

10 JERN - KARBON LEGERINGER, LIKEVEKTSTRUKTURER (Ferrous Alloys)

10.1 Generelt

Ikke noe annet legeringssystem kan by på så mange nyttige reaksjoner og mikrostrukturer som det der jern Fe og karbon C er hovedkomponenter. Årsaken til dette er den uvanlige flersidighet er bestemte egenskaper hos de to atomtypene og at disse egenskapene lar seg kombinere på en fin måte:

1. Fe opptrer med to gitterstrukturer i fast tilstand, kubisk romsentrert α struktur og kubisk flatesentrert γ struktur.
2. C kan gå noe inn i mellomromsposisjoner i γ strukturen, men nesten ikke i α strukturen.
3. Utfelling av C fasen i α strukturen kan undertrykkes helt eller delvis.
Løseligheten av C i α fasen er vesentlig mindre enn i γ fasen. Diffusjonshastigheten av C er gunstig i begge faser.

På grunn av disse egenskapene og at Fe og C finnes i jordoverflaten i store mengder, har ført til at disse legeringene er de mest utbredte av alle metalliske materialer.

Stål er Fe-C legeringer. Stålproduksjonen spenner over mange kvaliteter og forskjellige egenskaper. Bløte, duktile, stål benyttes bl.a. for trekkstansing av deler for bilkarosserier, kjøleskap panel og lignende, mens ekstremt harde stål kan benyttes til å skjære andre stål og til slitesterke stål som tannhjul og gravemaskiner. Noen stål har stor motstand mot korrosjon og noen har egenskaper som gjør dem egnet som materiale i transformator kjerner. Andre ståltyper kan lages umagnetiske og med minimal termisk utvidelse for bruk i presisjons-instrumenter.

Vi kan ikke oppnå optimalisering av alle egenskaper i rene Fe-C legeringer. Fe og C er viktige bestanddeler i alle stål. I de tilfeller der mengden av andre elementer er liten og strukturen i det store og hele er dominert av Fe og C, prater vi om ulegert stål og ulegert støpejern. Disse legeringene kan behandles under ett som et binært fasediagram system. Diagrammet justeres for mindre forandringer i struktur og reaksjonshastigheter som forårsakes av elementer som mangan Mn, silisium Si, svovel S, og fosfor P som alltid er til stede i små mengder.

Det lages også store mengder stål av skrap. Vi må da regne med at det finnes elementer som kobber Cu, nikkel Ni, krom Cr, og tinn Sn i mengder opp til 0,1%.

Når elementer ut over Fe og C finnes i større mengder, påvirker de strukturen i merkbar grad. Vi prater da om legert stål og legert støpejern. Disse lar seg ikke behandle som enkle systemer eller systemgrupper på grunn av de mange uavhengige variable i sammensetningen.

10.2 Binært Fe-C fasediagram

I legeringer med Fe opptrer C på to måter:

