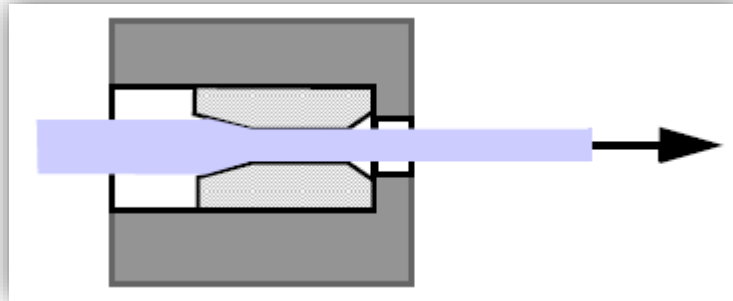


## AVSPENNING, REKRYSTALLISASJON OG KORNVEKST

### Eksempel – kaldtrekking av tråd:



*Trådtrekking.*

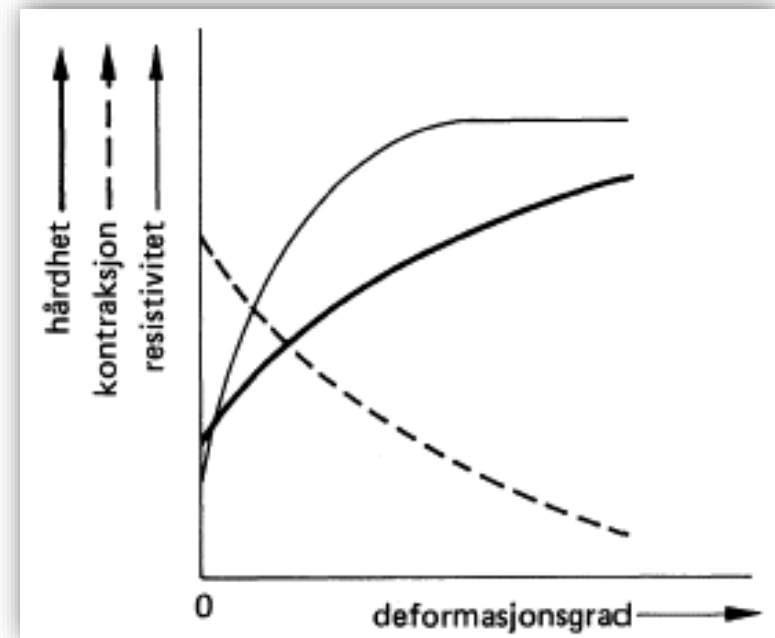
Plastisk deformasjon i kald tilstand:

- øker hardhet og flytegrense.
- reduserer kontraksjon og duktilitet (seigheten)

Kald er her definert som temperatur under  $0,3 \times$  smeltetemperaturen (K)

Fysikalske egenskaper påvirkes:

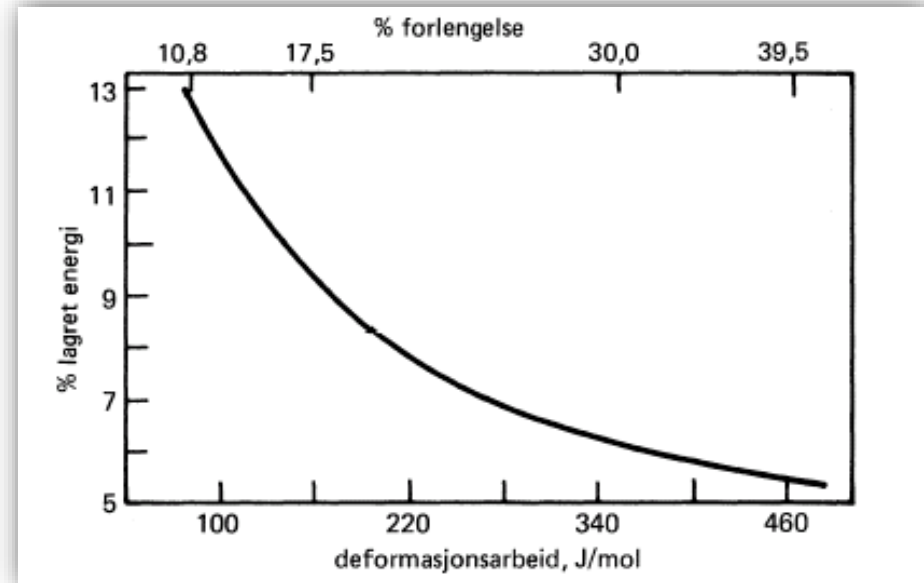
- Resistiviteten (elektrisk motstandsevne) øker drastisk.
- Konduktiviteten (elektrisk ledningsevne) falle drastisk.
- Densiteten (tettheten) reduseres noe.



