

## VEŽBA 2 - ŽARENJA

Žarenja predstavljaju veoma zastupljene postupke termičke obrade koji se između ostalog koriste za popravljavanje obradivosti materijala, uklanjanje zaostalih napona nastalih u toku neke prethodne obrade (valjanje, kovanje, livenje, zavarivanje), popravljavanje mikrostrukture i druge svrhe. Iako je reč o jednostavnim postupcima, postoji niz faktora koje je potrebno uzeti u obzir kako bi se dobili željeni rezultati žarenja. U nastavku se razmatraju najzastupljeniji postupci žarenja.

### Stabilizaciono žarenje

Ima za cilj uklanjanje zaostalih napona koji se definišu kao oni naponi koji su prisutni unutar nekog radnog elementa koji nije izložen dejstvu spoljašnjeg opterećenja. Kada se takav element optereti, zaostali naponi se sabiraju sa spoljašnjim opterećenjem čime se smanjuje vrednost korisnog opterećenja.

Stabilizaciono žarenje koristi se za uklanjanje:

- **toplotnih napona nastalih tokom hlađenja odlivaka** - kada je potrebna velika sigurnost odlivenih komada ili se zahteva tačna obrada i trajna tačnost dela u upotrebi;
- **toplotnih i strukturnih napona zavarenih delova** - kada se traži stabilnost konstrukcije i minimalna promena dimenzija delova u upotrebi;
- **napona termički obrađivanih delova** - nakon termičke obrade mogu nastati toplotni naponi koje je potrebno ukloniti u slučaju odgovornih delova;
- **napona nastalih u procesu obrade rezanjem ili plastičnom deformacijom.**

Ovaj vid žarenja obavlja se zagrevanjem na odgovarajuću temperaturu (videti **Tabelu 1**), dovoljno dugim držanjem i sporim hlađenjem čime se izbegava ponovno stvaranje toplotnih napona.

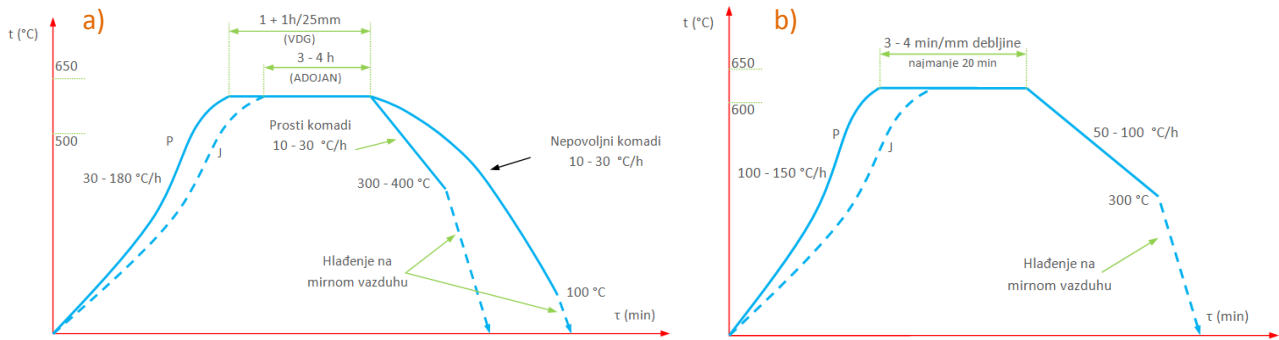
*Tabela 1: Temperatura stabilizacionog žarenja za različite materijale [1]*

Legura	Temperatura °C
Sivi liv	500 do 650
Visokouglenični čelik	315 do 425
Niskouglenični čelik	565 do 620
Austenitni nerđajući čelik	900
Legure titanijuma	480 do 595
Legure aluminijuma	345 do 400
Legure bakra	190 do 290

Dijagrami stabilizacionog žarenja za slučaj odlivaka od sivog liva, kao i za zavarene čelične konstrukcije prikazani su na **Slici 1**.

Stabilizaciono žarenje se ne primenjuje ako se mora vršiti neki drugi vid termičke obrade na višoj temperaturi od temperature stabilizacionog žarenje. Ovo je redovan slučaj kod čeličnih odlivaka, a vrlo često kod zavarenih konstrukcija od kojih se traži velika sigurnost.

