



UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET



ZAGRIJAVANJE I HLAĐENJE ČELIKA

SEMINARSKI RAD IZ PREDMETA
TERMIČKA OBRADA I POVRŠINSKE PREVLAKE

Student:
Hurem Jasmin

Mentor:
V.prof.dr. Nadija Haračić

Zenica, februar 2007.

SADRŽAJ

1 BRZINA ZAGRIJAVANJA	2
2 STVARNO I TEHNOLOŠKO ODREĐIVANJE VREMENA ZAGRIJAVANJA I HLAĐENJA	3
3 METODE Približnog računanja vremena zagrijavanja i zadržavanja	4
4 BRZINA HLAĐENJA	7
5 SREDSTVA I AGREGATI ZA ZAGRIJAVANJE	9
6 SREDSTVA ZA HLAĐENJE	11
6.1. Sredstva za lagano hlađenje	11
6.2. Sredstva za ubrzano hlađenje	11
7 STRUKTURNE PROMJENE MATERIJALA PRI ZAGRIJAVANJU	13
8 ZAKLJUČAK	19
9 LITERATURA	20

1. BRZINA ZAGRIJAVANJA

Brzina zagrijavanja ne utiče bitno na samu strukturu čelika. Radi toga u praksi se želi postići takav način zagrijavanja, da se u što kraćem vremenu, ali bez opasnosti deformacije i pukotine, komad zagrije na zahtjevanu temperaturu.

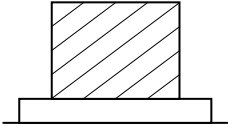
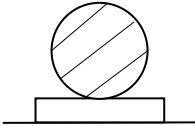
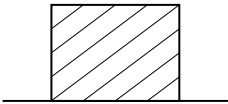
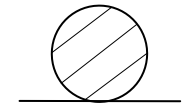
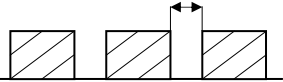
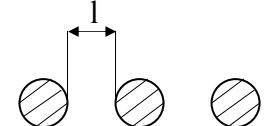
Kod provođenja tehnologije zagrijavanja, brzina zagrijavanja jako zavisi o temperaturnoj razlici zagrijanog komada i sredstva za zagrijavanje. Što je viša temperatura peći, to je brže zagrijavanje komada. Brzina zagrijavanja do zadane temperature treba da je uvijek maksimalna, jer se time skraćuje ukupno vrijeme potrebno za termičku obradu, smanjuje se gubitak na gorivu i povećava se produktivnost peći. Ovo se ne može uvijek postići zbog opasnosti od stvaranja unutrašnjih napreznja, pukotina itd, te se brzina ograničava. Kod čelika s toga treba razlikovati stvarnu ili tehničku moguću brzinu zagrijavanja i dozvoljenu ili tehnološku brzinu zagrijavanja. Podaci u tabeli 1. pokazuju da se čelik u komornoj peći zagrije do 1300 °C tri do četiri puta brže nego do 800 °C, dok je u sonoj kupki zagrijavanje do 1300 °C dva puta brže nego do 800 °C.

TABELA 1. VRIJEME ZAGRIJAVANJA ČELIKA
Ø 25 – 50 mm BEZ PREDGRIJAVANJA [1]

Temperatura peći ili kupke [°C]	Vrijeme zagrijavanja do temperature peći, (kupke) u [s / mm]	
	Komorna peć	Sona kupka
800	45 – 50 s / mm	18 – 20 s / mm
900	30 – 40 s / mm	16 – 18 s / mm
1000	25 – 30 s / mm	14 – 15 s / mm
1100	20 – 25 s / mm	12 – 13 s / mm
1200	18 – 20 s / mm	10 – 11 s / mm
1250	15 – 18 s / mm	9 – 10 s / mm
1300	12 – 15 s / mm	8 – 9 s / mm

2. STVARNO I TEHNOLOŠKO ODREĐIVANJE VREMENA ZAGRIJAVANJA I HLAĐENJA

Na stvarnu brzinu zagrijavanja jako utiče raspored komada u peći. Zavisnost vremena zagrijavanja o razmještanju komada u peći prikazan je na slici 1.

Položaj komada u peći	K_3	Položaj komada u peći	K_3
	1		1
	1,4		1
 $l = 0$ 4 $l = 0,5 d$ 2,2 $l = d$ 2 $l = 2d$ 1,8		 $l = 0$ 2 $l = 0,5 d$ 1,4 $l = d$ 1,3	

SI.1. FAKTOR PRODUŽETKA VREMENA ZAGRIJAVANJA K_3 U ZAVISNOSTI OBLIKA I RASPOREDA KOMADA U PEĆI [1]

Tehnološka brzina zagrijavanja određena je sljedećim glavnim faktorima :

- hemijskim sastavom
- polaznom strukturom i tvrdoćom
- oblikom i masom komada

Što je veći sadržaj ugljika i legirajućih elemenata u čeliku utoliko je niža njegova toplotna provodljivost i time se zahtjeva sporo i jednolično zagrijavanje. Niskougljениčni nelegirani čelik je dopušteno zagrijavati 1,5 – 2 puta brže nego visokolegirani čelik. Ujednačenost strukture i tvrdoće po presjeku dopušta povećanje brzine zagrijavanja. Ako se čelik poslije tople prerade sporo hladi te ima nisku i ujednačenu tvrdoću, može se brže zagrijavati nego čelik visoke i neujednačene tvrdoće. Različiti oblici i mase zagrijavanih komada mogu uticati na povećanje opasnosti od pucanja i krivljenja. Kod zagrijavanja velikih komada smatra se opasnim područje od 250 °C do 600 °C jer čelik nema zadovoljavajuću plastičnost za poništenje stvorenih naprezanja.