*Forandring av mekaniske egenskaper i metalliske materialer ved trekking av tråd.*

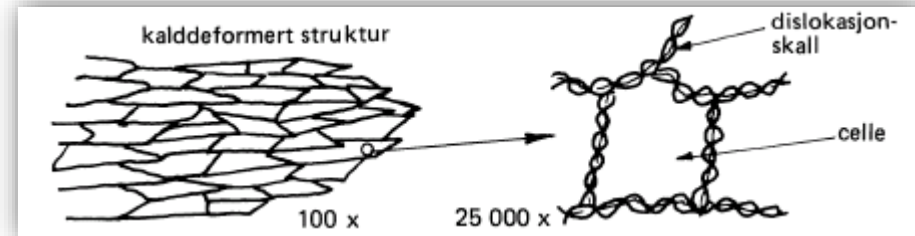
Ved kalddeformasjon omgjøres:

- størstedelen av deformasjonsarbeidet i varme
- 5 – 10 % blir lagret som elastisk energi (mye knyttet til økningen av dislokasjonslengde og vakanskonsentrasjon som følger plastisk deformasjon)



*Lagret energi i en strekkstav.*

- Dislokasjonene samler seg i diffuse skall.
- Skallene avgrensner celler, subbkorn, nesten fri for dislokasjoner. Millioner celler innenfor hvert korn.
- Skallene er områder av høy tetthet av kryssende og ubevegelige dislokasjoner. Flytespenningen er derfor høy.
- Duktiliteten synker.
- Resistiviteten (elektrisk motstandsevne) øker. Kalddeformasjon øker antallet vakanser og andre punktfeil når kryssende dislokasjoner presses forbi hverandre.
- Punktfeil gir spredning av elektronstrømmen i en leder. Dette gir redusert konduktivitet (elektrisk ledningsevne).
- Egenskaper som er påført materialet ved deformasjonen er stabile ved normal temperatur.
- Ved en varmebehandling (gløding) etter endt deformasjon, kan de termiske vibrasjoner føre til vakans- og dislokasjonsvandring og diffusjon. Dette fører igjen til en ny reorganisering av strukturen.



*Etter kalddeformasjon er dislokasjonene samlet i diffuse skall som avgrensner celler eller subbkorn med dislokasjonsfri struktur.*