1. Som grafitt i det stabile system.
2. Som en kjemisk forbindelse jernkarbid Fe_3C idet metastabile system.

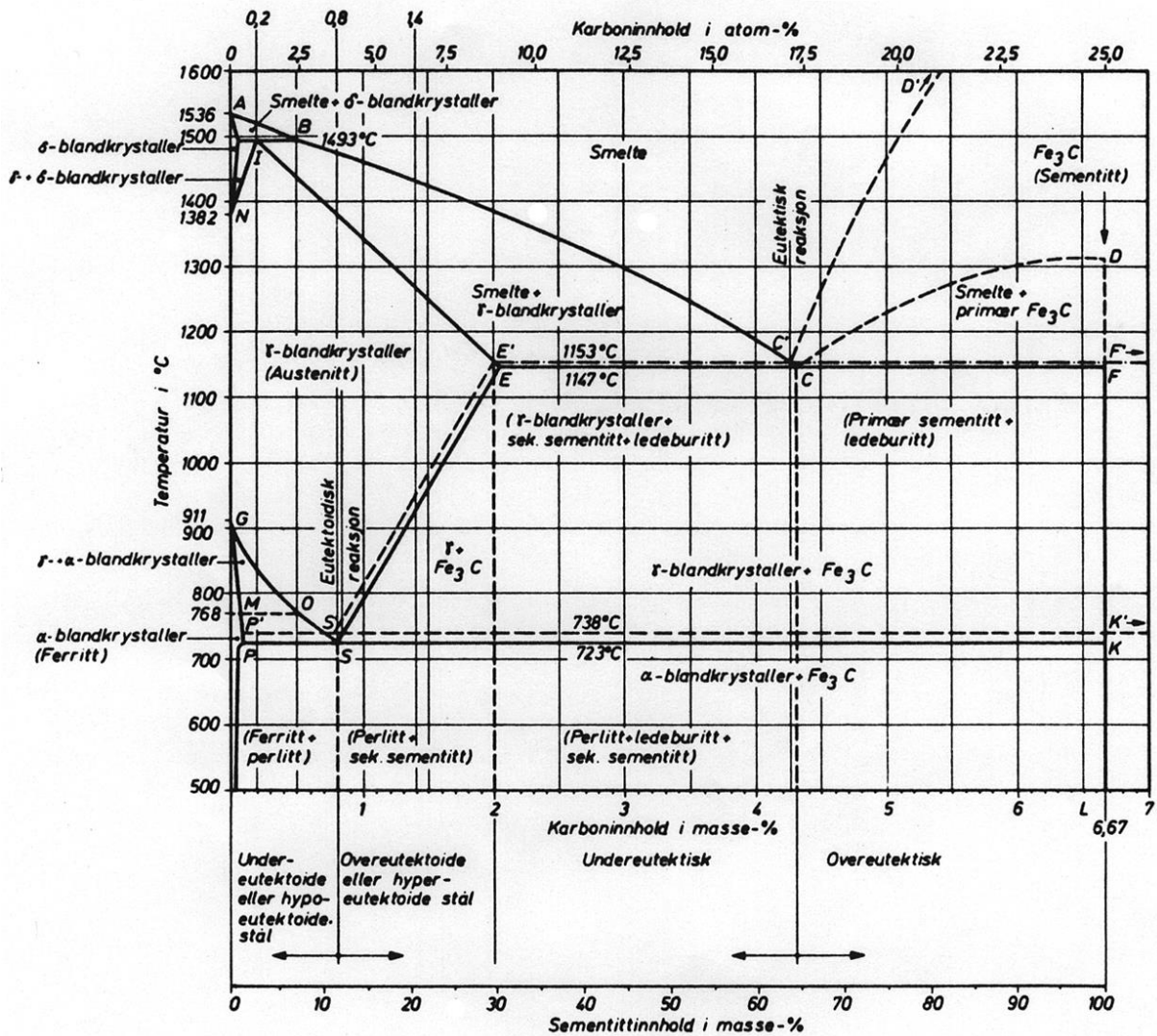
Når Fe-C smelte størkner regner vi med at C først utskilles som jernkarbid Fe_3C og senere vil jernkarbid under bestemte betingelser skille ut C som grafitt. Disse betingelsene er knyttet til avkjølingsforholdene og til innholdet av elementene mangan Mn og silisium Si.

I den viktigste legeringsgruppe - stålne - er C-innholdet begrenset til oppover til 2%, og reaksjonen karbid til grafitt går her så langsomt at den ikke har noen praktisk betydning.

Ved høyere C-innhold er begge faser mulige og praktisk sett er begge stabile.

