

2 KRYSTALL STRUKTUR

(Atomic structure)

Metallene kan vi behandle som aggregater (sammenhopning) av atomer.

Vi må kunne skjelne mellom gitterstruktur (atomstruktur) og krystallstruktur (kornstruktur).

2.1 Gitterstruktur

Karakteristisk for de fleste faste stoffer, herunder metaller og metall-legeringer, er at atomene er ordnet i et eller annet regelmessig tredimensjonalt mønster.

Stoffene har krystallinsk struktur.

Et aggregat an atomer ordnet etter et slikt mønster kalles et krystall. I metallurgien brukes ofte betegnelsen krystallitt eller korn.

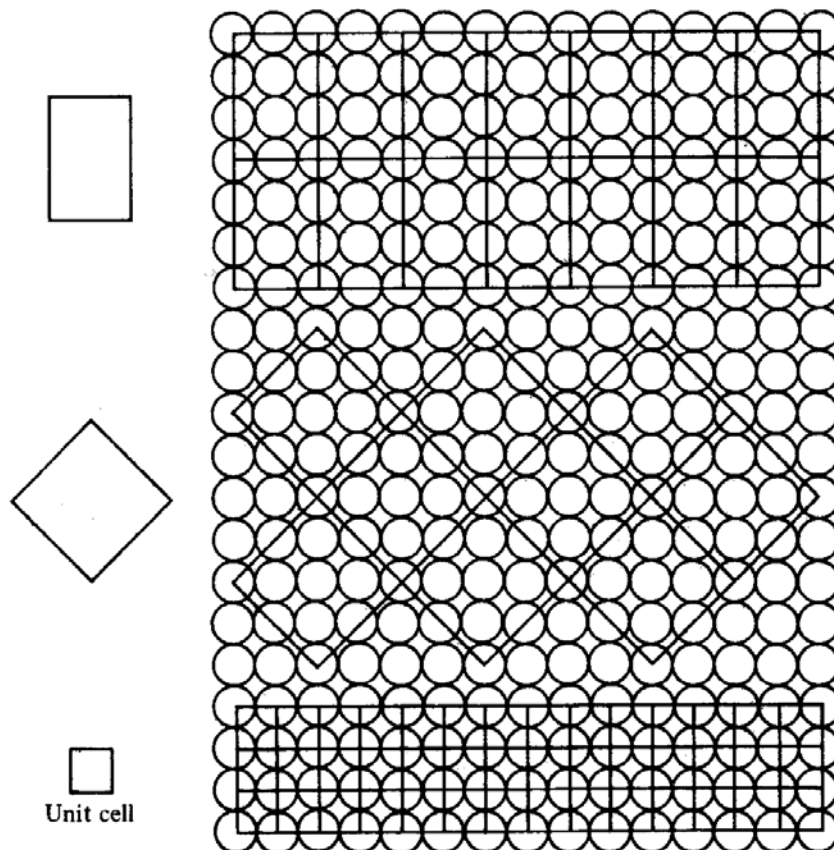
Et krystalls ytre form har vanligvis ingen forbindelse med atommønsteret (unntak er kvartskrystallen og mange andre mineraler).

Størrelsen på krystallene i tekniske metaller og legeringer er av størrelsesorden $1/17 - 1/100$ mm i diameter.

Gitterstrukturen er det mønster som ligger til grunn for atomenes ordning i krystallinske stoffer. Gitterstrukturen er karakterisert av regelmessighet og symmetri.

Figuren under viser forskjellige mulige enhetsceller som skjematisk beskriver gitterstrukturen.

Den minste enheten er enhetscellen (unit cell).

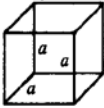
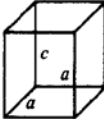
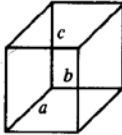

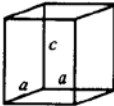
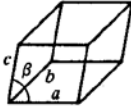
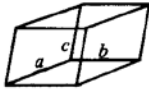


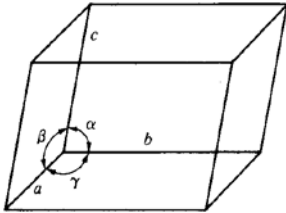
Figur 2.1

Forskjellige mulige enhetsceller som skjematisk beskriver gitterstrukturen.