**Foretar varmebehandling (gløding) av tråden ved:**

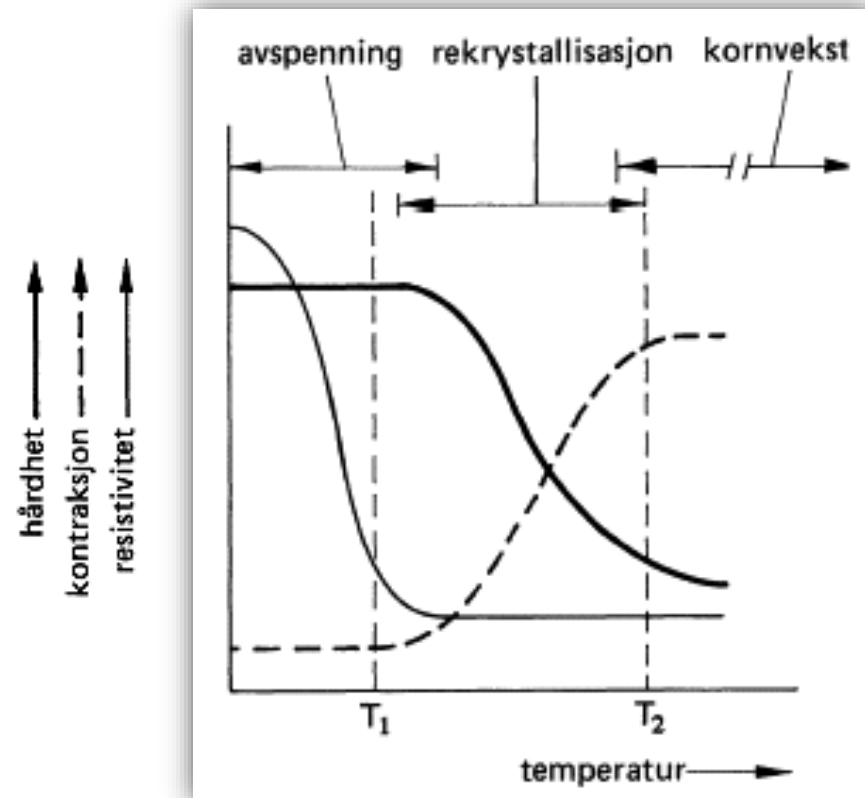
- bestemt deformasjonsgrad
- forskjellige temperaturer i 1/2time

**Måler etter gløding:**

- hardhet
- kontraksjon
- resistivitet

**Fra figur →**

- Ved høy glødetemperatur:  
→ verdiene går mot de samme som før deformasjon.
- Kurvene i figuren antyder at glødingen, avhengig av temperatur, utløser tre ulike prosesser:
  - **Avspenning**
  - **Rekrystallasjon**
  - **Kornvekst**



Ved gløding etter kalddeformasjon opptrer tre forskjellige prosesser: Avspenning, rekrystallasjon og kornvekst.

## AVSPENNING

Foregår ved forholdsvis lav temperatur.

- Reduksjon av punktdefekter.
- Hardhet, flytegrense og duktilitet bare uvesentlig endret.
- Resistiviteten faller nesten til verdien før deformasjon.  
→ antallet punktdefekter og vakanser er sterkt nedsatt.
- **Indre spenninger** redusert  
→ glidespenningen for operative dislokasjoner reduseres med temperaturen.

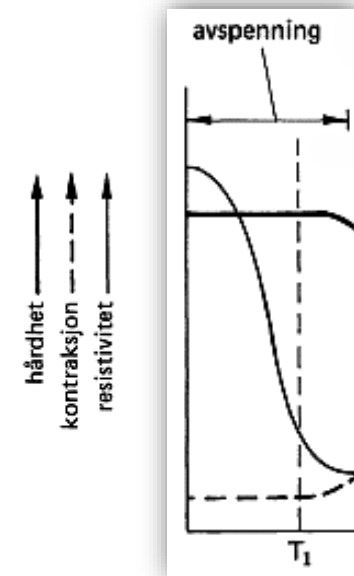
Indre spenninger er et uklart begrep. Punktfeil og spesielt dislokasjoner fører til elastiske spenninger.

Indre spenninger:

- kan oppstå under plastisk deformasjon eller under avkjøling etter støping eller varmebehandling
- kan bevirke "kast" ved sponskjærende bearbeiding → balansen mellom trykk- og strekkspenninger endres
- kan bevirke spenningskorrosjon i bestemte materialmiljø kombinasjoner

Motvirke slike ved **avspenningsgløding**.

- Kornstrukturen blir ikke påvirket.



