

## DEFORMASJON AV METALLISKE MATERIALER

Vi skiller mellom:

- Elastisk deformasjon
- Plastisk deformasjon

### ELASTISK DEFORMASJON

En ytre mekanisk kraft vil deformere atom gitteret.

Ved små spenninger beholder atomene sine naboer.

Deformasjonen fører til liten endring i atomavstanden.

Elastisk deformasjon er karakterisert ved at:

- Formendringen er proporsjonal med kraften
- Tilstanden er reversibel.

Når kraften opphører vil materialet gå tilbake til sin opprinnelige form.

I det elastiske området gjelder:

For rent **strekk**:

$$\text{Strekkspenning } \sigma = E\varepsilon$$

hvor:  $E$  = Elastisitetsmodulen

$$\varepsilon = \text{Tøyning i strekk}$$

For rent **skjær**:

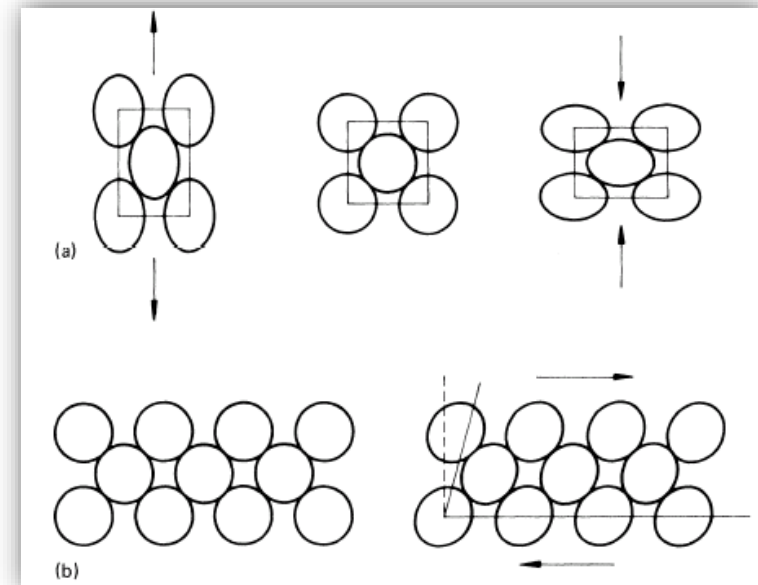
$$\text{Skjærspenning } \tau = G\gamma$$

hvor:  $G$  = Skjærmodulen

$$\gamma = \text{Tøyning i skjær}$$

$E$  og  $G$  er konstanter for vedkommende metall. De er knyttet til krefter og avstander i gitteret.

For de fleste metaller og legeringer er  $E \approx 2,6G$ .



*Elastisk deformasjon.*

*a) Strekk og trykk*

*b) Skjær*

**E-modulen for legeringer som danner blandkrystaller:**

- E varierer noenlunde lineært med sammensetningen.
- E ligger mellom komponentenes E-moduler.

**E-modulen for legeringer som danner intermetalliske forbindelser**

(en kjemiske forbindelser med et bestemt komponentforhold):

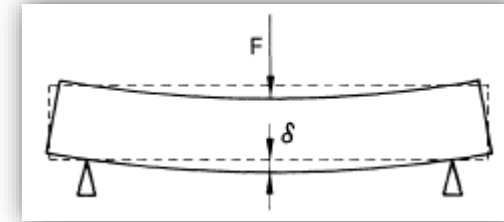
- Gitteret er som oftest helt forskjellig fra komponentenes.
- Fører til en E-modul som er forskjellig.

**E-modulen forandrer seg lite ved:**

- små variasjoner i sammensetningen av legeringen
- kalddeformering
- termisk behandling

**E-modulen forandrer seg mye ved mekaniske egenskaper som:**

- hardhet
- flytegrense
- strekkfasthet
- m.fl.



*Herdet stålbjelke belastet med kraften F.*

Herdet bjelke har ~ samme E-modul som uherdet bjelke.

