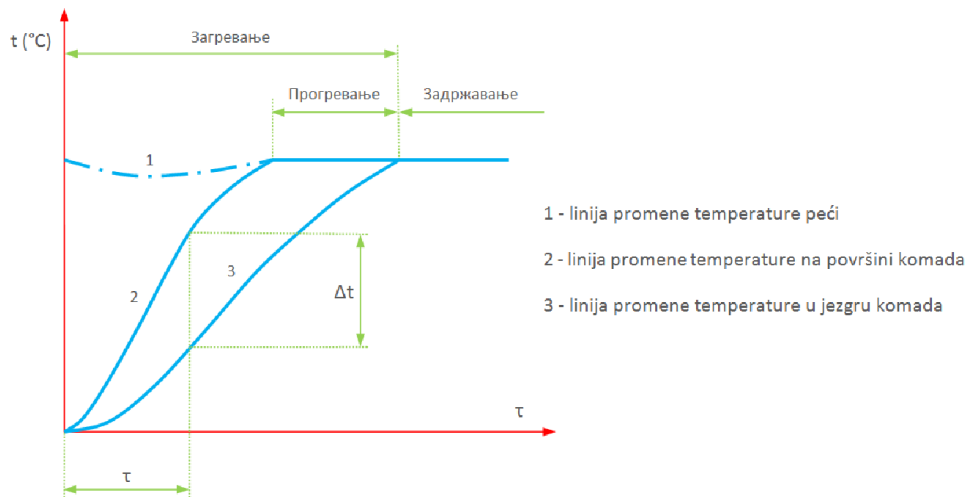


## VEŽBA 1 - ZAGREVANJE

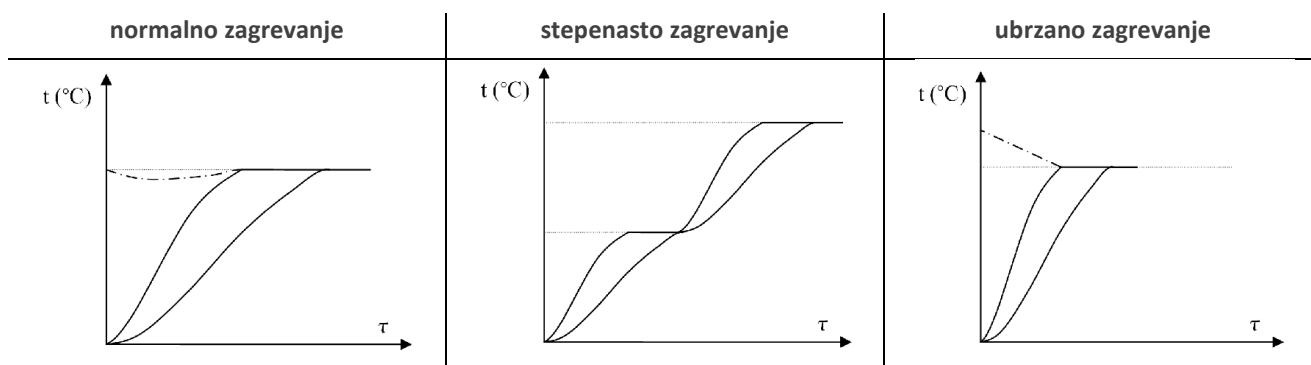
Proces termičke obrade sastoji se iz tri faze, a to su zagrevanje do temperature termičke obrade, zadržavanje na temperaturi termičke obrade i hlađenje. Načini zagrevanja i hlađenja neposredno utiču na rezultat termičke obrade.



Slika 1: Dijagram promene temperature sa vremenom

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.

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 cementacije čvrstim sredstvima i kod delova sasvim prostog oblika) gde je polazna temperatura peći viša za 60-80°C od temperature kaljenja.

Prilikom zagrevanja potrebno je paziti da zagrevanje ne bude suviše sporo, jer se sporim zagrevanje na više temperature kaljenja uvećava krupnoća zrna austenita.

Kako bi se obezbedilo odgovarajuće zagrevanje i kontrola procesa veoma je važno u svakom trenutku vremena znati 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 jezgri komada. Stoga se teorijski određuje funkcija koja definiše temperaturno polje nekog tela. U proračunima zagrevanja koristi se kriterijalna jednačina temperaturnog polja:

$$\phi = \frac{t-t_{ok}}{t_o-t_{ok}} = F\left(Bi, Fo, \frac{x}{X}\right) \dots \dots \dots (1)$$

Gde su:

$\phi = \frac{t-t_{ok}}{t_o-t_{ok}}$  - *Bezdimenzioni temperaturni kriterijum* - predstavlja odnos između tražene temperature u datom trenutku vremena i u datoj tački i neke poznate temperature zadate uslovima zadatka:

gde su:

$t_{ok}$  – temperatura okoline

$t_o$  – početna temperatura - početni uslov

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

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

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

- vreme zagrevanja  $\tau$
- specifičnu toplotu materijala  $c$  i gustinu  $\rho$  materijala od koga je napravljen komad koji se zagreva, a preko parametra  $a$  koji se naziva koeficijentom temperaturne 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  $\phi_p$  i  $\phi_j$  :

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

$$\phi_p = \frac{t_p - t_{ok}}{t_o - t_{ok}} = F(Bi, Fo) \dots\dots\dots (2)$$

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

$$\phi_j = \frac{t_j - t_{ok}}{t_o - t_{ok}} = F(Bi, Fo) \dots\dots\dots (3)$$