Den minste enheten er enhetscellen.

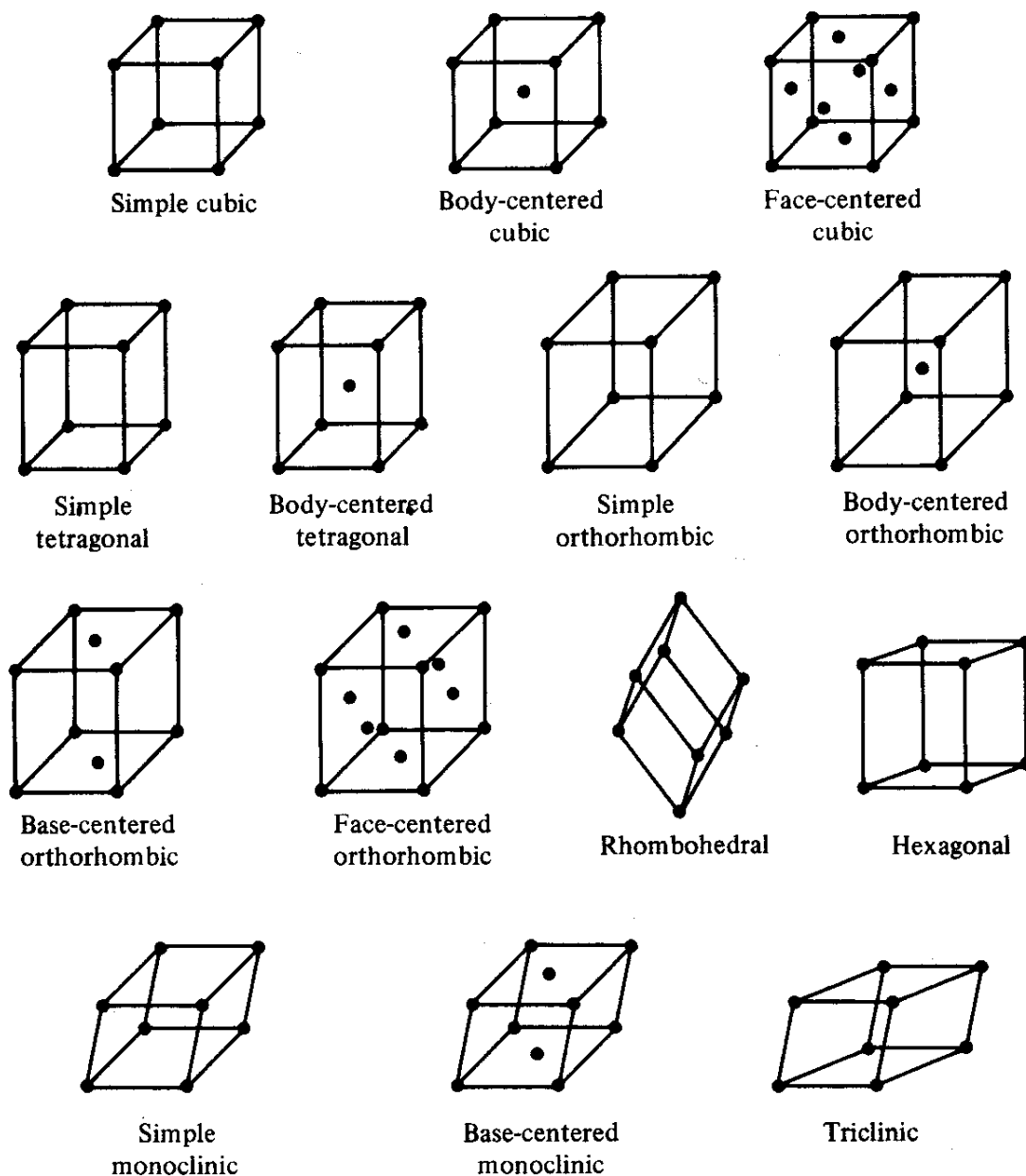
Alle mulige strukturer reduseres til syv unike enhetsceller som kan stables sammen for å fylle inn et tre-dimensjonalt mønster. Disse syv mulige krystallsystemene er kubisk, tetragonal, orthorombic, rhombohedral, sekskantete, monokline og triclinic.