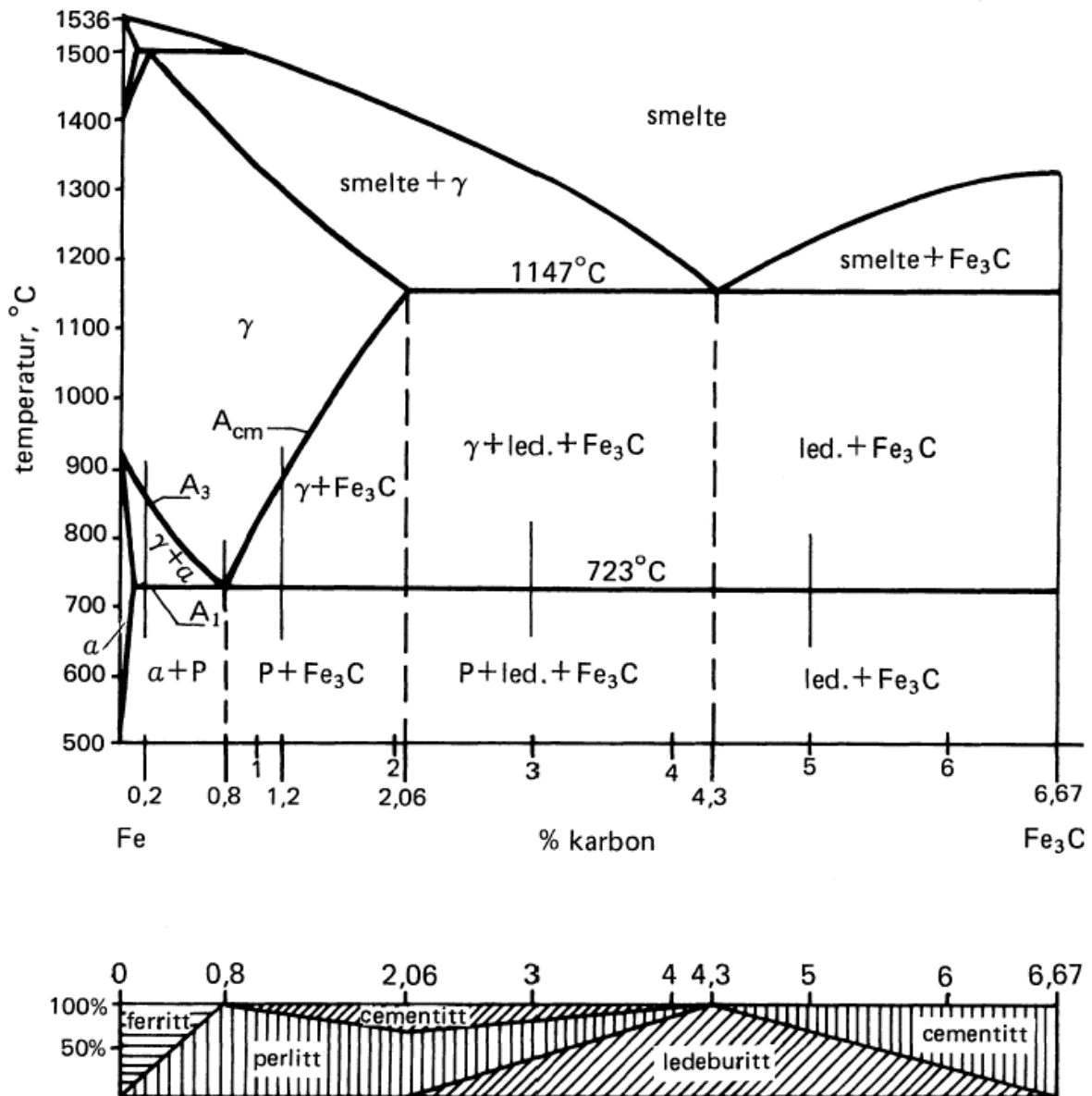
Her skal vi begrense oss til å behandle det metastabile system med C utfelt som jernkarbid Fe_3C .

Figuren under viser fasediagrammet for det metastabile- og det stabile system.



Figur 10.1
Fasediagrammet for systemet Fe-C.

Fasediagrammet Fe-Fe₃C, det metastabile system, er vist i figuren under.



Figur 10.2

Fasediagrammet for Fe-Fe₃C, det metastabile system

Under fasediagrammet er vist massefordeling av de forskjellige strukturer.

De to komponentene i diagrammet er Fe og Fe₃C, men diagrammet er gradert i %C.

