

# SISTEMATIKA JEKEL

## delitev jekel po namenu

### ❖ Splošna konstrukcijska jekla

- ❖ vsebujejo do 0,6%C
- ❖ mehka, žilava
- ❖ dajo se dobro mehansko obdelovati – stružiti, rezkati, piliti, žagati, upogibati.

### Konstrukcijska jekla za toplotno obdelavo

Uporaba za strojne dele, ki morajo imeti trdo površino in žilavo jedro.

Od 0,25 – 0,40% C,  
Legirana z Mn, Cr,  
Cr-Ni, Cr-Mo.

### ■ Posebna konstrukcijska jekla

- 0,5-0,6%C
- 0,4-2%Si
- 0,6-1,8%Mn
- 1,2%Cr, 0,1% V
- so prožna

■ Za obrabi izpostavljenim delom dodamo 12% MN.

### Orodna jekla

-od 0,6-1,4% C  
-drugi legirni elementi: Cr, Mo, W, V, Co  
-za orodja  
--imeti morajo visoko trdoto v hladnem in nekatera tudi v toplen stanju  
-- hitroreznata imajo od 0,8 do 1,25% C, ki skupaj z W, Cr (po 4%), Mo in V tvorijo karbide.

# SISTEMATIKA JEKEL

## delitev jekel po namenu

### ❖ Splošna konstrukcijska jekla

- ❖ Jekla za kotlov. pločevino
- ❖ Jekla za ladjedelništvo
- ❖ Avtomatna jekla
- ❖ Hladno valjana pločevina in trakovi
- ❖ Jekla za valjane cevi s predpisanimi lastn
- ❖ Jekla za vijake, matice in kovice

### Konstrukcijska jekla za toplotno obdelavo

- Jekla za cemen – tiranje
- Jekla za poboljšanje Ogljikova jekla
- Legirana jekla

### ■ Posebna konstrukcijska jekla

- Jekla za vzmeti
- Nerjavna in ke – mično odporna jekla
- Jekla obstojna pri visokih temp.
- Jekla za ventile
- Jekla za kroglične ležaje
- Jekla odporna proti obrabi

### Orodna jekla

- Ogljikova jekla za delo v hladnem
- Legirana jekla za delo v hladnem
- Legirana jekla za delo v vročem
- Hitrorezna jekla

# SISTEMATIKA JEKEL

## delitev jekel po kemični sestavi

---

### **Navadna ogljikova jekla:**

so mehka in žilava;  
malo C, ustrezno Si, P+S, Mg  
uporabna kot konstrukcijska jekla;

### **Rafinirana ogljikova jekla:**

so prečiščena;  
0,05 -1.7% C  
namenjena so toplotni obdelavi;

### **Malo legirana jekla:**

vsebujejo manj kot 5% legirnih elementov;  
leg. elementi povečujejo mehanske lastnosti, izboljšajo sposobnost za toplotno obdelavo,... ;

### **Visoko legirana jekla:**

vsebujejo več kot 5% legirnih elementov;  
so draga jekla;  
uporabna za orodja in posebne namene

# LITINE

## na osnovi železa

### ❖ Jeklena litina

- ❖ je jeklo ulito v obliko izdelka !!
- ❖ deli se podobno kot jeklo:
  - ❖ ogljikova jeklena litina
  - ❖ legirana jeklena litina za poboljšanje
  - ❖ kemično odporna jeklena litina (ne rjavijo in so v ognju obstojne)
  - ❖ proti obrabi obstojna jeklena litina
  - ❖ vsi ulitki morajo biti toplotno obelani (žarjeni oz. normalizirani)

Označba	JL
Gostota	7,85 kg/dm <sup>3</sup>
Tališče	1300 do 1400 C
Natezna trdnost	do 600 N/mm <sup>2</sup>
Razteznost	8 do 25%
Krčenje ulitkov	2%

# Jeklena litina - uporaba

---

- Obremenjeni strojni deli, ki morajo biti žilavi, odporni proti vročini, rji in obrabi in jih ne moremo skovati ali stiskati.
- Turbinski okovi, vodilne lopatice turbin, deli poljedelskih strojev, deli za železniška vozila in ladije,...

# LITINE

## na osnovi železa

### ❖ Siva litina

- ❖ je najpomembnejša od vseh litin in se je tudi največ pridobiva
- ❖ se ne da kovati, je krhka, neelastična in se tudi ne upogiba
- ❖ je mehka, cenena in se dobro mehansko obdeluje
- ❖ proti koroziji je odpornejša kot jeklo, se lahko vari in tudi termično obdeluje
- ❖ dobro duši vibracije, zvok, udarce, ...
- ❖ ogljik v SL je izločen v obliki lamelnega grafita, le manjši del ostane kemično vezan v obliki železovega karbida  $Fe_3C$

Označba	SL
Gostota	7,25 kg/dm <sup>3</sup>
Tališče	1150 do 1250 C
Natezna trdnost	110 do 300 N/mm <sup>2</sup>
Razteznost	je ni
Krčenje ulitkov	0,5 do 1,5%
Livna temperatura	okrog 1350 C
Sestava: ogljik	2,6 do 3,8 %
silicij	1,5 do 2,4 %
mangan	0,5 do 1,2 %
fosfor	0,2 do 0,8 %
žveplo	0,1 do 0.12 %

# Siva litina - uporaba

---

- kopalne kadi ?, izlivke,
- deli plinskih gorilcev in likalnikov,
- za grelne kotle, grelna telesa,
- v gradbeništvu za stebre in podpore, okenske okvire,
- vodovodne in kanalizacijske cevi, pokrove jaškov,
- umetniški in fini liv za razne figure,
- v strojništvu za stojala, za cilindrske bloke, zavorne bobne, ležajne skledice,...

