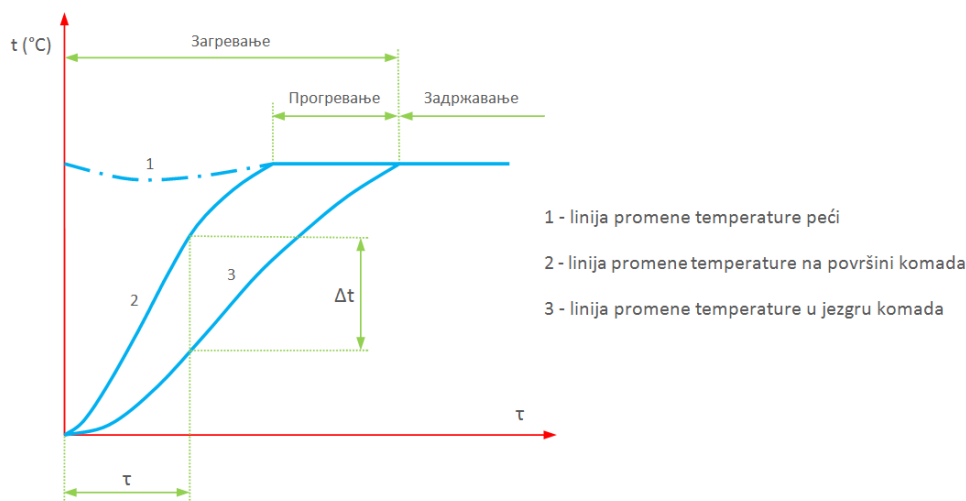


VEŽBA 1 - ZAGREVANJE I HLAĐENJE

Zagrevanje

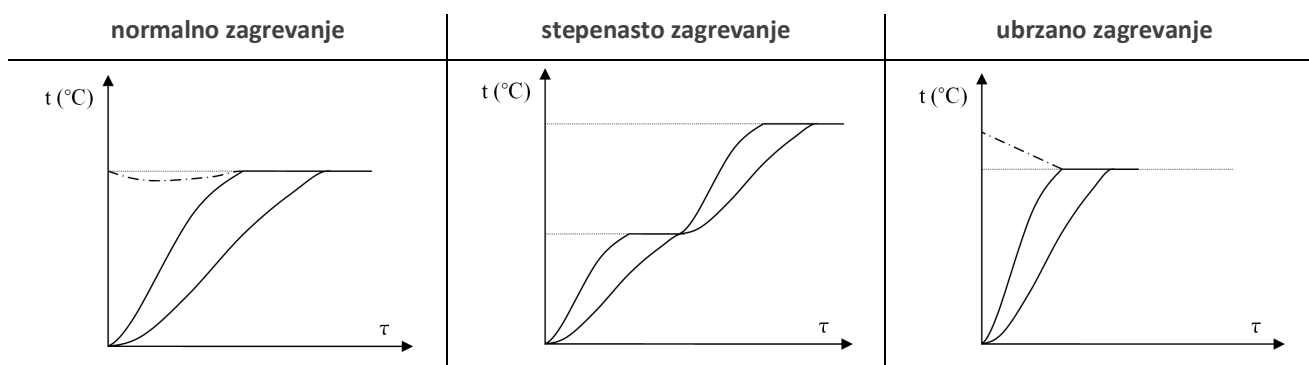
Proces termičke obrade sastoji se iz tri faze, a to su zagrevanje do temperature termičke obrade, zadržavanje na temperaturi termičke obrade i hlađenje. Načini zagrevanja i hlađenja neposredno utiču na rezultat termičke obrade.

Kada se hladni komadi unesu u peć počće se zagrevati, a temperatura peći će nešto opasti. U zavisnosti od brzine zagrevanja i sposobnosti materijala za provođenje toplote, temperatura na površini komada brže će rasti nego u jezgru (Slika 1). Ova temperaturna razlika dovodi do neravnomernog širenja površinskog sloja i jezgra komada usled čega nastaju unutrašnji naponi koji mogu da deformišu komad, a ako je njihova vrednost veća od čvrstoće materijala dolazi do pucanja komada. Stoga je potrebno zagrevanje vršiti tako da se izbegnu velike temperaturne razlike.



