



Termička obrada i inženjerstvo površina

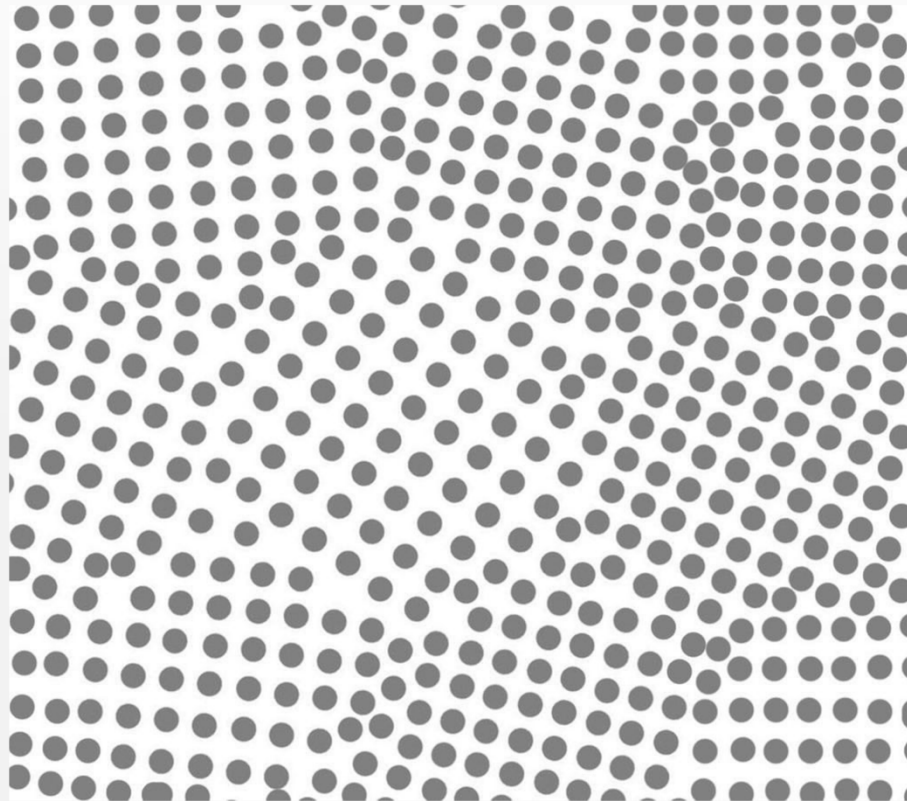


Žarenja

Vanr. prof.dr Pal Terek

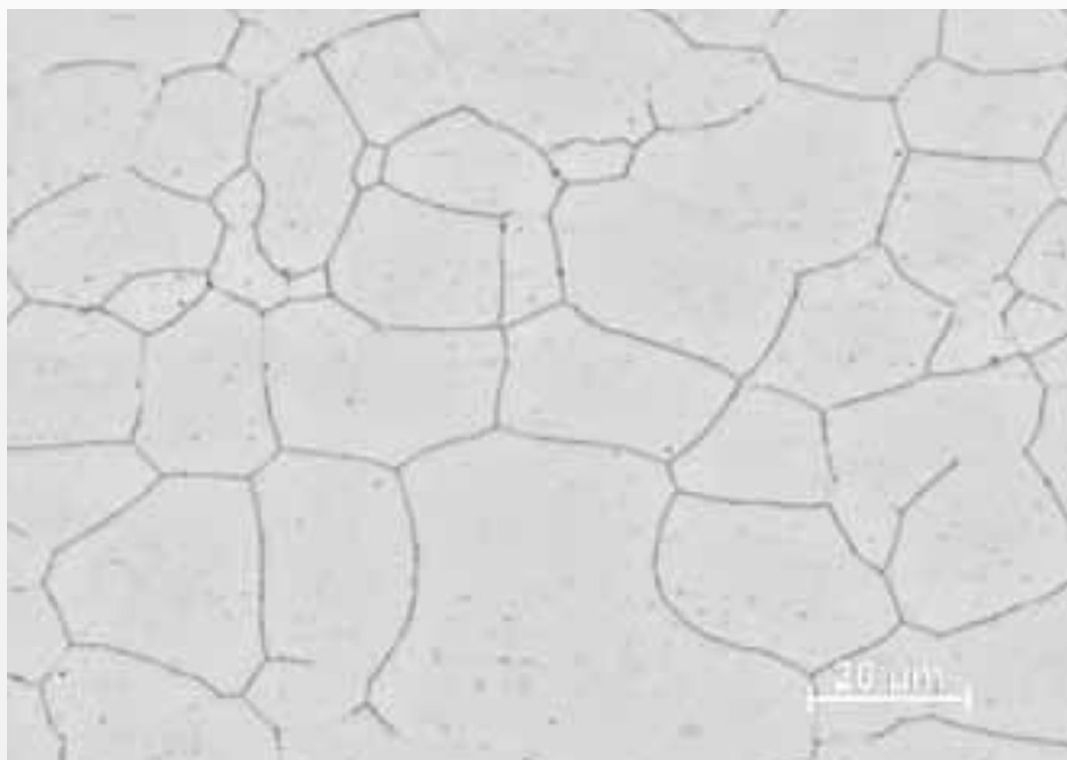
Mikrostruktura metala

- Kako izgleda mikrostruktura metala?



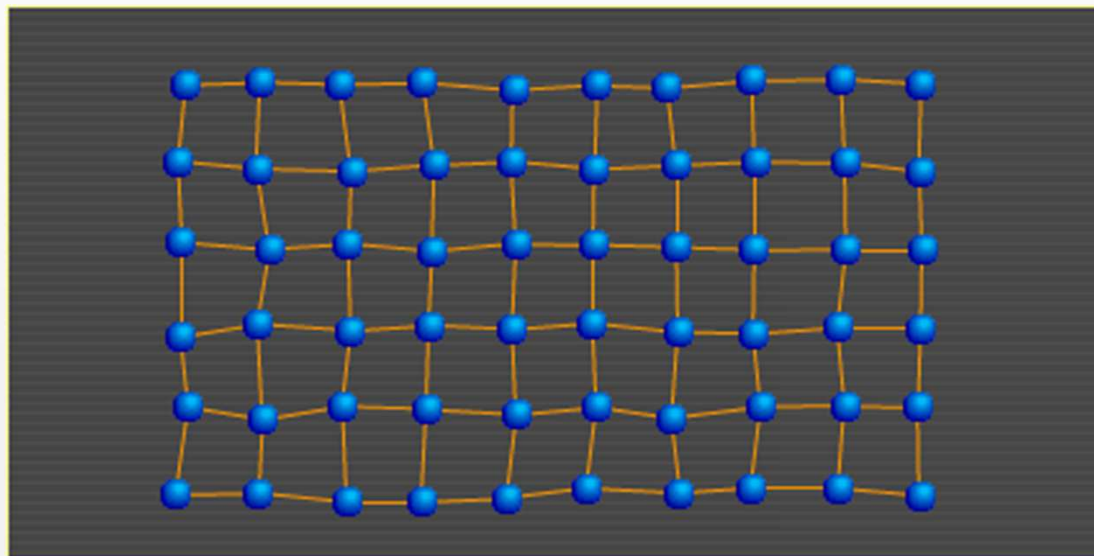
Kako vidimo faze na mikroskopu

- Ovako izgleda feritni nerđajući čelik nakon nagrizanja



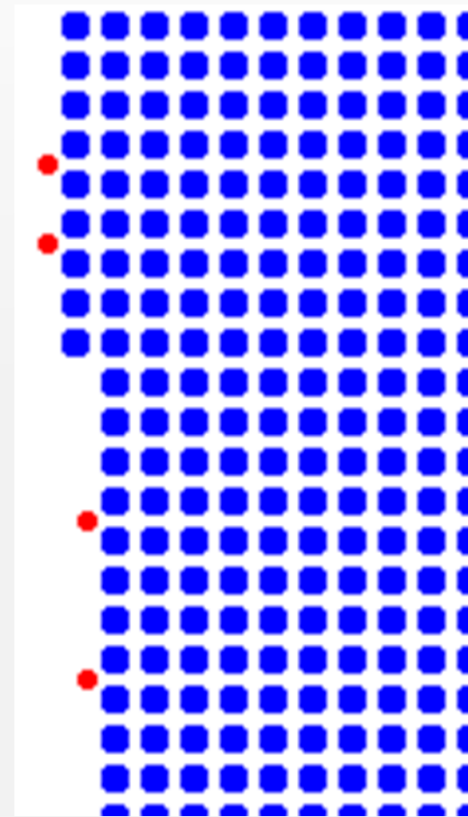
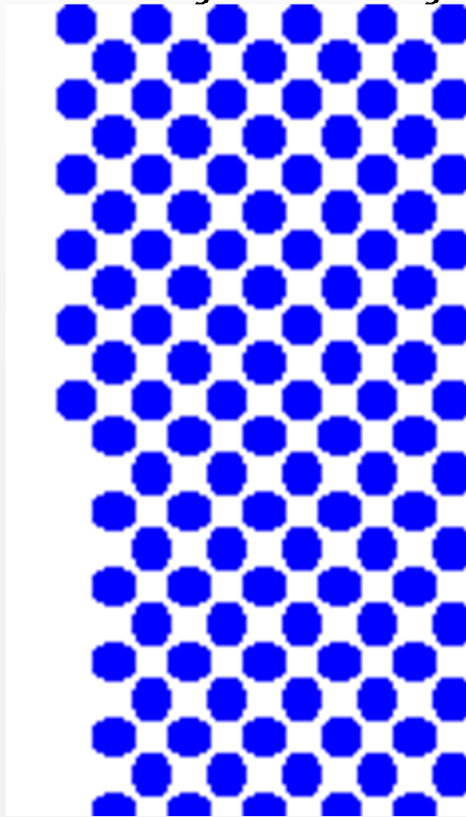
Fe – Fe₃C dijagram stanja

- Šta su zapravo toplota i temperatura?



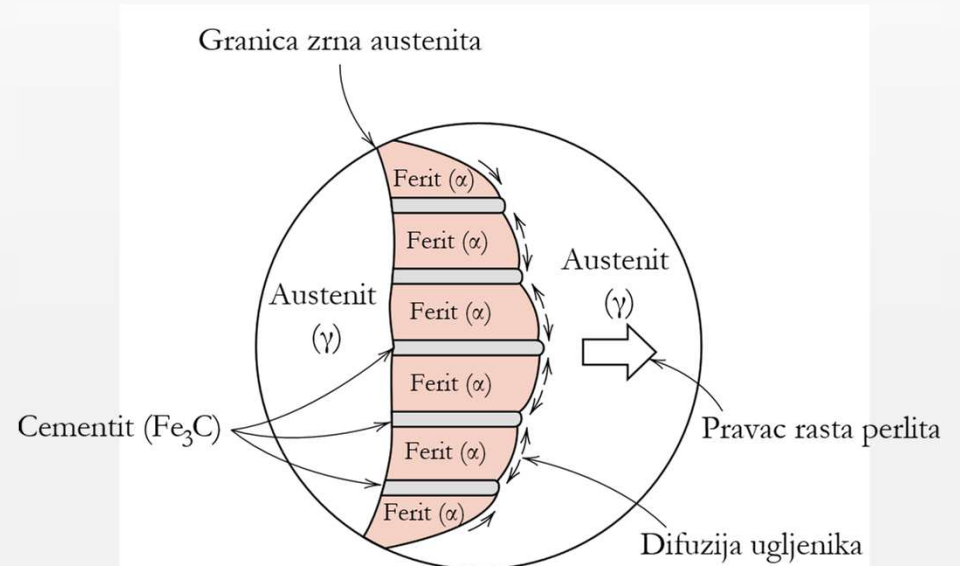
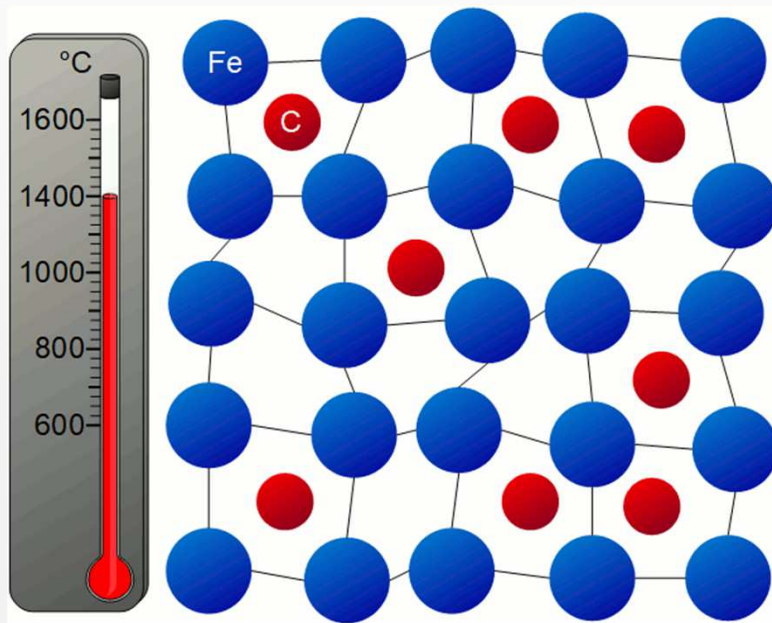
Difuzija

- Usled difuzije se dešavaju promene u mikrostrukturi materijala
- Supstitucijska i intersticijska difuzija atoma

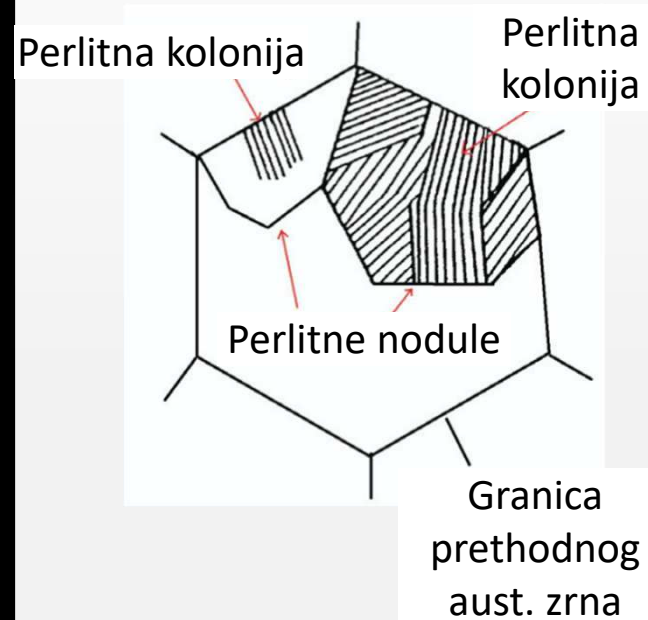
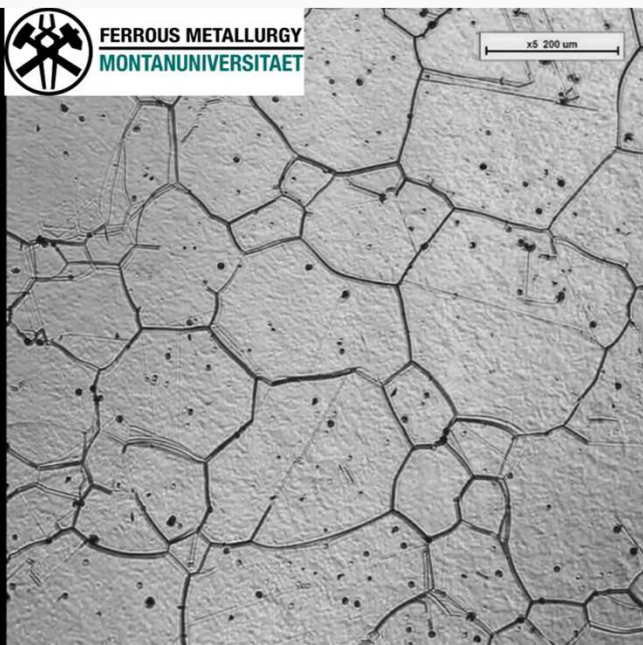