Fasediagrammet for Fe-C er relativt komplisert. Ved å betrakte diagrammet nærmere ser vi at det kan oppfattes som en kombinasjon av fasediagrammenes grunntyper. Et karakteristisk trekk er dannelse av et eutektikum ved C = 4,3%. Jernmaterialene er allotrope (eller polymorfe) ved at de endrer gitterstruktur ved forskjellige temperaturer i fast tilstand. De gjennomgår en strukturomvandling i fast tilstand som fører til at det ved C = ca. 0,8% opptrer en reaksjon som ligner den eutektiske. Forskjellen er at reaksjonen her skjer fra fast fase i motsetning til fra smeltefasen som ved en virkelig eutektisk reaksjon. Vi kaller en slik reaksjon for en eutektoidisk reaksjon.

Faser og strukturelementer i Fe-C fasediagrammet:

- **δ -jern**. Kubisk romsentrert struktur.
- **γ -jern**, austenitt. Kubisk flatesentrert struktur, med C i addisjonsløsning. Kan løse opp til 2,1% C og er ikke bestandig under 723°C.
- **α -jern**, ferritt. Kubisk romsentrert struktur som kan løse opp til 0,035% C ved 723°C. Utfelles av austenitt og er ikke bestandig over 910°C. Hardhet ved romtemperatur er ca. 100HV.
- **Cementitt, jernkarbid Fe_3C** . Kjemisk forbindelse. Utfelles av smelten ved C-konsentrasjoner over 4,3%, og ellers av austenitt når C-innholdet er større enn 0,8%. Hardhet ved romtemperatur er ca. 1100HV.
- **Perlitt, P, eutektoid**. Består av to faser bygd opp som lameller av cementitt og ferritt med 12% cementitt. Utfelles av austenitt ved 723°C og er ikke bestandig over denne temperaturen. Hardheten kan variere mellom 200 og 300HV.
- **Ledeburitt, led, eutektikum**. Utfelles av smelten ved 1147°C og består av austenitt og cementitt med 48% cementitt. Ved nedkjøling utfelles cementitt av austenitten, og under 723°C omdannes den resterende austenitt til perlitt. Ledeburitt er hard og sprø på grunn av sitt store innhold av cementitt. Endelig struktur, bestående av primær cementitt, sekundær cementitt og perlitt, benevnes fortsatt ledeburitt.

Diagrammet forstås ellers best ved å følge fase - strukturomvandlinger ved nedkjøling av typiske C-konsentrasjoner q_x . Vi skal se på noen eksempler:

$q_x = 0\%$ (rent jern):

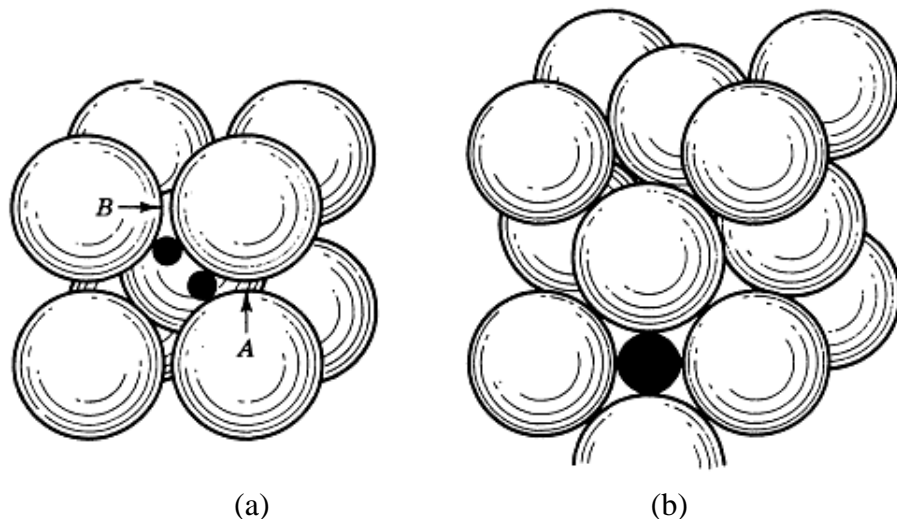
- Størkner ved 1536°C og danner kubisk romsentrert struktur, δ -fasen.
- Ved 1380°C transformeres δ -fasen til γ -fasen austenitt, som er kubisk flatesentrert.
- Ved 910°C transformeres γ -fasen til α -fasen ferritt, som er kubisk romsentrert. Denne strukturen beholdes ved fortsatt nedkjøling.