Kod čeličnih delova obrađenih plastičnom deformacijom na hladno i naknadno zavarivanim, ne sme se vršiti samo stabilizaciono žarenje jer postoji opasnost od nastajanja krupnozrne krte strukture (za  $\epsilon = 5-20\%$ , za meke čelike). U ovom slučaju se mora primeniti normalizacija u kombinaciji sa stabilizacionim žarenjem.

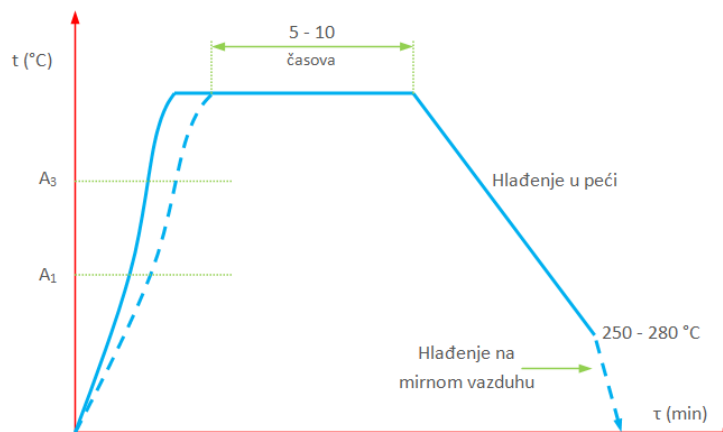


Slika 1: Dijagram stabilizacionog žarenja: a) odlivaka od sivog liva, b) zavarenih čeličnih delova, kao i termički obrađenih čeličnih delova

## Homogenizaciono žarenje

Ima za cilj uklanjanje lokalnih razlika u udelu hemijskih elemenata. Primenjuje se kod masivnih odlivaka od svih kvaliteta 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  $5 - 10$  h, a zavisno od veličine komada i vrste čelika (Slika 2). Hlađenje treba da se obavi u zatvorenoj peći.

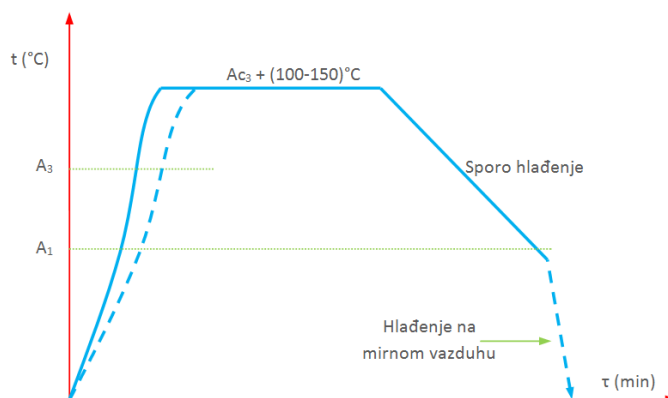


Slika 2: Dijagram homogenizacionog žarenja

## Visoko žarenje

Ima za cilj povećanje obradivosti rezanjem i prokaljivosti kod niskougleničnih čelika (do 0.3 %C). Obavlja se na visokim temperaturama u austenitnoj oblasti uz dovoljno dugo zadržavanje, što uz sporo hlađenje rezultuje formiranjem krupnozrne strukture.

Krupnozrna struktura odlikuje se nepovoljnim mehaničkim osobinama, naročito malom žilavošću. Stoga se visoko-žareni delovi ne smeju koristiti za dinamički opterećene konstrukcije.

