

# TOPLOTNA OBDELAVA

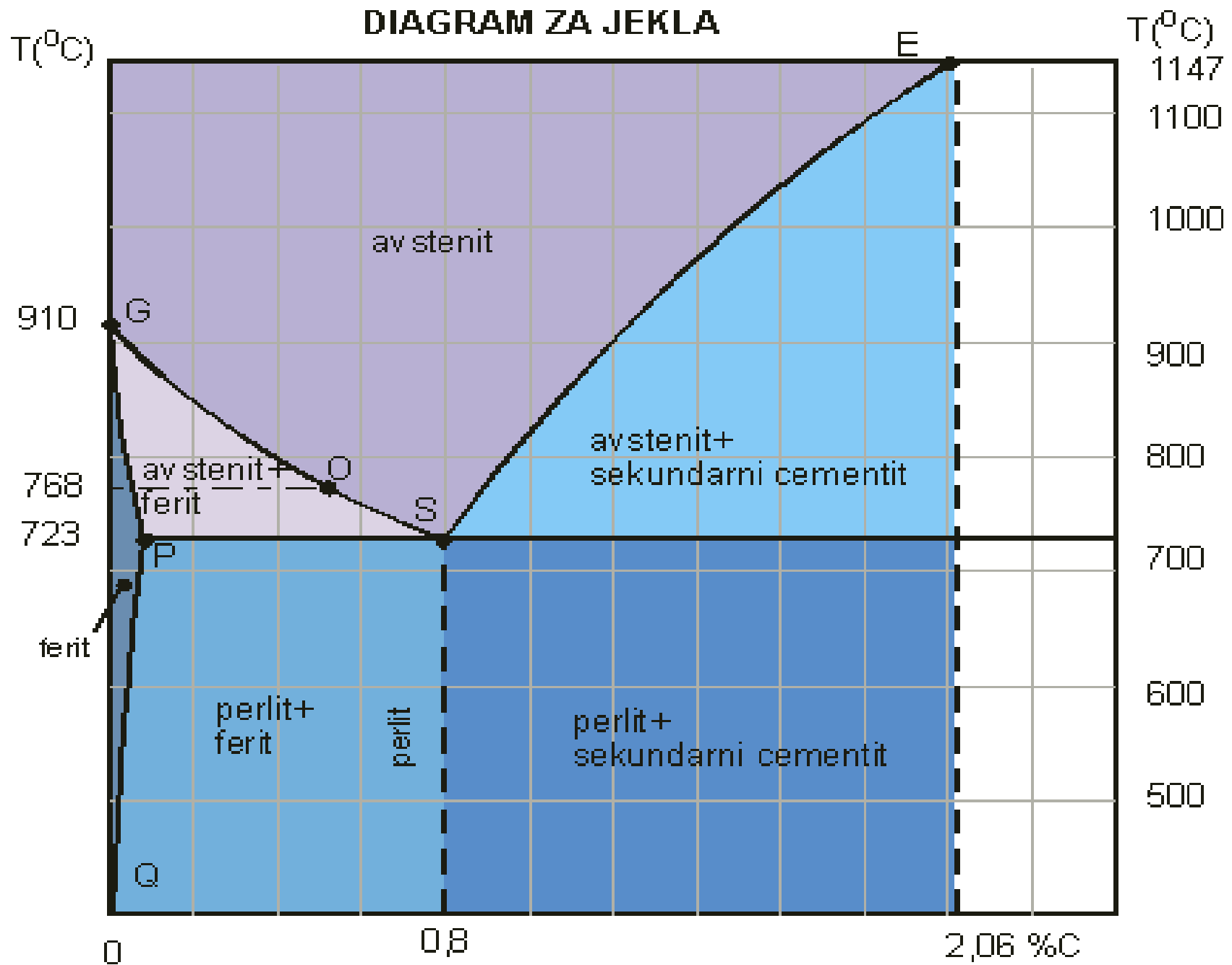
- spreminjanje lastnosti  
izdelkom



- Je postopek ali več postopkov za obdelavo izdelkov
- Izdelek je namenoma in kontrolirano izpostavljen temperaturnim spremembam
- S tem dosežemo načrtovane lastnosti materiala
- Izdelku spremenimo strukturo, ne pa kemijske sestave
- V večini jekel je najpomembnejši ogljik
- Nelegirano jeklo vsebuje le ogljik in železove spremljevalne elemente (Mn, Si, P, S)



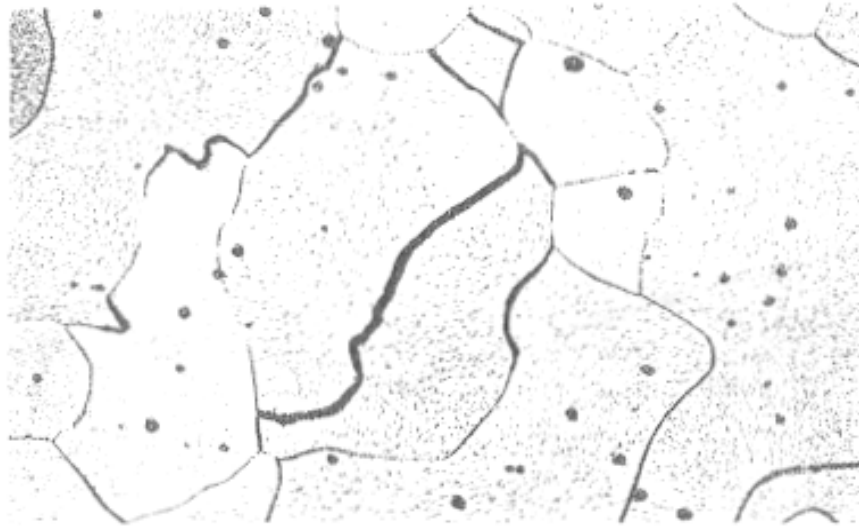
# DIAGRAM ZA JEKLA



# Vpliv hitrosti ohlajanja na nastanek struktur v jeklu

## Počasna sprememba temperature

- Atomi imajo čas razporediti se tako, da tvorijo ravnotežno stanje, ki ustreza temperaturi; vršijo se temperaturne premene; poteka difuzijski proces
- Difuzijski proces je potovanje atomov ogljika in železa v mreži
- Ogljik je v mreži raztopljen, vezan v karbid, ali izločen kot grafit
  
- Glede na delež ogljika v jeklu razlikujemo:
  - PODEVTEKTOIDNA jekla (  $< 0.8\% \text{C}$  )
  - EVTEKTOIDNA jekla (  $0.8\% \text{C}$  )
  - NADEVTEKTOIDNA jekla (  $0.8 - 2.06\% \text{C}$  )



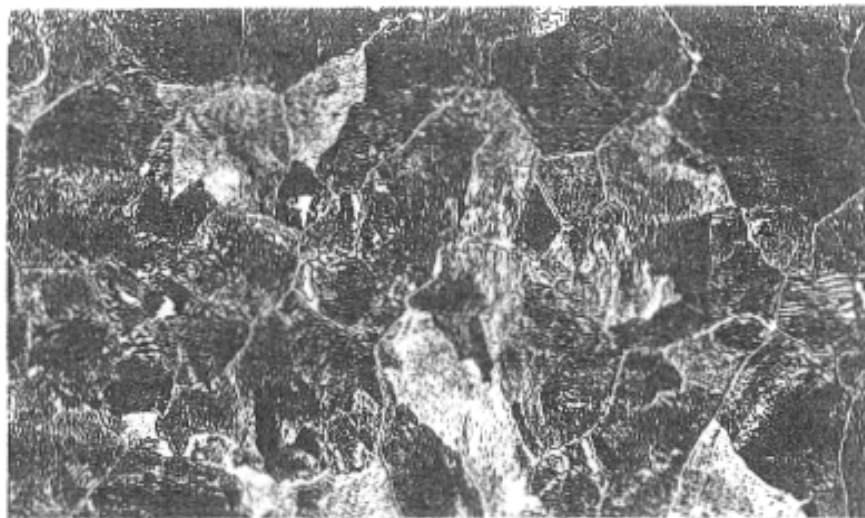
*Ferit in vključki žindre (povečava: 150 x)*



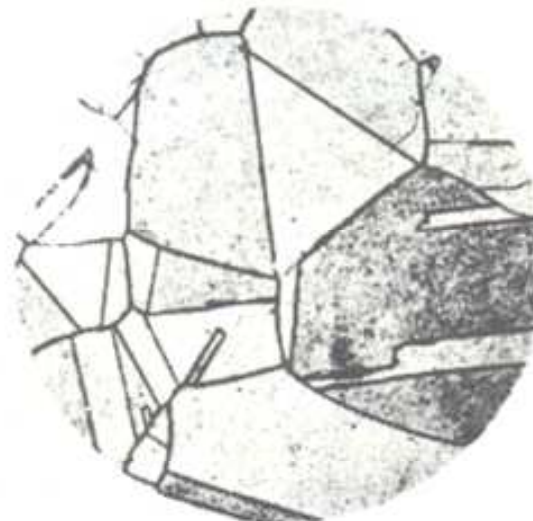
*150-krat povečano*

**feritna struktura**

- Za toplotno obdelavo sta pomembni dve temperaturi:
- A1- spodnja premenska temperatura, 273 st. C, črta PSK in
- A3- zgornja premenska temperatura, vzdolž črte GS
- Nad A3 ne obstaja ferit, pod A1 ne obstaja avstenit
- Pri 0.8 %C A1 in A3 sovpadata

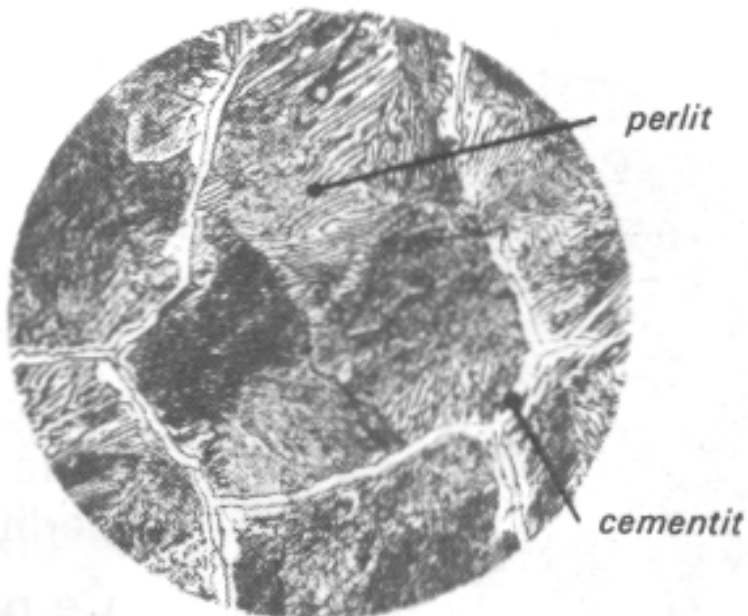


*Nadevtektoidno jeklo (povečava: 150 x)*



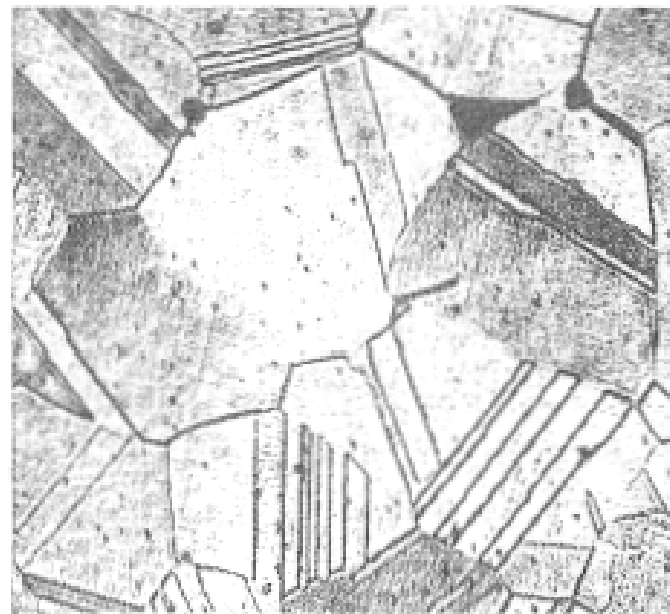
*800-krat povečano*

**avstenit**

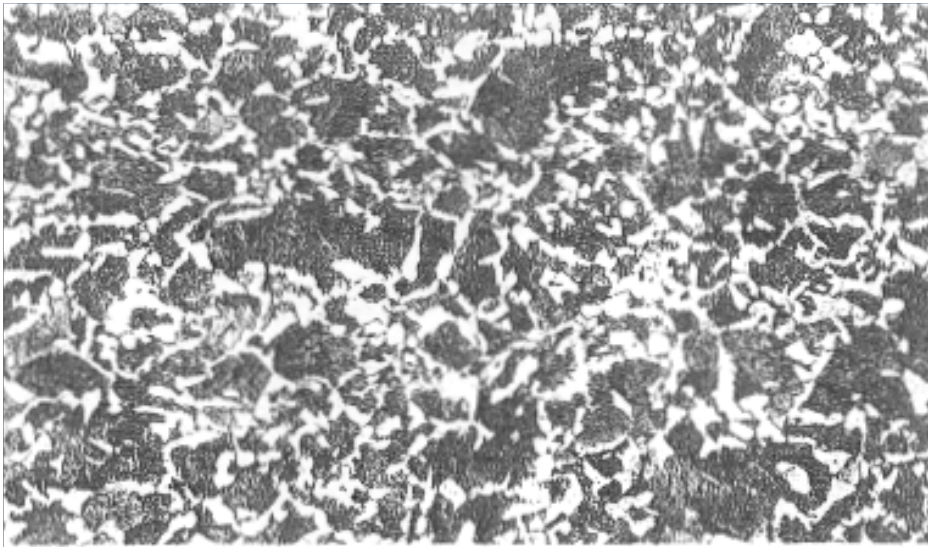


*400-krat povečano*

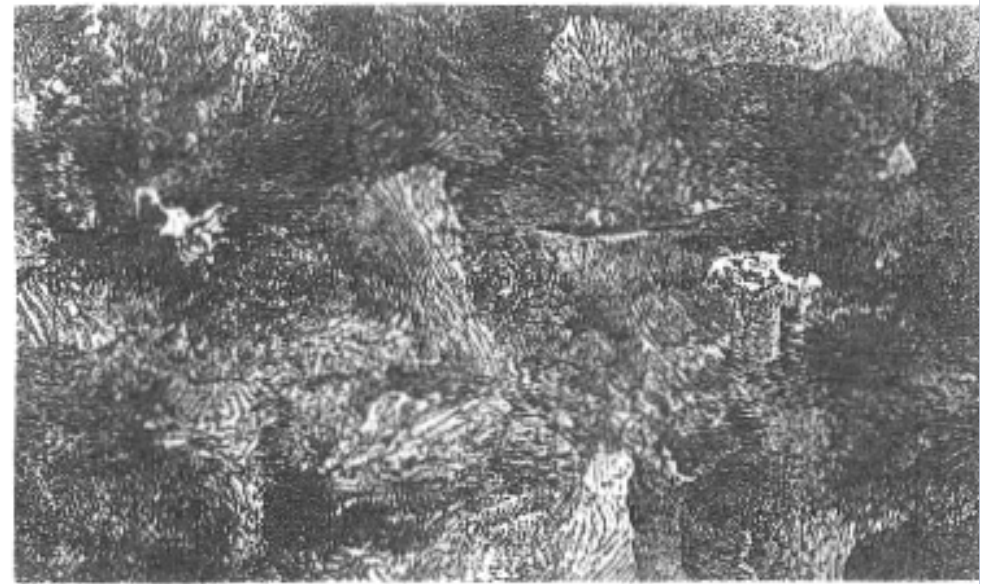
**perlitno-cementitna struktura**



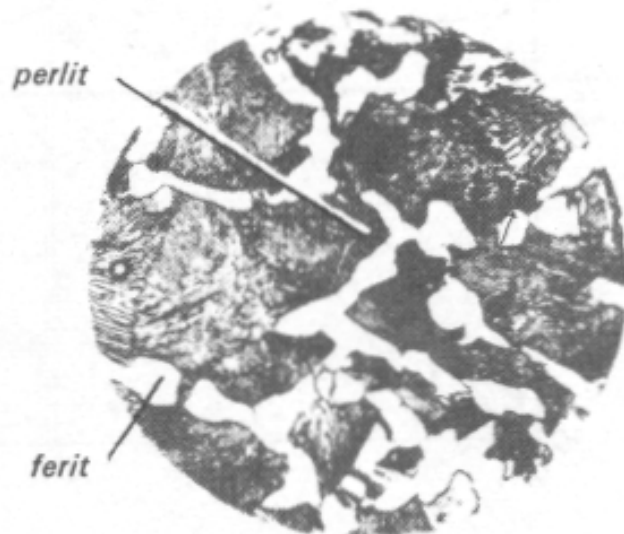
*Avstenit (povečava: 200 x)*



*Podvtektoidno jeklo (povečava: 150 x)*

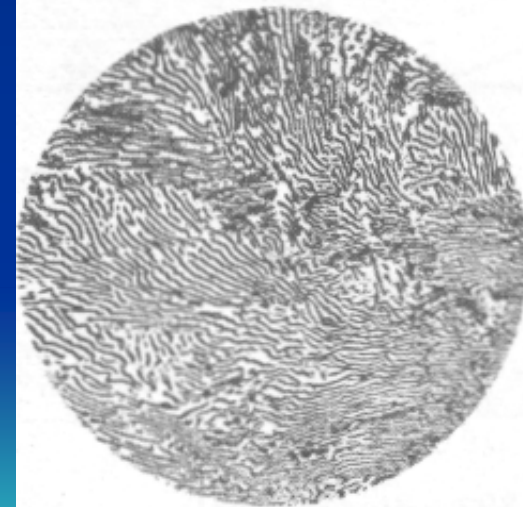


*Evtektoidno jeklo (povečava: 600 x)*



*400-krat povečano*

**feritno-perlitna struktura  
jekla, ki ima okrog 0,5% ogljika**



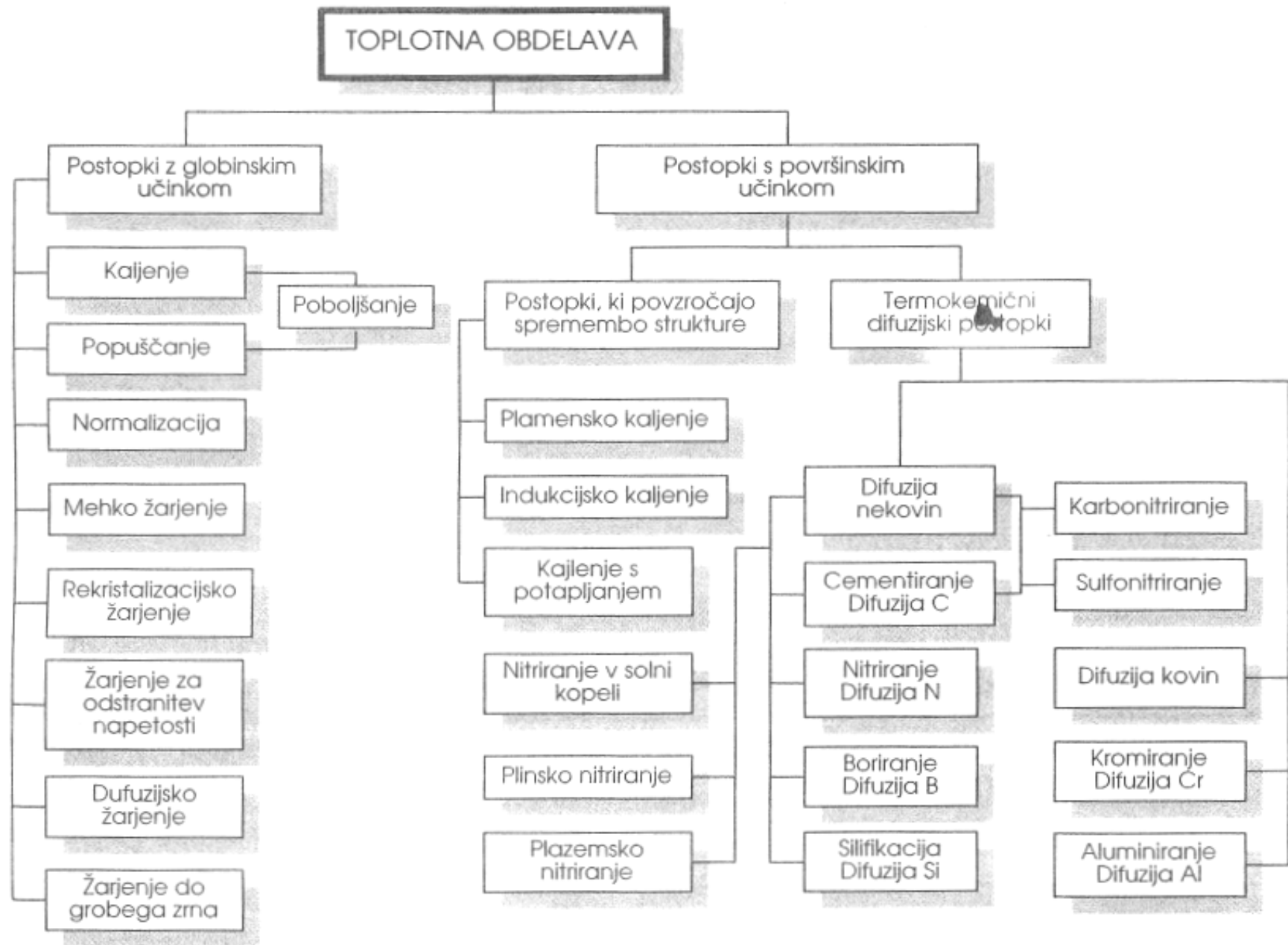
*400-krat povečano*

**perlitna struktura**

- Perlit- finozrnata evtektoidna struktura; fini kristali ferita in cementita
- Nastane pri počasnem ohlajanju v pečeh
- Če ohlajamo hitreje (na zraku), nastane bolj fina struktura- sorbit
- Pri ohlajanju v olju nastane bainit
- Pri ohlajanju v vodi nastane martenzit (deformacija kristalne mreže v tetragonalno)





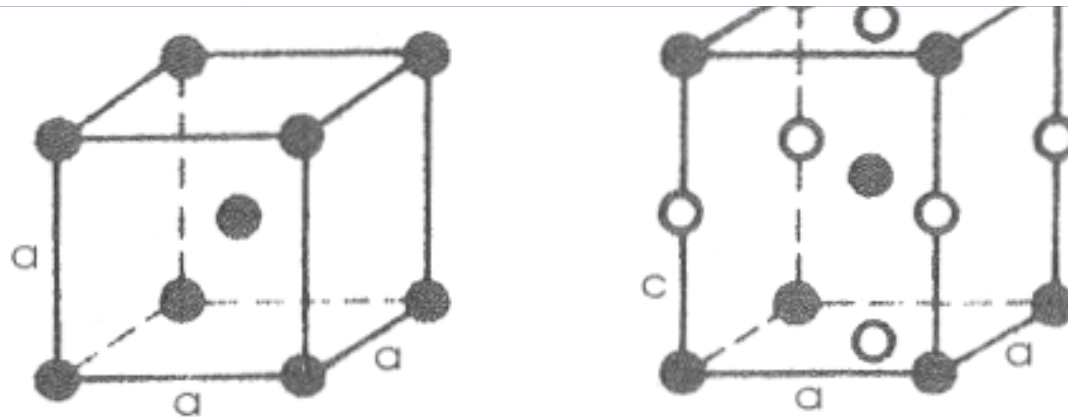


*Shematsko prikazana razčlenitev postopkov toplotne obdelave, ki se v praksi bolj ali manj pogosto uporabljajo.*

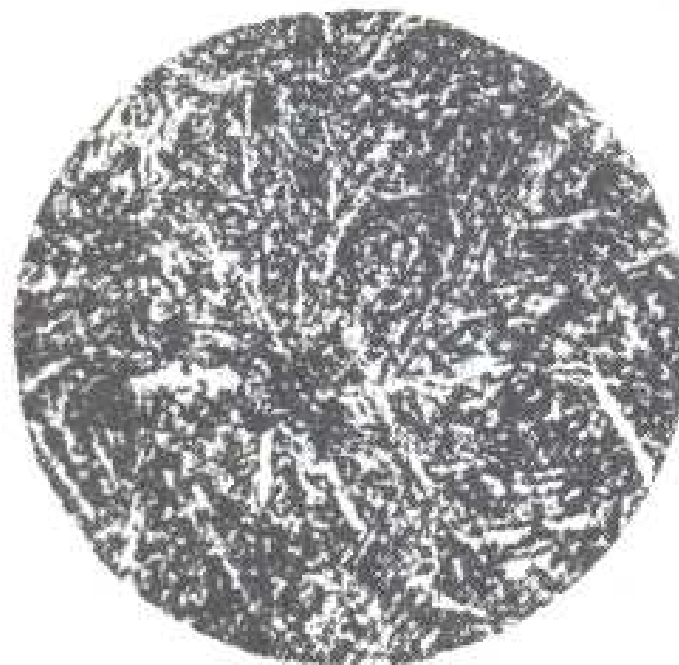
## Hitra sprememba temperature

- Za difuzijski proces ni dovolj časa; pojavijo se strukturne spremembe
- Premenske točke se pomaknejo nekoliko navzgor ali navzdol, odvisno ali gre za ohlajanje ali za ogrevanje
- Pri hitrem segrevanju se karbidi raztopijo šele pri  $A_{c3}$
- Vzpostavitev ravnotežnega stanja odpade- nastanejo modificirane strukture
- Nastane nova struktura- martenzit





*Kristalna mreža  $\alpha$ -železa in martenzita*



*150-krat povečano*

**martenzit**

- Posledica hitrega ohlajanja je podhlajeni avstenit pod točko Ar1
- Težnja po pretvorbi iz ploskovno centrirane rešetke v prostorsko je velika
- Na vmesnih prostorih je pretesno- rešetka se razpotegne v tetragonalno
- Nad točko Ac3 se ne smemo dolgo zadrževati
- S podhladitvijo se izločajo vedno bolj fini karbidi, perlit, bainit in martenzit

