



Mads Jylov

Et lident skrift til forståelse og oplysning  
om jernets molekylære LOGIK og *skjønhed*

*Et lident skrift til forståelse og oplysning  
om jernets molekylære logik og skjønhed*

Copyright © 2007 Mads Jylov

1. udgave Pixie-format

Layout, foto og illustrationer: Thomas Robenhagen

Redaktion : Lars Levin

Fotos, side 16: Mads Jylov

**Indholdsfortegnelse**

Grundlæggende jernteori .....	5
Jern og kulstof .....	11
Normalisering, hærkning og anløbning .....	19

Et lident skrift til forståelse og oplysning  
om jernets molekulære LOGIK og *skjønhed*

af Mads Jylov



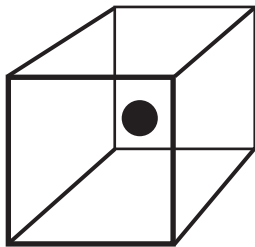
## Grundlæggende jernteori

Jern (Fe) er et af de almindeligst forekommende metaller i jordoverfladen. Jern udgør 5,06 vægtprocent af jordkappen og overgås i den henseende kun af aluminium. Jerns atomnummer er 26 og har en atomvægt på 55,85.

Den lette tilgængelighed til malme og den forholdsvis simple reduktionsproces har haft stor betydning for jernhåndteringens udbredelse. Jern forekommer aldrig rent, men altid i bindinger med andre stoffer og forekommer således i f.eks. hematit, siderit, pyrit, kaoloninit, og kryolit. Man har haft kendskab til jerns potentiale i mindst 3.500 år, men det først inden for de sidste 100 år, at man har haft teknologien til at undersøge og forklare jerns egenskaber.

Jern reagerer helt anderledes end f.eks. kobber, guld, bly og tin. Dette hænger sammen med, at jern i modsætning til de førnævnte metaller, er et allotropt grundstof. Dette betyder at jern optræder i flere forskellige krystalformer i fast form. Indtil 911 °C optræder jern kubisk rumcentreret og

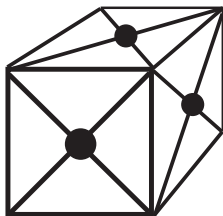
kaldes ferrit. Dvs. at ferritkrystallet består af otte jernatomer, placeret i hjørnerne af en kube og et enkelt jernatom i centeret af denne (fig. 1). Dette kaldes også for en enhedscelle. For jerns vedkommende repræsenterer denne enhedscelle det mindste antal atomer der skal til for at danne et symmetrisk krystal.



*Fig. 1. Kubisk rumcentreret krystal*

Fra 911 °C til 1392 °C optræder jern som kubisk fladecentreret, også kaldet austinit. Austinitkrystallet består her af otte jernatomer, der er placeret i hjørnerne af en kube og seks jernatomer, der enkeltvis er placeret i centeret af kubens flader (fig. 2)

Fra 1392 °C og indtil smeltepunktet ved 1536 °C optræder jernkrystallerne igen som kubisk rumcentreret ferrit. Disse tre tilstandsfaser kaldes også  $\alpha$ ,  $\gamma$  og  $\delta$  eller der tales om  $\alpha$ -,  $\gamma$ -, og  $\delta$ -jern (fig. 3, side 8).



*Fig. 2. Kubisk fladecentreret krystal*

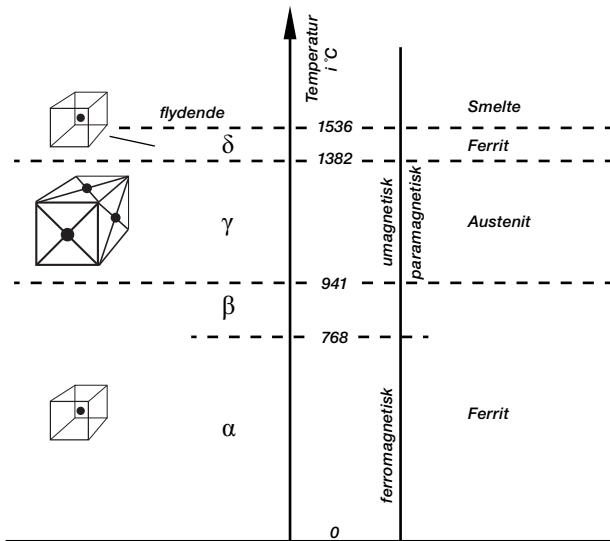


Fig. 3. Skema over jerns gitterstruktur og tilstandsbetegnelser som funktion af temperaturen



At der optræder en ekstra fase –  $\beta$  på skemaet skyldes, at man i mange år fejlagtigt troede, at jern havde fire tilstandsformer i fast form. Det har siden vist sig at det ikke drejer sig om en ændring i krystalstrukturen, men om en magnetisk omdannelse. Ved 768 °C bliver ferritten paramagnetisk og  $\beta$ -området er således kun en umagnetisk tilstand af  $\alpha$ -jern. At man ikke har ændret på navngivningen skyldes at begreberne var så indarbejdede.