U temperaturnom području do 600 °C prijete opasnost visokih termičkih naprezanja a time i mehaničkih. Na temperaturama iznad 600 °C plastičnost čelika se znatno povećava. Sljedeće opasno temperaturno područje predstavlja prelazni temperaturni interval kritičnih preobražajnih tačaka. Kod brzih prijelaza preko temperaturnog područja transformacije, nastupa krivljenje komada radi volumskih promjena. Na osnovu predočenih zapažanja za čelike niske toplotne provodljivosti kao i za velike komade različitog presjeka preporučuje se stepenasto zagrijavanje: sporo zagrijavanje do 600 °C, držanje na ovoj temperaturi do izjednačenja temperature po cijelom presjeku, zagrijavanje do temperature nešto ispod tačke transformacije, držanje na ovoj temperaturi do izjednačenja, a zatim brzo zagrijavanje do zahtjevane temperature.

3. METODE PRIBLIŽNOG RAČUNANJA VREMENA ZAGRIJAVANJA I ZADRŽAVANJA

Stvarni oblici komada u praksi odstupaju od idealiziranih za koje je moguće koristiti analitički metod, u takvim slučajevima analitički metod daje rezultate koji su približni. Približan proračun potrebnog vremena zagrijavanja može se izvršiti na osnovu iskustvenih i eksperimentalnih podataka koji se odnose na:

- sredstva za zagrijavanje
- početnu temperaturu sredstva za zagrijavanje
- raspored komada u peći
- dimenziju komada
- hemijski sastav materijala.

U tabeli 1.1. navedeni su podaci koji daju najgrublju orijentaciju u pogledu vremena zagrijavanja za svaki milimetar debljine komada.

Podaci u tabeli važe za čelik i ne uzimaju u obzir hemijsku analizu, raspored komada u peći, veličinu peći i slično.

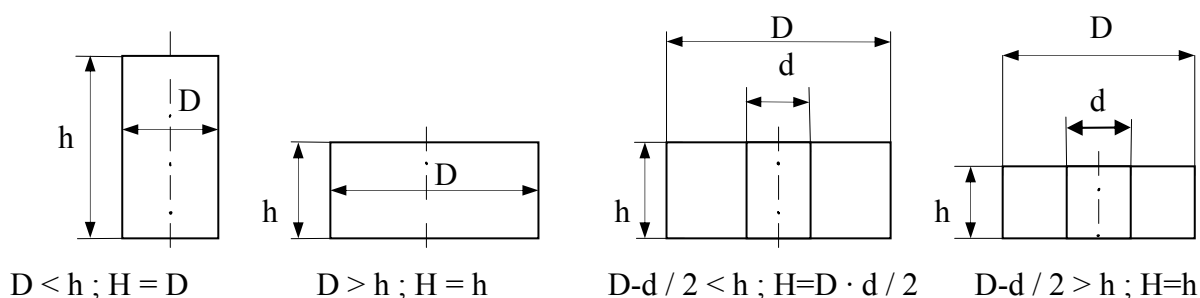
Uzimajući u obzir karakteristične dimenzije komada, slika 2. daje empirijski metod određivanja vremena zagrijavanja i progrijavanja.

TABELA 1.1. ORIJENTACIONO VRIJEME ZAGRIJAVANJA U RAZLIČITIM SREDSTVIMA U ZAVISNOSTI OD PRESJEKA KOMADA [1]

VRSTA PEĆI	TEMPERATURA PEĆI °C	Vrijeme zagrijavanja za 1 mm prečnika ili debljine komada u [s]		
		Okrugao Presjek	Kvadratni Presjek	Pravougaoni Presjek
Električna peć	800	40 – 50	50 – 60	60 – 75
Naftna peć	800	35 – 40	45 – 50	55 – 60
Sona kupka	800	12 – 15	15 – 18	18 – 22
Olovna kupka	800	6 – 8	8 – 10	10 – 12
Metalna kupka	1300	6 – 8	8 – 10	10 – 12

Minimalno vrijeme zagrijavanja, progrijavanja i zadržavanja pri direktnom zagrijavanju za kaljenje, po ovoj metodi za male komade jednostavnih oblika je:

- Za konstrukcione ugljične čelike $\tau_u = 1,0 H$
- Za ugljične alatne i konstrukcione legirane čelike $\tau_u = 1,4 H$



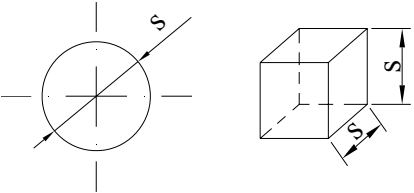
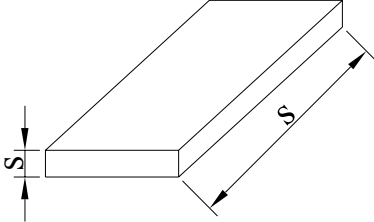
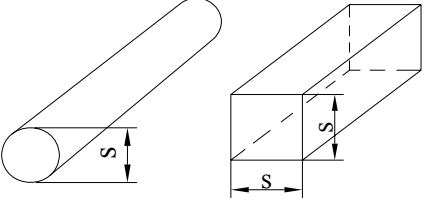
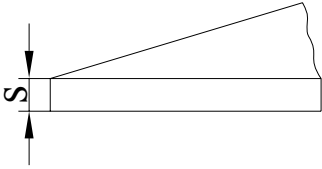
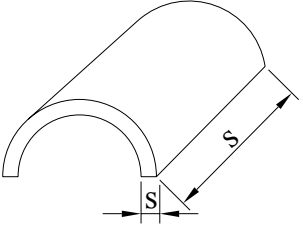
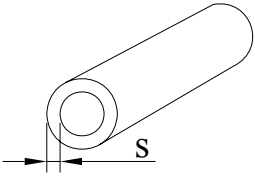
SI. 2. ODREĐIVANJE KARAKTERISTIČNE DIMENZIJE KOMADA RAZLIČITIH OBLIKA (H ,mm). [1]