# LITINE

## na osnovi železa

- ❖ **Nodularna litina**
  - ❖ **najboljše meh. lastnosti dosežemo s cepljenjem (grafit se izloči v obliki drobnih kroglic);**
  - ❖ **malo pred litjem talini dodajamo magnezij**
  - ❖ **lastnosti skoraj kot jeklo;**
  - ❖ **odporna proti kemičnim vplivom in proti temperaturi;**
  - ❖ **uporabljamo jo za dele z visokimi statičnimi in dinamičnimi obr. (rotorji, črpalke, ekscentri, kolenske gredi, gredi raznih batnih strojev,...**

<b>Označba</b>	<b>GGG</b>
Gostota	7,1 do 7,2 kg/dm <sup>3</sup>
Tališče	1400 C
Natezna trdnost	380 do 700 N/mm <sup>2</sup>
Razteznost	2 do 12 %
Krčenje	Feritne litine 0 % Perlitne litine 1 %



# LITINE

## na osnovi železa

---

- **Trda litina (bela litina)**
  - **ves ogljik je izločen kot  $\text{Fe}_3\text{C}$  - prelom je svetel;**
  - **je izredno trda in odporna proti obrabi;**
  - **Lahko jo le brusimo in obdelujemo s karbidnimi trdinami;**
  - **uporabljamo jo za valje, krogle v drobilnih mlinih, dele bagrov, hidravlični bati, valji v gumarski, papirni industriji,...**

# LITINE

## na osnovi železa

- ❖ **Temprana litina**
  - ❖ je bela litina , ki se po litju žari (v oksidacijski atmosferi - bela temprana litina; v nevtralni atmosferi - črna temprana litina);
  - ❖ imenuje se tudi kovna litina;
  - ❖ predstavlja vmesni člen med jeklom in sivo litino;
  - ❖ uporabljamo jo za razne ključe, cevne spojke, dele poljedelskih strojev, ...

Označba	BteL, ČteL
Gostota	7,4 kg/dm <sup>3</sup>
Tališče	1300 C
Natezna trdnost	BteL 340 do 400 N/mm <sup>2</sup> čteL 330 do 400 N/mm <sup>2</sup>
Razteznost	BteL 2 do 10 % ČteL 5 do 12 %
Krčenje ulitkov	BteL 1 do 2 % ČteL 0 do 1,5 %

# TOPLOTNA OBDELAVA

---

- ❖ Kristalna struktura, njena odvisnost od vrste elementov v zlitini (topnost) in razmere pri ohlajanju imajo velik pomen na lastnosti gradiv!
- ❖ Lastnosti: odvisne od lastnosti kristalnih zrn, njihove velikosti, razporeditve;
- ❖ kemična sestava zlitine opredeli lastnosti le približno;
- ❖ Natančno opredeli mikrostrukturo materiala šele tehnološki postopek, ki določa razmere pri strjevanju zlitine, segrevanju in ohlajanju, plastičnem preoblikovanju,...

# TOPLOTNA OBDELAVA JEKEL

---

- ❖ Toplotna obdelava je postopek ali povezava več postopkov pri katerem s spreminjanjem temperature spreminjamo lastnosti materiala. Pomembno vlogo igra tudi čas, zato te spremembe prikazujemo s **T - t** diagramom.
  - ❖ (T – t) diagram

# TOPLOTNA OBDELAVA JEKEL

---

- ❖ Načeloma razlikujemo pri tem postopke, ki učinkujejo:
  - ❖ globinsko
  - ❖ vplivajo le na obrobne cone
  - ❖ pretvorijo strukturo brez spremembe kemijske sestave
  - ❖ termokemijski difuzijski postopki (spremembe sestave zaradi počasnosti omejene le na površino)

# TOPLOTNA OBDELAVA JEKEL

---

- ❖ Spremembe v materialu, kot posledica sprememb temperature, nastopajo zaradi:
  - ❖ nekatere snovi imajo pri različnih temperaturah različne kristalne rešetke;
  - ❖ v zlitinah s spreminjajočo se topnostjo v trdnem stanju, se s temperaturo spreminja stopnja nasičenosti;
  - ❖ pri višjih temperaturah lažje poteka difuzija (posamično in neodvisno premikanje posameznih atomov v kristalni mreži);
  - ❖ Difuzija in rast kristalnih zrn sta počasna pojava, odločilen je tudi čas zadrževanja na temperaturah;
  - ❖ pri višjih temperaturah rastejo kristalna zrna in struktura postaja bolj groba.