De tre tilstandsformer,  $\alpha$ ,  $\gamma$  og  $\delta$ , reagerer meget forskelligt over for mekanisk påvirkning, men også de kemiske egenskaber ændres, især i forhold til jernets legeringsevne.



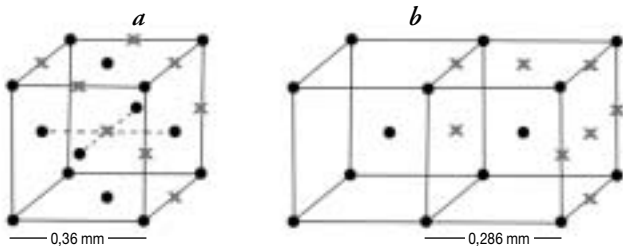
## Jern og kulstof

Jerns vigtigste legeringsstof er kulstof. Selv små mængder af kulstof i jern giver store ændringer af egenskaberne. Jern med et kulstofindhold mellem 0,4-2,1 %, er hærdbart og kaldes stål. Jern med et højere kulstofindhold end 2,1 betegnes støbejern og vil ikke blive berørt i følgende kapitel.

Kulstof kan enten være i fast opløsning med eller kemisk bundet til jernet. I den faste opløsning sætter kulstofatomerne sig i ferrit- eller austinitgitteret (fig. 4, side 12).

Størrelsesforskellen mellem austenit- og ferritkrystallet gør, at de enkelte jernatomer skal forskydes mere for, at give plads til kulstofatomerne. Dette forhold gør, at den maksimale opløselige mængde af kulstof er langt større i austenit end i ferrit (fig. 5, side 12).

I takt med at kulstofindholdet øges i jernet, bliver austenitområdet større (fig. 6, side 13).



*Fig. 4. Kulstofatomers (x) mulige placering i henholdsvis austenit-gitter (a) og ferrit-gitter (b). Der er markeret 8 positioner i begge*

### Maksimal opløselighed i masse %

Temperatur °C	i ferrit	i austenit
400	0,0006	-
727	0,021	0,77
1147	-	2,1

*Fig. 5. Maksimalt kulstofindhold i ferrit og austenit*

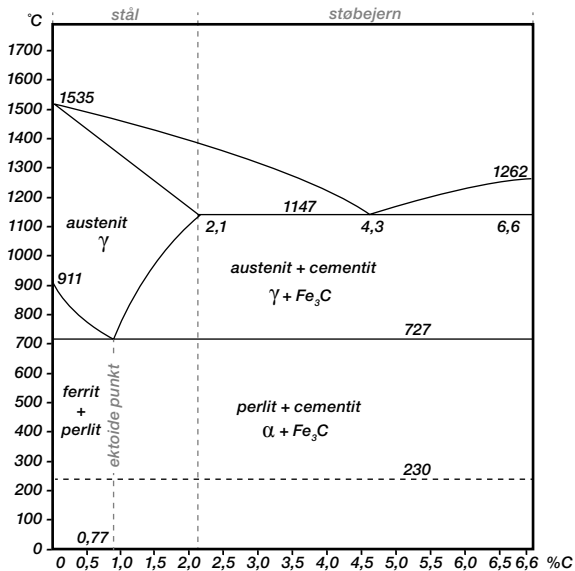
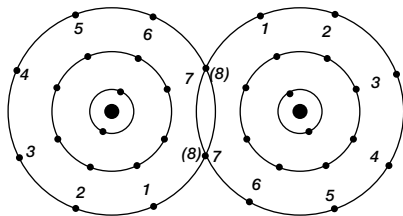


Fig. 6. Jern-cementit-tilstandsdiagram

Af diagrammet ses at austenit-området udvider sig både opad og nedad. Austenit kan således eksistere ved lavest mulige temperatur på  $727\text{ }^{\circ}\text{C}$  med et kulstofindhold på ca. 0,77.