Formiranje perlita

- Sa temperaturom opada rastvorljivost ugljenika

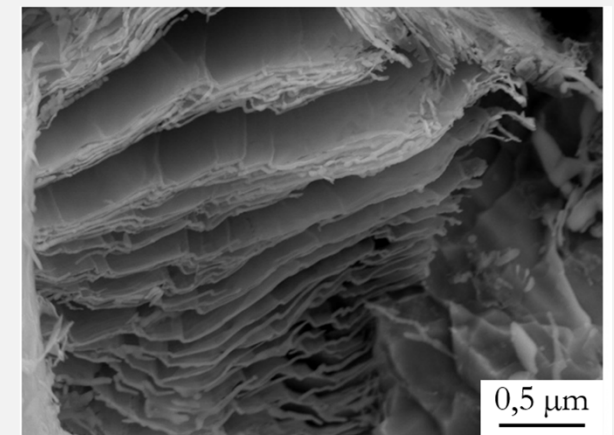
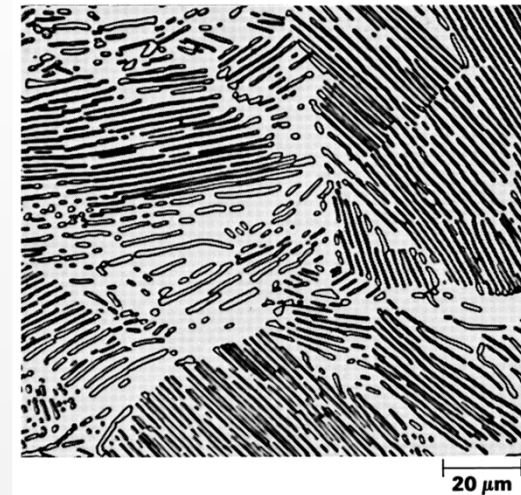
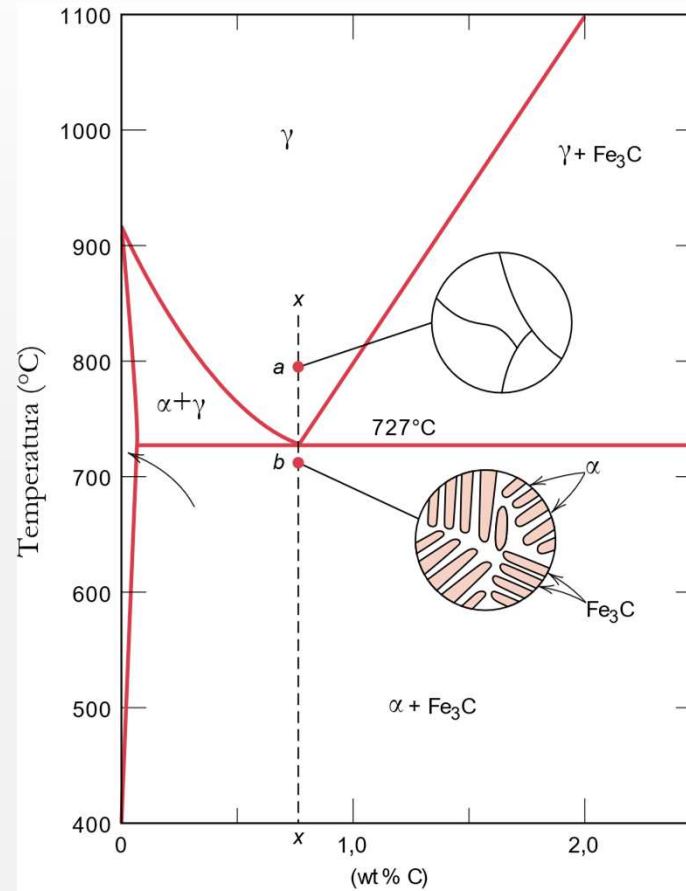


Formiranje perlita



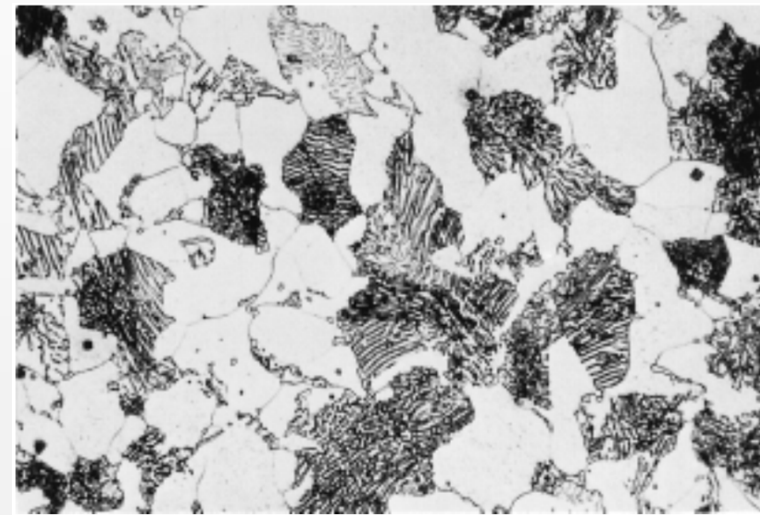
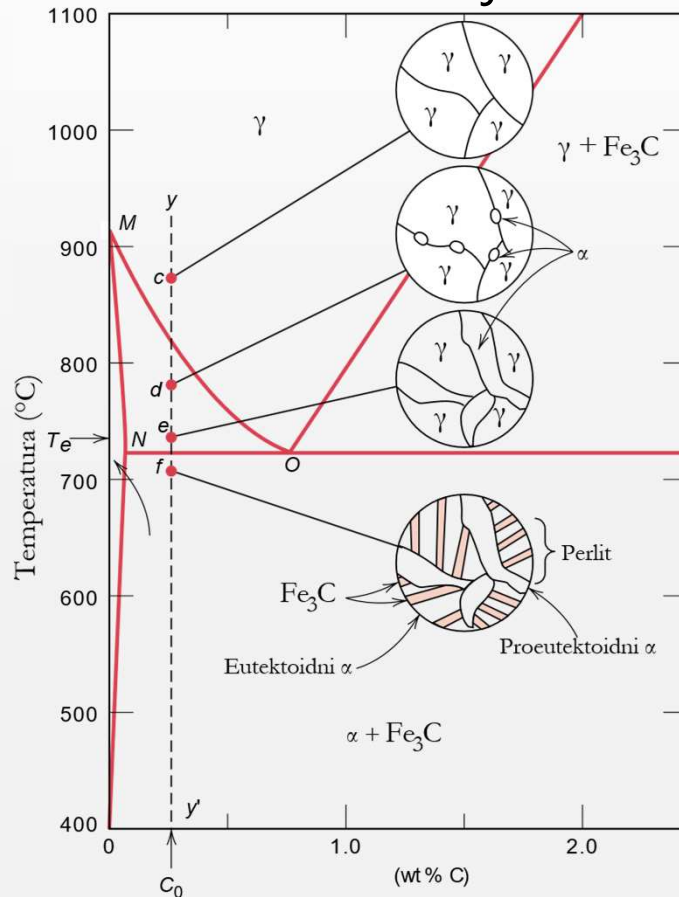
Formiranje perlita

- Eutektoidna transformacija – nastajanje perlita



Fe – Fe₃C dijagram stanja

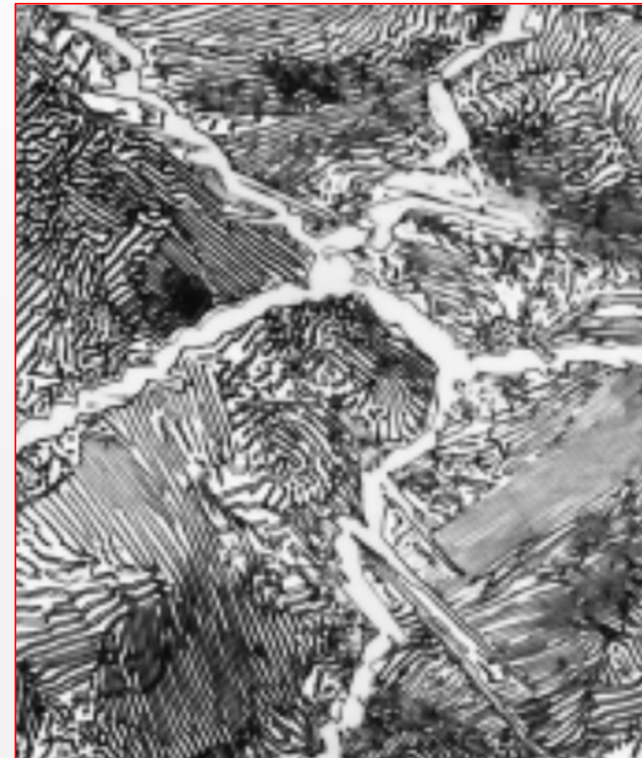
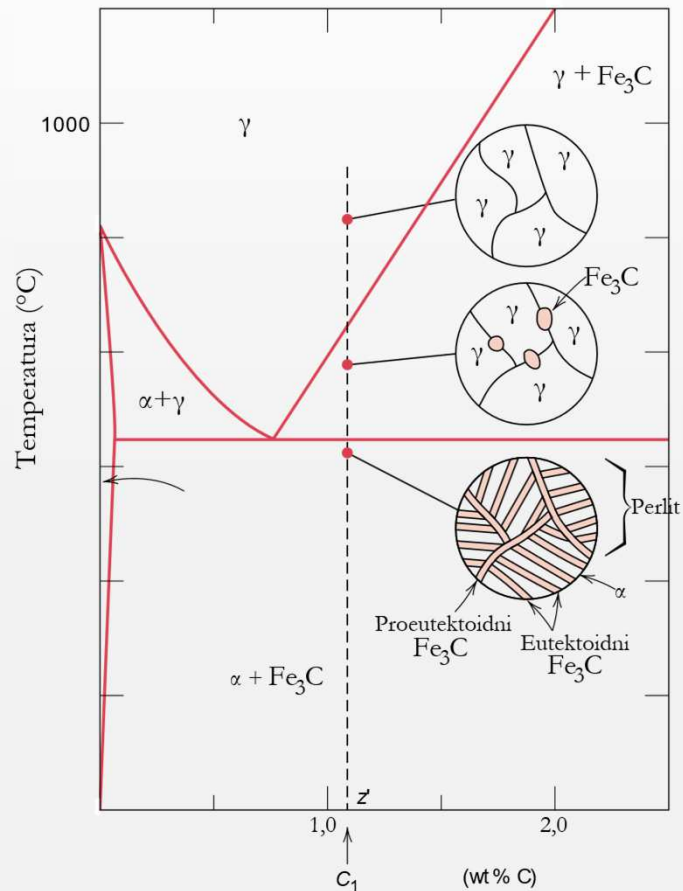
- Podeutektoidna transformacija



600x

Fe – Fe₃C dijagram stanja

- Nadeutektoidna transformacija



1000x

- Izvor: W.D. Callister jr.: Fundamentals of Materials Science and Engineering. ISBN 0-471-39551-X

Postupci žarenja

- Žarenje je opšti naziv za sve postupke kod kojih se radni predmet hladi brzinom manjom od kritične, odnosno kod kojih pri hlađenju dolazi do difuzionih procesa.
- Žarenje se vrši tako što se čelični delovi zagrevaju do određenih povišenih temperatura, drže se izvesno vreme na tim temperaturama i lagano se hlade.
- Žarenja se grubo mogu podeliti u dve grupe:
 - Žarenja I reda – kod kojih ne dolazi do polimorfne transformacije, a ako do njih i dolazi, one nisu osnovni cilj žarenja.
 - Žarenja II reda – kod kojih polimorfne transformacije uslovljavaju obavljanje procesa i neposredni su cilj termičke obrade.

Postupci žarenja

- Žarenja prvog reda (nema promene faznog sastava, tj. to nije cilj):
 - Stabilizaciono žarenje
 - Rekristalizaciono žarenje
 - Homogenizaciono žarenje
 - Visoko žarenje
- Žarenja drugog reda (cilj je promena faznog sastava)
 - Meko žarenje
 - Normalizaciono žarenje (normalizacija)
 - Potpuno žarenje
 - Nepotpuno žarenje

Stabilizaciono žarenje

Stabilizaciono žarenje je termička obrada za uklanjanje zaostalih napona

Prema obuhvatu, unutrašnji naponi mogu biti:

- Zaostali naponi prve vrste-naponi koji su uravnoteženi na makro nivou, tj. Na primer u okviru većih oblasti unutar komada. Npr. Naponi nakon savijanja cevi
 - Zaostali naponi druge vrste – naponi koji su uravnoteženi na nivou nekoliko zrna na primer mogu nastati prilikom brušenja
 - Zaostali naponi treće vrste – naponi na nivou zrna, greške u rešetci, dislokacije
- Stabilizacionim žarenjem se smanjuju zaostali naponi prve vrste (ponekad donekle i druge)

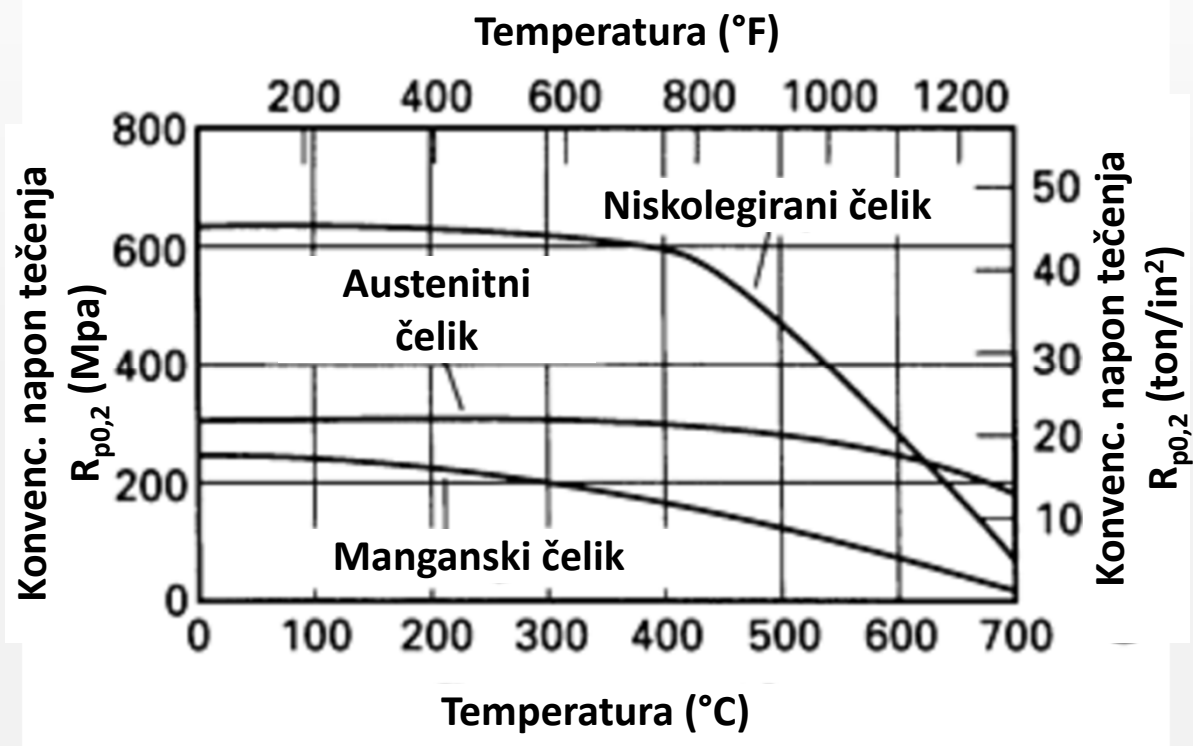


Stabilizaciono žarenje



Stabilizaciono žarenje

- Zagrevanjem se snižava napon tečenja materijala dolazi do puzanja materijala u unutrašnjosti što ga plastično deformiše i na taj način smanjuje napone