Temperaturangivelsene forutsetter atmosfæres trykk.

$q_x = 0,2\%$:

- Mellom 1520°C og 1492°C gjennomløper legeringen en såkalt peritektisk reaksjon. (Denne har liten praktisk betydning.)
- Under 1492°C består legeringen av γ -fasen austenitt. C-atomene finnes her i mellomromsposisjoner. Det største mellomrom kan maksimalt huse en kule med diameter 1,04Å (1 Ångstrøm = 10^{-10}m). Størrelsen av C-atomet er 1,4Å. Det betyr at gitteret blir fortrukket og løseligheten begrenset.

*Figur 10.3
Mellomrom i
kubisk
romsentrert (a)
og kubisk
flatesentrert
struktur (b).
I mellom-
rommene er det
plass til atomer
med diameter
på h.h.v. 0,72Å
og 1,04Å.*



- Ved ca. 830°C spaltes γ -fasen opp i to faser:
 - Ferritt som har kubisk romsentrert struktur med ganske lite C.
 - Fasen austenitt med økende innhold av C-atomer når temperaturen faller.
- Ved 800°C inneholder 0,02% C og γ -fasen 0,3% C. Vanligvis ignorerer vi det lille C-innholdet i α -fasen og oppfatter den som rent jern.

Når løseligheten av C gjennomgår en så drastisk reduksjon, skyldes det at rommene mellom Fe-atomene har en annen form i α -strukturen enn i γ -strukturen. De er riktignok større i volum, men flatere i form, slik at C-atomet ikke kan passes inn uten en ganske stor forskyvning av Fe-atomene omkring. Diameteren til den største kule som kan få plass i α -strukturen er på 0,72Å, så løseligheten må nødvendigvis bli svært liten. Se forrige figur.

- Etter hvert som C-fattig ferritt skilles ut når temperaturen faller, øker C-innholdet i austenitten. Like over 723°C er masseforholdet mellom ferritt og austenitt (fra hevarmloven):

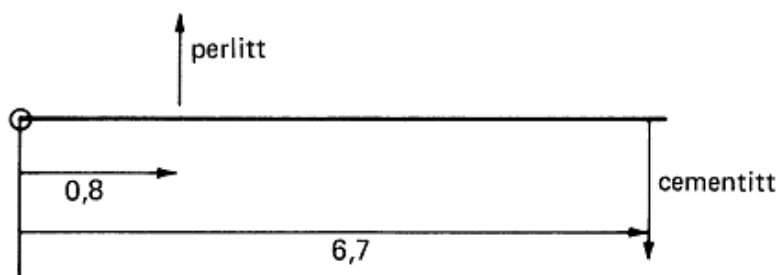
$$\frac{\text{ferritt}}{\text{austenitt}} = \frac{0,8 - 0,2}{0,2} = 3$$

da vi ser bort ifra C-innholdet i ferritten. Ferritten skilles ut fra kim i austenitten, først og fremst langs korn grensene, men av og til også inne i austenittkornene.

- Ved 723°C kan austenitten oppfattes som mettet både med ferritt og med C, og ved ytterligere varmebehandling omdannes den til eutektoidet perlitt, som er en mekanisk finfordelt blanding av ferritt og cementitt Fe₃C. Cementitt har et C-innhold på 6,7% og er en hard og sprø bestanddel. Fe- og C-atomer ligger sammen i et noe komplisert gitter. Perlitten har fått sitt navn fordi den skinner med perlemorlignende glans under mikroskopet. De består av lameller av avvekslende ferritt og cementitt. Den opptar den resterende plassen mellom ferrittkornene.

