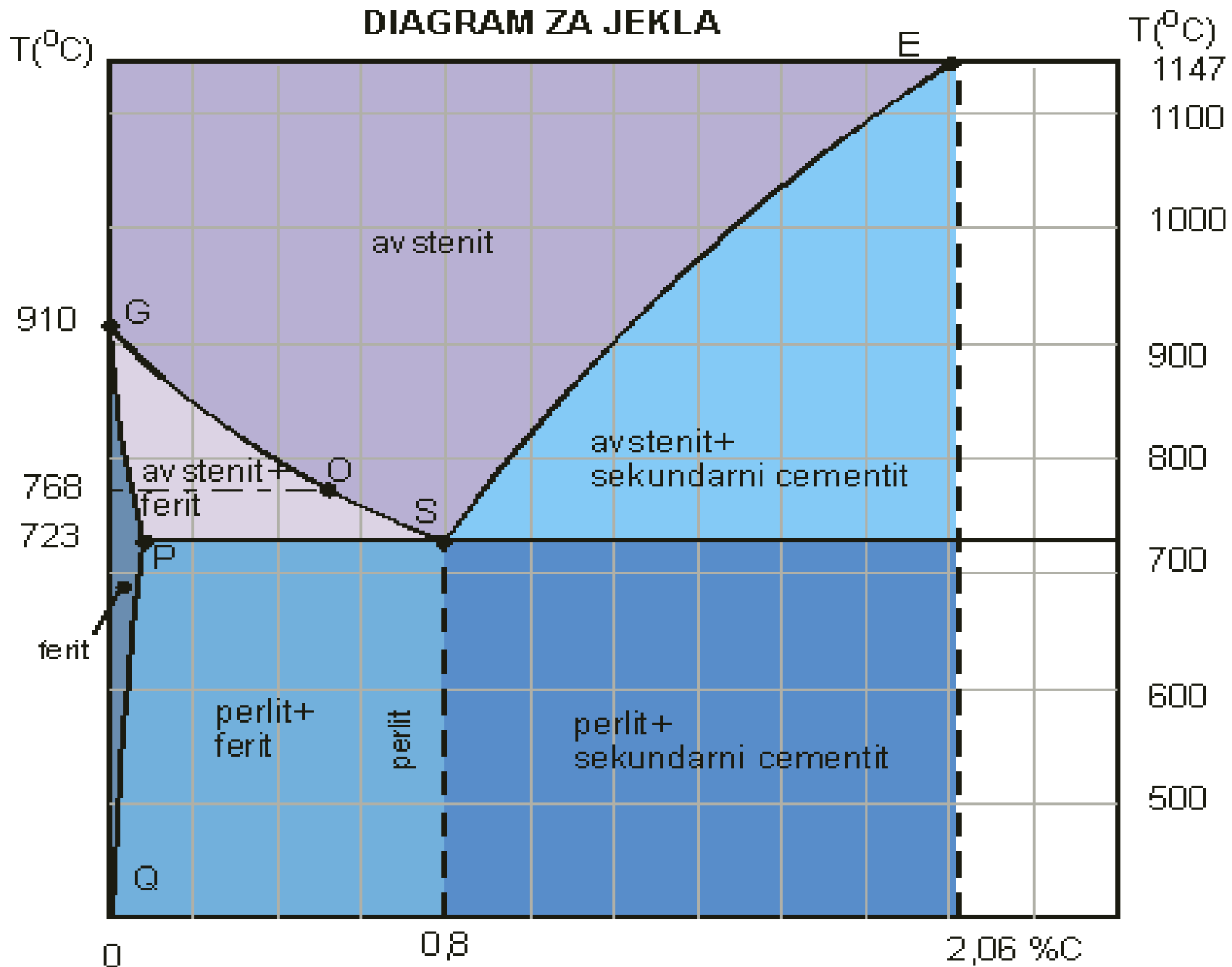


# TOPLOTNA OBDELAVA

- 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)

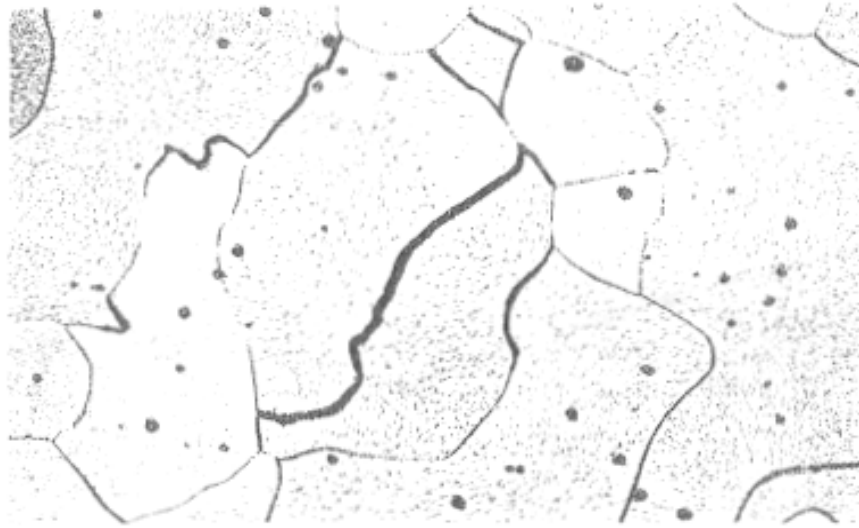
# DIAGRAM ZA JEKLA



# 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:
  - ▶ Pudevtektoidna jekla (  $< 0.8 \text{ \%C}$  )
  - ▶ Evtektoidna jekla (  $0.8 \text{ \%C}$  )
  - ▶ Nudevtektoidna jekla (  $0.8 - 2.06 \text{ \%C}$  )



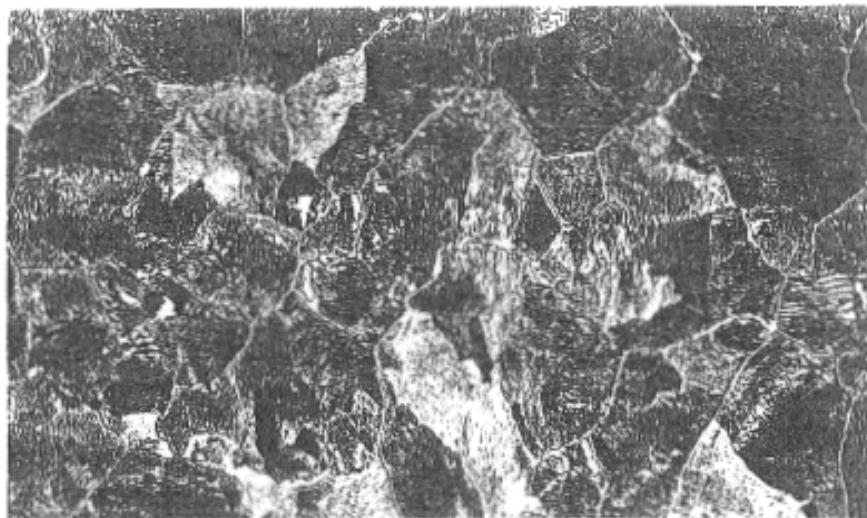
*Ferit in vključki žindre (povečava: 150 x)*



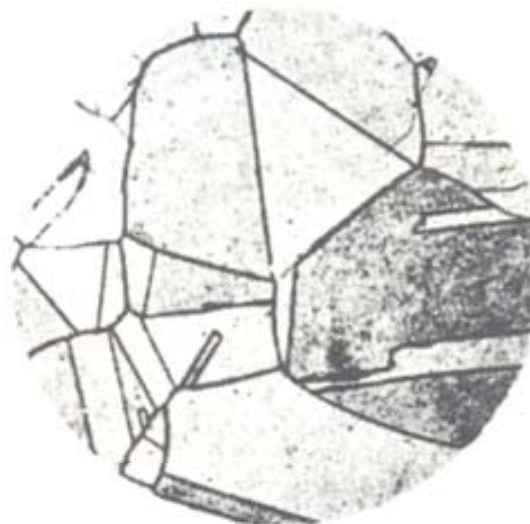
*150-krat povečano*

**feritna struktura**

- ▶ Za toplotno obdelavo sta pomembni dve temperaturi:
- ▶ A1- spodnja premenska temperatura, 723 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

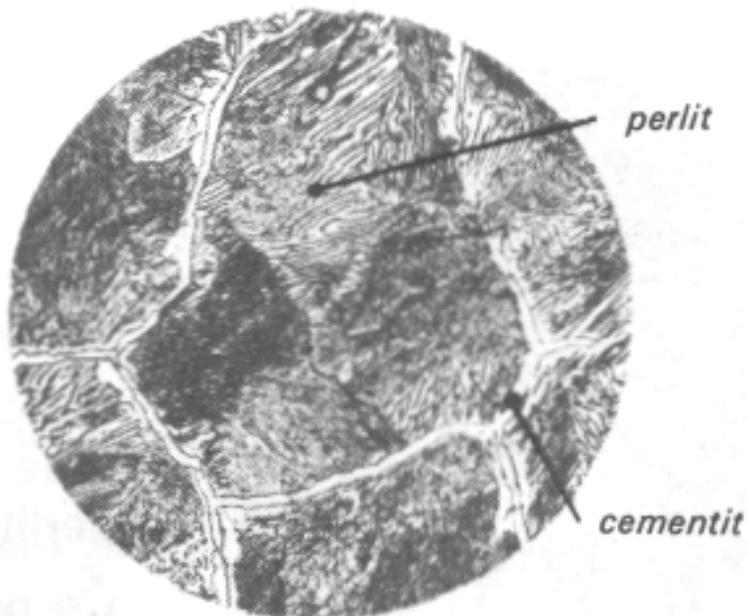


*Nadevtektoidno jeklo (povečava: 150 x)*



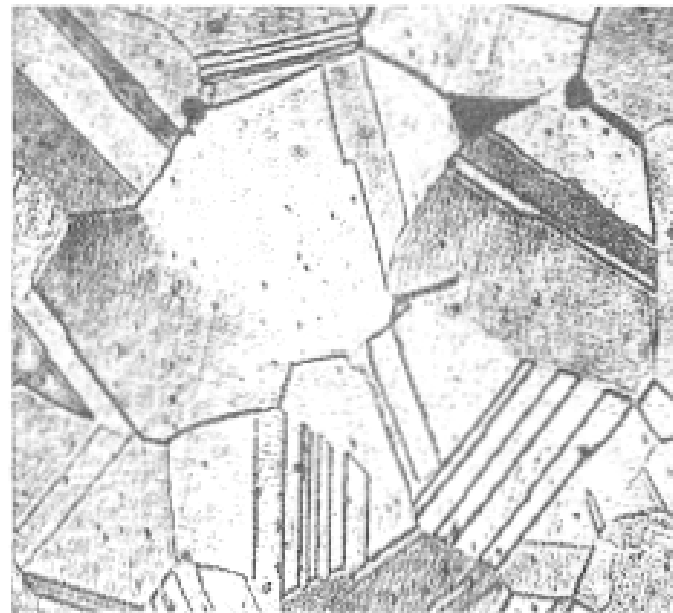
*800-krat povečano*

**avstenit**

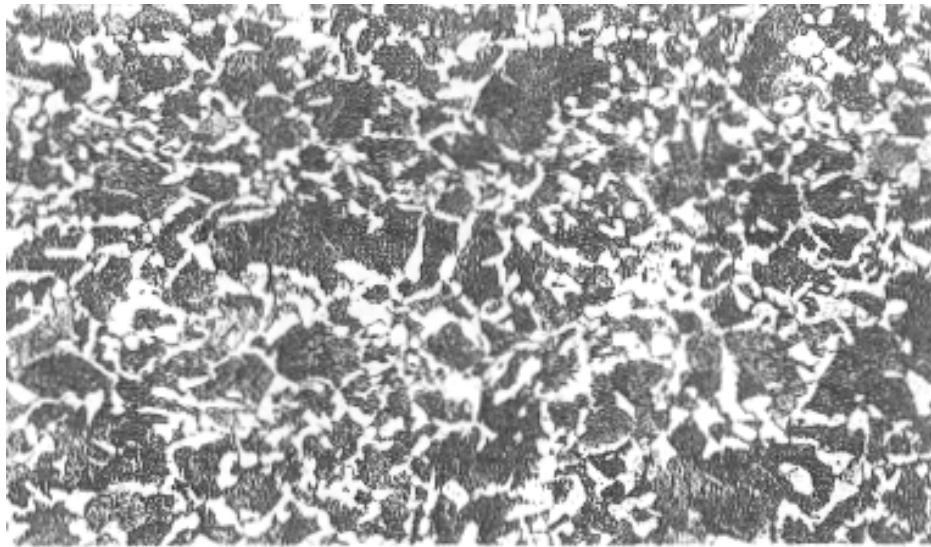


*400-krat povečano*

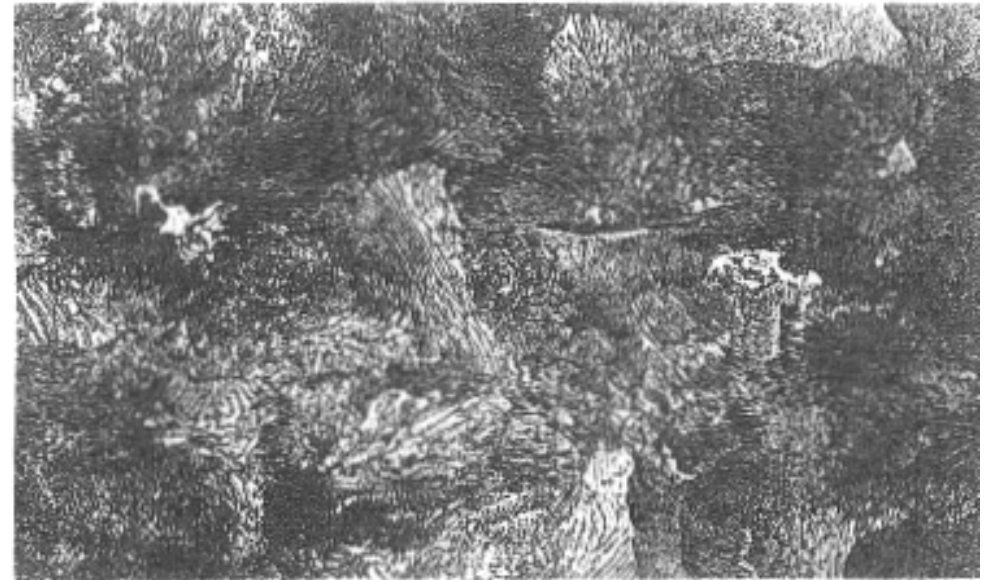
**perlitno-cementitna struktura**



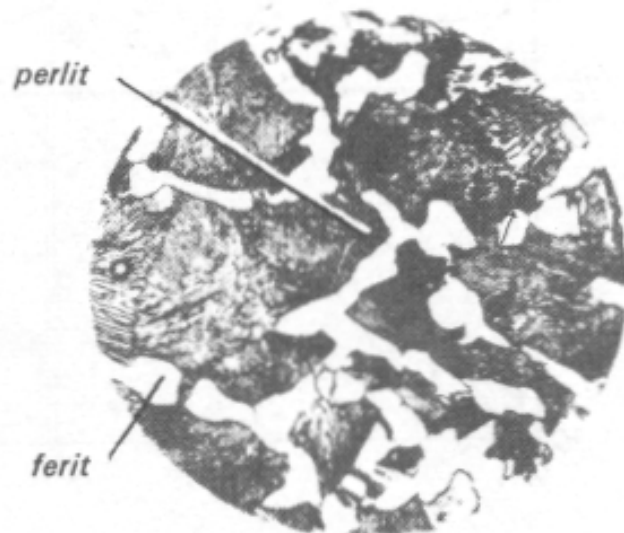
*Avstenit (povečava: 200 x)*



*Podvtektoidno jeklo (povečava: 150 x)*

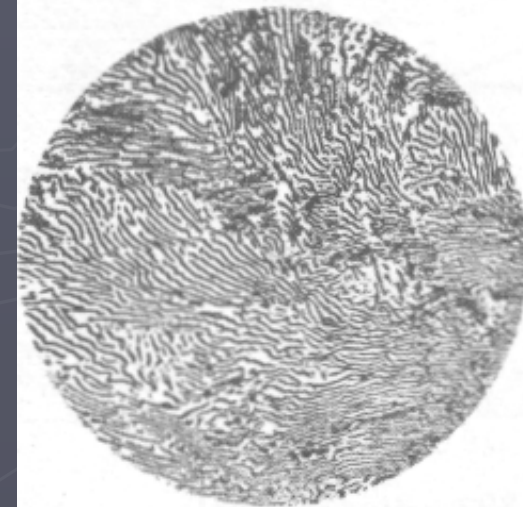


*Evtektoidno jeklo (povečava: 600 x)*



*400-krat povečano*

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

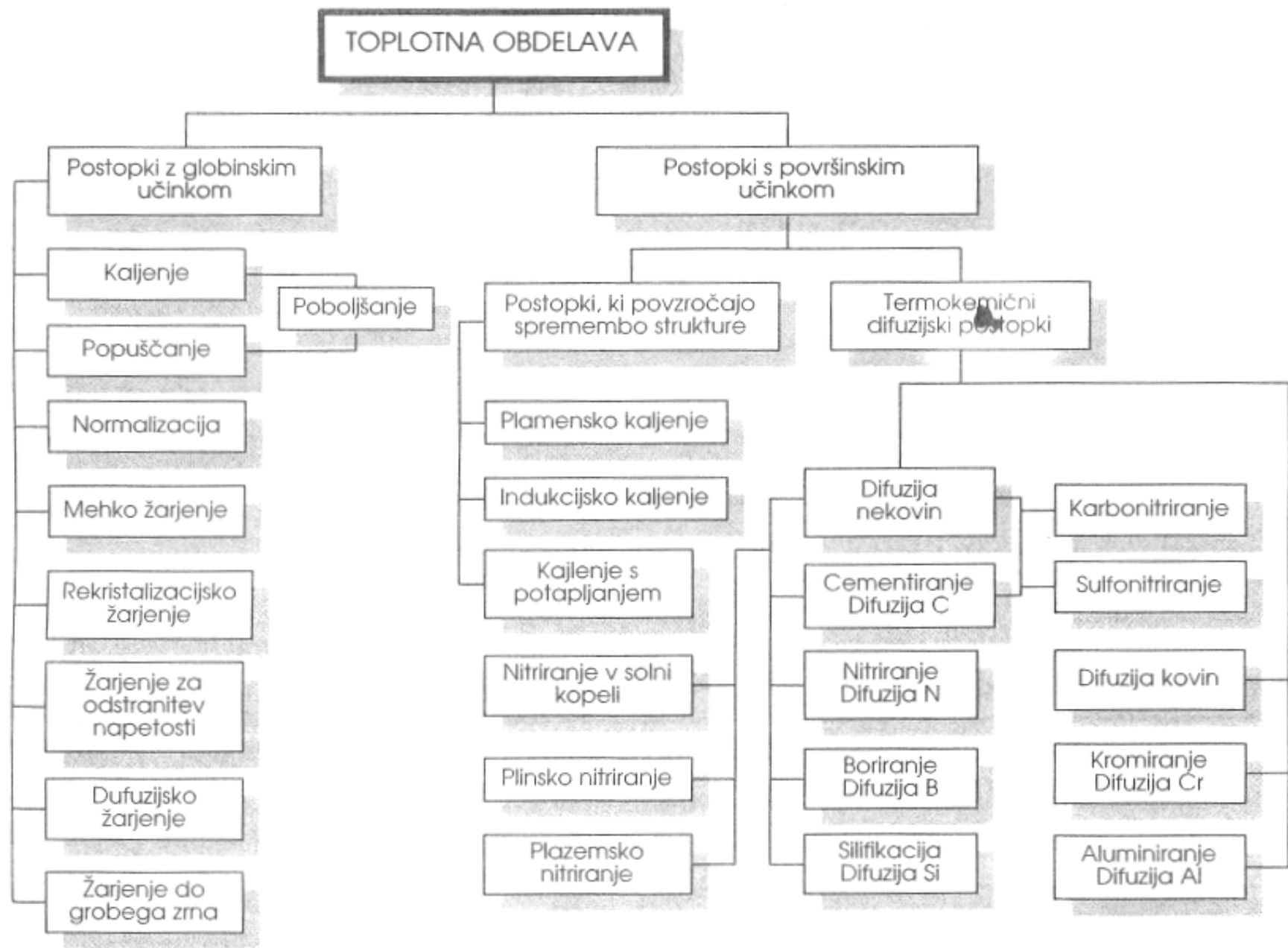


*400-krat povečano*

**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)

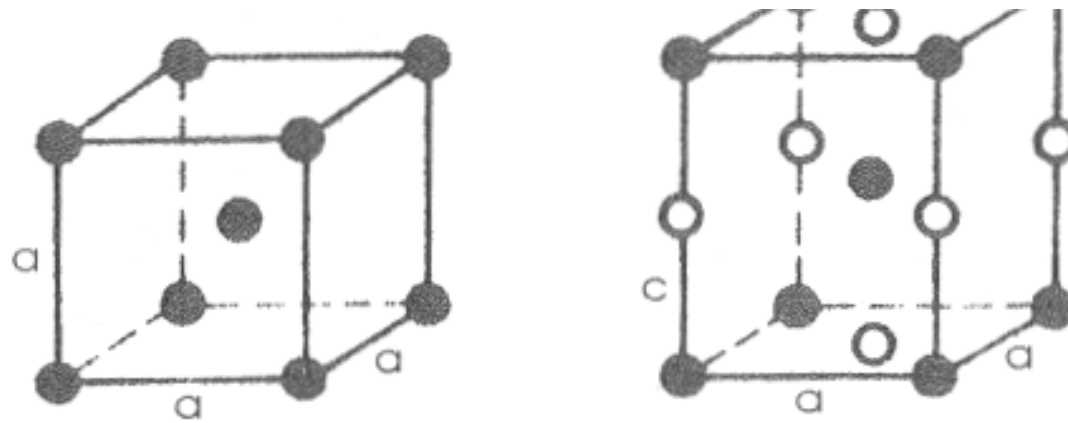




*Shematsko prikazana razčlenitev postopkov toplotne obdelave, ki se v praksi bolj ali manj pogosto uporabljajo.*

