KOVINE –
STRUKTURA IN LASTNOSTI

ŽELEZO IN JEKLA

- Železo in zlitine železa z ogljikom (jekla) predstavljajo več kot 90 % kovin, ki so danes v uporabi. Glavni vzrok za to so **mehanske lastnosti jekel**, ki jih lahko kontroliramo v širokih intervalih:

  a) **trdnost** lahko spreminjamo od 200 MPa - 4000 MPa

  b) **trdota** variira od 175 do 850 HV (trdota po Vickersu)

- Železo je najcenejša kovina.
- Poleg mehanskih lahko kontrolirano spreminjamo tudi **magnetne lastnosti** jekel ter vplivamo na njihovo **korozijsko odpornost**.
- **Ogljikova jekla (Fe - C)** so :

Dobre lastnosti:	Dajo se :
trdna	**vlivati**
žilava	**plastično oblikovati**
raztegljiva	**strojno oblikovati**
poceni	**toplotno oblikovati ...**

Slaba lastnost : **nizka korozijska obstojnost** (zato jih barvamo, emajliramo, galvaniziramo, katodno ali anodno zaščitimo ...)

ŽELEZO IN JEKLA

Svetovna potrošnja kovin v obdobju 2000-2010

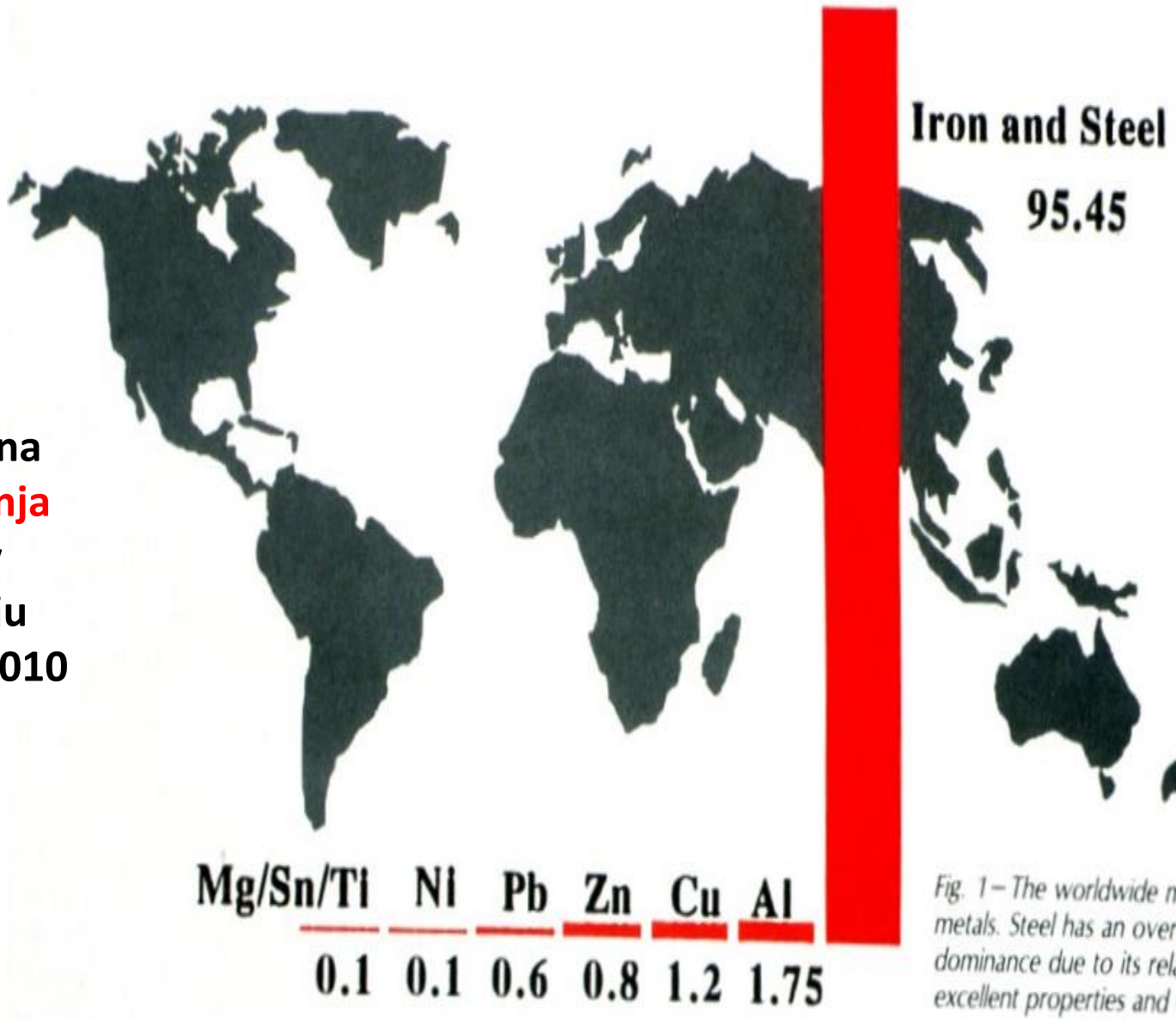


Fig. 1 – The worldwide market distribution of metals. Steel has an overwhelming dominance due to its relatively low cost, excellent properties and ease of fabrication.