Stabilizaciono žarenje se ne primenjuje ako se mora vršiti neki drugi vid termičke obrade

Stabilizaciono žarenje

- Promene pri hlađenju odlivka



Stabilizaciono žarenje

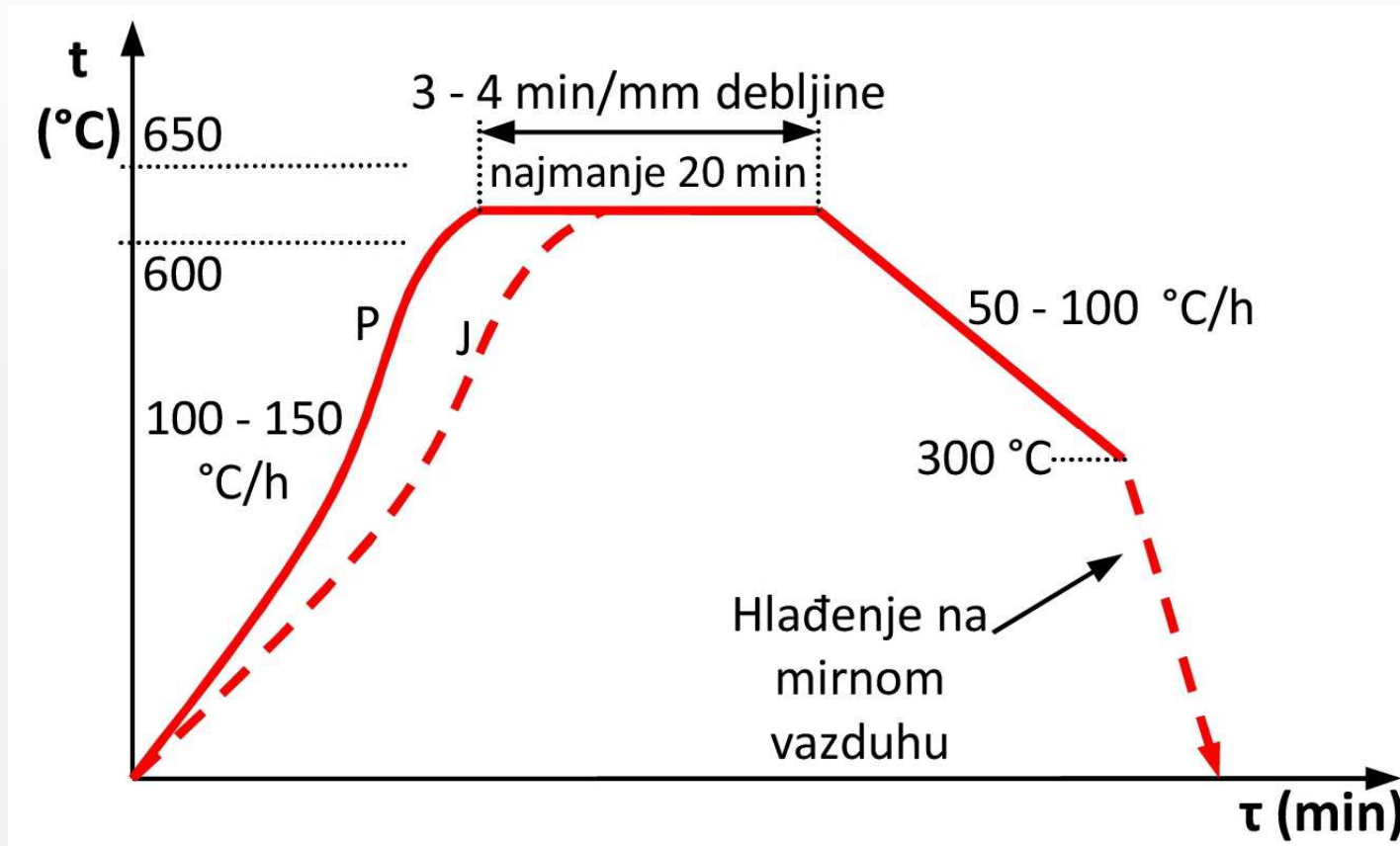
- Promene pri hlađenju odlivka
- Na primeru prostog odlivka sa unutrašnjim naponima prikazano je ono što može da se desi kao posledica obrade rezanjem gornje površine dela



- Stabilizaciono žarenje kod odlivaka nije potrebno primeniti samo ako oni podvrgavaju daljoj termičkoj obradi poput normalizacije ili poboljšavanja

Stabilizaciono žarenje

- Odlivci od sivog liva

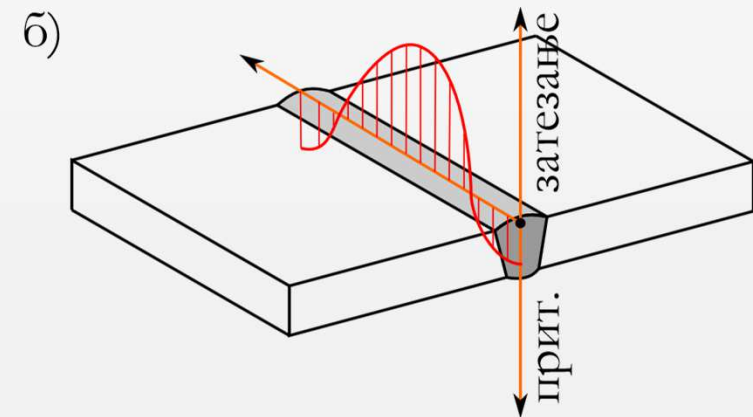
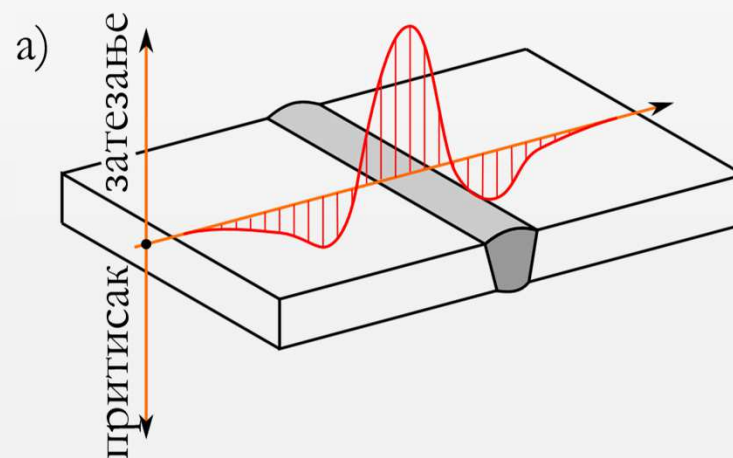


Stabilizaciono žarenje

Pri zavarivanju se lokalno unosi značajna količina toplote koja dovodi do topljenja materijala u šavu, dok ostatak dela ostaje na niskoj temperaturi. Kasnije, pri hlađenju ta velika neujednačenost temperaturnog polja dovodi do pojave značajnih zaostalih napona koji se moraju ukloniti termičkom obradom.

Mogu biti

- Toplotni
- Strukturni

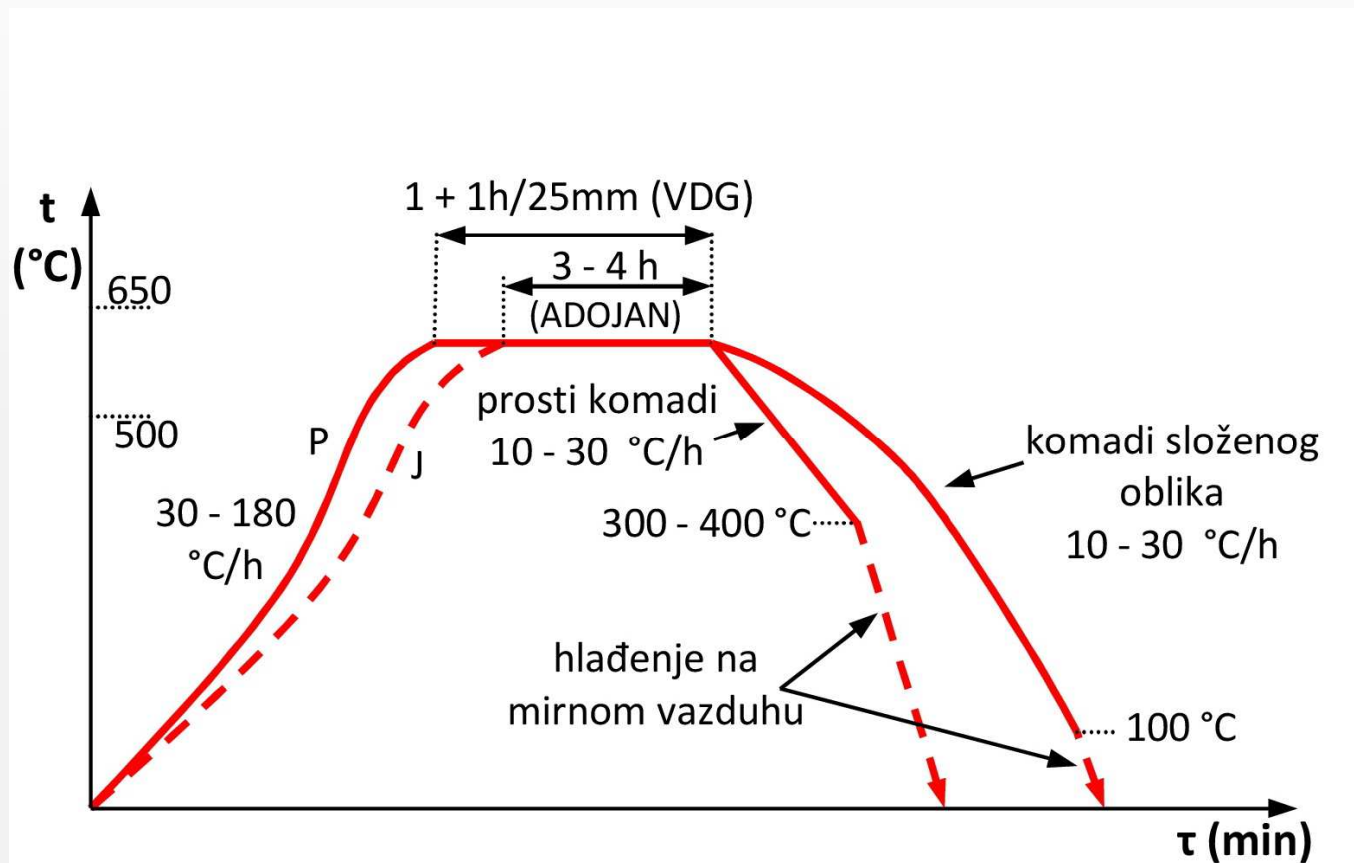


• Razlikujemo dve vrste napona:

- Prinudni nastaju pri spajanju zavarivanjem delova sa slobodnim krajevima
- Reakcioni nastaju pri spajanju zavarivanjem uklještenih delova

Stabilizaciono žarenje

- Zavarene konstrukcije



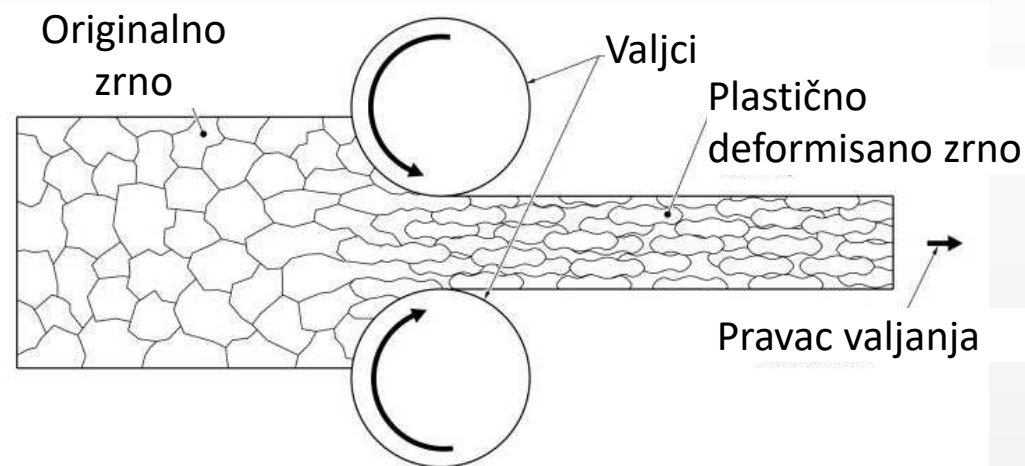
Stabilizaciono žarenje

Stabilizaciono žarenje zavarenih konstrukcija se može vršiti u pećima, ali se za masivne komade odnosno konstrukcije, može vršiti uz pomoć lokalnog zagrevanja. Lokalno zagrevanje se može vršiti gasnim gorionikom, elektrootpornim ili indukcionim putem. Na slici je prikazano elektrootporno zagrevanje velikog ventila.



Rekristalizaciono žarenje

- Ima za cilj omekšavanje čelika koji je prethodno ojačan tokom procesa hladne deformacije. Time se omogućuje nastavak dalje obrade plastičnim deformisanjem na hladno.
- Postupkom rekristalizacionog žarenja deformisana struktura se transformiše u novu, nedeformisanu strukturu



20% smanj. preseka



40% sm. pres.



50% sm. pres.