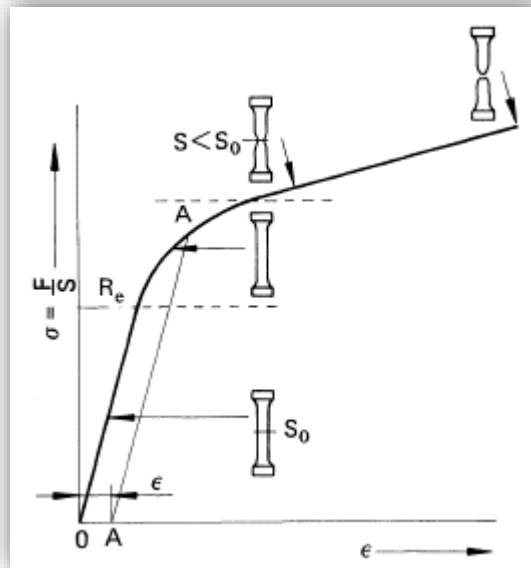
For herdet bjelke:

- vil tåle en mye større kraft, F, uten at bjelken får en permanent deformasjon.
- vil nedbøyningen,  $\delta$ , vil bli mye større. (Proporsjonal med E og F)

Hvis formforandringene er bestemmende for dimensjoneringen  $\rightarrow$  ingen hensikt å herde materialet eller bruke kostbart leget stål med stor strekkfasthet i stedet for billig karbonstål.

## PLASTISK DEFORMASJON

- deformasjonen er ikke lenger reversibel som ved elastisk deformasjon
- oppstår ved større deformasjoner



*Elastisk og plastisk tøyning  $\varepsilon$  som funksjon av sann spenning  $\sigma$  i en strekkprøvestav.*

*$R_e$  = materialets flytegrense (også benevnt  $\sigma_F$ )*

$$\text{Sann spenning } \sigma = \frac{F}{S}$$

hvor:  $F$  = Strekkraft

$S$  = Stavens tverrsnittareal

Spenninger lavere enn  $R_e \rightarrow$  tøyningen elastisk

Spenninger større enn  $R_e \rightarrow$  den metalliske sammenheng i materialet beholdes, men tøyningen er plastisk

Ved avlastig, eks. i punkt A, har det oppstått en endelig tøyning  $\varepsilon = OA$  i staven.

Ved høyere spenninger konsentrerer deformasjonene seg om et område av staven. Til slutt brytes den metalliske sammenheng og det oppstår brudd.

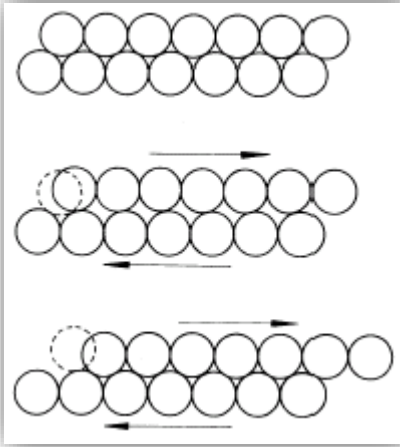
Ved konstruksjon

$\rightarrow$  det elastiske området mest interessant (under  $R_e$ )

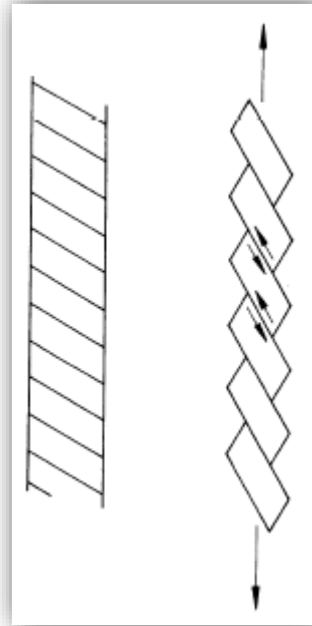
Ved formgivning, smiing, valsing, trekking, stansing, ....

$\rightarrow$  det plastiske området mest interessant (over  $R_e$ )

Plastisk deformasjon skjer som følge av at atomplan glir i forhold til hverandre under innvirkning av skjærspenninger.



*Plastisk deformasjon skyldes glidning mellom atomplan.*



*Plastisk forlengelse i en strekkstav av et enkelt krystall er den integrerte virkning av mange glidninger.*

I en belastet strekkstav, oppstår skjærspenninger,  $\tau$ , i alle plan som danner en vinkel med stavaksen forskjellig fra  $90^\circ$ .