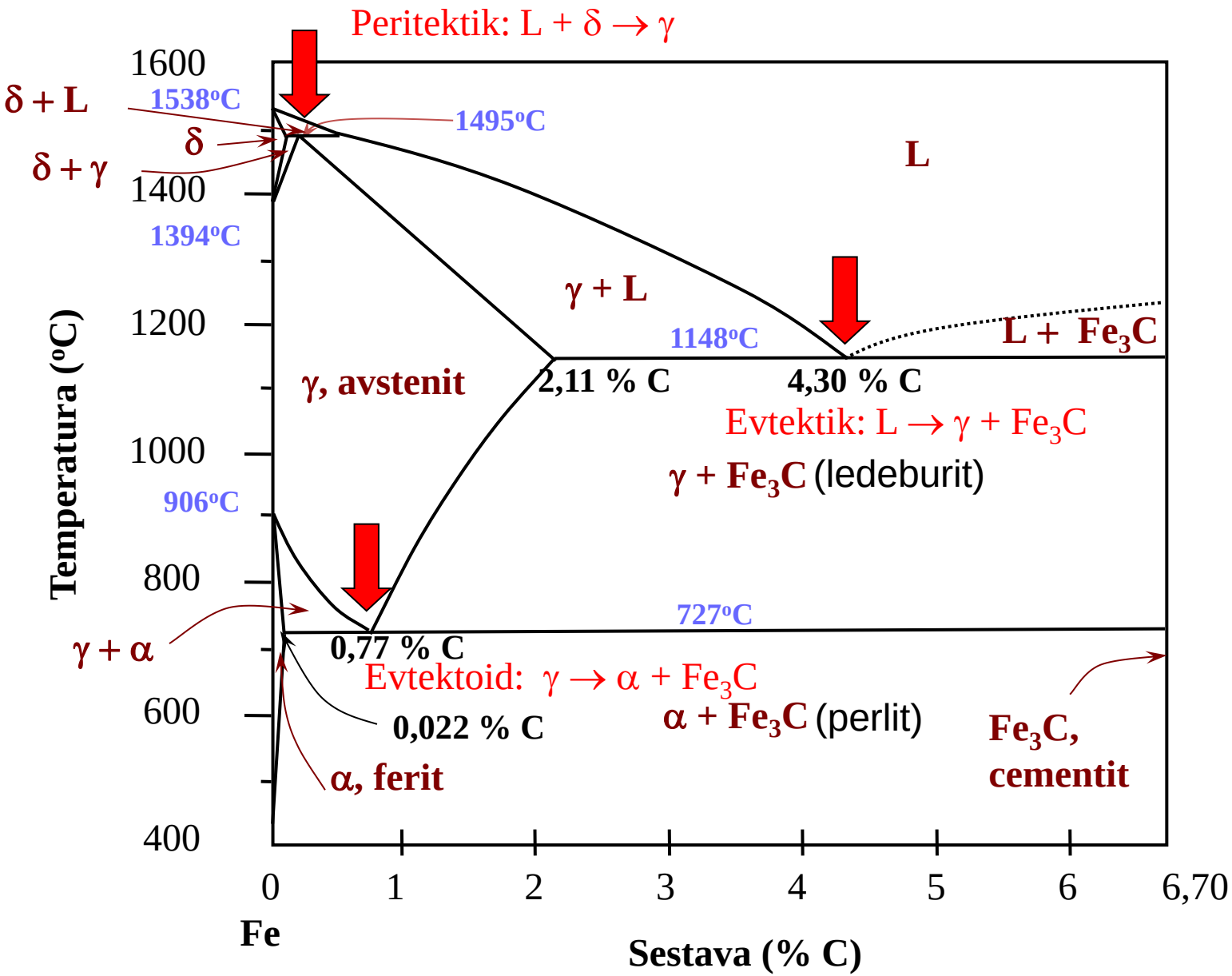
ŽELEZO IN JEKLA

- Posledica mehanskih lastnosti so **možnosti obdelovanja**, ki so večje kot pri katerikoli drugi kovini.

  1. Pomembnejše vroče obdelave:
     - vlivanje v kalupe
     - valjanje v tanke pločevine
     - kovanje
     - ekstrudiranje ali vlek
  2. Pomembnejše hladne obdelave:
     - valjanje
     - obrezovanje (žaganje, struženje)
  3. Poleg tega lahko jekla tudi spajamo:
     - varjenje
     - kovičenje
     - vijačenje

- **Lastnosti so v veliki meri posledica mikrostrukture jekel.**
- **Mikrostruktura pa je odvisna od sestave (% Fe, C, ...) in načina (toplotne) obdelave.**

FAZNI DIAGRAM ŽELEZO - OGLJIK



FAZNI DIAGRAM ŽELEZO - OGLJIK

ČISTO ŽELEZO

- Tališče čistega železa je **1538°C**.
- **Do 906°C** je **α-Fe ali ferit** – ima kristalno strukturo **TCK**.
- **Nad 906°C** je **γ-Fe ali avstenit** - osnovna celica železa se spremeni v **PCK**.
- **Nad 1400°C** osnovna celica spet postane **TCK** - **δ-Fe** (tehnološko nepomembno)
- Nekoliko nad 760°C preidejo feromagnetne lastnosti železa v paramagnetne (ne moremo ga več trajno namagnetiti).