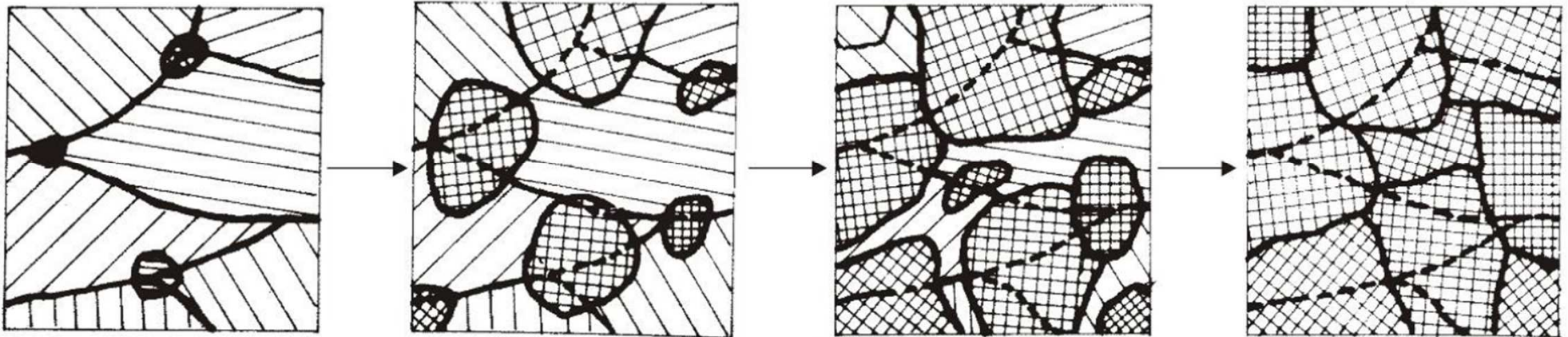
Rekristalizaciono žarenje

- Najčešće se obavlja na temperaturama između 550°C i 720 ° C. Znači tik ispod A1.

temperatura rekristalizacije

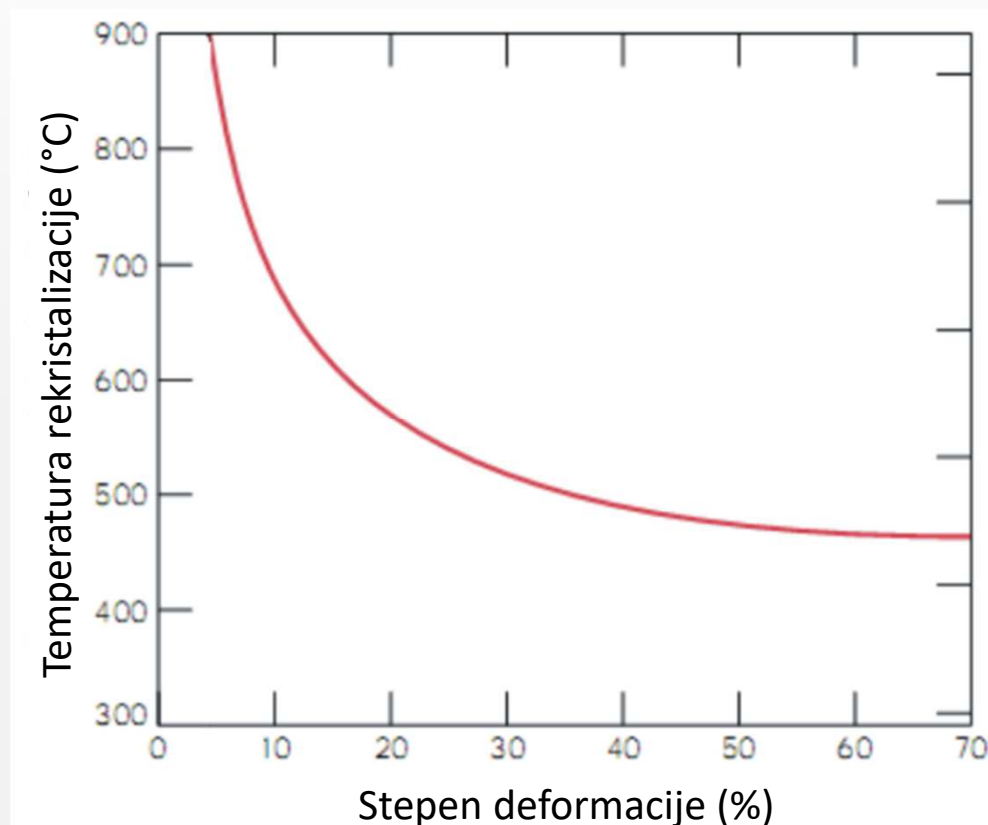
$$T_r \cong 0,4 \cdot T [^{\circ}\text{K}]$$

- Što je stepen deformacije bio veći, to će novonastala zrna biti manja. Ako je stepen deformacije bio neujednačen – takva će biti i novonastala struktura
- Kod niskougleničnih čelika voditi računa o zoni ukрупnjenja zrna o kojoj smo pričali u stabilizacionom žarenju!



Rekristalizaciono žarenje

Neophodna temperatura žarenja i veličina zrna novonastale strukture smanjuju se sa stepenom prethodne deformacije na hladno (veći stepen deformacije, finija zrna).



Visoko žarenje

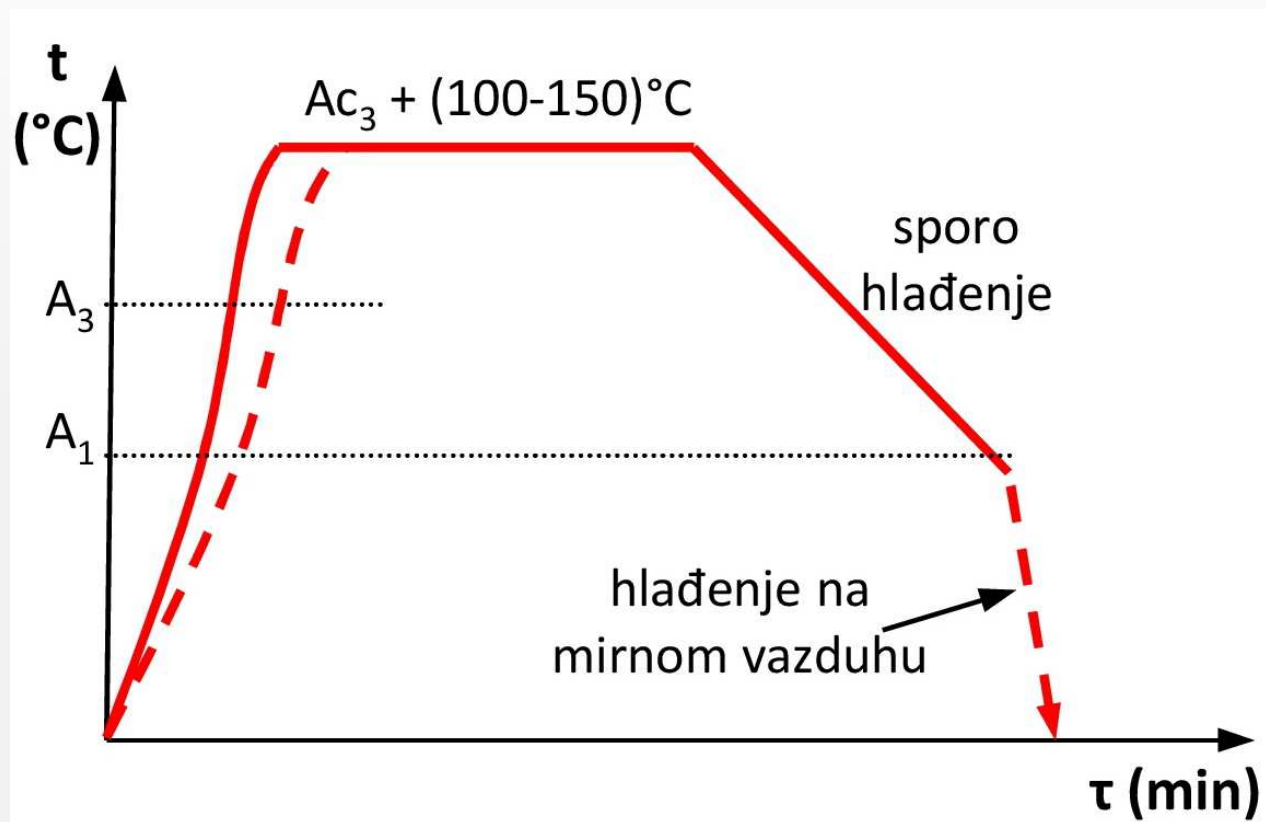


Visoko žarenje

- Ima za cilj povećanje obradivosti rezanjem niskougleničnih čelika (do 0.3 %C), kao i prokaljivosti konstrukcionih čelika.
- Obavlja se na visokim temperaturama u austenitnoj oblasti ($A_{c_3} + (100-150)^\circ\text{C}$) uz dovoljno dugo zadržavanje, što uz sporo hlađenje rezultuje formiranjem krupnozrne strukture. Porast zrna se reguliše izborom vremena i temperature.
- Krupnozrna struktura odlikuje se nepovoljnim mehaničkim osobinama, naročito malom žilavošću. Stoga se visoko-žareni delovi ne smeju koristiti za dinamički opterećene konstrukcije, već se termičkom obradom mora ukloniti krupnozrna struktura.

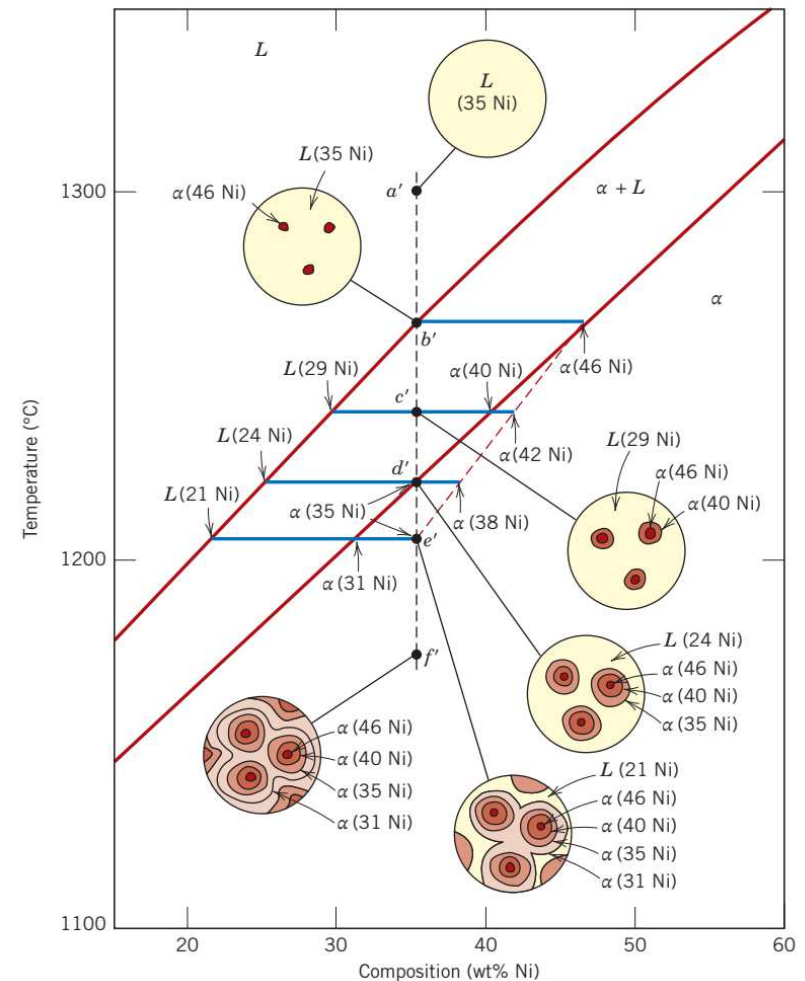
Visoko žarenje

- Dijagram procesa



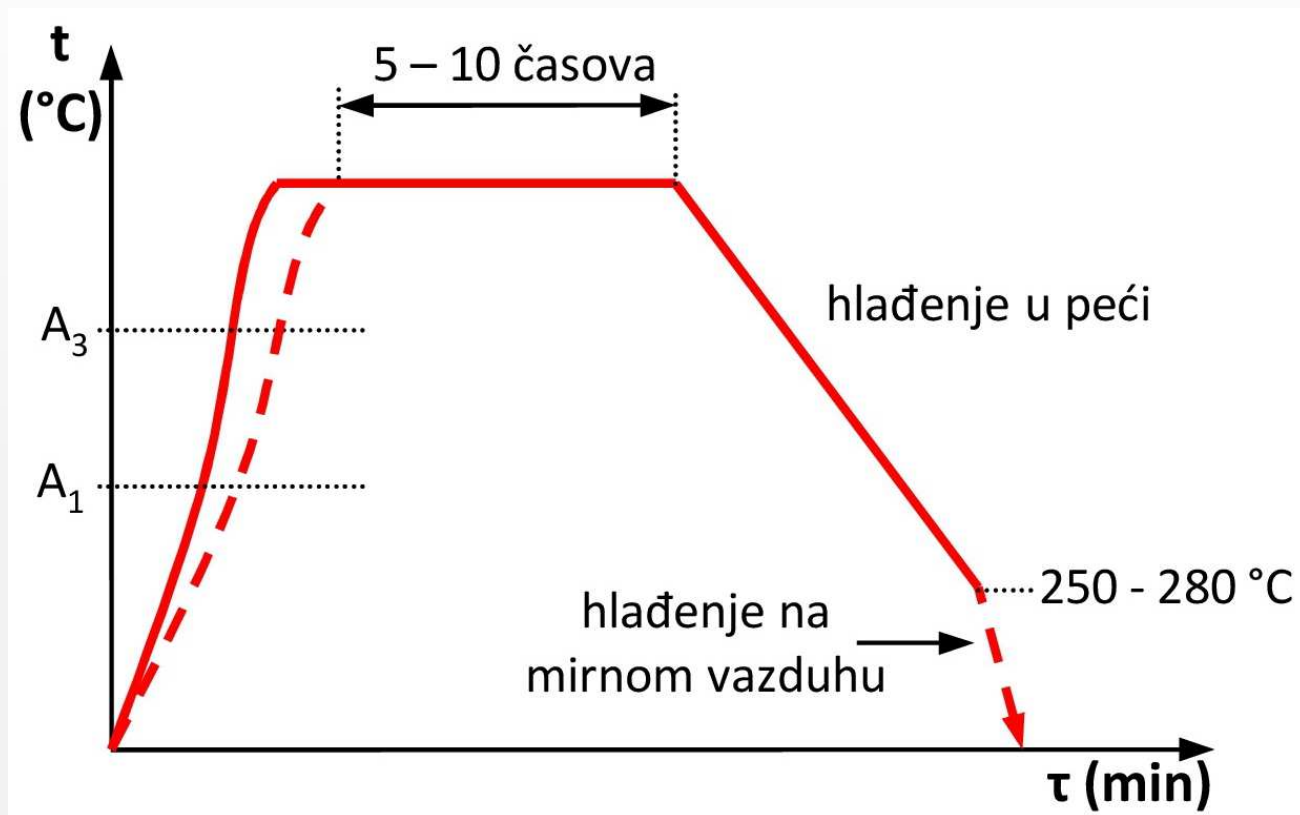
Homogenizaciono žarenje

- Ima za cilj uklanjanje lokalnih razlika u udelu hemijskih elemenata. Primjenjuje se kod masivnih odlivaka od svih vrsta livenih čelika ako se pretenduje na dobre mehaničke osobine. Primena homogenizacionog žarenja u slučaju *legiranih čeličnih odlivaka obavezna je kod odlivaka svih veličina. Kod ostalih čeličnih livova radi se za dimenzije odlivka veće od 100 mm.*
- Kod čeličnih odlivaka homogenizacija se radi na temperaturama od 950 do 1150°C u trajanju od 5 - 10h, a zavisno od veličine komada i vrste čelika. Hlađenje treba da se obavi u zatvorenoj peći.