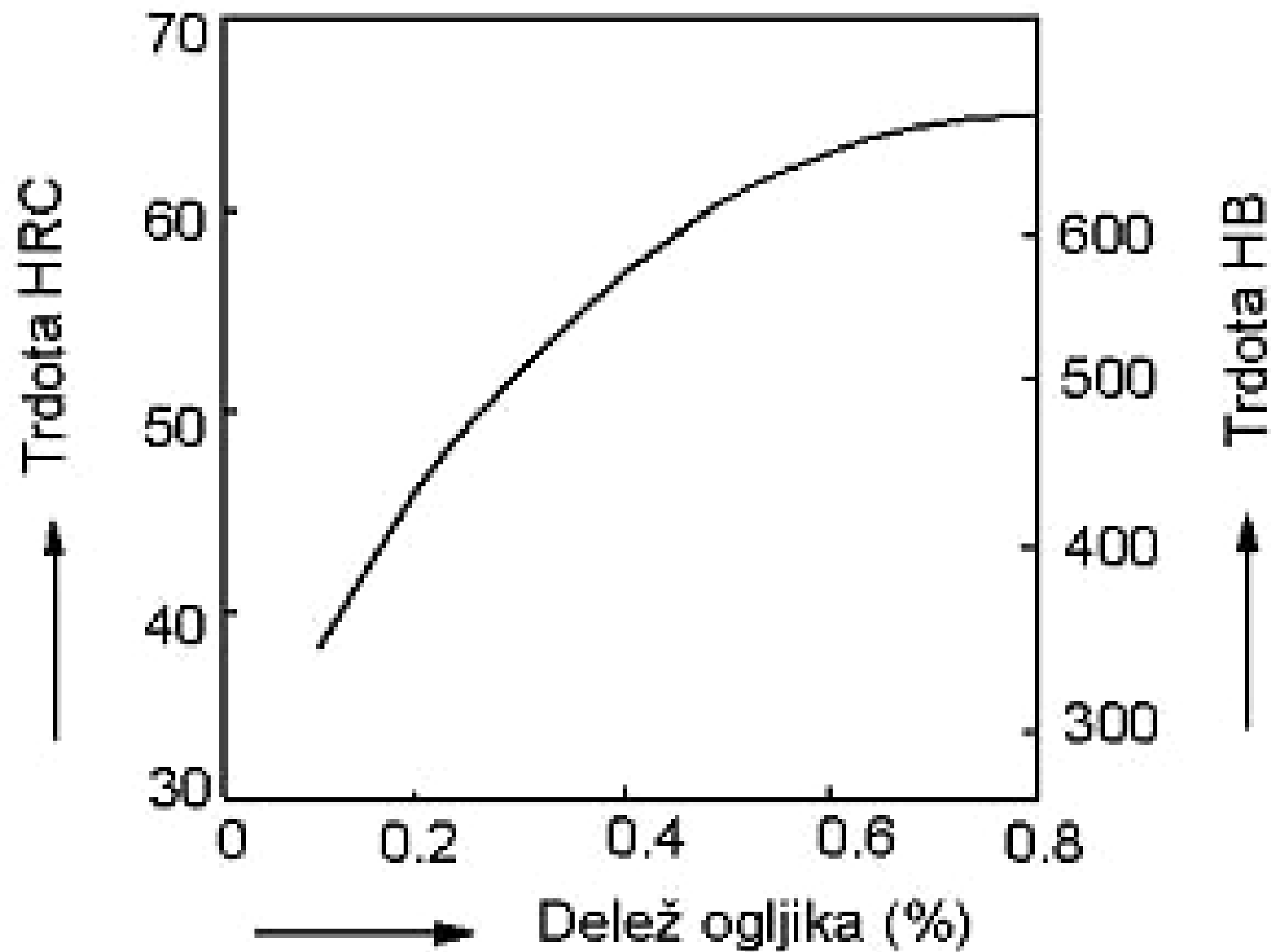


# Legiranje

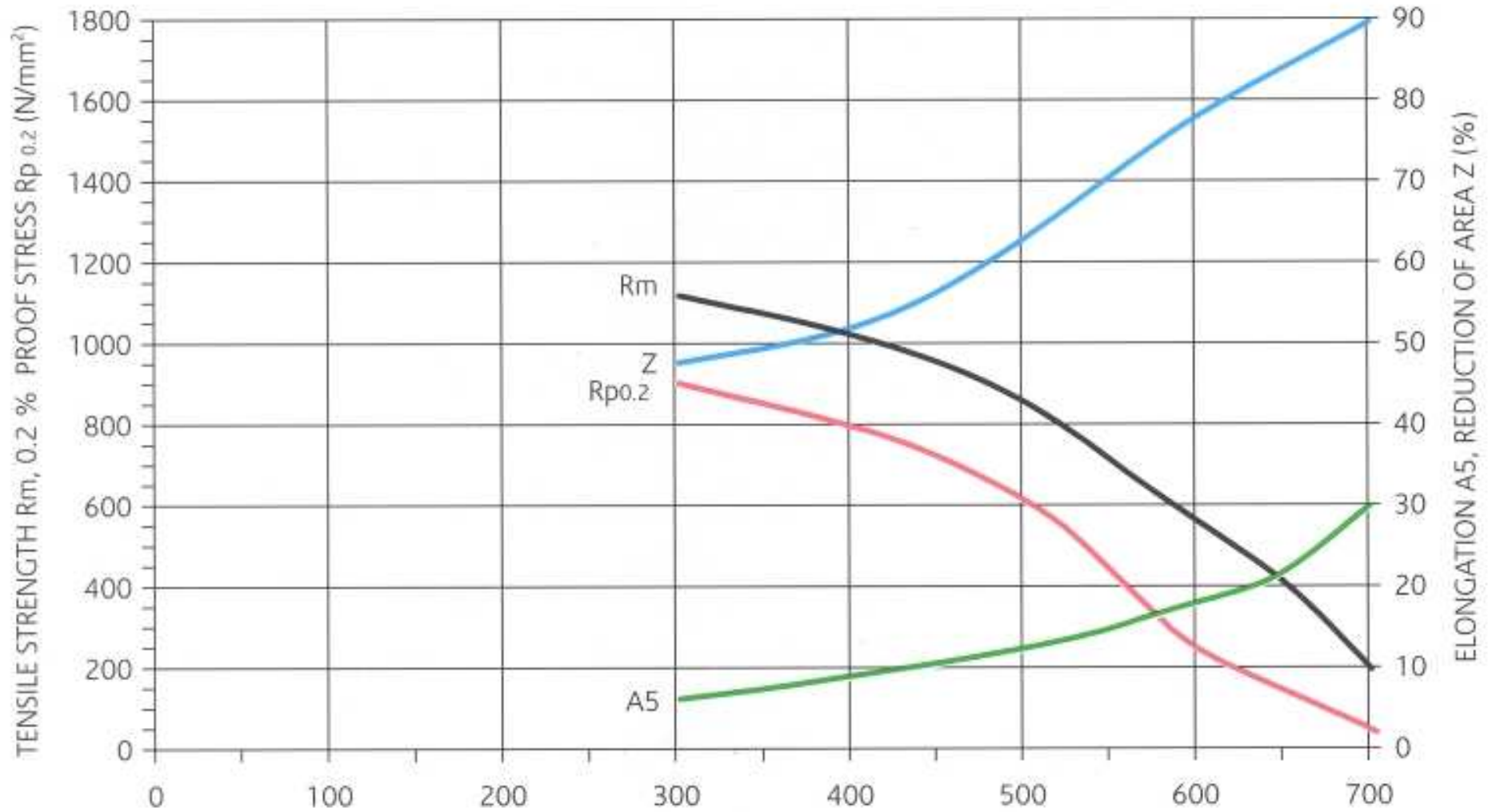
- Legirni elementi- za doseganje različnih želenih lastnosti jekla
- Elementi, ki širijo avstenitno področje: C, Cu, N, Ni, Mn, Co
- Elementi, ki ožijo avstenitno področje: Cr, W, V, Ti, Si, Al
- Avstenitna in feritna jekla niso kaljiva
- Legirni elementi zadržujejo izločanje ogljika iz avstenitne mreže, zato se pri počasnejšem ohlajanju lahko ravno tako doseže popolna pretvorba v martenzit
- Količina ogljika določa največjo trdoto, legirni elementi pa prekaljivost

# Kaljenje

- Je hitro ohlajanje iznad A1 in A3, da nastopi površinsko ali globinsko povečanje trdote, praviloma s tvorbo martenzita
- Kaljenje je segrevanje, držanje na temperaturi kaljenja in gašenje
- Za največjo trdoto- 0.8%C; pod 0.2%C je vpliv ogljika premajhen
- Ogljik je vezan v karbidih, ki se morajo med držanjem na kalilni temperaturi raztopiti; segrevanje naj bo enakomerno in globinsko
- Kalilna temperatura mora biti vsaj 30°C nad premensko točko, da se tudi sredina materiala segreje
- Predolg čas povzroči spremembe dimenzij in grobo strukturo
- Prekratek čas ne dopušča raztopiti vseh karbidov- nižja trdota



HARDENED AND TEMPERED ON 1270 N/mm<sup>2</sup>



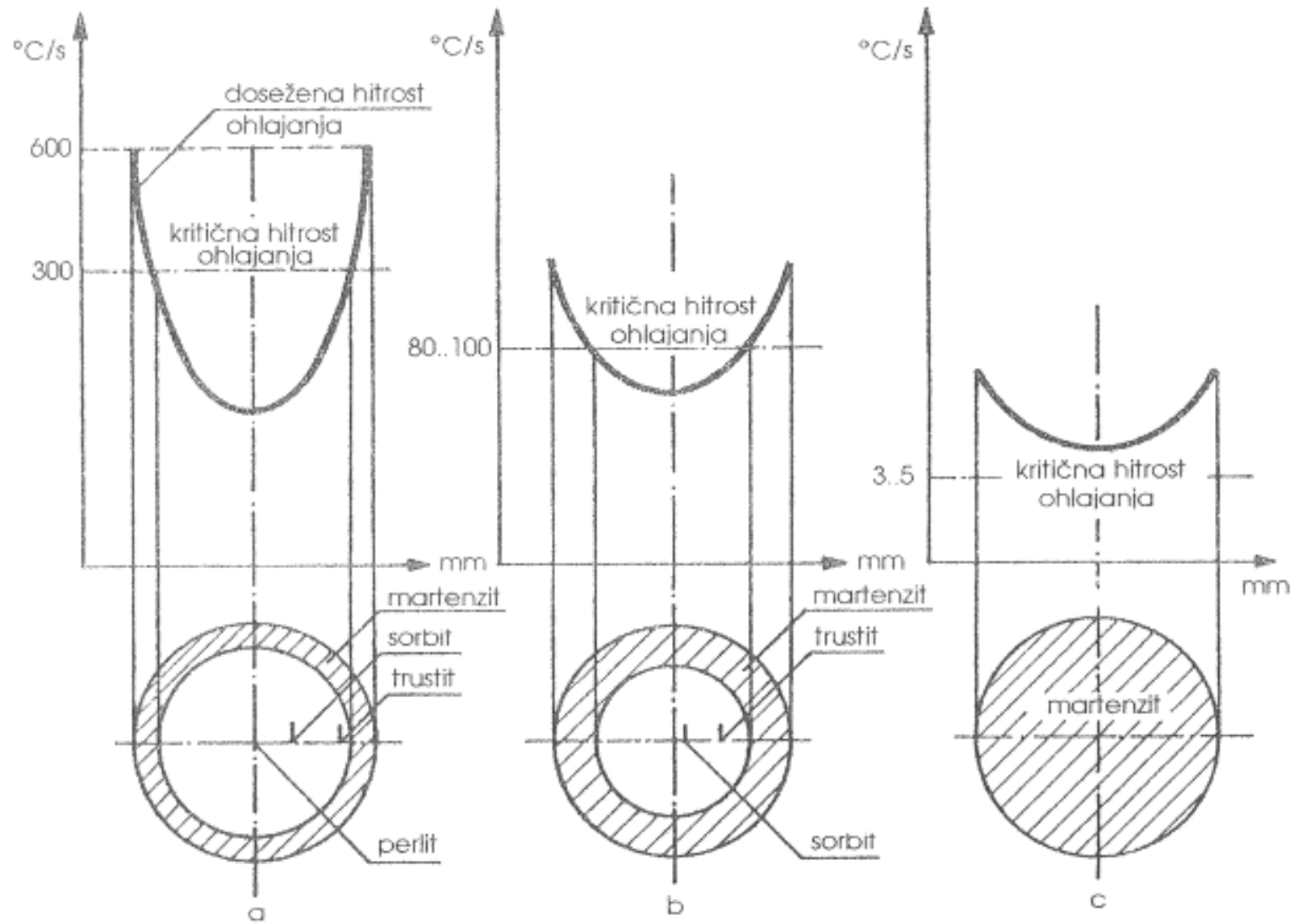


- Segrevanje se vrši v elektropečeh, plinskih pečeh ali solnih kopelih, vakuumu
- Segrevanje nad črto G-S-K

### Veljajo naslednje kalilne temperature:

- ogljikova jekla  $T_k = 770 - 920 \text{ }^\circ\text{C}$
- legirana jekla  $T_k = 800 - 1100 \text{ }^\circ\text{C}$
- hitrorezna jekla  $T_k = 1200 - 1300 \text{ }^\circ\text{C}$
- Kritična hitrost ohlajanja je najmanjša hitrost ohlajanja za nastanek martenzita

$$T_k = 920 - 150 \cdot \%C + 20 \cdot \%Cr + 30 \cdot \%Mo - 20 \cdot \%Ni + 200 \cdot \%V + 10 \cdot \%W$$



a - ogljikova jekla  
hlajena v vodi

b - srednje legirana jekla  
hlajena v olju

c - močno legirana jekla  
hlajena na zraku

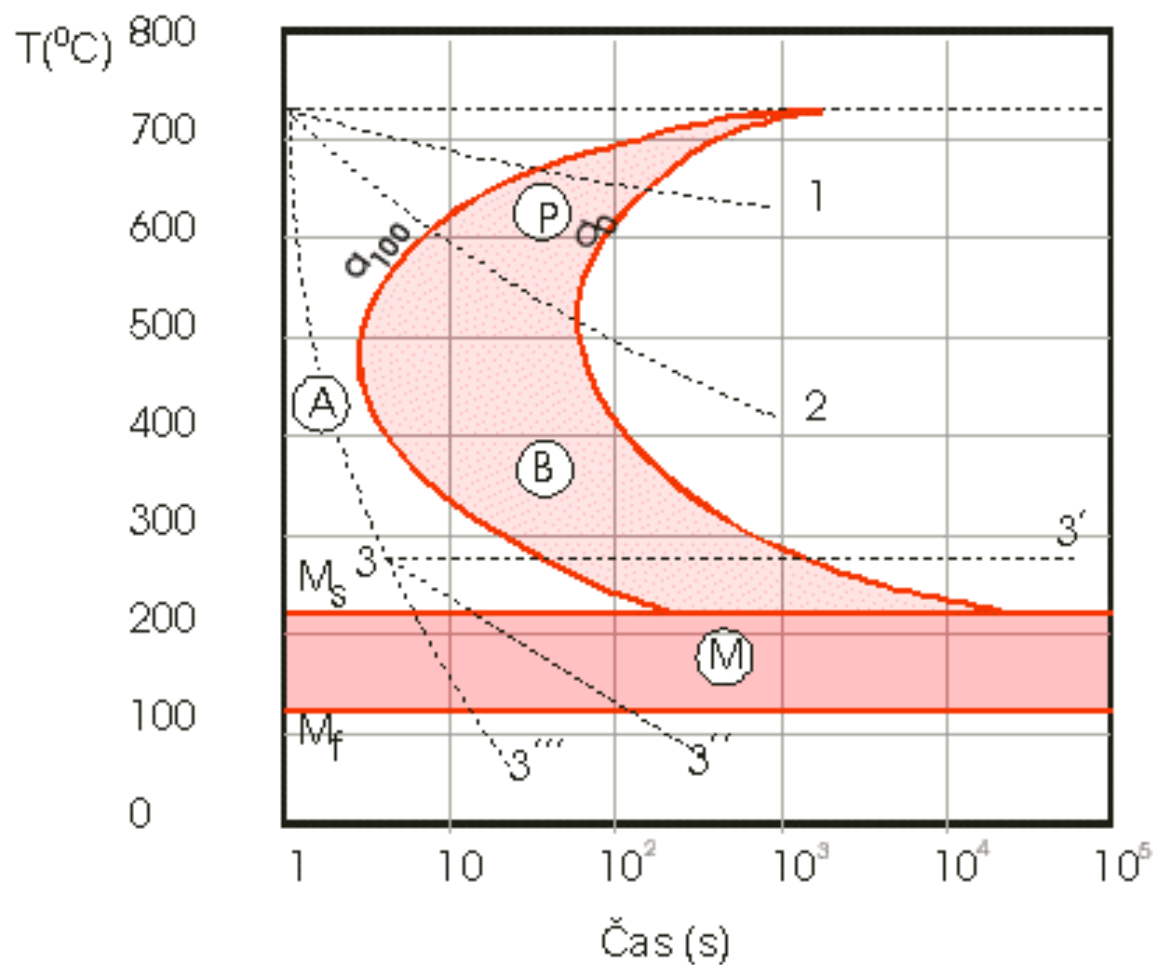
*Debelina martenzitne plasti za različne vrste jekel in različne hitrosti ohlajanja*

vrste jekla	kritična hitrost ohlajanja [ $^{\circ}\text{C/s}$ ]	hladilno sredstvo
ogljikova in malo legirana jekla	300	voda
srednje legirana jekla	80–100	olje
močno legirana in hitrorezna jekla	3–5	zrak

- Prekaljivost- kaljenje čez cel presek
- Tudi v jedru mora biti kritična hitrost ohlajanja
- Kaljenje v zaščitnem plinu oz. vakuumu- nevtralnno kaljenje jekla
- Kalilne razpoke in ukrivljeni obdelovanci so posledica različnega ohlajanja sredine in zunanje plasti
- Zaostali avstenit se pretvori v martenzit kasneje, kar ima za posledico povečanje volumna in tlačnih napetosti
- Nelegirana ogljikova jekla so neprekaljiva



# Bainov diagram TTT



Pomen označb:

T – temperatura

T – transformacija

T – čas

$a_{100}$  – začetek transformacije avstenita

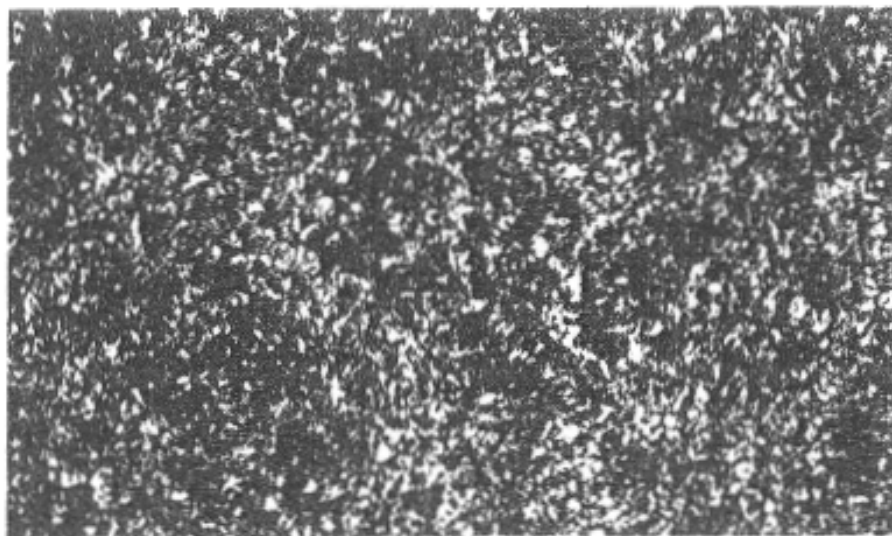
$a_0$  – konec transformacije avstenita

A – avstenitno področje

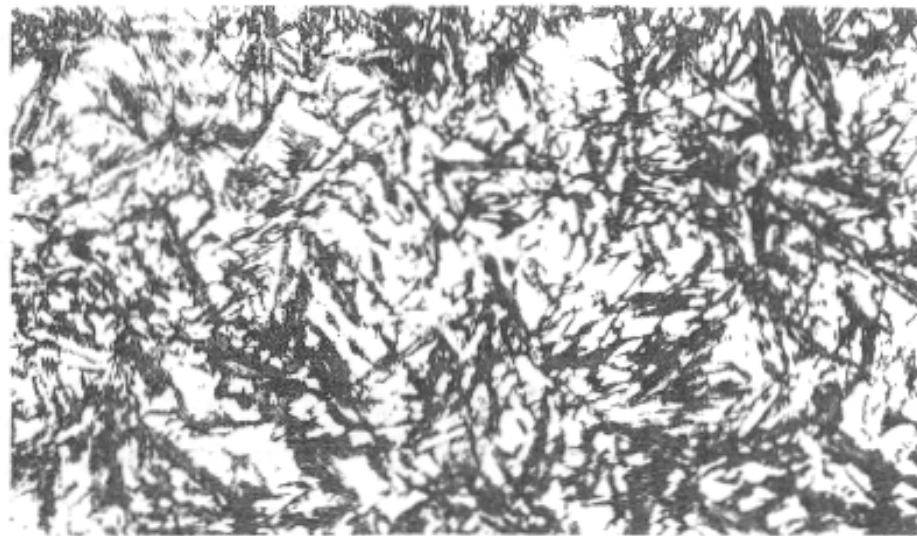
$M_s$  – začetek nastajanja martenzita

$M_f$  – konec nastajanja martenzita

Črtkane črte 1-grobi perlit do 20 HRc, 2-zgornji bajnit 40-45 HRc, 3'-spodnji bajnit 50-60 HRc, 3''-martenzit 65-67 HRc predstavljajo poljubne hitrosti in načini ohlajanja



*Sorbit (povečava: 250 x)*



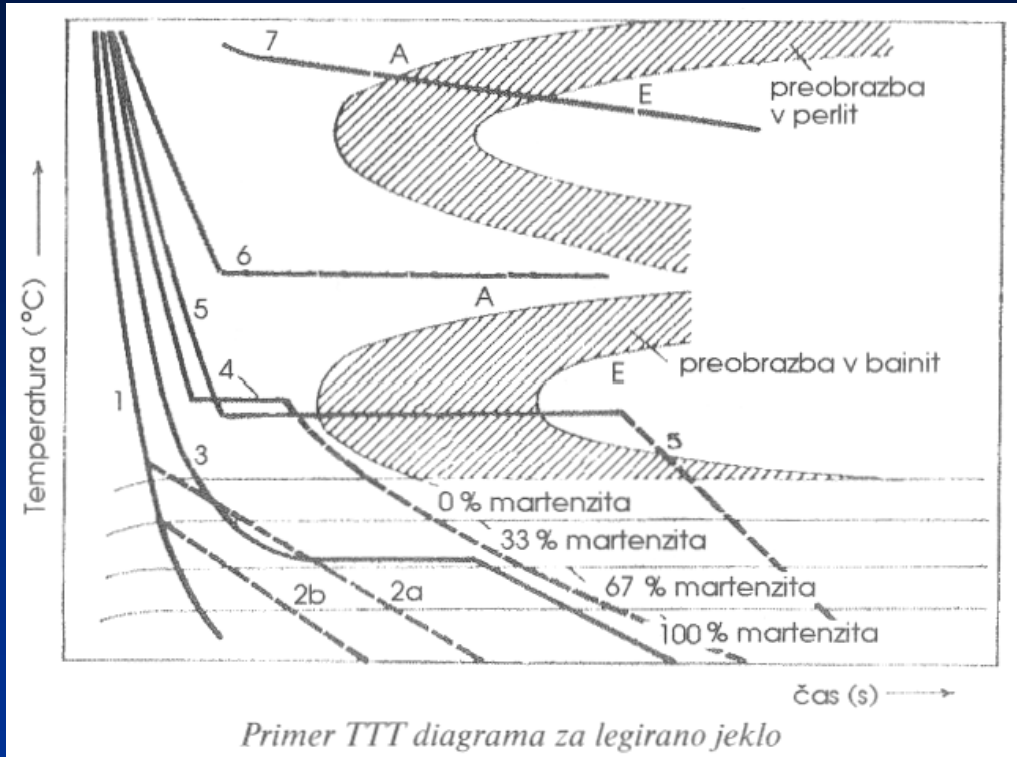
*Martenzit (povečava: 650 x)*



*Trustit v martenzitu (povečava: 650 x)*



*Bainit (povečava: 1500 x)*



Krivulja 5- bainit- cementit v obliki drobnih kroglic v feritu

Krivulja 6- postopek segrevanja za varjenje orodnih jekel

Krivulja 7- počasno ohlajanje- nastane perlit- normaliziranje

Šrafirano območje- razpad avstenita  
Krivulja 1- navadno kaljenje

2a, 2b, 3- prekinjeno kaljenje  
Prekinjeno kaljenje najprej v vodi, nato v olju; manjše notranje napetosti

Krivulja 4- termalno ali stopnjasto kaljenje; ohlajanje v vroči kopeli, nato na zraku

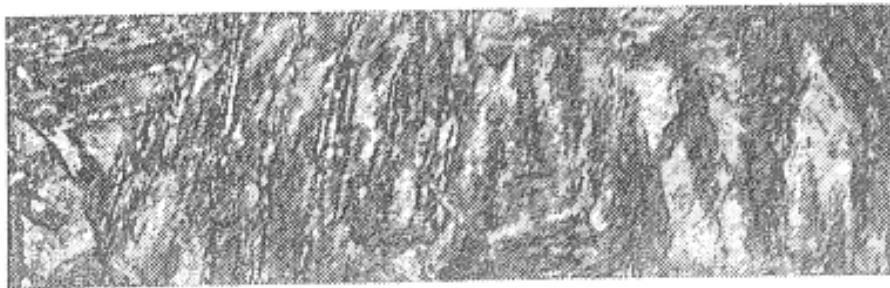
- Ker se temperatura po ogrevancu izenači, so napetosti manjše; pomembno za kaljenje kompliciranih izdelkov; prehod v martenzit je izenačen; ko ima ogrevanec temperaturo kopeli; je še avstenit; je mehak; lahko popravimo geometrijo, če se je kos deformiral



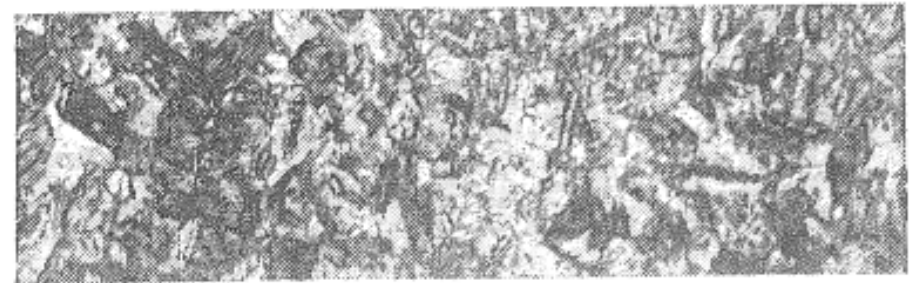
*60 % ferita, 40 % perlita, trdota 16 HRc*



*35 % ferita, 60 % mešanih kristalov,  
5 % martenzita, trdota 20 HRc*

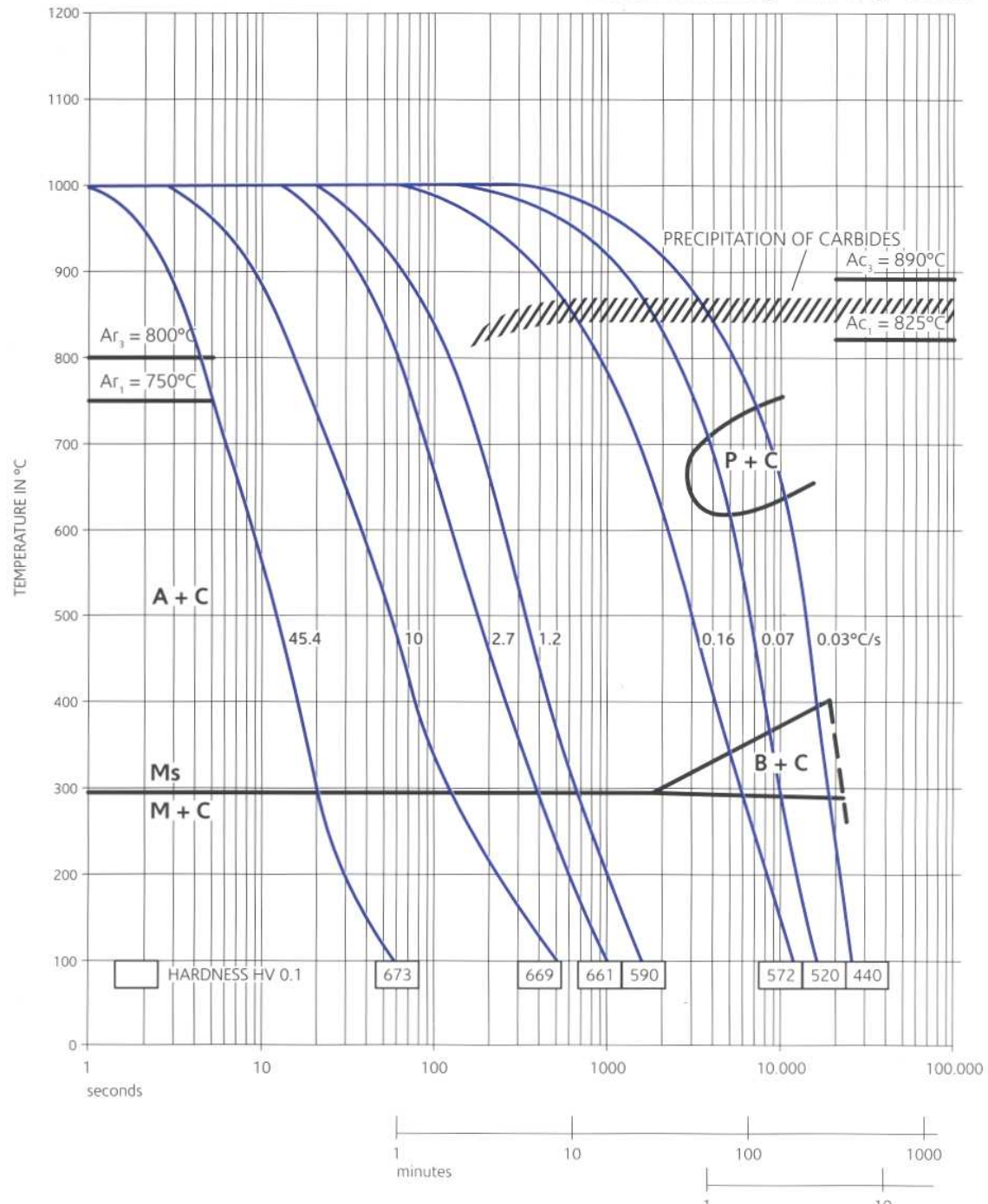


*25 % mešanih kristalov, 75 % martenzita,  
trdota 40 HRc*



*5 % mešanih kristalov, 95 % martenzita,  
trdota 50 HRc*

AUSTENITIZATION:  $T_A = 1000^\circ\text{C}$ ,  $t_A = 15 \text{ min}$ .