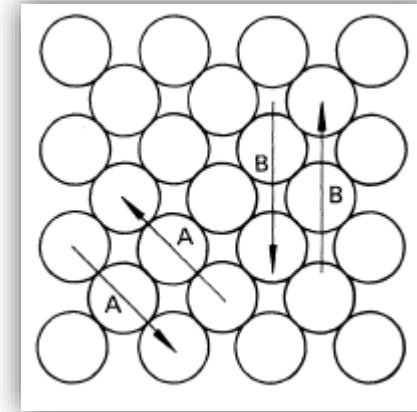
Den plastiske tøyningen,  $\epsilon$ , er virkningen av et stort antall slike glidninger.

Glidningen foregår lettest:

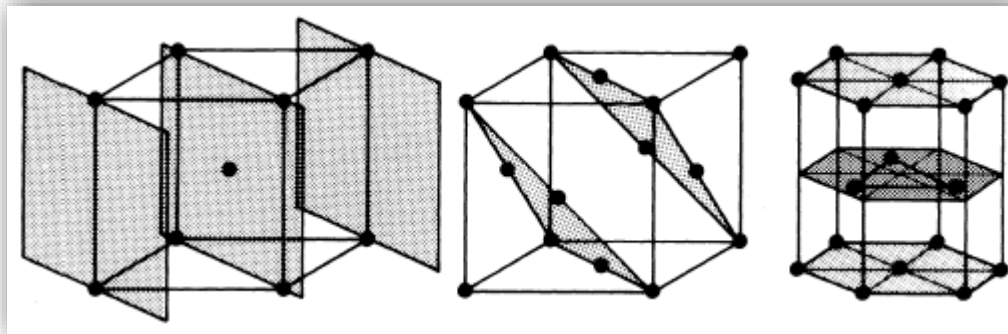
- i plan der atomtettheten er størst
- i retninger der avstanden mellom atomene er minst

Kubisk flatesentrert gitterstruktur:

- har mange krystallplan med tettest mulig kulepakning (atompakning). I praksis oppviser disse metallene høy duktilitet (seighet), eks. Al og Cu.



*Glidning skjer lettere mellom tettpakkede plan A og B.*



*Noen tettpakkede plan i kubisk romsentrert, kubisk flatesentrert og tettpakket heksagonal struktur.*

Kubisk romsentrert gitterstruktur:

- ingen plan med tettest mulig pakning, men mange plan med noe lavere tetthet

Heksagonal gitterstruktur:

- har bare ett plan med tettest mulig kulepakning der glidning kan foregå. Metaller med heksagonal struktur er derfor vanligvis sprø.

Deformasjon ved atomplanglidning er typisk for metallisk atombinding og stort sett begrenset til og krystallstruktur.

Glidning kan foregå uten at den metalliske sammenheng brytes og uten at strukturen forandres, bortsett fra i planenes aller nærmeste omgivelser.

Når et plan har glidd, låses 100-200 plan omkring glideplanet fast. (På grunn av at krystallstrukturen her er brakt i uorden.) Utenfor denne sonen kan glidning på nye plan finne sted.

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

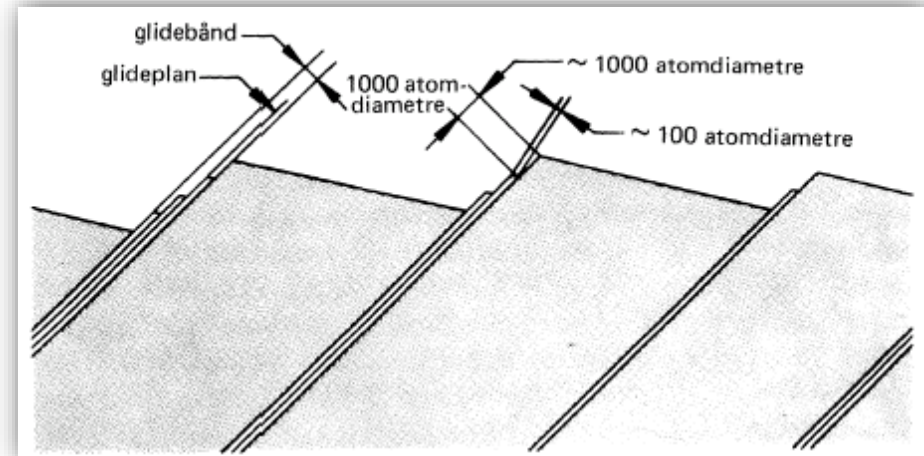
Korngrensene i metallene er uordnede områder og danner barrierer mot glidning.