## 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

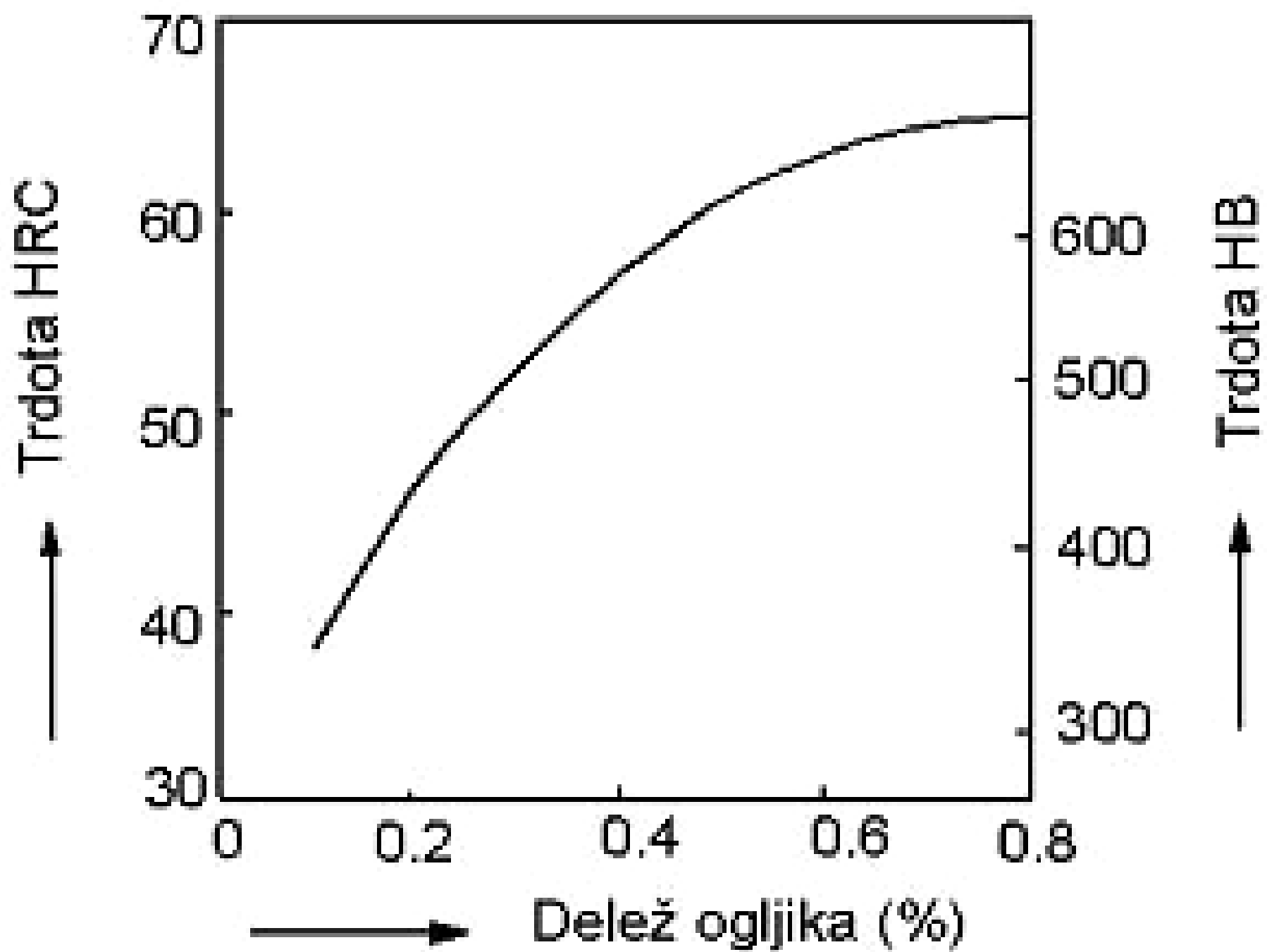
- ▶ Posledica hitrega ohlajanja je podhlajeni avstenit pod točko Ar1
- ▶ Težnja po pretvorbi iz ploskovno centrirane rešetke v prostorsko je velika
- ▶ Na vmesnih prostorih je pretesno- rešetka se razpotegne v tetragonalno
- ▶ Nad točko Ac3 se ne smemo dolgo zadrževati
- ▶ S podhladitvijo se izločajo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

# Legiranje

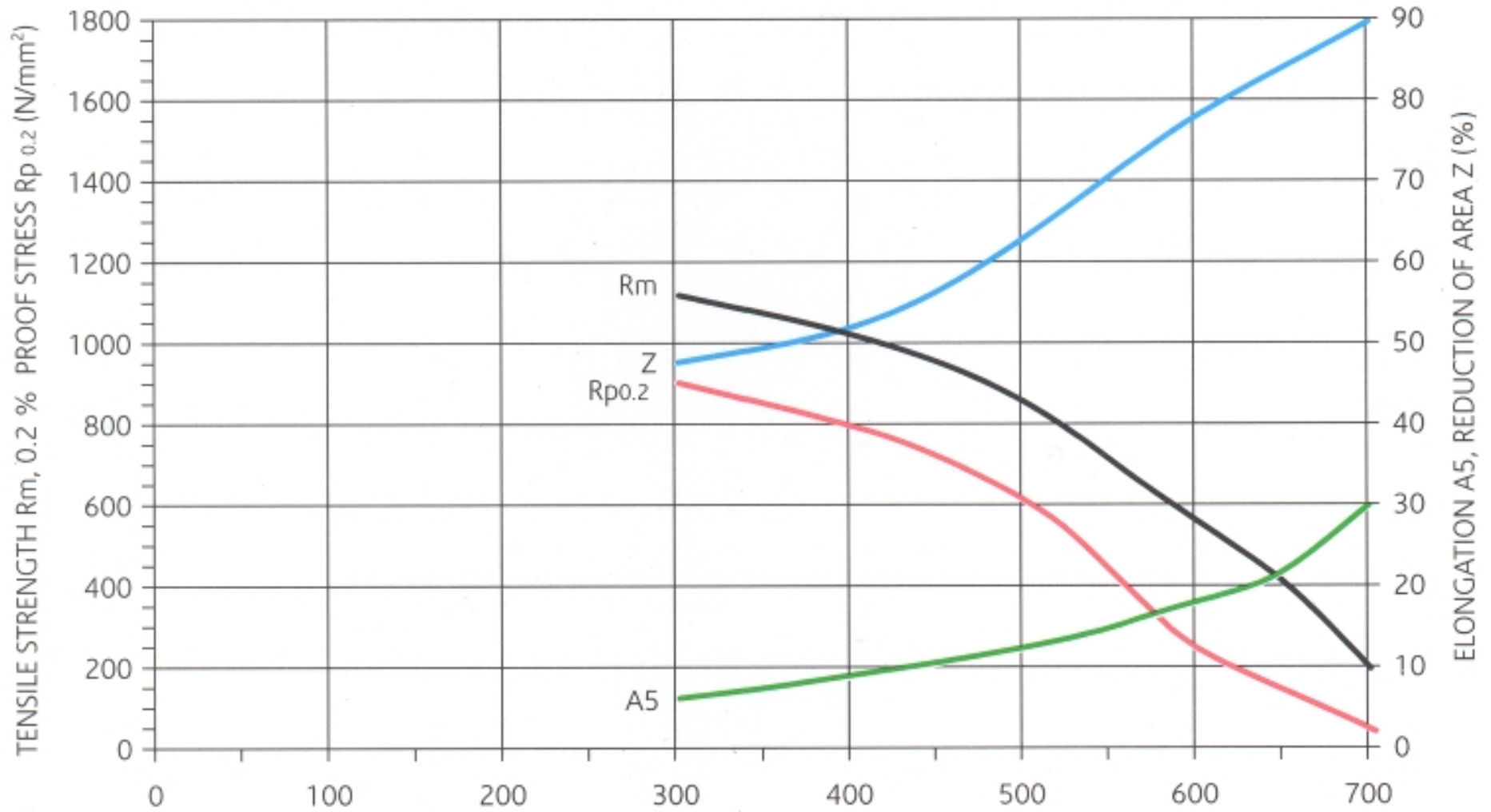
- ▶ Legirni elementi- za doseganje različnih želenih lastnosti jekla
- ▶ Elementi, ki širijo avstenitno področje: C, Cu, N, Ni, Mn, Co
- ▶ Elementi, ki ožijo avstenitno področje: Cr, W, V, Ti, Si, Al
- ▶ Avstenitna in feritna jekla niso kaljiva
- ▶ Legirni elementi zadržujejo izločanje ogljika iz avstenitne 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>



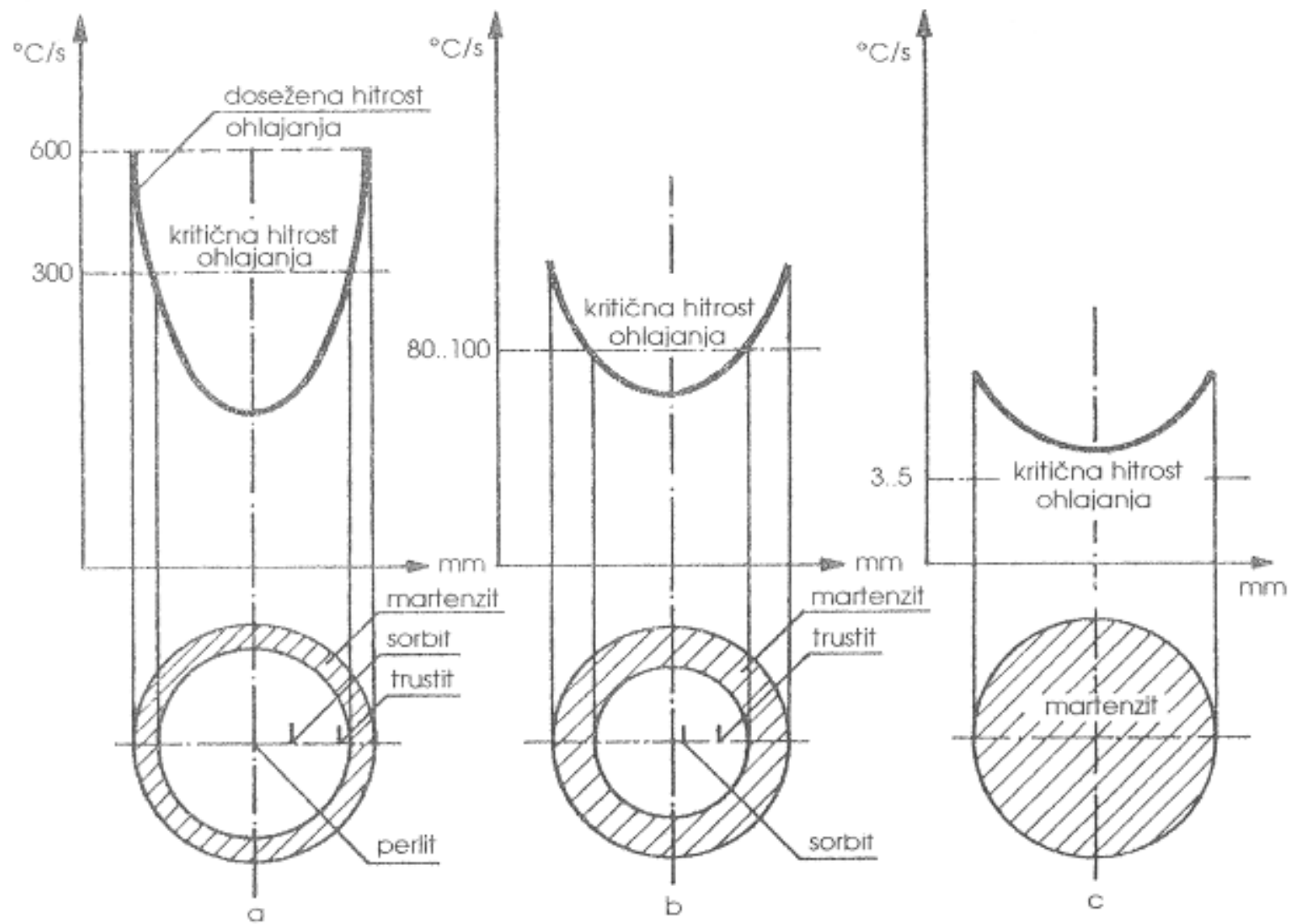


- ▶ Segrevanje se vrši v elektropečeh, plinskih pečeh ali solnih kopelih, vakuumu
- ▶ Segrevanje nad črto G-S-K

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

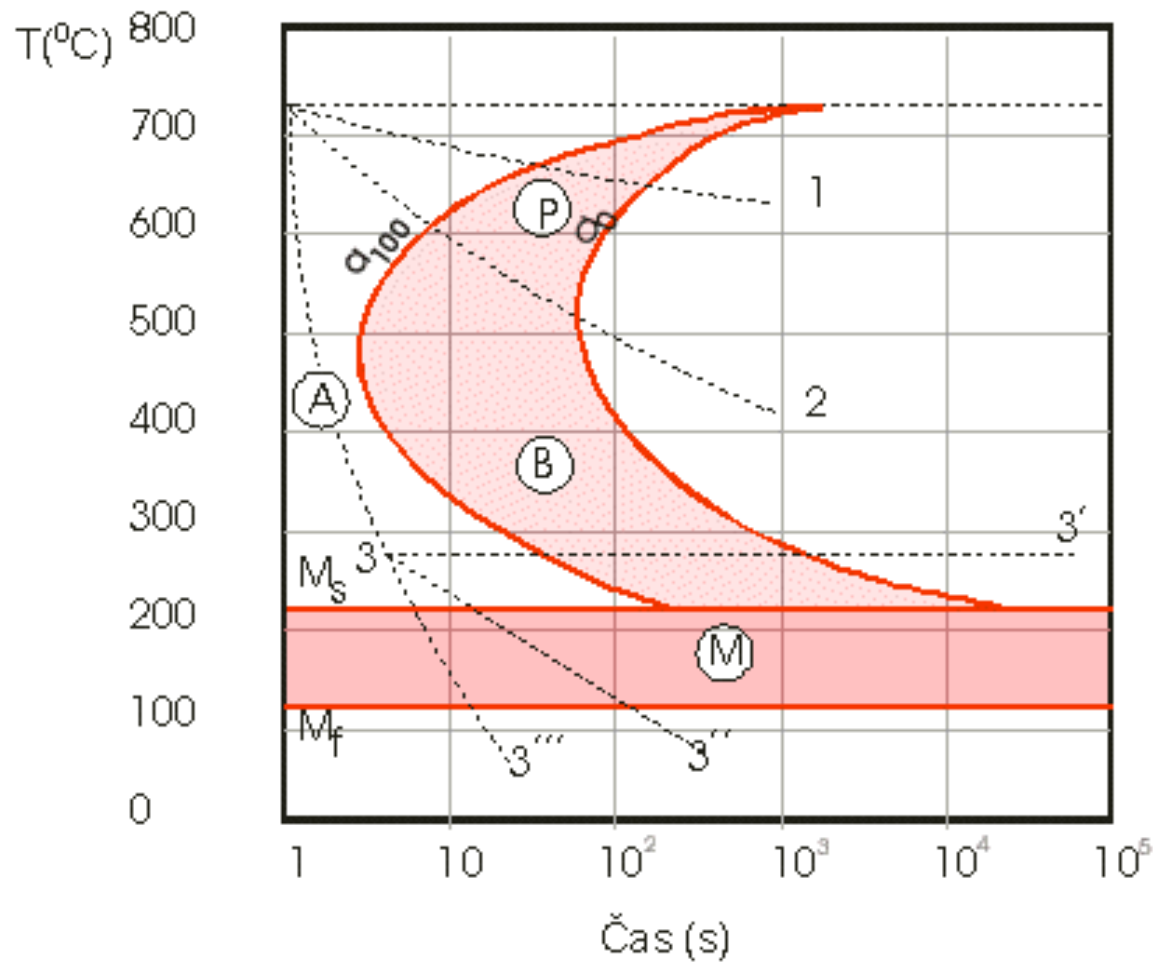
c - močno legirana jekla  
hlajena na zraku

*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 niso prekaljiva

# Bainov diagram TTT:



Pomen označb:

T – temperatura

T – transformacija

T – čas

$a_{100}$  – začetek transformacije avstenita

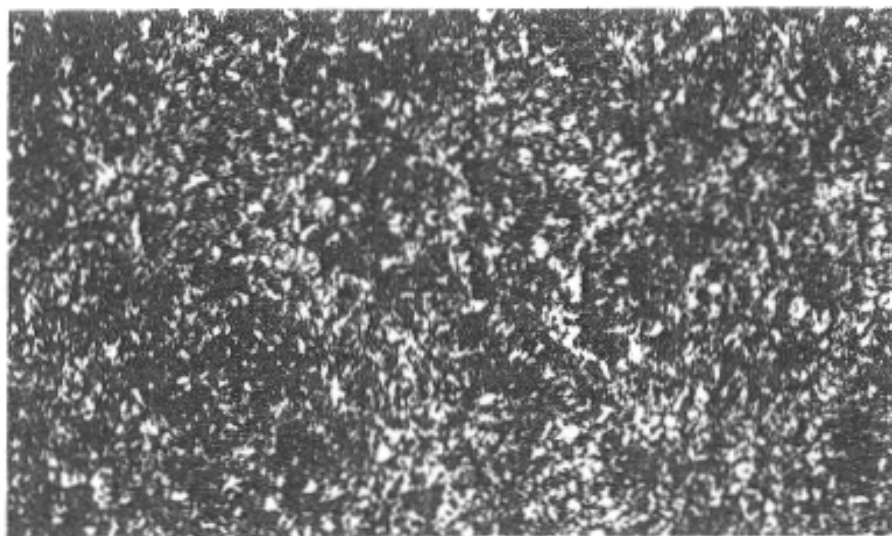
$a_0$  – konec transformacije avstenita

A – avstenitno področje

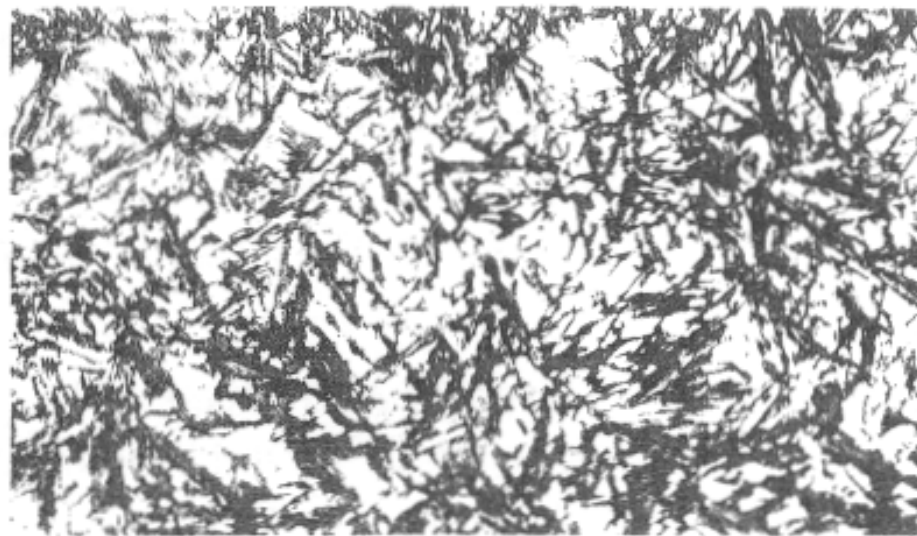
$M_s$  – začetek nastajanja martenzita

$M_f$  – 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)*

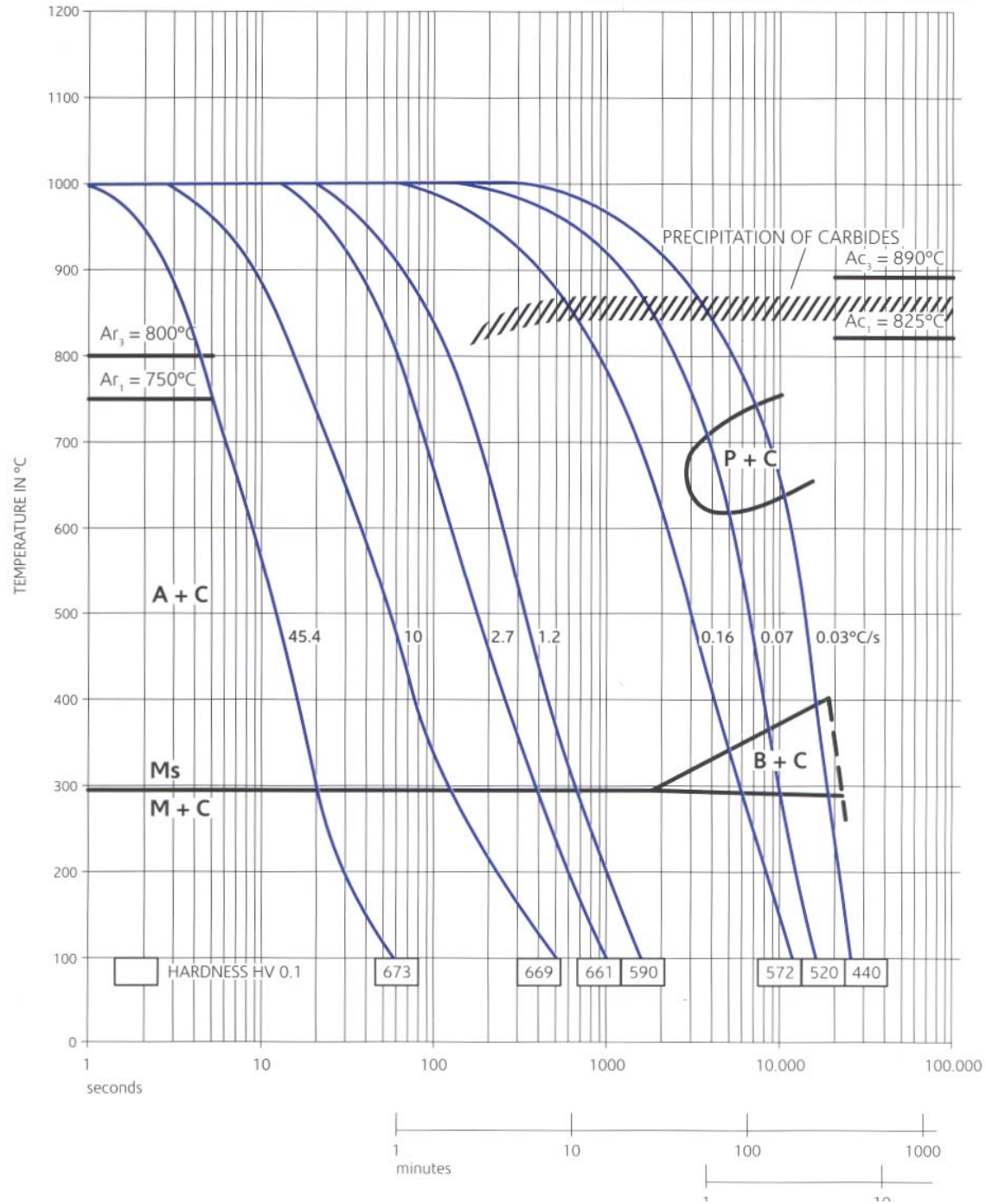


*Trustit v martenzitu (povečava: 650 x)*



*Bainit (povečava: 1500 x)*

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, razogličena 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

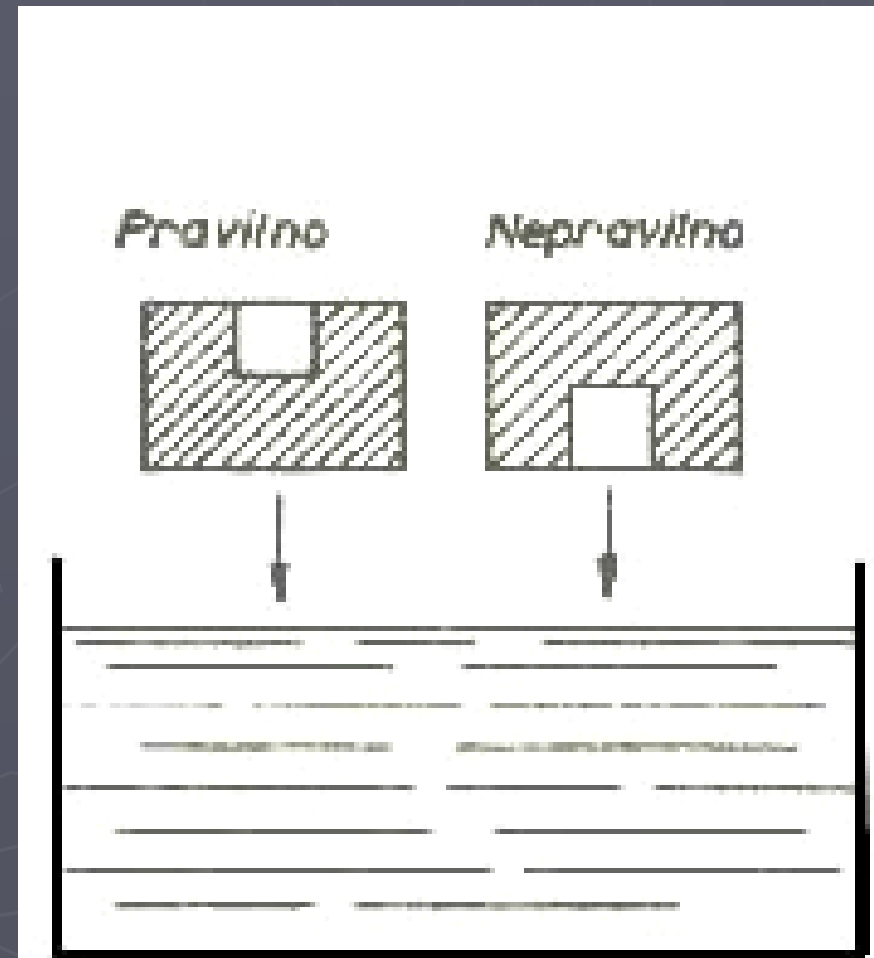
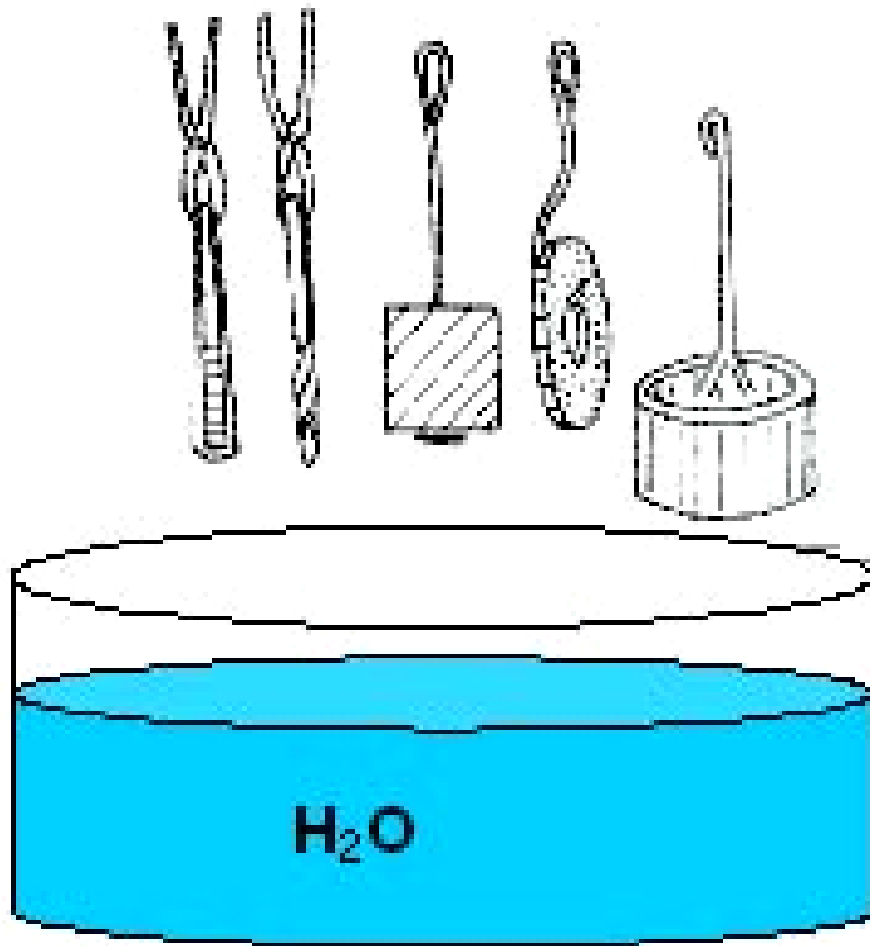
Olja



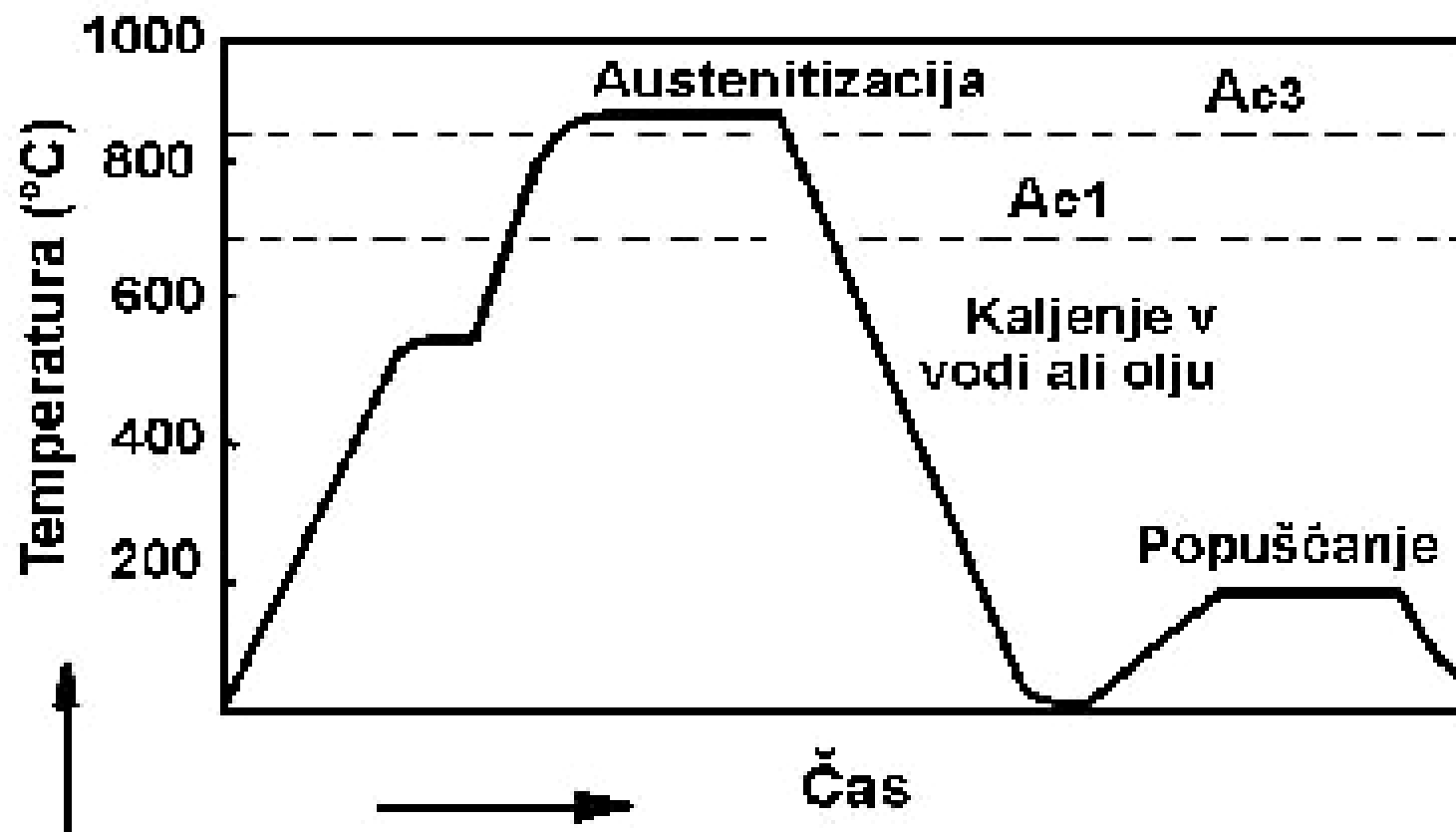
## Vrste kaljenja:

### 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:

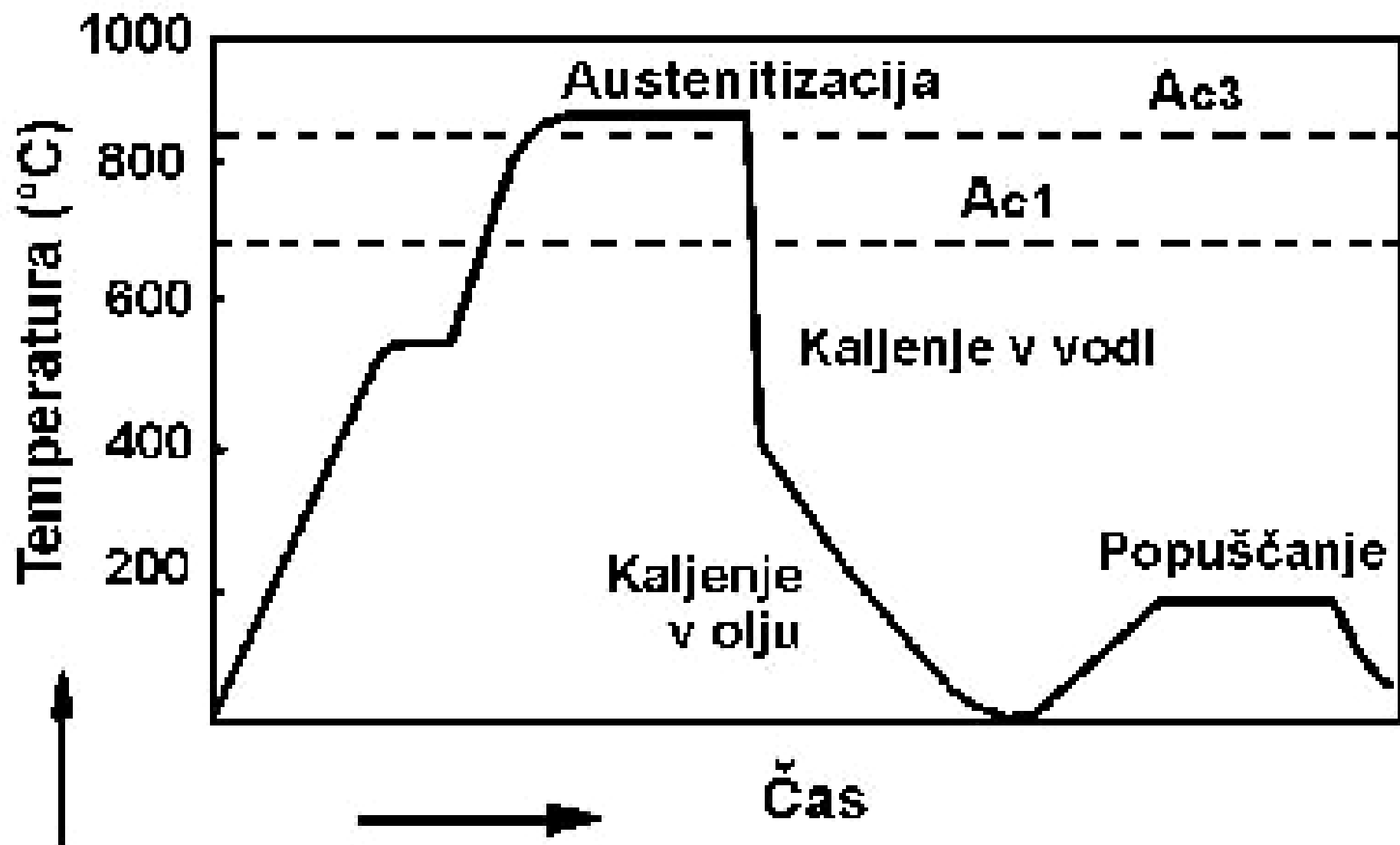


- Iz spodnje slike je viden diagram segrevanja, zadrževanja, ohlajanja in popuščanja za jeklo, ki je kaljeno po navadnem postopku, torej v enem kalilnem sredstvu.