Ako su komadi komplikovanijeg oblika gdje se koristi stepenasto zagrijavanje na prvi stepen (500 – 600 °C) uzima se:

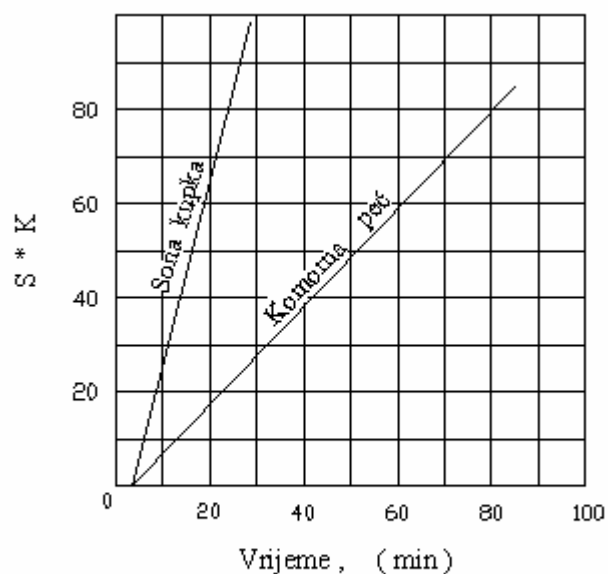
- Za ugljične čelike: - konstrukcione $\tau_u = 1,25 H$
- alatne $\tau_u = 1,8 H$

- Za legirane čelike: - konstrukcione $\tau_u = 1,6 H$
- alatne $\tau_u = 2,0 H$

Kod bližeg definiranja uticaja oblika komada na zagrijavanje, progrijavanje i zadržavanje, prema slici 3, utvrđuju se uticaj dimenzije s i faktora K . Zbirna vremena zagrijavanja, progrijavanja i zadržavanja u zavisnosti od proizvoda $s \cdot K$, prezentiraju se na slici 4.

Oblik i dimenzije s (mm)	Faktor oblika K	Oblik i dimenzije s (mm)	Faktor oblika K
	0,70		1,5
	1,0		2,0
	1,5		2 kratke cijevi «otvorene» 4 duge cijevi «zatvorene»

SI.3. KARAKTERISTIČNA DIMENZIJA s I FAKTOR OBLIKA K
 ZA RAZLIČITE KOMADE [1]



SI.4. UTICAJ PROIZVODA KARAKTERISTIČNE DIMENZIJE s I FAKTORA OBLIKA K NA VRIJEME ZAGRIJAVANJA [1]

Za konstruktivne ugljenične čelike može se vrijeme određivati i iz tabele 1.2. Za legirane čelike treba date vrijednosti povećati za oko 25 – 40 %.

TABELA 1.2. ODREĐIVANJE VREMENA ZAGRIJAVANJA I PROGRIJAVANJA ZA KALENJE I OTPUŠTANJE U ZAVISNOSTI OD DEBLJINE PREDMETA [2]

Debljina predmeta u (mm)	Trajanje zagrijavanja u minutama							
	KALENJE				OTPUŠTANJE			
	Komorna peč		Sono kupatilo		Komorna peč		Sono kupatilo	
	zagrijavanje	progrijavanje	zagrijavanje	progrijavanje	zagrijavanje	progrijavanje	zagrijavanje	progrijavanje
25	20	5	7	3	25	10	10	5
50	40	10	17	8	50	15	25	6
75	60	15	24	12	75	20	35	9
100	80	20	33	17	100	25	45	12
125	100	25	40	20	125	30	55	14
150	120	30	50	25	150	40	65	15
175	140	35	55	30	175	45	70	20
200	160	40	65	35	200	50	90	20

4. BRZINA HLAĐENJA

Hlađenje predstavlja vrlo važnu radnju u termičkoj obradi. Od brzine hlađenja zavise pretvaranja u strukturi čelika i osobine koje će imati nakon obrade. Naročito je važan izbor sredstva za hlađenje kod kaljenja. U teorijskom dijelu je iznijeto da za postizivanje martenzitne strukture, brzina hlađenja mora biti veća od kritične.

Brzina hlađenja je zavisna od vrste čelika, odnosno od njegovog hemijskog sastava, jer od toga zavisi specifična toplota i provodljivost. Na ove veličine se ne može utjecati. Dalje je brzina hlađenja zavisna od osobina, odnosno jačine hlađenja sredstva za hlađenje.

Jačina hlađenja sredstva je zavisna od fizičko-hemijskih osobina sredstva kao što su:

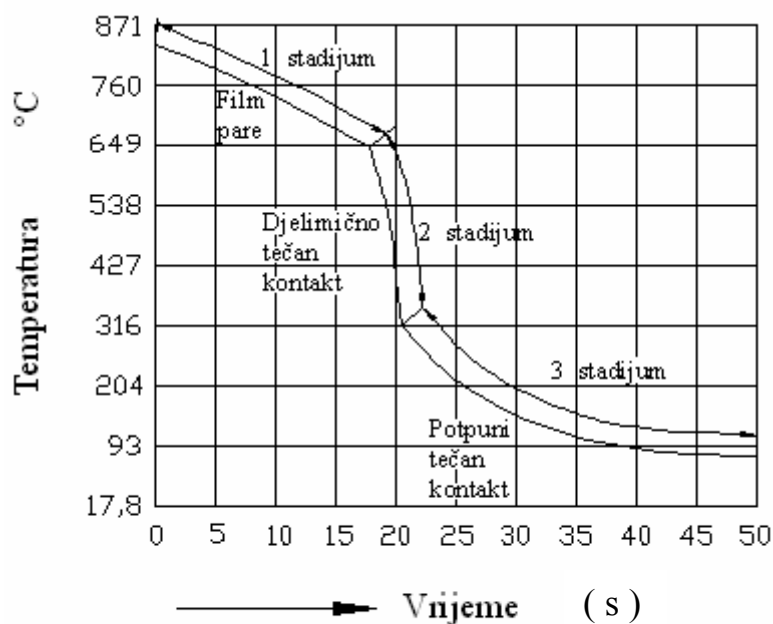
početna temperatura, temperatura ključanja, specifična toplota tečne i gasne faze,

latentna toplota isparavanja, toplotna provodljivost, promjena viskoziteta sa temperaturom itd

Kod vode, vodenih rastvora, ulja i emulzija intenzitet hlađenja je veći na nižim temperaturama.