Bruker vi hevarmloven som vist i figuren under, får vi innholdet av cementitt i perlitten til:

$$\frac{\text{cementitt}}{\text{perlitt}} = \frac{0,8}{6,7} = 0,12$$



Figur 10.4
Hevarmloven med enarmet hevarm.

Den nedkjølte strukturen er vist i figur (f) i neste figur. Ferritten er hvit og lamellene i perlitten kommer tydelig fram.

$q_x = 0,8\%$:

- Størkningen er avsluttet ved ca. 1300°C, og legeringen består da av austenitt med C-atomene plassert i mellomrommene i γ -gitteret. C diffunderer lett ved denne høye temperaturen og i det stor og hele er austenitt-kornene homogene og fri for seigringer.
- Austenitt-strukturen er stabile helt ned til 723°C. Her spalter den seg isotermt i de to fasene ferritt og cementitt, som til sammen utgjør strukturbestandelen perlitt.

Det skjer ingen strukturelle forandringer ved fortsatt nedkjøling, og ved normal temperatur består strukturen av perlitt alene. Perlitt inneholder to faser, og det er derfor galt å prate om perlittkorn eller perlittkrystaller. Perlitt er en strukturbestanddel eller et strukturelement, og vi kan bruke betegnelsen perlittområder eller perlittkolonier.

$q_x = 1,2\%$:

- Etter endt størkning danner denne legeringen austenitt. Den er stabil ned til ca. 900°C og spalter da av cementitt. Ved fortsatt nedkjøling er sammensetningen av cementitt konstant, mens C-innholdet i austenitten synker langs linjen A_{cm} . Like over den eutektoide temperatur 723°C er forholdet mellom masse cementitt og austenitt:

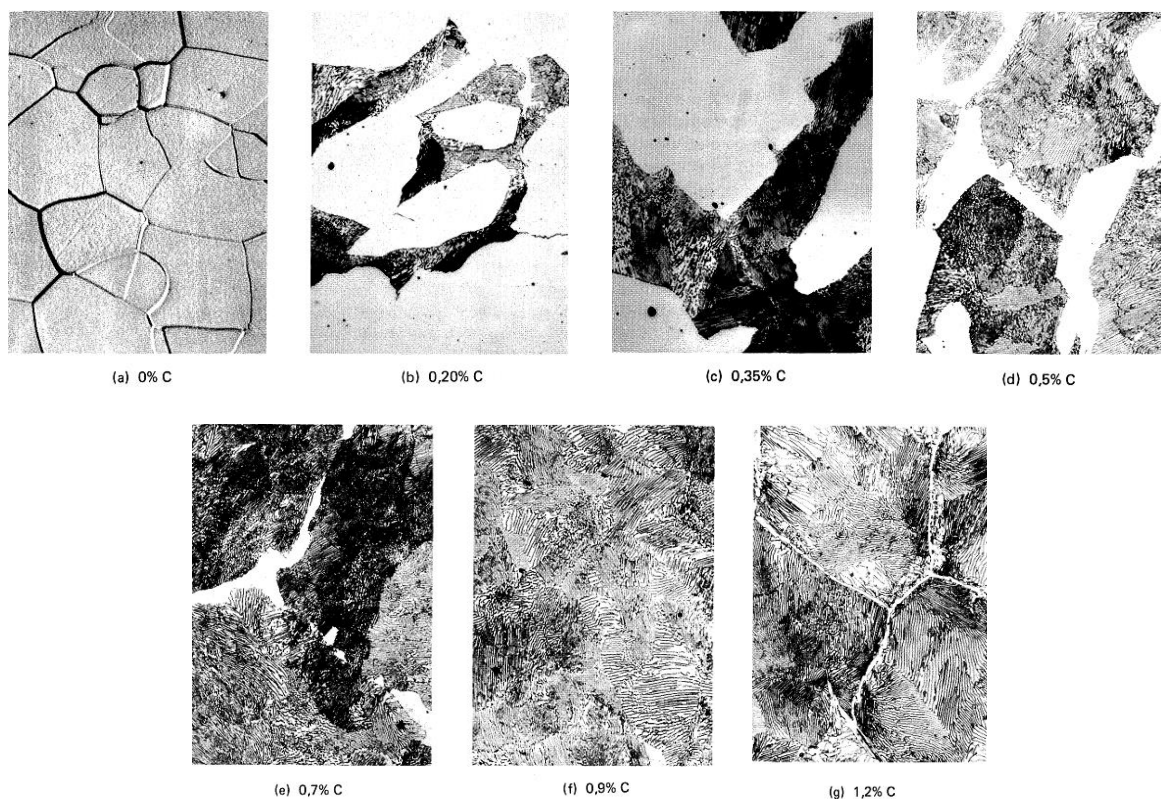
$$\frac{\text{cementitt}}{\text{austenitt}} = \frac{1,2 - 0,8}{6,7 - 1,2} = 0,07$$

