

## 4.1.1 TERMIČNA OBDELAVA JEKEL

### NASLOV

Termična obdelava jekel je postopek, pri katerem s spreminjanjem temperature spreminjamo lastnosti materiala. Pomembno vlogo pri tem igra tudi čas, zato te spremembe prikazujemo s T - t (temperatura - čas) diagramom.

Vzroki za spremembe v materialu, kot posledica sprememb temperature, so naslednji:

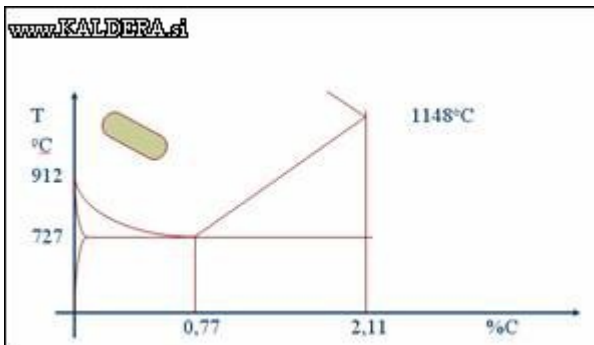
- nekatere snovi imajo pri različnih temperaturah različne kristalne rešetke;
- v zlitinah s spreminjajočo se topnostjo v trdnem stanju, se s temperaturo spreminja stopnja nasičenosti;
- pri višjih temperaturah lažje poteka difuzija;
- pri višjih temperaturah rastejo kristalna zrna in struktura postaja bolj groba.

### DIFUZIJSKO ŽARJENJE

S tem žarjenjem popravljamo kemično sestavo ulitkov.

Žarjenje poteka pri visokih temperaturah, med 1100 in 1300 °C.

Po difuzijskem žarjenju dobimo izdelke enakomerne kemične sestave z grobo zrnato strukturo in debelo oksidno plastjo.



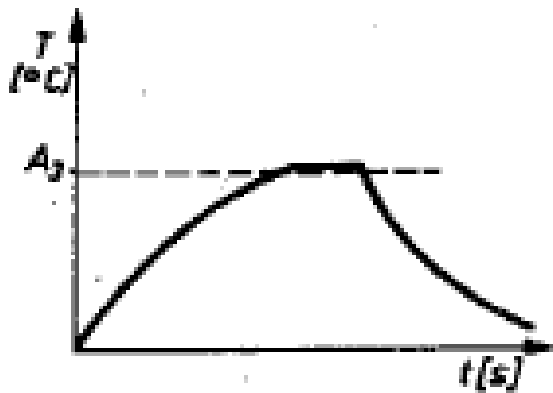
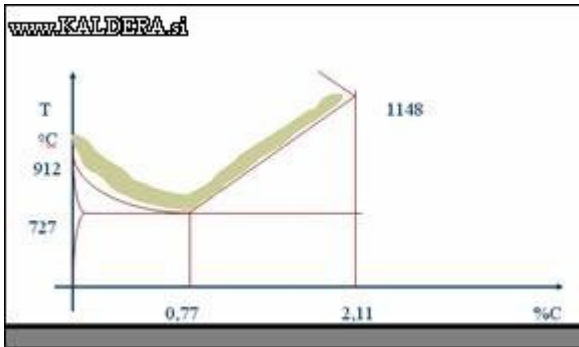
### NORMALIZACIJSKO ŽARJENJE

S tem žarjenjem popravljamo strukturo, predvsem pa želimo zmanjšati velikosti zrn.

Pri tehnoloških postopkih, kot so valjanje, kovanje, litje, varjenje, se namreč tvori vlaknata in usmerjena struktura.

Z normalizacijskim žarjenjem dobimo fino zrnato strukturo.