# VPLIV HITROSTI OHLAJANJA NA NASTANEK STRUKTURE

---

## ❖ POČASNA SPREMEMBA TEMPERATURE:

- ❖ atomi ogljika imajo dovolj časa, da se v mreži Fe razporedijo tako, da tvorijo ravnotežno stanje, ki ustreza temperaturi;
- ❖ Ogljik je raztopljen ali vezan v železov karbid;
- ❖ Ogljik je izločen kot grafit ali temprani grafit (SL, TL);
- ❖ Glede na delež ogljika razlikujemo:
  - ❖ - poditektoidna jekla  $C < 0,8\%$
  - ❖ - evtektoidna jekla  $C = 0,8\%$
  - ❖ - nadevtitektoidna jekla  $C > 0,8\% - 2,06\%$ .

# VPLIV HITROSTI OHLAJANJA NA NASTANEK STRUKTURE

---

## ❖ POČASNA SPREMEMBA TEMPERATURE:

- ❖ Pomembni dve temperaturi:
  - spodnja premenska temperatura znaša 723 °C (linija PSK) –  $A_1$ ;
  - zgornja temperatura vzdolž linije GS –  $A_3$ ;
- ❖ Nad  $A_3$  ne obstaja ferit;
- ❖ Pod  $A_1$  ne obstaja avstenit;
- ❖ Pri jeklih z 0,8% C točki  $A_1$  in  $A_3$  sovpadata;



# VPLIV HITROSTI OHLAJANJA NA NASTANEK STRUKTURE

---

## ❖ POČASNA SPREMEMBA TEMPERATURE:

- ❖ **Perlit** dobimo pri zelo počasnem ohlajanju v pečeh:
  - je finožrnata evtektoidna struktura pri 0,8%C;
  - sestavljen je iz ploščic ferita in cementita;
- ❖ Pri malo hitrejšem ohlajanju na zraku dobimo **sorbit**:
  - je bolj finožrnata struktura;
- ❖ Če ohlajamo še hitreje npr. v olju, dobimo **bainit**;
- ❖ Pri še večji hitrosti ohlajanja npr. v vodi, dobimo **martenzit**;

# VPLIV HITROSTI OHLAJANJA NA NASTANEK STRUKTURE

---

## ❖ HITRA SPREMEMBA TEMPERATURE:

- ❖ Proces premene se vrši le tedaj kadar so temperaturne spremembe skrajno počasne (vzpostavi se ravnotežno stanje z difuzijami (potovanje atomov ogljika in železa v mreži);
- ❖ Če časa za difuzijo ni (temperaturne spremembe se vršijo hitreje), premenske točke se premaknejo navzgor oz. navzdol (ogrevanje oz. ohlajanje);
- ❖ Npr. karbidi pri hitrem segrevanju pri 723 °C še niso raztopljeni;
- ❖ Pri hitrem ohlajanju se začnejo izločati pri nižjih temperaturah;
- ❖ Nastanejo modifikacije struktur s povsem posebnimi lastnostmi;

# VPLIV HITROSTI OHLAJANJA NA NASTANEK STRUKTURE

## ❖ HITRA SPREMEMBA TEMPERATURE:

- ❖ Če povečamo hitrost ohlajanja na 15 C na sek pri nadevtektoidnih jeklih izločanje sek. cementita odpade;
- ❖ Pri podevtektoidnih jeklih se izločanje ferita močno zmanjša;
- ❖ Nadaljnje pospeševanje procesa ohlajanja premakne linijo GS in perlitno linijo na nižje temperature;
- ❖ Pretvorba v perlit izostane;
- ❖ Nastane nova struktura – martenzit;
- ❖ Pri ekstremnem ohlajanju atomi C nimajo časa difundirati, posledica – globoko pod temperaturo  $A_{r1}$  še vedno avstenit;
- ❖ Pri nadaljnem ohlajanju se mreža spremeni v kubično prostorsko centrirano;
- ❖ Za številne atome ogljika je pretesno, potisnejo elementarno celico narazen;
- ❖ Dobimo tetragonalno, ki je značilna za martenzitno strukturo – jeklo je kaljeno!