- Čas segrevanja je odvisen od debeline sten
- Prekratek čas- martenzit samo na površini
- Predolg čas- grobozrnata struktura, razogljíčena površina
- Različne hitrosti ohlajanja: kovinska kopel, solna kopel, olje, voda, zrak
- Najhitreje kali voda; potrebno je mešanje; topla voda- nekoliko počasnejše ohlajanje
- Pospešeno hlajenje- voda + natrijev lug; če se voda segreje, jo zamenjamo

• Primer: jeklo- 0.45 %C,  $t = 830 \text{ }^{\circ}\text{C}$   
ohlajanje s pečjo: 175 HV, v olju: 420 HV  
na zraku: 210 HV v vodi: 750 HV

## KALILNA SREDSTVA

Kalilna sredstva z **višjim vreliščem od kalilne temperature**

Zrak

Solne kopeli

Kovinske kopeli

Kalilna sredstva z **nižjim vreliščem od kalilne temperature**

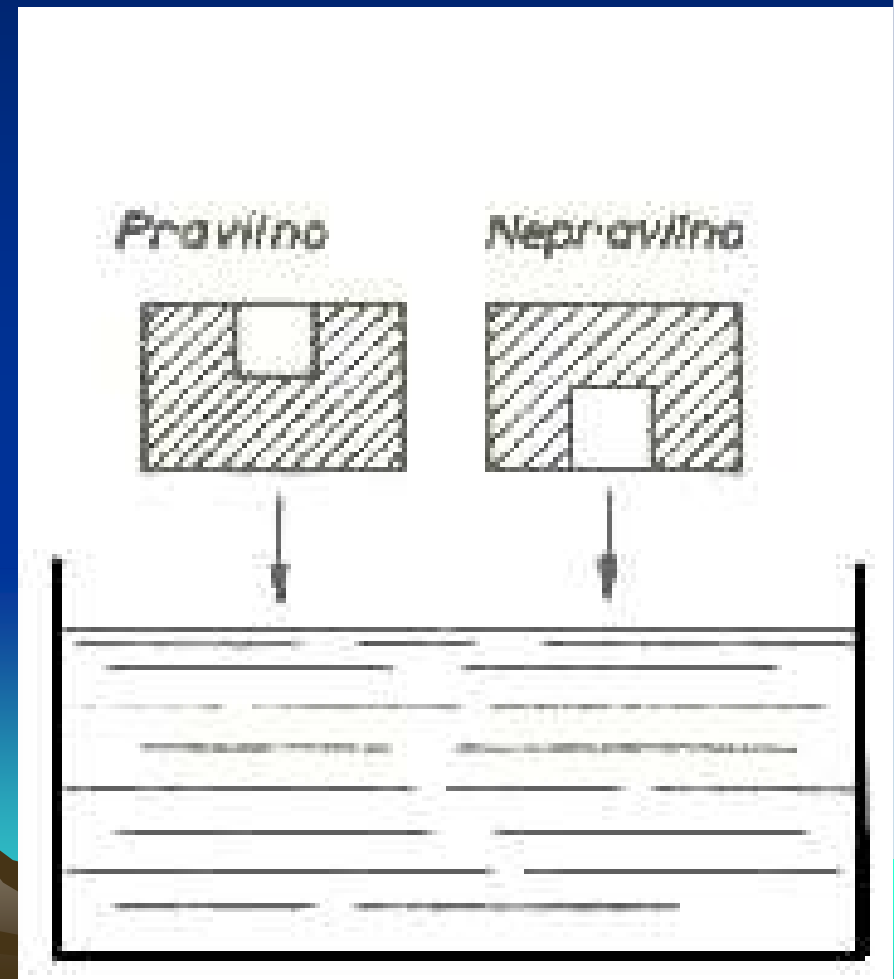
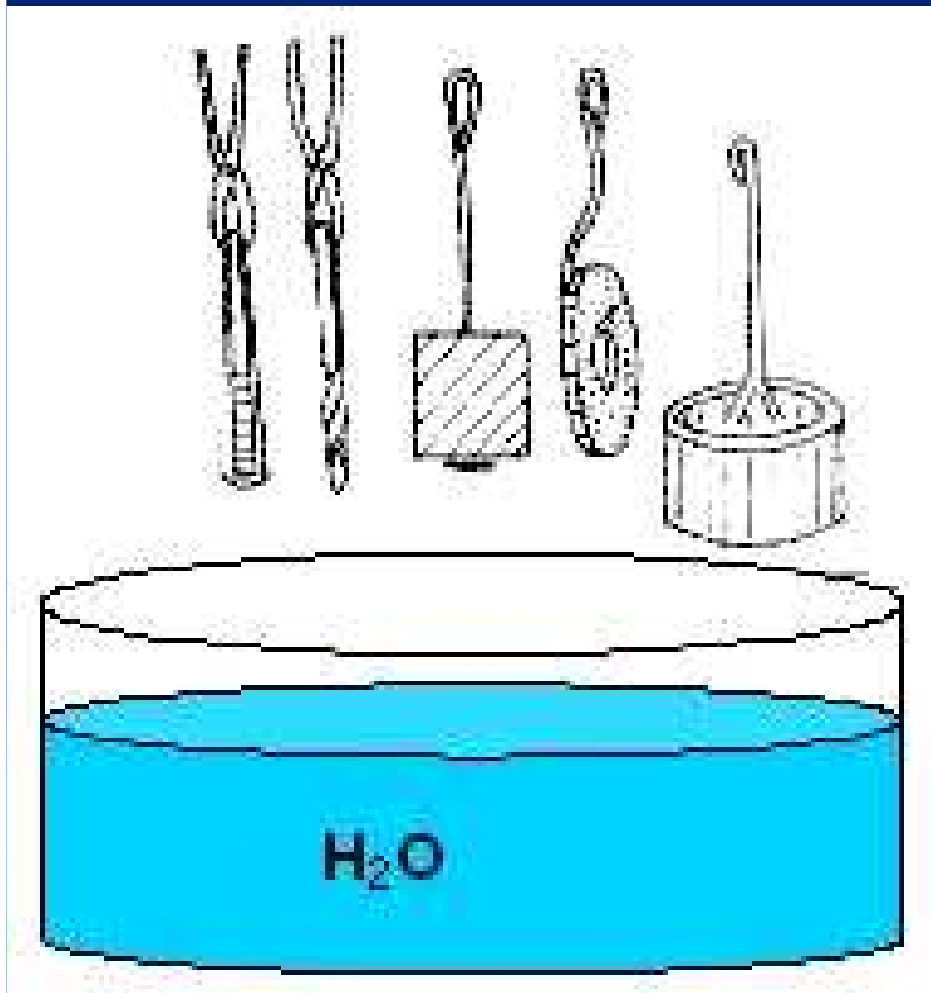
Voda

Vodne raztopine soli

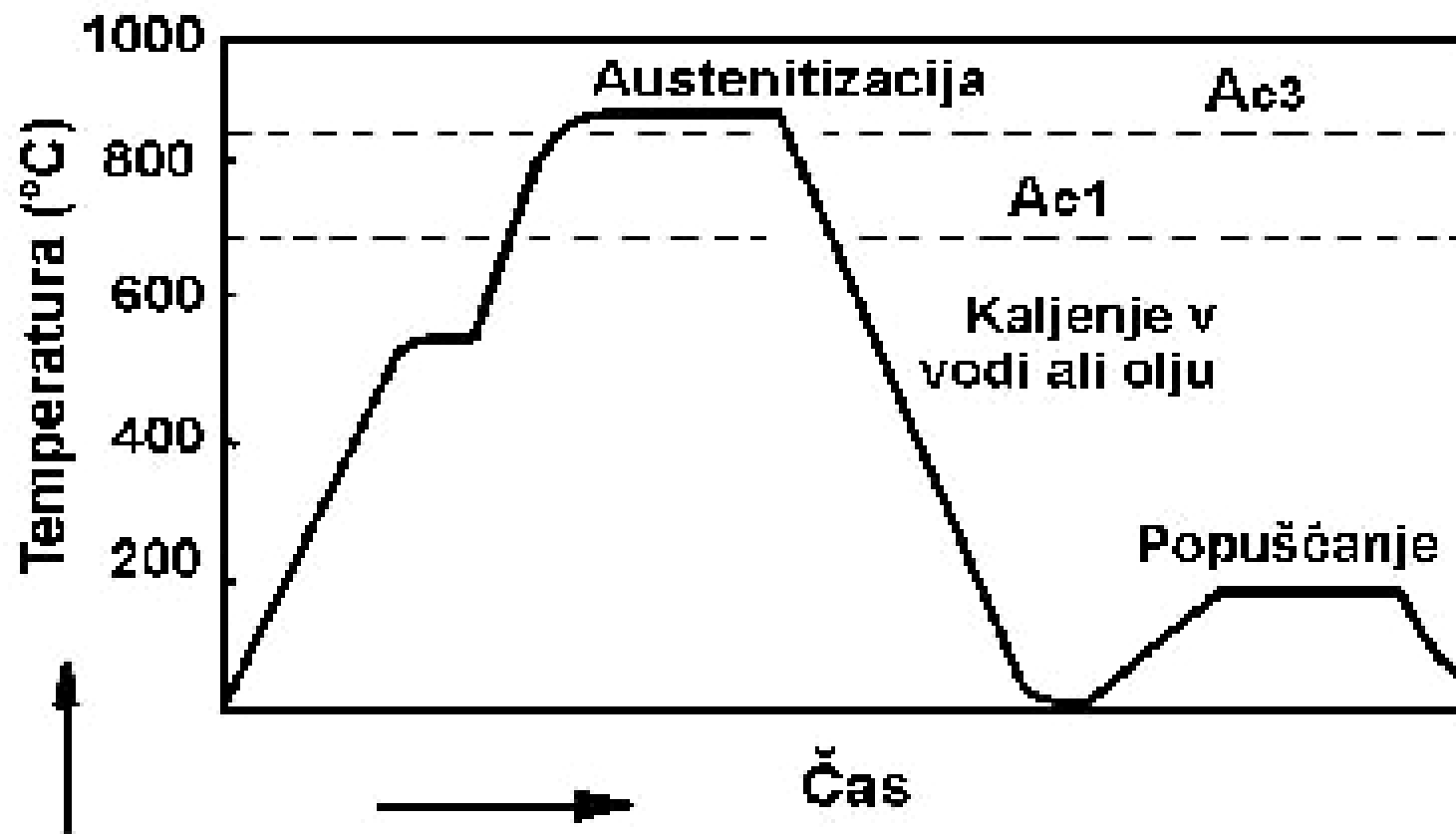
Olja



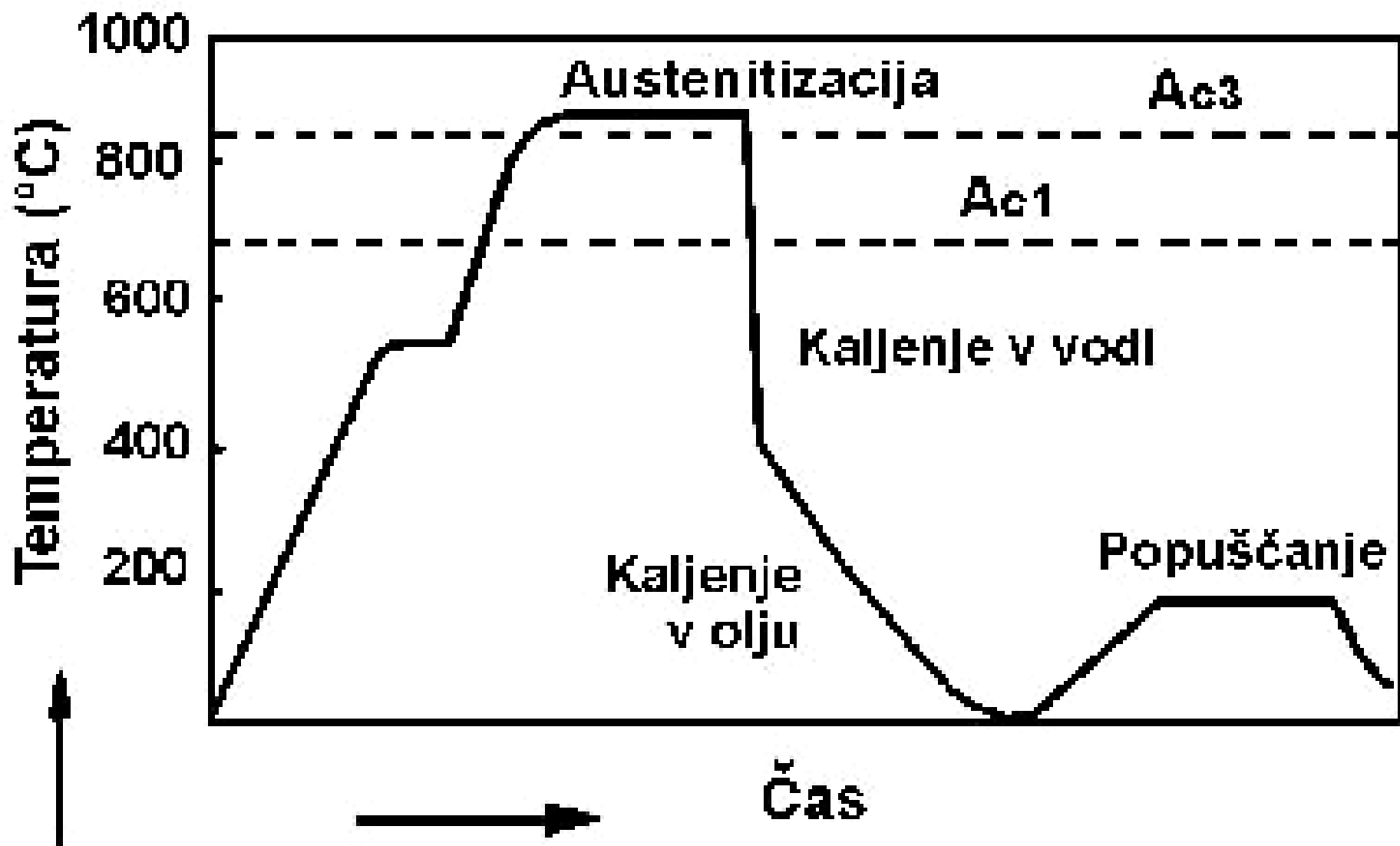
- **Vrste kaljenja :**
- **Navadno kaljenje**
- Navadno kaljenje je kaljenje v enem kalilnem sredstvu, kjer moramo izdelke pravilno ohlajati v kalilnem sredstvu. Način ohlajanja je razviden iz naslednjih slik:



- Iz spodnje slike je viden diagram segrevanja, zadrževanja, ohlajanja in popuščanja za jeklo, ki je kaljeno po navadnem postopku, torej v enem kalilnem sredstvu.



- **Prekinjeno kaljenje**
- Segret izdelek damo najprej v vodo, kjer se ohladi do okrog 400 °C, nato pa ga prenesemo v olje ali zrak, kjer se hladi do konca. Postopek je primeren za kaljenje jekla, ki imajo v diagramu TTT začetek transformacije v perlit zelo levo, bainitno transformacijo pa imajo ta jekla precej desno. Zato moramo hladiti v zgornjem temperaturnem območju zelo naglo. V območju bainitne transformacije, ki nastopi pod temperaturo 400 °C pa zadostuje, da se jeklo ohlaja počasneje, tj. npr. v olju.
- Režim prekinjenega kaljenja je podan na spodnji sliki. Prekinjeno hlajenje se uporablja tudi za izdelke, ki so občutljivi za nastanek razpok in imajo komplicirano obliko.



- **Svetlo kaljenje**

- O svetlem kaljenju govorimo, ko želimo dobiti na izdelkih **svetlo površino**. Za izvedbo takšnega kaljenja je potrebno izdelke segrevati v solnih kopelih, v **vakuumu** ali drugi zaščitni atmosferi in jih nato kaliti v raztopini zmesi NaOH in KOH.

- **Primer uporabe kaljenja**

- Primer kaljenja orodnega jekla za delo v vročem
- Orodna jekla za delo v vročem uporabljamo za izdelavo **različnih** orodij (spodnja slika). Delovna trdota orodja je odvisna od vrste proizvodnega procesa, kjer je orodje vgrajeno. Giblje se v območju 41 do 50 HRC. S pravilno toplotno obdelavo vplivamo na ustrezno življenjsko dobo orodja.



**Orodno jeklo za delo v vročem se uporablja za naslednja orodja:**

**Tmi za izdelavo cevi**

**Orodja za utopno kovanje (kladi va)**

**Orodja za predelavo stekla**

**Orodja za predelavo plastike**

**Orodje za izdelavo tablet**

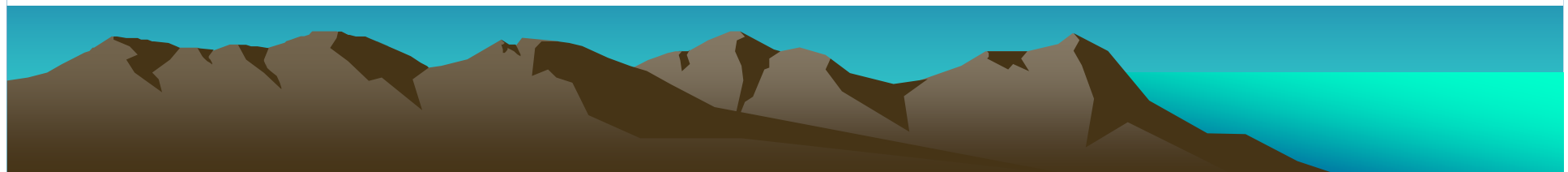
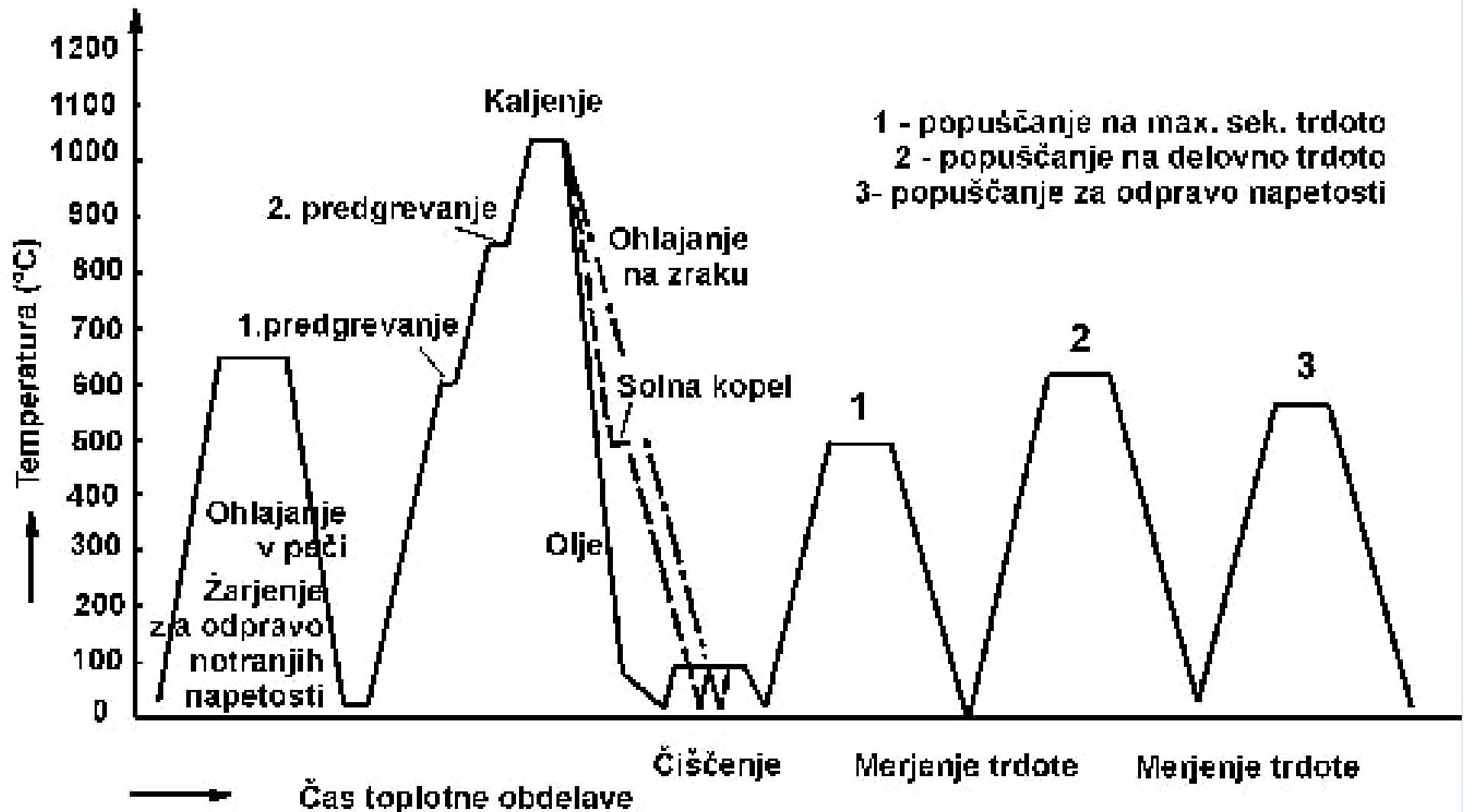
**Ekstruzija cevi, palic:  
Al-, Cu-, Zn-zliti n**

**Orodja za tlačno litje:  
Al- in Cu-zliti n**



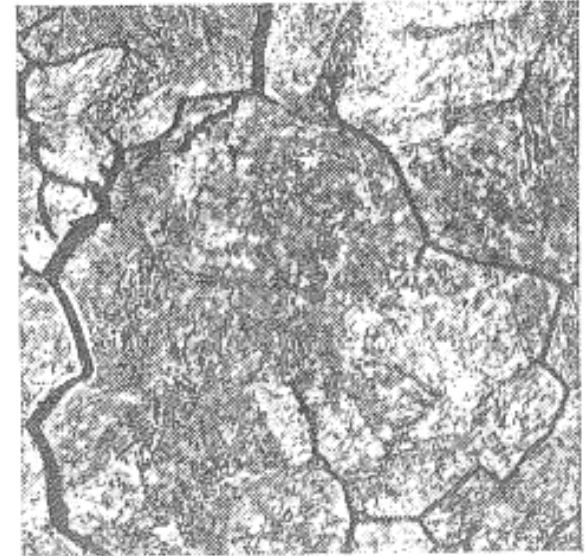
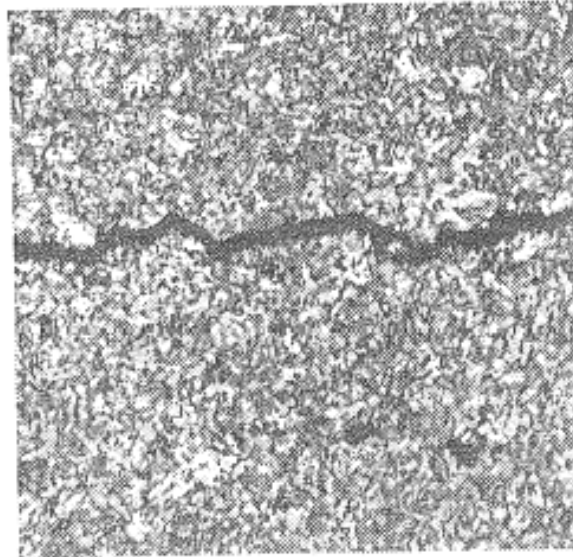
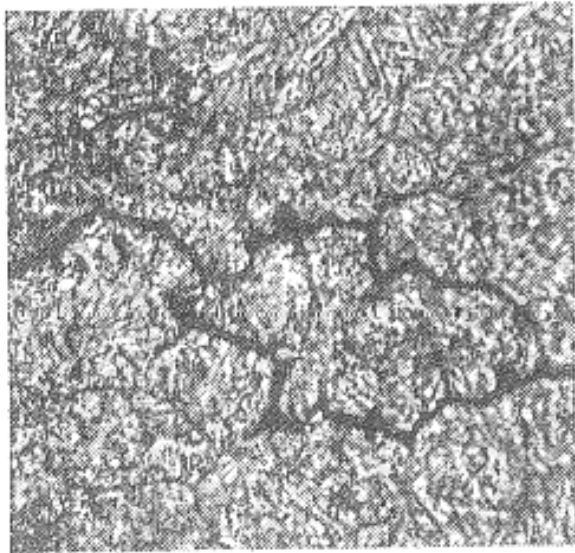


- **Potek toplotne obdelave orodnega jekla izdelanega z mehanskim odvzemanjem. Za kakovostno izvedeno toplotno obdelavo orodnega jekla so potrebne naslednje vrste toplotne obdelave:**
- **žarjenje za odpravo notranjih napetosti,**
- **kaljenje**, ki je sestavljeno iz segrevanja na temperaturo kaljenja, zadrževanja na kalilni temperaturi in ohlajanja v primernem kalilnem sredstvu,
- **popuščanje,**
- **utrditev površine** s postopki kemotermične obdelave, površinskim kaljenjem ali **PVD**- in **CVD-prevleko.**



## Napake pri kaljenju:

- Nelegirana C jekla imajo nizke kalilne temp., so bolj krhka, segrevamo jih v dveh ali treh stopnjah; tako preprečimo nastajanje notranjih napetosti
- Oksidacija; za nižje temp.- odprte peči, za višje tem. zaprte peči ali kopeli
- Razogljichenje; preprečimo ga z nevtralno atmosfero ali solno kopeljo; soli so zmesi Na, K, Ba, Ca klorida, izmed kovin se uporablja Pb
- Prežarjeni predmet; groba struktura; popravimo jo še lahko z normaliz. žarj.
- Prežgan material- oksidacija prodre v globino materiala



*Razpoke po kaljenju*



## Kaljenje orodnih jekel

- Jelka za delo v hladnem, jekla za delo v vročem, hitrorezna jekla- kalimo v vakuumu ali zaščitni atmosferi
- Iz ogrevalne komore izsesavamo zrak; gasimo z nevtralnimi plinom, dušikom
- Plin prepreči nastanek površinskih reakcij, kot so oksidacija ali naogljčenje
- Površina je čista, majhne spremembe geometrije
- Pred kaljenjem orodna jekla žarimo za odpravo napetosti; najbolje v zaščitni atmosferi; ohlajanje mora biti čim počasnejše
- Najprej ohlajamo počasi do 700 °C, nato pa hitreje v kalilni peči.
- Po kaljenju jekla popuščamo; povečamo žilavost in zmanjšamo napetosti
- Temperatura popuščanja je odvisna od vrste in namena orodja
- Rezilna orodja popuščamo pri nižjih temp.- višja trdota
- Udarcem izpostavljena orodja popuščamo pri višjih temp.- nižja trdota
- Za popuščanje potrebujemo peči z natančno in zanesljivo regulacijo temperature

- **Ogljikova orodna jekla** 0.7 - 1.5 %C, kalilna temp. 780 - 830 °C, v vodi; popuščanje 100 - 200 °C; izdelki se radi deformirajo, ker notranjosti ne moremo dovolj hitro ohladiti
- **Legirana orodna jekla** 0.8 - 1.7 %C ter manj kot 5% dodatkov (Mn, Si, Cr, W, Mo, V, Ni); temp. kaljenja 780 - 830 °C. Zaradi slabe prevodnosti jih segrevamo počasi. Kalimo jih v vodi ali olju. Zakaljena so po celotnem preseku, struktura je enakomerna. Segrevamo v kopeli, ohlajamo na zraku. Temp. popuščanja je 220 - 320 °C.
- **Leg. orodna jekla za delo v hladnem** do 2 %Cr, segrevamo na 770 - 860 °C, popuščamo 100 - 400 °C. Jeklo z 12 %C kalimo 940 - 1020 in popuščamo 150 - 400 °C.
- **Jekla za delo v vročem** (utopi, matrice, kokile) (Cr, V, W, Mo, Ni), temp. kaljenja 1170 - 1300 °C, popuščanje 530 - 580 °C. Kalimo na zraku, olju ali kopeli. Pred kaljenjem žariti 780 - 830 °C.
- **Hitrorezna jekla**, več kot 5% legirnih elementov (0.8 - 2.2% C, 18% W, do 10% Co, do 10% Mo, do 3% V, do 4% Cr), temperatura kaljenja 950 - 1200 °C (včasih tudi 1300), ohlajamo na zraku ali kopeli s temperaturo 400 - 600 °C, na koncu ohlajamo še na zraku.