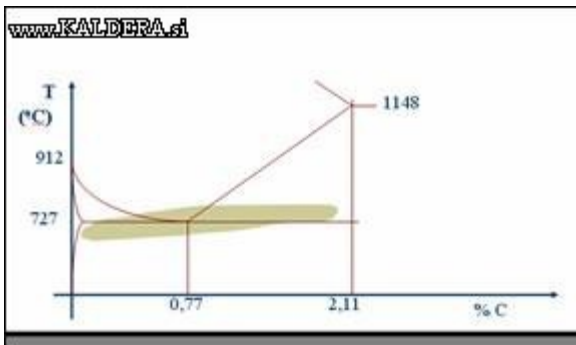
S segrevanjem moramo priti v avstenitno področje in tu zadržati 5 - 10 min.

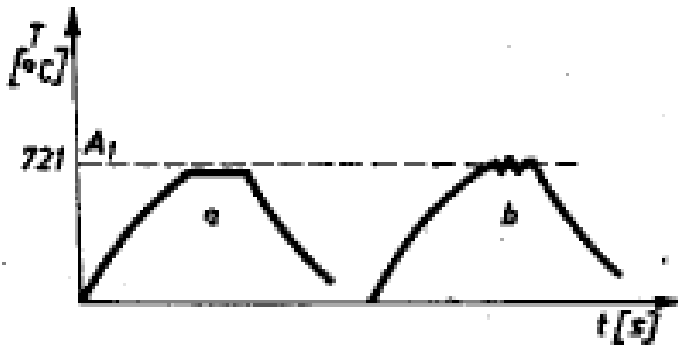


Sl.3.20 Temperaturno časovni diagram normaliziranja

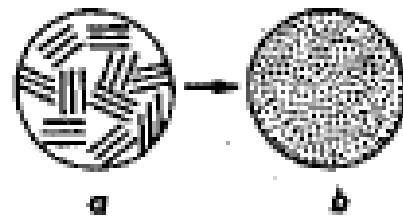
### ŽARJENJE NA MEHKO

Pri tem postopku želimo doseči stanje jekla z najmanjšo trdoto, predvsem zato, da bi ga čim lažje mehansko obdelali. Končno stanje je praviloma zrnati perlit - to so okroglasti delci cementita v feritni osnovi.





Si.3.21 Temperaturno časovni diagram žarjenja na mehka



Si.3.22 Koagulacija

## REKRISTALIZACIJSKO ŽARJENJE

Rekristalizacijsko žarjenje je uporabno po tehnoloških postopkih, kjer se jeklo zelo utrdi, to pa so ponavadi postopki hladnega preoblikovanja. Materialu se zmanjša duktilnost (lastnost materiala, da prenese plastično deformacijo, ne da bi se zlomil), povečata pa trdota in trdnost.

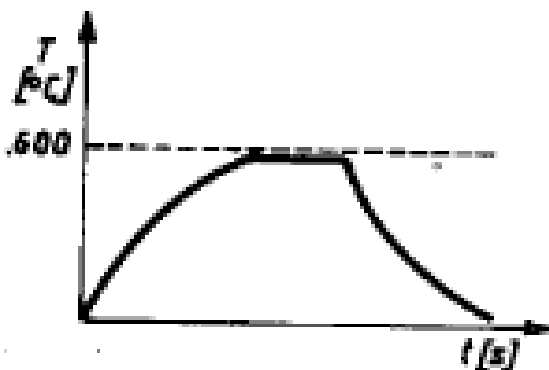
Jeklo pri tem tipu žarjenja segrejemo na cca. 400 °C, pri tem pa se pričnejo tvoriti nova, še nedeformirana zrna - rekristalizacija. Čas žarjenja naj traja največ dve uri.

## ŽARJENJE ZA ODPRAVO NOTRANJIH NAPETOSTI

S tem postopkom zmanjšamo notranje napetosti v obdelovancu, ki nastanejo zaradi grobe obdelave in velikih temperaturnih nihanj.

Notranje napetosti so vzrok za kasnejše deformacije izdelkov in celo razpoke v njih.

Temperature žarjenja se gibljejo od 550 °C pa vse do 700 °C, odvisno od materiala obdelovanca. Material pri tem počasi segrevamo na žarilno temperaturo, in sicer od dveh do šest ur, nato pa obdelovanec hladimo zelo počasi do temperature okolice (da ne bi zopet prišlo do notranjih napetosti v materialu).