## 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**

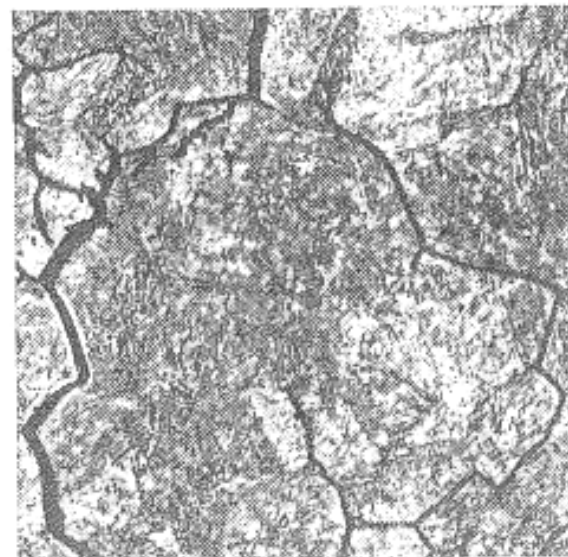
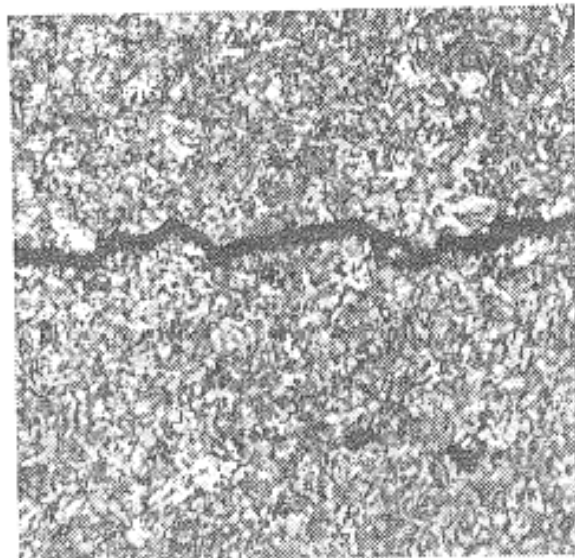
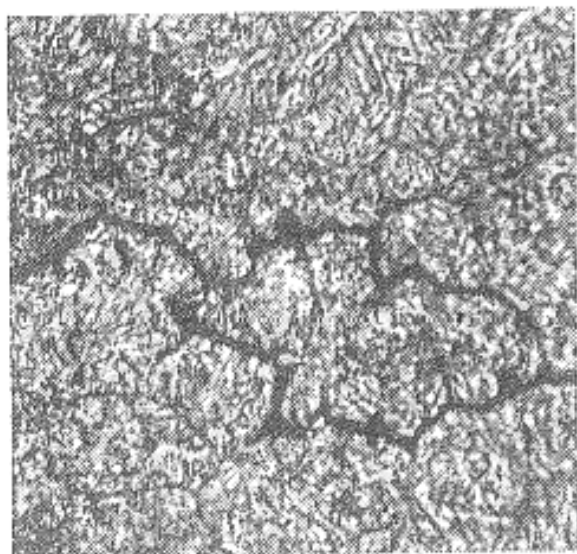
**Orodje za izdelavo tablet**

**Ekstruzija cevi, palic:  
Al-, Cu-, Zn-zlitin**

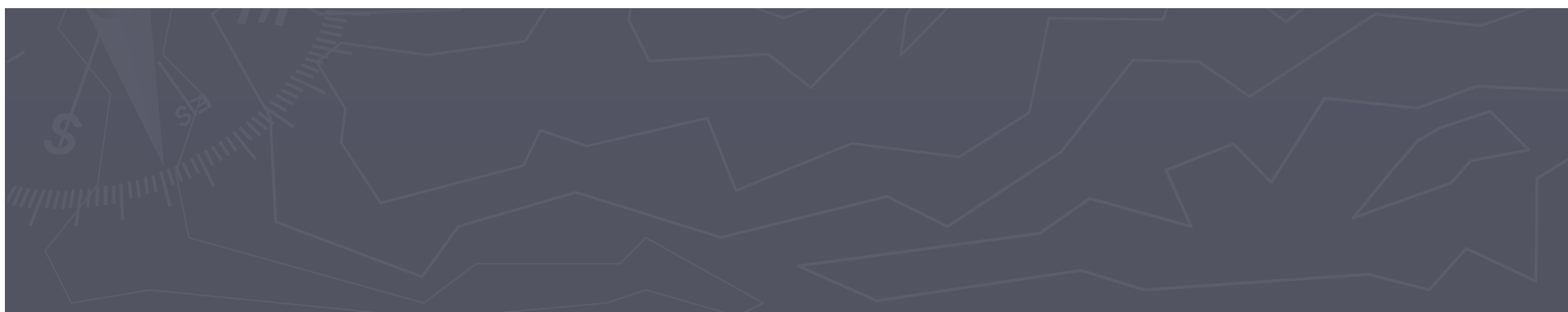
**Orodja za tlačno litje:  
Al- in Cu-zlitin**

## 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
- ▶ Razogličenje; 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 normalizacijsko žarjenje
- ▶ Prežgan material- oksidacija prodre v globino materiala



*Razpoke po kaljenju*





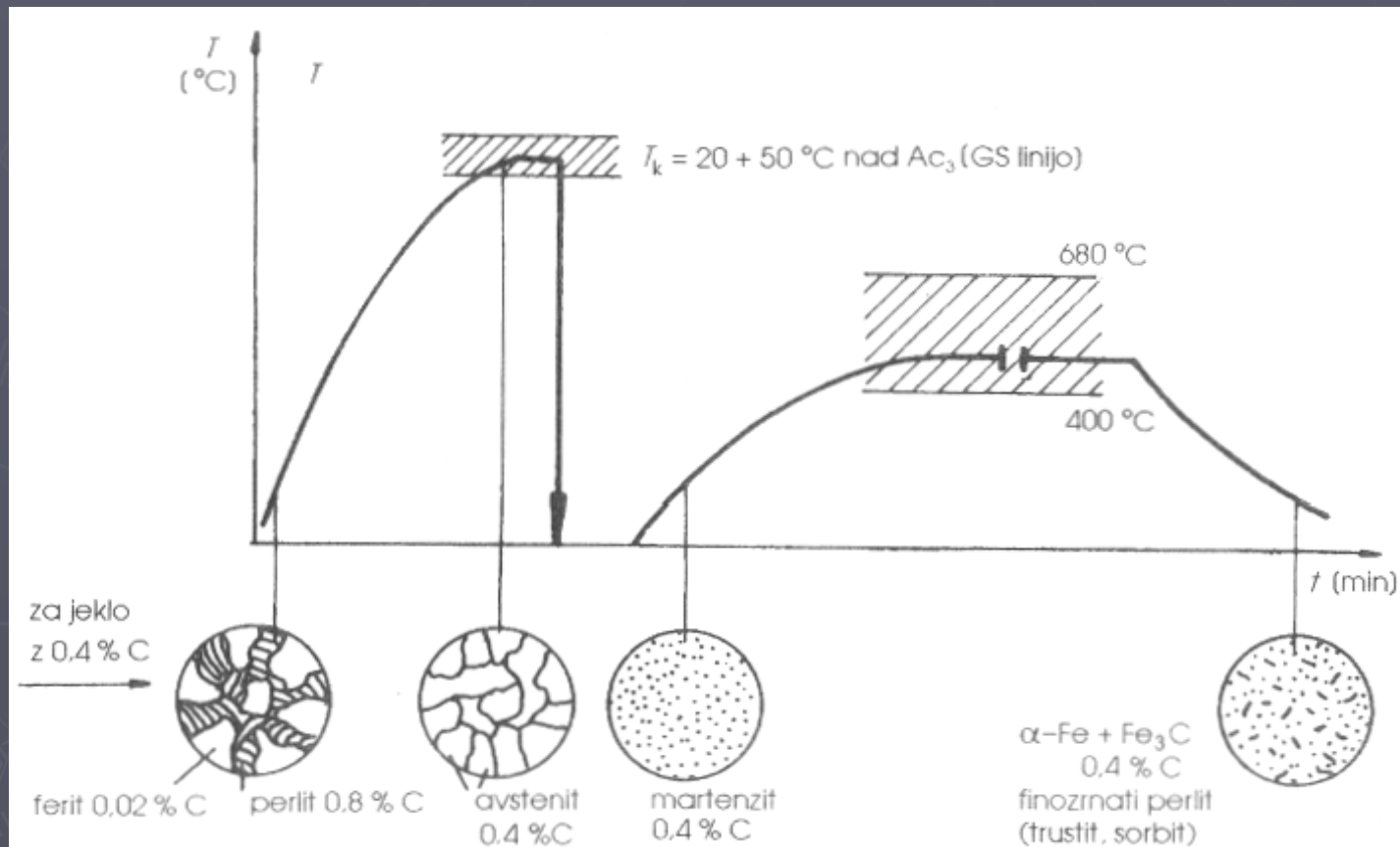
## Poboljšanje:

- ▶ 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

## Popuščanje

- ▶ 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 popuščanju je pomembna temperatura in čas držanja na temperaturi



*T-t diagram popuščanja jekel*

## 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



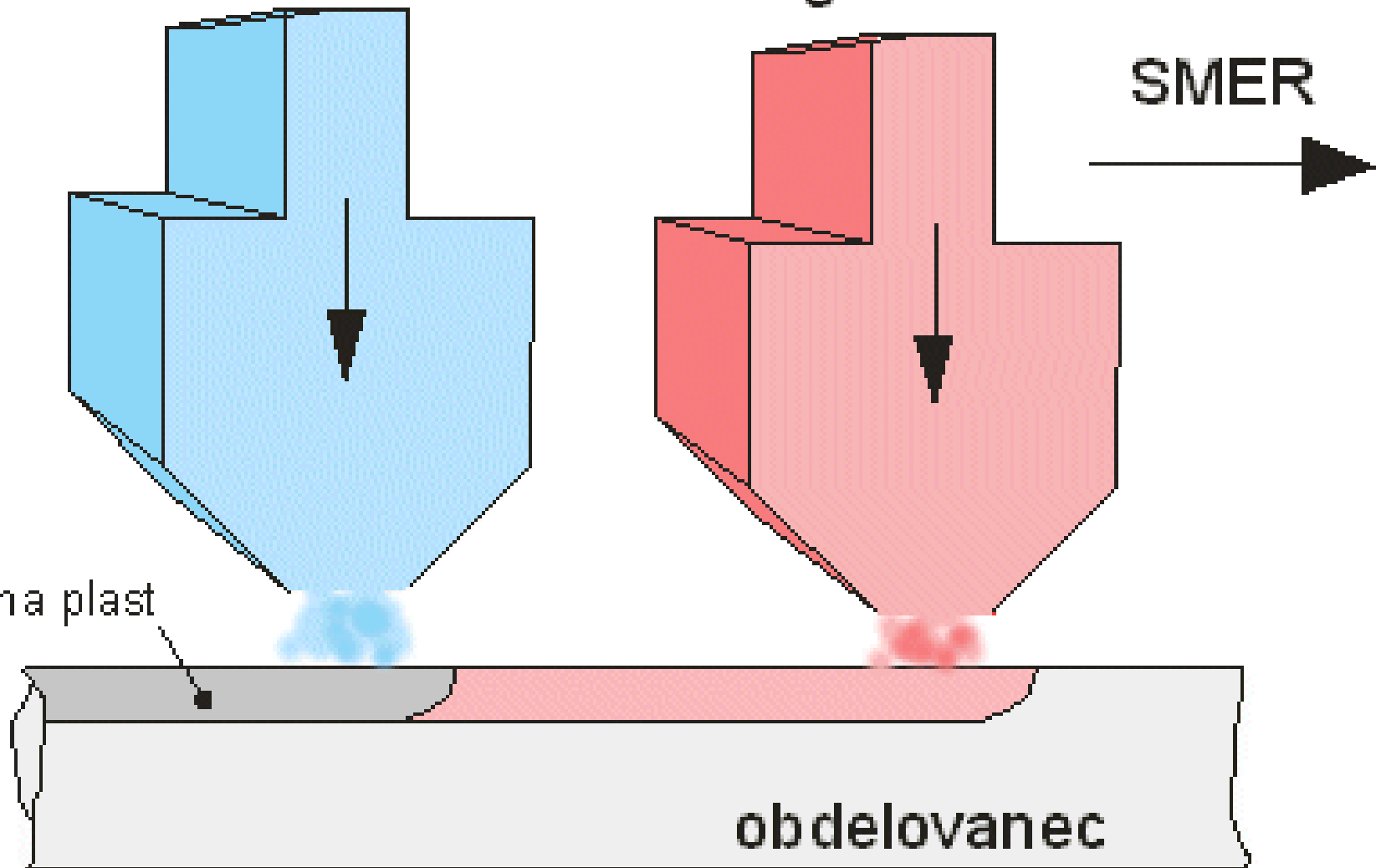
vodna prha

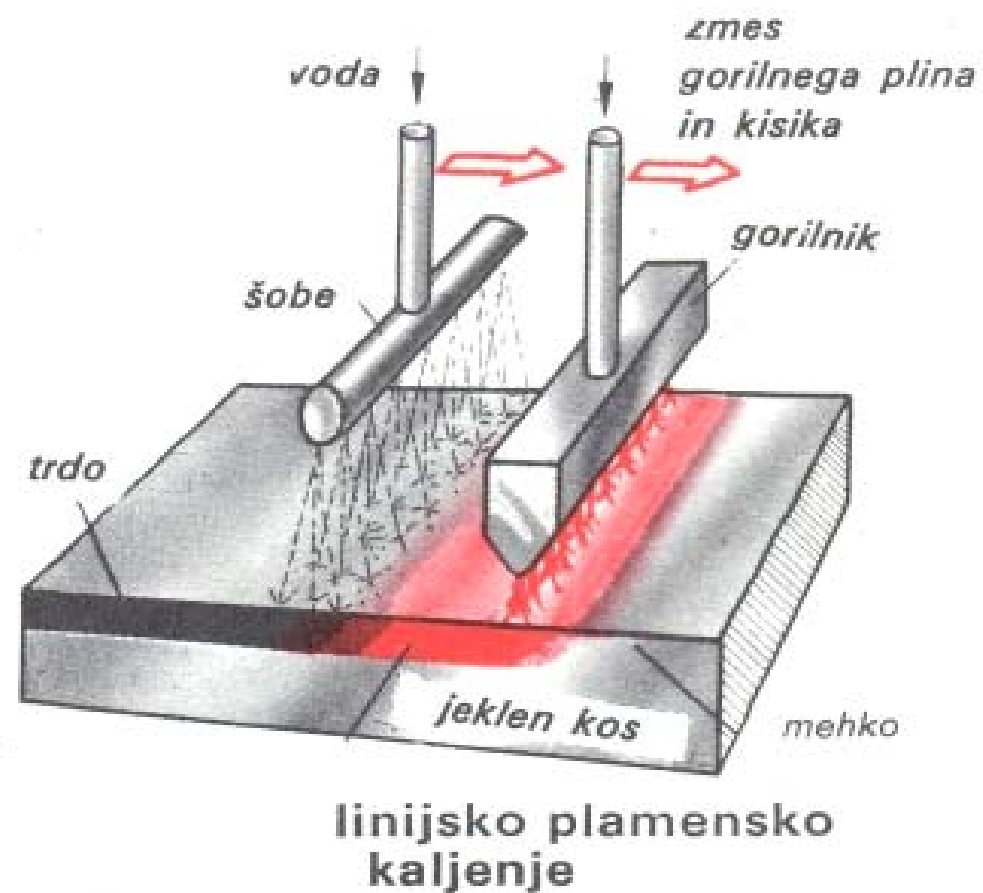
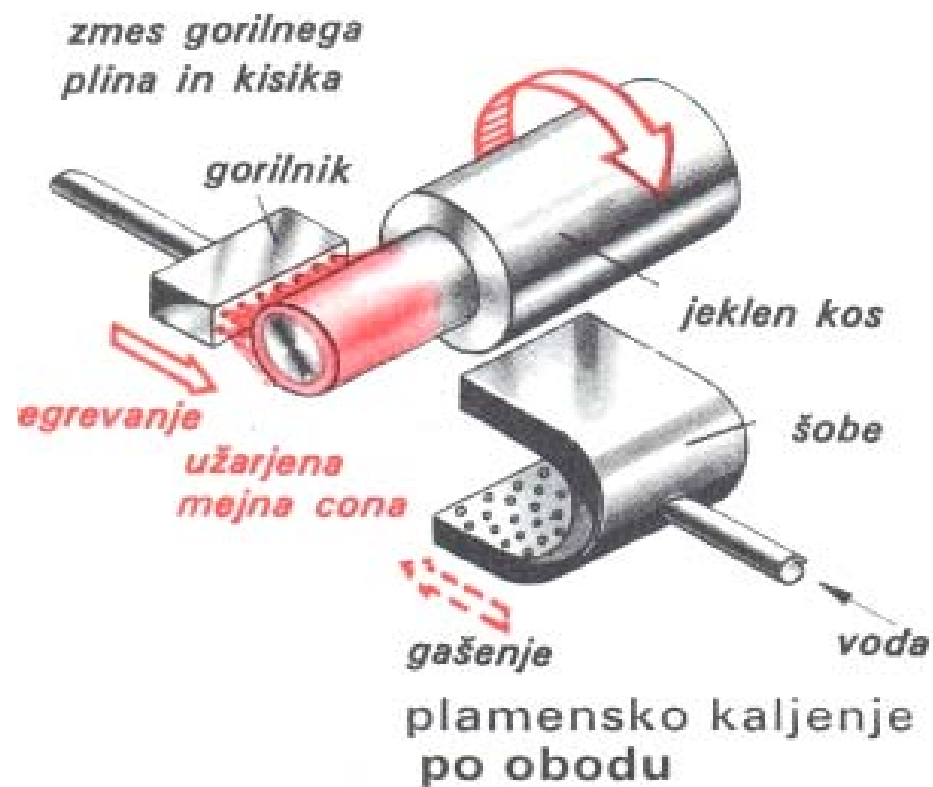
gorilnik

SMER

zakaljena plast

obdelovanec

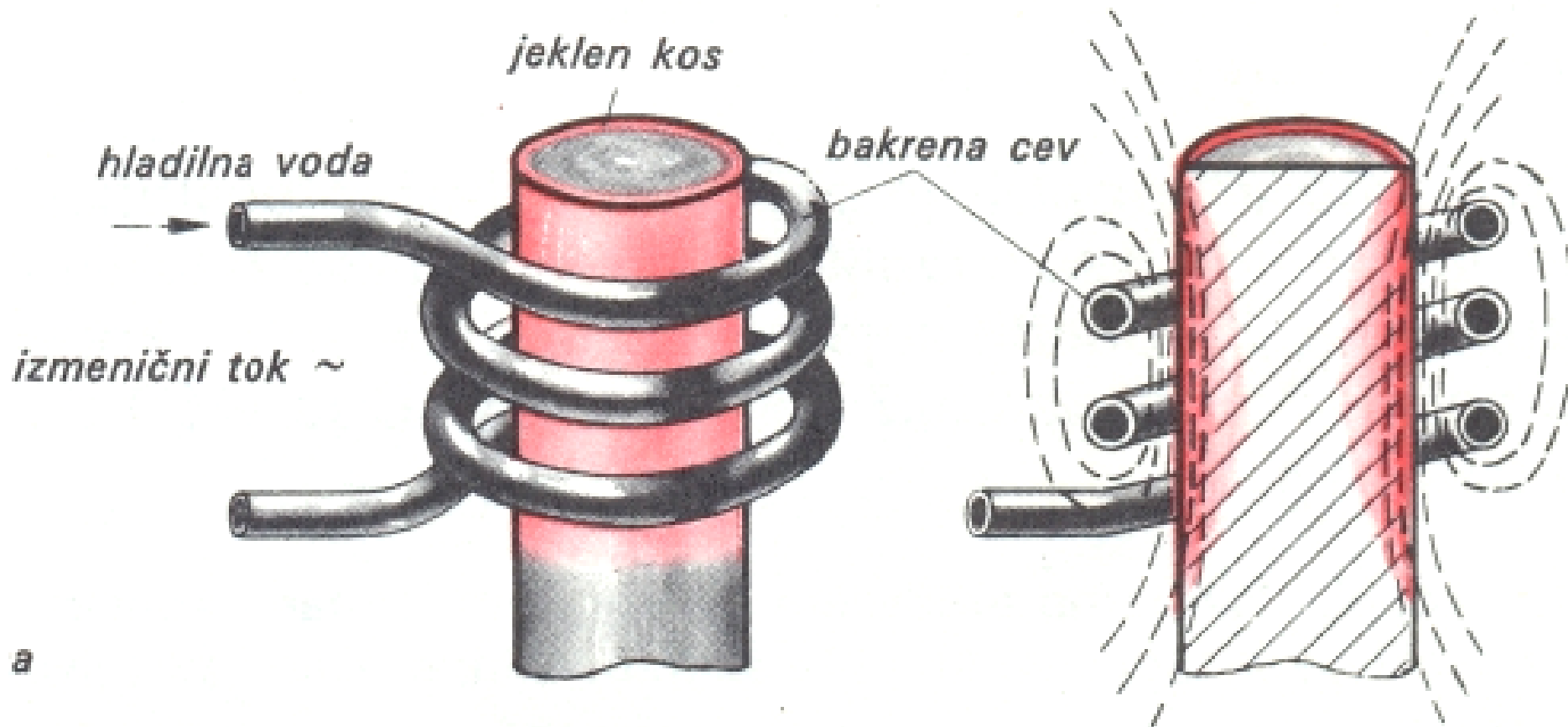




## Indukcijsko kaljenje:

- ▶ 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





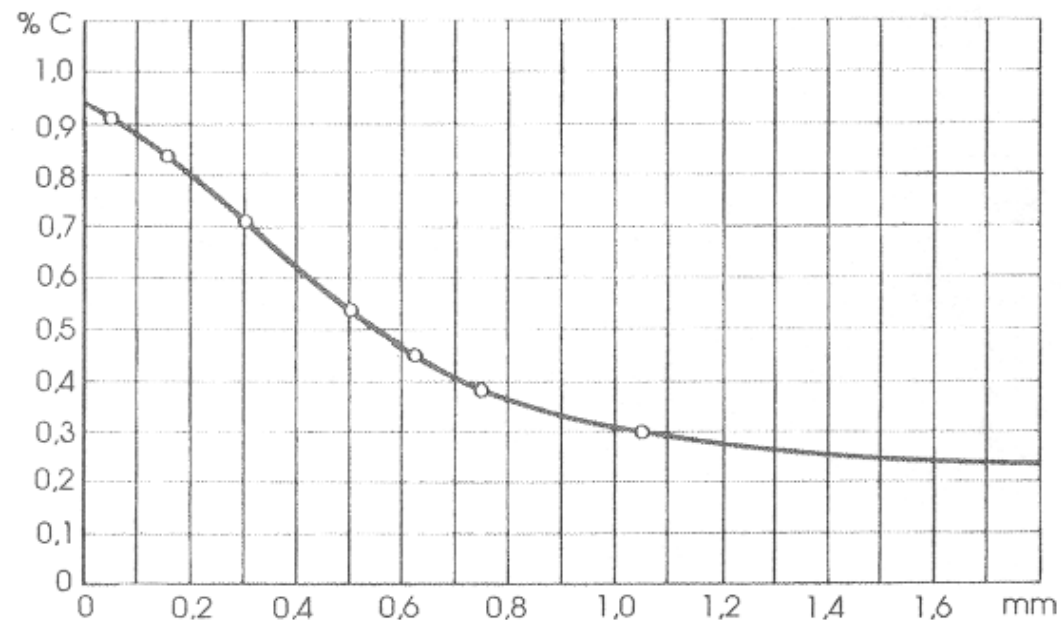
a

**induktivno segrevanje**



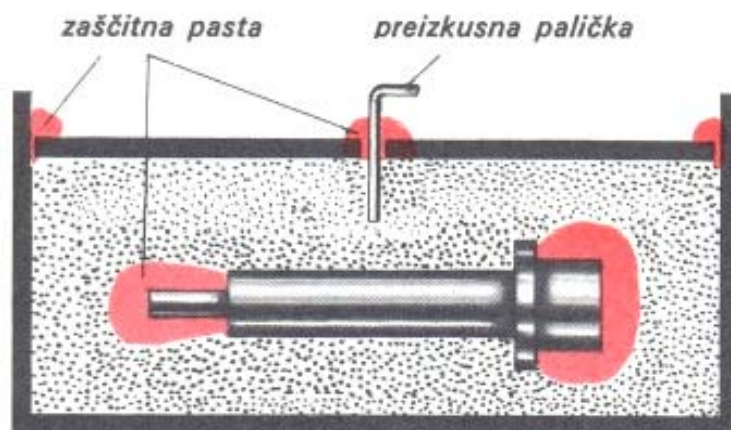
## Cementiranje:

- ▶ Obogatenje površine z ogljikom ali ogličenje materiala
- ▶ Ogličimo 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

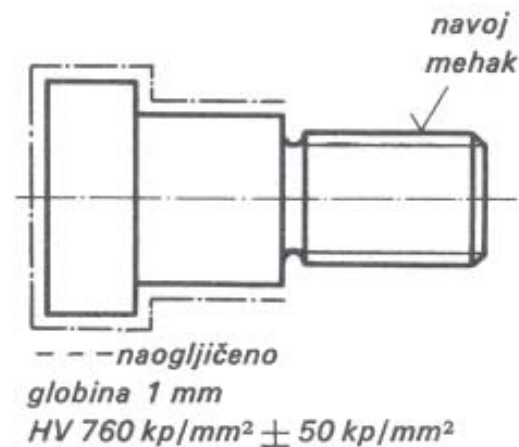


*Diagram vpliva % ogljika na debelino cementiranega sloja*

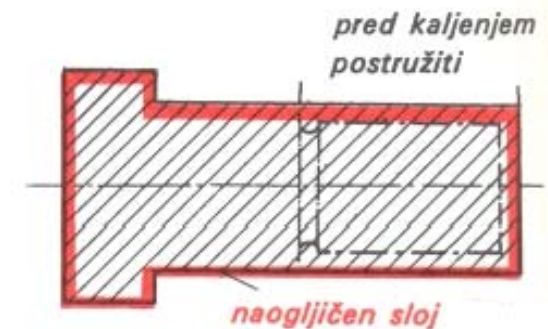
- ▶ Proces je potrebno krmiliti tako, da dobi robna plast evtektoidno sestavo- 0.8 %C
- ▶ Več ogljika povzroča izločanje  $Fe_3C$ , material postane krhek
- ▶ Po ogličanju obdelovance kalimo



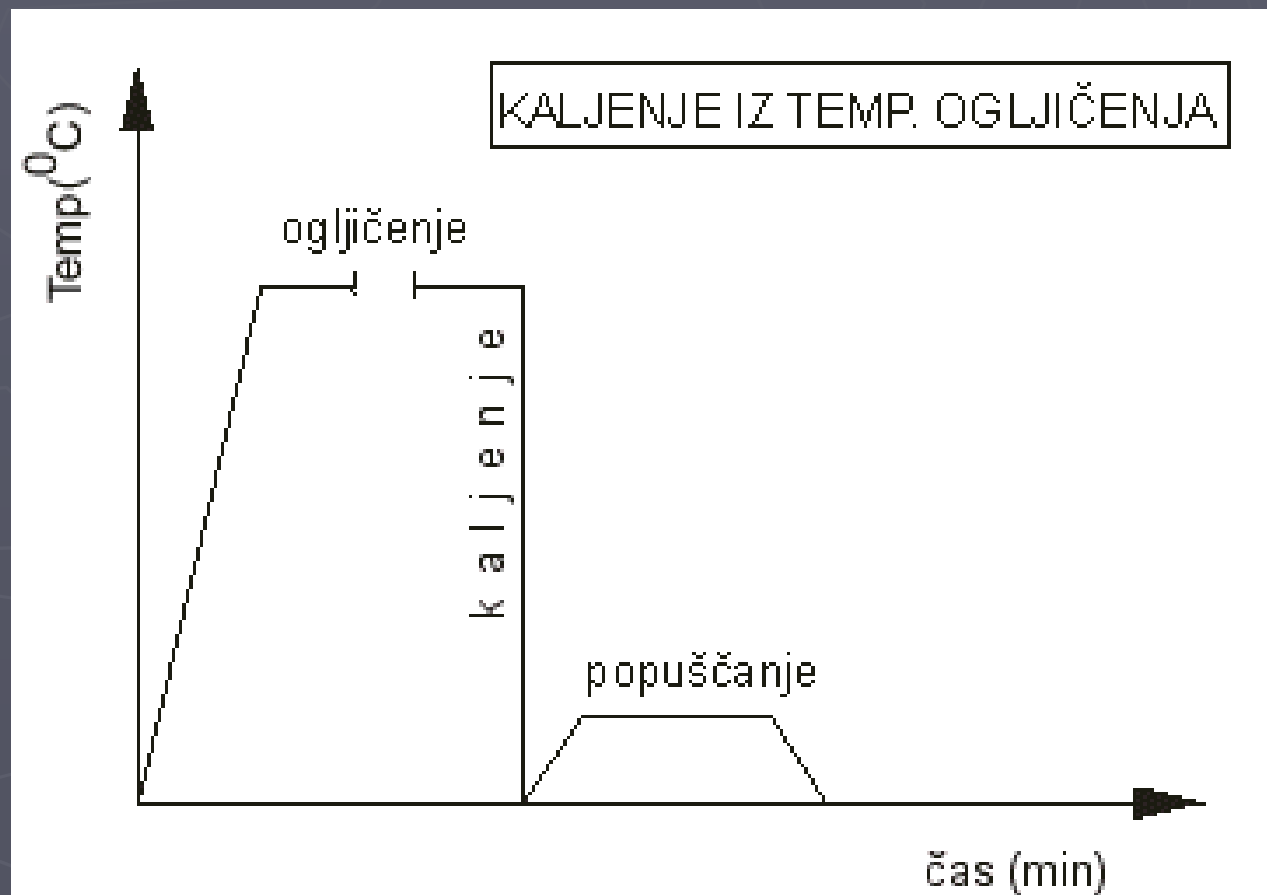
zaščita proti naogličanju



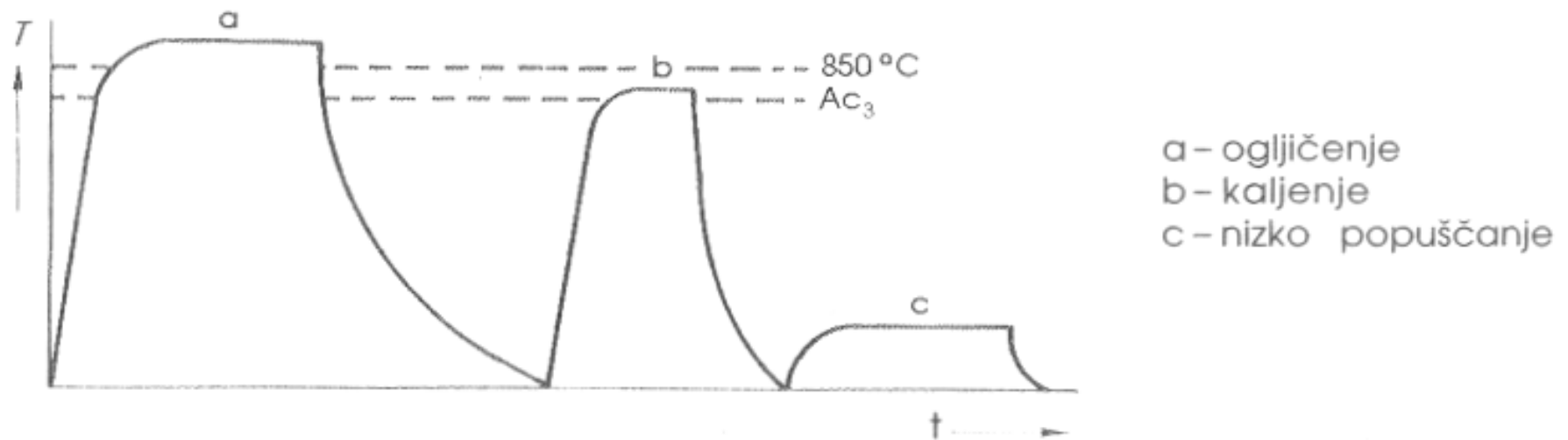
primer, ko kos po naogličanju obdelamo



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



## b) Toplotna obdelava po ogljičenju z enojnim kaljenjem



- ▶ Ponovno segrevanje; upoštevati %C, gašenje v vodi
- ▶ Površina fino-zrnati martenzit, jedro grobozrnati ferit- perlit

# Načini ogličjenja:

## Plinsko ogličjenje:

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



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

## Ogličenje 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 ogličjenja
- ▶ Slabost je v tem, ker so soli oporečne za okolje

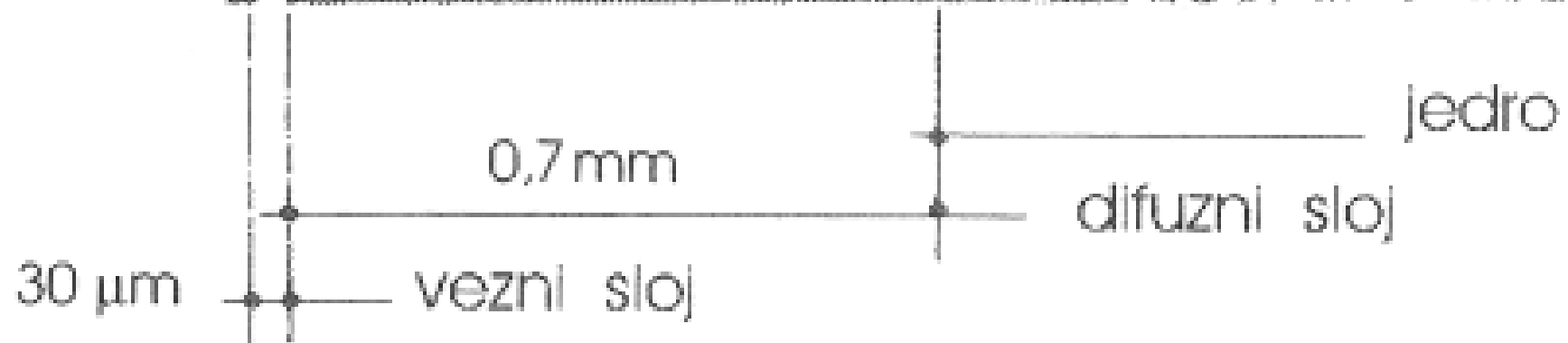
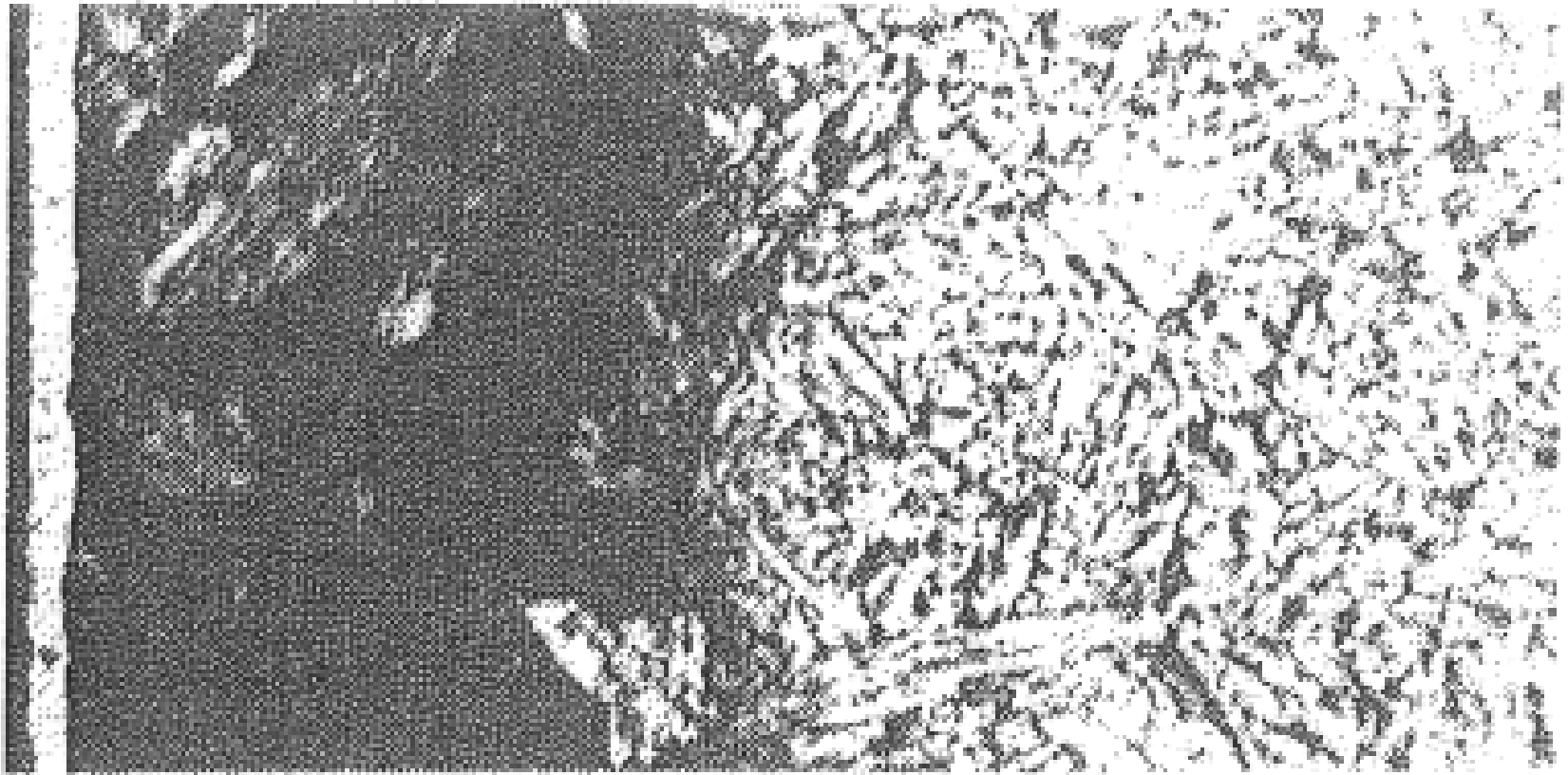
## Ogličenje s praškom ali granulatom

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

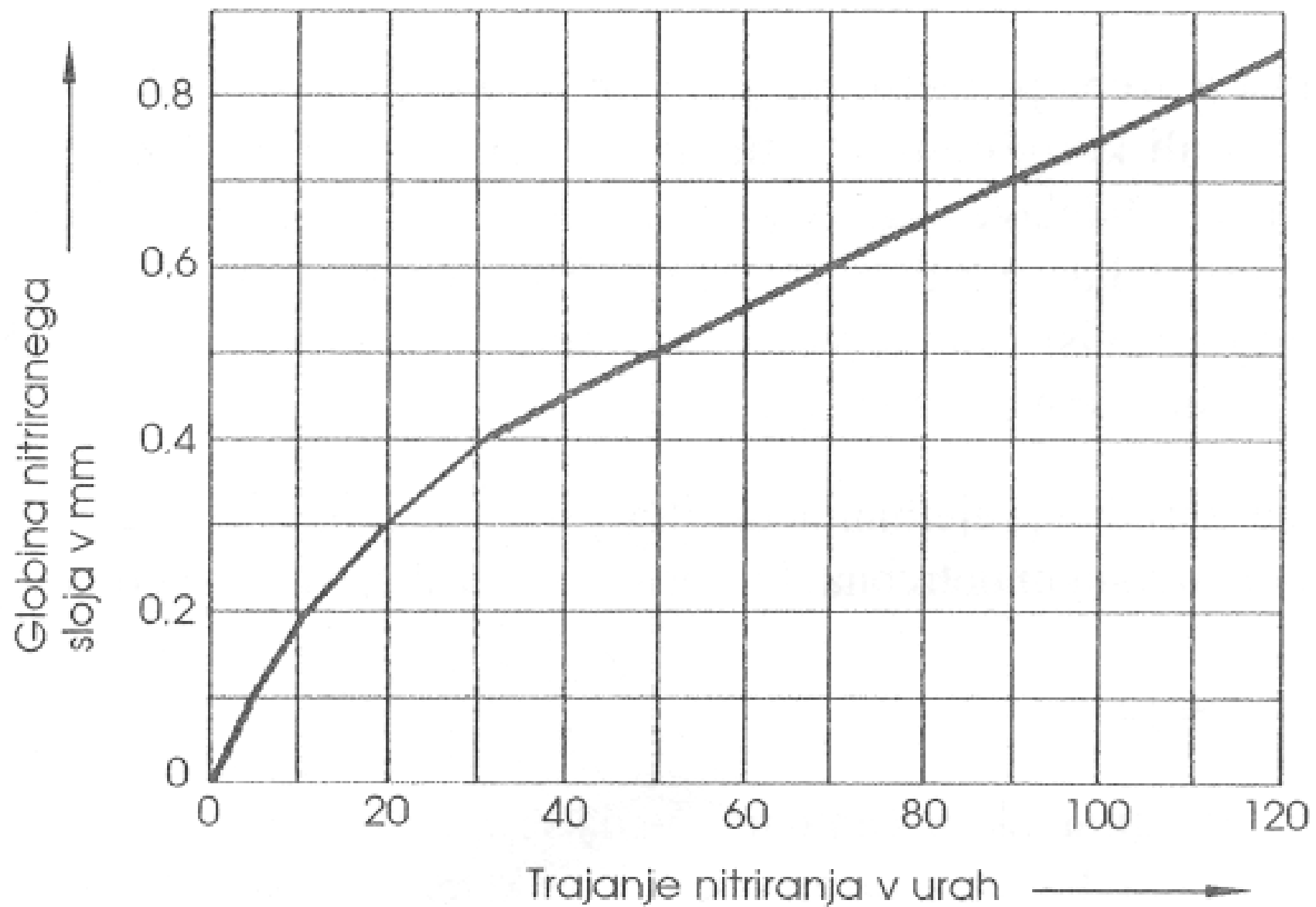


# Nitriranje:

- ▶ Je zelo razširjen postopek
- ▶ Bogatenje 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 μm; druga plast je difuzni sloj debel 0.7 mm



*Nitirana plast*



*Odvisnost rasti nitriranega sloja*

- ▶ Obrabna obstojnost, dobre torne lastnosti, manjša nevarnost korozije
- ▶ Obstoja 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:

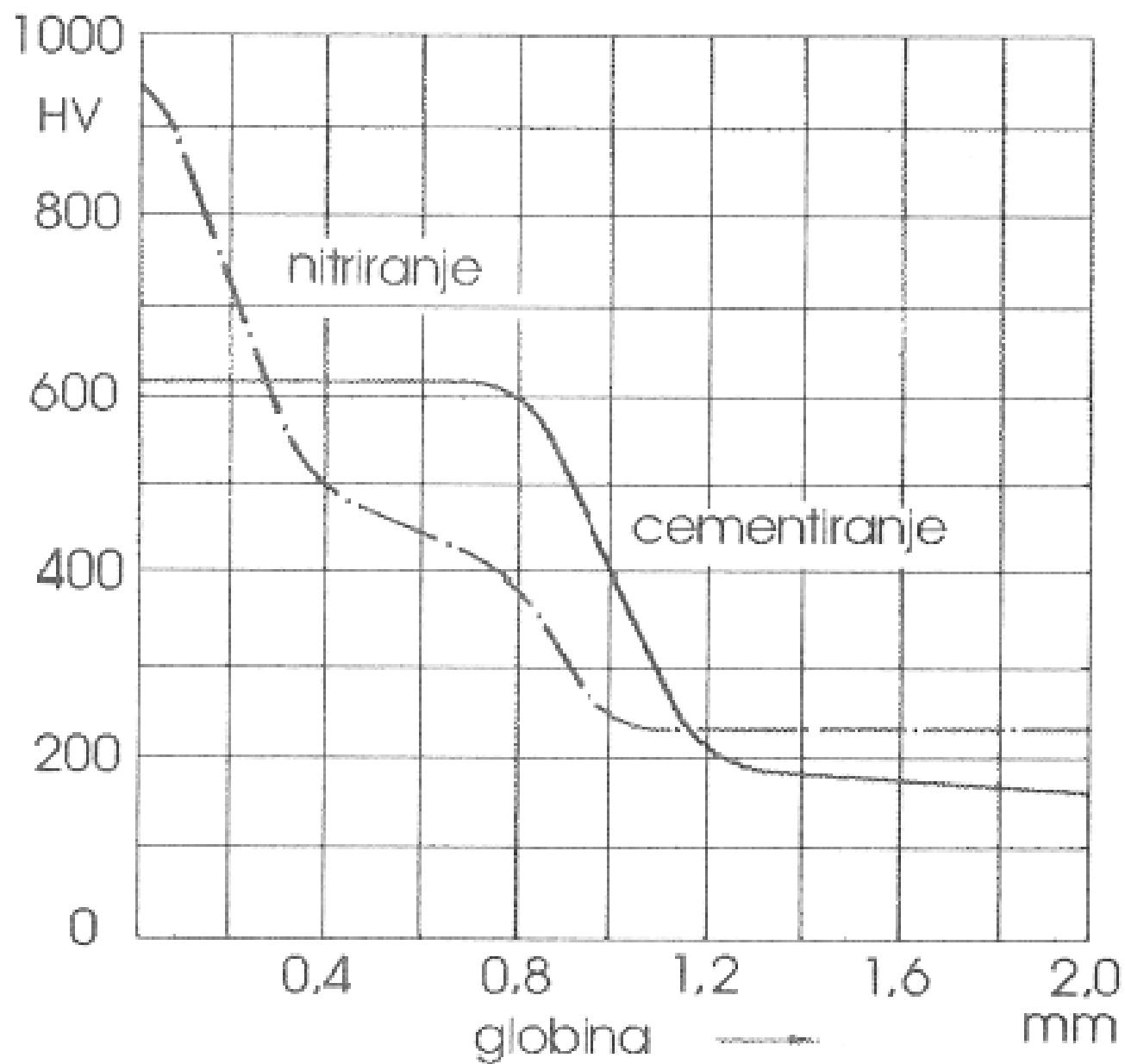
- ▶ Temperatura 520 °C, čas nitriranja 12 - 19 ur, amoniak
- ▶ Na difuzijo vplivajo naslednji faktorji: količina atomarnega dušika, temperatura nitriranja, kemijska sestava jekla, strukturno stanje jekla in kvaliteta površine
- ▶ Nitriamo poboljšana jekla; pred nitriranjem žarimo za odpravo napetosti
- ▶ 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

## 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*



## Karbo-nitriranje:

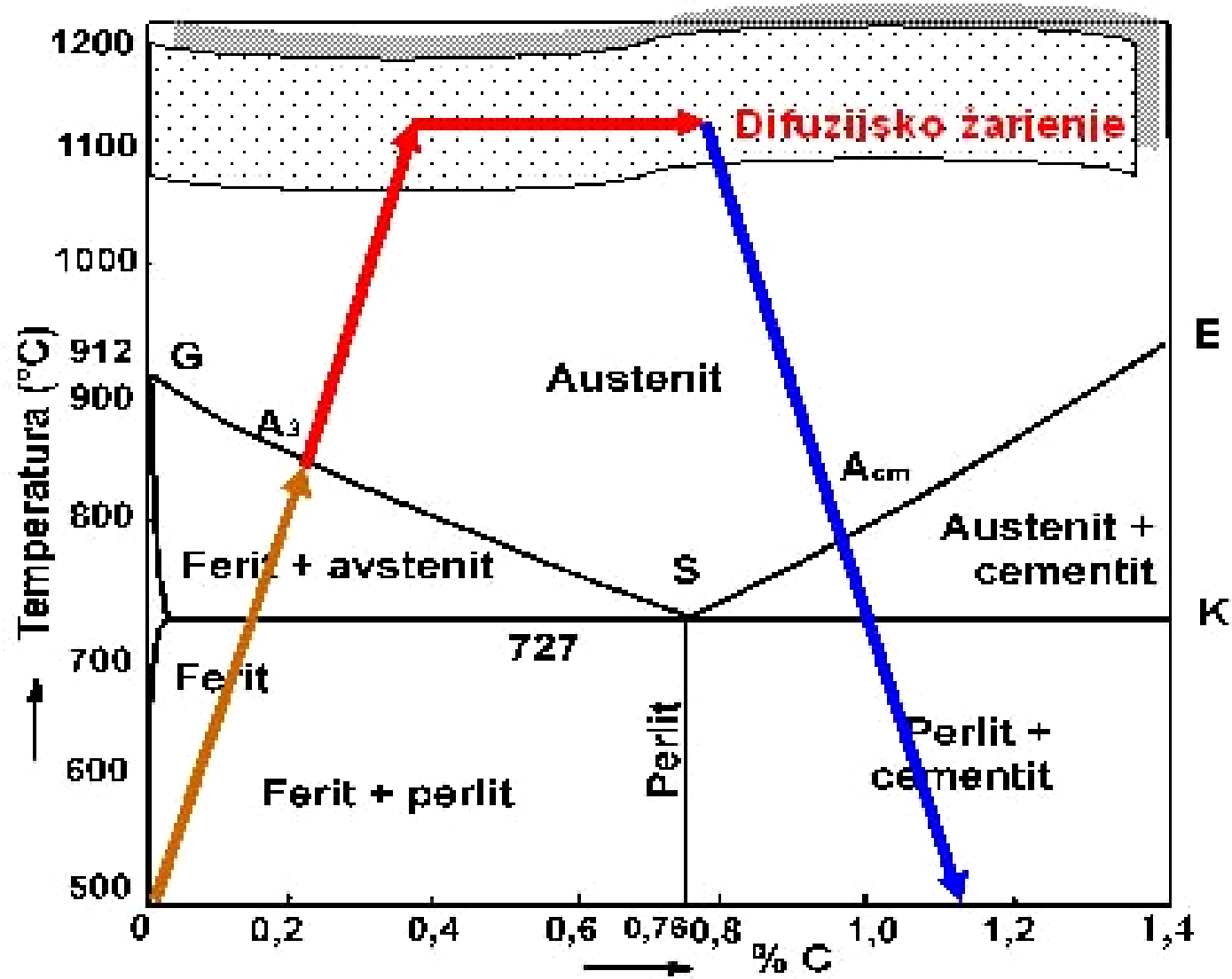
- ▶ Je kombinacija plinskega cementiranja in nitriranja
- ▶ Karbo-nitriramo lahko cenena nelegirana in nizko legirana jekla
- ▶ Postopek se izvaja v napravah za plinsko cementiranje
- ▶ Plinu, ki je namenjen za cementiranje dodamo 10 - 30 % amoniaka
- ▶ Temperatura je v območju ogličenja 820 - 900 °C, nato sledi gašenje
- ▶ Hitrost karbo-nitriranja je 0.15 mm/h, čas je enak plinskemu cementiranju




# Žarjenje jekel:

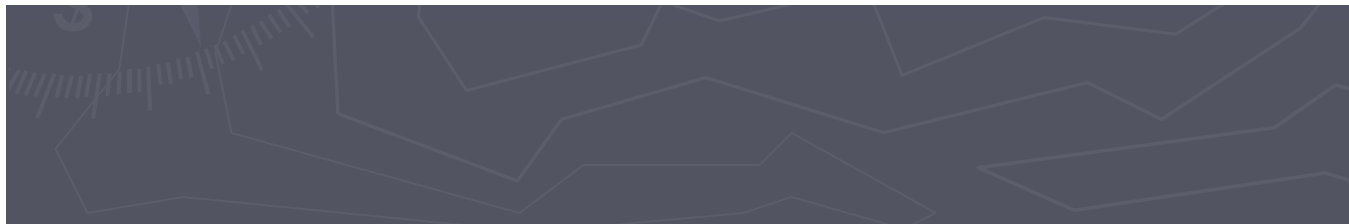
- ▶ Segrevanje izdelkov na določeno temperaturo, držanje na tej temperaturi in počasno ohlajanje

## Difuzijsko žarjenje:

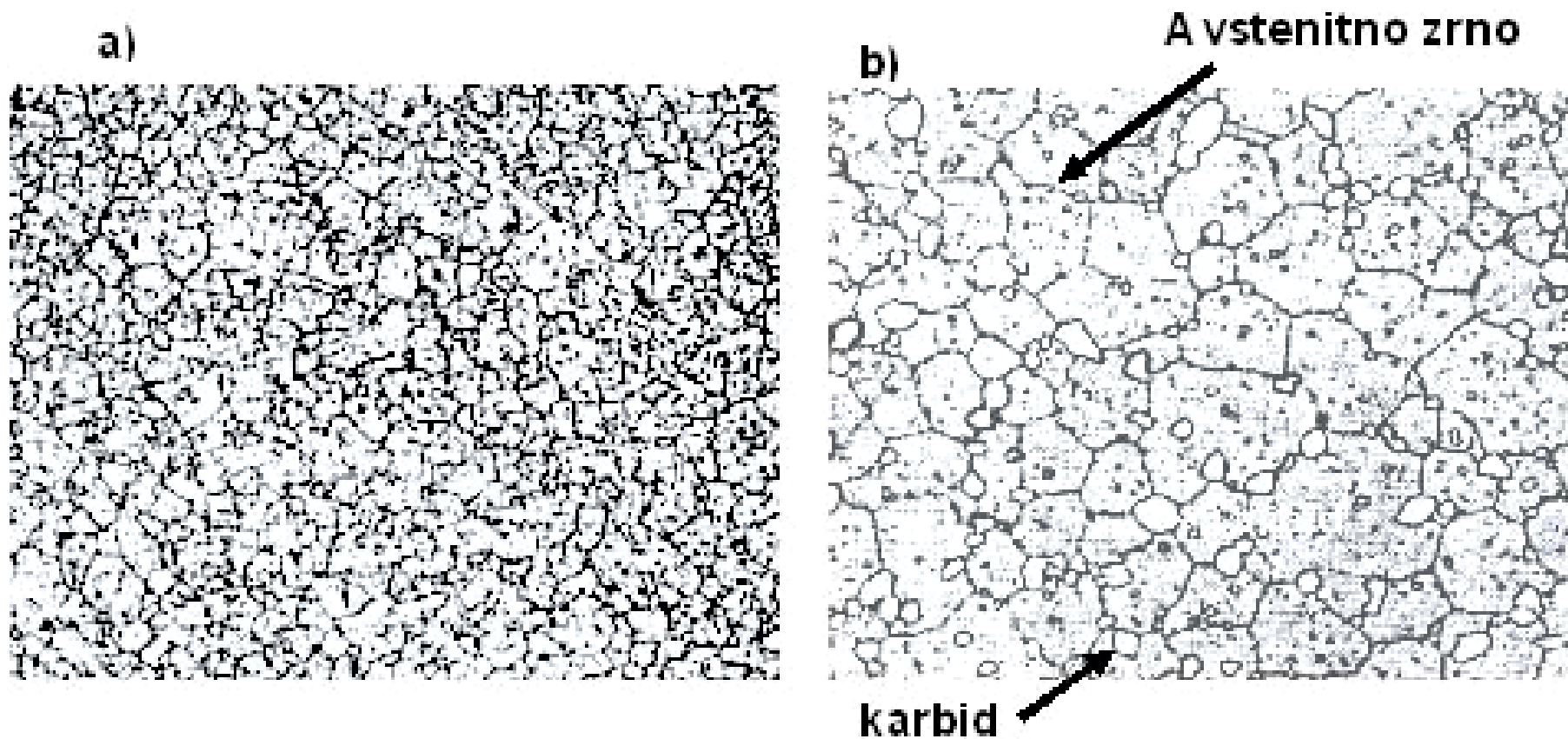
- ▶ Za izravnavo neenakosti v kemični sestavi
- ▶ Temperatura 1100 - 1300 °C daljši čas; difuzijski proces
- ▶ Nastane grobozrnata struktura
- ▶ Popravimo jo s preoblikovanjem ali normalizacijo
- ▶ Razogljichenje preprečimo z zaščitno atmosfero v peči



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

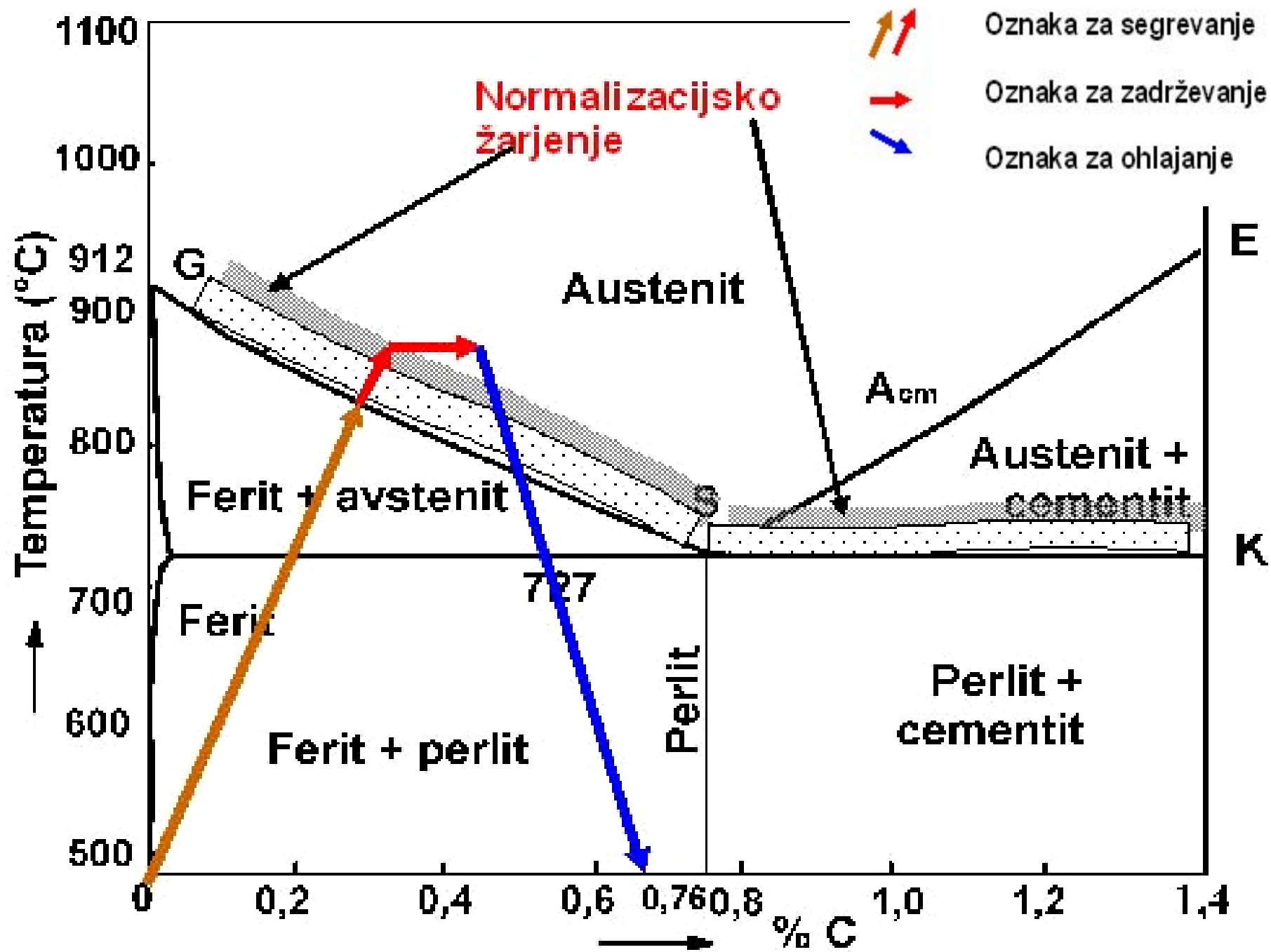


- ▶ a) mikrostruktura pred in
- ▶ b) po difuzijskem žarjenju.



## Normalizacijsko žarjenje:

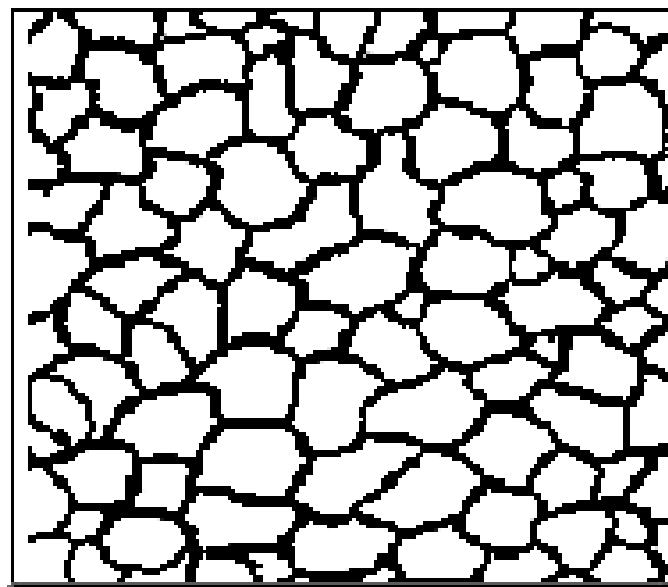
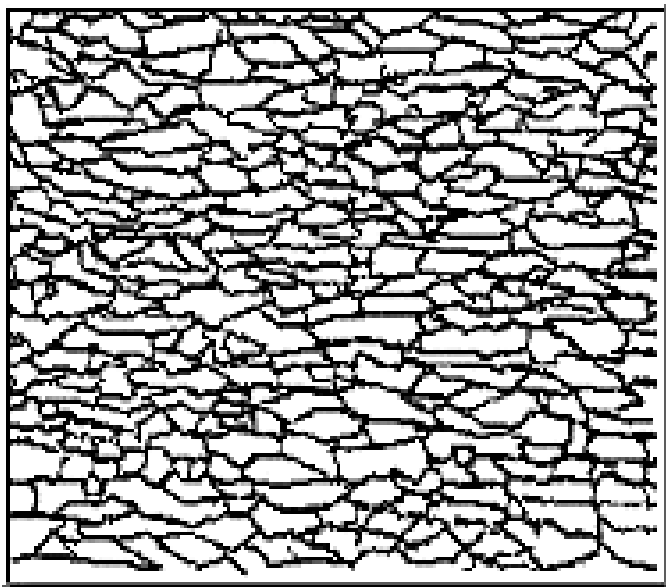
- ▶ Segrevanje visoko iznad premensko točko Ac3, ohlajenje na mirnem zraku
- ▶ Odstrani se neenakomernost v strukturi; zmanjšanje velikosti zrna
- ▶ Normaliziramo ulitke, izjemoma zvarjence
- ▶ Neenakomernost v strukturi nastane pri postopkih delnega segrevanja obdelovancev
- ▶ Temperatura 30 - 50 °C nad temperaturo prekrystalizacije
- ▶ Za podevtektoidna 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



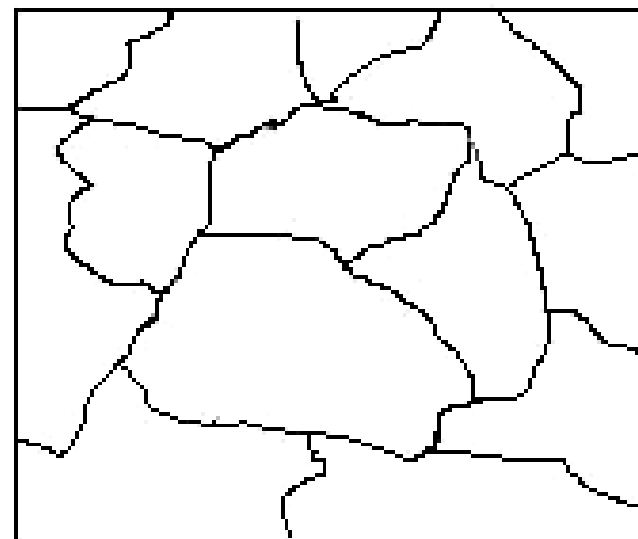
## Celoten ciklus normalizacijskega žarjenja sestoji iz:

- ▶ 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

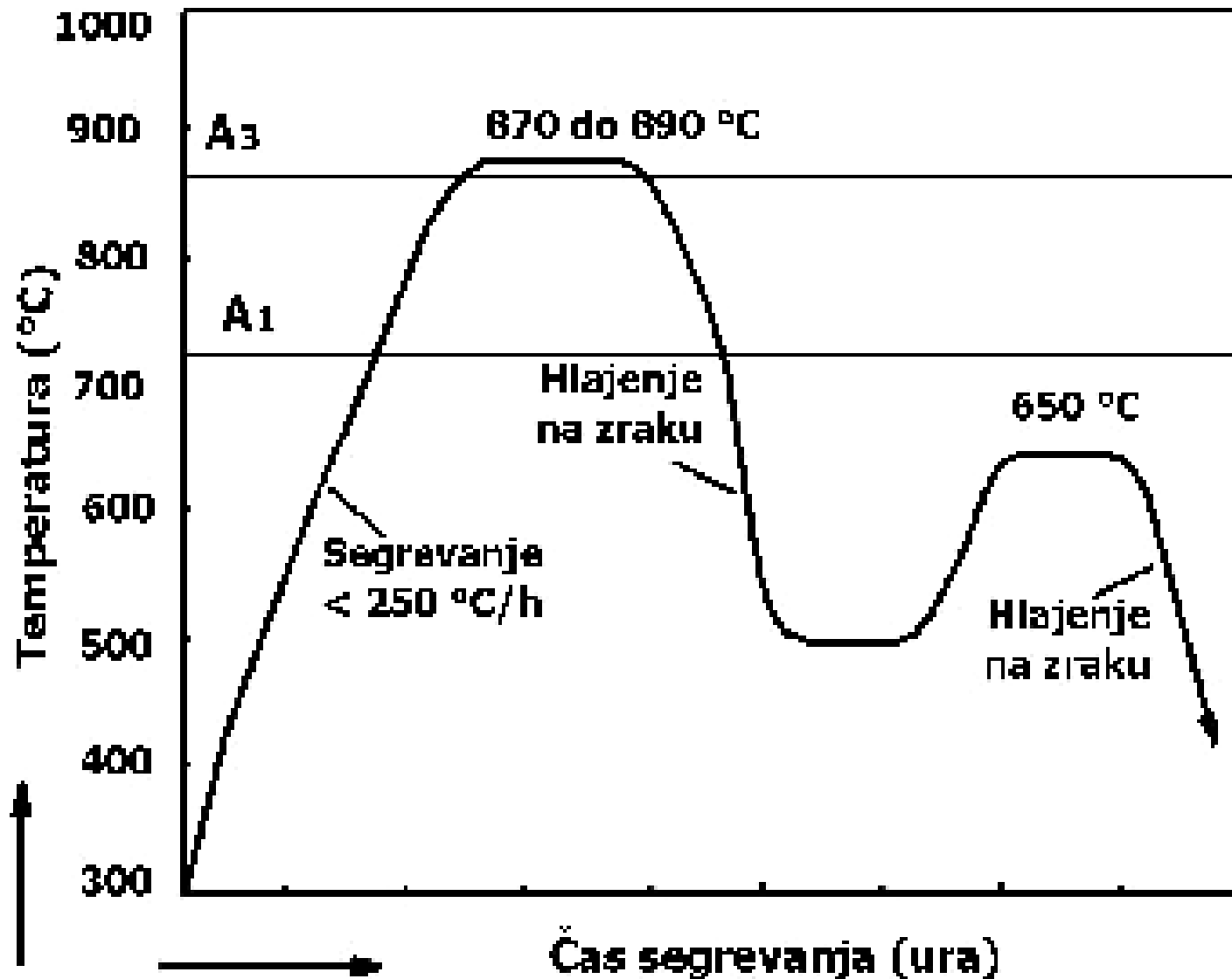


## Primer lite strukture po normalizaciji



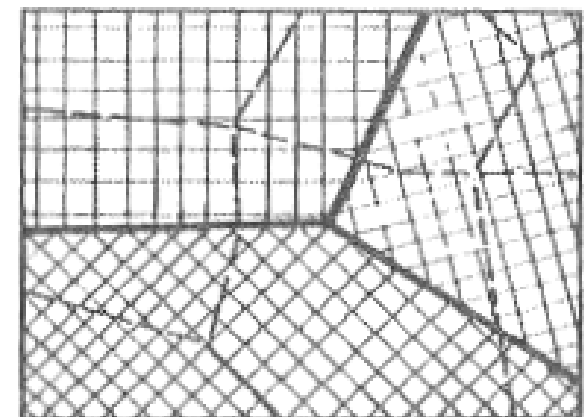
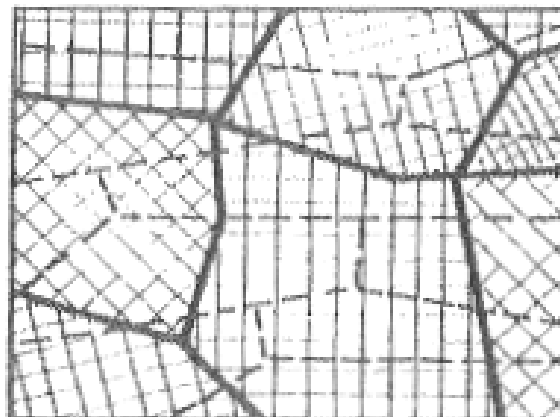
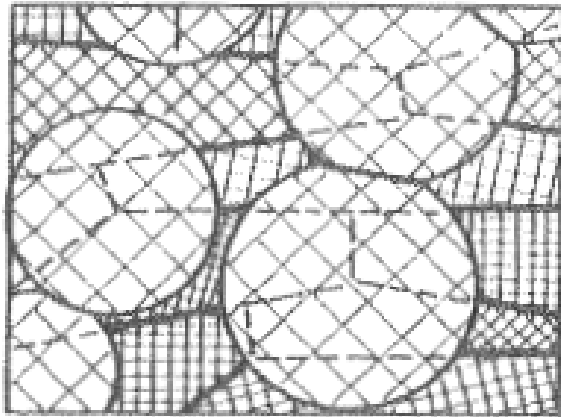


► Primer normalizacijskega žarjenja za jeklo z 0.2%C

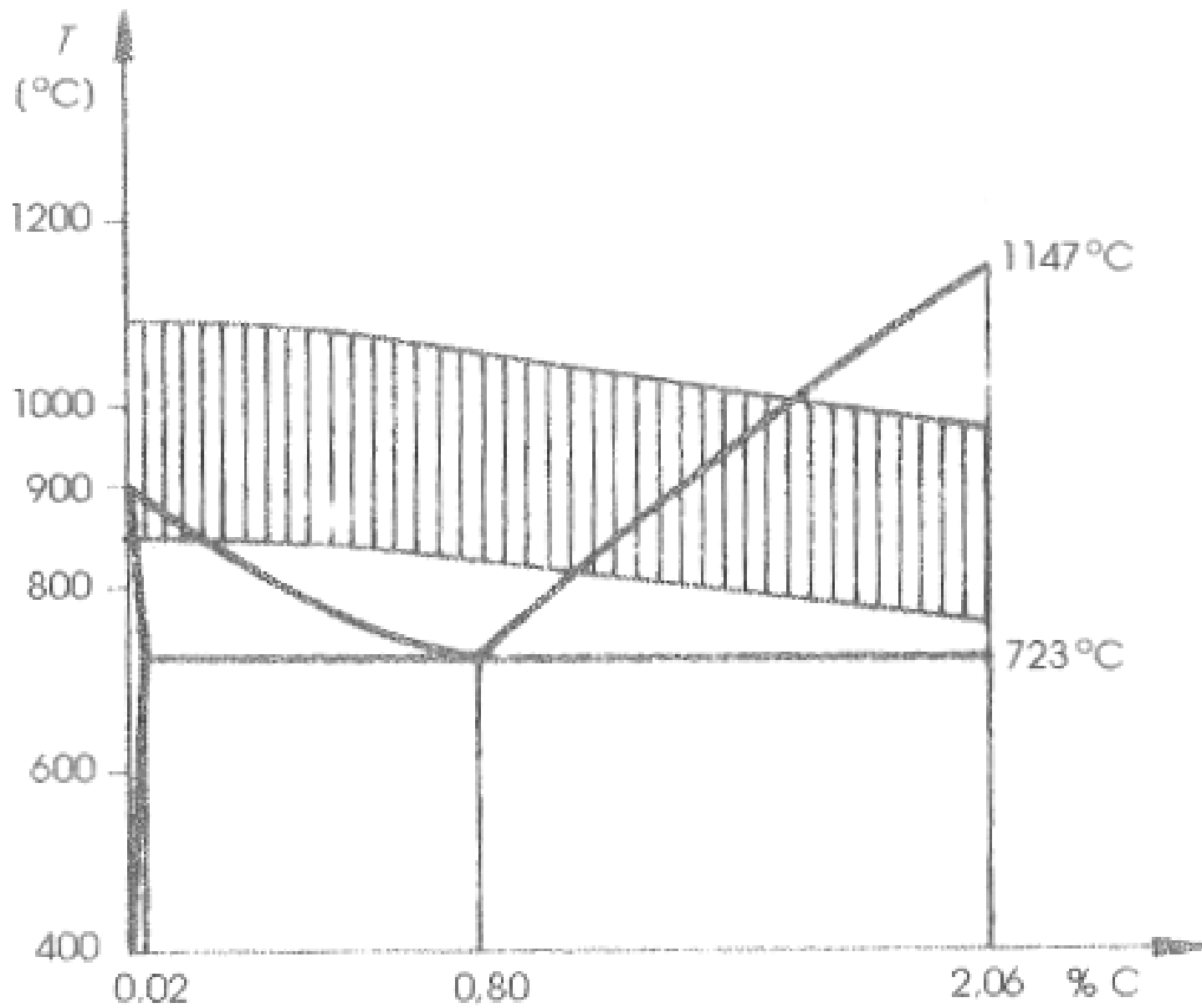


# Žarjenje za gnetenje:

- ▶ 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*

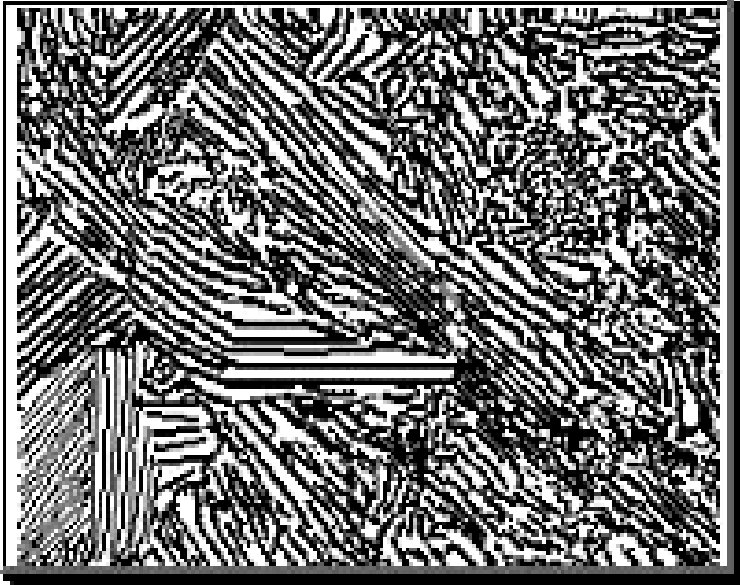
## Žarjenje na mehko:

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

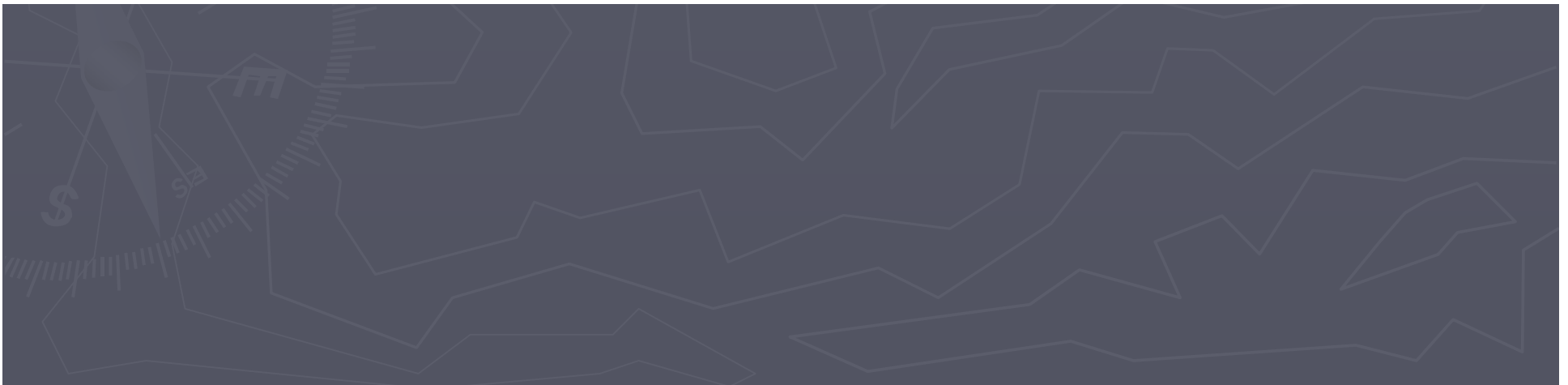
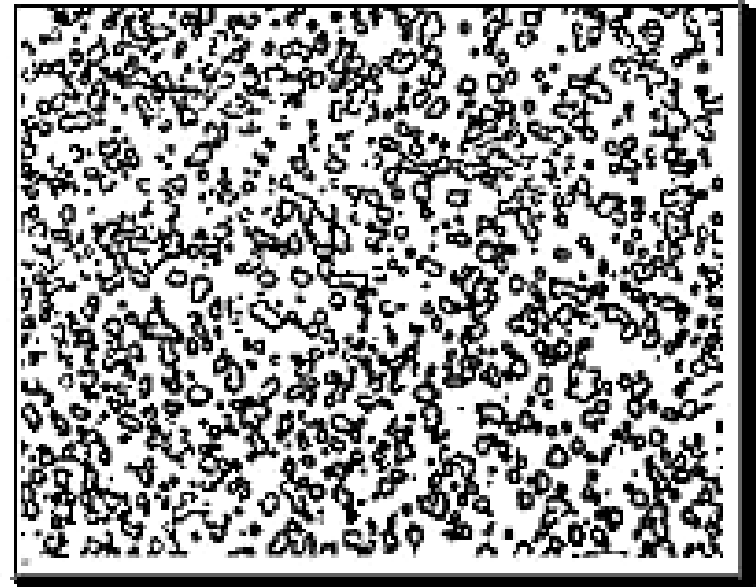
### Na mehko žarimo na tri načine:

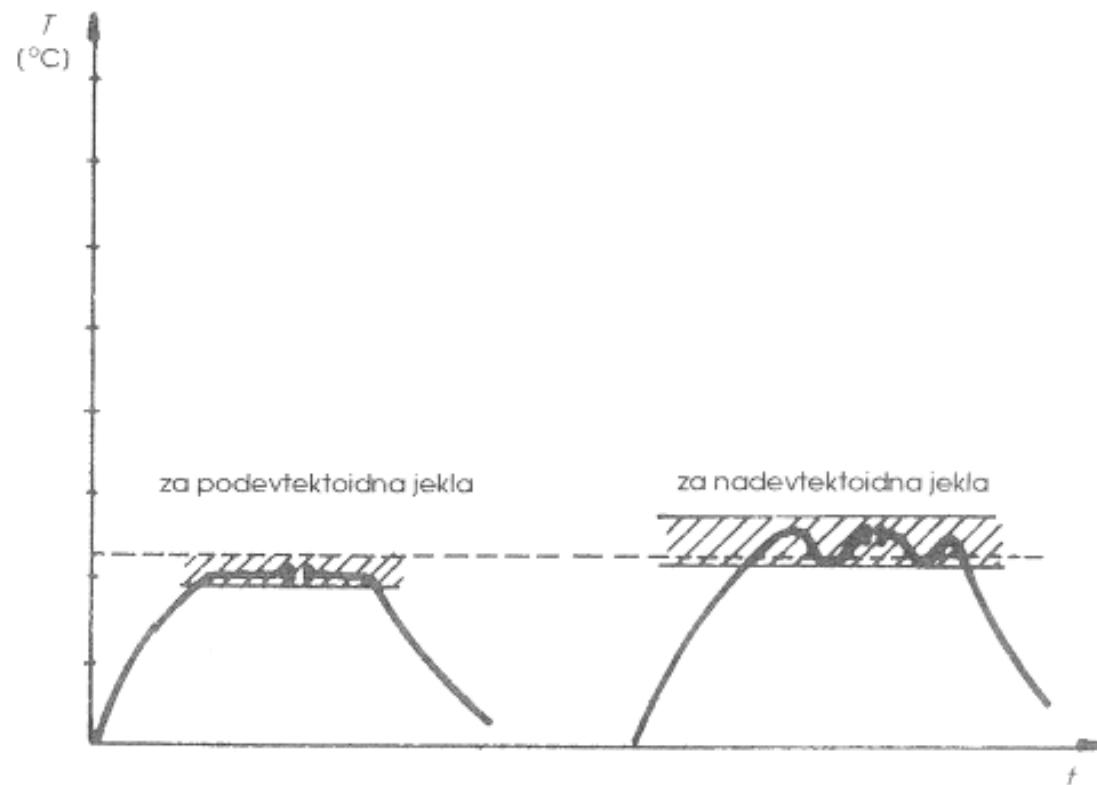
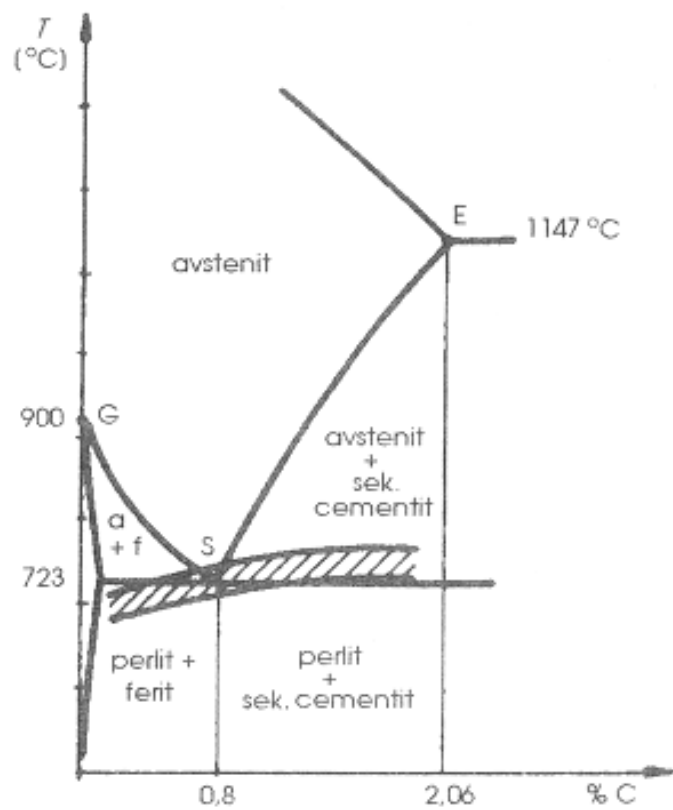
- a) Podvtektoidna jekla žarimo dalj časa tik pod 723 °C in počasi ohlajamo na zraku
  - b) Žarimo tik nad temperaturo prekrystalizacije, nato počasi ohlajamo do 650 - 600 °C, nato na zraku. Primerno za žarjenje tankostenskih izdelkov takoj po valjanju ali kovanju.
  - c) Nadvtektoidna jekla žarimo tik 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)