Homogenizaciono žarenje

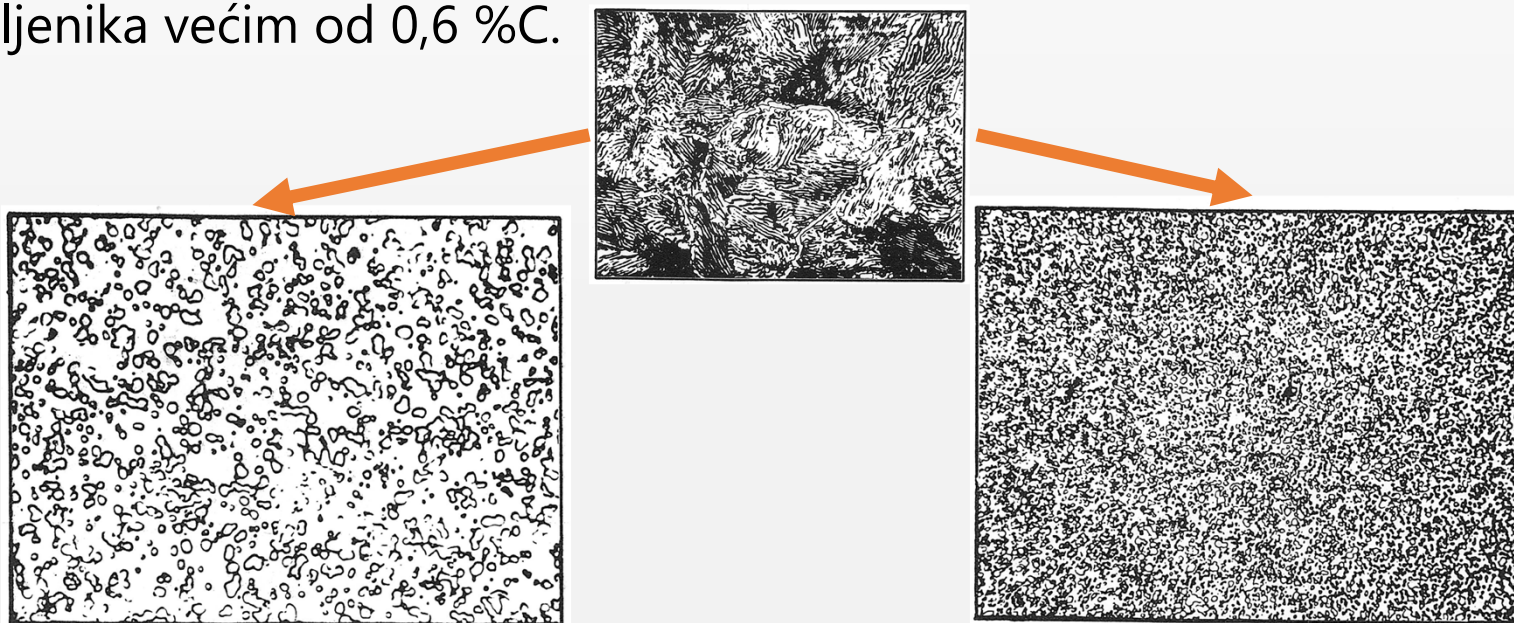
- Dijagram procesa



Ingoti od čelika se žare između 1100 i 1200 $^{\circ}\text{C}$ u trajanju od 12 – 15 časova, a zatim se polako hlade do temperature 250 do 280 $^{\circ}\text{C}$.

Meko žarenje

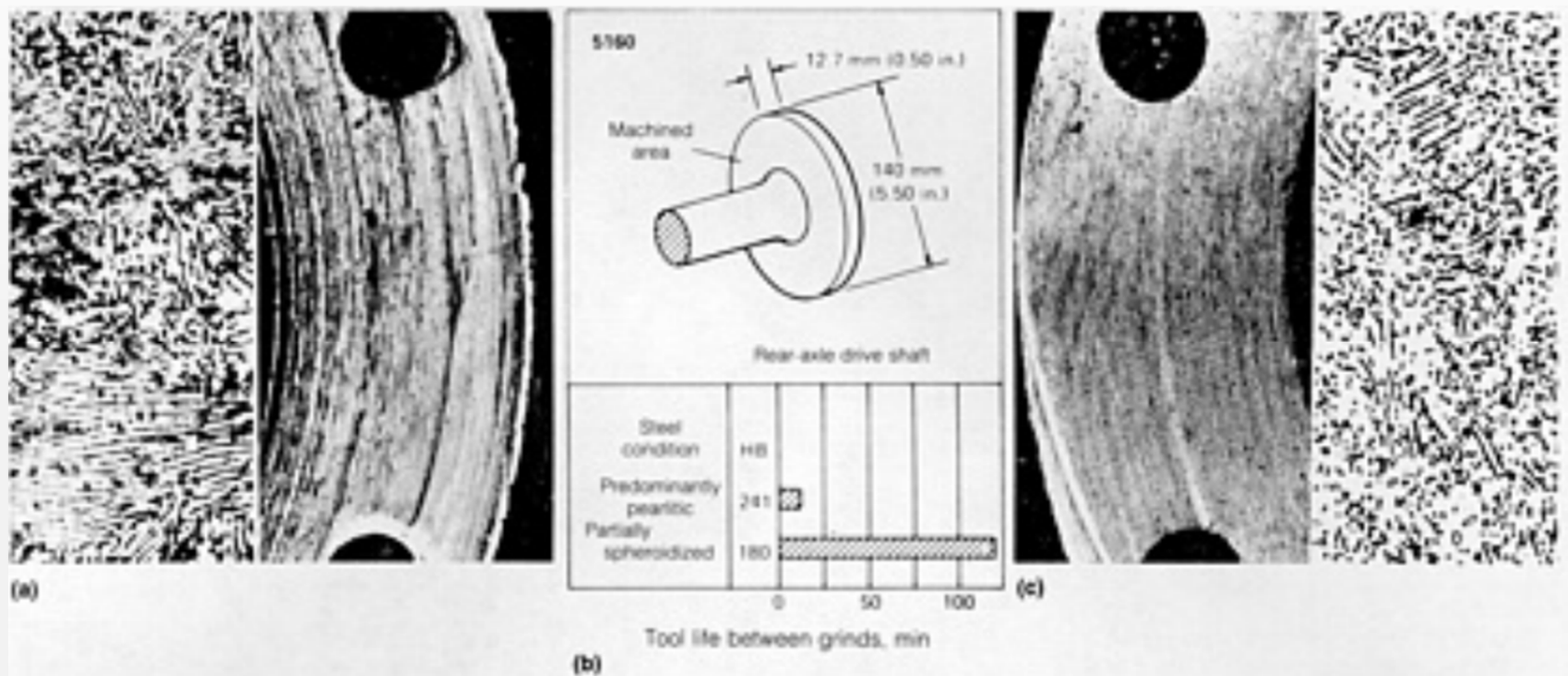
- Ovim vidom žarenja struktura prugastog perlita prevodi se u strukturu zrnatog perlita. (koagulacija cementita)
- Ima za cilj povećanje obradivosti rezanjem i plastičnim deformisanjem kod čelika sa udelom ugljenika većim od 0,6 %C.



- Niskougljenični čelici se ne potvrgavaju m.ž. jer su previše mekani

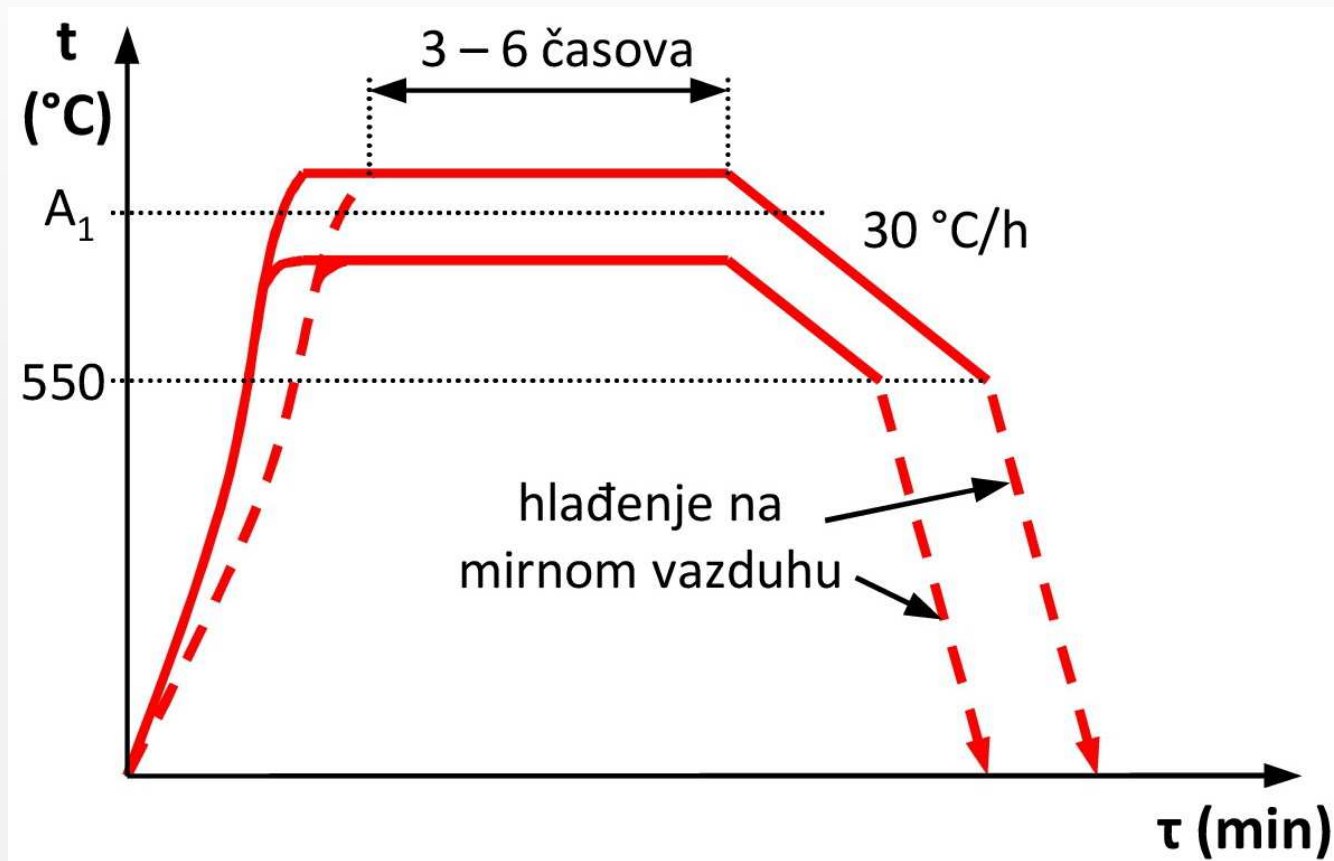
Meko žarenje

- Uticaj mekog žarenja na mašinsku obradu



Meko žarenje

- Dijagram procesa



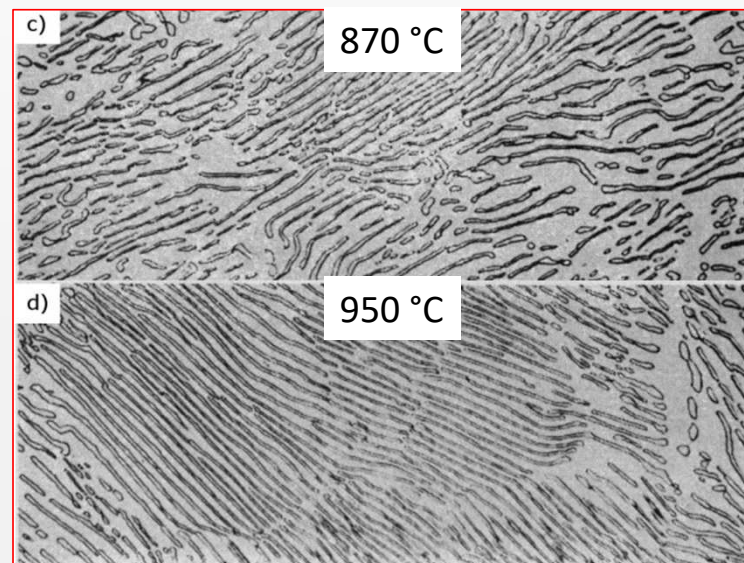
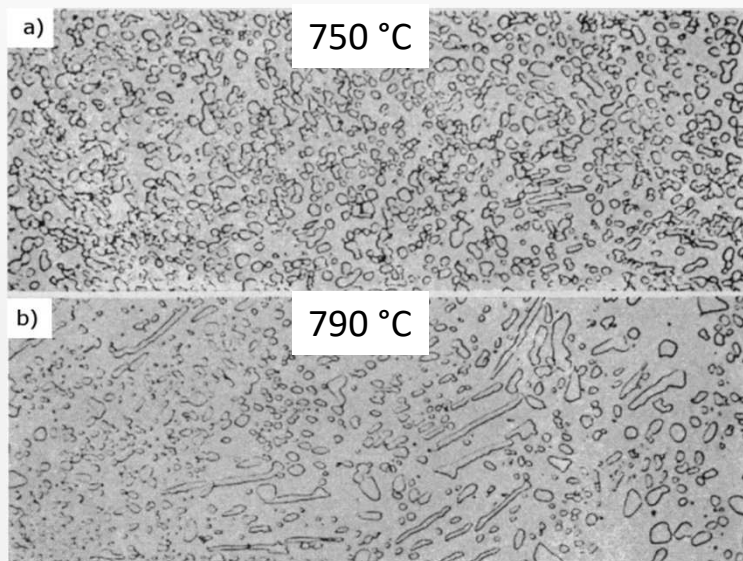
Meko žarenje

- Temperatura mekog žarenja zavisi od vrste čelika.