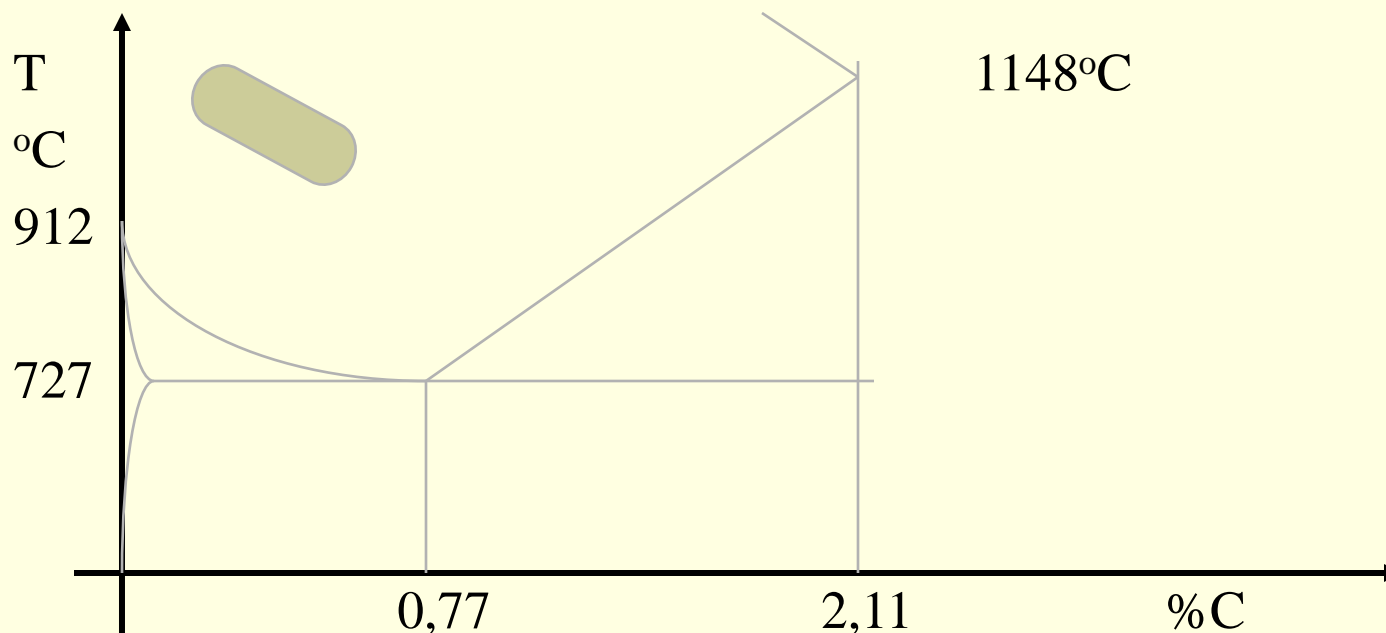
# ŽARJENJE

---

- ❖ Postopek segrevanja obdelovanca do določene temperature, zadrževanje na tej temperaturi in nato počasno ohlajanje.
- ❖ Po namenu ločimo:
  - difuzijsko žarjenje ali homogenizacija,
  - normalizacijsko žarjenje ali normalizacija,
  - žarjenje na mehko,
  - rekristalizacijsko žarjenje ali rekristalizacija,
  - žarjenje za odpravo notranjih napetosti.

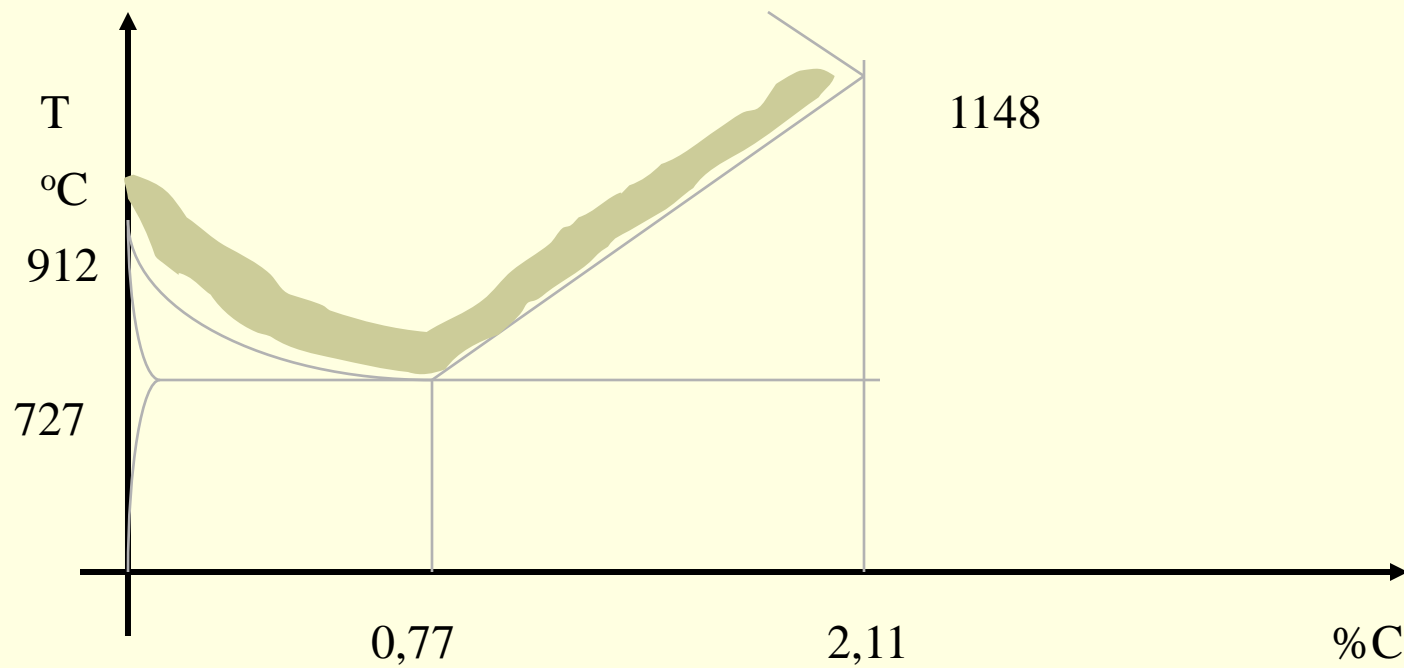
# DIFUZIJSKO ŽARJENJE

- ❖ S tem žarjenjem popravljamo **kemično** sestavo ulitkov.
- ❖ Žarjenje poteka pri visokih temperaturah.
- ❖ Dobimo izdelke enakomerne kemične sestave z grobo zrnato strukturo in debelo oksidno plastjo.