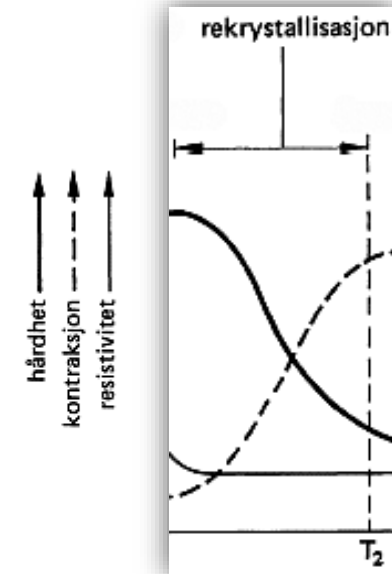
## REKRYSTALLISASJON

Foregår ved høyere temperatur enn for avspenning

- Det dannes en ny kornstruktur
- Hardheten faller mye
- Resistiviteten og densiteten faller noe

### Mekanisme:

- Nye korn vokser ut fra stabile kim i deformert struktur. De fleste på korn grensene.  
→ både deformasjonsgraden og tendensen til reorganisering er størst her.
- I de nye kornene ordner atomene så antall dislokasjoner blir ca. som før deformasjonen. (Hvorfor vet vi ikke)
- Kornene vokser fram til de støter mot hverandre på tilfeldig måte.
- Ny polyedrisk kornstruktur oppstår.
- Fasthetsegenskapene justert tilbake til nivået før deformasjonen.
- Indre spenninger ytterligere redusert.



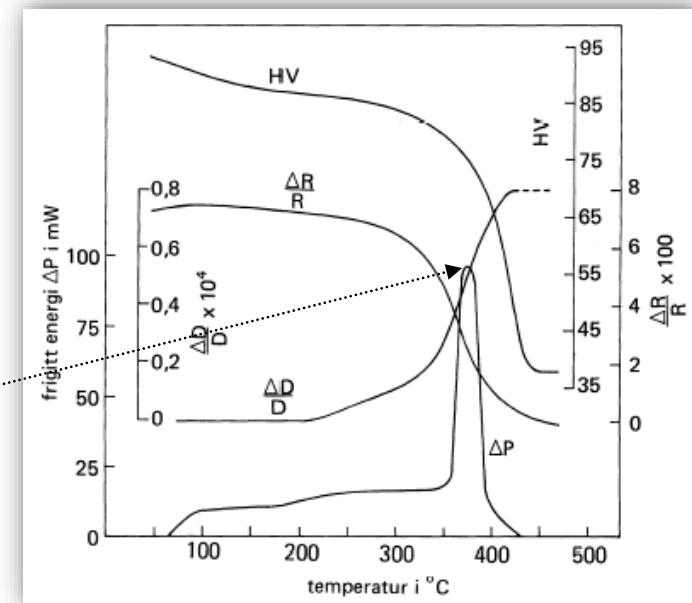
Frigitt energi  $\Delta P$  under avspenning og rekrySTALLISASJON av kalddeformert teknisk kobber.