Čelik	Temperatura °C
Konstrukcioni čelik	malo ispod A_1
Čelik sa 0,9 %C	730
Čelik sa 1,1 %C	740
Čelik sa 1,2 %C	750
Alatni i legirani čelik	750 do 800

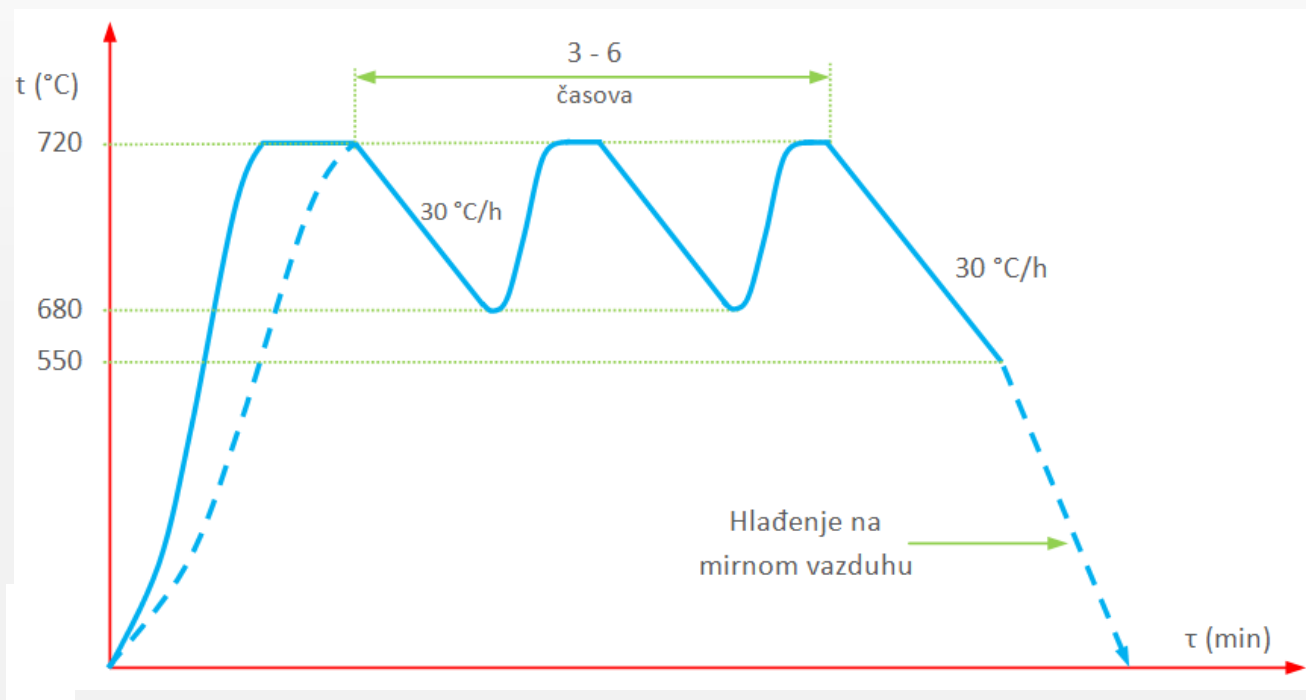
Meko žarenje

- Uticaj temperature na oblik cementita



Meko žarenje

- Kako bi se ubrzao proces koagulacije cementita, ponekad se primenjuje oscilatorna termička obrada gde se komad neprekidno zagreva i hladi ispod A1 temperature.



Meko žarenje

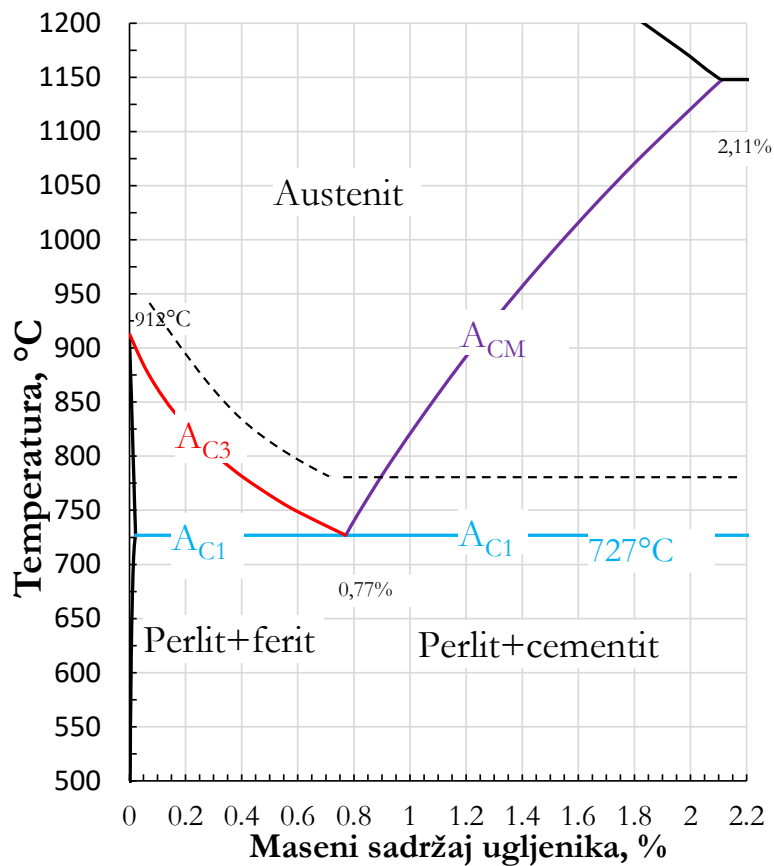
- Struktura zrnastog cementita je uslov za malu tvrdoću i čvrstoću jednog čelika. Ovakva struktura je pogodna za plastičnu deformaciju.
- Zrnasti perlit je struktura povoljna za dalju termičku obradu (kaljenje ili poboljšavanje).
- Suviše krupno zrno zrnastog cementita nije dobro jer tada dugotrajno rastvaranje.

Normalizacija

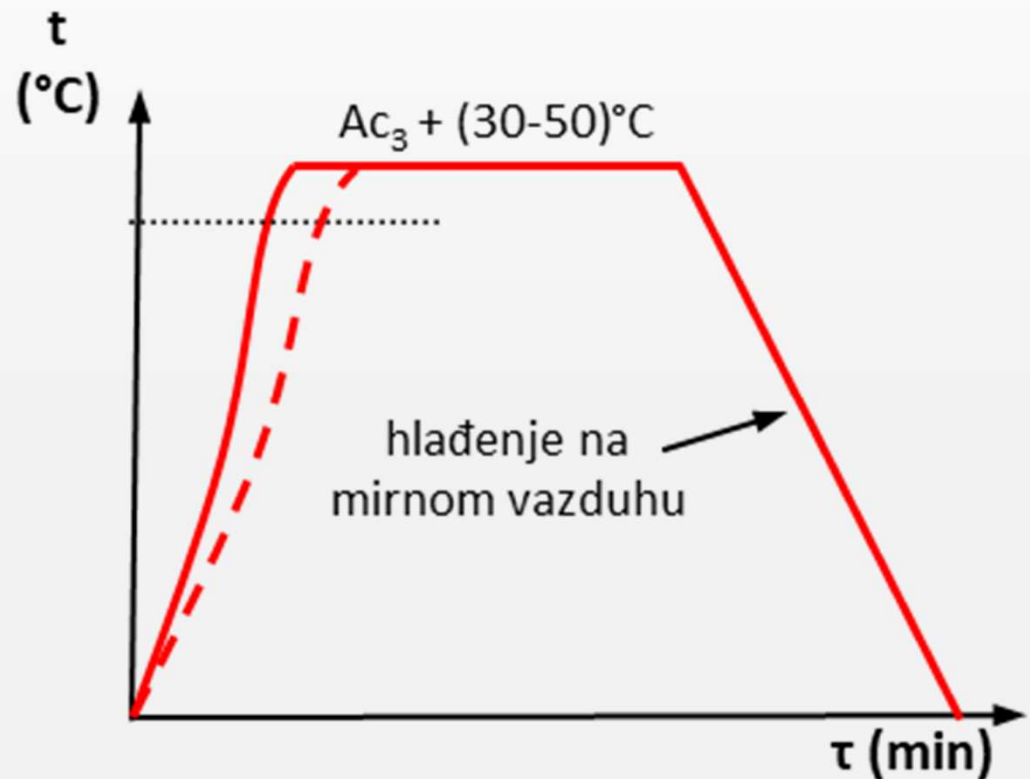
- Ima za cilj popravljavanje strukture, tj. dobijanje strukture prugastog perlita. Vršiti se zagrevanje u austenitnu oblast (za podeutektoidne čelike) ili u prelaznu oblast (za nadeutektoidne čelike), dovoljno dugo zadržavanje na odgovarajućoj temperaturi i hlađenje dovoljno brzo da nastane perlitna struktura.
- Temperature početka i kraja transformacije zavise od vrste čelika, jer prisutni elementi utiču na stabilnost austenita.
- Sa većim sadržajem %C je veća stabilnost, jer je tada linija hlađenja presečena na nižim temperaturama i dobija se struktura sa boljim mehaničkim osobinama. (Nastaje veći broj jezgara transformacije pa je ferit+cementiti finije dispergovani)

Normalizacija

- Deo Fe-Fe₃C dijagrama – isprekidane linije su okvirne temp. zagrevanja pri normalizaciji

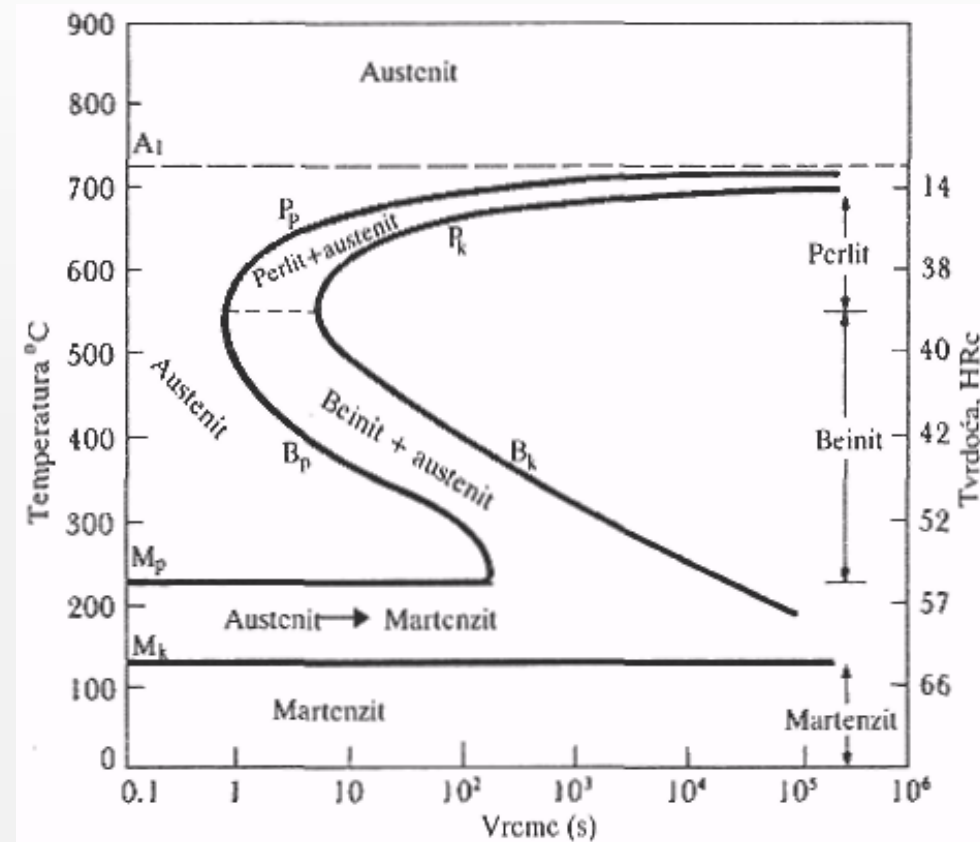


- Dijagram procesa



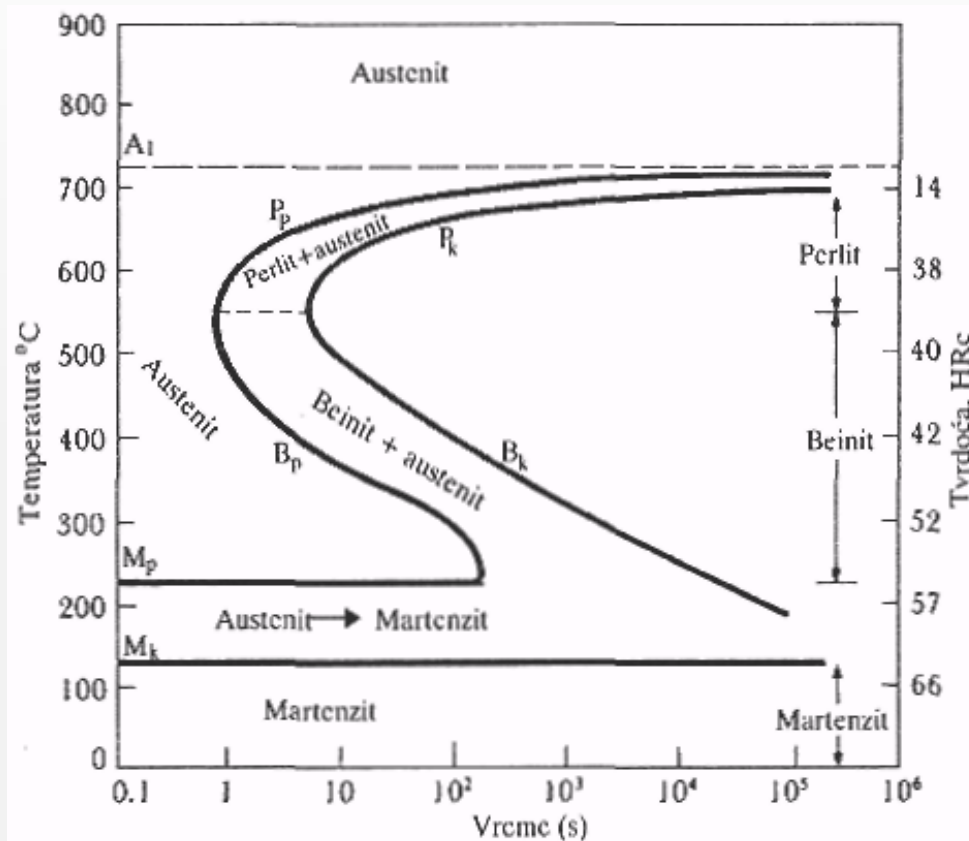
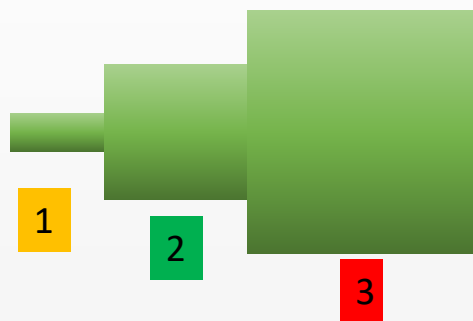
Normalizacija

- Efekat normalizacije zavisi od uticaj veličine pothlađenja (brzine hlađenja određenih regiona dela)
- Sa većim pothlađenjem (tanji komadi) manje je ferita u mikrostrukturi na račun perlita
- Masivni komadi mogu imati grubi ili čak zrnati perlit



