

VEŽBA 5 – ŽARENJA I REDA

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.

Žarenja se mogu podeliti na žarenja I i II reda. Žarenja I reda su procesi kod kojih toplotna dejstva pri termičkoj obradi ne dovode do faznih transformacija, a ako do njih i dođe one nisu bitne za postizanje cilja žarenja. U žarenja prvog reda spadaju:

- stabilizaciono žarenje,
- homogenizaciono žarenje,
- visoko žarenje,
- rekrisatalizaciono žarenje.

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. Cilj stabilizacionog žarenja jeste prevođenje elastičnih deformacija, koje su uzrok postojanja zaostalih napona, u plastične.

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

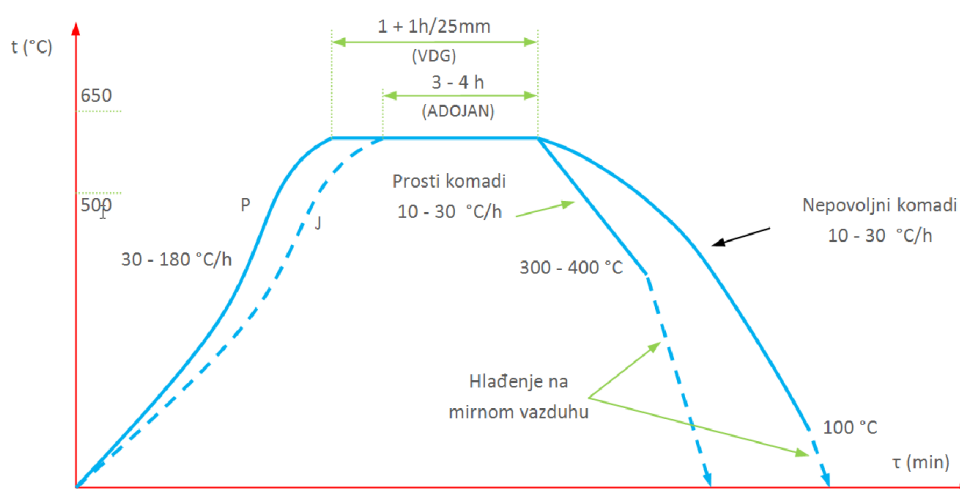
| Legura | Temperatura °C |
|----------------------------|----------------|
| Sivi liv | 500 do 650 |
| Visokouglenični čelik | 315 do 425 |
| Niskouglenični čelik | 565 do 620 |
| Austenitni nerđajući čelik | 900 |
| Legure titanijuma | 480 do 595 |
| Legure aluminijuma | 345 do 400 |
| Legure bakra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

Stabilizaciono žarenje se ne primenjuje ako se mora vršiti neki drugi vid termičke obrade na višoj temperaturi od temperature stabilizacionog žarenja (normalizacija, poboljšavanje, ...). 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.

Stabilizaciono žarenje odlivaka od sivog liva

Pri očvršćavanju i daljem hlađenju odlivaka u kalupima najbrže odvođenje toplote biće u površinskom sloju koji je u neposrednom kontaktu sa površinom kalupa. Stoga se pojedini delovi odlivka brže hlade i skupljaju što izaziva stvaranje napona u zavisnosti od neravnomernosti u debljinama zidova, oblika odlivka, vrste kalupa i drugih faktora. Dijagram stabilizacionog žarenja odlivaka od sivog liva prikazan je na slici 1.



Slika 1: Dijagram stabilizacionog žarenja odlivaka od sivog liva

Unutrašnji naponi se ne mogu ukloniti potpuno stabilizacionim žarenjem. Viša temperatura i duže vreme daju manje zaostale napone.

Stabilizaciono žarenje zavarenih konstrukcija

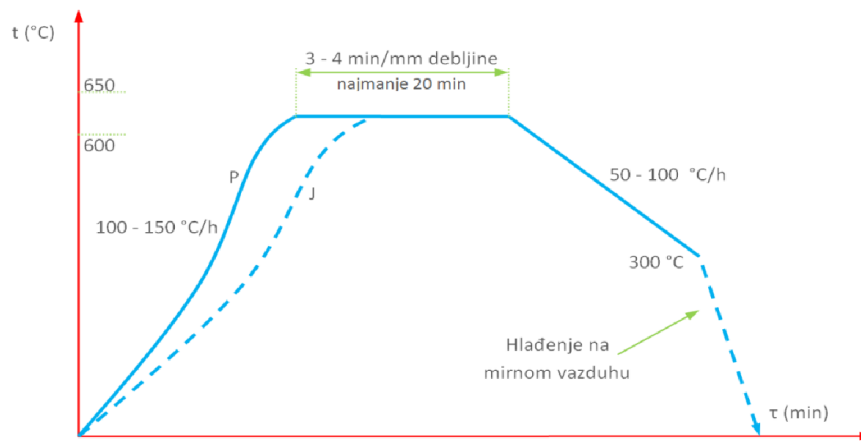
Pri zavarivanju nastaje lokalno topljenje, dok ostali deo materijala ostaje hladan. Stoga u komadu ostaju naponi koji mogu biti:

- **toplotni naponi** - nastaju neravnomernim hlađenjem i zagrevanjem;
- **strukturni naponi** - nastaju zbog promene strukture u prelaznoj zoni zavara.