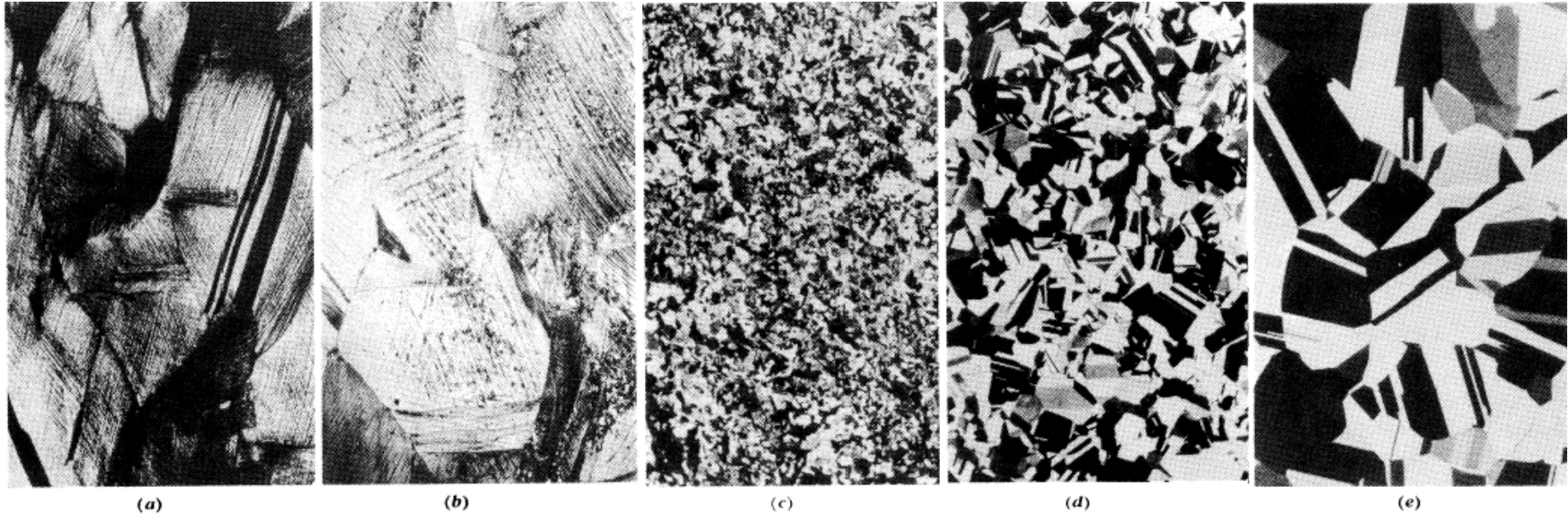
$HV$  = Hardhet Vickers

$\Delta D/D$  = forandring i relativ tetthet (densitet)

$\Delta R/R$  = relativ resistivitet (elektrisk motstandsevne)

Ny kornstruktur vokser fram – rekrySTALLISASJON





*RekrySTALLISAJON OG kornvekst i valset messing. 50x*

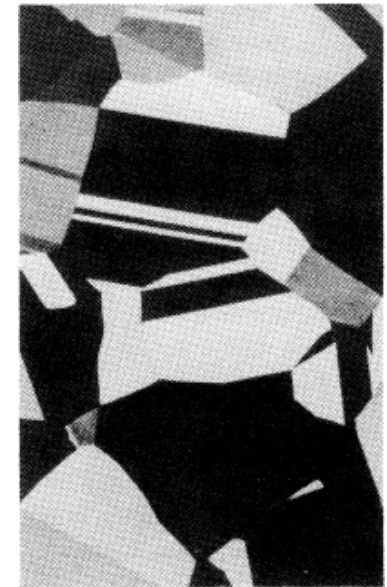
*(a) Struktur etter 33 % kaldvalsing.*

*(b) Glødet ved 500°C i 3sekunder. Det er antydning til rekrySTALLISAJON langs glidelinjer og kornrensener.*