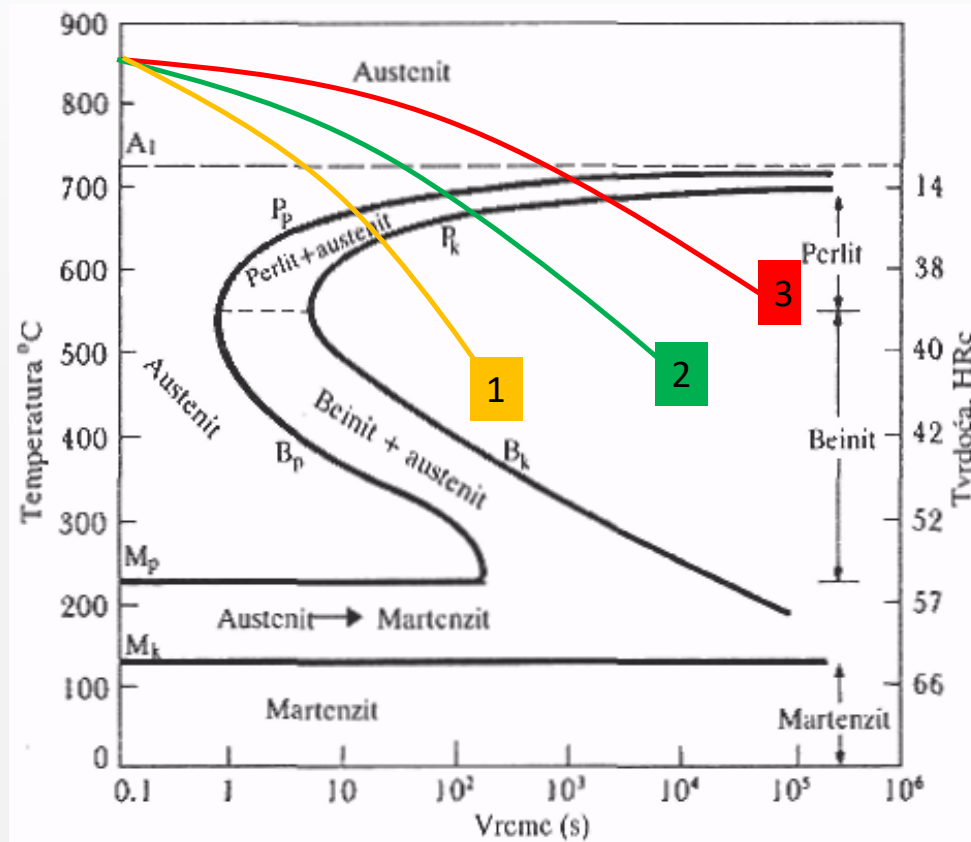
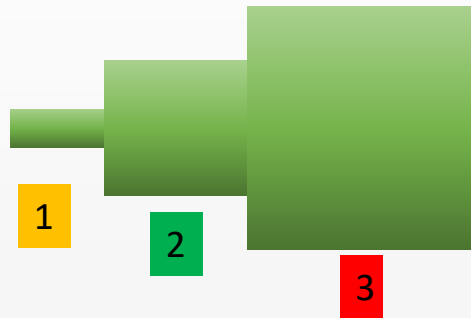
Normalizacija

- Uticaj veličine pothlađenja



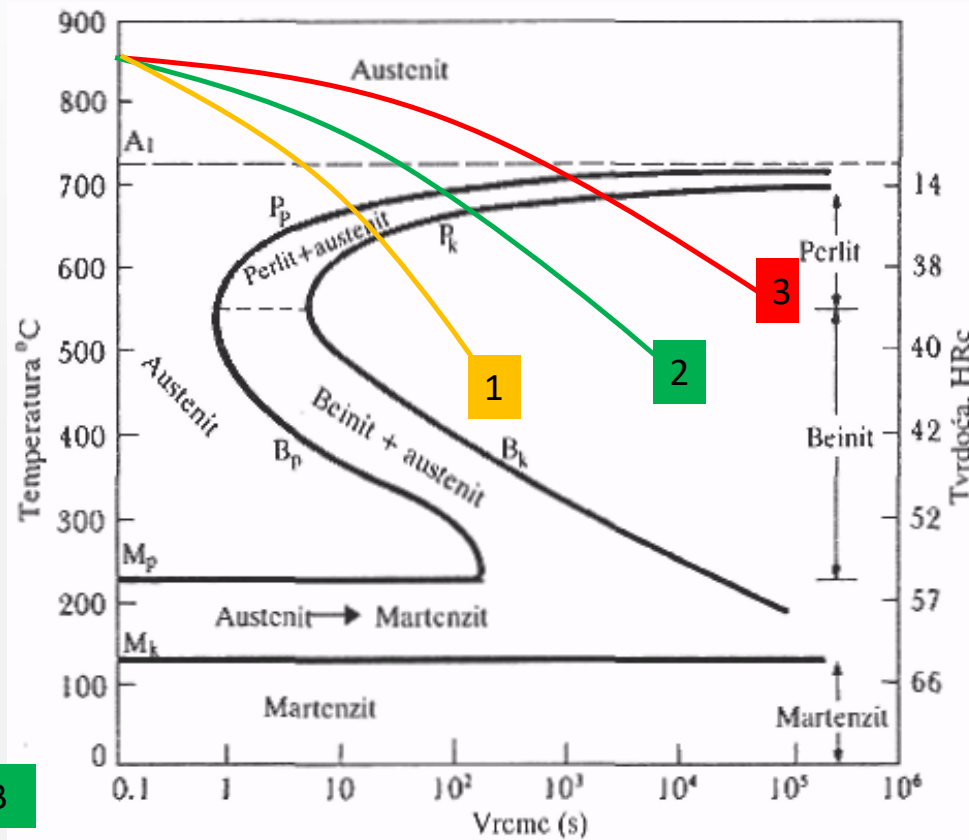
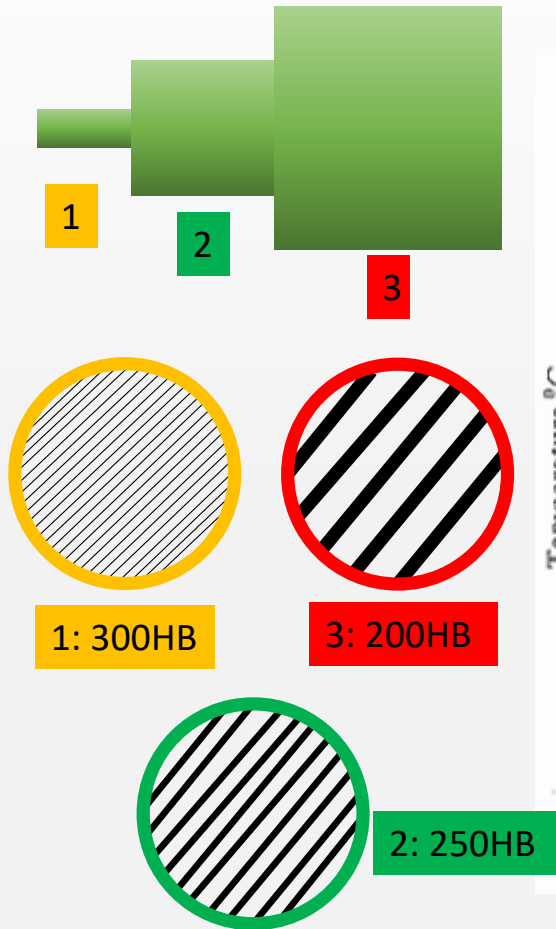
Normalizacija

- Uticaj veličine pothlađenja



Normalizacija

- Uticaj veličine pothlađenja



Normalizacija

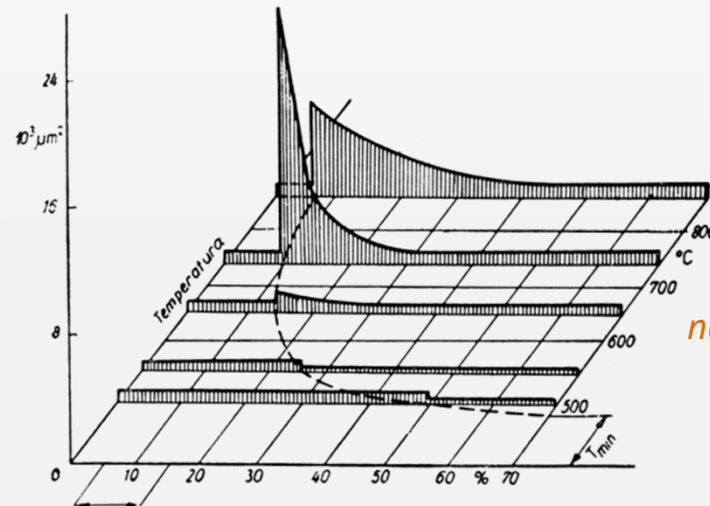
Normalizacija se koristi za popravljavanje mikrostrukture u sledećim slučajevima:

- Delova dobijenih plastičnim deformisanjem na hladno
- Delova dobijenih plastičnim deformisanjem na toplo i hladno
- Odlivaka
- Zavarenih konstrukcija

Normalizacija

- Hladno deformisani komadi

- Konstrukcioni čelici sa malim sadržajem C (ispod 0,2%) često se koriste za plastično deformisanje na hladno.
- Ako je stepen deformacije 5-20% postoji opasnost od stvaranja krupnozrne strukture ako iz bilo kog razoga dođe do zagrevanja iznad praga rekristalizacije (zavarivanje, metalizacija...).



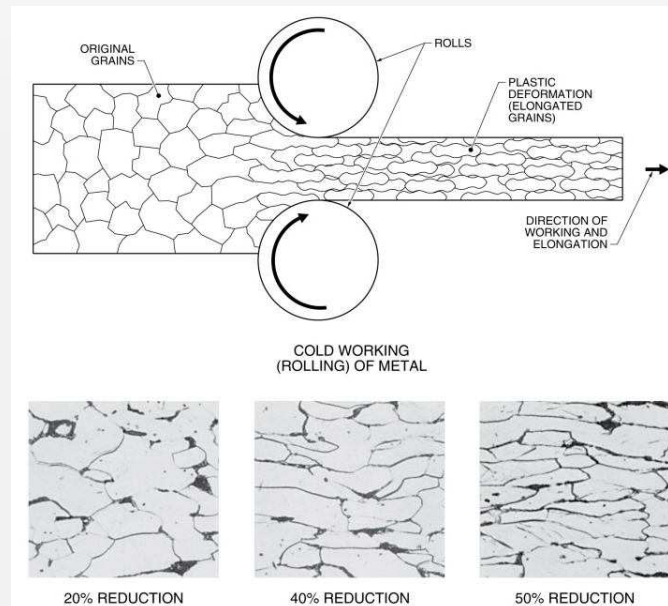
*Dijagram
rekristalizacija
neumirenog čelika sa
0.2% C*

- U tim slučajevima normalizacija se vrši pre eventualnog zagrevanja ili ponovnog plastičnog deformisanja.

Normalizacija

Toplo deformisani komadi

- Pri plastičnom deformisanju na toplo (kovanje), dolazi do vrlo tvrde i grube strukture. Posledica je loša obradivost rezanjem i loše mehaničke osobine. Kod komplikovanih delova je prisutna i Vidman-Štetenova struktura.
- Normalizacija smanjuje anizotropiju (neujednačenost) osobina deformisane strukture.



Normalizacija

- Toplo deformisani komadi

Nakon kovanja i dugog zadržavanja na visokoj temperaturi. Veličina zrna ASTM 3



Nakon normalizacije. Veličina zrna ASTM 6

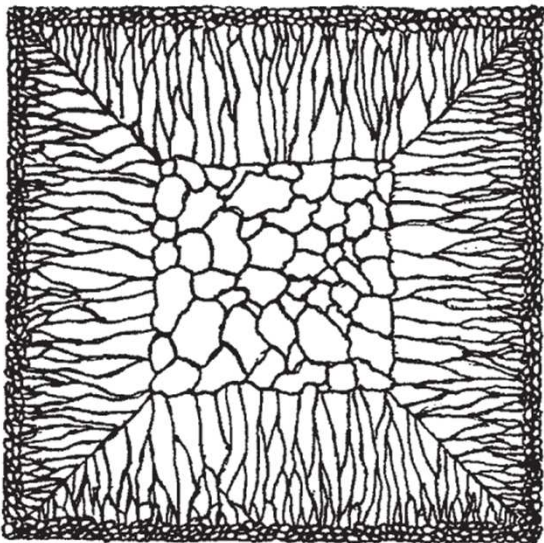


Ugljenični čelik sa 0,5%C; 500x

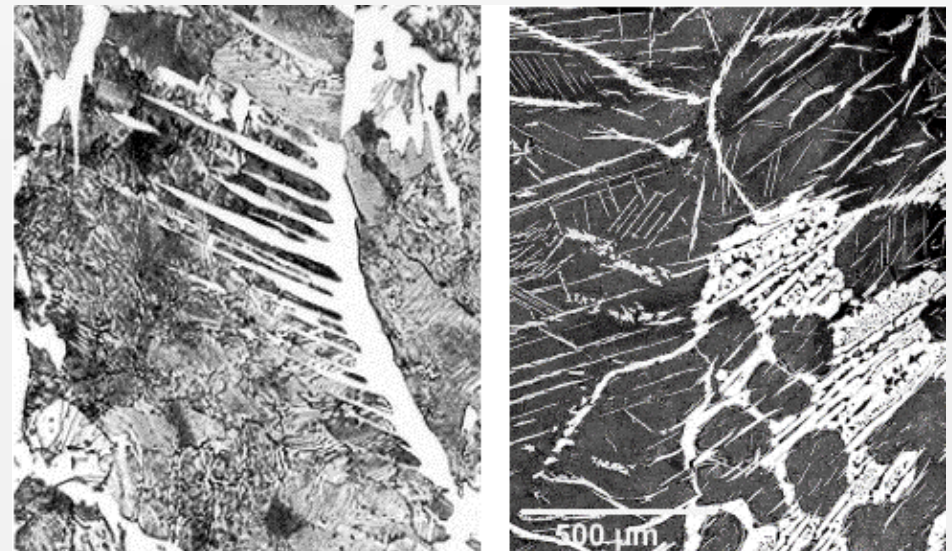
- Totten, G. E. (2006). Steel heat treatment: Metallurgy and technologies. Boca Raton, FL: Taylor & Francis.

Normalizacija-Čelični odlivci

- Pri livenju čelika u kalupe od peska nastaje tzv. Vidmanštetenova struktura (loše mehaničke osobine i posebno mala žilavost) pa su ovakvi sirovi odlivci neupotrebljivi.
- U okviru procesa normalizacije hlađenje se odvija na vazduhu što kod složenih odlivaka izaziva toplotne napone. Da bi se ti naponi uklonili kombinuje se proces normalizacije i stabilizacionog žarenja.