Si.3.23 Temperaturno časovni diagram žarjenja za odstranitev napetosti

## KALJENJE

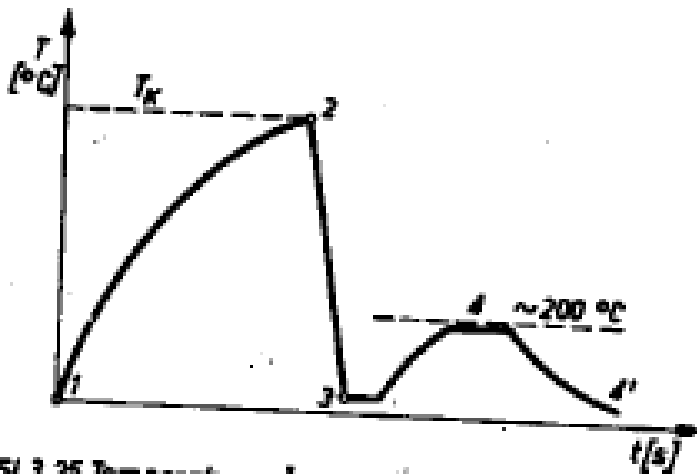
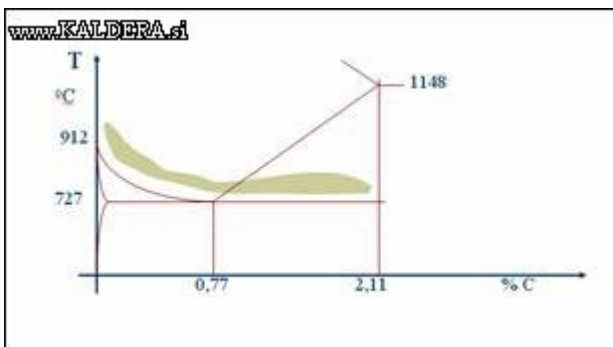
Kaljenje jekla je toplotna obdelava, s katero jeklo močno utrdimo, pri tem pa nastopi struktura imenovana martenzit. Ta struktura je izredno trda, vendar pa z zelo majhno žilavostjo in visokimi notranjimi napetostmi.

Izdelek moramo najprej po celotnem preseku enakomerno segreti - paziti moramo, da se izdelek ne pregreje.

Nato 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.

Po kaljenju sledi popuščanje jekla za povečanje žilavosti oz. zmanjšanja trdote in trdnosti jekla.



Sl.3.25 Temperaturno časovni diagram kaljenja in popuščanja

pri točki 1. ferit (+ perlit ali sek. cementit)  
pri točki 2. avstenit  
pri točki 3. martenzit in  
pri točki 4. martenzit s zmanjšanimi napetostmi.

ogljikova jekla	$T_k = 770 \dots 920 \text{ } ^\circ\text{C}$
legirana jekla	$T_k = 800 \dots 1100 \text{ } ^\circ\text{C}$
hitrorezna jekla	$T_k = 1200 \dots 1300 \text{ } ^\circ\text{C}$

### POPUŠČANJE

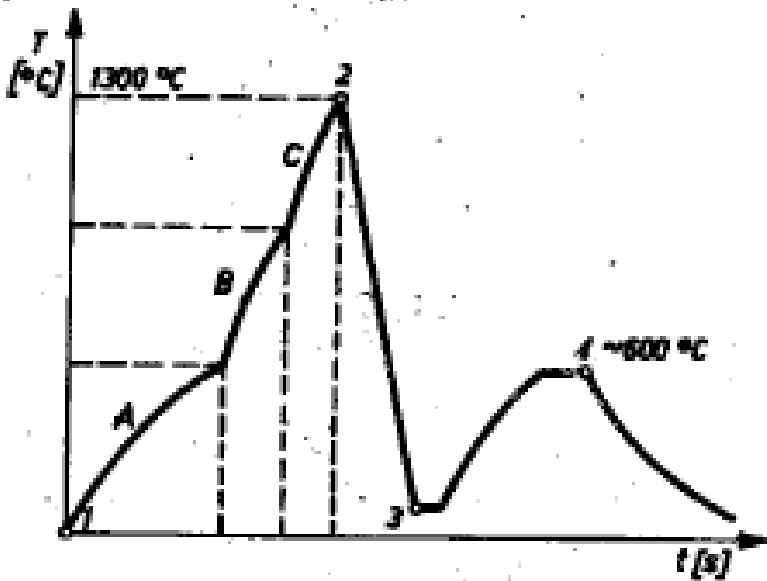
Popuščanje je toplotna obdelava, ki sledi kaljenju jekla. Njen namen je povečati žilavost jekla, ob tem pa se zmanjšata njegova trdota in trdnost.