Pri hlađenju čelika u ovim sredstvima javljaju se tri stadijuma koja se međusobno prepokrivaju.

Na slici 5. dat je šematski prikaz hlađenja pri čemu se naznačena temperatura odnosi na temperaturu sredine komada.



SI.5.ŠEMATSKI PRIKAZ TRI STADIJUMA HLAĐENJA
PRI KALJENJU U TEČNOSTI [2]

- *Prvi stadijum* počinje kada se komad sa temperature kaljenja uroni u tečnost. Sloj tečnosti koji nastupi u dodir sa usijanim komadom naglo postiže temperaturu ključanja, isparava i stvara oko komada stabilan parni omotač. Pošto para slabo provodi toplotu, omotač izoluje predmet od tečnosti, to je brzina hlađenja vrlo mala.

- *Drugi stadijum* počinje kada površina komada ima nižu temperaturu, parni omotač postaje nepostojan, cijepa se, te para i tečnost dolaze u dodir sa površinom komada. Na površini se stvaraju mjehuri pare koji stalno odlaze i usljed strujanja lako odvedu toplotu sa komada na okolnu tečnost. Količina toplote koja se odvede u ovom stadijumu ravna je zbiru toplote potrebne da se tečnost zagrije do tačke ključanja i latentne toplote isparavanja.

Hlađenje u ovom stadiju se odvija velikom brzinom.

- *Treći stadijum* nastaje kada se površina komada ohladi ispod tačke ključanja tečnosti. Toplota se odvede provođenjem i konvekcijom, a pošto su ovo spori procesi, to je brzina hlađenja opet smanjena. Ona tada zavisi od toplotne provodljivosti, od viskoziteta, razlike temperatura i brzine cirkulacije.

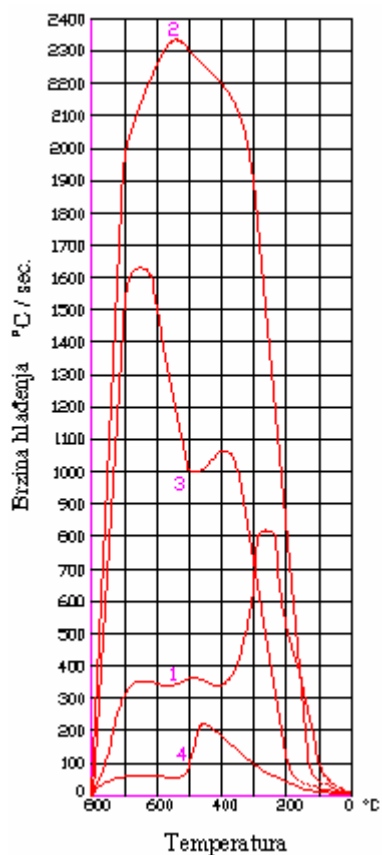
Intenzitet hlađenja zavisi od drugog stadijuma, a to je slučaj kada temperatura prelaza iz prvog u drugi stadijum što viša, i obrnuto, prelaz iz drugog u treći što niži.

Na slici 6. prikazana je brzina hlađenja različitih sredstava za hlađenja. Na apscisi je nanijeta temperatura od 800 °C do 0 °C, te se može pregledno pratiti koliki je intenzitet pojedinog sredstva i koliko ono zadovoljava s obzirom na postavljene uslove:

Ukoliko brzina hlađenja u intervalu najmanje postojanosti austenita (650 – 550 °C) i mala brzina hlađenja u području martenzita (300 – 150 °C).

Kriva 1 se odnosi na vodu pri 20 °C, kriva 2 ja 10 % rastvor NaCl,

kriva 3 je 50% rastvor NaOH, a kriva 4 se odnosi na ulje. Tabela 1.3. svojim podacima takođe pruža sliku o brzini hlađenja na raznim temperaturama.



SI.6. BRZINA HLAĐENJA U ZAVISNOSTI OD VRSTE SREDSTVA I TEMPERATURE [2]

TABELA 1.3. BRZINA HLAĐENJA NA RAZNIM TEMPERATURAMA [2]

S R E D S T V O	Brzina hlađenja °C / sekundi u temperaturnom intervalu	
	550 – 650 °C	200 – 300 °C
Voda 18 °C	600	270
Voda 28 °C	500	270
Voda 50 °C	100	270
Voda 74 °C	30	200
Destilirana voda	250	200
Sapunjava voda	30	200
Emulzija ulja u vodi	70	200
Rastvor 10 % NaOH 18 °C	1200	300
Rastvor 10 % NaCl 18 °C	1100	300
Rastvor 10 % Na ₂ CO ₃ 18 °C	800	270
Rastvor 10 % H ₂ SO ₄ 18 °C	750	300
Mineralno ulje	150	30
Transformatorsko ulje	120	25
Rastop 75 % Sn 25 % Cd	450	50
Bakarna ploča	60	30
Čelična ploča	35	15
Vazduh miran	3	1
Vazduh pod pritiskom	30	10

5. SREDSTVA I AGREGATI ZA ZAGRIJAVANJE

Sredstva za zagrijavanje se razlikuju međusobno po količini toplote koja se dovede u jedinici vremena na jedinicu površine komada. Prenosjenje toplote na komade koji se zagrijavaju vrši se putem provodljivosti, konvekcije i zračenja. Na koji način će se prenositi zavisno je od tipa peći i temperature. Zagrijavanje provođenjem utoliko je brže ukoliko je veća toplotna provodljivost sredine, konvekcijom ukoliko je sredina pokretljiva, a zračenjem ukoliko se komad nalazi bliže izvoru zračenja i ukoliko je njegova površina veća. Kod peći sa gasnom atmosferom na temperaturama od 800 – 900 °C veliki dio toplote se prenosi zračenjem a manji dio konvekcijom, dok je na temperaturama od 300 – 500 °C obrnuto. U sonom kupatilu prenošenje toplote je zavisno od toplotne provodljivosti soli, te se pregrijavanjem za 100 – 200 °C iznad tačke topljenja soli može povećati brzina zagrijavanja za 2 – 3 puta.