# Poboljšanje

- Kaljenje in popuščanje pri višjih temperaturah
- Dosežena je visoka žilavost in natezna trdnost
- Povprečne trdnosti so 700 - 1000 N/mm<sup>2</sup>, obdelava z odrezavanjem je še možna
- Izotermno ali bainitno poboljšanje, temperaturo držimo na 250 - 350 °C
- Pri izotermnem poboljšanju ni potrebno popuščati
- Poboljšamo mnoge strojne dele, ki so sunkovito obremenjeni

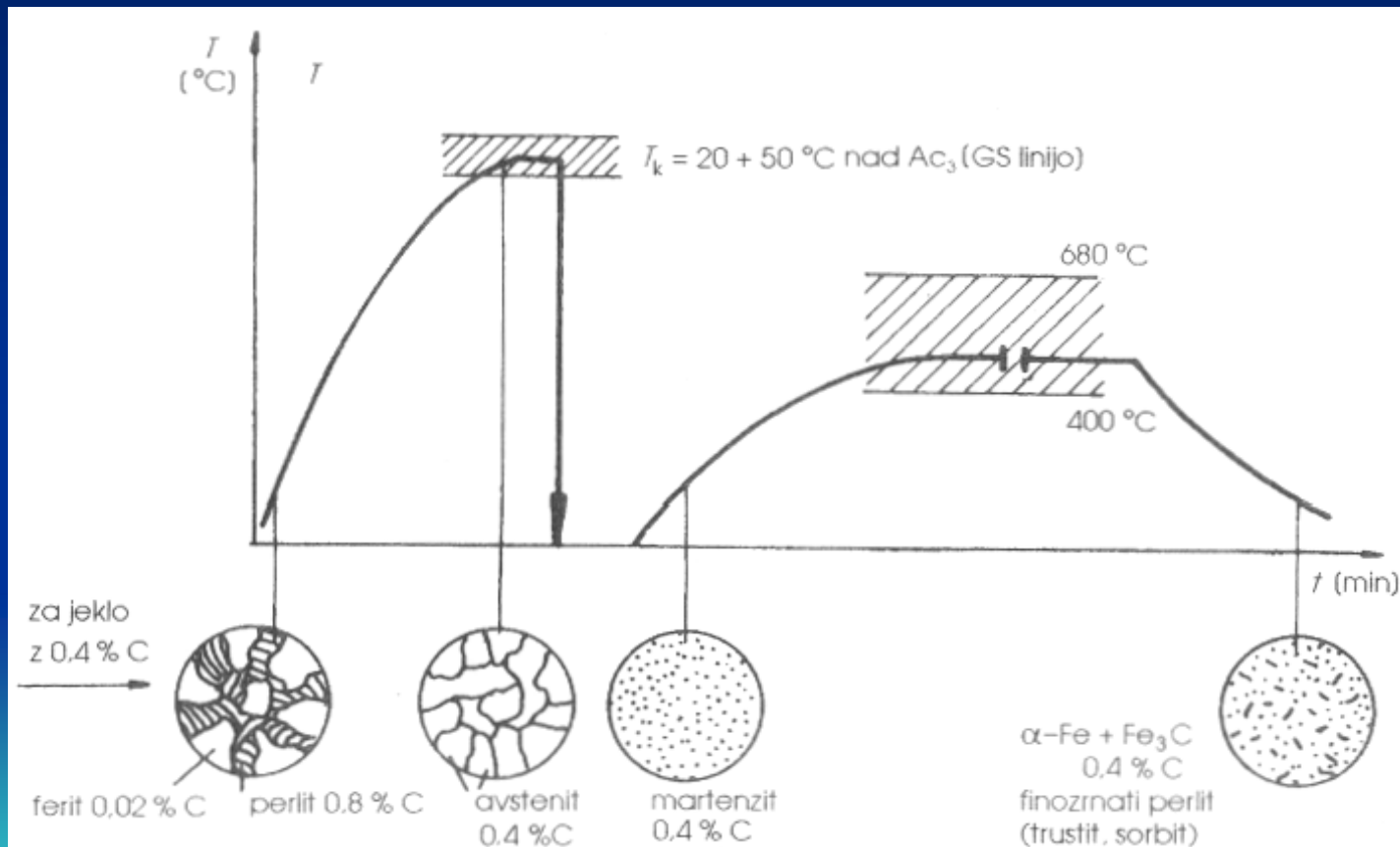


## Popušcanje

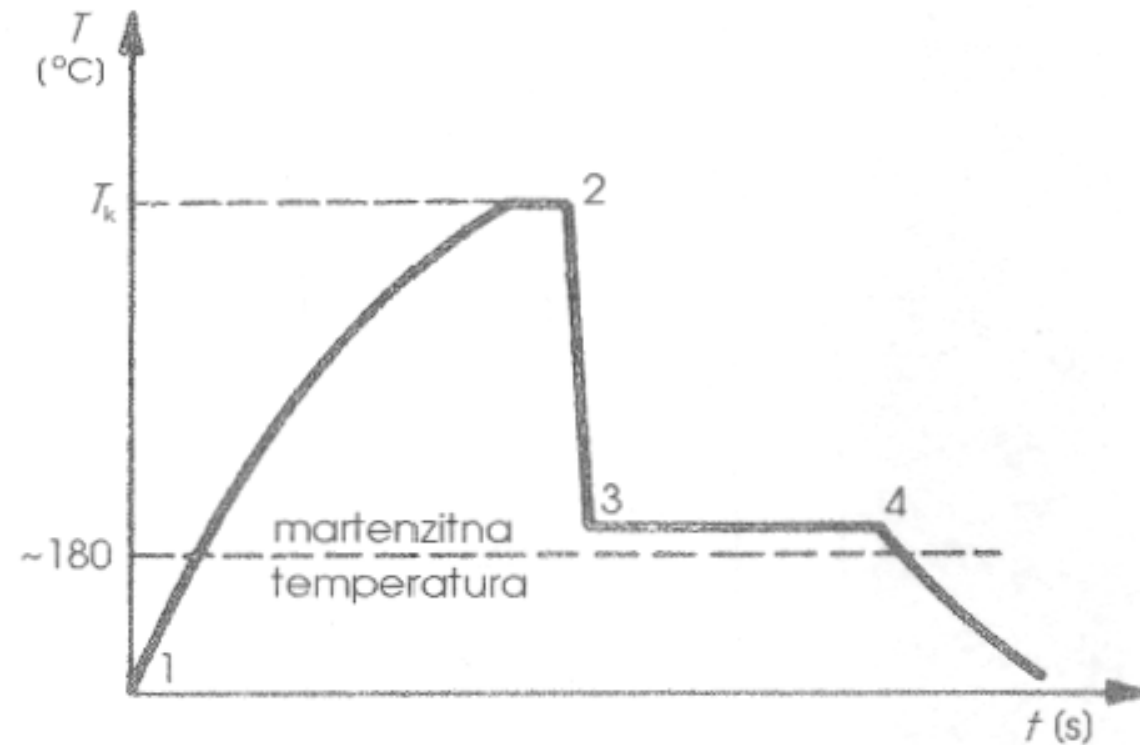
- Je segrevanje po predhodnem kaljenju, hladnem preoblikovanju ali varjenju do temperature  $A_{c1}$  in zadrževanje na tej temperaturi nekaj časa; nato ohlajanje
- Zmanjšajo se notranje napetosti zaradi kaljenja
- Pri ponovnem segrevanju od  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  dalje se iz martenzita izloča  $\text{Fe}_2\text{C}$  in nad  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$  cementit  $\text{Fe}_3\text{C}$
- Pri malo legiranih jeklih se nad  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$  zaostali avstenit pretvori v martenzit, pri legiranih pa nad  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; pri določeni temperaturi lahko dosežemo povečanje trdote



- Popustna krhkost pri kromovih jeklih 450 - 550 °C, kar lahko omilimo z dodatkom molibdena in zmanjšanjem fosforja
- Pri popuščanju je pomembna temperatura in čas držanja na temperaturi



*T-t diagram popuščanja jekel*



### *Bainitno poboljšanje*

Pri posameznih temperaturah smo dobili naslednje strukture:

1. perlit,
2. avstenit,
3. podhlajeni avstenit,
4. bainit.


## Globoko hlajenje

- Pri ohlajanju med kaljenjem ostane nekaj zaostalega avstenita, ki se transformira v martenzit pri sobni temperaturi
- Zaradi tega se po kaljenju še nekaj časa spreminjajo dimenzije izdelka
- Če želimo transformacijo vsega avstenita v martenzit, moramo kos podhladiti
- To izvedemo s tekočim dušikom do temperature  $-180^{\circ}\text{C}$
- Največji učinek je dosežen pri jeklu z 1.2 %C
- Z globokim ohlajanjem zmanjšamo tudi nagnjenost k nastajanju brusilnih razpok



# Površinsko kaljenje

## Plamensko kaljenje

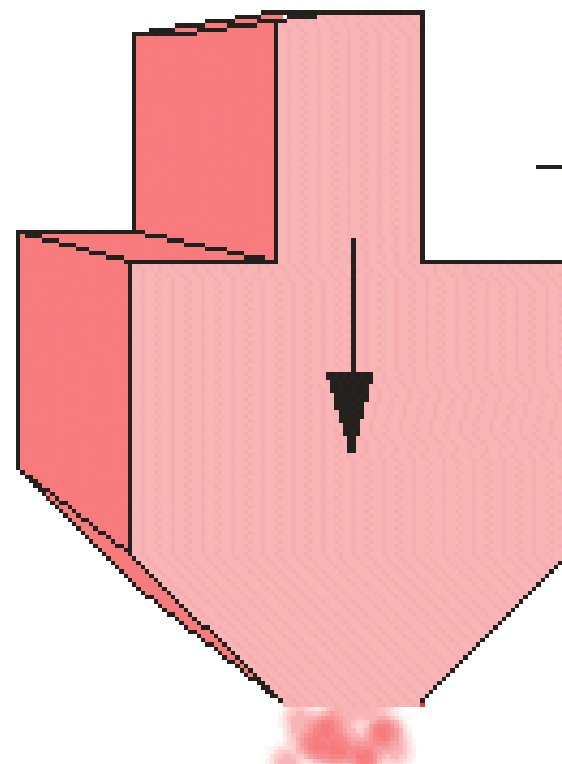
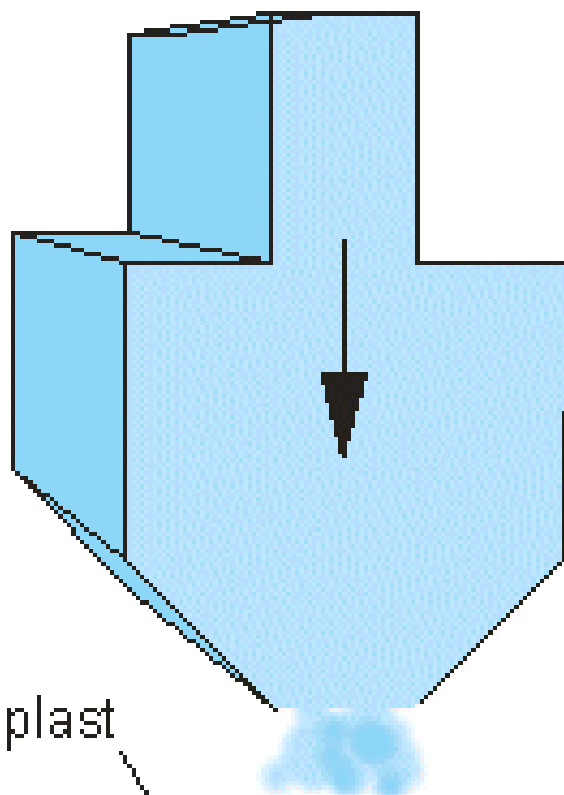
- Površinsko segrevanje in ohlajanje
  - Za segrevanje uporabljamo pline: acetilen in kisik v razmerju 1:1 do 1:1.75, svetilni plin in kisik v razmerju 1:0.6, propan in kisik v razmerju 1:4 do 1:5 ter metan in kisik v razmerju 1:1.5 do 1:2.3
  - Gorilnik je prilagojen obliki predmeta; hitrost pomikanja usklajena za določeno globino
  - Pomika se predmet ali gorilnik; gorilniku sledi zalivanje s prho
- 



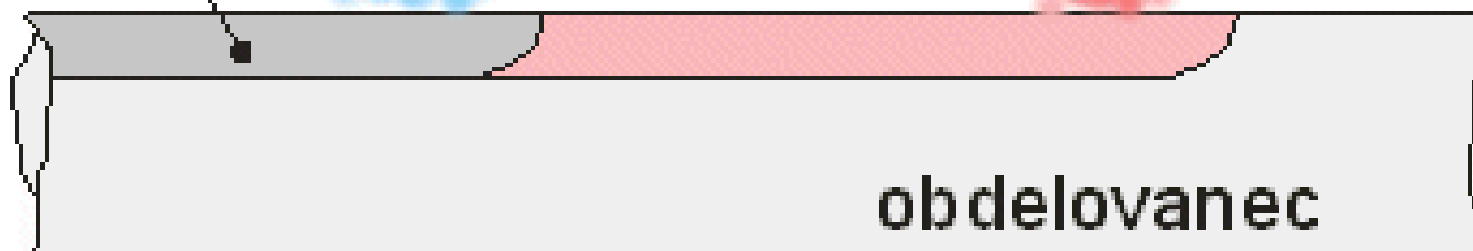
vodna prha

gorilnik

SMER

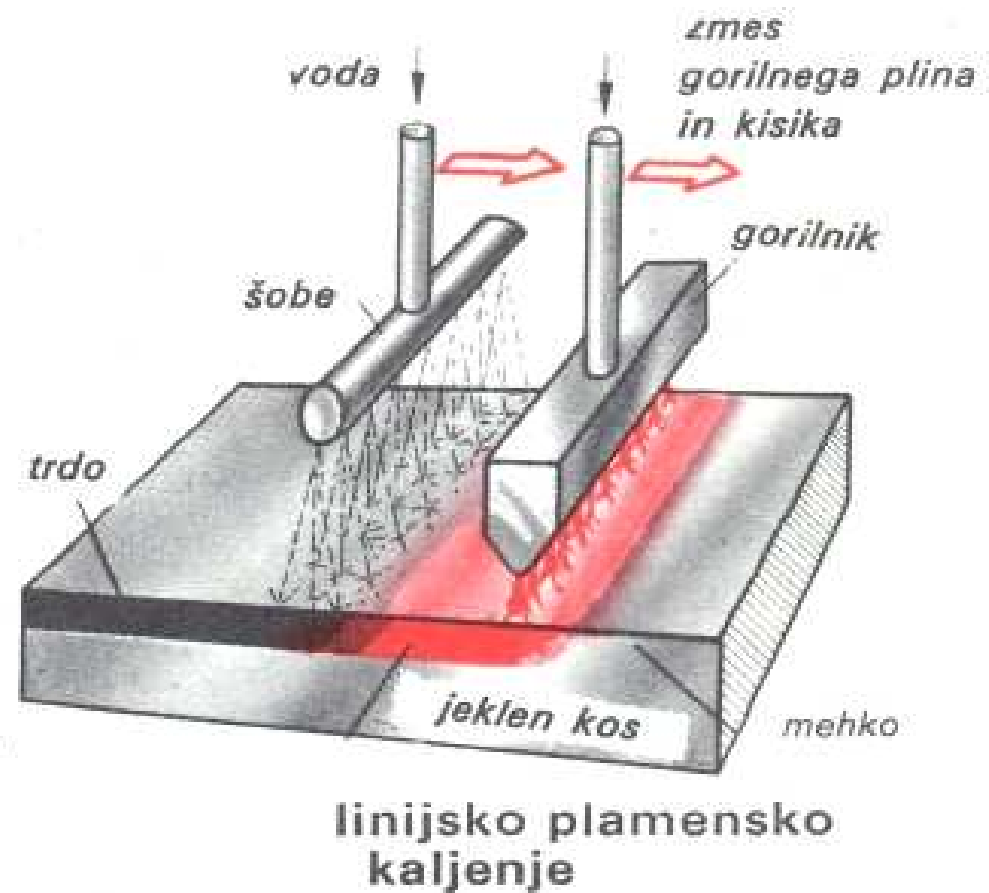


zakaljena plast



obdelovanec



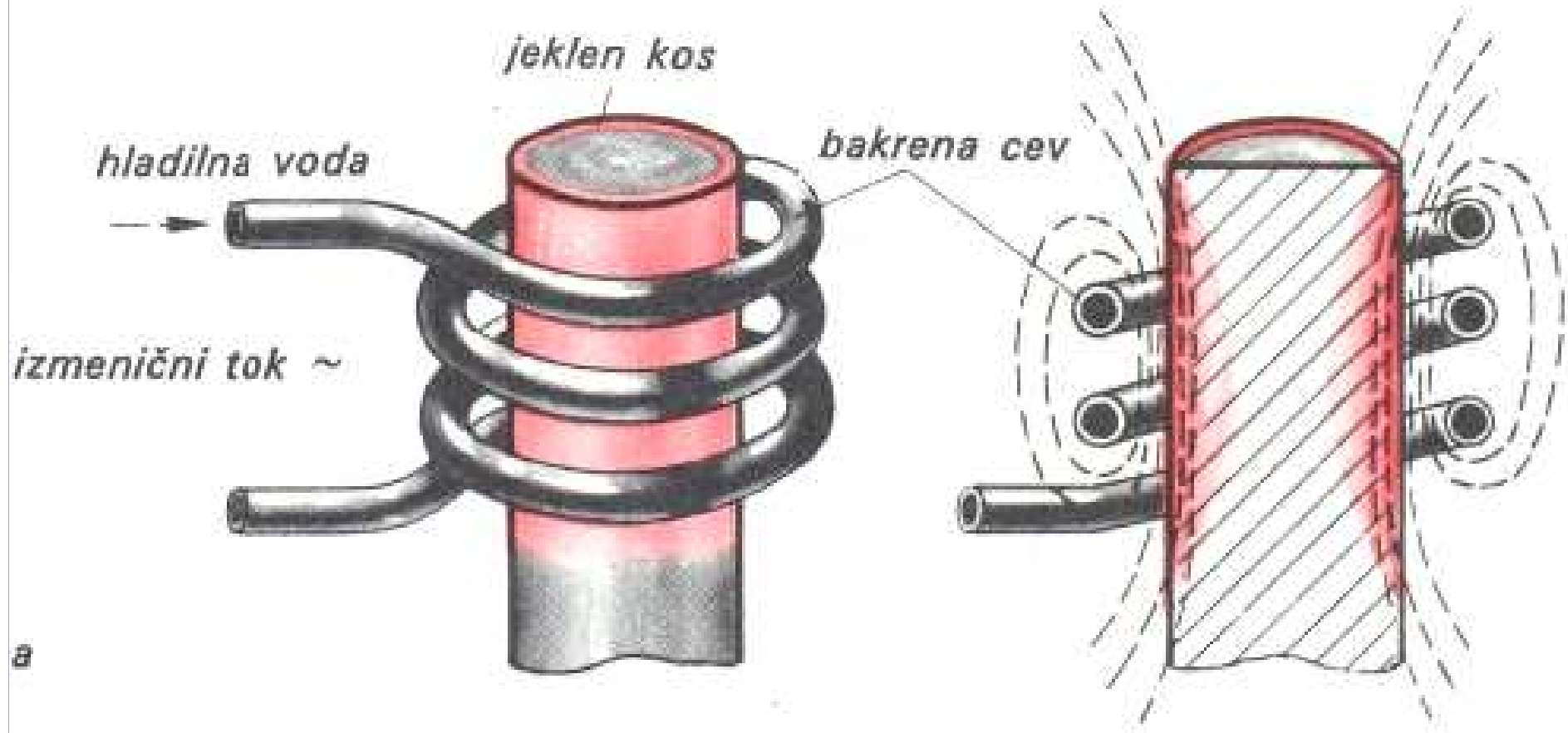


## Indukcijsko kaljenje

- Tok visoke frekvence inducira v ogrevancu vrtilne tokove
- Induktivna zanka je bakrena, hlajena z vodo
- Po kaljenju popuščamo za odpravo napetosti; 150 - 200 °C
- Višja frekvenca toka, manjša globina segrevanja:
  - 3 kHz - 1.5 mm,
  - 10 kHz - 1.0 mm,
  - 120 kHz - 0.75 mm,
  - 500 kHz - 0.5 mm,
  - 1000 kHz - 0.25 mm.
- Prednost je v tem, da ni potrebno segrevati celih kosov



