre.

Vi regner likevel at virkningen kan summeres når enkeltbidragene ikke er for store.