Peći koje se primjenjuju u termičkoj obradi mogu se podijeliti po namjeni na:

- a) Peći za otpuštanje do 250 °C
- b) Peći za otpuštanje i žarenje od 150 – 600 °C
- c) Peći za kalenje i cementaciju od 600 – 1000 °C
- d) Peći za kalenje brzoreznih čelika do 1300 °C

Prema konstrukciji i radu peći se dijele na:

- a) Peći sa diskontinuiranim procesom odnosno peći za periodički rad ili rad u šaržama
 - komorna peć
 - mufolna peć
 - vertikalna (dubinska peć)
 - zvonasta peć

- b) Peći za kontinuirani rad
- peći sa kotrljanjem komada
 - prolazna peć
 - tunelska peć
 - rotaciona peć
 - karuselna peć

Prema sredini u kojoj se komadi zagrijavaju peći se dijele:

- a) peći sa vazdušnom ili gasnom atmosferom
- b) sona ili metalna kupatila

U oblasti primjene koriste se sona kupatila različitog sastava, a uglavnom su to: hloridi, nitrati i nitrati kalijuma, natrijuma i barijuma.

- U tabeli 1.4. prikazan je sastav sonih kupatila, temperatura topljenja te oblast primjene.

TABELA 1.4. SASTAV SONI KUPATILA , TEMPERATURA TOPLJENJA I OBLAST PRIMJENE [2]

Sastav kupatila	Temperatura topljenja	Oblast primjene
NaNO ₃ + KNO ₃	218 °C	230 – 550 °C
NaNO ₃	317 °C	325 – 600 °C
KNO ₃	337 °C	350 – 600 °C
NaCl + CaCl ₂	500 °C	540 – 870 °C
CaCl ₂ + BaCl ₂	600 °C	650 – 900 °C
NaCl	808 °C	850 – 1100 °C
BaCl ₂	960 °C	1100 – 1350 °C

- Najčešća metalna kupatila koja se primjenjuju su data tabelom 1.5.

TABELA 1.5. NAJČEŠĆA METALNA KUPATILA KOJA SE PRIMJENJUJU [2]

Sastav kupatila	Temperatura topljenja	Oblast primjene
Čisto olovo	327 °C	350 – 930 °C
Čisti kalaj	232 °C	240 – 1000 °C
Legura 63 % Sn + 37 % Pb	183 °C	190 – 350 °C
Legura 32,5 % Sn + 67,5 % Pb	225 °C	240 – 400 °C
Legura 15 % Sn + 85 % Pb	208 °C	300 – 500 °C

6. SREDSTVA ZA HLAĐENJE

Zbog širine ove oblasti, razmatranje sredstva za hlađenje prvenstveno je usmjereno na sredstva za hlađenje koja se primjenjuju u inđustrijskoj praksi provođenja tehnologije termičke obrade. Uopšteno kazano, sredstva za hlađenje se mogu najgrublje podijeliti na sredstva za lagano i sredstva za ubrzano hlađenje.

6.1. Sredstva za lagano hlađenje

Pod sredstvima za lagano hlađenje podrazumjeva se hlađenje komada pri svim vrstama žarenja.

- na mirnom zraku
- cirkulacionom zraku
- regulacijom brzine hlađenja primjenom peći za hlađenje

- *Hlađenje na mirnom zraku* ostvaruje se na taj način, što se komadi poslije potrebnog vremena boravka u peći, vade iz peći i odlažu na predviđeni prostor gdje se hlade odvođenjem toplote pomoću mirnog zraka sve do postizanja sobne temperature.

- *Hlađenje cirkulacijom zraka* ili nekog drugog plina, primjenjuje se u cilju smanjenja potrebnog vremena za hlađenje do sobne temperature pri normalizaciji nisko i srednje ugljeničnih čelika i pri kalenju određenih vrsta visoko legiranih čelika. Pri tome, brzina hlađenja regulira se intenzitetom cirkulacije. Samo hlađenje se može vršiti u peći ili izvan peći, a intenzitet cirkulacije regulira se prema vrsti termičke obrade i vrste tretiranog čelika.

- *Hlađenje regulacijom brzine* koristi se za lagano hlađenje kod svih vrsta žarenja drugog reda kao i žarenja prvog reda uz uklanjanje unutrašnjih naprezanja. Regulacijom brzine hlađenja ostvaruje se u samoj peći u kojoj je vršena odgovarajuća termička obrada ili u posebnom za tu svrhu namjenjenom uređaju. Postizanje zahtjevanog tempa opadanja temperature vrši se ručnim ili automatskim uključivanjem i isključivanjem instrumenta za mjerenje i održavanje temperature, prema propisanom režimu.

6.2. Sredstva za ubrzano hlađenje

Sredstva za ubrzano hlađenje primjenjuju se pri onim vrstama termičke obrade kod kojih je potrebno ostvariti visok stepen pothlađivanja austenita kako bi se ostvarila zahtjevana vrsta transformacija uz minimalna naprezanja u materijalu.