System	Axial Lengths and Angles ^a	Unit Cell Geometry
Cubic	$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Tetragonal	$a = b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Orthorhombic	$a \neq b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Rhombohedral	$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	
Hexagonal	$a = b \neq c, \alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	
Monoclinic	$a \neq b \neq c, \alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	
Triclinic	$a \neq b \neq c, \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	



*Figur 2.2
De syv krystallsystemer.
Til høyre, geometrien til en generell enhetscelle.*

Hvis vi ser på mulige måter å stable atomer (sett på som harde kuler) på innen de gitte enhetscellene, ender vi opp med 14 totale muligheter. Disse 14 mulige enhetscellene (Bravais gitter) er vist i neste figur.



Figur 2.3
De 14 mulige enhetscellene.

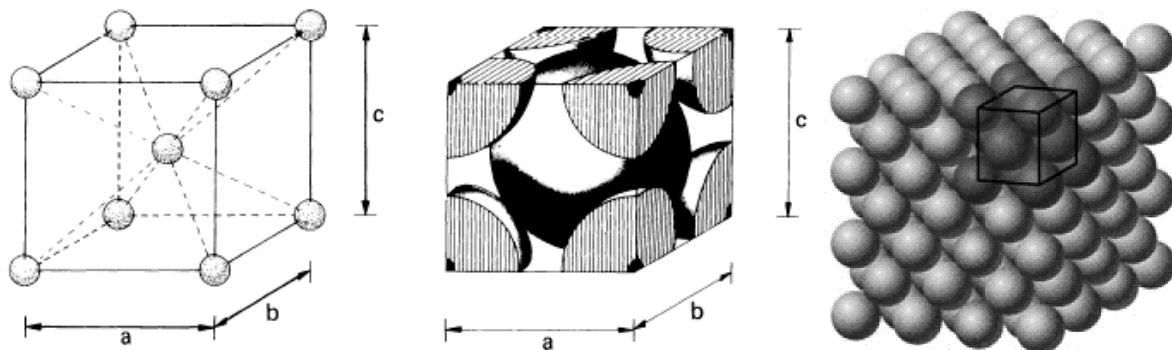
Gitterstrukturen kan som vi har sett beskrives ved hjelp av enhetscellen.

4 gitterstrukturer er av betydning:

- Kubisk romsentrert struktur
- Kubisk flatesentrert struktur
- tetragonal struktur
- Tettpakket heksagonal struktur

2.1.1 Kubisk romsentrert struktur

Sidekantene i enhetscellen er like. Hvis vi tenker oss atomene som kompakte kuler, vil 60% av volumet til enhetscellen være opptatt av atomer.



Figur 2.4

Enhetscellen i kubisk romsentrert struktur. Vektorene $a = b = c$. Representert som:

- reduserte kuler

- kompakte kuler hvor 68% av volumet er opptatt av atomer

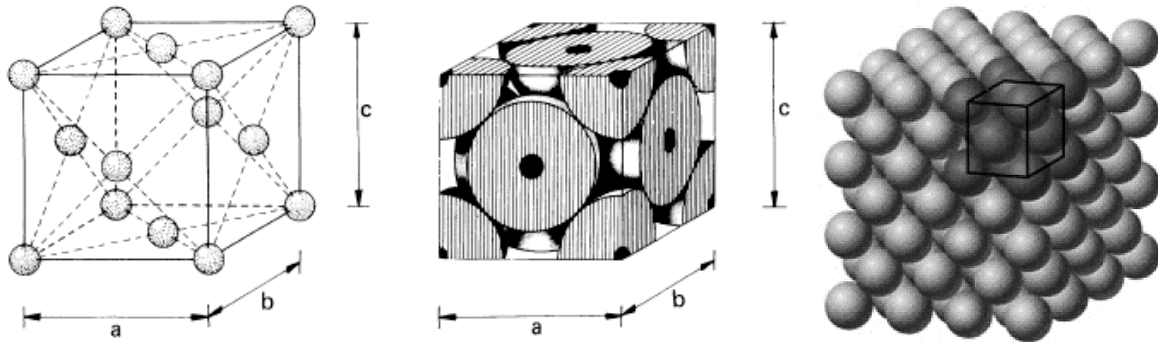
- ett aggregat av mange atomer

Eksempler på metaller med kubisk romsentrert struktur:

- Jern (Fe) under 910°C og over 1390°C
- Krom (Cr)
- Molybden (Mo)
- Tanal (Ta)
- Wolfram (W)

2.1.2 Kubisk flatesentrert struktur

Sidekantene i enhetscellen er like. Hvis vi tenker oss atomene som kompakte kuler, vil 74% av volumet til enhetscellen være opptatt av atomer.



Figur 2.5

Enhetscellen i kubisk flatesentrert struktur. Vektorene $a = b = c$. Representert som:

- reduserte kuler
- kompakte kuler hvor 74% av volumet er opptatt av atomer
- et aggregat av mange atomer.

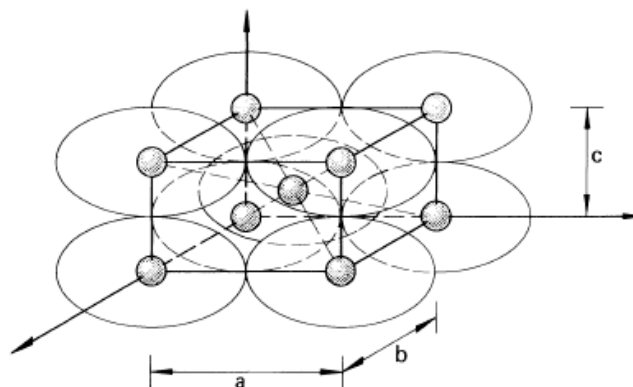
Dette er den vanligste struktur blant metallene.

Den representerer den tettest mulige pakning av atomene.

Eksempler på metaller med Kubisk flatesentrert struktur:

- Jern (Fe) mellom 910°C og 1390°C
- Aluminium (Al)
- Bly (Pb)
- Gull (Au)
- Kopper (Cu)
- Nikkel (Ni)

2.1.3 Tetragonal romsentrert struktur



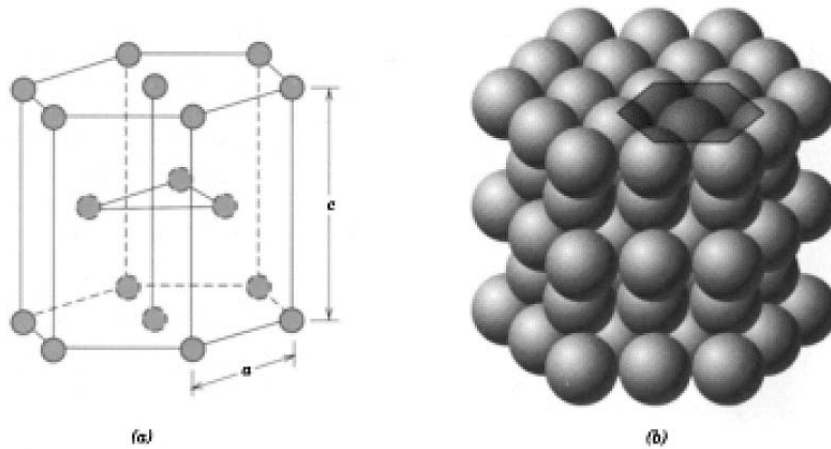
Figur 2.6

Enhetscellen i tetragonal romsentrert struktur. Vektorene $a = b \neq c$

Eksempler på metaller med Tetragonal romsentrert struktur:

- Tinn (Sn)
- Flere legeringer

2.1.4 Tettpakket heksagonal struktur



Figur 2.7
 Enhetscellen i heksagonal tettpakket struktur.
 (a) representert som reduserte kuler
 (b) et aggregat av mange atomer

Eksempler på metaller med Tettpakket heksagonal struktur:

- Beryllium (Be)
- Kadmium (Cd)
- Sink (Zn)
- Magnesium (Mg)
- Titan (Ti)
- Kobolt (Co)

2.1.5 Blandkrystaller

I rene metaller er gitteret bygd opp av like atomer.