Dette kaldes også det eutektoide punkt.

Når temperaturen falder til det punkt, hvor austeniten ikke længere kan eksistere, udskilles kulstoffet og en ny struktur opstår. I stedet for at kulstoffet er fast opløst i jernet, bindes det nu til dette med en kovalent kemisk forbindelse (fig. 7).



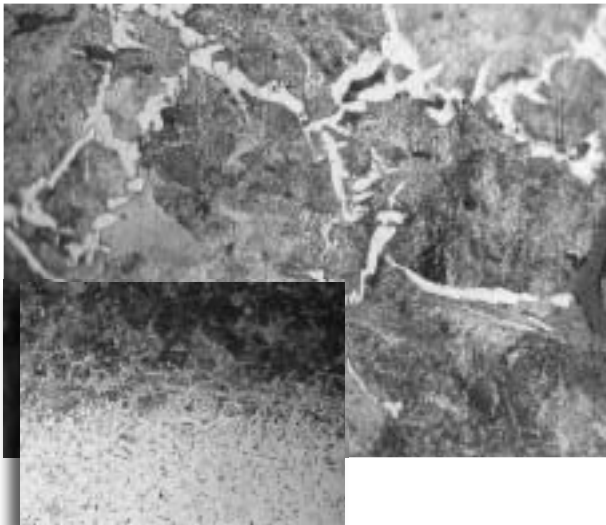
*Fig. 7. Skematisk fremstilling af en kovalent kemisk forbindelse*

Denne jern-kulstofforbindelse kaldes cementit  $\text{Fe}_3\text{C}$  og opstår ved at 3 jernatomer bindes sammen med 1 kulstofatom. Bindningen sker ved elektronpar i atomernes yderste bane.

Cementits krystalstruktur er kompliceret og afhænger af kulstofindholdet. I det smedbare stål, indtil 0,8 vægt % kulstof, vil cementtitten optræde i tynde lag adskilt af ferrit. Denne struktur kaldes for perlit. Perlit har navn efter sin perlemorsglans og har en meget karakteristisk og genkendelig struktur (fig. 8, side 16).

Perlit har et kulstofindhold på 0,8 %. Når jernet som ovenstående indeholder 0,5 % C, vil jernet fremstå som en tofaset struktur bestående af både perlit og ferrit. Ved et kulstofindhold på 0,8 vil strukturen fremstå som ren perlit.

Hvis kulstofindholdet er over 0,8 % vil perlitten derudover indeholde cementit, der vil fremstå som lyse nåle i perlitstrukturen. Dannelse af perlit sker ved langsom afkøling. Hvis man derimod bratkøler sit stål fra austinitfasen, vil en række andre strukturer opstå afhængigt af kulstofindhold og nedkølingshastighed.



*Fig. 8. Stål ca. 0,5 % C. Strukturen består af ferrit (hvid) og perlit. Ætset med Nital. 500 x forstørret*



Hvis afkøler kulstoffrit jern i vand, er det muligt at bevare austiniten ned til stuetemperatur. Hvis jernet derimod har et kulstofindhold mellem 0,4-0,8 % vil en bratkøling fra austinitfasen resultere i dannelsen af en ny struktur, martensit. Martensitten ses som nålelignende strukturer i en grundmasse af austenit.

Matensitten er meget hård og sprød. Derfor opvarmes hærkede genstande som oftest til omkring 250 °C, dette kaldes anløbning. Herved omdannes en del af matensitten igen til perlit og stålet vil derved miste en del af hårdheden og sprødheden.



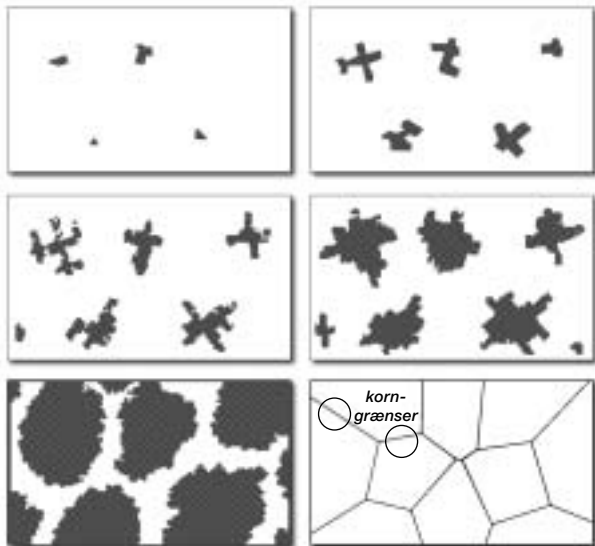
## Normalisering, hærkning og anløbning

I det foregående kapitel har vi set på jernets mikrostrukturer.