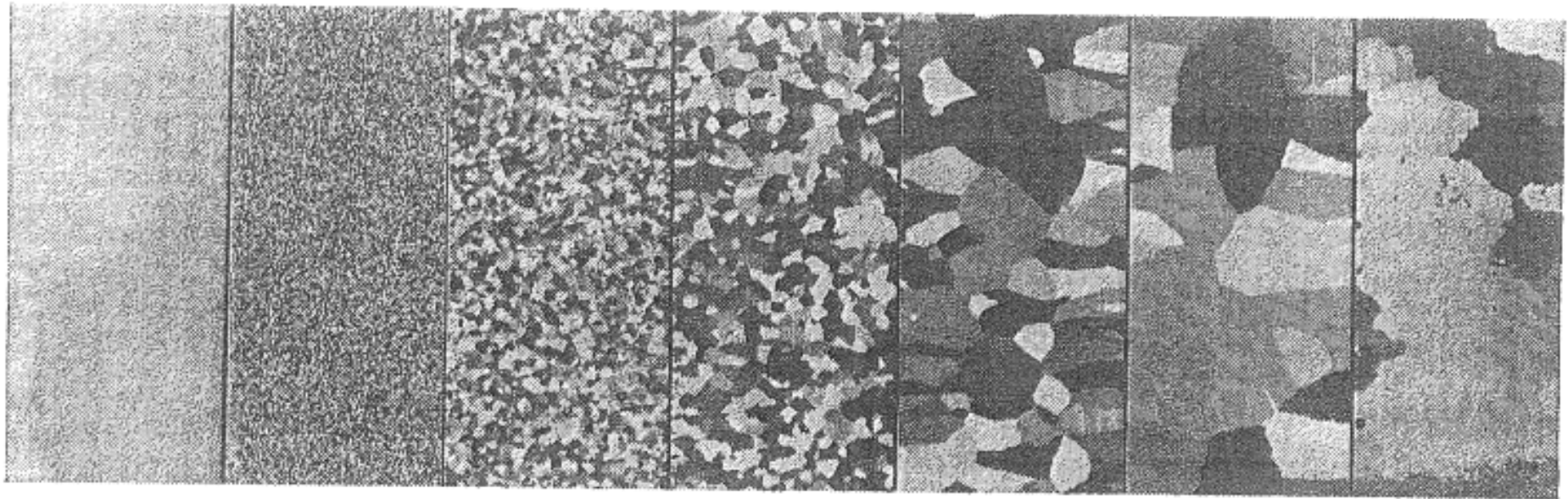




*Žarjenje na mehko v Fe-Fe<sub>3</sub>C diagramu in T-t diagram*

## 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

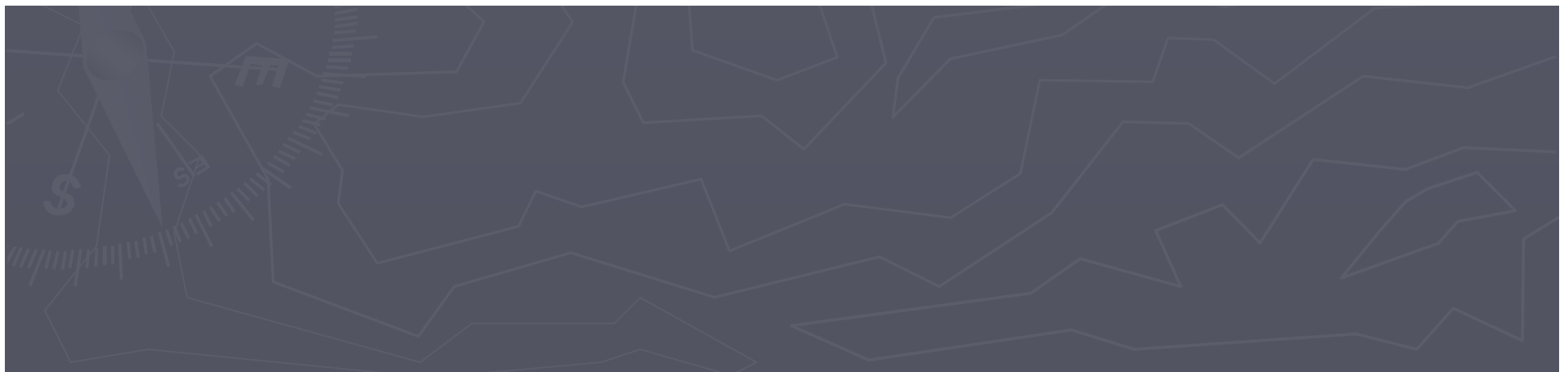
8

6

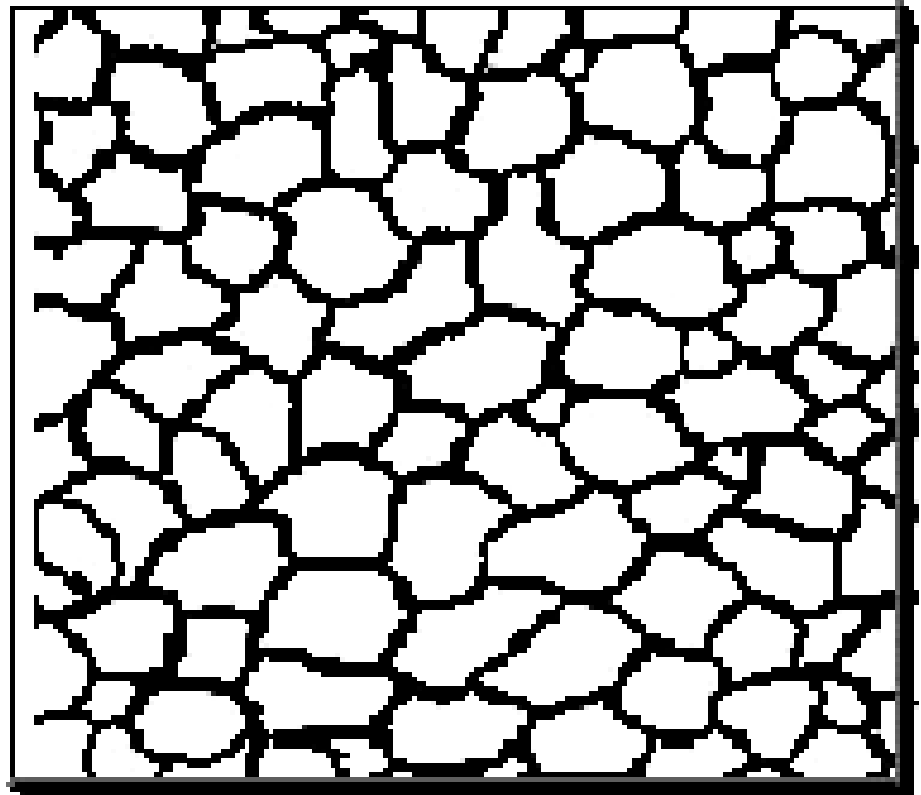
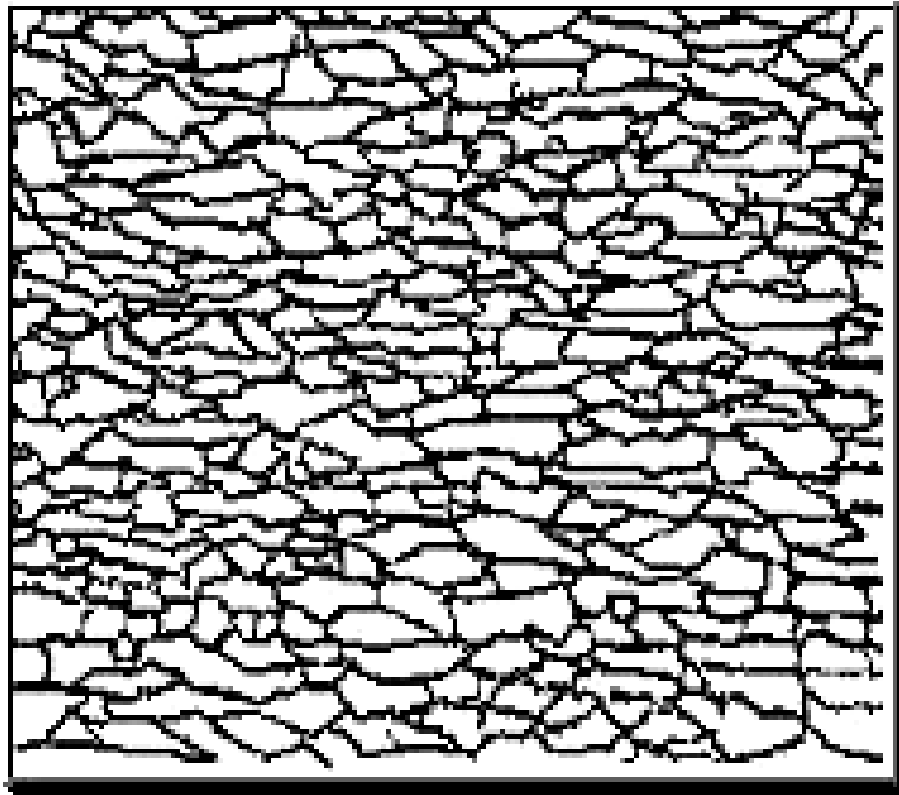
4

2

*Velikost zrn v odvisnosti od stopnje deformacije*

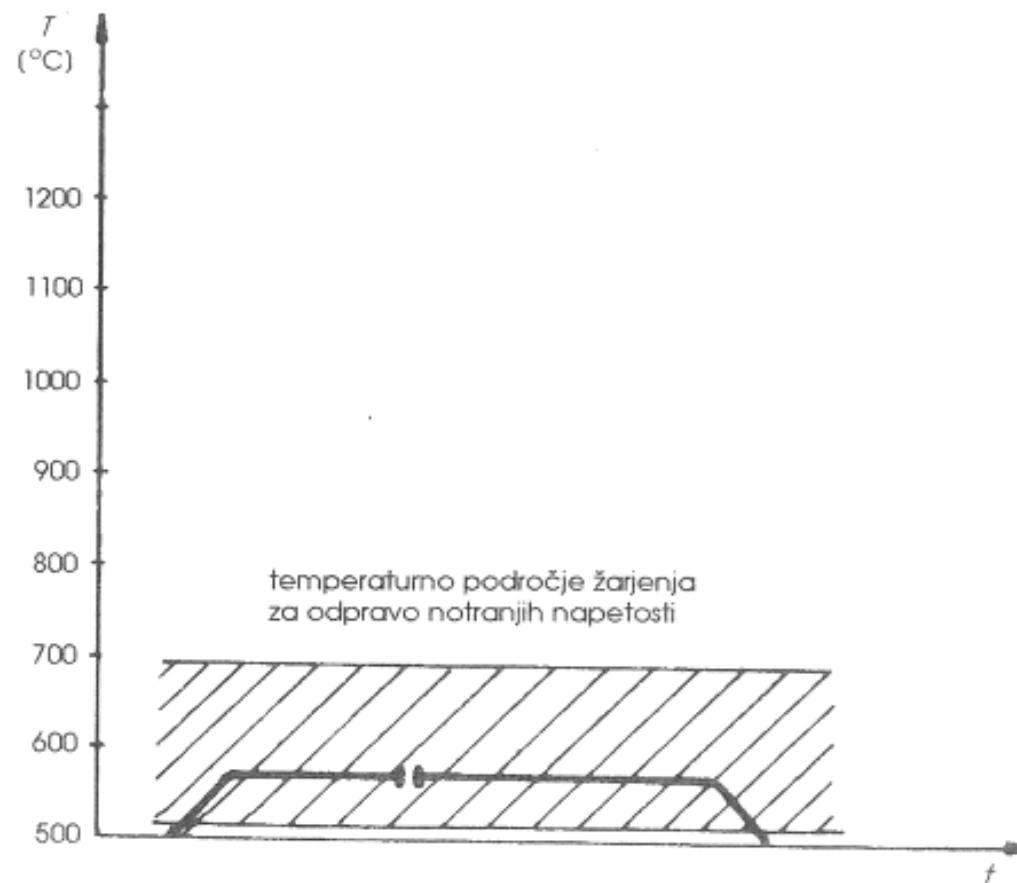
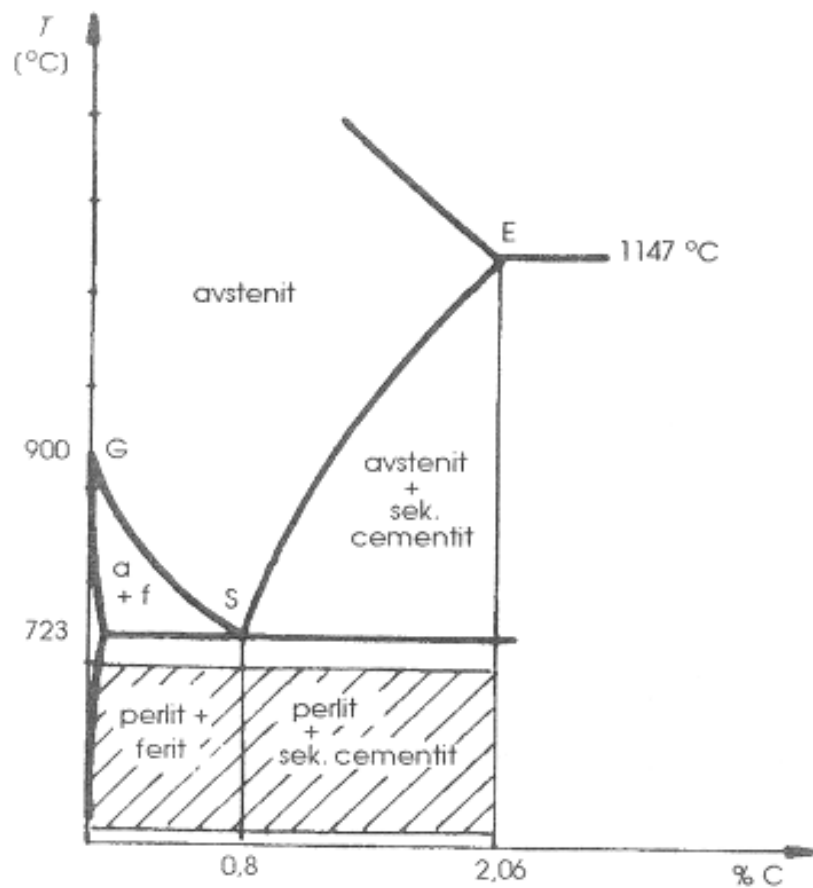






## Žarjenje za odpravo napetosti:

- ▶ Žarjenje pod  $A_{c1}$ , nato počasno ohlajanje brez bistvene spremembe obstoječih lastnosti
- ▶ Napetosti nastanejo zaradi neenakomernega ohlajanja ali pri odrezavanju
- ▶ 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; nevtralno, oksidativno, reduktivno
- ▶ Možno je predgrevanje zraka, boljše zgorevanje, krajši plamen

## Električne peči

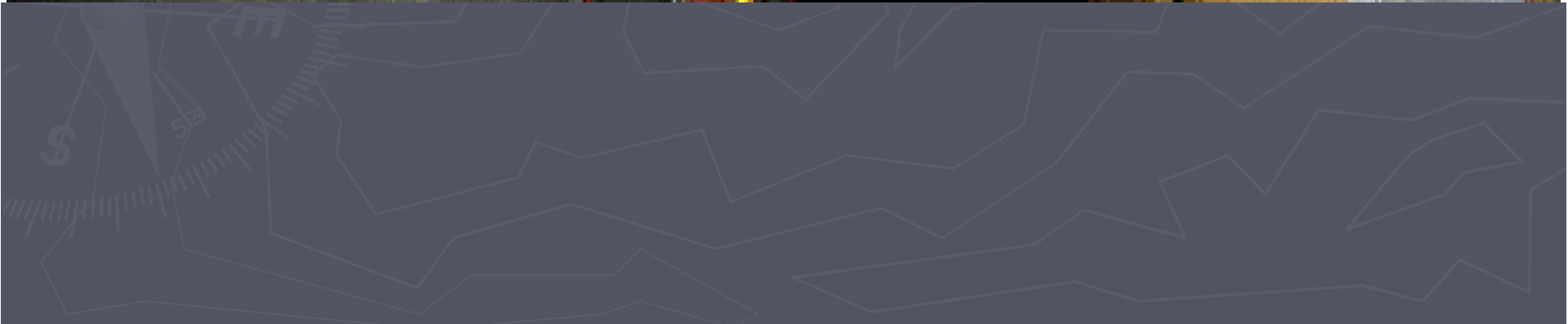
## Vakuumske peči

## 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 predgreveno 400 - 500 °C

www.MIRREFRA.it

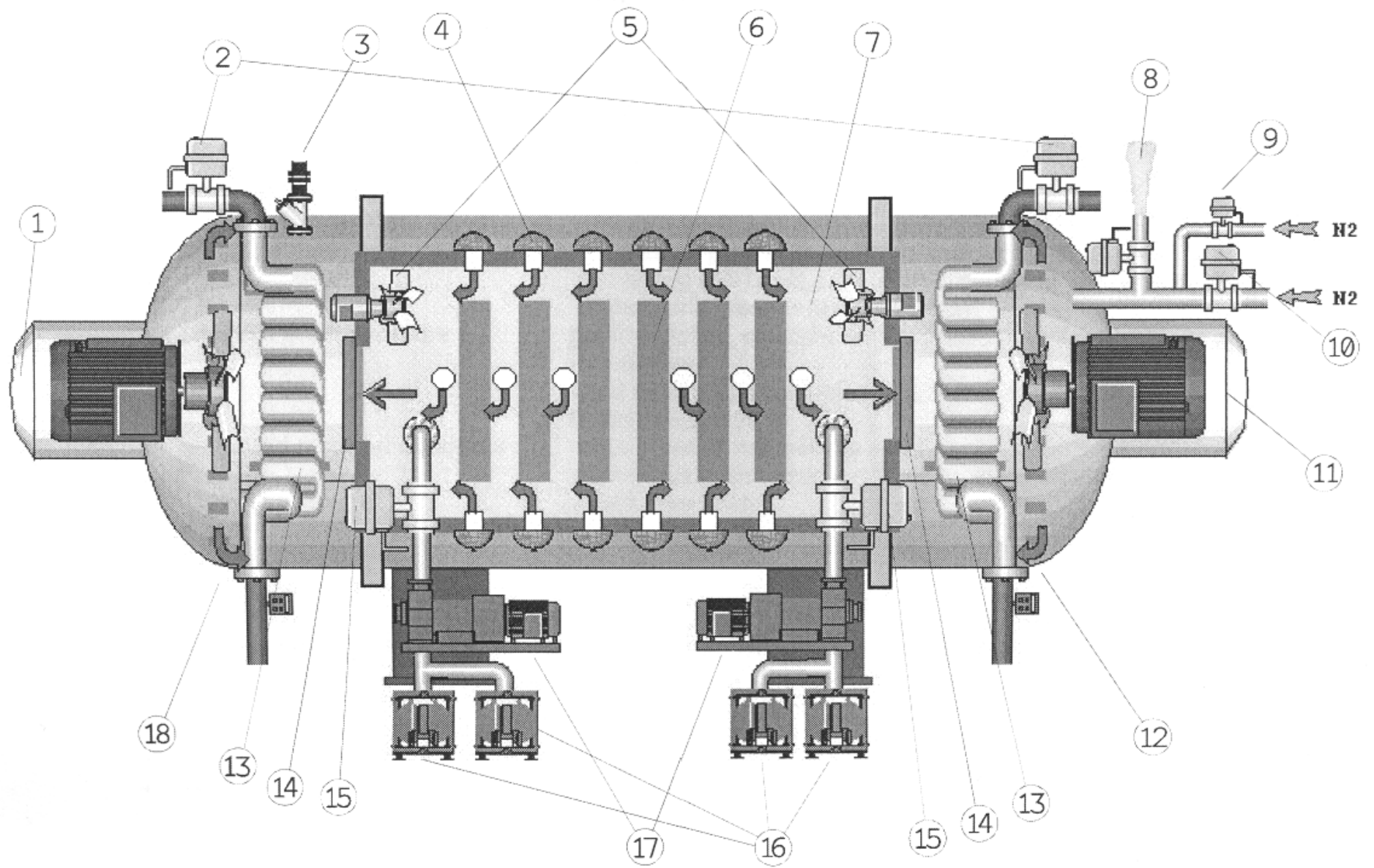












- 1 Plinsko ventilator (spredaj)
- 2 Vodni ventil (izmenjevalec toplote)
- 3 Oprema za meritve
- 4 Lijaki
- 5 Konvekcijski ventilator
- 6 Grelni deli (grafit)
- 7 Grelna komora
- 8 Izpust za plin
- 9 Plinski dovod (dušik; delni tlak)
- 10 Plinski dovod (dušik)

- 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)