Når legeringselementer tilsettes vil dette influere på gitterstrukturen.

Hvis legeringselementene er oppløst i hovedmetallet i fast tilstand, dannes såkalte blandkrystaller.

Hvis de ikke er oppløst i hovedmetallet i fast tilstand, dannes det 2 typer krystaller.

Blandkrystaller kan oppstå på 2 måter, som:

- Substitusjonsløsning
- Addisjonsløsning

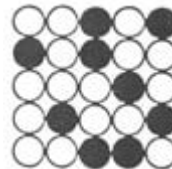
- **Substitusjonsløsning**

Begge atomkomponentene erstatter hverandre i gitteret og inntar likeverdige plasser.

Forutsetning for god løselighet er:

- liten forskjell i atomradius (maks. ca. 15%)
- komponentene må ha samme gitterstruktur

Figur 2.8
Substitusjonsløsning.



Kobber (Cu) og nikkel (Ni) er veldig like når det gjelder atomoppbygging, og er 100% oppløselige i hverandre.

- **Addisjonsløsning (mellomromsløsning)**

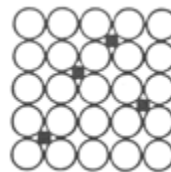
Atomene fra den ene komponenten er betydelig mindre enn atomene tilhørende den andre.

De små atomene inntar plasser i mellomrommene.

De ulike atomene kan ikke erstatte hverandre i gitteret.

De største atomene beholder sine plasser og sin gitterstruktur.

Figur 2.9
Addisjonsløsning.



Atomer som hydrogen (H), nitrogen (N), karbon (C), og bor (B), kan danne addisjonsløsning med jern (Fe).

2.1.6 Intermetallisk forbindelse

Gjennom tilsetning av legeringselementer kan det også dannes såkalte intermetallisk forbindelser. En intermetallisk forbindelse har en strukturform som består av to eller flere slags metallatomer. Sammen danner disse en karakteristisk gitterstruktur forskjellige fra de rene metallene.