Korn har forskjellig orientering, slik at glidning på et plan og i en bestemt retning ikke uten videre kan fortsette i nabokornet.

Deformasjonen i et korn må tilpasse seg deformasjonen i nabokornet, hvis ikke oppstår det sprekker mellom kornene.

Jo flere glideplan og glidelinjer som er disponible, jo lettere foregår en slik tilpassning.

Forutsetningen for glidning er at det er skjærspenninger tilstede. I et polykrystallinsk materiale skjer glidningen på et stort antall plan dominert av plan med maksimal skjærspenning.



*Når et krystall deformeres plastisk, konsentrerer glidningen seg i glidebånd. Innen hvert bånd kan det være omkring 10 aktive glideplan.*



*Glidelinjer på overflaten av polykrystallinsk aluminium, 100x.*

## Tvillingdannelse

Glidning mellom atomplan er den viktigste mekanisme ved plastisk formending.

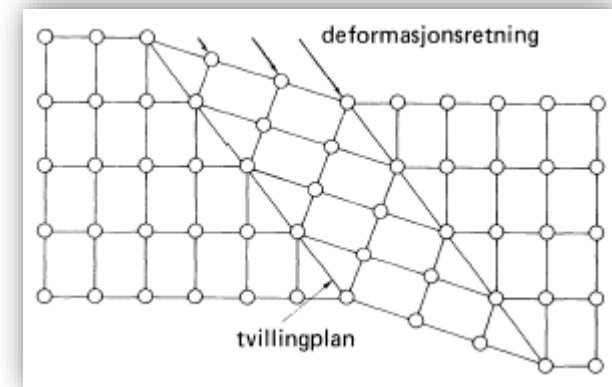
Under visse forhold kan det skje en formending ved tvillingdannelse.

Atomene flytter seg på en slik måte at gitteret i den deformerte del er et speilbilde av den ikke-deformerte del.

I de fleste materialer er den nødvendige skjærspenning for tvillingdannelse større enn den som kreves for glidning.

Glidning blir derfor den foretrukne mekanisme.

Tvillingdannelse skjer i stål ved lav temperatur, og ellers i sink og magnesium ved alle temperaturer. De siste materialene har heksagonal gitterstruktur med bare ett glideplan.



*Plastisk deformasjon ved tvillingdannelse.*

## Atomplanglidning under medvirkning av dislokasjoner

Linjefeil eller dislokasjoner er en feiltype av større betydning enn punktfeilene.

En kantdislokasjon  $\perp$  oppstår når det skytes inn et ekstra atomplan, halvplan, i strukturen.

I området omkring der halvplanet slutter, er atomavstandene forskjellige fra normalavstanden, og det oppstår en unormal spenningstilstand.

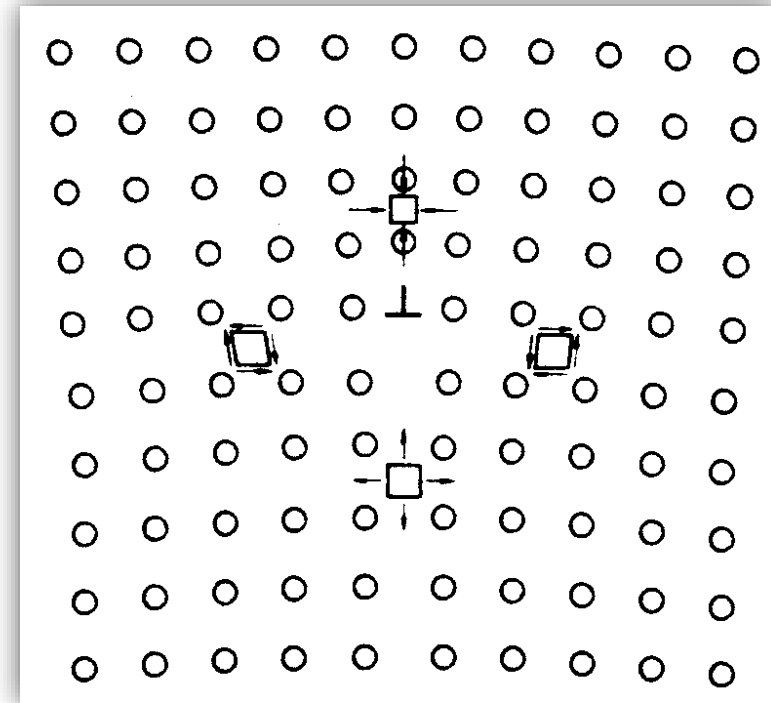
- trykk over planet
- trekk under planet

Området strekker seg mange atomavstander til alle sider fra den linje hvor halvplanet slutter.

