

TOPLINSKA OBRADA ČELIKA

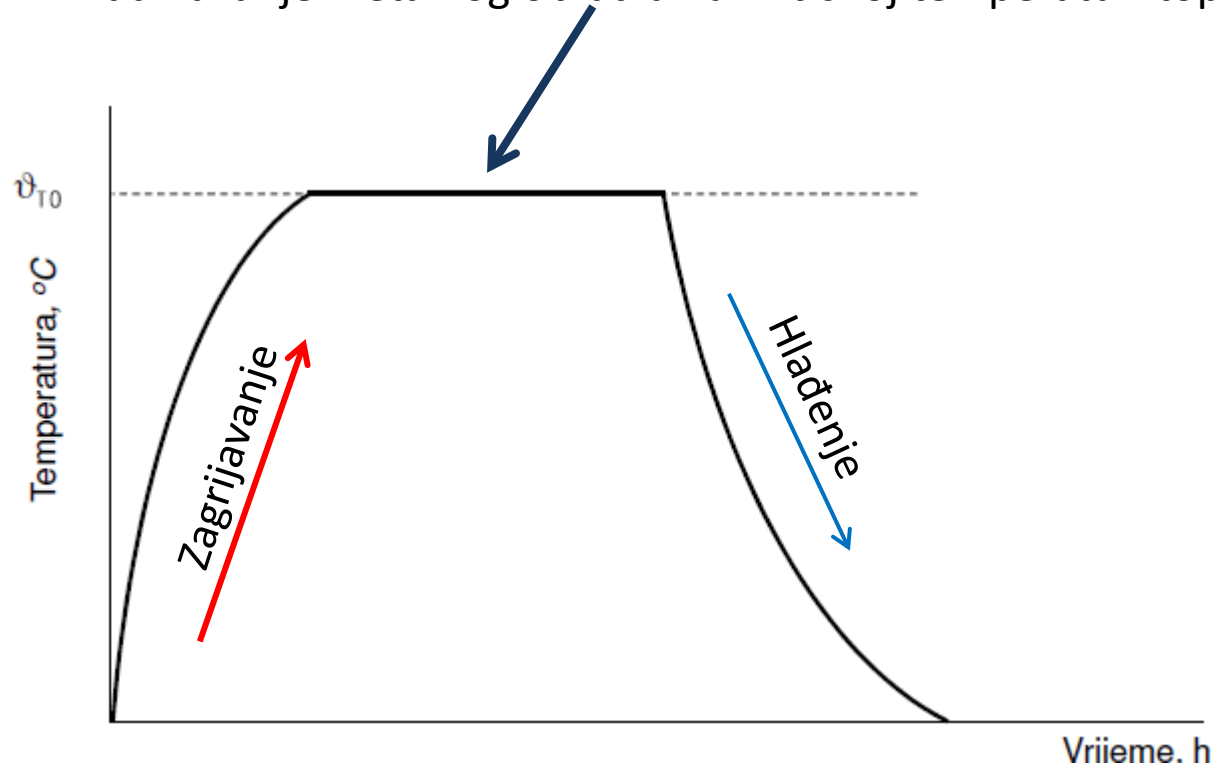
➤ **Svojstva i ponašanje metala i legura u proizvodnim procesima i tijekom eksploatacije ovise o kemijskom sastavu, mikrostrukturi, načinu prerade i toplinske obrade kojoj mogu biti podvrgnuti.**

➤ Mehanička svojstva kao što su vlačna čvrstoća, tvrdoća, žilavost i plastičnost mogu se poboljšati, promjenom kemijskog sastava – legiranjem, promjenom veličine kristalnog zrna, ali na njih se može utjecati i promjenom strukture te stvaranjem novih faza tijekom procesa toplinske obrade.