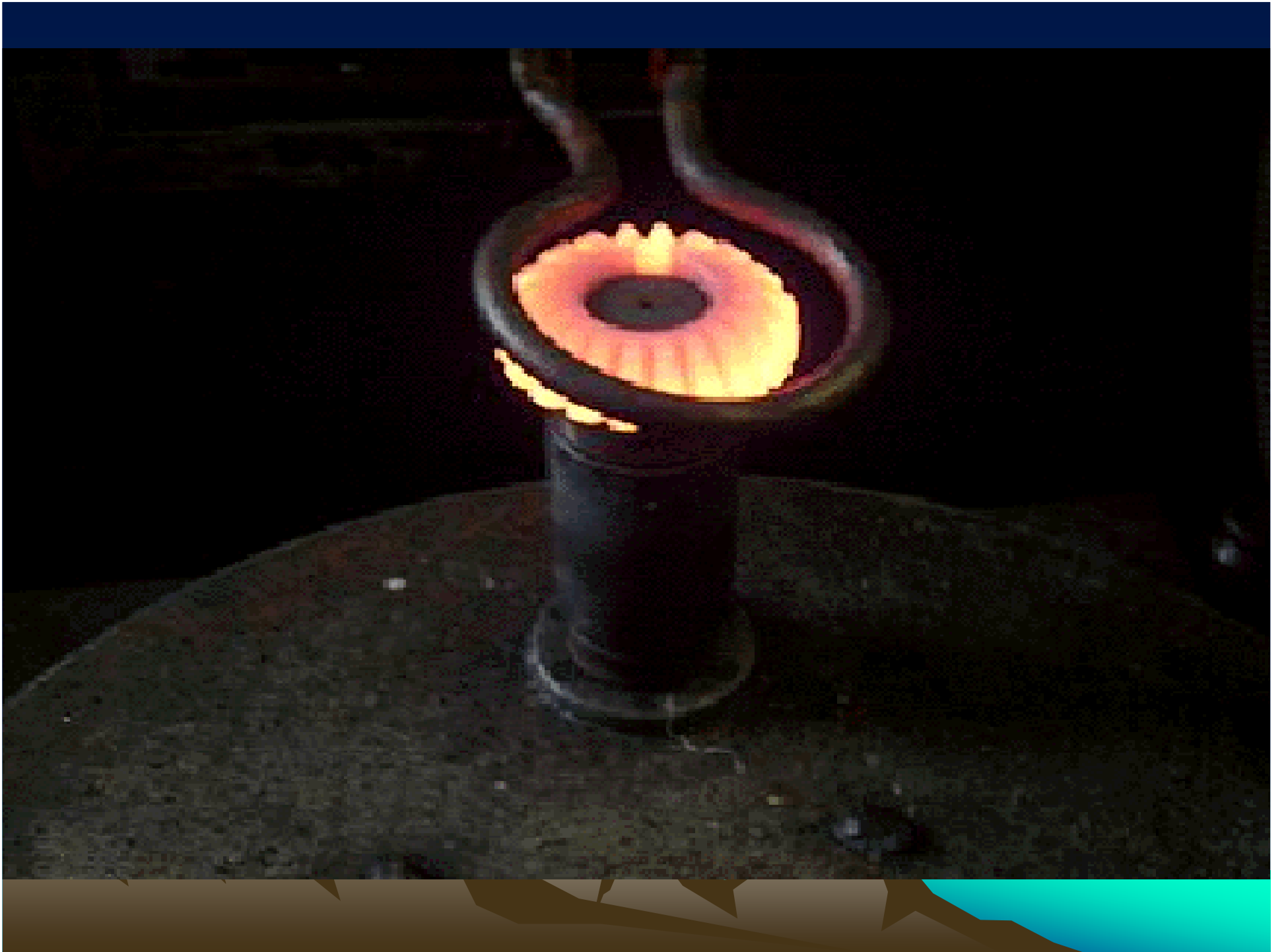




a

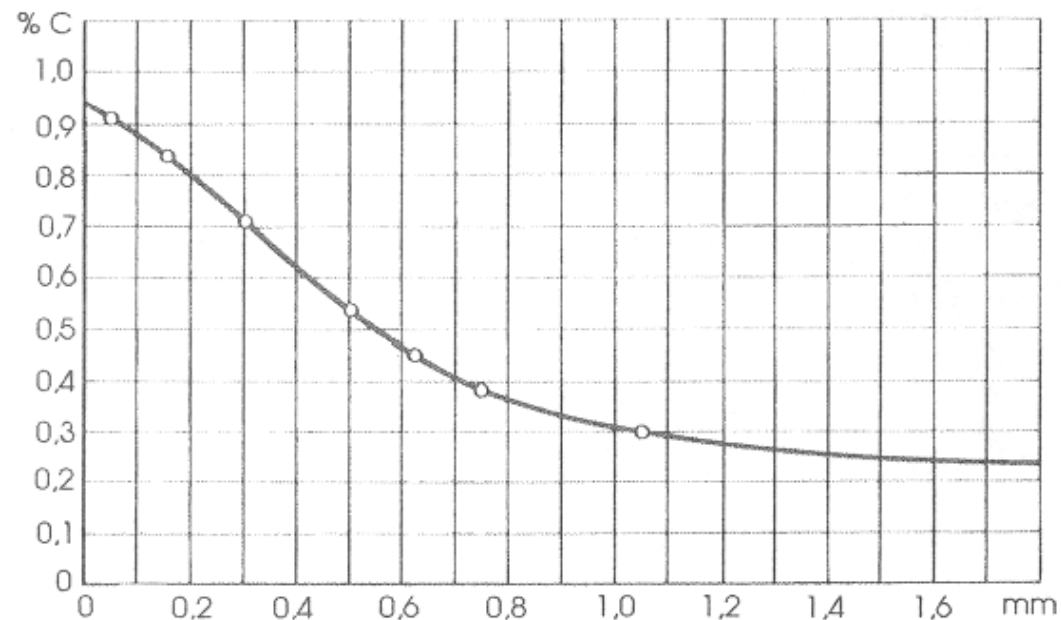
induktivno segrevanje





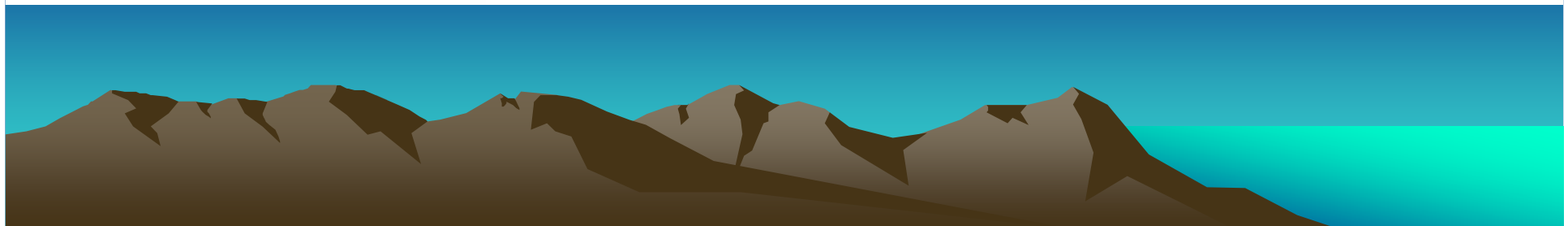
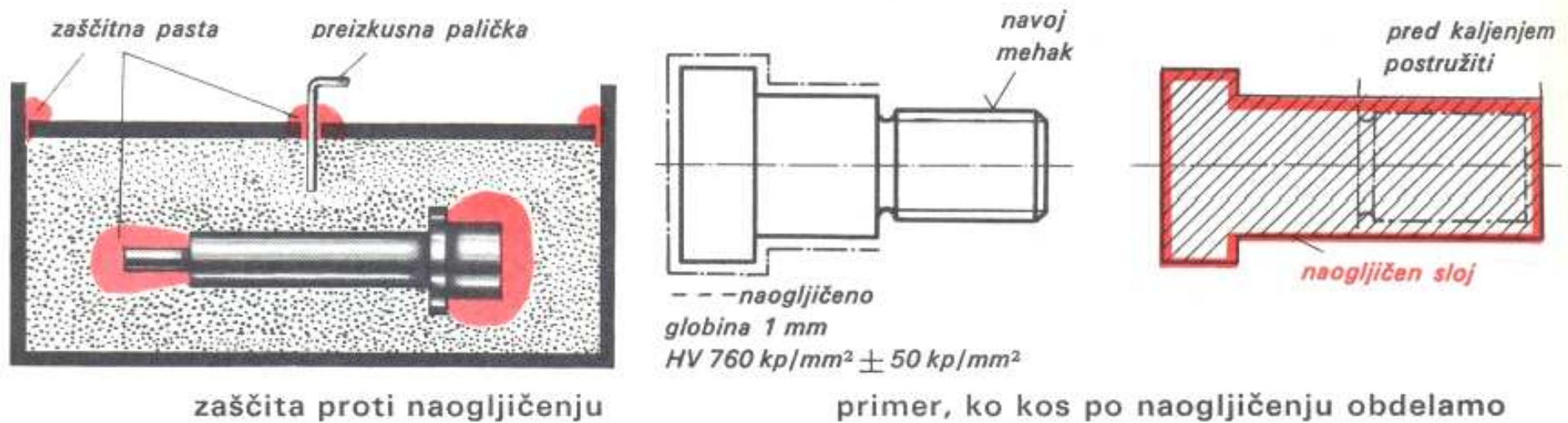
## Cementiranje

- Obogatenje površine z ogljikom ali ogljičenje materiala
- Ogljičimo v sredstvih, ki imajo ogljik, segrevamo na temperaturo avstenitizacije in na tej temperaturi držimo nekaj časa
- Vrši se difuzijski proces ogljika; globina je odvisna od temperature in časa
- Cementacijska sredstva so: praški ali granulati oglja, solne kopeli ali plini

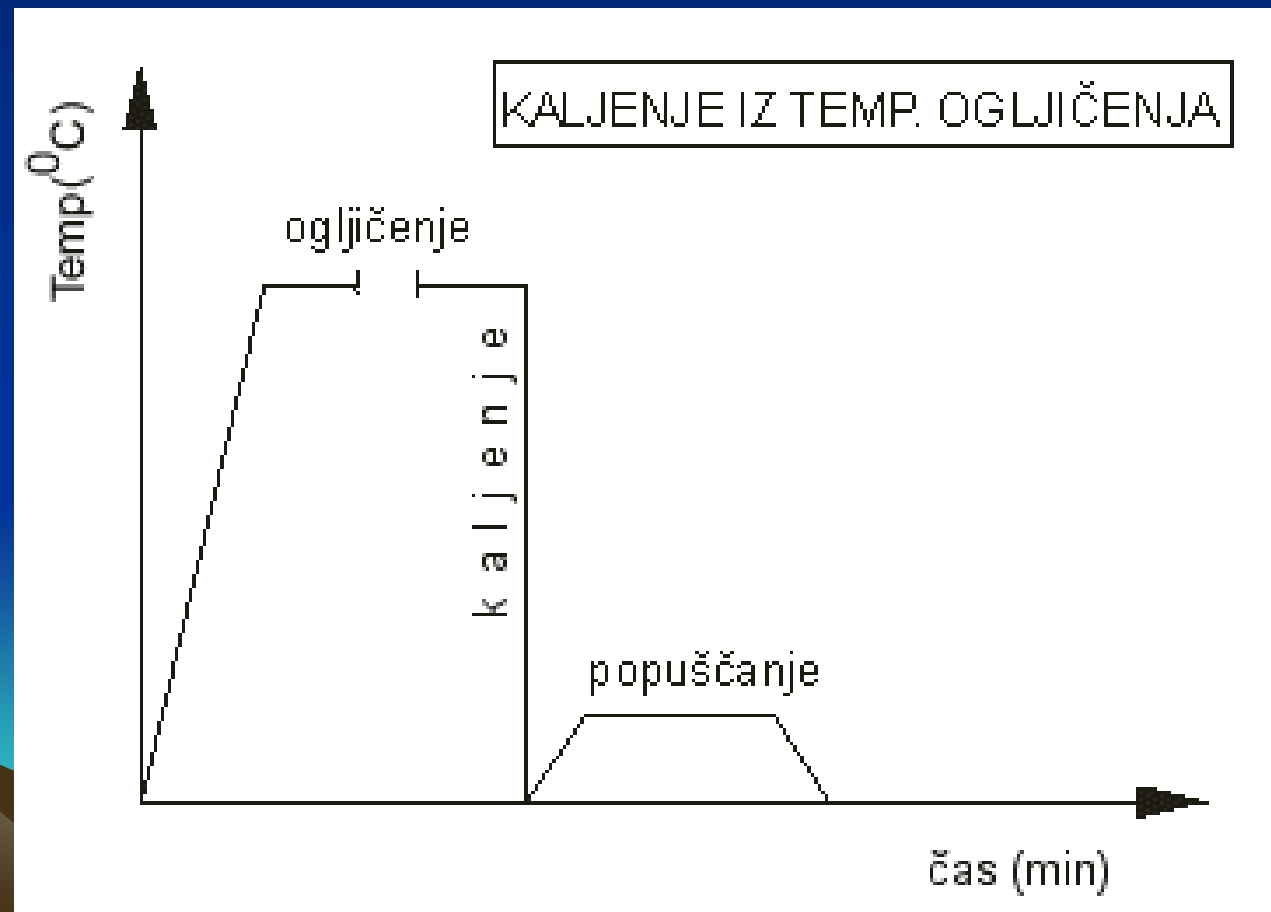


*Diagram vpliva % ogljika na debelino cementiranega sloja*

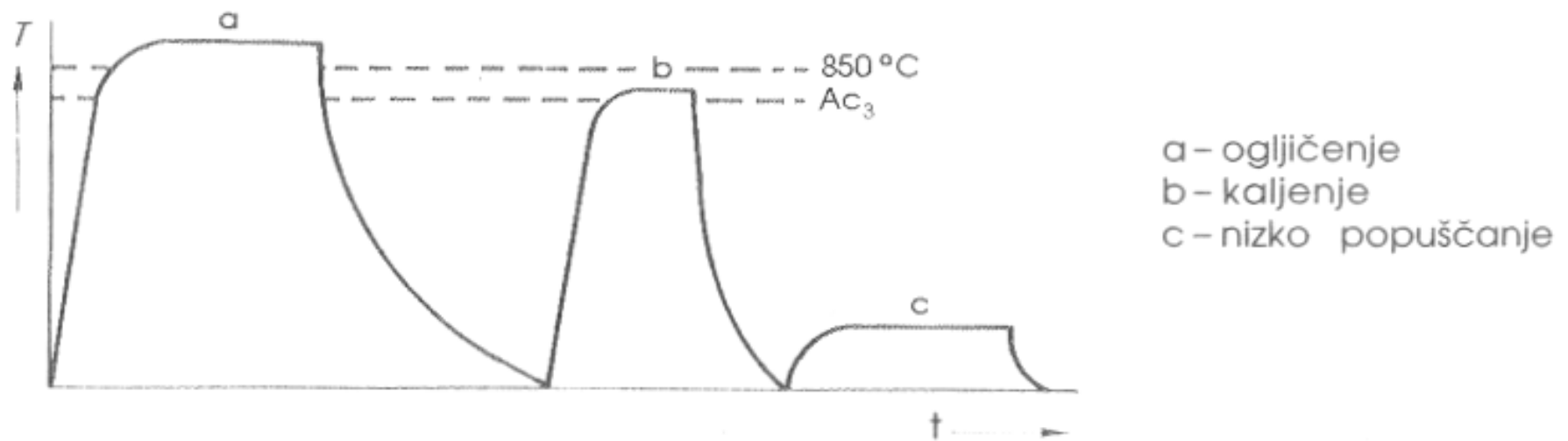
- Proces je potrebno krmiliti tako, da dobi robna plast evtektoidno sestavo- 0.8 %C
- Več ogljika povzroča izločanje Fe<sub>3</sub>C, material postane krhek
- Po ogliččenju obdelovance kalimo



- Pri oglečanju se kemijska sestava jedra ne spremeni
- Ločimo več vrst toplotne obdelave po oglečanju
- Tako površina, kakor jedro imata grobo strukturo

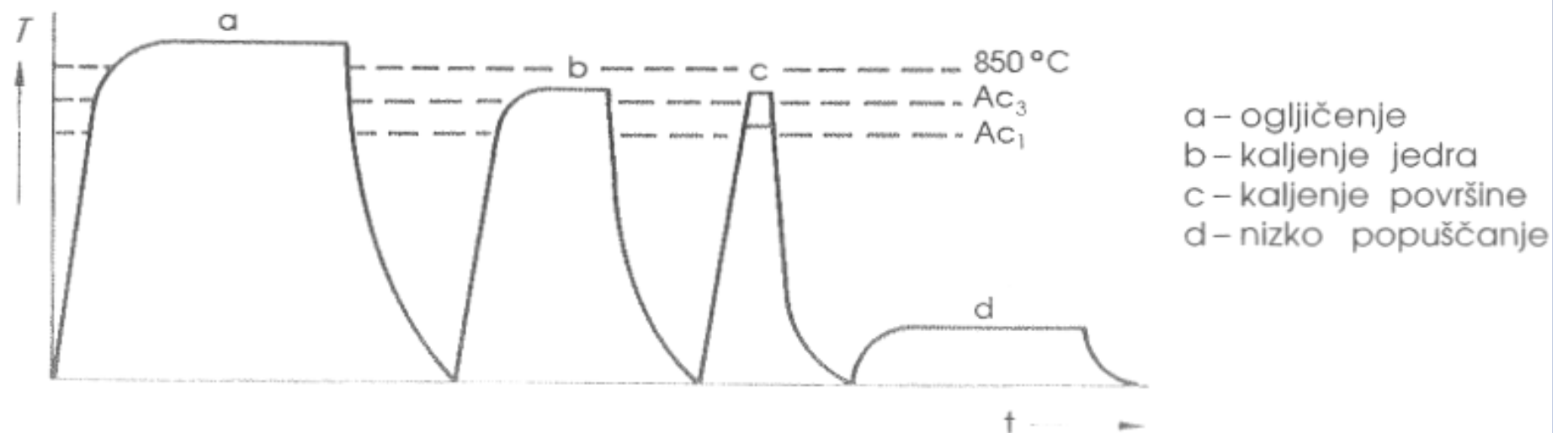


## b) Toplotna obdelava po ogljičenju z enojnim kaljenjem



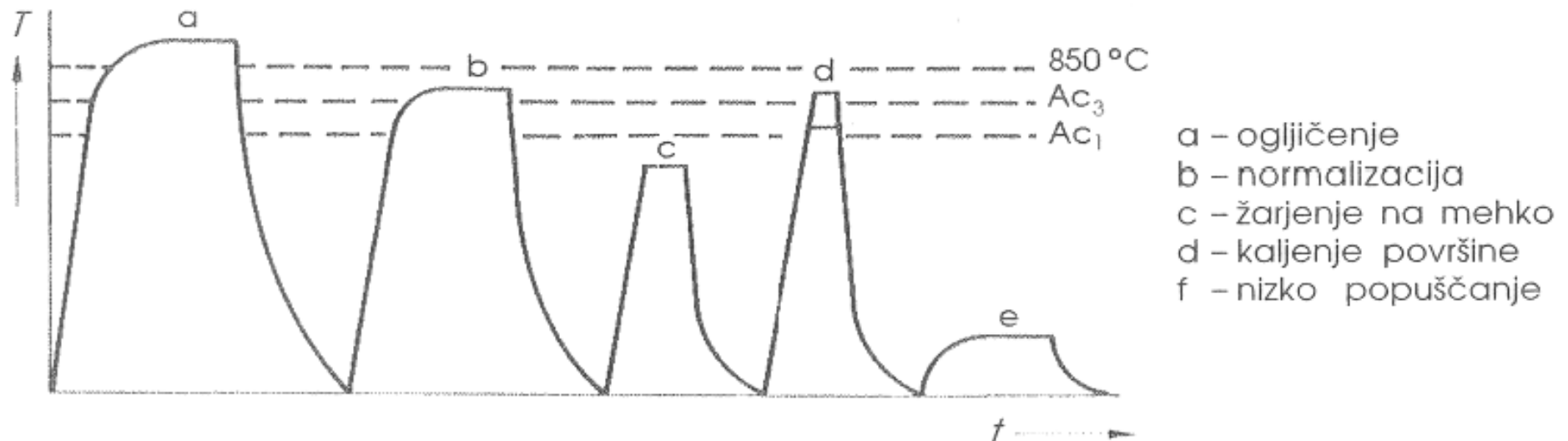
- Ponovno segrevanje; upoštevati %C, gašenje v vodi
- Površina finoizrnatni martenzit, jedro groboizrnatni ferit- perlit

c) Toplotna obdelava po ogljičenju z dvojnim kaljenjem



- Dvojno kaljenje: za jedro 0.2 %C, za površino 0.8 %C

d) Toplotna obdelava po ogljičenju za najzahtevnejše izdelke



- Normalizacija in hitro ohlajanje popravi strukturo jedra, zunaj pa nastane grobozrnati martenzit
- Strukturo zunanjega sloja popravimo s ponovnim segrevanjem nad  $Ac_1$
- Nato izvedemo še nizko popuščanje pri največ 180 °C
- Cementirani obdelovanci imajo trdo površino in mehko ter žilavo jedro
- Površinska trdota je 60 do 64 HRc, trdota jedra je odvisna od sestave jekla in toplotne obdelave
- Poveča se obrabna obstojnost in trajna trdnost obdelovancev



# Načini ogljičenja

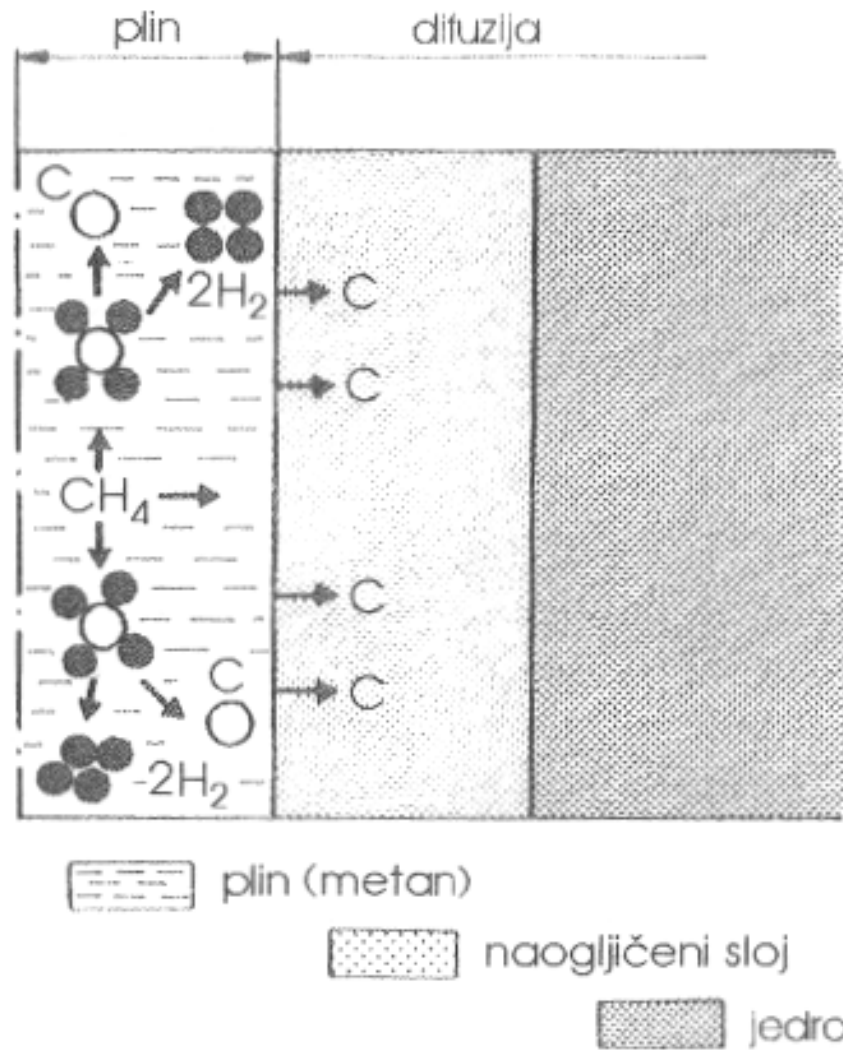
## Plinsko ogljičenje

- Uporabljamo nosilni plin in ogljikovodike, ki na temperaturi izločajo saje



- Hitrost difuzije je večja pri večji količini ogljika in prisotnosti dušika
- Obdelovance ogljičimo pri 850 - 900 °C





*Plinsko ogljičenje*

Ogljičenje brez nosilnega plina- v peč kapljamo tekočino (alkoholi + tekoči ogljikovod)

## Ogljičenje v solni kopeli

- Cianidna kopel,  $t = 850 - 1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , hitrost  $0.2 - 0.5 \text{ mm/uro}$ , voda ali olje, popuščanje  $150 - 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Prednost je v krajšem času ogljičenja
- Slabost je v tem, ker so soli oporečne za okolje

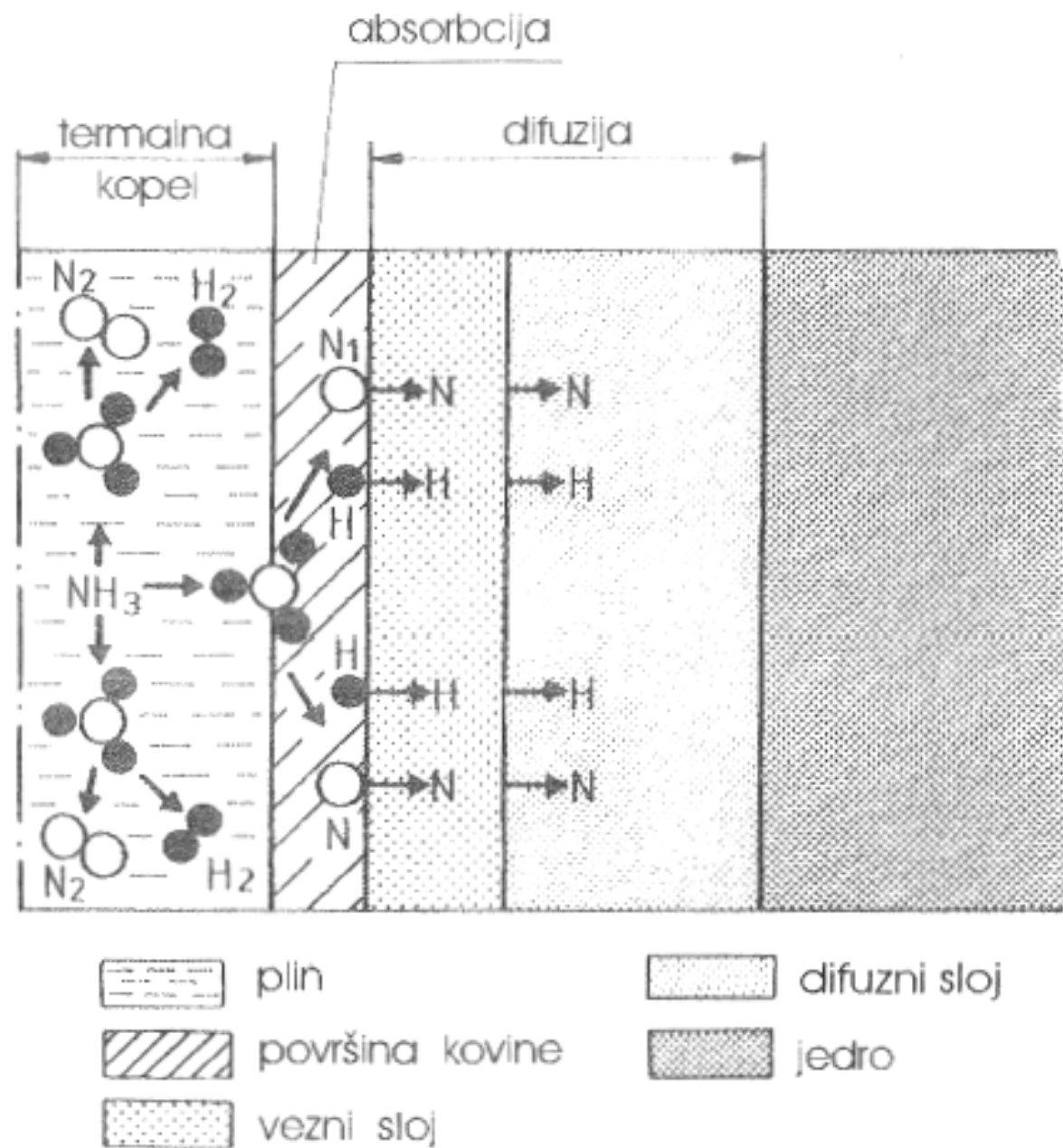
## Ogljičenje s praškom ali granulatom

- Lesno oglje, koks, premog, smole, karbonati, kloridi ( )
- Mešalno razmerje lesno oglje : je  $6 : 4$ , oglje naj bo v zrnih  $2 - 6 \text{ mm}$
- Temperatura ogljičenja je  $880 - 950 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , globina je  $0.15 - 1.8 \text{ mm}$ , hitrost je  $0.1 - 0.15 \text{ mm/h}$