Poznamo tri načine popuščanja:

Nizkotemperaturno popuščanje - poteka pri 150 do 250 C, pri tem se trdota le malo zmanjša (na okoli 60 HRC), zmanjšajo se notranje napetosti, nekoliko se poveča žilavost.

Srednetemperaturno popuščanje - poteka med 350 in 450 C, pri tem se znižata trdota (35 - 45 HRC) in trdnost, zvišata se razteznost in žilavost.

Visokotemperaturno popuščanje - poteka pri temperaturah med 550 in 700 C, pri tem se precej poveča žilavost jekla, zato se lahko takšno jeklo uporablja za dinamično obremenjene elemente, kot so npr. gredi. Kombinacija kaljenja in visokotemperaturnega popuščanja se imenuje tudi poboljšanje.



Sl. 3.36 Diagram kaljenja hitroreznega jekla

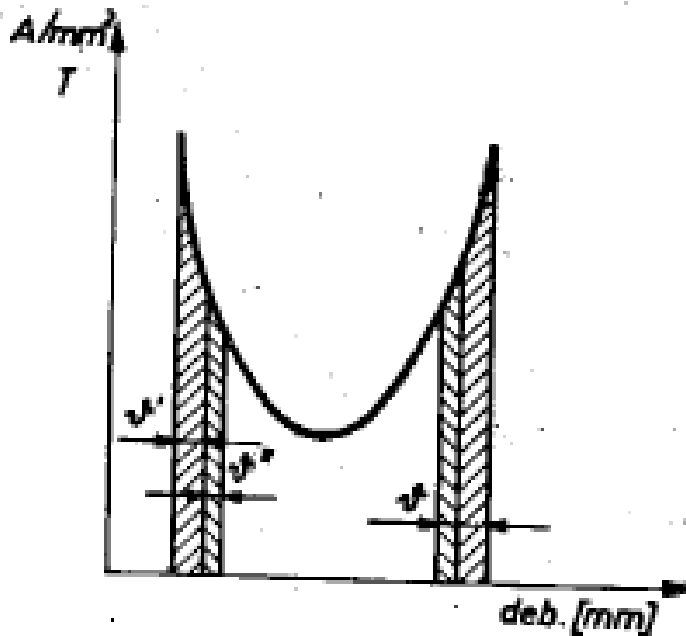
### POVRŠINSKO UTRJEVANJE

S postopki površinskega utrjevanja spreminjamo lastnosti samo površinskega sloja.

Postopki površinskega utrjevanja se izvajajo, ko je izdelek že oblikovan, površina teh izdelkov pa 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.

Primer za induktivno površinsko kaljenje:



Sl. 3.51 Debelina zakažene plasti

$$v_1 = \frac{50}{\sqrt{t}} \text{ [mm]} \quad v_2 = \sqrt{t} \text{ [mm]} \quad v = v_1 + v_2 \text{ [mm]}$$