Sve vrste kalenja zahtjevaju primjenu ubrzanog hlađenja. Za ubrzano hlađenje (kalenje) najčešće se primjenjuju sljedeća sredstva:

- voda sa i bez dodatka sredstva za smanjenje perioda postajanja parnog omotača
- mineralna ulja različitih fizičko-hemijskih karakteristika a time i različitih brzina hlađenja
- rastopi soli
- rastopi metala
- vlažan zrak pod pritiskom.

- *Voda* : ima veliku latentnu toplotu isparavanja, te je njena brzina hlađenja znatna, ali je maksimalna na temperaturama martenzitnog pretvaranja, a ne u kritičnom intervalu najmanje postojanosti austenita. Pokazuje veliku sklonost ka stvaranju parnog omotača, naročito ako sadrži nerastvorene gasove : N₂, vazduh, O₂, CO₂. Gasovi doprinose stvaranju debljeg i postojanijeg parnog omotača.

Na brzinu hlađenja vode, sem prisustva gasova u vodi i njene temperature utiče i stanje površine komada. Risevi otežavaju hlađenje, jer se mjehuri zadržavaju u njima i hlađenje je neravnomjerno. Sloj okaline umanjuje odvođenje toplote, ali u zavisnosti od debljine sloja može nekada i da ubrzava hlađenje. Pucanje okaline raskida parni omotač, te je tada njeno dejstvo pozitivno. Izrađena voda hladi bolje nego svježa. U toku rada važno je održavati stalnu temperaturu vode i stalni sastav. Sapunica je vrlo nepoželjna, jer stabilizuje parni omotač.

- *Vodeni rastvori soli i baza:* rastvori imaju veći intenzitet hlađenja od čiste vode. Brzina hlađenja je velika baš u kritičnom periodu male postojanosti austenita, dok je u martenzitnom području manja od brzine hlađenja čiste vode. Dodavanjem vodi, soli i i baza postiže se skoro trenutno raspadanje parnog omotača. Rastvori baza i soli djeluju slično. Najbolje hlade 30 % rastvori. Pošto je temperatura ključanja baznih rastvora viša, hlađenje u martenzitnoj oblasti je umjerenije i opasnost od stvaranja naprezanja i prskanja je manja nego u slučaju čiste vode ili rastvora soli.

Zagrijavanjem baznog rastvora smanjuje se brzina hlađenja. Pri kaljenju komada, gdje se traži ujednačena struktura i tvrdoća može se preporučiti rastvor 5 – 10 % NaOH ili NaCl. Kod alata iz ugljeničnih čelika i predmeta složenih oblika, radi postizanja visoke i ravnomjerne tvrdoće, a smanjenja deformacija, primjenjuje se rastvor 30 – 50 % NaOH zagrijan na 25 – 30 °C.

- *Ulje:* ima manju jačinu hlađenja od vode. Ulje pokazuje pri hlađenju iste pojave kao i voda samo je parni omotač stabilniji. Ulje ima višu tačku ključanja i teže isparava. Brzina hlađenja ulja na temperaturi 600 – 500 °C je 5 – 6 puta veća, nego na 300 – 200 °C, dok je kod vode samo 2 – 3 puta veća. Zagrijavanjem ulja na temperature između 30 i 60 °C ubrzava se prijenos toplote i brzina hlađenja zbog smanjenog viskoziteta. Ulja se zato upotrebljavaju zagrijana 50 – 60 °C. Fizičke osobine ulja naročito viskozitet, tačka paljenja i gustina su vrlo važne, pošto se sa njihovim porastom smanjuje brzina hlađenja i parni omotač se raskida pri sve višim temperaturama.

Sastav takođe utiče, pa se sve više primjenjuju mješavine biljnih i mineralnih ulja.

Biljna ulja brže hlade nego mineralna ali su skupa i na površini komada stvaraju taloge. Raznim dodacima ulja dobijaju specifična svojstva kao što su: lako stvaranje emulzija sa vodom, lako odstranjivanje opne od soli kod komada zagrijanih u sonim kupatilima, visoka temperatura paljenja. Ovo posljednje omogućuje upotrebu ulja i za otpuštanje na temperaturama do 300 °C itd.

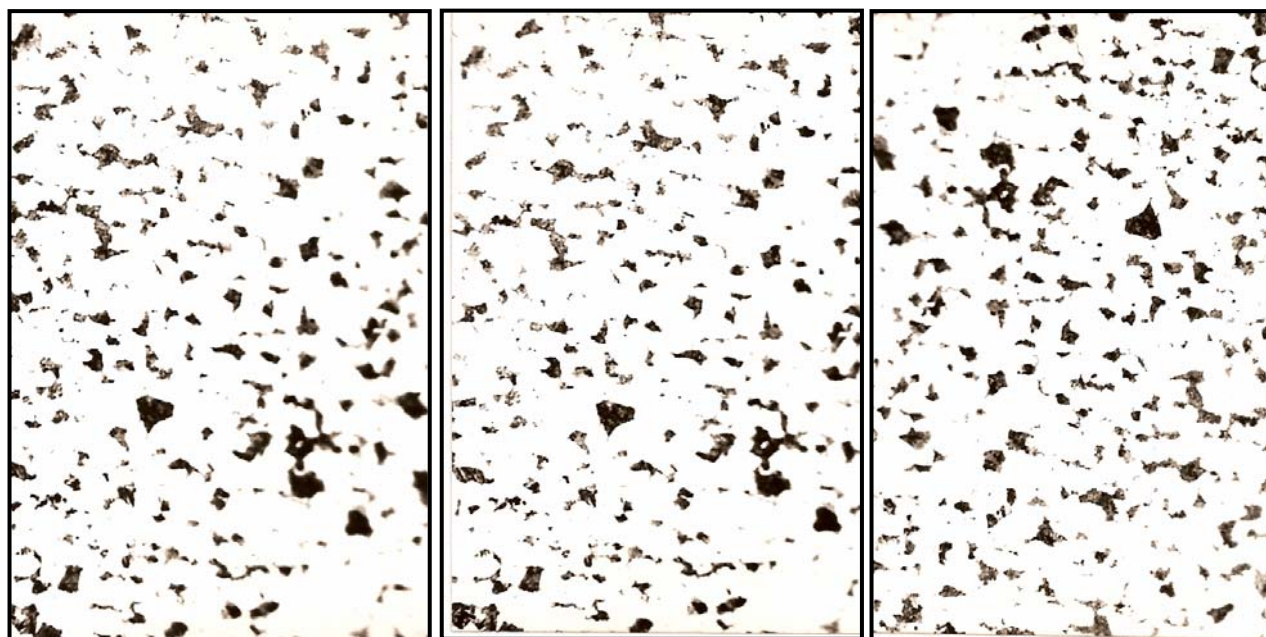
Kaljenje u ulju se preporučuje kod malih presjeka ugljičnih čelika (\varnothing 6 – 8 mm) i legiranih sa malom kritičnom brzinom hlađenja.