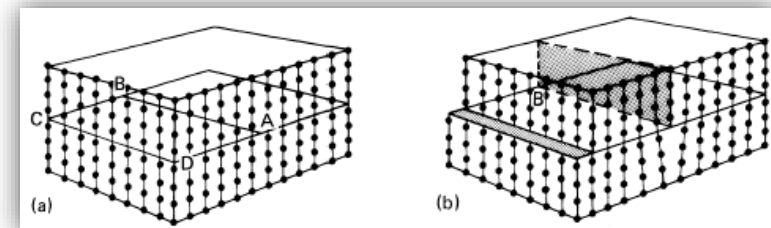
Betegnelsen kantdislokasjon refererer seg egentlig til hele området med unormal atomavstand.

Vi kan lage en kantdislokasjon på følgende måte:

- Anta et krystall med et enkelt kubisk gitter som vist i figur (a).
- Krystallet snittes langs planet ABCD.
- Atomene i krystallet over snittflaten forskyves en atomavstand i forhold til atomene under snittflaten. Forskyvningen skal være parallell med snittflaten og med en kant i enhetscellen. I denne stilling bringes så atomene over og under snittflaten sammen igjen.
- Vi har nå fått et krystall som vist i figur (b) med en fortrukken struktur i et område med sentrum i dislokasjonslinjen A-B.