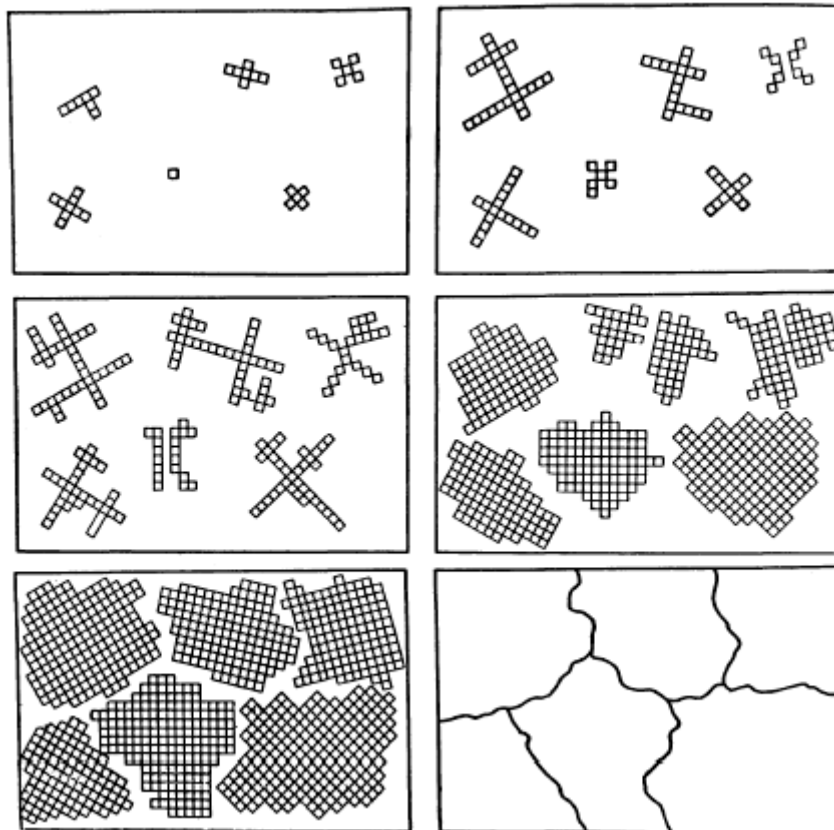
2.1.7 Polymorf eller allotropt metall

Noen få metaller har den egenskap at de kan danne flere forskjellige gitterformer, ettersom temperaturen i materialet forandres. En slik omvandling av gitterstrukturen kalles en polymorf transformasjon. Jern er et polymorft metall, der gitterstrukturen ved 910°C omvandles fra kubisk romsentrert til kubisk flatesentrert. Denne egenskap ved jernmaterialene er årsaken til at vi gjennom varmebehandling kan regulere stålenes egenskaper i så stor grad.

2.2 Krystallstruktur (kornstruktur)

Metallene og metall-legeringene er polykrystallinske. Det vil si at i fast tilstand består de av et stort antall krystaller med uregelmessig ytre form og en vilkårlig orientering i rommet.

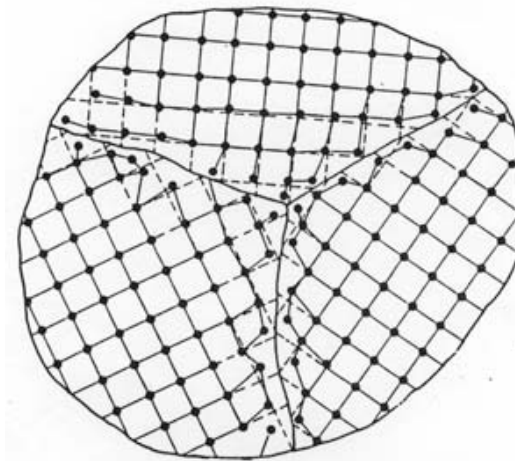
Når et metall størkner fra smeltet tilstand, innledes størkningen samtidig på mange steder der homogeniteten av forskjellige grunner er brutt i smelten. Disse stedene kalles kim. Etter hvert som krystallene vokser, vil de støte sammen på en tilfeldig måte og således hindre hverandres vekst. De enkelte krystaller kalles gjerne krystallitter eller korn, og områdene der de støter sammen kalles korngrenser.



Figur 2.10

Størkning i en smelte fra kim til ferdig kornstruktur, skjematisk

Avhengig av smeltens sammensetning og størkningsforholdene danner den innbyrdes gruppering av kornene mer eller mindre karakteristiske mønstre som kalles kornstrukturer. Kornstrukturen må ikke forveksles med gitterstrukturen, som er atommønsteret innenfor hvert korn.



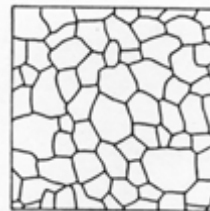
Figur 2.11
Korngrenseområdet forstørret.
Legg merke til den store uorden i gitterstrukturen.

De viktigste kornstrukturene er:

- Polyedrisk struktur
- Dendrittisk struktur
- Søyleformet struktur

Innenfor disse typene kan vi skjelne mellom fin og grov struktur.

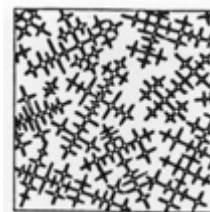
2.2.1 Polyedrisk struktur



Figur 2.12
Polyedrisk struktur.

Strukturen består av mangelkantede krystaller eller korn av forskjellig størrelse. Mekanismen er som nevnt foran.

2.2.2 Dendrittisk struktur



Figur 2.13
Dendrittisk struktur.

Dendrittisk struktur kan dannes som "slutt-struktur" i bestemte metaller og under bestemte forhold.