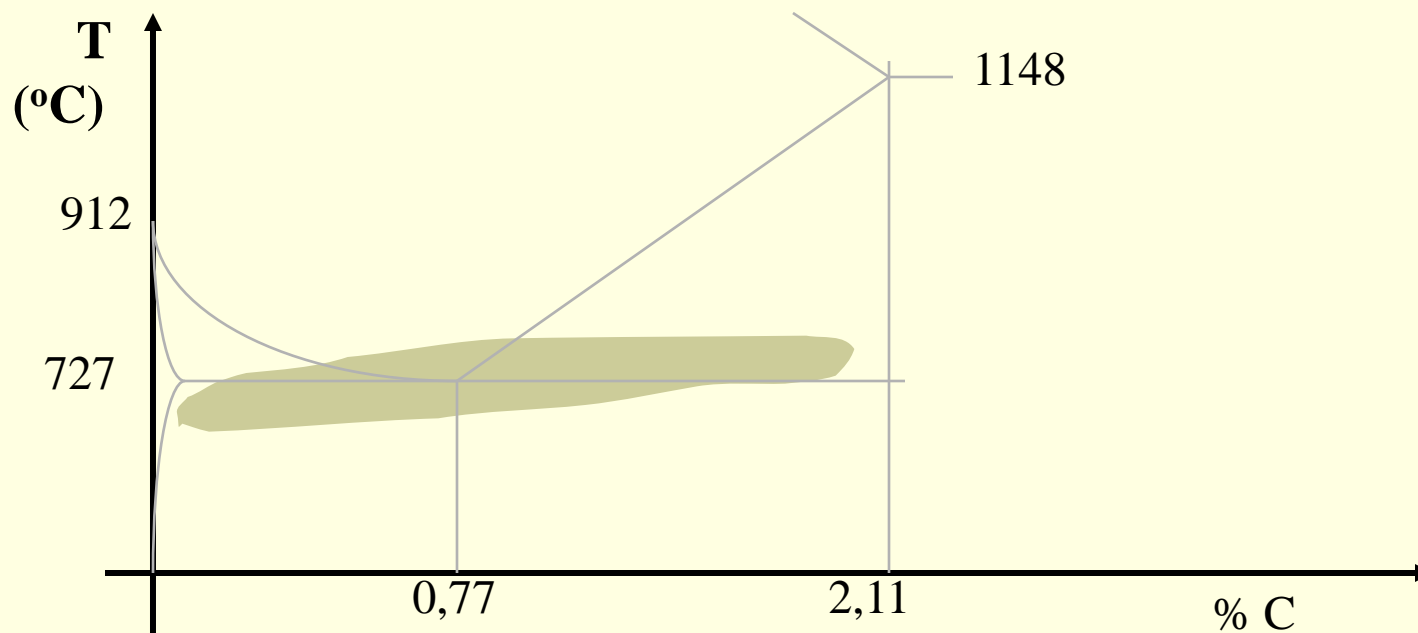
# NORMALIZACIJSKO ŽARJENJE

- ❖ S tem žarjenjem popravljamo **strukturo**.
- ❖ Pri tehnoloških postopkih, kot so valjanje, kovanje, litje, varjenje, se tvori vlaknata in usmerjena struktura.
- ❖ S tem dobimo fino zrnato strukturo.
- ❖ S segrevanjem moramo priti v avstenitno področje in tu zadržati 5 - 10 min.



# ŽARJENJE NA MEHKO

- lamelarni cementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) pretvorimo v krogličastega;
- “trše kroglice” odrezilni nož “odriva” v “mehkejšo” osnovo;
- lahko pa je to žarjenje osnova za kaljenje;



# REKRISTALIZACIJSKO ŽARJENJE

---

- uporabno po tehnoloških postopkih, kjer se jeklo zelo utrdi (postopki hladnega preoblikovanja);
- materialu se zmanjša duktilnost (sposobnost preoblikovanja), povečata pa trdota in trdnost;
- jeklo žarimo na temperaturi cca. 400 °C;
- pričnejo se tvoriti nova, ne deformirana zrna-rekristalizacija;



# ŽARJENJE ZA ODPRAVO NOTRANJIH NAPETOSTI

---

- notranje napetosti se pojavijo zaradi grobe obdelave, velikih temperaturnih nihanj ipd.;
- napetosti omilimo z žarjenjem;
- s segrevanjem strukture ne spremenimo, pač pa znižamo mejo plastičnosti;
- po žarjenju predmet počasi ohlajamo;

# KALJENJE

---

- pri tej toplotni obdelavi nastopi struktura imenovana “**martenzit**”;
- ta struktura je izredno **trda**, vendar z zelo majhno žilavostjo in visokimi notranjimi napetostmi;
- izdelek moramo najprej po celotnem preseku enakomerno segreti - paziti moramo, da se izdelek **ne pregreje**;
- sledi hitro ohlajanje s področja kalilne temperature na temperaturo okolice - **nadkritična hitrost ohlajanja**;
- po kaljenju nastopijo zelo visoke napetosti v izdelku, ki jih nekoliko omilimo z naknadnim žarjenjem;
- lahko pa z ohlajanjem predčasno končamo - dosežemo manj trdo ampak bolj žilavo strukturo - imenovano **bainit**;
- kaljenju lahko sledi popuščanje, to toplotno obdelavo imenujemo **poboljšanje**;