Slika 1: Dijagram promene temperature sa vremenom

Izbor načina zagrevanja u najvećoj meri zavisi od vrste materijala, temperature zagrevanja i složenosti radnih predmeta. Razlikuju se normalno, stepenasto i ubrzano zagrevanje.



Slika 2: Mogući načini zagrevanja

Normalno zagrevanje – podrazumeva da se peć ili toplo kupatilo zagreju na željenu temperaturu kaljenja, pa se u tako zagrejanu peć se stavljaju komadi. Ovaj postupak dolazi u obzir u slučaju niskih temperatura zagrevanja, kod materijala dobre toplotne provodljivosti, kao i kada se zagrevaju komadi prostih oblika.

Stepenasto zagrevanje - Ako je temperatura termičke obrade visoka, ako je toplotna provodljivost materijala mala i ako su komadi složenog oblika (različita debljina zida) postoji opasnost da zbog velikih temperaturnih razlika nastanu veliki unutrašnji naponi koji mogu deformirati komad. U tom slučaju primenjuje se stepenasto zagrevanje, što je najčešći slučaj u praksi (kod brzoreznog čelika - 3 stepena zagrevanja).

Ubrzano zagrevanje - U nekim slučajevima može se tolerirati i ubrzano zagrevanje (kod delova sasvim prostog oblika) gde je polazna temperatura peći viša za 60-80°C od temperature kaljenja.

Kako bi se obezbedilo odgovarajuće zagrevanje i kontrola procesa veoma je važno u svakom trenutku vremena poznavati raspored temperatura (temperaturno polje) u komadu koji se zagreva. Tehnički je praktično nemoguće obezbediti praćenje promene temperature svake tačke nekog radnog predmeta u toku vremena, pogotovo u jezgru komada. Stoga se teorijski određuje funkcija koja definiše temperaturno polje nekog tela. U proračunima zagrevanja koristi se kriterijalna jednačina temperaturnog polja:

$$\frac{\vartheta}{\vartheta_0} = \frac{t-t_c}{t_0-t_c} = F \left(Bi, Fo, \frac{x}{X} \right) \dots \dots \dots (1)$$

Gde su:

$\frac{\vartheta}{\vartheta_0} = \frac{t-t_c}{t_0-t_c}$ - *Neimenovani temperaturni kriterijum* - predstavlja odnos između tražene temperature u datom trenutku vremena i u datoj tački i neke poznate temperature zadate uslovima zadatka:

gde su:

t_c – temperatura okoline

t_0 – temperatura zadata dopunskim uslovima.

$Bi = \frac{\alpha}{\lambda} X$ - *Biov kriterijum* – uzima u obzir:

- uslove u kojima se vrši zagrevanje preko koeficijenta prenosa toplote α
- karakterističnu dimenziju komada X
- toplotnu provodljivost materijala λ od koga je napravljen komad koji se zagreva.

$Fo = \frac{a \cdot \tau}{X^2}$ - *Furijeov kriterijum* – uzima u obzir:

- vreme zagrevanja τ
- specifičnu toplotu materijala c i gustinu ρ materijala od koga je napravljen komad koji se zagreva, a preko parametra a koji se naziva koeficijentom temperaturene provodljivosti

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \text{ [m}^2/\text{s]}$$

$\frac{x}{X}$ - *Dužinski kriterijum* - definiše položaj posmatrane tačke, gde x predstavlja rastojanje posmatrane tačke od jezgra.

Funkcija F se može odrediti računanjem ili eksperimentalnim putem. U slučaju prostih tela postoje analitička rešenja, tako da se funkcija F ne mora određivati eksperimentalno nego iz ovih rešenja.