- *Rastopi metala i soli:* metali i soli kao rashladna sredstva, naročito kod stepenastog, izotermalnog i prekidnog kaljenja mogu se koristiti rastopi metala i soli (KNO_3 , NaNO_3 , KOH, NaOH). Temperature se kreću od 150 °C do 600 °C. Brzo odvede toplotu, ali im je nedostatak što se lijepe na površinu komada. Bez obzira na primjenu, rashladno sredstvo za kaljenje, potapanje tretiranog komada treba da bude izvršeno na taj način da se duža osa tretiranog komada postavlja vertikalno u odnosu na površinu tečnog rashladnog sredstva.

7. STRUKTURNE PROMJENE MATERIJALA PRI ZAGRIJAVANJU

Strukturne promjene željeznog materijala pri zagrijavanju prikazane su na primjeru niskougličnog čelika za cijevi, zagrijavanog na visokotemperaturnom mikroskopu tipa " Vacuterm " na temperaturama od 30 °C do 800 °C. Ovaj uređaj omogućava kontinuirano praćenje promjene veličine zrna na raznim temperaturama kao i mogućnost određivanja temperature na kojoj zrno počinje naglo rasti. Na slikama je prikazan izgled mikrostrukture ispitivanog čelika, nakon porasta temperature za 30 °C pri povećanju od 100 X u stanju nagriženom 1 % HNO₃. Takođe je vidljivo da na slikama od 1 do 22 sa promjenom temperature od 30 °C do 650 °C veličina zrna se nemjenja, a zatim na slikama 23, 24 i temperaturi 730 °C i 750 °C veličina zrna se počinje smanjivati, da bi na slikama 25 i 26, i temperaturi 800 °C granice austenitnog zrna nestale, a na slikama od 27 do 30 zrno se povećava.

FOTOGRAFSKI PRIKAZ STRUKTURNE PROMJENE MATERIJALA PRI ZAGRIJAVANJU [5]