Otklanjanje napona u zavarenim konstrukcijama može se vršiti u pećima, ali se za velike konstrukcije vrši lokalnim zagrevanjem gorionikom ili indukcijom putem.

Gorionikom se zagreva okolina zavara pa se izazivaju dodatni naponi koji se sabiraju sa unutrašnjim naponima zavarenog spoja i zbir prelazi granicu razvlačenja pa dolazi do lokalnih plastičnih deformacija odnosno do smanjenja zaostalih napona.

Dijagram stabilizacionog žarenja zavarenih konstrukcija prikazan je na slici 2.



Slika 2: Dijagram stabilizacionog žarenja zavarenih konstrukcija

Preporučena brzina zagrijavanja zavarenih konstrukcija najlakše se postiže ako se komadi stave u hladnu peć i zatim zagrevaju zajedno sa peći. Preporučena brzina hlađenja može se postići hlađenjem u peći.

Stabilizaciono žarenje kod zavarenih konstrukcija se ne primenjuje ako se mora vršiti neki drugi vid termičke obrade kao što je normalizacija, što je čest slučaj kod konstrukcija od kojih se traži velika sigurnost.

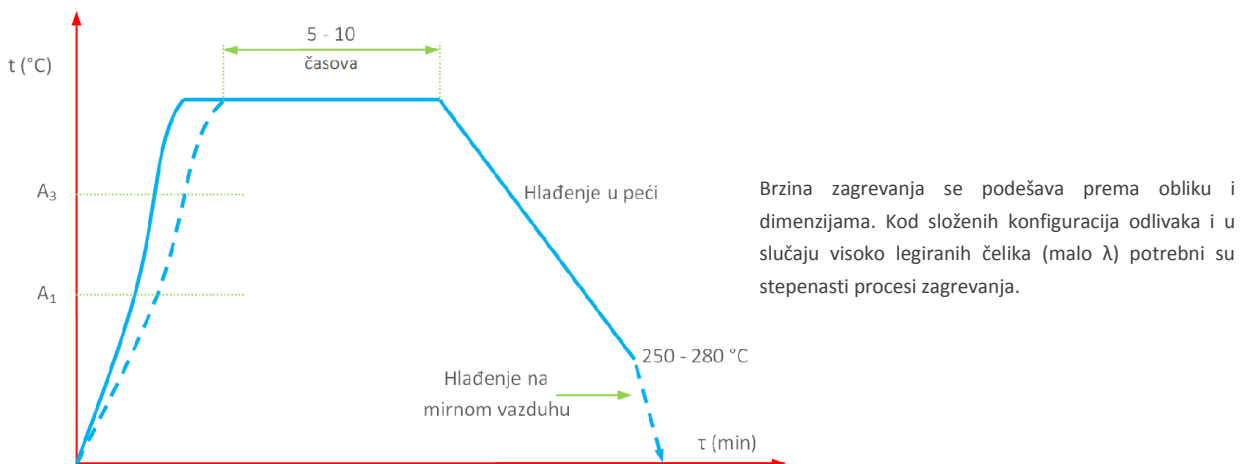
Homogenizaciono žarenje

Ima za cilj uklanjanje lokalnih razlika u udelu hemijskih elemenata. Ove razlike nastaju još u toku obrazovanja primarne strukture. Legirajući elementi Cr i N mogu imati 30-50% veću koncentraciju u jezgru nego na površini komada, što zavisi od dimenzija odlivaka i vremena očvršćavanja.

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 - 10h, a zavisno od veličine komada i vrste čelika (slika 2). Hlađenje treba da se obavi u zatvorenoj peći. Ingote od čelika se žare na temperaturama između 1100 i 1200 °C u trajanju od 12 – 15 časova, a zatim se polako hlade do temperature 250 do 280 °C.