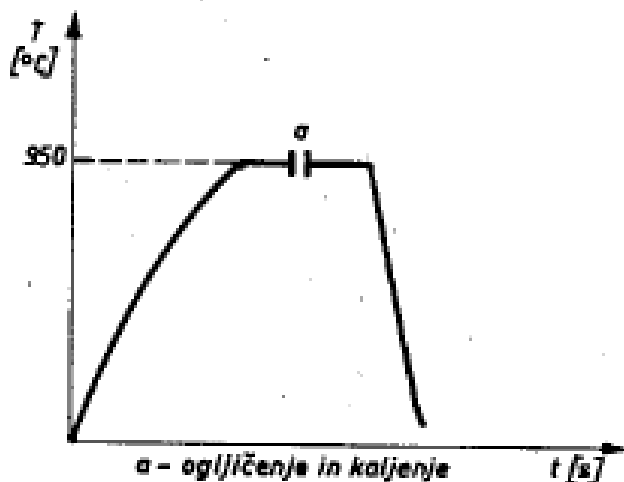
## CEMENTIRANJE

Cementiranje je toplotno kemični postopek površinskega utrjevanja, uporablja pa se pri izdelkih, ki morajo prenašati dinamične obremenitve.

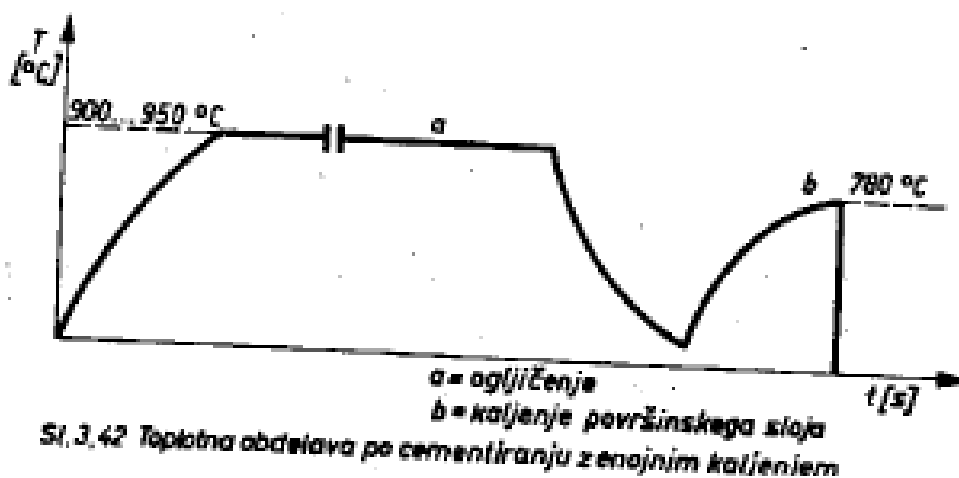
Jekla za cementiranje vsebujejo 0.05 do 0.2% C, zato so dovolj plastična in žilava.

Cementiranje sestoji iz dveh faz, v prvi fazi (ogljichenje), se površina izdelka obogati z zadostno količino ogljika, druga faza pa je kaljenje.

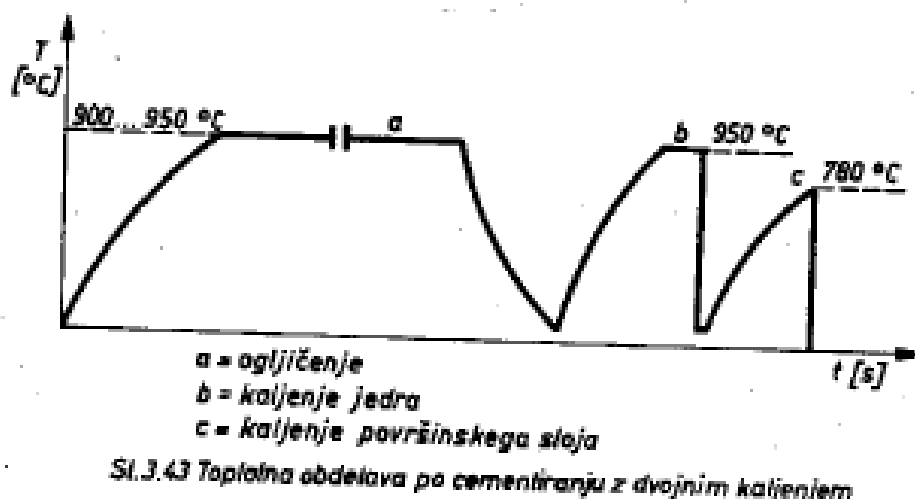
Ogljičenje poteka tako, da se izdelek segreva v sredstvih, ki vsebujejo ogljik (difuzija atomov pri povišanih temperaturah poteka intenzivneje), običajna globina ogličenja je 1 do 3mm, trdota, ki pa jo pri tem dosežemo na površini pa je cca. 66 HRC.