*(c) Glødet ved 500°C i 4sekunder. Nesten fullført rekrySTALLISAJON.*

*(d) Fullstendig rekrySTALLISAJON og begynnende kornvekst.*

*(e) og (f) Kornvekst.*



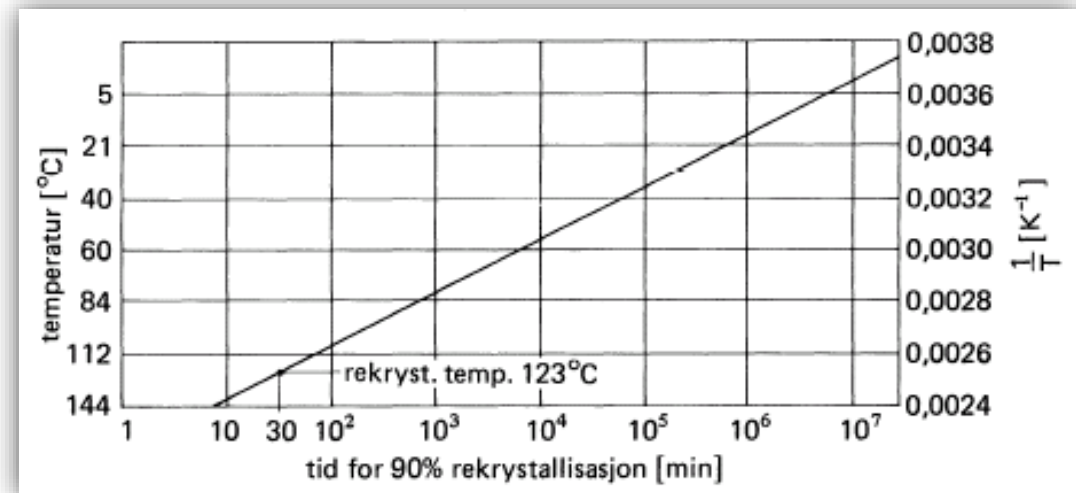
*(f)*

**Rekrystallisasjon er avhengig av:**

- **glødetemperatur**
- **glødetid**
- **deformasjonsgrad**
- **legeringselementer**

**Virkingen av glødetemperatur og glødetid.**

- Rekrystallasjon**stiden** er avhengig av:
  - Temperatur
- Rekrystallasjon**shastigheten** er avhengig av:
  - Kimdannelsehastigheten
  - Veksthastigheten av krystaller  
→ avhengig av diffusjonshastighet langs kornrensene
- Rekrystallasjon**stemperaturen**:
  - Angis vanligvis som:temperaturen for 90% rekrystallasjon i løpet av 30min.  
Vanligvis nevnes ikke tiden da den gir lite utslag på temperaturen (eks. mellom 10 og 100min.)
  - for rene metaller er ca. 0,4 x smeltetemperaturen



*Tid for 90 % rekrystallasjon i 99,999 % Cu ved forskjellige temperaturer etter 98 % kaldvalsing.*



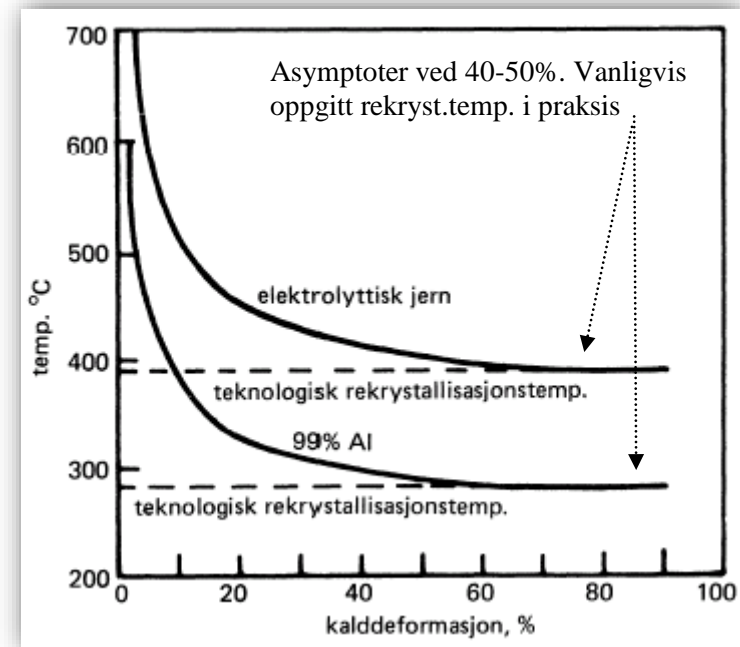
## Virkingen av kalddeformasjon.

- Økt kalddeformasjon før rekrystallasjon øker lagret elastisk energi → drivende kraft i rekrystallasjonen.
- Kimdanneshastigheten og veksthastigheten av de nye krystallene øker mest fra ca. 10% deformasjon.
- Kimdanneshastigheten øker mer enn veksthastigheten ved økende deformasjonsgrad.
- Kornstørrelsen på rekrystalliserte korn øker med veksthastigheten og faller med kimdanneshastigheten.

## Konklusjon:

Økende deformasjonsgrad reduserer kornstørrelsen

- Kornstørrelsen er gjennomgående lite påvirket av glødetemperaturen.