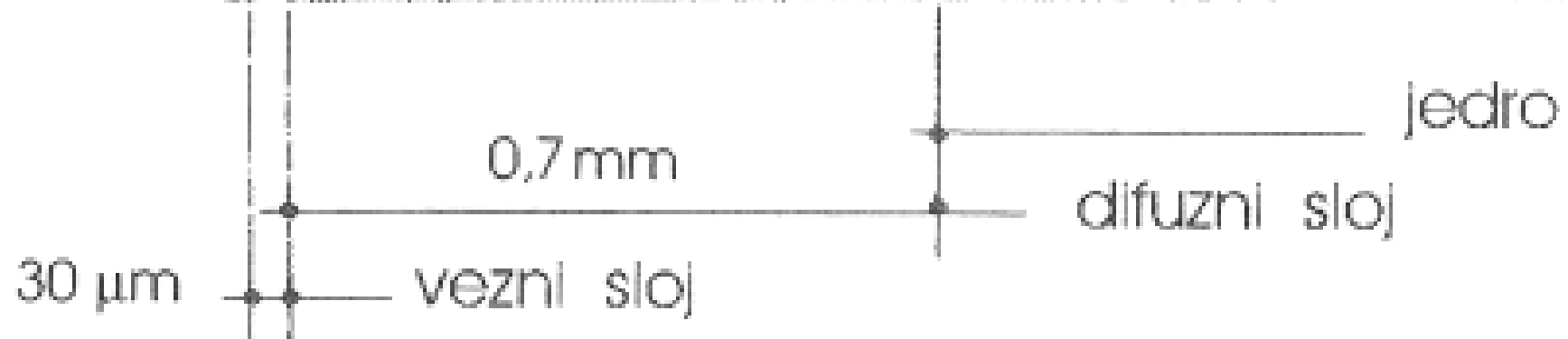
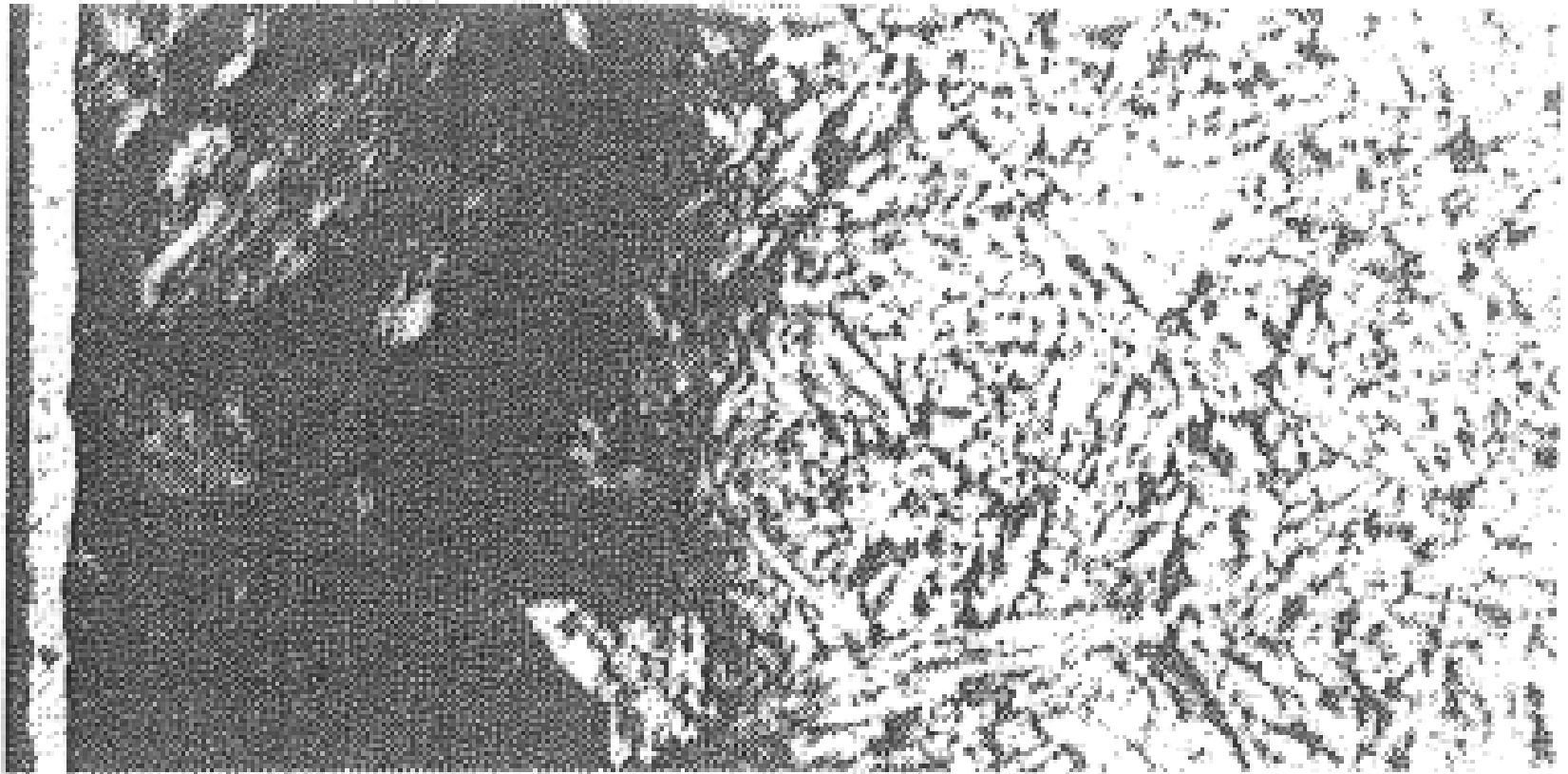


# Nitriranje

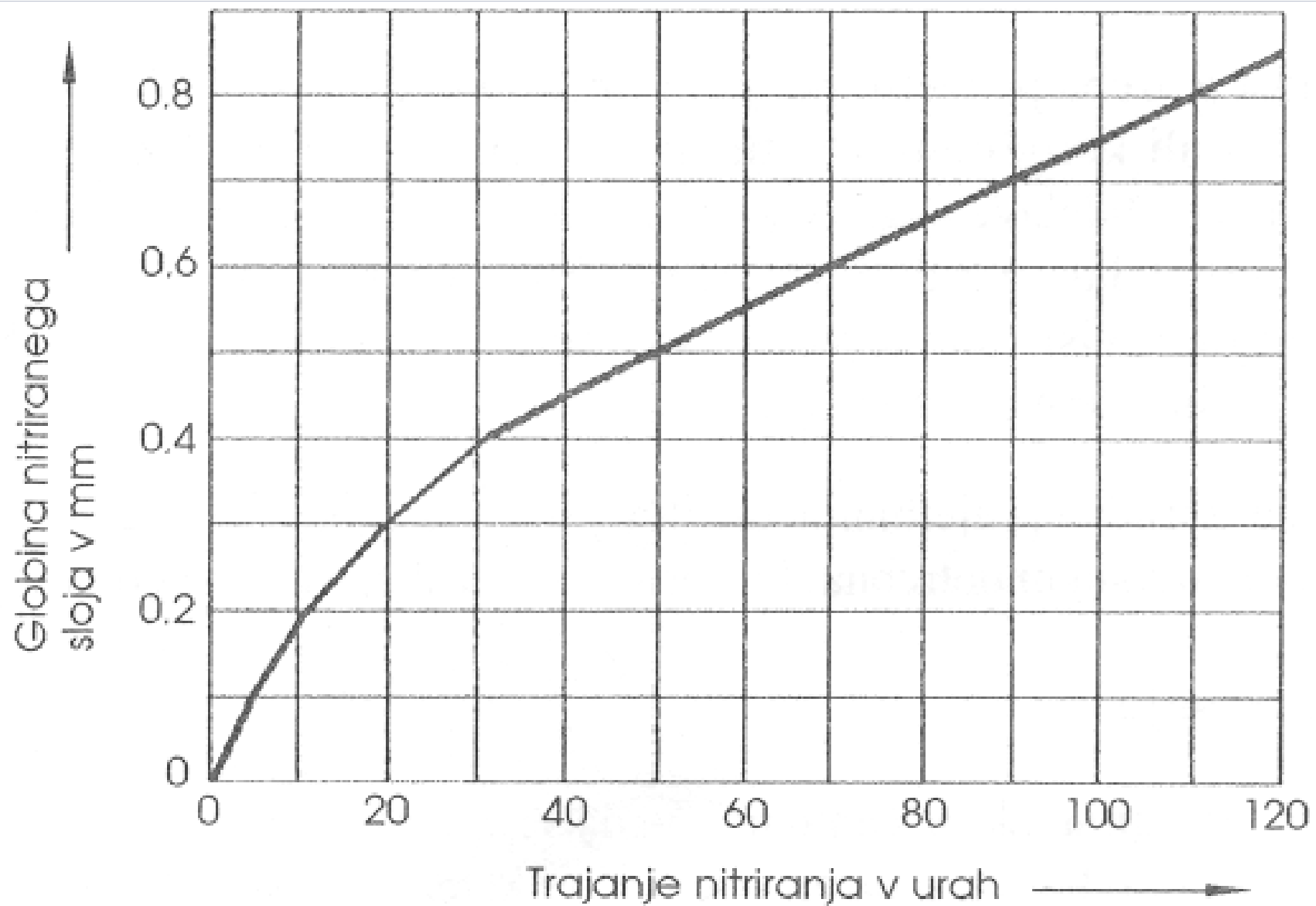
- Je zelo razširjen postopek
- Obogatenje površine z dušikom
- Dušik se pri 480 - 590 °C odcepi od trdnega, tekočega ali plinastega medija in difundira v jeklo
- Ločimo plinsko nitriranje, plazemsko nitriranje in nitriranje v solni kopeli
  
- Dušik tvori z železom nitride, ki so odporni proti obrabi
- Pri nitriranju ne pride do strukturnih sprememb, zato lahko izvajamo na dokončno obdelanih in poboljšanih izdelkih
- Dušik tvori dve plasti; prva plast je železov nitrid debel 30  $\mu\text{m}$ ; druga plast je difuzni sloj debel 0.7 mm



*Plinsko nitriranje*



*Nitirana plast*



*Odvisnost rasti nitriranega sloja*

- Obrabna obstojnost, dobre torne lastnosti, manjša nevarnost korozije
- Obstojna nevarnost odstopanja plasti pri velikih specifičnih pritiskih
- Poveča se trajna trdnost, nitrirana jekla so odporna na popuščanje do 500 °C
- Pred končno obdelavo se obdelovanci žarijo zaradi napetosti
- Pred nitriranjem je potrebno površine očistiti; če jih zaščitimo ostanejo mehke



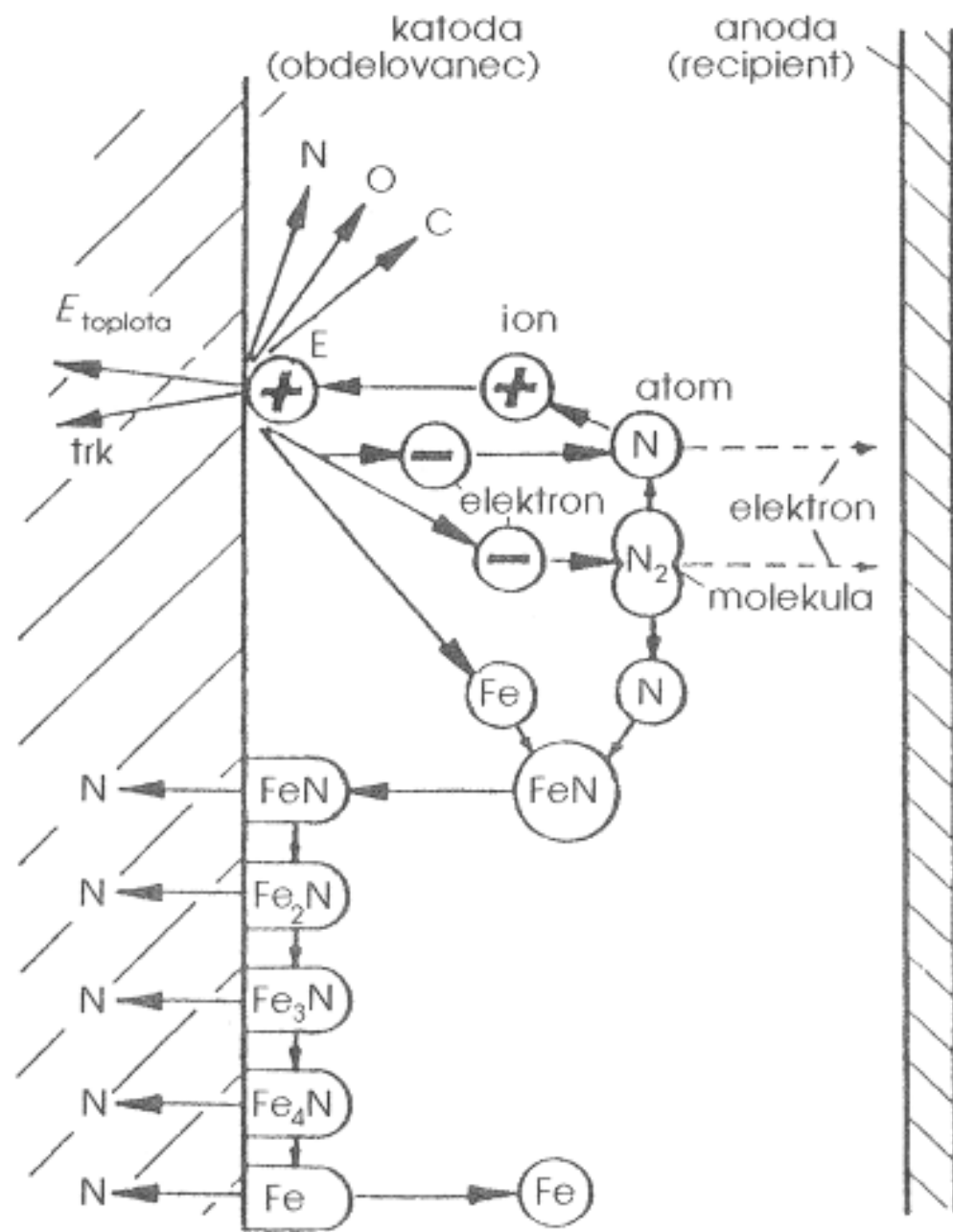
# Načini nitriranja

## Plinsko nitriranje

- Temperatura 520 °C, čas nitriranja 12 - 19 ur, amonijak
- Na difuzijo vplivajo naslednji faktorji: količina atomarnega dušika, temperatura nitriranja, kemijska sestava jekla, strukturno stanje jekla in kvaliteta površine
- Nitriamo poboljšana jekla; pred nitriranjem žarimo za odpravo napetosti
- Pojavi se minimalno povečanje volumna, nitrirane površine ni potrebno obdelovati, nadmera najmanj 0.05 mm

## Plazemsko nitriranje

- Posoda je anoda (+), obdelovanec je katoda (-)
- Zaradi električne napetosti se plin ionizira; pozitivni ioni dušika potujejo proti obdelovancu in tvorijo z železom na površini nitride
- Temperatura je 450 - 600 °C, trajanje procesa je od 5 - 40 ur
- Nitriranje v solni kopeli
- Cianidne kopeli; dušik dobimo iz raztaljenih cianidnih soli
- Nitriranje pospešimo, če solno kopol mešamo z zrakom

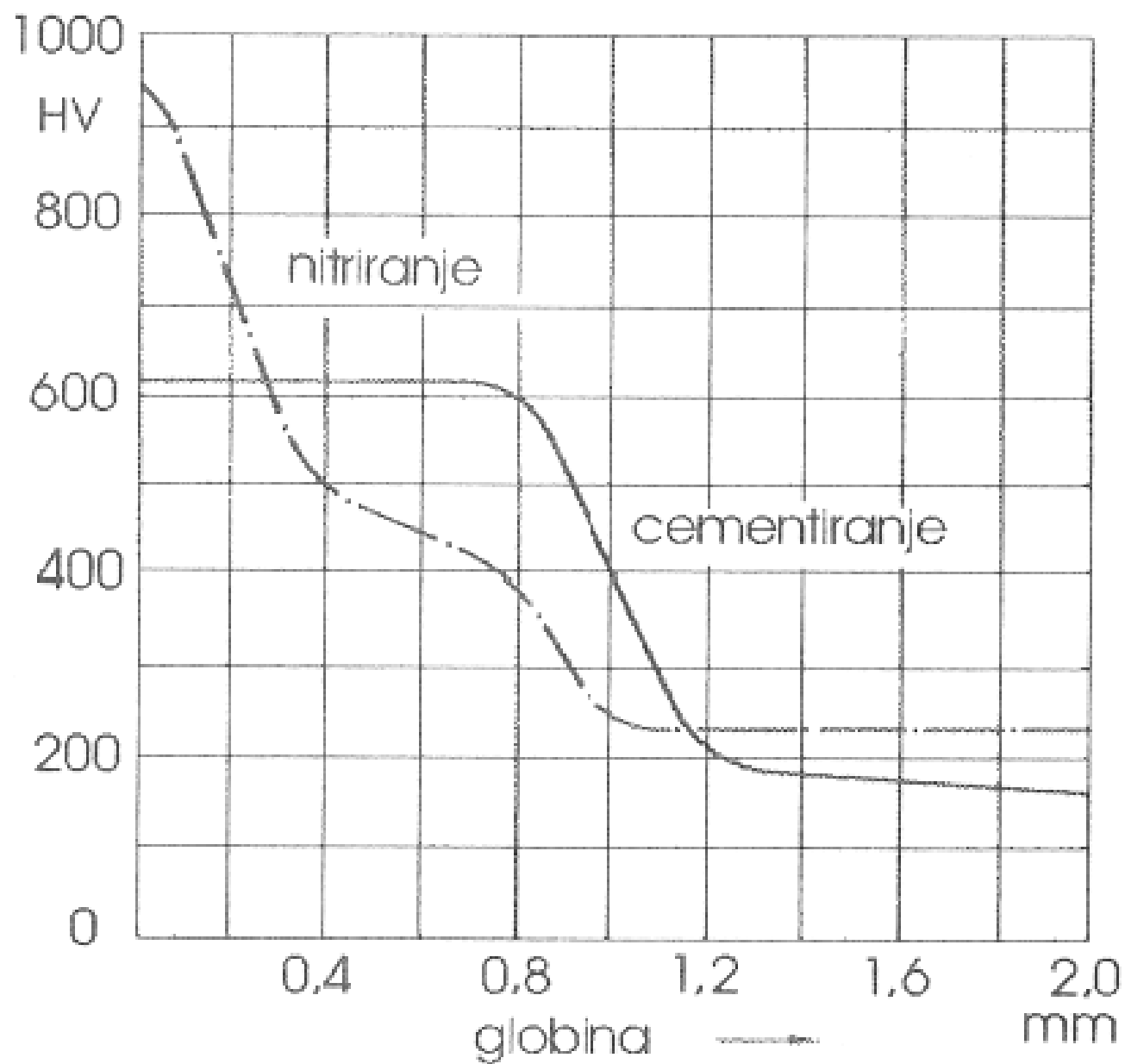


*Reakcije na mejnih površinah pri plazemskem nitriranju*

## Tenifer postopek


- Postopek v prezračevanih kopelih z uporabo loncev iz titana
- Temperatura 590 °C, čas 1 - 3 ure, nitrirani sloj je globok 0.01 - 0.02 mm
- Učinek nitriranja je močnejši
- Ohlajanje se vrši na zraku ali v dušiku, nato pa v vodi ali olju
- Vezni sloj nima kovinskih lastnosti, zelo dobra odpornost proti obrabi, razjedanju in koroziji ter višja trajna trdnost
- Sloj je sestavljen iz spojin železa, dušika, ogljika in kisika
- S tenifer postopkom lahko obdelujemo vse materiale, ki vsebujejo železo





*Trdota pri nitriranju in cementiranju*

## Karbonitriranje

- Je kombinacija plinskega cementiranja in nitriranja
  - Karbonitriramo lahko cenena nelegirana in nizkolegirana jekla
  - Postopek se izvaja v napravah za plinsko cementiranje
  - Plinu, ki je namenjen za cementiranje dodamo 10 - 30 % amoniaka
  - Temperatura je v območju ogljičenja 820 - 900 °C, nato sledi gašenje
  - Hitrost karbonitriranja je 0.15 mm/h, čas je enak plinskemu cementiranju
  - Po gašenju je običajno še popuščanje; večja, ko je vsebnost dušika v cementiranem sloju, višja je temperatura popuščanja
- 

## Nikotiranje

- Nikotiranje je primerljivo s tenifer postopkom, le da nikotiranje poteka v plinski atmosferi
- Poleg dušikovih atomov difundirajo v jeklo tudi atomi ogljika
- Dušikovi atomi tvorijo nitride, ogljikovi pa žilave karbide, ki zmanjšajo nevarnost pokanja
- Pred nikotiranjem se obdelovance poboljša
- Temperatura popuščanja je 590 °C
- Pred nikotiranjem se obdelovanci žarijo za odpravo napetosti in brusijo
- Nerjavna jekla niso primerna za nikotiranje, ker se tvori na površini krom- oksidna plast, ki preprečuje difuzijo
- Vezni sloj je debel 3 - 25 μm in nastane pri 570 °C v dveh urah, debelina celotne nikotirane plasti pa je 0.06 mm
- Ohlajamo lahko v vodi olju ali zraku, pogosto v peči
- Dobre obrabne in torne lastnosti, dobra trajna trdnost in dobra korozijska obstojnost

## Boriranje in kromiranje

- S termokemijsko reakcijsko obdelavo spremenimo sestavo, strukturo in lastnosti robne plasti, ki postane trša
- Robno plast obogatimo z borom oziroma kromom
- Temperatura nad 850 °C, sredstva so plini soli ali granulati
- Dosežena trdota je 1500 - 2000 HV
- Obrabna obstojnost; s kromiranjem se doseže tudi korozijska obstojnost

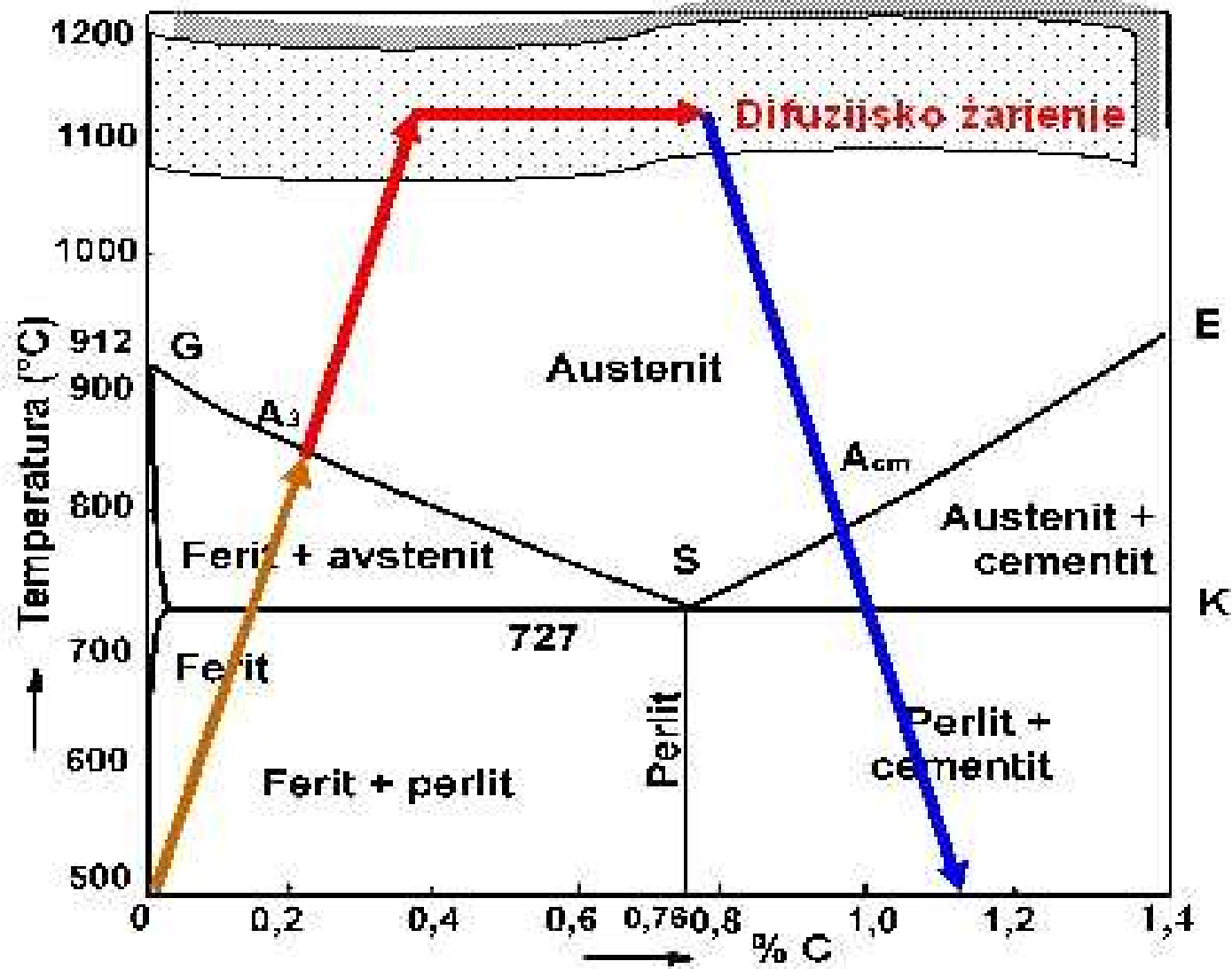







## Žarjenje jekel

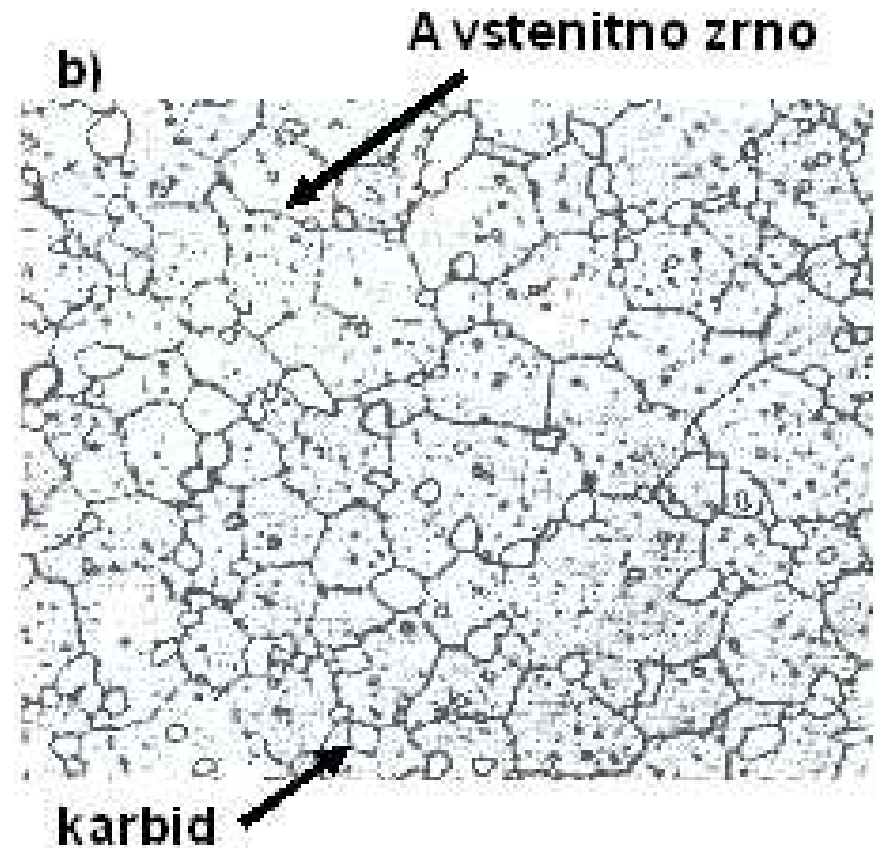
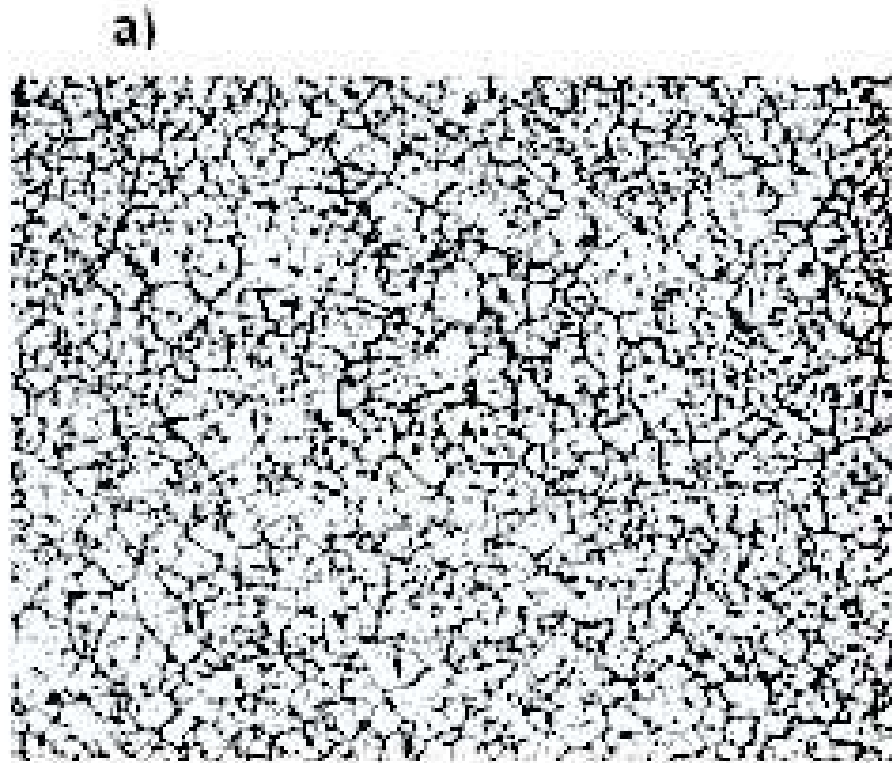
- Segrevanje izdelkov na določeno temperaturo, držanje na tej temperaturi in počasno ohlajanje
- **Difuzijsko žarjenje**
- Za izravnavo neenakosti v kemični sestavi
- Temperatura 1100 - 1300 °C daljši čas; difuzijski proces
- Nastane grobozrnata struktura
- Popravimo jo s preoblikovanjem ali normalizacijo
- Razogljichenje preprečimo z zaščitno atmosfero v peči