# KALJENJE

---

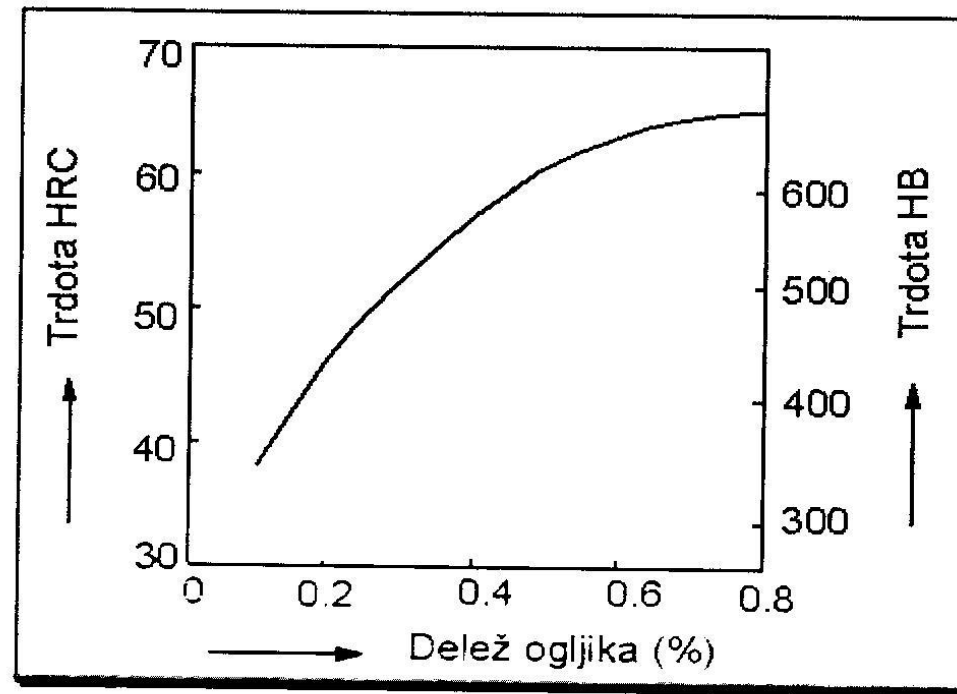
- ❖ Kaljenje obsega segrevanje, dovolj dolgo zadrževanje obdelovanca na kalilni temperaturi in nato gašenje.
- ❖ Dosegljiva trdota je odvisna od vsebnosti C in od dimenzij obdelovanca.
- ❖ Največjo trdoto dosežemo če jeklo vsebuje 0,8% C.
- ❖ Jekla z  $C < 0,2\%$  niso primerna za kaljenje.
- ❖ Kalilna temperatura vseh jekel mora biti vsaj  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  nad premensko točko.

# KALJENJE

- ❖ Jekla z 0,5% C moramo kaliti s temperaturo približno 800 °C.
- ❖ V grobem veljajo za posamezna jekla naslednje kalilne temperature:
  - ogljikova jekla  $T_k = 770 - 920$  °C
  - legirana jekla  $T_k = 800 - 1100$  °C
  - hitrorezna jekla  $T_k = 1200 - 1300$  °C
- ❖ Kritična hitrost ohlajanja je najmanjša hitrost ohlajanja, ki je potrebna za nastanek martenzita.
- ❖ Odvisna je od vrste jekla, zato uporabljamo različna sredstva za hlajenje.

# Vpliv ogljika na trdoto po kaljenju

kaljenju. Tako se dosežejo najvišje vrednosti pri ogljiku okrog 0,76 % (slika 136)



Slika 136: Vpliv ogljika na trdoto po kaljenju [7]