*Variasjon av rekrystallasjonstemperaturen med graden av kalddeformasjon i elektrolyttisk jern og 99 % aluminium.*

## Virkingen av legeringselementer.

- Små mengder elementer i legering med et rent metall (blandkrystaller) øker tiden for 90% rekrystallasjon. Holder vi tiden konstant → økning i rekrystallasjonstemperaturen.
- Fremmedatomer / -partikler virker som en brems på grensene av nye korn når de vokser fram.

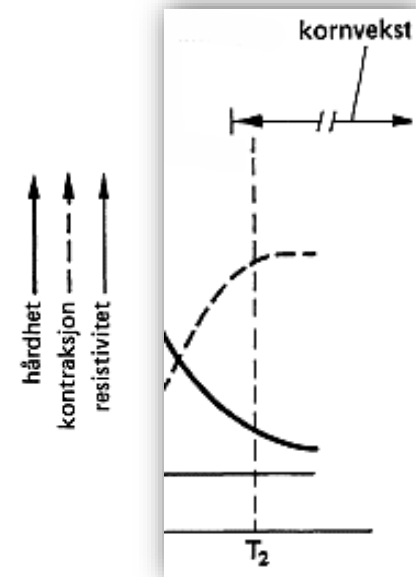
Materiale		Rekryst. temperatur (C <sup>0</sup> )
kobber (Cu)	99,999 %	120
	teknisk	210
	+ 5 % Zn (sink)	320
aluminium (Al)	soneraffinert	10
	99,999 %	85
	99 %	240
	legeringer	320
nikkel (Ni)	99,99 %	370
	99,4 %	630
wolfram (W)	”veldig rent”	1200 - 1300
	Med mikroporer	1600 - 2300
tinn (Sn)	teknisk	-4
jern	elektrolyttisk	400
	0,1 % C (karbon)	500 - 600
	18 % Cr (krom), 8 % Ni (nikkel)	800 - 900

*Virkingen av legeringselementer på rekrystallasjonstemperaturen.*

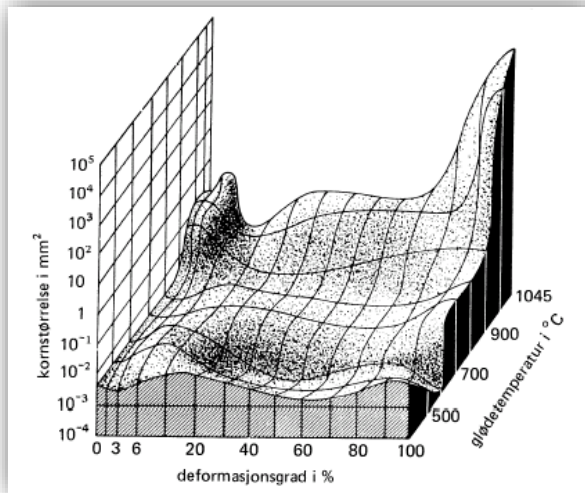
- **Recrystallisation Experiment** aluMATTER

## KORNVEKST

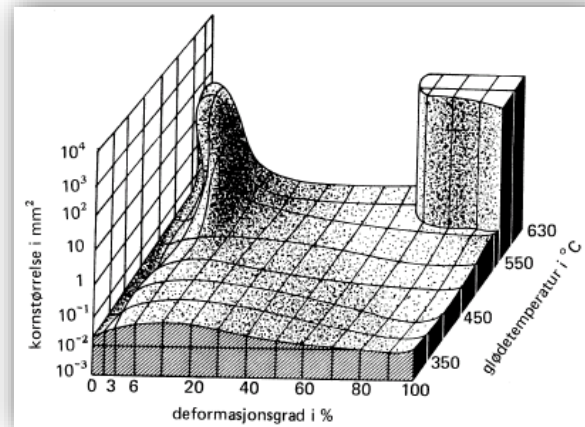
- Ved videre temperaturøkning vokser stor korn på bekostning av små korn. Vanligvis ender vi opp med  $\approx$  lik kornstørrelse.
- I prinsippet tenderer alle polykrystallinske materialer mot en grovere struktur
- Raskere prosess jo høyere temperatur.
- Vanligvis bør vi unngå kornvekst.
- **Fin struktur gir best kombinasjon styrke - duktilitet**