Slika 1

Slika 2

Slika 3



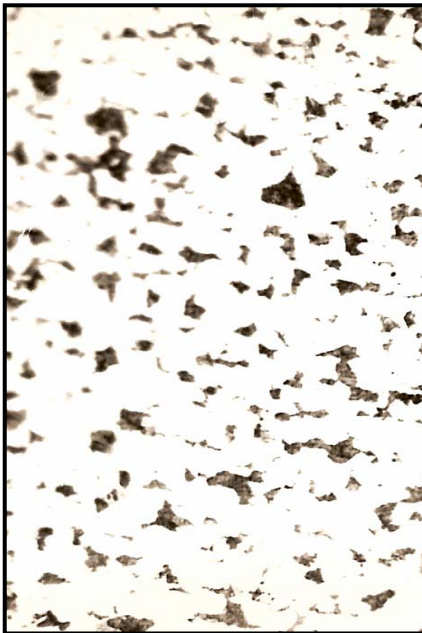
Slika 4



Slika 5



Slika 6



Slika 7



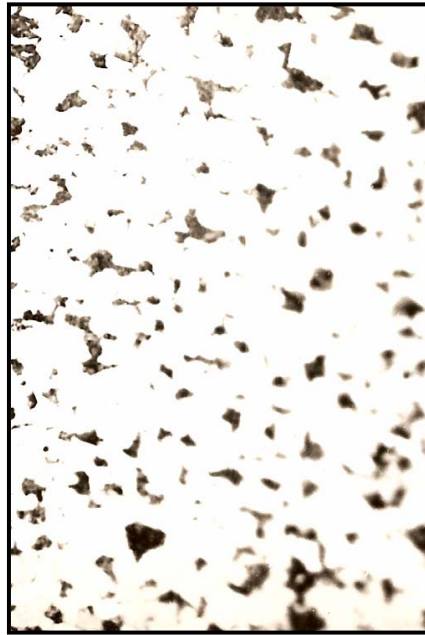
Slika 8



Slika 9



Slika 10



Slika 11



Slika 12



Slika 13



Slika 14



Slika 15



Slika 16



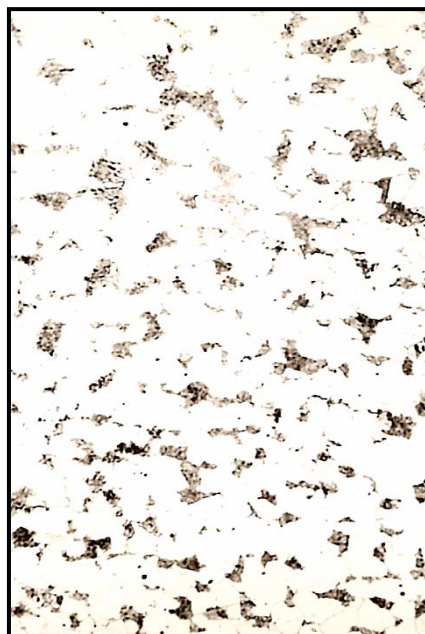
Slika 17



Slika 18



Slika 19



Slika 20



Slika 21



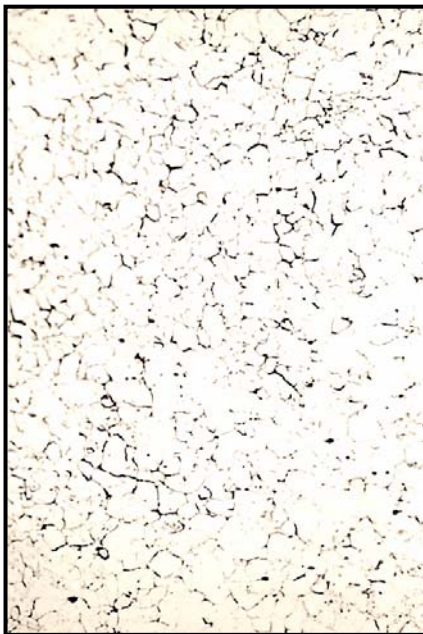
Slika 22



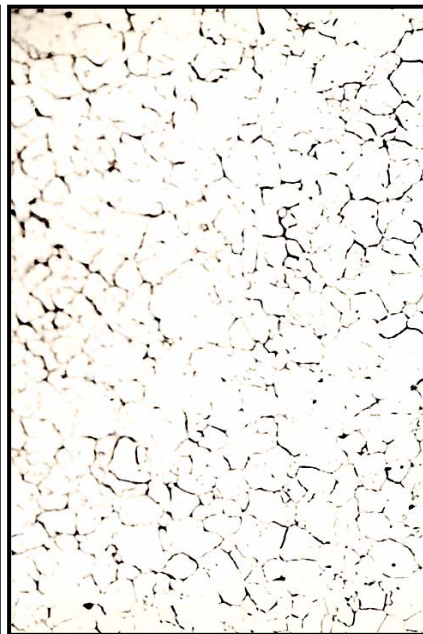
Slika 23



Slika 24



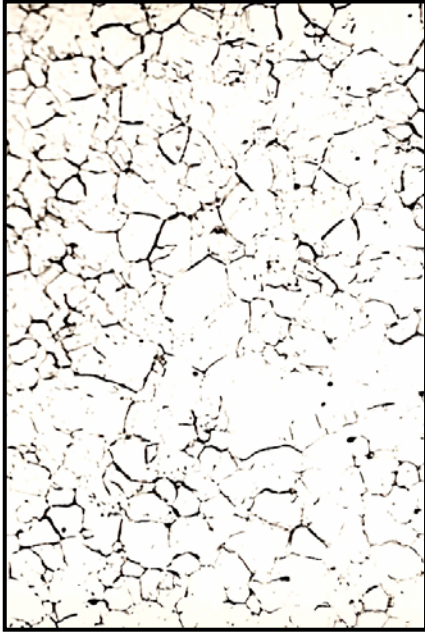
Slika 25



Slika 26



Slika 27



Slika 28



Slika 29



Slika 30

TABELA 1.6. STRUKTURNE PROMJENE MATERIJALA PRI ZAGRIJAVANJU [5]

Slika	Temperatura zagrijavanja	Vrijeme	Veličina zrna po ASTM skali
1	30 °C	----	6
2	60 °C	----	6
3	90 °C	----	6
4	120 °C	----	6
5	150 °C	----	6
6	180 °C	----	6
7	210 °C	----	6
8	240 °C	----	6
9	270 °C	----	6
10	300 °C	----	6
11	330 °C	----	6
12	360 °C	----	6
13	390 °C	----	6
14	410 °C	----	6
15	440 °C	----	6
16	470 °C	----	6
17	500 °C	----	6
18	530 °C	----	6
19	560 °C	----	6
20	590 °C	----	6
21	620 °C	----	6
22	650 °C	----	6
23	730 °C	----	7 i 8
24	750 °C	----	7 i 8
25	800 °C	----	8
26	800 °C	30 min	8
27	800 °C	60 min	7 i 8
28	600 °C	----	6 - 8
29	600 °C	20 min	5 - 8
30	600 °C	60 min	5 - 8

8. ZAKLJUČAK

U ovom seminarskom radu govoreno je o brzini zagrijavanja, stvarnom i tehnološkom određivanju vremena zagrijavanja i hlađenja, uticaju rasporeda komada u peći, oblikom i masom komada. Govoreno je o sredstvima i agregatima za zagrijavanje i hlađenje.

Dati su šematski i tabelarni prikazi sredstava i agregata za zagrijavanje i hlađenje, oblasti njihove primjene i sl. Takođe date su strukturne promjene materijala pri zagrijavanju na primjeru niskougleničnog čelika za cijevi zagrijavanog na visokotemperaturnom mikroskopu tipa "Vacuterm" na temperaturama od 30 °C do 800 °C. Na slikama je prikazan izgled mikrostrukture ispitivanog čelika, nakon porasta temperature za 30 °C, pri povećanju od 100 X, u stanju nagriženom 1 % HNO₃, tako da su vidljive promjene strukture i veličina zrna.

LITERATURA

- [1] Hadžipašić A.: Termička obrada metala i legura, Mašinski fakultet u Zenici, 1993.
- [2] Stanković V.: Mašinski materijali sa termičkom obradom, Stručna knjiga, Novi Sad, 1966.
- [3] Stošić P.: Tehnički priručnik za termičku obradu metala u sonim kupatilima, Tehnička knjiga, Beograd, 1959.
- [4] Blagojević Đ.: Tehnologija metala, Tehnička knjiga, Beograd, 1951.
- [5] Haračić N.: Strukture i fizičke promjene materijala pri zagrijavanju, Predavanja, Mašinski fakultet u Zenici.
- [6] Haračić N.: Cementacija čelika za zupčanike mjenjača, Mašinski fakultet u Zenici, 2003