Sl. 3.41 Enostavna toplotna obdelava po cementiranju

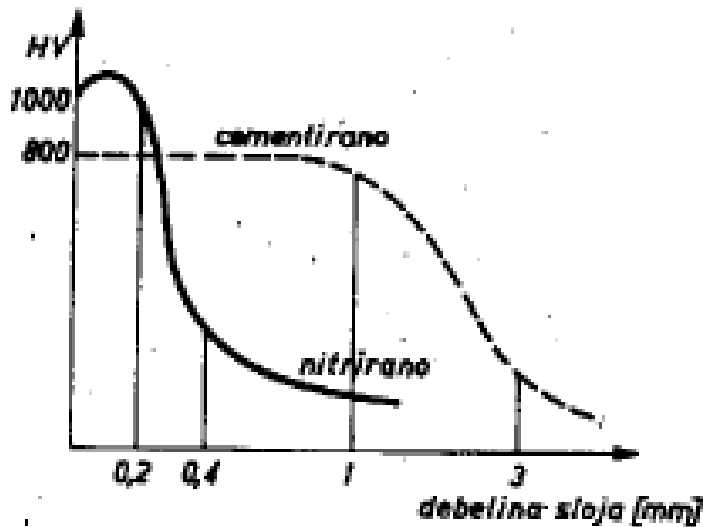


Sl. 3.42 Toplotna obdelava po cementiranju z enojnim kaljenjem



Sl. 3.43 Toplotna obdelava po cementiranju z dvojnim kaljenjem

Primerjava trdot cementiranega in nitiranega sloja:



Sl.3.44 Trdota in debelina nitriranega in cementiranega sloja

## NITRIRANJE

Nitriranje je toplotno - kemični postopek utrjevanja površine, uporablja pa se pri jeklih, ki vsebujejo manj kot 0,2%C, kjer je žilavost jedra dovolj velika.

Za nitriranje so primernejša predvsem jekla, ki vsebujejo tudi manjši delež legirnih elementov, saj le ti povečajo odpornost proti luščenju in obstojnost dosežene trdote tudi pri višjih temperaturah. Primerno je tudi za orodna jekla, saj pridobimo na trdoti tudi pri povišanih temperaturah, nikakor pa ta postopek ni primeren za navadna ogljikova jekla. Nitriranje poteka tako, da izdelke v posebnih komorah, kjer je dušik, žarimo pri temperaturi 500 do 600 C, čas žarjenja (3 do 4 dni) pa je odvisen predvsem od sredstva in želene globine utrjevanja (za 0,7mm debel sloj traja žarjenje 100 ur).

Sredstva za nitriranje:  $\text{NH}_3$  - amoniak, cianidne soli - kopeli KCN, NaCN, NaCl  
 Globina nitiranega sloja je torej majhna, trdota pa je preko 1000 HV.

## NIKOTRIRANJE - TENIFER POSTOPEK (PLINSKO NITRIRANJE)

Postopek Tenifer je najuspešnejši postopek nitriranja v soleh, pri katerem se prepreči tvorjenje kompleksnih železovih spojin v kopelih, ki so povzročale nastanek porozne površinske spojinske cone. Raztapljanje železa v kopeli se prepreči s titanovo oblogo lonca, z vpihovanjem zraka v kopel pa se poveča oksidacija KCN v KCNO, zaradi česar postane kopel bolj reaktivna. Po 1 do 3 urnem nitriranju dobimo okoli 10  $\mu\text{m}$  debelo spojinsko cono izredne kvalitete in nekaj 100  $\mu\text{m}$  debelo spojinsko cono. S tem se zelo poveča obrabna obstojnost površine in trajna trdnost izdelkov. Brušenje po nitriranju ni zaželeno, da ne odstranimo spojinske cone.