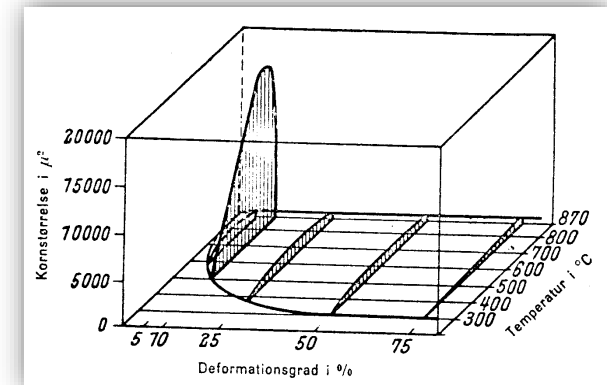
- Avspenning - RekrySTALLISASJON - KornvekST glir i over i hverandre i større eller mindre grad
- For praktisk bruk finnes diagrammer som viser sammenhengen mellom glødetemperatur, deformasjonsgrad og kornstørrelse ved en bestemt glødetid.



*Kornstørrelse ved rekrySTALLISASJON av kobber avhengig av deformasjonsgrad og glødetemperatur. Glødetid er 30minutter.*



*Kornstørrelse ved rekrySTALLISASJON av ren aluminium avhengig av deformasjonsgrad og glødetemperatur. Glødetid er 30minutter.*



*Kornstørrelse ved rekrySTALLISASJON av bløtt stål med ca. 0,1 % karbon avhengig av deformasjonsgrad og glødetemperatur. Glødetid er 30minutter. Kritisk deformasjonsgrad: ca. 10%*

- **Generelt: Grov struktur ved lav deformasjonsgrad og høy glødetemperatur**

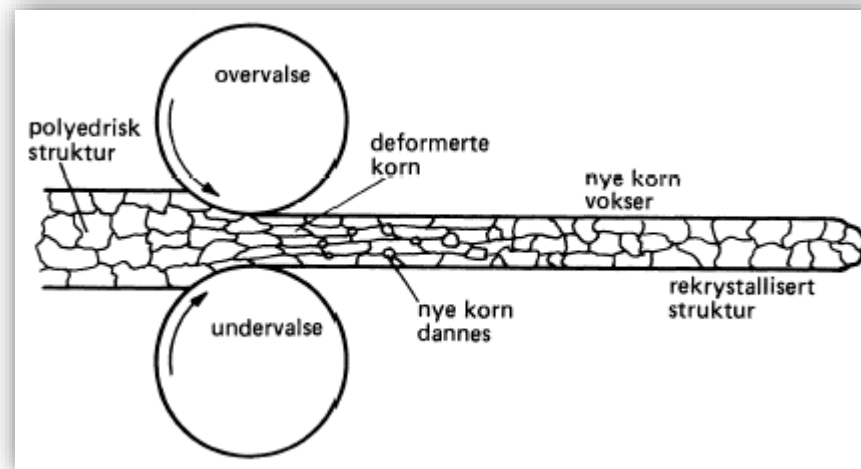
## REKRYSTALLISERENDE GLØDING OG VARMEBEARBEIDING

### Rekrystalliserende gløding

- Brukes til å oppheve virkningen av kalddeformering på materialets styrke og duktilitet, eller konduktiviteten
- Mest brukt er rekrystalliserende mellomgløding.

### Varmebearbeiding

- Plastisk forming godt over rekrystallasjonstemperaturen.
- Rekrystallasjon skjer samtidig med eller umiddelbart etter hvert formingstrinn  
Teoretisk: Ingen grense for deformasjonsgrad emnet kan tåle uten at det sprekker og deformasjonsmotstanden øker.



*Rekrystallasjon under varmvalsing.*