Mikrostrukturer er de krystaldannelser der genereres af enhedscellerne. Når jern ændrer struktur fra en krystaltype til en anden, starter det med et antal enhedsceller. Disse enhedsceller udvikler gitterstrukturer og vokser i alle retninger (fig. 9, side 20).

På et tidspunkt støder disse gitter sammen og der hvor de mødes dannes korngrænser. De enkelte gitterdannelser kaldes ofte for korn. Hvis afkølingen fra en fase til en anden sker langsomt, vil gitterne have god tid til at dannes og der vil opbygges store korn. Ved bratkøling sker omdannelsen hurtigt og der vil dannes små korn. Hvis ren ferrit afkøles langsomt vil der således dannes korn på ca. 0,1 mm, ved hurtig afkøling bliver kornene derimod ikke større end 0,01 mm.

Kornstørrelsen har stor betydning for jern og ståls sprødhed, hovedreglen er, at jo langsommere man afkøler sit emne



*Fig. 9. Skematisk fremstilling af krystalvæksten*

des større korn dannes og den største sejhed opnås. Denne proces kaldes normalisering og foretages optimalt ved, at man opvarmer sit emne til austenitfasen hvorefter man slukker essen og lader sit jern blive liggende, til essen er afkølet til stuetemperatur. Dette tager som oftest en fem timer, der med fordel kan fordrives med øldrikning. En mindre fundamentalistisk normalisering kan foretages ved at opvarme emnet til austenitfasen og langsomt rykke jernet ud af ilden og lade det ligge i kanten af essen indtil det er afkølet til et par hundrede grader. Herefter flyttes jernet helt væk fra essen og afkøler til stuetemperatur. Hele denne proces foretages (hvis femøren endnu ikke er faldet!) for at skabe så store og homogene korn i emnet som muligt. En anden effekt ved normaliseringen er ligeledes at skabe orden i gitrene efter den mekaniske påvirkning fra smedningen. Dette forhold hænger sammen med ret komplicerede dislokationsteorier jeg ikke helt har forstået og derfor ser mig nødsaget til at forbigå i stilhed.

**Hærdningens og anløbningens** molekylære teori er belyst tidligere men beskrives her i mere praktisk forstand.

Der er generelt to måder, at hærde og anløbe på, hærkning med anløbning på tilbagevarmen (også kaldet mejselhærkning) og hærkning af det fulde emne for derefter at anløbe.

Mejselhærkning egner sig til stemmejern, økser og mejsler. Emnet opvarmes til austenitfasen og man forsøger så vidt muligt kun at opvarme den del der skal danne skærende æg. Herefter bratkøles æggen til den har mistet farven, tages op og æggen får et hurtigt strøg med en fil. Den tilovers blivende varme i emnet opvarmer nu æggen til den ønskede anløbningstemperatur, der iagttages ved farveskift.

En anden måde at hærde på er hvor man opvarmer hele emnet til hærdetemperatur og derefter bratkøler. Herefter opvarmes emnet enten over essen, i en ovn eller i en gasflamme, indtil den ønskede anløbningsfarve opstår i æggen. Denne hærdeform anvendes til knive og andet skærende værktøj, der har varierende æg- og emnetykkelse.

Anløbnings temperaturerne går fra 200-290 °C og giver sig til kende med farvenuancer i æggen spændende fra gul til blåviolet.

Valget af hærde- og anløbningstemperatur afhænger af stålets kulstofindhold og om man ønsker en hård og sprød æg eller en mindre hård men sej æg. Som hovedregel falder hærdetemperaturen i takt med det stigende kulstofindhold. Dette forhold skyldes, som tidligere beskrevet, at temperaturen hvor stålet er i austenitfasen falder i takt med det stigende kulstofindhold.

Kulstofindholdet har også indvirkning på anløbningstemperaturen, der som hovedregel skal være højere, jo mere kulstof emnet indeholder.

Nok om molekylær jernforståelse og fis så ud og tænd essen op og lad vær med at ose.

**Husk på, at forskellen på en smed og en smed,  
er hærkning og anløbning.**

- Fine -



*Forfatteren i et sælsomt øjeblik*