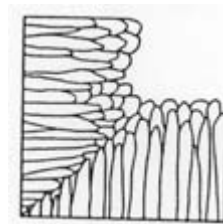
2.2.3 Søyleformet struktur

Søyleformet struktur fremkommer når en metallsmelte helles ned i en forholdsvis kald kokille (metallform).

Metallet nærmest kokilleveggen avkjøles raskt under størkningspunktet, og det danner seg tallrike kim ved veggen. Det dannes helt inne ved veggen polyedriske korn med forskjellig orienterte krystaller.

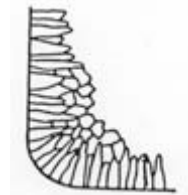
Dette ytterste tynne krystallag (støpehud) er som regel veldig hardt. Krystallene i sonen innenfor dette laget hindres i sin vekst bakover av kokillen, og til siden av de nydannede nabokrystaller. Den eneste fri vekstretning er derfor innover i smelten. På denne måten dannes orienterte krystaller, kalt søylekrystaller.

Disse lange krystallstengler vokser loddrett på avkjølingsflaten, og ved et rettvinklet hjørne vil krystallene vokse som vist i figuren under.

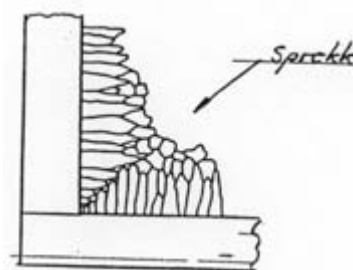


Figur 2.14
Søyleformet struktur.

Dette er veldig ugunstig, idet det har lett for å oppstå spenninger i overgangssonen mellom de horisontalt og vertikalt voksende krystaller. Av denne grunn bør konstruksjoner som skal støpes ha avrundede hjørner.



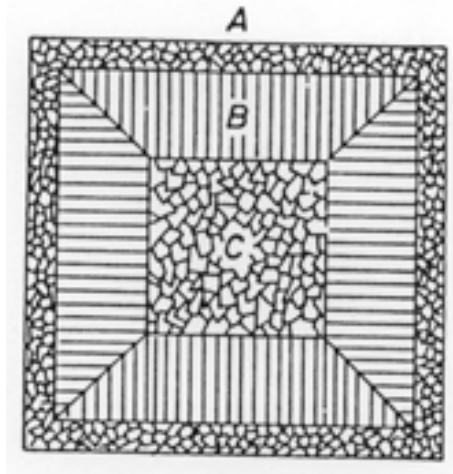
Figur 2.15
Søylekrystaller i støpeform med avrundet hjørne.



Figur 2.16
Søylekrystaller i kilsveis kan medvirke til varmsprekker.

Ved en lags buttskjøter i relativt store platetykkelser og trange fuger fører søylekrystalldannelser også ofte til stor svekkelse av sveisens midtparti med varmsprekker som følge.

Figuren under viser et skjematisk bilde av krystallisasjonsforløpet. Ved større dimensjoner får vi en kjernesone C med store polyedriske krystaller.



Figur 2.17

Skjematisk fremstilling av 3 primære krystallisasjonsformer i en støpeblokk:

A: Ytre finkornete polyedriske krystaller

B: Søylekrystaller

C: Indre grovkornete polyedriske krystaller

Generelt regnes at en fin struktur har bedre mekaniske egenskaper enn en grov, og at deleplanene i en søyleformet struktur er mekanisk svake.

Teknisk anvendte metaller består som oftest av to eller flere grunnmetaller. Disse kalles legeringer.

Kornstrukturen vil være avhengig av hvilke metaller legeringen består av, og vil som regel bestå av to eller flere forskjellige gitterstrukturer.

Vi sier at kornstrukturen består av flere forskjellige faser.

Kornstrukturen er også avhengig av:

- Størkningsforholdene (hurtig eller langsom størkning)
- Mekanisk behandling (bearbeiding)
- Varmebehandling

Ved å variere disse faktorer er det mulig i stor utstrekning å forandre strukturen og dermed materialets mekanisk-teknologiske egenskaper.