- Čisto železo je premehko in ima premajhno korozijsko obstojnost, da bi ga uporabljali v vsakdanji tehnologiji.

ČISTI CEMENTIT

- Trd, vendar krhek material

Maksimalna trdna topnost C v železu z avstenitno strukturo (2,11 %) predstavlja mejo med jekli in litim železom:

0 – 2,11 % C: JEKLA

2,11 – 4,3 % C: LITO ŽELEZO

FAZNI DIAGRAM ŽELEZO - OGLJIK

JEKLA

- Maksimalna trdna topnost C v železu s feritno strukturo je pri 727 °C in znaša 0,02 % C - ustrezne trdne raztopine med 0 in 0,02 % C imenujemo **feritna jekla**.

  KRISTALIZIRAJO V α OBLIKI – OBSTAJAJO BREZ DODATKOV, CENEJŠA, SLABŠA

- Maksimalna trdna topnost C v železu z avstenitno strukturo je pri 1148 °C in znaša 2,11 % C - ustrezne trdne raztopine imenujemo **avstenitna jekla**.

  KRISTALIZIRAJO V γ OBLIKI – ZA STABILNOST SO POTRBNI DODATKI Ni

- Tehnološko pomembna jekla vsebuje pod 1 % C (strukturna jekla med 0,2 in 0,3 % C).

LITA ŽELEZA

- Če je ogljika več kot 2,11 %, se pri nobeni temperaturi ne more ves raztopiti v železu; presežek ostane bodisi v talini (nad 1148°C) ali pa se izloči kot cementit in torej nastane zmes avstenitnega jekla in cementita. Zmesi avstenitnega jekla in cementita med približno 2 in 4,5 % ogljika imenujemo lita železa.