- Ved 723°C omdannes så den resterende austenitt av sammensetning 0,8% C til perlitt, og under denne temperaturen består strukturen av cementitt og perlitt i masseforholdet:

$$\frac{\text{cementitt}}{\text{perlitt}} = 0,07$$

Under mikroskopet er cementitten hvit, og i figur (g) under, kan du se hvordan perlittområdene er omgitt og isolert fra hverandre av en tynn cementittflate. Under plastisk deformering brytes cementitten, som er hard og sprø, i stykker. Perlittområdene faller fra hverandre. Strukturen er derfor uønsket for praktiske formål.

Ved langvarig gløding omkring A_1 kan korngrensecementitt omdannes til kuleformede områder, og dette er en mer fordelaktig fordeling av fasen. Prosessen kalles bløtgløding.



Figur 10.5

Struktur ved ulike innhold av C.

(a) Ferritt (hvit)

(b) - (e) Ferritt og perlitt

(f) - (g) Perlitt og cementitt (hvit)

$q_x = 3\%$:

- Størkningen begynner ved ca. 1300°C ved at smelta skiller ut fast austenitt, og samtidig anrikes på C. Innholdet av C i austenitt og smelte øker ved fallende temperatur og utgjør henholdsvis 2,1% og 4,3% like over 1147°C. Smelta størkner så isotermt til eutektiet ledeburitt.
- Umiddelbart under 1147°C består strukturen av:
 - Austenitt-korn med 2,1%C.
 - Strukturelementet ledeburitt med gjennomsnittlig C-innhold på 4,3%.
Ledeburitt er bygd opp av to faser i en mekanisk finfordelt blanding, austenitt og cementitt. Cementitt-innholdet i ledeburitt finnes fra hevarmløven:

$$\frac{\text{cementitt}}{\text{ledeburitt}} = \frac{4,3 - 2,1}{6,7 - 2,1} = 0,48$$
- Når legeringen nedkjøles videre, skjer følgende:
 - Austenittkornene utskiller sekundær cementitt og omdannes til perlitt ved 723°C. Betegnelsen sekundær referer til at cementitt utfelles fra en fast fase.
 - Austenitten i ledeburitt utskiller cementitt og omdannes til perlitt ved 723°C. Den primært utfelte cementitt gjennomløper ingen forandringer.
Den nedkjølte strukturen består av strukturelementene perlitt og ledeburitt med noe sekundært utfelt cementitt.

$q_x = 5\%$:

- Den nedkjølte strukturen består av primært utfelt cementitt og ledeburitt med sekundært utfelt cementitt.

10.3 Definisjon av stål og støpejern

Fra gammel tid har vi med stål ment en Fe-C legering som kunne smis, formes ved varmbearbeiding. Legeringer med høyt C-innhold kunne bare formed ved støping og ble kalt støpejern. I det store og hele faller smibarheten med økende C-innhold, men siden den også er avhengig av formende metode, fordeling av strukturelementer osv., kan vi ikke trekke noe skarpt skille ved et bestemt C-innhold under hvilket legeringen er smibar og over hvilket den ikke er.

I dag klassifiserer vi stål som legeringer med C-innhold under 2,1%. Dette er legeringer som ikke inneholder ledeburitt i likevektstrukturen. Støpejern er da alle Fe-C legeringer med høyere C-innhold enn 2,1%.