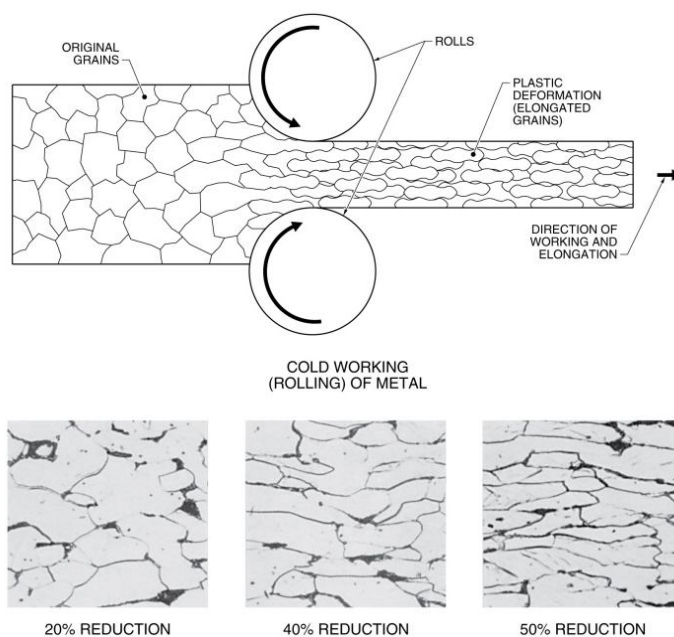


Slika 3: Dijagram visokog žarenja

## 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. Obavlja se na temperaturi iznad praga rekristalizacije ( $0.4 \times T_{\text{topljenja}}$ ), što za čelike iznosi od 550 do 720  $^{\circ}\text{C}$ . Neophodna temperatura žarenja i veličina zrna novonastale strukture smanjuju se sa stepenom prethodne deformacije na hladno (veći stepen deformacije, finija zrna).



Slika 4: Šematski prikaz izduženja zrna pri plastičnoj deformaciji na hladno i izgled mikrostrukture za različite stepene deformacije [1]