Evtektik - V faznem diagramu Fe-C je evtektična točka pri sestavi 4,30 % C in T = 1148°C. Pri evtektični sestavi talina preide neposredno v popolnoma trdno zmes po reakciji:

$$L \rightarrow \gamma + Fe_3C$$ (zmes imenujemo ledeburit)

Evtektoid - Evtektoidna točka je pri sestavi 0,77 % in T= 727°C. Pri evtektoidni sestavi preide trdna avstenitna faza v zmes dveh trdnih faz po reakciji:

$$\gamma \rightarrow \alpha + Fe_3C$$ (zmes imenujemo perlit)

FAZNI DIAGRAM ŽELEZO - OGLJIK

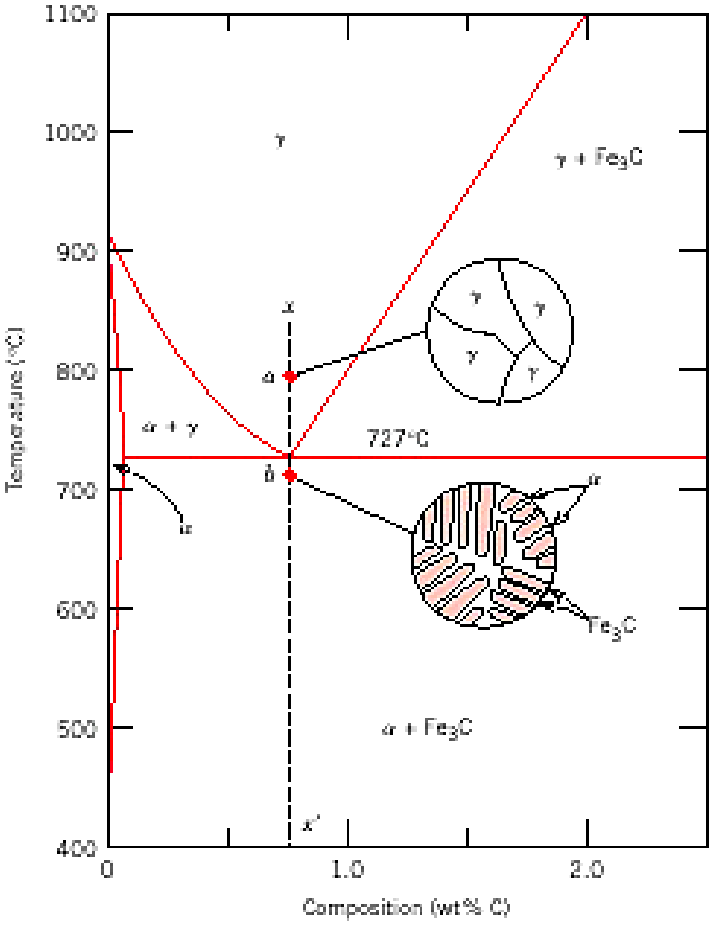


Figure 9.24 Schematic representations of the microstructures for an iron–carbon alloy of eutectoid composition (0.76 wt% C) above and below the eutectoid temperature.

Ferit

Avstenit

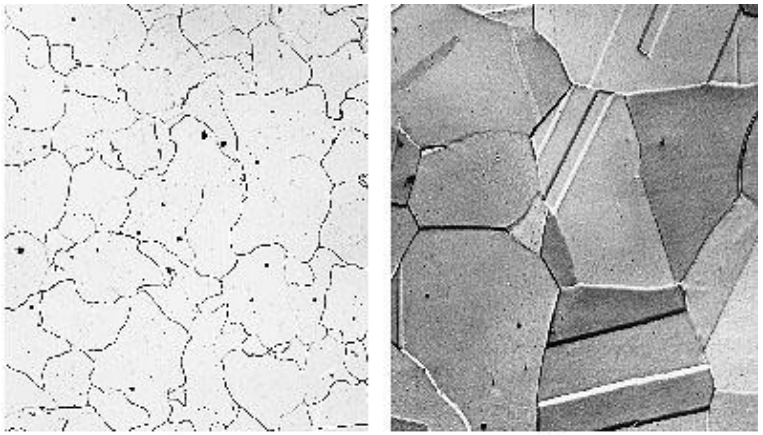


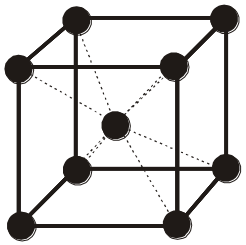
Figure 9.23 Photomicrographs of (*a*) α ferrite (90×) and (*b*) austenite (325×). (Copyright 1971 by United States Steel Corporation.)