# KALJENJE

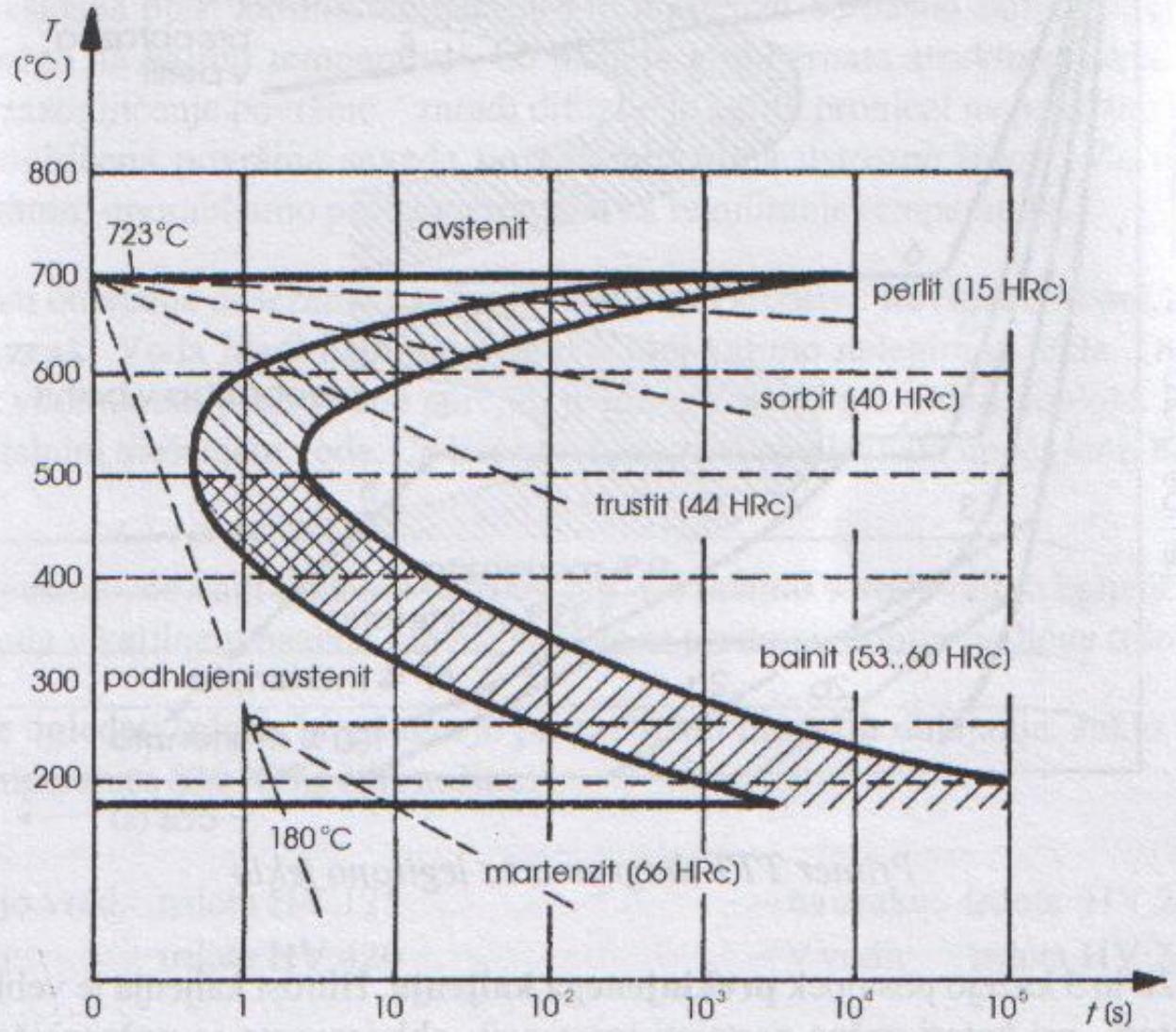
- | ❖ Vrsta jekla                      | kritična hitrost<br>ohlajanja (°C/s) | hladilno<br>sredstvo |
|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|
| ogljikova in malo legirana jekla   | 300                                  | voda                 |
| srednje legirana jekla             | 80 – 100                             | olje                 |
| močno legirana in hitrorezna jekla | 3 – 5                                | zrak                 |
- ❖ **Prekaljivost:** kaljenje čez ves presek, če je bila ohlajevalna hitrost tudi v jedru večja ali enaka kritični ohlajevalni hitrosti.
  - ❖ Kemijska sestava pri kaljenju se ne sme spremeniti – jeklo se mora **nevtravno** kaliti (uporaba zaščitnih plinov oz. evakuiranje-izsesavanje zraka iz peči).

# KALJENJE

---

- ❖ Odvisnost hitrosti ohlajanja in strukture prikazuje **Bainov diagram** – **TTT diagram** ( Time – Temperature – Transformation).
- ❖ Kaljenju sledi popuščanje, s čimer dosežemo manjšo trdoto in boljšo žilavost.
- ❖ Ogljikova jekla pri temperaturi okrog 200 °C.
- ❖ Legirana jekla pri temperaturi preko 500 °C – kaljenje s tako visokim popuščanjem imenujemo poboljšanje – rezultat: manjša trdota in visoka natezna trdnost.