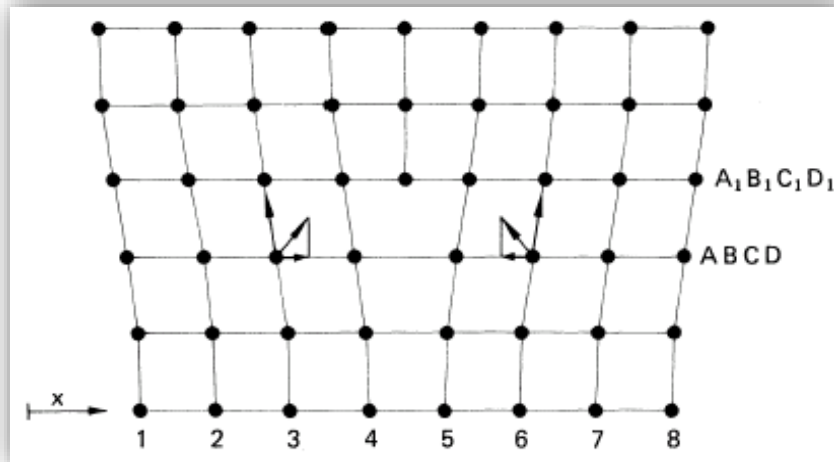


*Spenninger rundt en kantdislokasjon.*



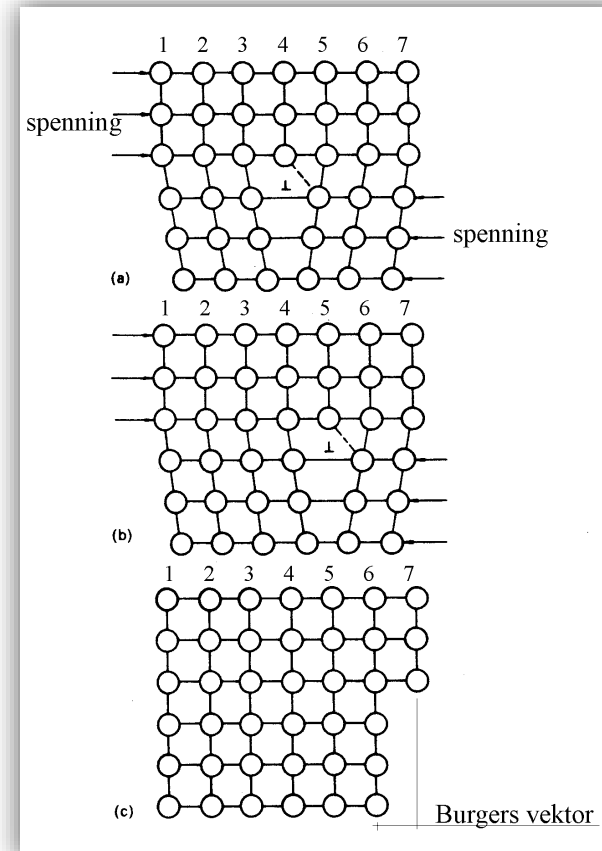
*Geometrien i en kantdislokasjon.*





Det er kraftsymmetri i  $x$ -retningen mellom tilsvarende atompar på begge sider av halvplanet. Derfor kan plan ABCD gli på plan  $A_1B_1C_1D_1$  med meget lav skjærspenning.

- Anta at ABCD er et glideplan i atomgitteret, med glideretning  $x$ .
- P.g.a. dislokasjonen er det blitt kraftsymmetri i  $x$ -retningen omkring halvplanet  
F.eks  $x$ -komponentene av krefter i rekke 3 er i plan ABCD like store og motsatt rettet komponentene i rekke 6.  
Plan ABCD kan følgelig gli på plan  $A_1B_1C_1D_1$  under virkningen av en veldig lav skjærspenning.



En dislokasjon som er riktig plassert i forhold til et glideplan, kan bevege seg i gitteret slik at det endelige resultat blir en glideavstand lik Burgers vektor. I et enkelt kubisk gitter er Burgers vektor lik atomavstanden.

Dislokasjon forskyver seg i gitteret.

Symmetrien i forrykkes noe når halvplanet skifter plass.

Dislokasjonslinjen kan oppfattes som en grense i glideplanet mellom glidd og ikke-glidd område, figur (b).

Når linjen har passert gjennom krystallet, er dislokasjonslinjen "brukt opp".

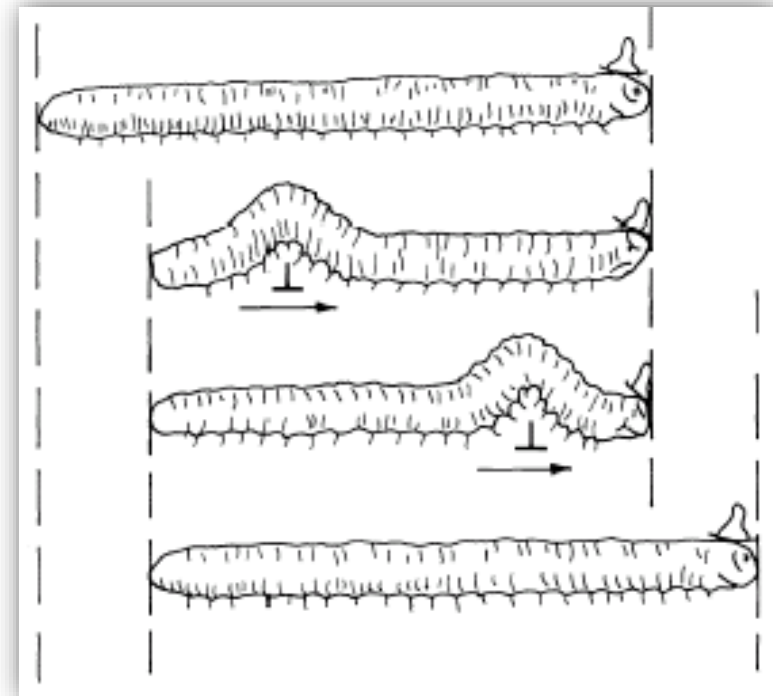
Resulterende enhetsforskyvning kalles Burgers vektor. I et enkelt kubisk gitter er den lik atomavstanden.

Ved atomplanglidning under medvirkning av dislokasjoner beveger atomene i glideplanet seg forbi hverandre etter tur. (I et perfekt gitter forutsettes det at alle atomene beveger seg under ett.)

Den midlere skjærspenning i glideplanet blir liten fordi bare få atombindinger brytes samtidig.

### En analogi til bevegelse ved hjelp av dislokasjoner er en larves bevegelse.

- Larven kryper ikke ved å trekke frem hele kroppen, fordi dette gir en stor friksjonskraft mot underlaget.
- Den trekker seg sammen og lager en hump på halen, og humpen passerer så langs kroppen.
- For hver passering fra hale til hode flytter larven seg et lite stykke frem.