-  Oznaka za segrevanje
-  Oznaka za zadrževanje
-  Oznaka za ohlajanje

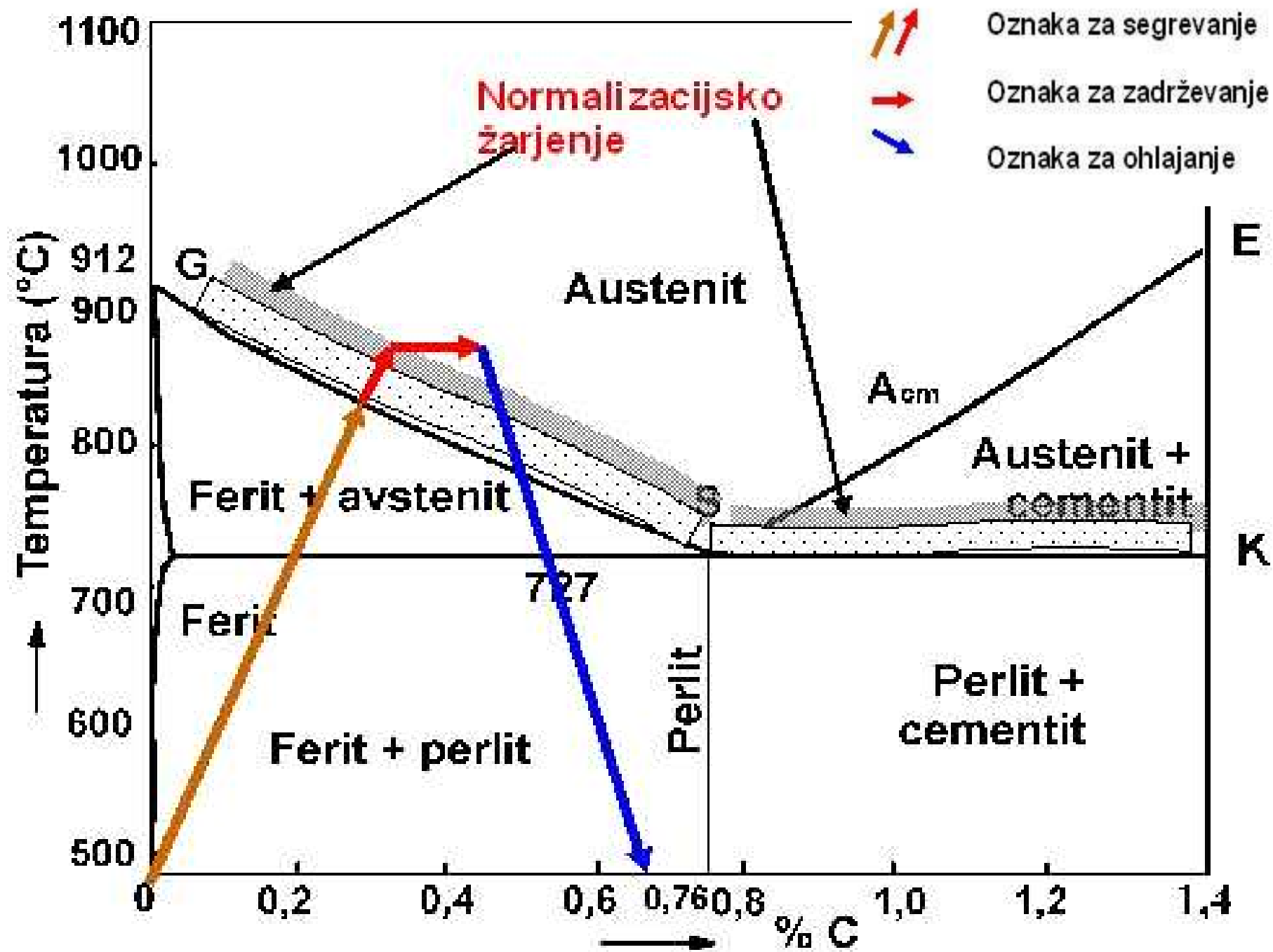
- a) mikrostruktura pred in
- b) po difuzijskem žarjenju.



## Normalizacijsko žarjenje

- Segrevanje visoko iznad premensko točko Ac3, ohlajenje na mirnem zraku
- Odstrani se neenakomernost v strukturi; zmanjšanje velikosti zrna
- Normaliziramo ulitke, izjemoma zvarjence
- Neenakomernost v strukturi nastane pri postopkih delnega segrevanja obdelovancev
- Temperatura 30 - 50 °C nad temperaturo prekrystalizacije
- Za podvtektoidna jekla je temperatura identična kalilni temperaturi
- Čas normalizacije:  $t = 20 + s/2$  min; s- debelina stene
- Normalizacijsko žarjenje lahko ponovimo, če je struktura še pregroba
- Napake pri kaljenju popravimo z normalizacijo

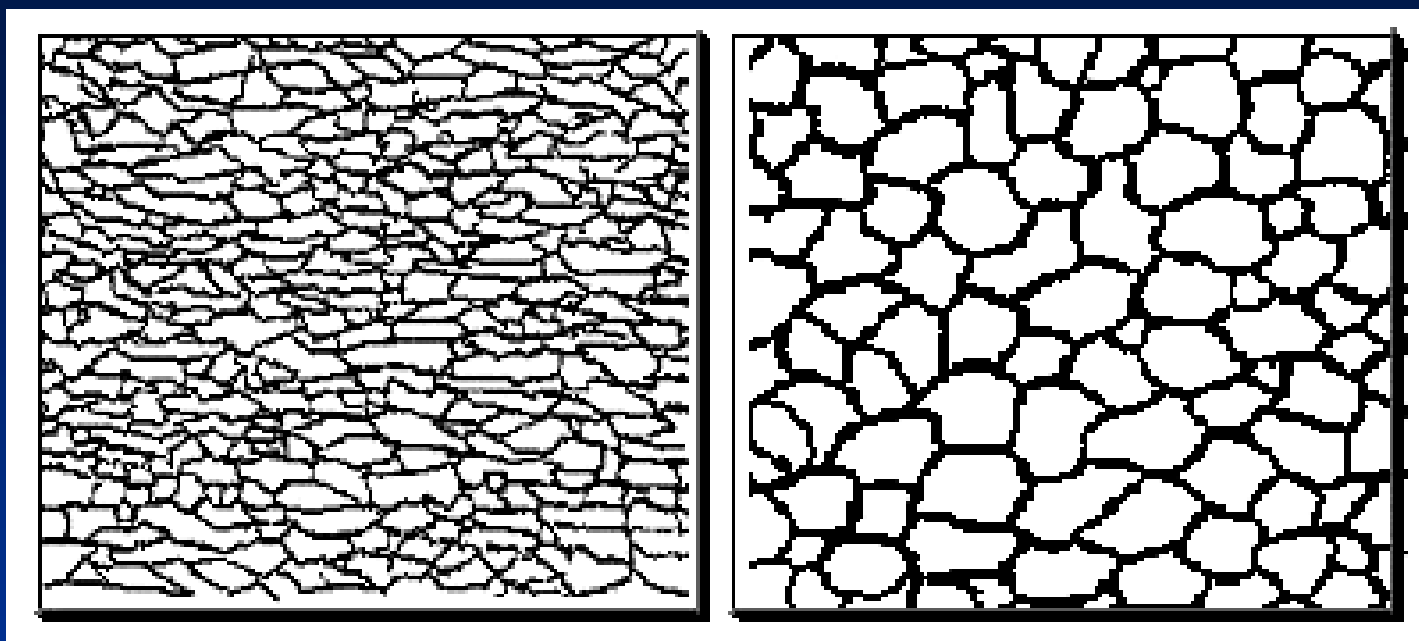




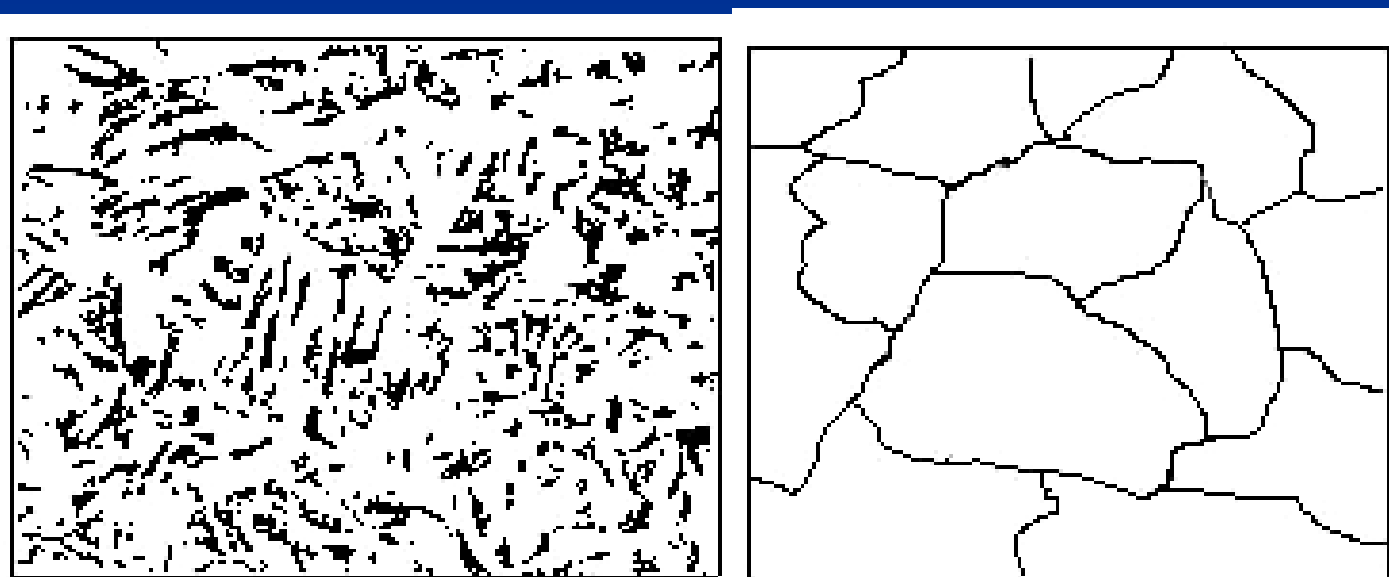
- Celoten **ciklus normalizacijskega žarjenja** sestoji iz:
- časa segrevanja do temperature normalizacije,
- časa enakomernega pregrevanja kosa po prerezu izdelka,
- časa izenačevanja temperature po prerezu, pri čemer se izenačuje struktura po prerezu,
- in časa ohlajanja.



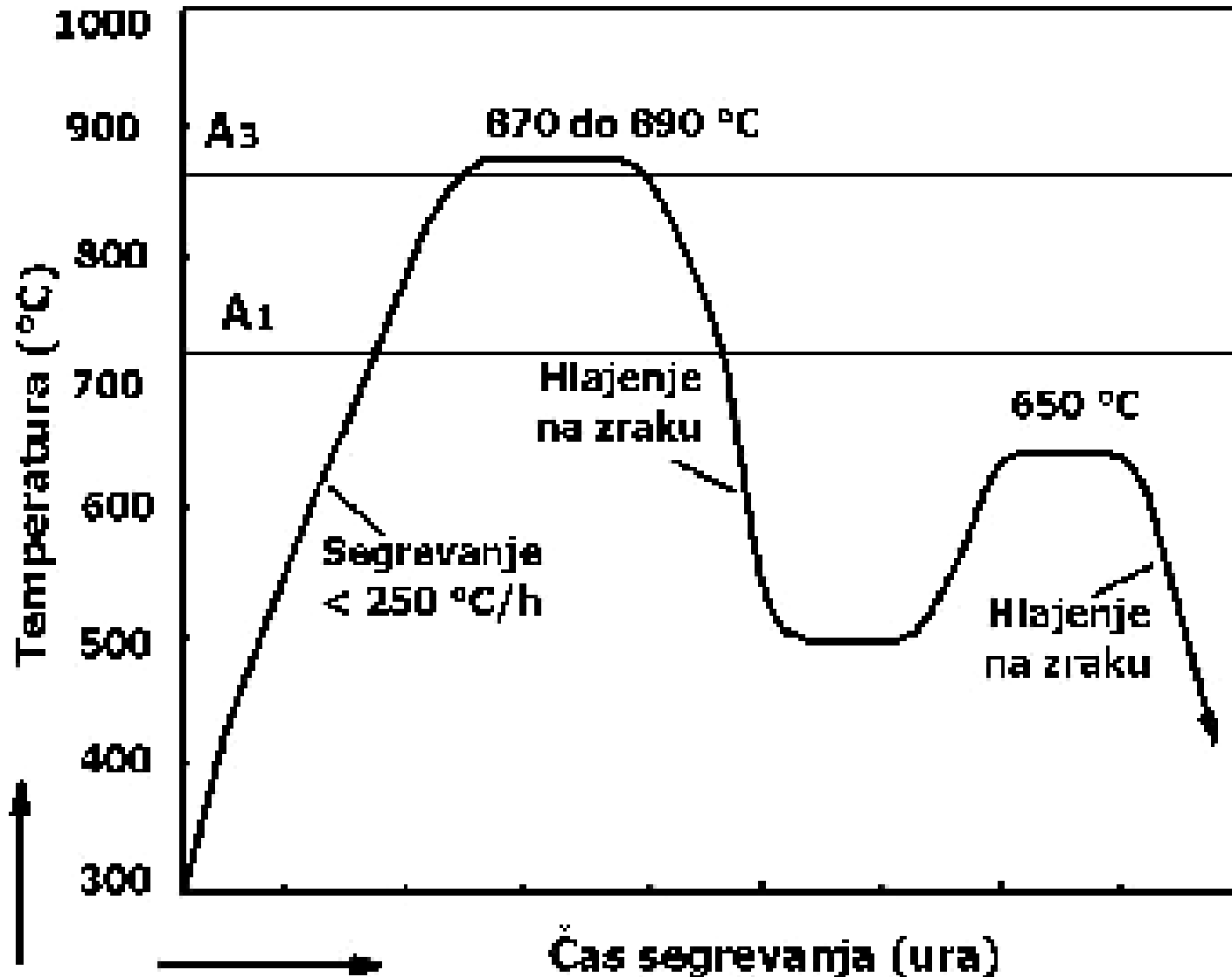
## Primer valjane strukture po normalizaciji



## Primer lite strukture po normalizaciji



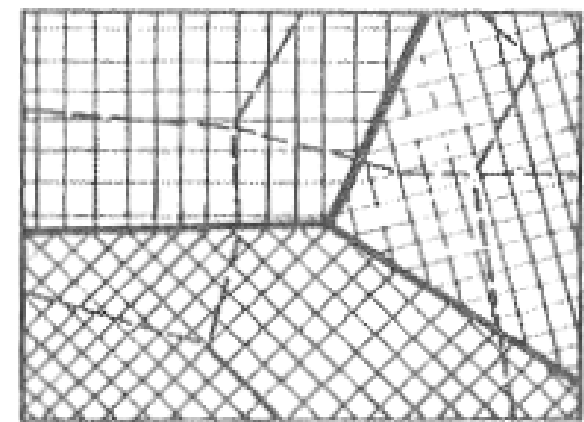
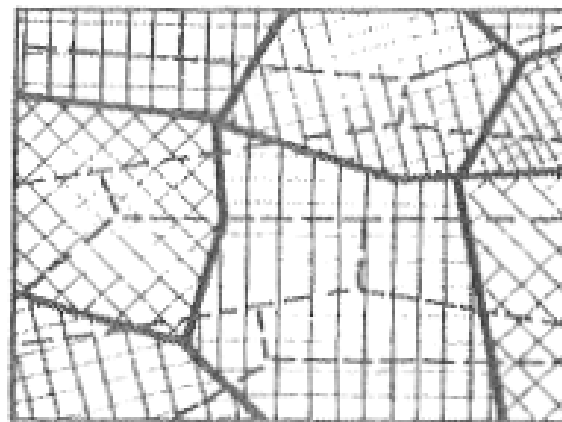
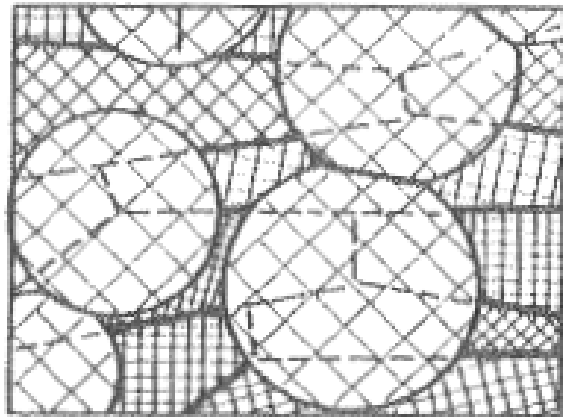
- Primer normalizacijskega žarjenja za jeklo z 0.2%C



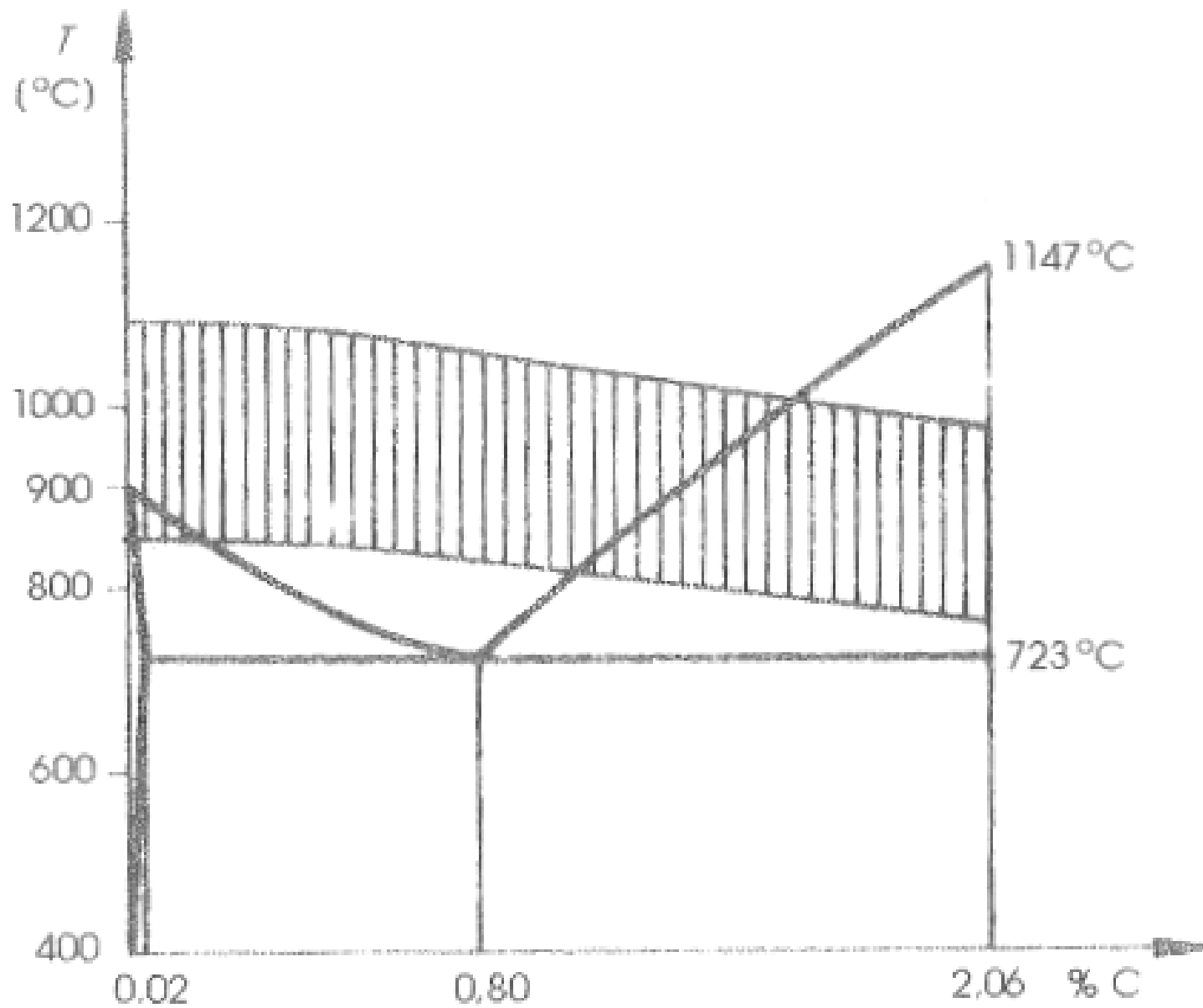


# Žarjenje za gnetenje

- Pomembno je, da pregnetemo celotni presek in ne samo površinske plasti
- Večje predmete segrejemo na zgornjo mejo, manjše pa nad spodnjo
- Preoblikovanje razbije lito strukturo
- Valjanje učinkuje globlje, kakor kovanje
- Razpotegnjeni kristali- usmerjena struktura



*Deformacije kristalov*



*Žarjenje za gnetenje*

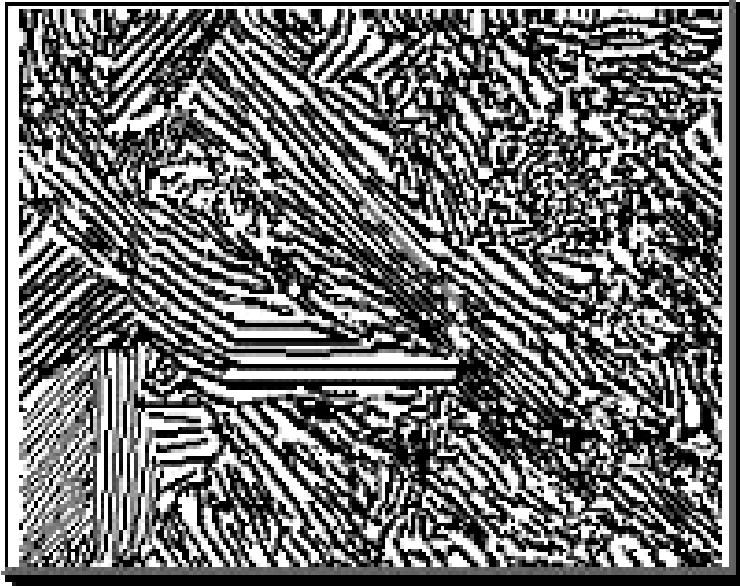
## Žarjenje na mehko

- Žarjenje v območju Ac1 in počasno ohlajanje
- Nizka trdota in natezna trdnost; cementitne lamele- kroglični ali globularni perlit- proces sferoidizacije

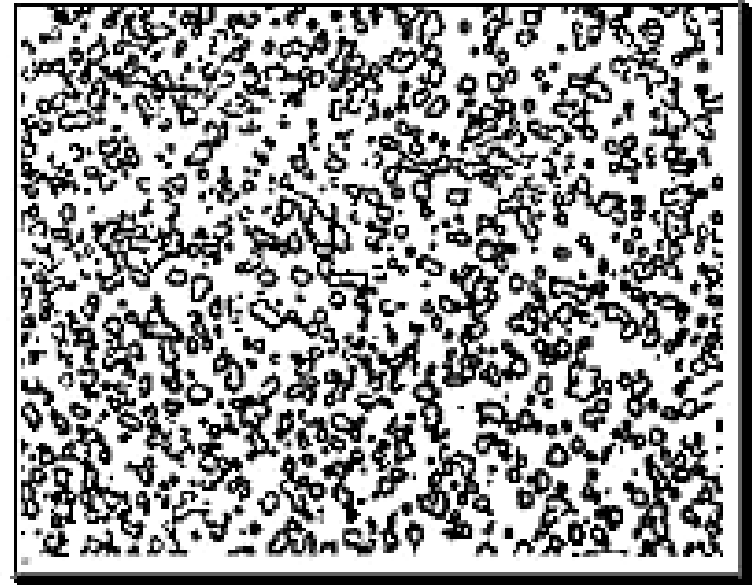
### Na mehko žarimo na ti načine:

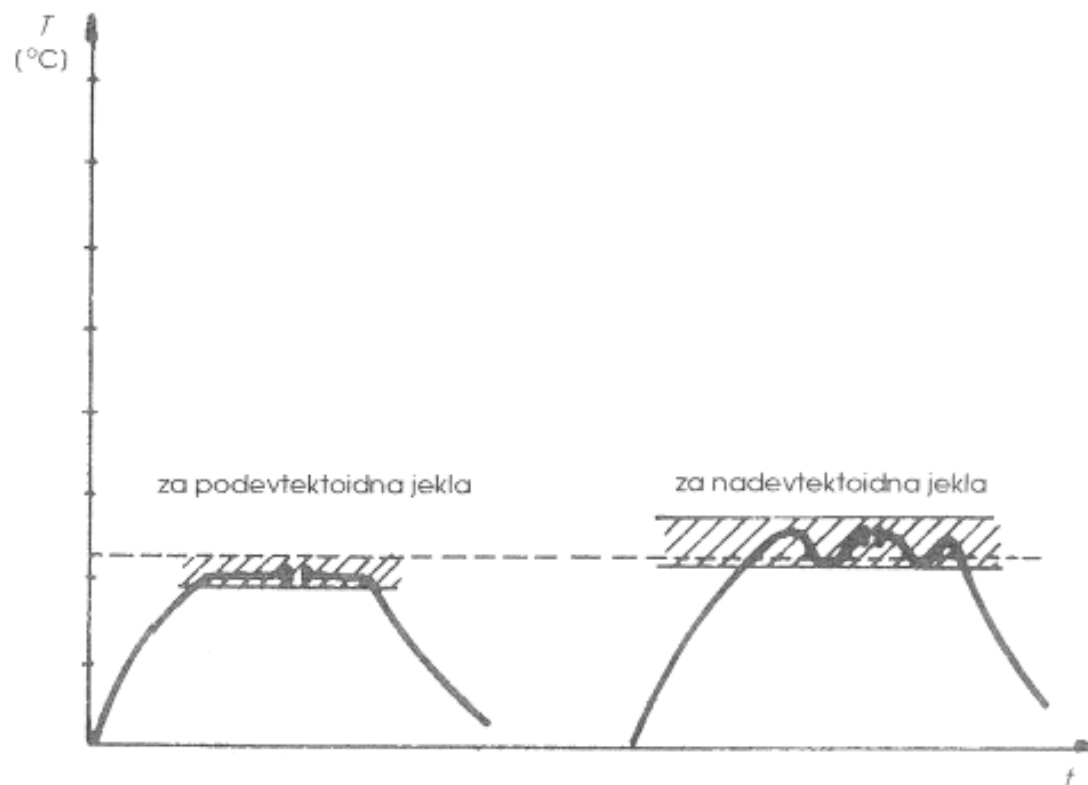
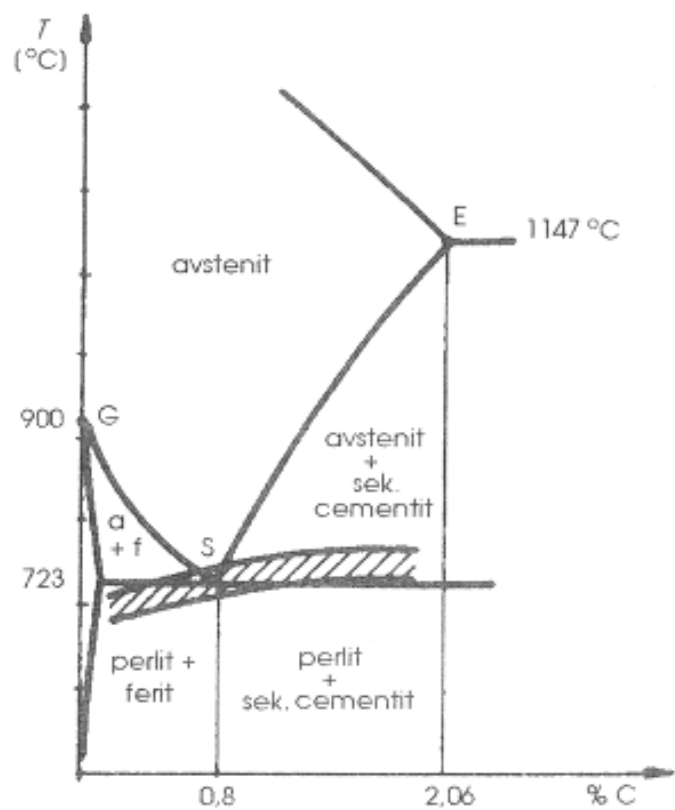
- a) PODEVTEKTOIDNA jekla žarimo dalj časa tik pod 723 °C in počasi ohlajamo na zraku
  - b) Žarimo tik nad temperaturo prekrystalizacije, nato počasi ohlajamo do 650 - 600 °C, nato na zraku. Primerno za žarjenje tankostenskih izdelkov takoj po valjanju ali kovanju.
  - c) Nadevtektoidna jekla žarimo tik nad 723 °C, nato nihamo s temperaturo okrog 723 °C in ohlajamo na zraku
- Mehko žarimo jekla, ki so namenjena odrezavanju, preoblikovanju v hladnem ali kaljenju

a)



b)