Figure 9.25 Photomicrograph of a eutectoid steel showing the pearlite microstructure consisting of alternating layers of α ferrite (the light phase) and Fe_3C (thin layers most of which appear dark). 500×. (Reproduced with permission from *Metals Handbook*, Vol. 9, 9th edition, *Metallography and Microstructures*, American Society for Metals, Materials Park, OH, 1985.)

Primerjava feritne in avstenitne strukture

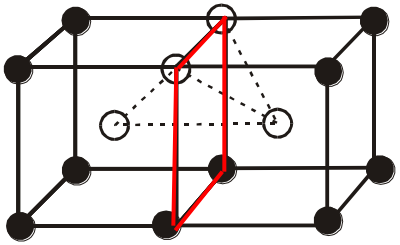
TCK (ferit)

železovi atomi



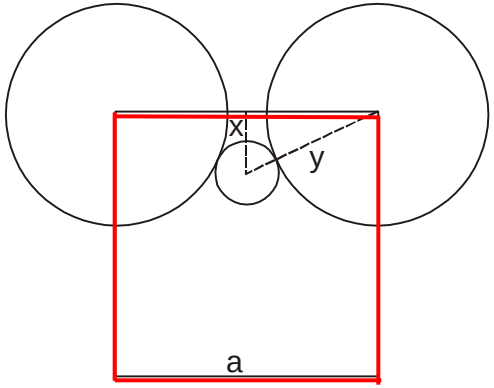
zasedenost = 68 %

8x1/8 + 1 = 2 atoma/celico



Le tetraederske praznine

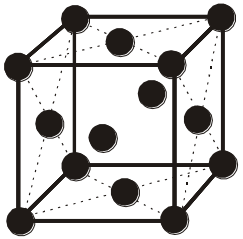
tetraedrska praznina



$$\frac{r}{R} = \frac{\sqrt{5}-1}{\sqrt{3}} = 0.41$$

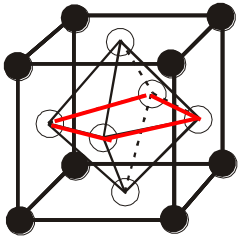
PCK (avstenit)

železovi atomi



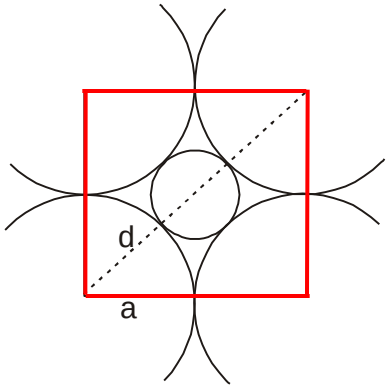
zasedenost = 74 %

8x1/8 + 6x1/2 = 4 atomi/celico



Oktaederske in tetraederske praznine

oktaedrska praznina



$$\frac{r}{R} = 0.41$$

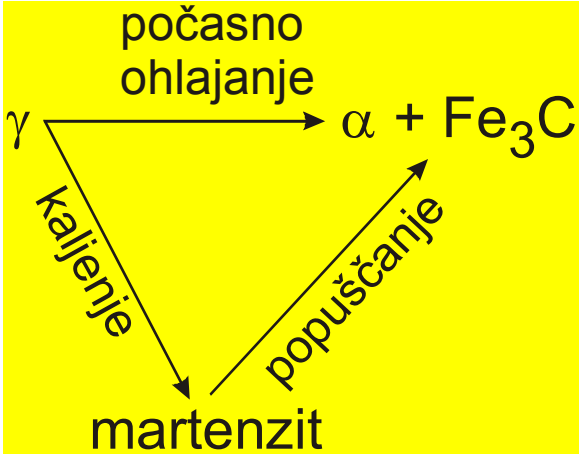
Idealno:

$$R(Fe) = 0.124\,nm$$
$$r(C) = 0.077\,nm$$
$$\frac{r}{R} = 0.621$$

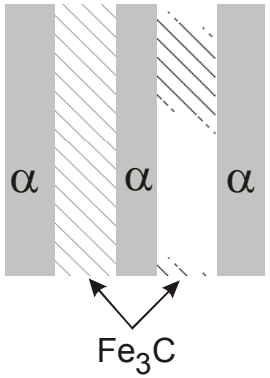
VPLIV HITROSTI OHLAJANJA NA STRUKTURO

Evtektoidna reakcija:

$\gamma \rightarrow \alpha + Fe_3C$



a) ohlajamo počasi: dobimo fino lamelno mikrostrukturo



PERLIT
(krhek material,
zlomi se v področju Fe_3C)

b) ohlajamo hitro (kalimo)

$\gamma \rightarrow$ martenzit

- termodinamsko zelo nestabilna struktura
- kinetično zelo stabilna struktura
- 4x trši od perlita
- krhek

ŽELEZO IN JEKLA

- **PRIMERI TOPLOTNE OBDELAVE JEKEL** :

1. Počasno ohlajanje ali **popuščanje** avstenita vodi do nastanka grobega perlita majhne trdnosti in trdote
2. Ohlajanje avstenita na zraku se imenuje **normaliziranje**, nastane perlit (nekoliko večja trdota),
3. Zelo hitro ohlajanje ali **kaljenje** – nastane martenzit (precej večja trdota),
4. Če martenzit zopet segrejemo, **temperiramo** na 400-500°C , se del martenzita pretvori v ferit in cementit (trdota pade), dobimo še vedno trd material, ki pa je deloma tudi raztegljiv
5. segrevanje v intervalu 1050°C (nekaj dni) se imenuje ***difuzijsko žarenje***. Material se pri tem homogenizira, vendar pa precej naraste velikost zrn (100-200 μm). Zato so tolerance pri obdelavi, na primer brušenju, zelo velike
6. pri ***normalnem žarenju*** izmenično spreminjamo temperaturo nad in pod evtektoidno temperaturo (avstenit prehaja v ferit in obratno). Zaradi neprestanih napetosti velika zrna popokajo,
7. **cementiranje** je segrevanje nizkoogljičnih jekel (0,05 do 0.5 % C) na temperaturo med 850 in 900 ^{0}C ob prisotnosti trdnih tekočih ali plinastih ogljikovih spojin, ki pri omenjenih temperaturah sproščajo ogljik. Ta difundira v površino jekla in ga obogati.

- **MEHANSKE LASTNOSTI RAZLIČNIH FAZ** :
  - **FERIT** je raztegljiv in ima nizko trdnost ($\leq$ 310 MNm^{-2})
  - **AVSTENIT** je raztegljiv, ima nekoliko višjo trdnost pri višjih T
  - **CEMENTIT** je trd in krhek
  - ***MARTENZIT*** je trd in krhek (podoben keramiki)

SPLOŠNE LASTNOSTI JEKEL IN LITIN

1. Lastnosti jekel glede na vsebnost ogljika:
   a) nizkoogljična (do 0.25% C) so zelo žilava, mehansko manj trdna, dobra za obdelavo v hladnem
   b) srednjeogljična (0.25-0.55%C) in visokoogljična (0.55%-1%) so zelo trdna in trda, ne pa žilava; uporabljajo se za orodja, kroglične ležaje ipd.

2. Legirana jekla ali zlitine imajo visoko vsebnost Ni in Cr.
   Primer: nerjavno jeklo vsebuje 8% Ni in 18% Cr.

   Izredne lastnosti: obstojnost proti koroziji, veliko žilavost, ostane trdno tudi pri nizkih temperaturah, je diamagnetno, se da dobro variti

3. Litine
   a) bela (2.5% C, tališče 1300oC); trda in krhka
   b) sivo litino dobimo, če beli dodamo nekaj Si; C se izloča po zrnih (površini); je manj krhka in bolj žilava od bele litine. Uporaba: duši zvok, nosilci za težke stroje
   c) če dodamo še Mg, dobimo v mikrostrukturi kroglice (nodule), zato imenujemo to litino nodularna litina; ima podobne lastnosti kot manj kvalitetna jekla, jo lahko varimo.