U termičkoj obradi posebno su interesantne temperature na površini i u jezgru komada (u sredini zida, na osi cilindra, ili u centru lopte). Stoga će se tražiti dva neimenovana kriterijuma ϕ_o i ϕ_m :

a) za $x/X = 1$ dobija se temperatura na površini komada za svaki trenutak vremena

$$\phi_o = \frac{t_p - t_c}{t_o - t_c} = F(Bi, Fo) \dots\dots\dots (2)$$

b) za $x/X = 0$ dobija se temperatura u jezgru za svaki trenutak vremena

$$\phi_m = \frac{t_j - t_c}{t_o - t_c} = F(Bi, Fo) \dots\dots\dots (3)$$

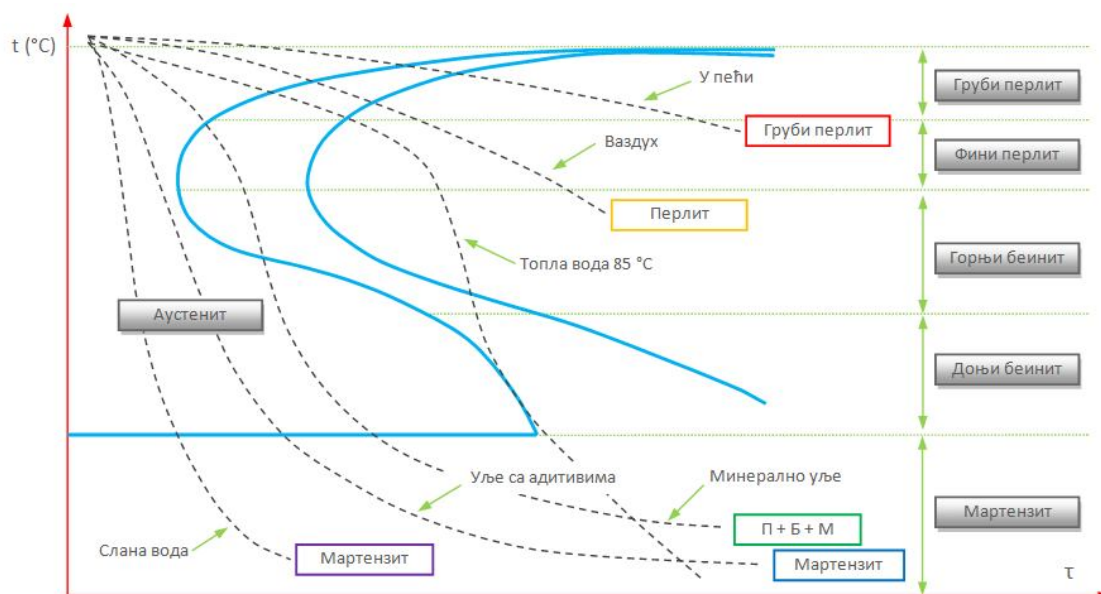
Hlađenje

Kao i zagrevanje, hlađenje pri termičkoj obradi je važna tehnološka operacija pa se za sve vidove termičke obrade propisuje određena brzina hlađenja. Prema brzini kojom se ono vrši razlikuju se:

- **sporo** - najčešće se odvija u zatvorenoj peći;
- **normalno** - hlađenje na mirnom vazduhu;
- **brzo** - najznačajnije hlađenje – kod kaljenja treba da omogući brzinu hlađenja veću od kritične brzine hlađenja ($v > v_{kr}$) kako bi se obavila transformacija austenita u martenzit.

Hlađenje može da se odvija **kontinualno** od temperature termičke obrade do temperature sredstva za hlađenje ili **izotermalno** - podrazumeva brzo hlađenje do određene temperature, zadržavanje na toj temperaturi i završno hlađenje do sobne temperature.

Na donjoj slici prikazan je uticaj izbora sredstva za hlađenje na fazni sastav ugljeničnog čelika. Za prikazan slučaj potpuno marteniztna struktura nastaje samo u slučaju hlađenja u slanoj vodi i ulju sa aditivima.



Slika 3: Uticaj načina hlađenja na fazni sastav ugljeničnog čelika - šematski prikaz

Kao sredstva za hlađenje koriste se:

- **voda i vodeni rastvori** - za ugljenične i niskolegirane čelike
- **ulje** - za srednje legirane čelike
- **topla kupatila sa solima ili metalima** - za stepenasto kaaljenje i izotermno poboljšavanje
- **gasovi (vazduh ili zaštitni gasovi)** - za brzorezne čelike
- **hladne metalne ploče** - deluju dodirom, koriste se za tanke komade sklone deformisanju.