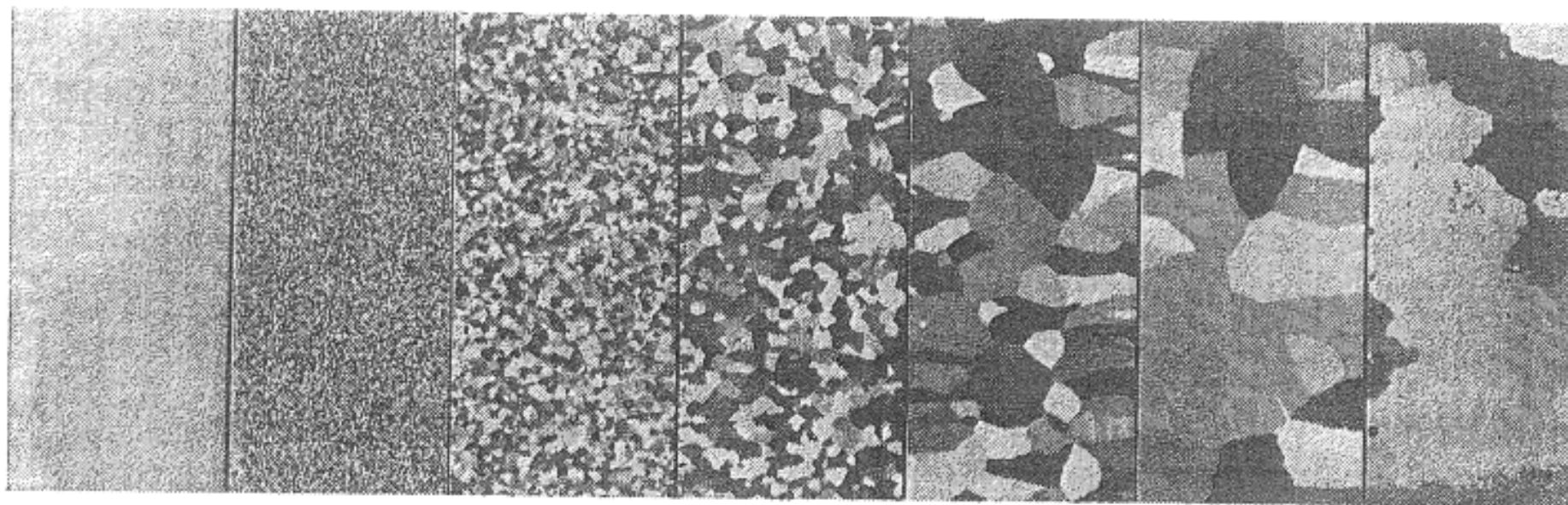
*Žarjenje na mehko v Fe-Fe<sub>3</sub>C diagramu in T-t diagram*



## Rekristalizacijsko žarjenje

- Med preoblikovanjem se cementitne lamele zdrobijo, trdnost naraste, preoblikovalna sposobnost pade, material se hladno utrdi, usmerjena struktura
- Med stopnjami predelave je potrebno rekristalizacijsko žarjenje
- $T_{\text{rekr}} = 0.42 * T_{\text{talj}}$
- 500 - 700 °C dobijo kristali svojo prvotno obliko
- Bolj, ko je material pregneten, nižja je temperatura žarjenja
- Žarjenje naj traja največ 2 uri





70

20

10

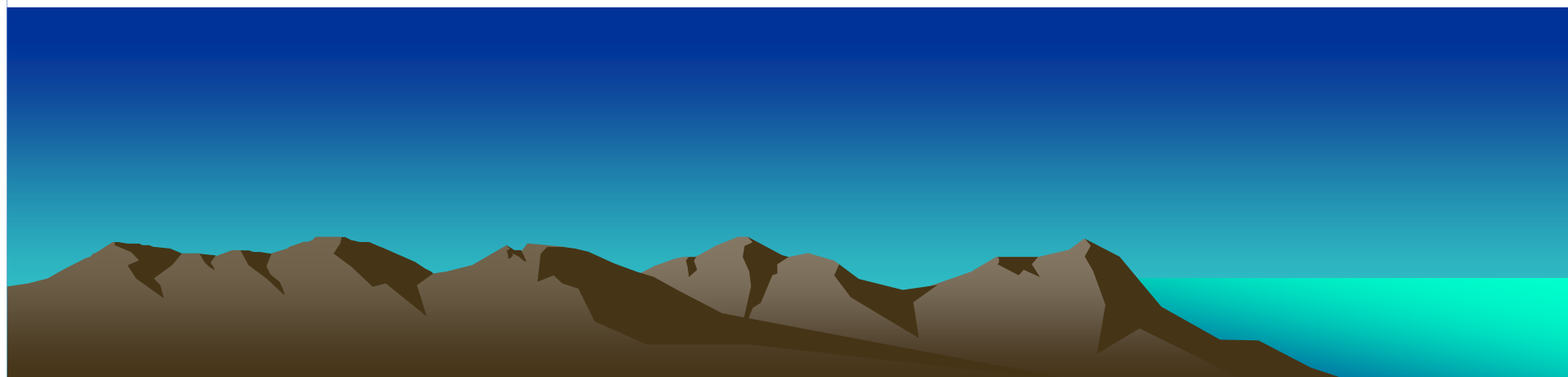
8

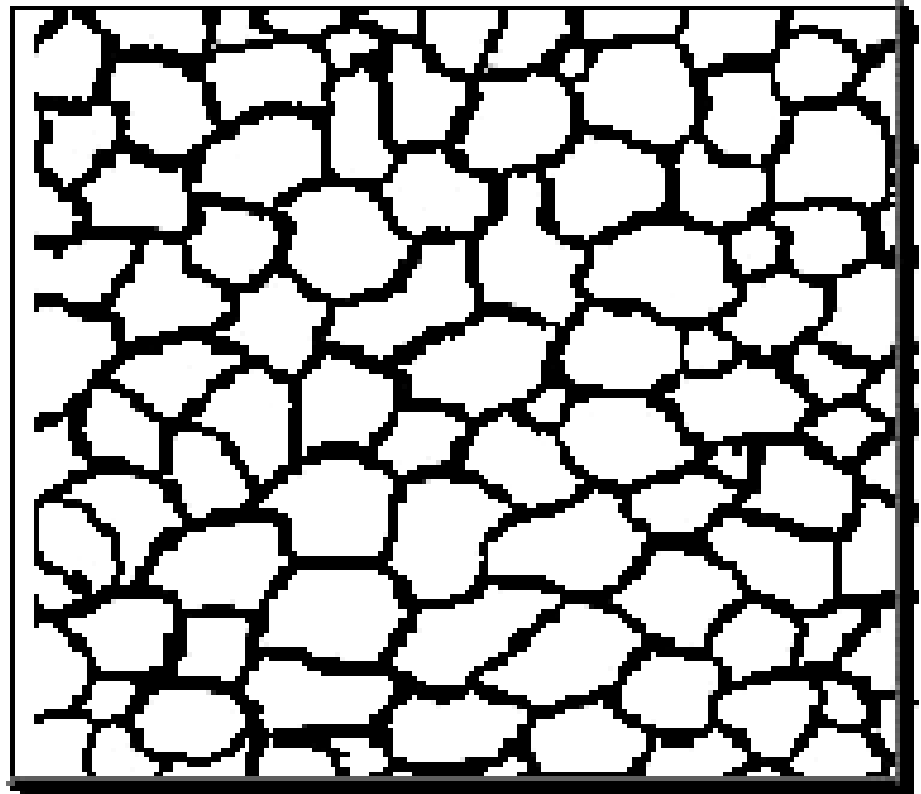
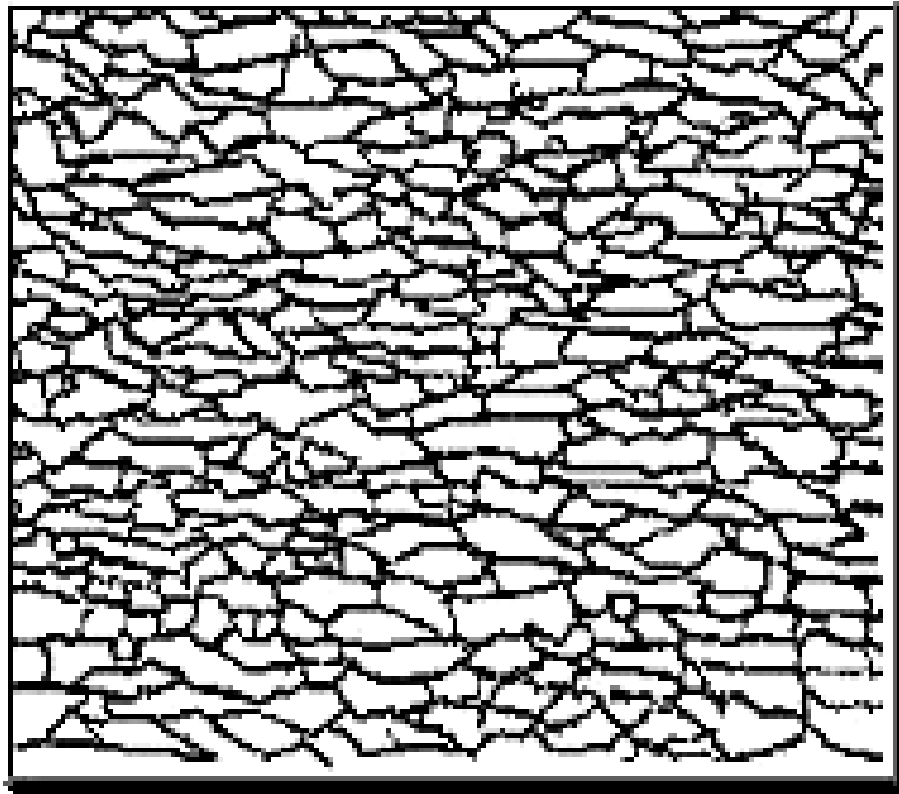
6

4

2

*Velikost zrn v odvisnosti od stopnje deformacije*

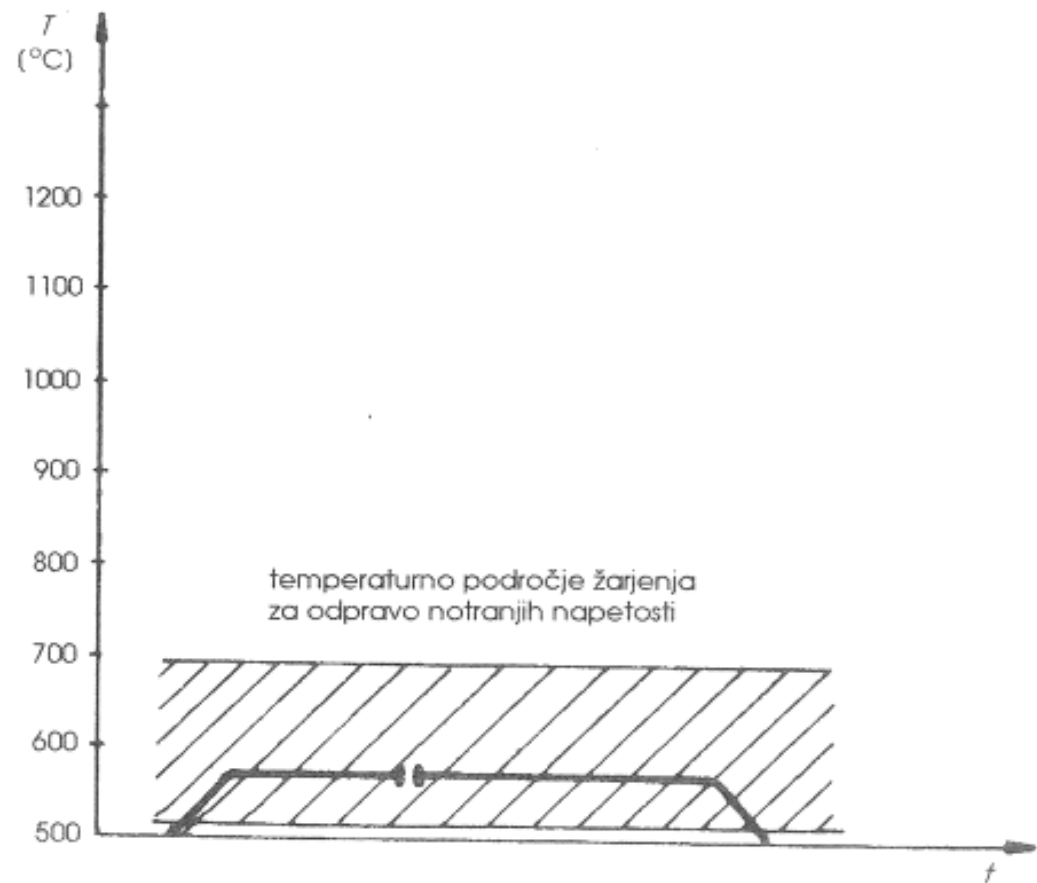
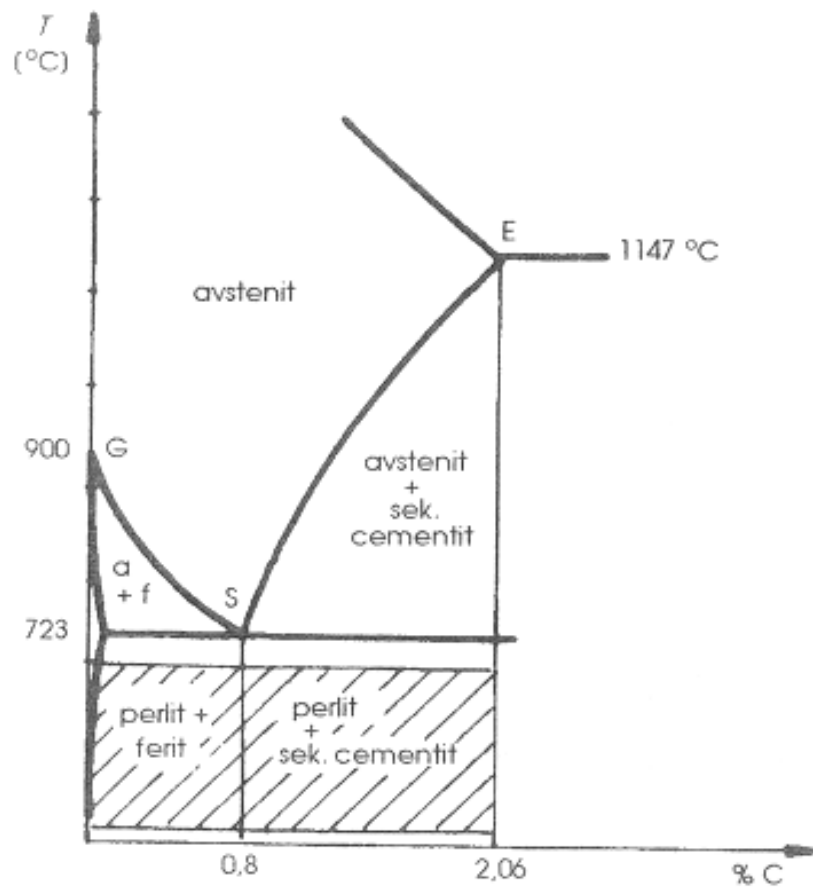






## Žarjenje za odpravo napetosti

- Žarjenje pod  $A_{c1}$ , nato počasno ohlajanje brez bistvene spremembe obstoječih lastnosti
- Napetost nastanejo zaradi neenakomernega ohlajanja ali odrezavanja
- Napetosti vplivajo na deformacije in razpoke na izdelkih
- Za konstrukcijska jekla je temperatura 550 - 600 °C, za orodna 600 - 650 °C, za hitrorezna okrog 700 °C
- Počasno segrevanje 1 - 1.5 min za vsak mm debeline in ne manj kot 20 min, žarjenje traja od 2 - 6 ur
- Ohlajanje 20 - 30 °C/h



*Žarjenje za odpravo napetosti v Fe-Fe<sub>3</sub>C diagramu in T-t diagram*



# PEČI ZA TOPLOTNO OBDELAVO

## Peči na trda goriva

- Premog, premogov prah, koks; nečistoča, pepel, nizke temperature, slaba regulacija;
- Velik presežek zraka, oksidacija izdelkov

## Peči na tekoča goriva

- Gorivo je potrebno čim bolj razpršiti, da se popolnost in hitrost zgorevanja povečata
- Razpršuje se lahko z velikim tlakom, stisnjenim zrakom, paro, ali centrifugalno silo
- Težka olja (mazut) je potrebno pred razprševanjem predgreti do 180 °C
- Temperaturo reguliramo z ugašanjem in prižiganjem gorilnikov

## Peči na plinasta goriva

- Mešanica propan, butan - zrak; majhen presežek zraka
- S spreminjanjem presežka ustvarjamo zeleno atmosfero; nevtralnno, oksidativno, reduktivno
- Možno je predgrevanje zraka, boljše zgorevanje, krajši plamen

## Električne peči

## Vakuumske peči

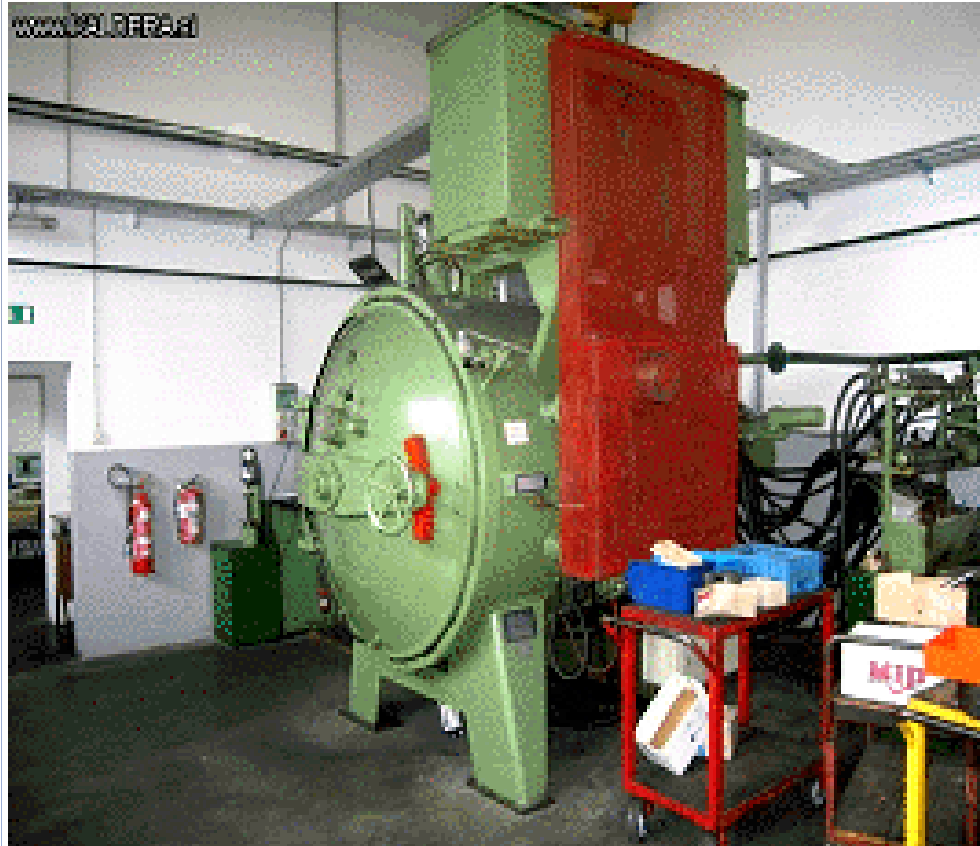


## Električne peči

- Uporovne ali induktivne; uporovne- grelne žice žarijo, so iz Fe, Cr, Ni, Al, Co jekla
- Grelne palice so iz ogljika ali silicijevega karbida
- Grelne žice ali palice so v stenah ali stropu peči (keramične cevi ali utori iz opeke), zaščitene pred udarci
- Solne kopeli so uporovne peči; lahko jih segrevamo tudi s plameni
- Induktivno ogrevanje- zelo majhna oksidacija površin, velik izkoristek, možnost avtomatizacije
- Izdelki se vlagajo v tuljave, skozi katere teče električni tok
- V izdelkih se inducirajo sekundarni tokovi in zaradi skin efekta segrevajo kos
- Globina segrevanja je odvisna od frekvence primarnega toka
- Za predmete nad 200 mm je primerna kar omrežna frekvenca
- Za predmete 20 - 150 mm srednja frekvenca 100 - 10000 Hz
- Za debeline do 20 mm se uporablja frekvenca nad 10000 Hz

- Komorne peči iz šamotne opeke; na plin, nafto ali elektriko
- Električne peči; 800 - 1000 °C - grelna žica, za višje temperature keramične palice (do 1300 °C)
- Električne peči lažje krmilimo in kontroliramo temperaturo
- Peči z ventilatorji- enakomernejša temperatura
- Tekoče solne kopeli- zmesi kloridov in nitratov, za višje temperature uporabljamo primesi, ki preprečujejo delovanje soli na ogljik v jeklu- do 770 °C
- Kovinske kopeli- temperatura 250 - 550 °C; Pb in Sn kopeli; 550 - 900 °C samo Pb kopeli
- Za kopeli predmete predgrevamo 400 - 500 °C

www.REFRA.ir

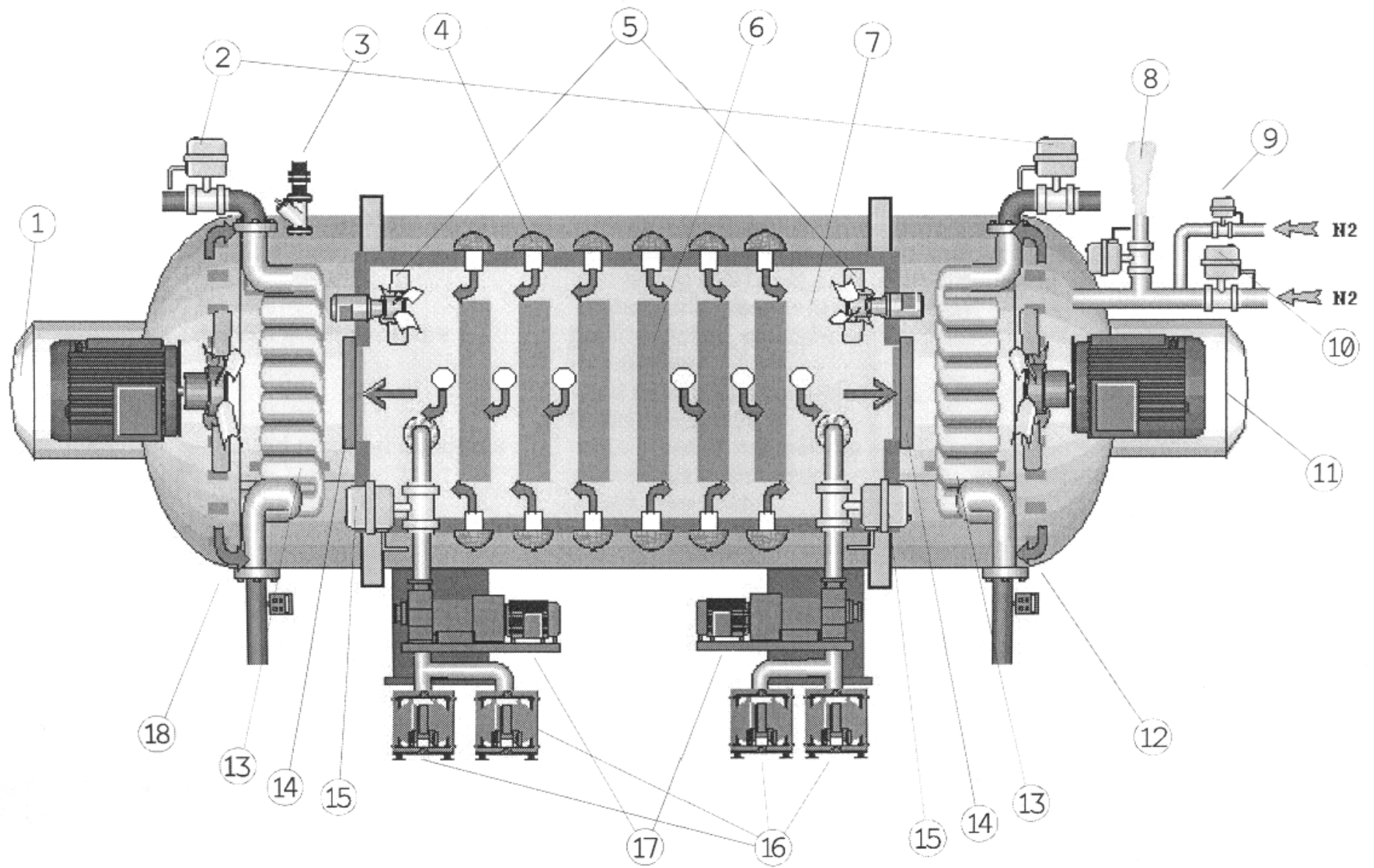












- 1 Plinsko ventilator (spredaj)
- 2 Vodni ventil (izmenjevalec toplote)
- 3 Oprema za meritve
- 4 Lijaki
- 5 Konvekcijski ventilator
- 6 Grelni deli (grafit)
- 7 Grelna komora
- 8 Izpust za plin
- 9 Plinski dovod (dušik; delni tlak)
- 10 Plinski dovod (dušik)

- 11 Plinsko ventilator (vzadaj)
- 12 Sistem za zaklepanje vrat (zadnja, ročno upravljanje)
- 13 Izmenjevalec toplote (spredaj, zadaj)
- 14 Loputa (sprednja, zadnja)
- 15 Vakuumski ventil (sprednji, zadnji)
- 16 Rotacijske črpalke
- 17 Rootsovi črpalke
- 18 Sistem za zaklepanje vrat (spredaj, avtomatsko upravljanj)