Mikrostruktura po zidu odlivka

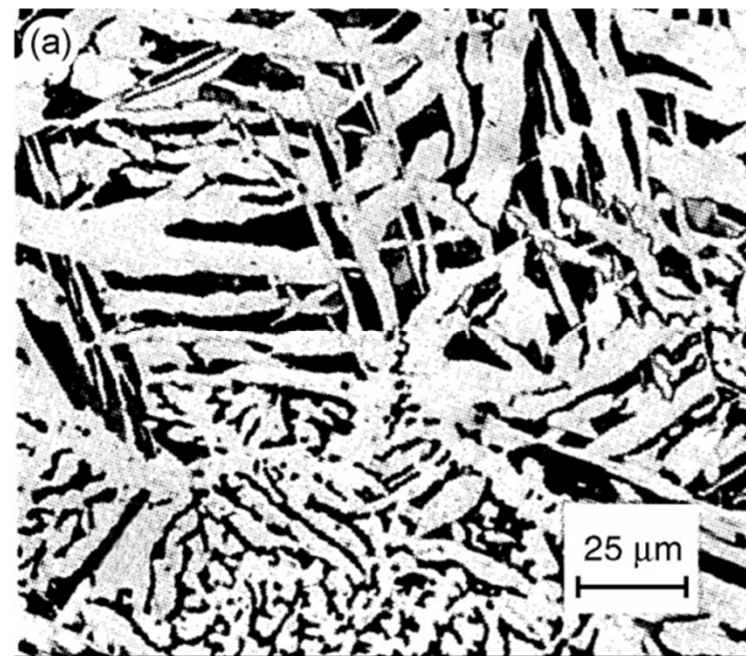


Vidmanštetenova struktura

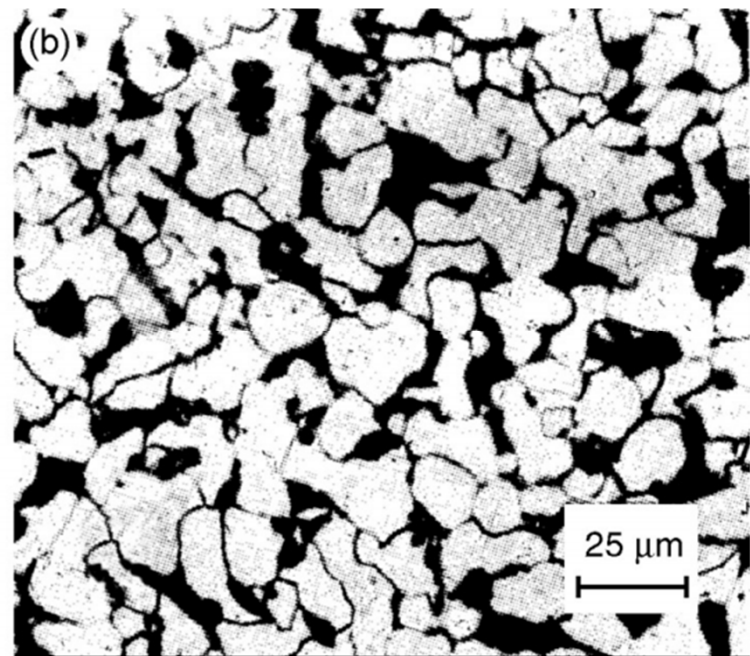
Normalizacija

- Čelični odlivci

Sirov čelični odlivak



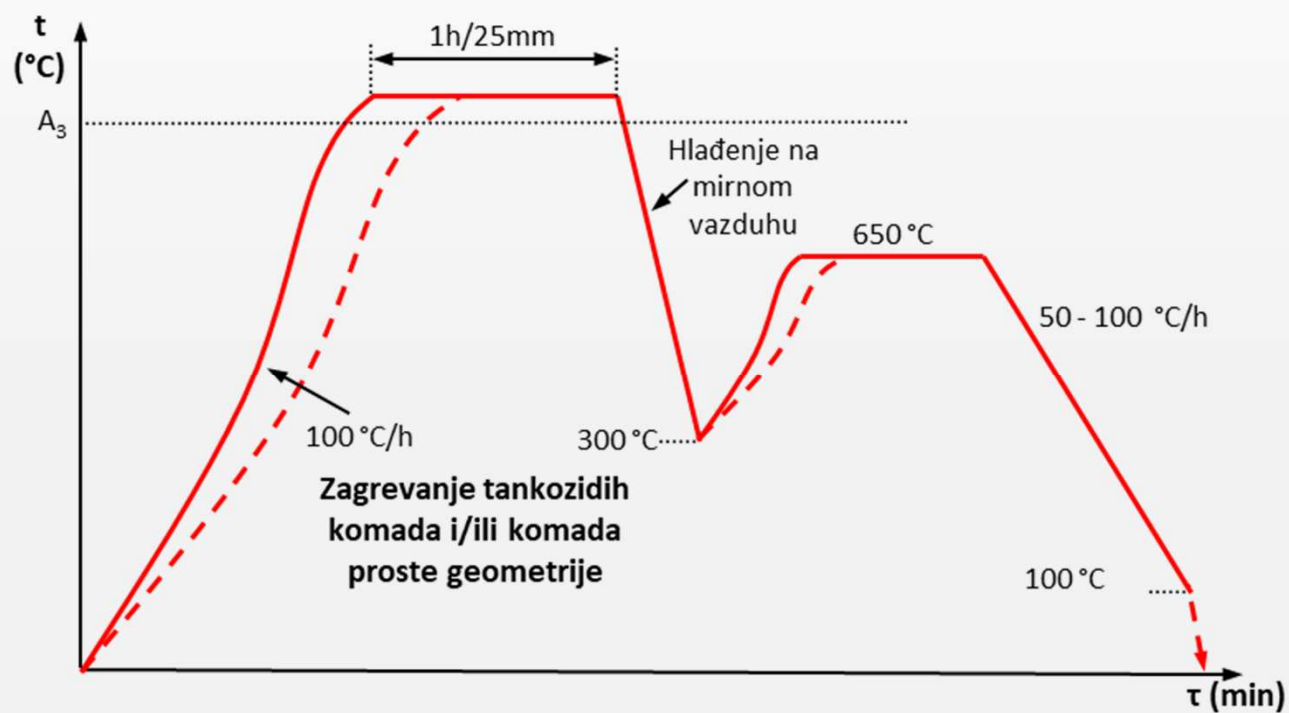
odlivak nakon normalizacije



- Totten, G. E. (2006). Steel heat treatment: Metallurgy and technologies. Boca Raton, FL: Taylor & Francis.

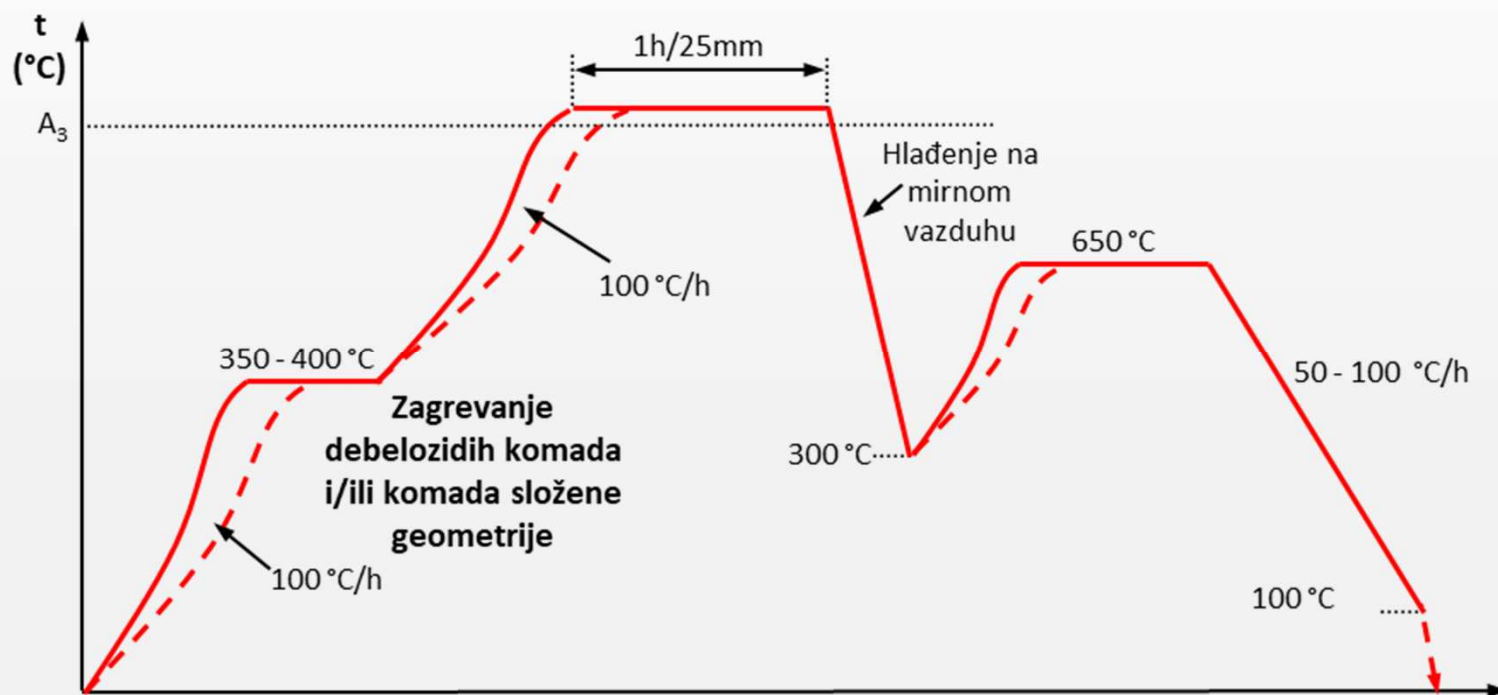
Normalizacija

- Dijagram procesa normalizacije čeličnih odlivaka



Normalizacija

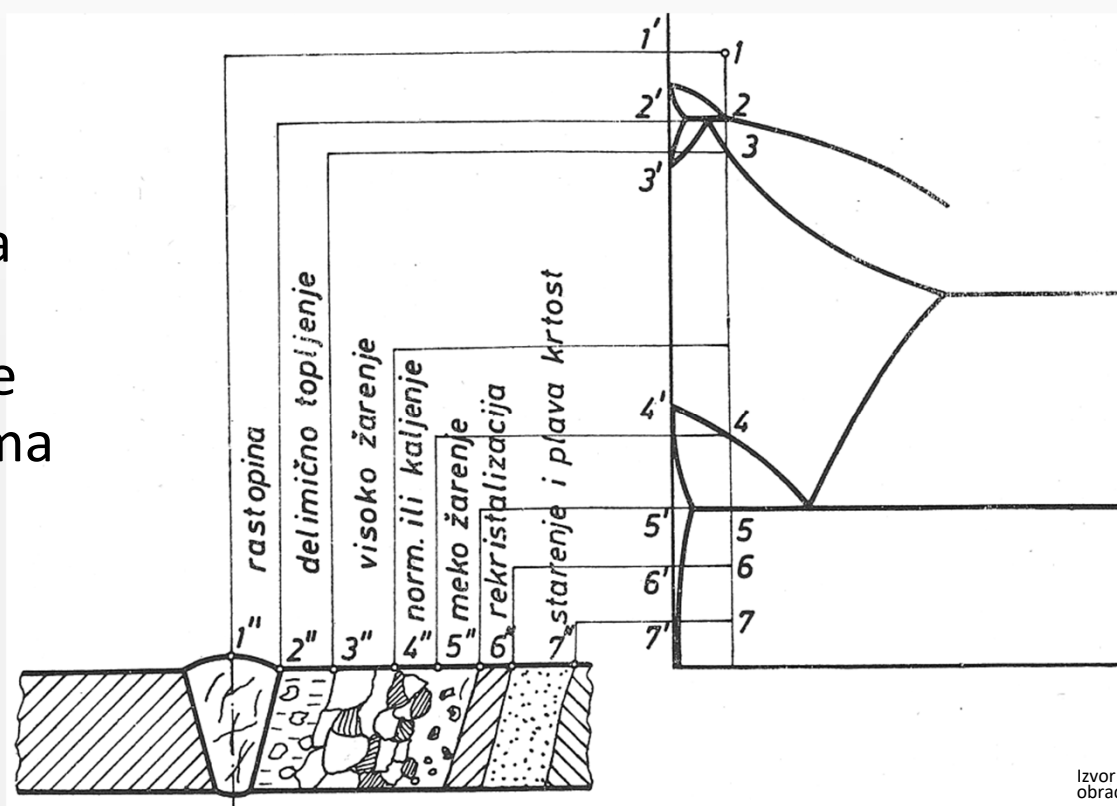
- Dijagram procesa normalizacije čeličnih odlivaka od legiranog čelika i/ili komplikovanog oblika



Normalizacija-zavarene konstrukcije

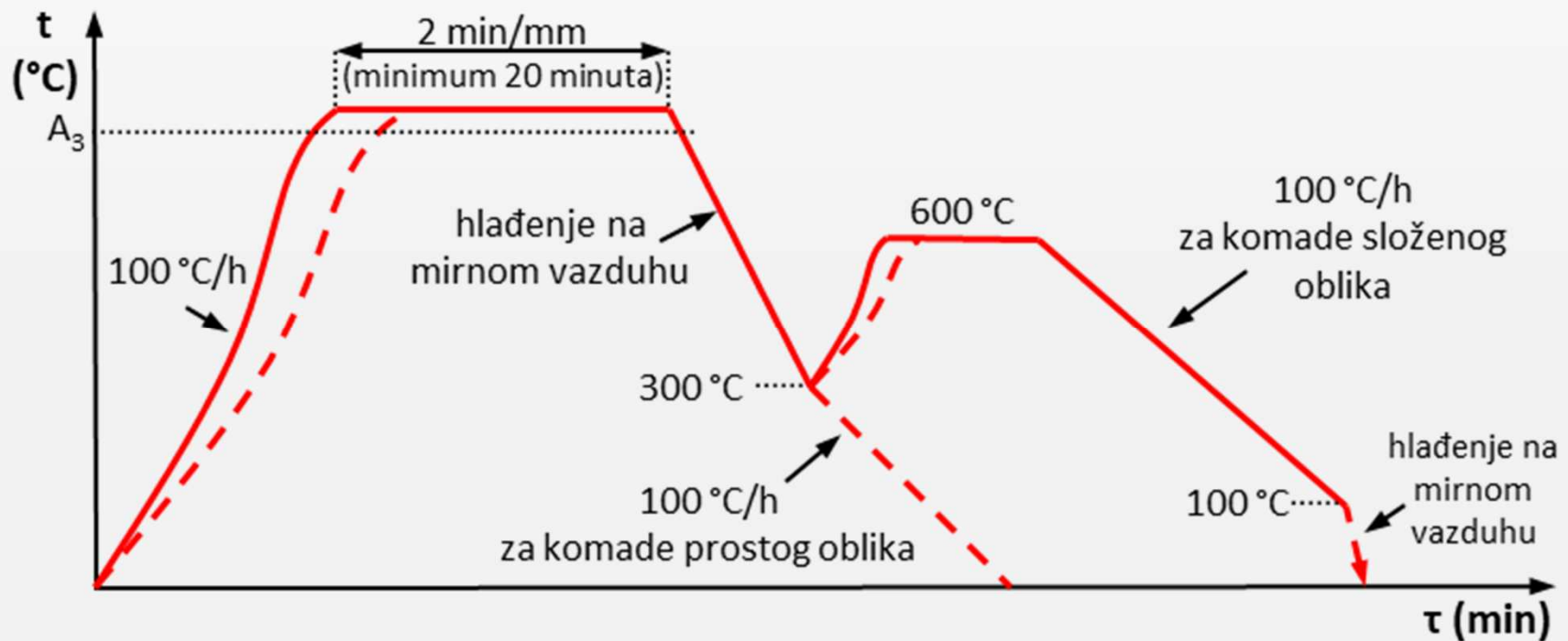
- Normalizacijom se popravlja neravnomerna struktura nastala nakon zavarivanja. Obavezno se vrši kod odgovornih delova, kao što su dinamički opterećeni elementi i sudovi pod pritiskom.

Trenutak u materijalu kada je izvršeno zavarivanje. U šavu i zoni oko šava mat. je na različitim temperaturama



Normalizacija

- Dijagram procesa normalizacije zavarenih konstrukcija, sa stabilizacionim žarenjem





Termička obrada i inženjerstvo površina



Hvala na pažnji

Vanr. prof.dr Pal Terek