ALUMINIJ

- Prednosti: drugi najpomembnejši konstrukcijski material zaradi:

  1) VISOKE KOROZIJSKE ODPORNOSTI

  2) NIZKE GOSTOTE (2,7 g/cm^3)

- Pomanjkljivosti:

  1) NIZKO TALIŠČE (650°C)

  2) MEHEK MATERIAL

  3) TRDNOST Z NARAŠČANJEM TEMPERATURE HITRO PADA, UPORABEN LE PRI T SOBNI

- Čisti aluminij ima preslabe mehanske lastnosti, struktura PCK
- Tvori trdne raztopine (zlitine) z Cu, Mg, Mn, Zn, Si, za zlitine niso uporabni: Fe, Cr, Ti
- Nekatere lastnosti v primerjavi z drugimi kovinami:

  1) čisti Al približno 5x manj trden kot Fe ali Ni

  2) zlitine Al: 2-3x bolj trdne kot čisti Al

  3) prevodnost: 60 % slabša od Cu

- Uporaba:

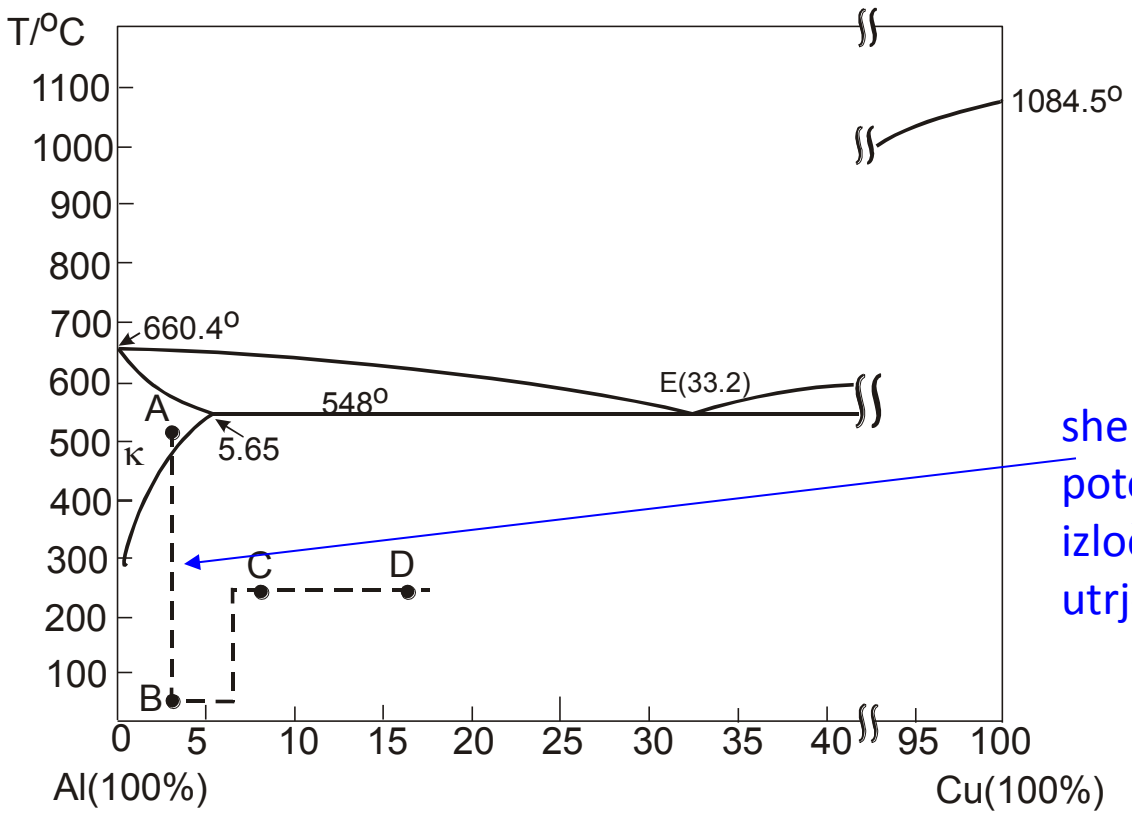
  1) konstrukcijski material: letala, vagoni, motorji, arhitektura, ...