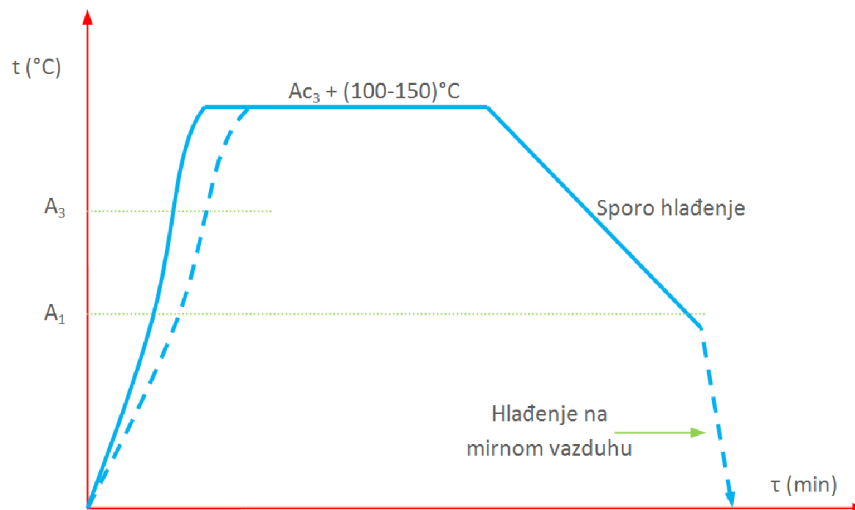
Homogenizacija sama za sebe ne daje dobre mehaničke osobine, već je potrebno izvršiti neki drugi vid termičke obrade, kao što je poboljšavanje.



Slika 3: Dijagram homogenizacionog žarenja

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.



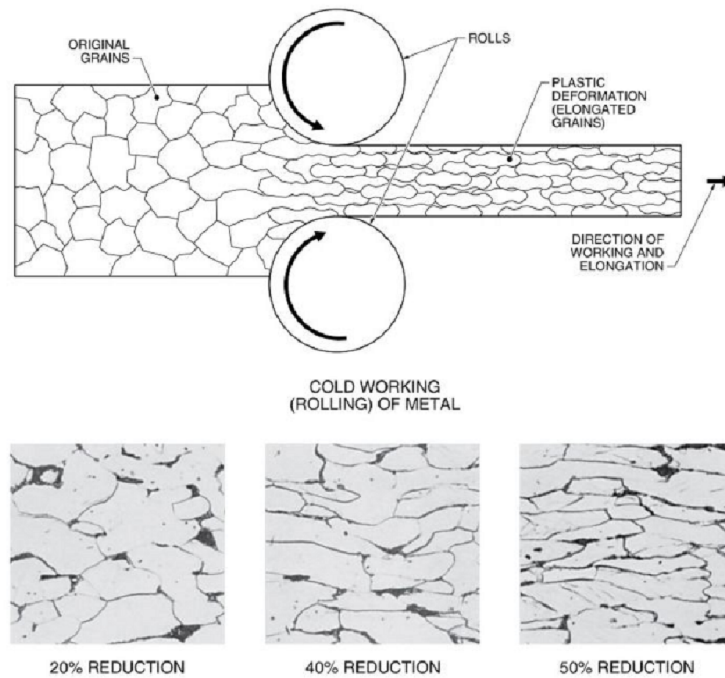
Slika 4: Dijagram visokog žarenja

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.

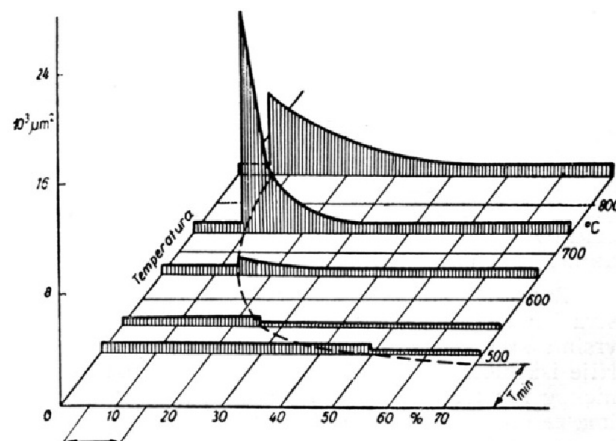
Rekristalizaciono žarenje

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



Slika 5: Šematski prikaz izduženja zrna pri plastičnoj deformaciji na hladno i izgled mikrostrukture za različite stepene deformacije [1]



Slika 6: Dijagram rekristalizacija neumirenog čelika sa 0.2% C

Rekristalizacija se ne vrši ako komad ima raznoliko ojačanje u pojedinim presecima zbog opasnosti od nastajanja pretežno krupnog zrna. Postoji kritična oblast deformacije (između 5% i 20 %) koja posle rekristalizacije daje veoma grubu strukturu sa lošim osobinama (slika 6). Otklanjanje pretežno krupnog zrna i neravnomernosti u krupnoći može se postići normalizacijom.