*En larve beveger seg etter samme mønster som atomplan glir på hverandre under medvirkning av dislokasjoner.*

## Dislokasjonsformering

Vi antar at dislokasjoner kan oppstå under nedkjøling av et materiale fra støpetemperatur, ved at overskuddsvakanser diffunderer og danner vakansplan.

Et vakansplan er det samme som et manglende atomplan og danner to dislokasjoner.

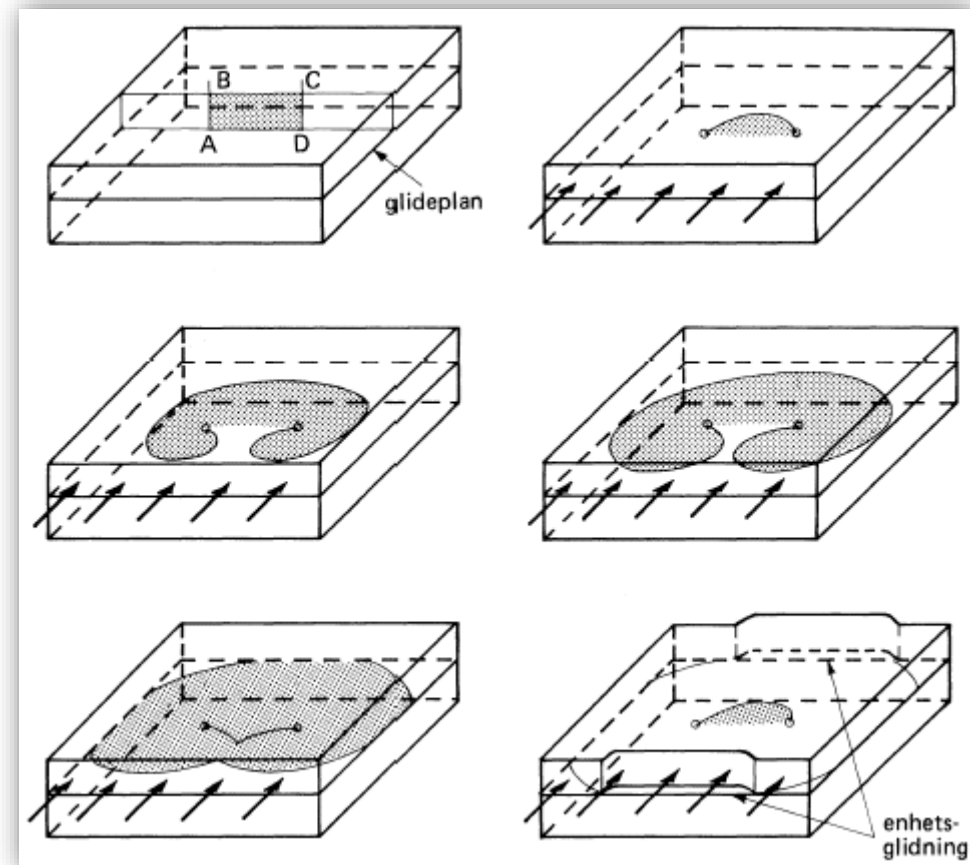
De fleste materialer lar seg deformere 50 – 100 %.

De ”inngrodde” dislokasjoner som dannes under nedkjøling etter støping eller gløding, er ikke mange nok til å forklare metallenes duktilitet.

Vi antar at nye dislokasjoner frembringes ved plastisk deformasjon.

En slik mulig mekanisme er foreslått av Frank – Read:

- ABCD er et ekstra atomplan i krystallet.  
BADC er en dislokasjonslinje. AD ligger i glideplanet.
- Vi belaster krystallet med ytre krefter slik at det opptrer skjærspenning i glideplanet.
- AD tvinges ut i en bue.  
Endepunktene A og D står fast siden de er en del av dislokasjonene AB og DC som ikke er på virket av noen skjærspenning.
- Ved økende spenning i glideplanet ekspanderer dislokasjonsbuen. Den dreier seg spiralformet omkring A og D.
- Spiralene er motsatte dislokasjoner og tilintetgjør hverandre når de faller sammen.
- Vi ender opp med en lukket dislokasjonslinje innenfor hvilken en enhetsglidning har funnet sted.  
Den opprinnelige dislokasjonslinje AD er klar til ny ekspansjon.



*Frank – Read mekanisme for å frembringe dislokasjoner.*