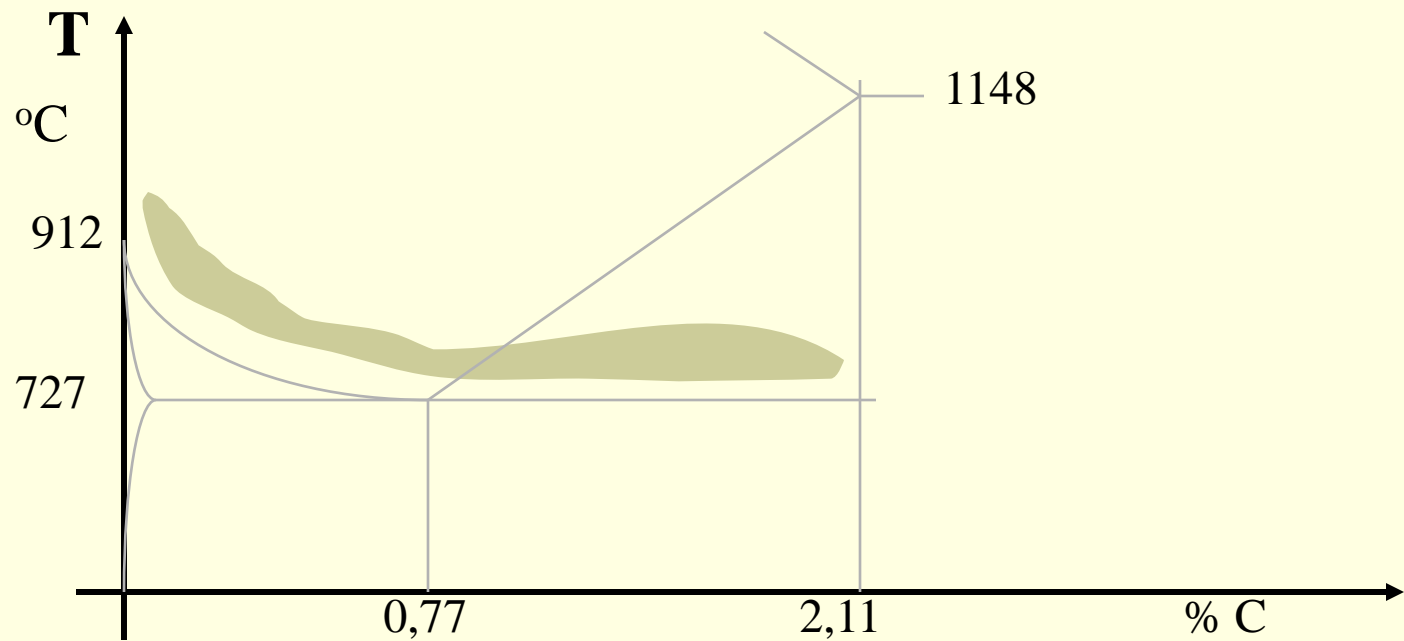
tenita.



*Bainov diagram*



# TEMPERATURNO PODROČJE KALJENJA V $\text{Fe}_3\text{C}$ DIAGRAMU



# POVRŠINSKO UTRJEVANJE

---

- s postopki površinskega utrjevanja spreminjamo lastnosti samo **površinskega** sloja;
- postopki površinskega utrjevanja se izvajajo, ko je izdelek že formiran - to pomeni proti koncu proizvodnega procesa;
- površina teh izdelkov je zelo **trda** in **odporna proti obrabi**, jedro pa je dokaj **žilavo**;
- postopke površinskega utrjevanja izvajamo z lokalnim kaljenjem ali pa s postopki toplotne obdelave, kjer površini spremenimo tudi **kemično** sestavo;

# LOKALNO KALJENJE

---

- uporabno za zahtevne izdelke, kjer najprej vršimo poboljšanje nato pa izpostavljene dele še lokalno kalimo (motorne gredi, zahtevnejši zobniki, ...);
- postopek lokalnega kaljenja izvajamo s plamenskim ali indukcijskim kaljenjem;
- indukcijsko kaljenje je boljše vendar dražje ter seveda primerno za večje serije enakih kosov;
- Kaljenje!

# CEMENTIRANJE

---

- pri tem postopku najprej spremenimo **kemično sestavo** površinskega sloja šele nato izdelek toplotno obdelamo;
- cementiramo jekla, ki so siromašna z ogljikom (0,1 - 0,25 % C);
- ogljik za ogljičenje črpamo iz plina (CO, propan, ..), tekočine ali pa trdnega sredstva;
- običajna globina naogljčenega sloja je 1 do 3 mm - to lahko traja več ur;
- vsebnost ogljika je nekje do 0,9 %C, temu primerna pa je tudi temperatura kaljenja površinskega sloja;
- najenostavnejša toplotna obdelava je cementiranje in takoj kaljenje, boljše rezultate dobimo, če izdelek ohladimo in nato segrejemo na kalilno temperaturo ter seveda kalimo;
- trdota, ki jo dosežemo na površini je cca. 66 HRc;

# NITRIRANJE

---

- v tem primeru izdelek segrevamo v atmosferi amoniaka - dobimo “nitride” ( $\text{Fe}_2\text{N}$ ), ki so zelo trdi in odporni proti obrabi;
- nitriamo jekla za poboljšanje in to po toplotni obdelavi, nikakor pa niso primerna za ta postopek navadna ogljikova jekla;
- postopek poteka pri relativno nizki temperaturi in zelo počasi (za 0,7 mm debel sloj traja žarjenje 100 ur);
- nitriranje je primerno tudi za orodna jekla saj pridobimo na trdoti tudi pri povišanih temperaturah;
- globina nitrirnega sloja je majhna, trdota pa preko 1000 HV;

# KARBONITRIRANJE

---

- je kombinacija cementiranja in nitriranja;
- razmerje med difuzijo ogljika in dušika zavisi od temperature - pri višjih temperaturah je v sloju več ogljika;
- na površini dobimo martenzitno strukturo, ki ji vključeni nitridi dajejo večjo obrabno obstojnost;
- prednost karbonitriranja je, da pospešuje **cementiranje**, izboljšuje kaljivost površine, povečuje odpornost proti obrabi in izboljšuje korozijsko odpornost;

# Primerjalni diagram doseženih trdot