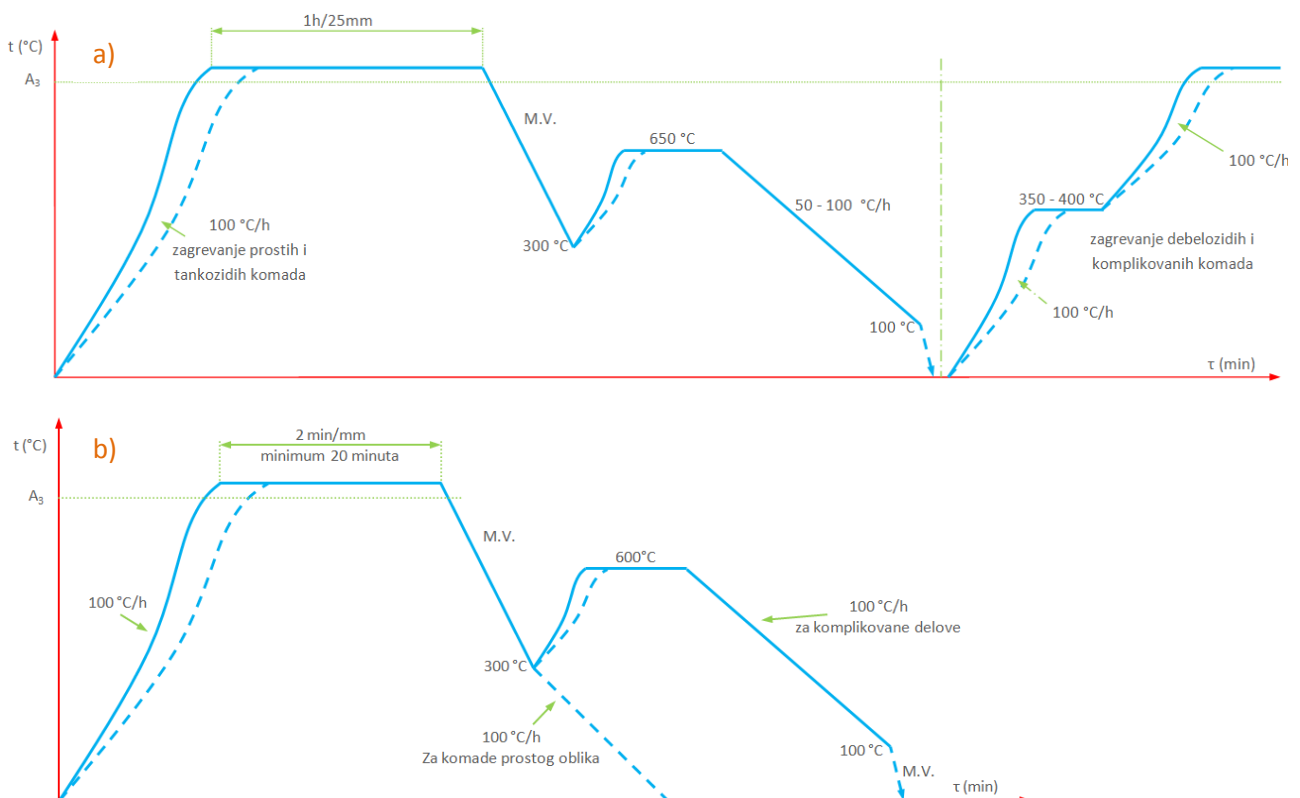
## Normalizacija

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.

Normalizaciono žarenje koristi se u sledećim slučajevima:

- **Pplastična deformacija na hladno** - 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...). U tim slučajevima normalizacija se vrši pre eventualnog zagrevanja ili ponovnog plastičnog deformisanja.
- **Liveenje čeličnih odlivaka** - 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.
- **Zavarene konstrukcije** - normalizacijom se popravljaju neravnomerna struktura nastala nakon zavarivanja. Obavezno se vrši kod odgovornih delova, kao što su dinamički opterećeni elementi i sudovi pod pritiskom.
- **Čelični otkovci.**

Dijagrami normalizacije čeličnih odlivaka i otkovaka, kao i zavarenih elemenata prikazani su na **Slici 5**.



Slika 5: Normalizacija: a) čeličnih odlivaka i otkovaka (krajnji desni deo prikazuje način zagrevanja na temperaturu normalizacije u slučaju složenih komada), b) zavarenih čeličnih elemenata

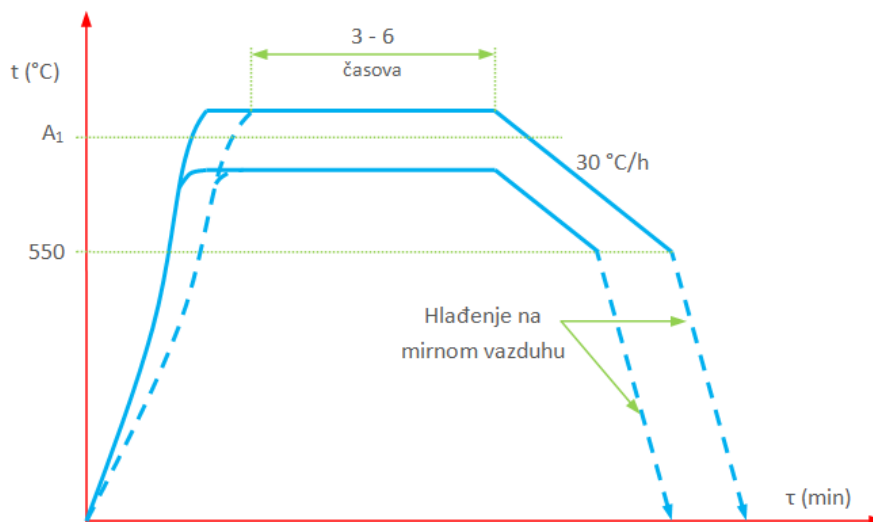
## Meko žarenje

Ima za cilj povećanje obradivosti rezanjem i plastičnim deformisanjem kod čelika sa udelom ugljenika većim od 0.6 %C. Ovim vidom žarenja struktura prugastog perlita prevodi se u strukturu zrnatog perlita. Temperatura mekog žarenja zavisi od vrste čelika (videti [Tabelu 2](#)).

*Tabela 2: Temperatura mekog žarenja za različite čelike*

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

Nakon dovoljno dugog zadržavanja na zadatoj temperaturi vrši se sporo hlađenje do 550 °C, nakon čega se hlađenje nastavlja na mirnom vazduhu ([Slika 6](#)).



*Slika 6: Dijagram mekog žarenja*