  2) pločevinke (problem strupenosti – plastificiranje)

  3) folije (debelina 0,18 mm)

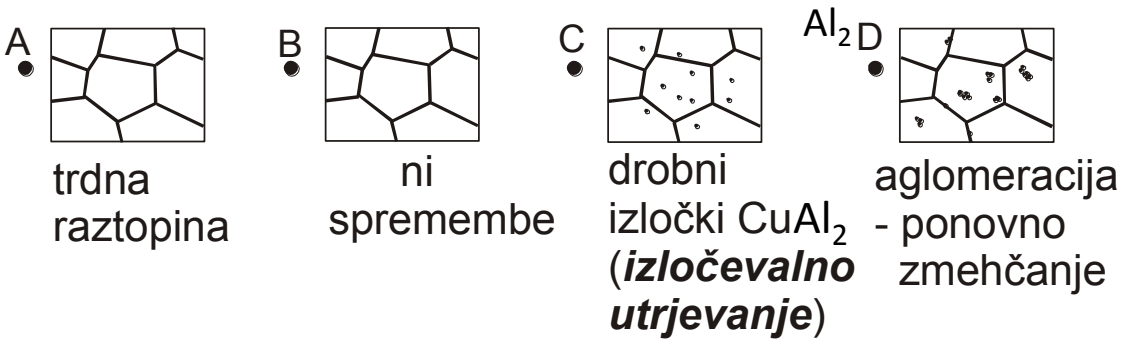
  4) električni kabli (včasih nadomešča baker)

FAZNI DIAGRAM Al - Cu



Izločevalno utrjevanje:
povečanje trdnosti zaradi enakomernega obarjanja nove faze pri segrevanju podhlajenih trdnih raztopin

shematski prikaz poteka izločevalnega utrjevanja.



Utrjeno trdno raztopino Cu v Al imenujemo duraluminij.

BAKER

- Odličen električni prevodnik (ima nizko upornost)

kovina	specifična upornost/ $10^6\ \Omega cm$
srebro	1.59
baker	**1.67**
aluminij	2.65
cink	5.92
nikelj	6.84
železo	9.71
svinec	20.65

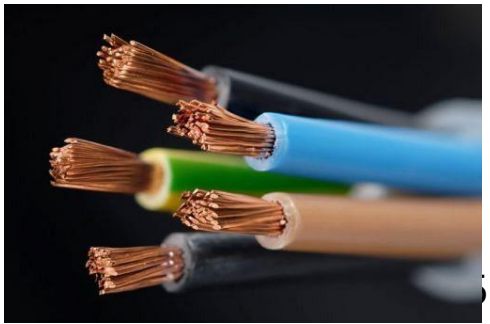
- Je mehek, korozijsko obstojen material (zaradi pasivnega filma, ki nastaja na površini) in ga je lahko obdelovati
- Bakrove zlitine:

a) Cu - Zn: medenina

b) Cu - Sn: bron (izvrstno ulivanje, topovi, zvonovi, spomeniki,...)

c) Cu – Be (2 %) – ne iskri velika trdnost (nad 1000 MPa)

- Uporaba: prevodniki – žice, tiskana vezja



TITAN

- <u>Prednosti:</u>

a) relativno lahek (gostota je 4,5 g/cm^3)

b) Trdnost podobna nekaterim jeklom

c) Trdnost mu lahko še povečamo (celo za 3 x) , če pripravimo nekatere zlitine

d) odlična korozijska odpornost (podobno kot Pt)

- <u>Slabosti:</u>

a) nekoliko slabša trdota kot jekla

b) Nad 430°C hitro izgublja trdnost

c) visoka cena (draga tehnologija pridobivanja kovine, pri tem rabimo tudi Mg, ki je tudi drag)

DRUGE KOVINE

CINK

- Uporablja se za zaščito jekel (elektrokemijska zaščita)
- Uporablja se za dekoracijo (estetska površina) in v zlitinah (medenina)

SVINEC

- Akumulatorji, drugje uporaba pada (zaradi ekologije)

NIKELJ, KROM

- Največ se uporabljata pri izdelavi jekel

MAGNEZIJ

- Zelo lahek (gostota je 1,7 g/cm^3)
- Tretji najpogostejši v različnih tehnologijah
- Avtomobilske komponente, prenosni računalniki, mobilni telefoni, elektronske naprave