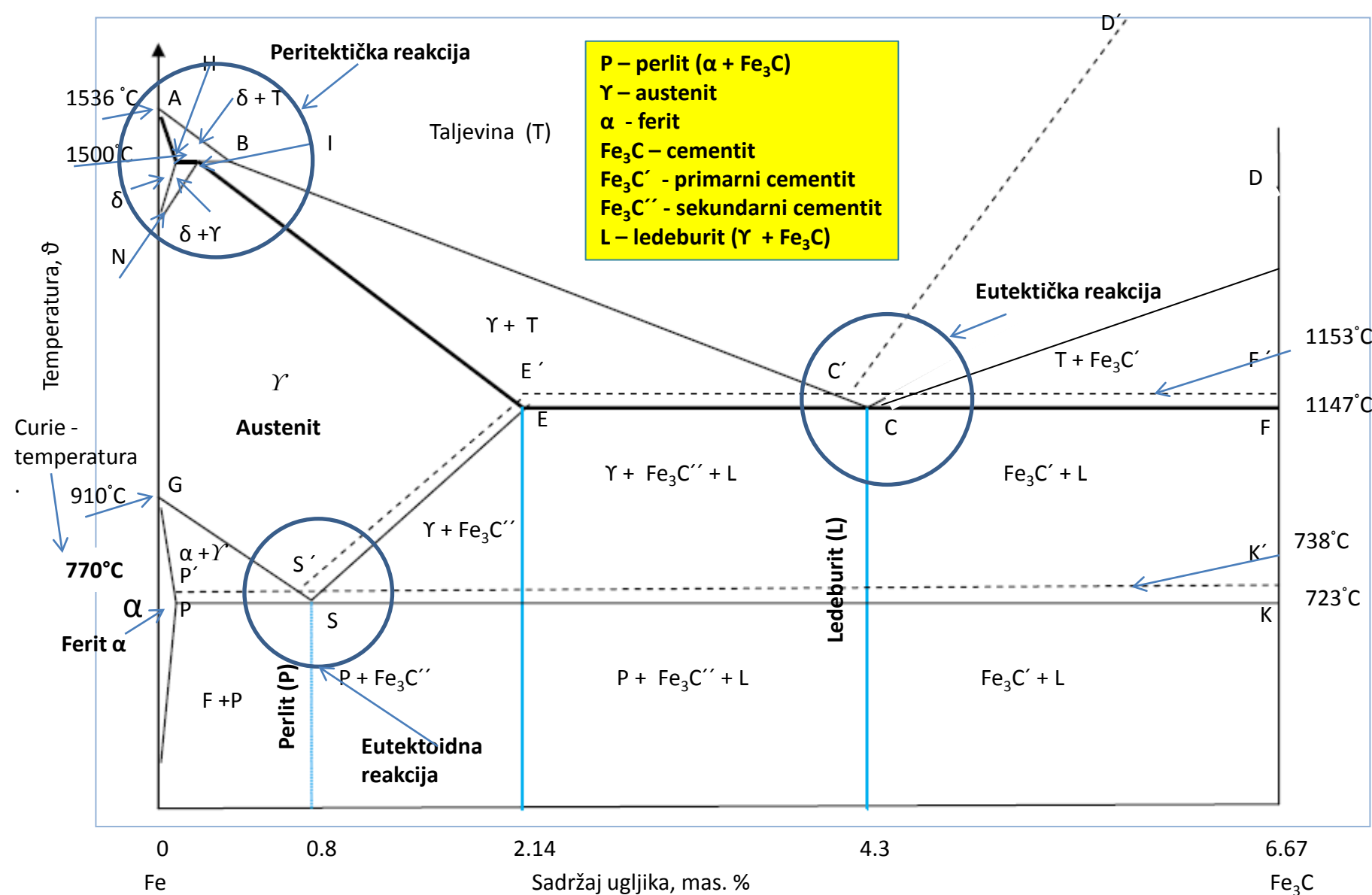
➤ **Toplinskom obradom nazivaju se procesi u kojima se namjerno metalni obratci podvrgavaju zagrijavanju do kritičnih temperatura zatim zadržavaju na tim temperaturama određeno vrijeme te hlade na određen način i određenom brzinom kako bi se postigla željena mikrostruktura, a time i željena (mehanička, fizička, kemijska) svojstva.**

➤ Primjer poboljšanja svojstava je toplinska obrada čelika. Promjena mikrostrukture i stvaranje novih faza u procesu toplinske obrade čelika događa se u čvrstom agregatnom stanju čelika, a temelji se na: svojstvu polimorfije željeza (alotropskim modifikacijama Fe), na promjeni topivosti ugljika i legiranih elemenata u kristalnoj rešetci željeza te na mogućnosti difuzijskog premještanja atoma na povišenim temperaturama.

Zadržavanje metalnog obratka na kritičnoj temperaturi toplinske obrade



Shematski dijagram (vrijeme – temperatura) postupka toplinske obrade metalnog obratka



Fazni dijagram Fe – Fe₃C

6.67 mas.% C je stehiometrijski sadržaj C u intermetalnom spoju Fe₃C

Fazne pretvorbe pri zagrijavanju ugljičnih čelika

Pretvorba perlita (P) u austenit (A)

pojavljuje se u procesu zagrijavanja čelika kod mnogih toplinskih obrada.

- Prema dijelu dijagramu stanja Fe–Fe₃C za čelike, eutektoidni čelik 0,8%C ima perlitnu (P) strukturu koja se sastoji iz lamela ferita (F) + cementita (C).
- **Zagrijavanjem eutektoidnog čelika** do temperature A₁ (eutektoidna temperatura, 723°C) manja količina cementita se otapa u feritu po crti PQ. Daljim zagrijavanjem iznad temperature A₁ na granicama feritne i cementitne faze nastaju mala zrna austenita u kojima je otopljen ugljik. Nastala zrna rastu uz stvaranje novih zrna austenita, a proces razlaganja cementita se nastavlja. Proces pretvorbe perlita u austenit se završava kada se bivše perlitno zrno ispuni austenitnim zrnima. Nastala zrna austenita nisu homogena s obzirom na sadržaj otopljenog ugljika. Potrebno neko dodatno vrijeme za homogenizaciju austenitnih zrna.
- Pretvorba perlita (P) u austenit (A) nastaje zbog alotropskih promjena kristalne rešetke željeza α (BCC) \rightarrow γ (FCC), razlaganja cementita (C) Fe₃C i difuzije atoma ugljika.

Dio ravnotežnog Fe - Fe₃C dijagrama za čelike

Austenit
γ (FCC)



Perlit (α + Fe₃C)

Eutektoidna reakcija

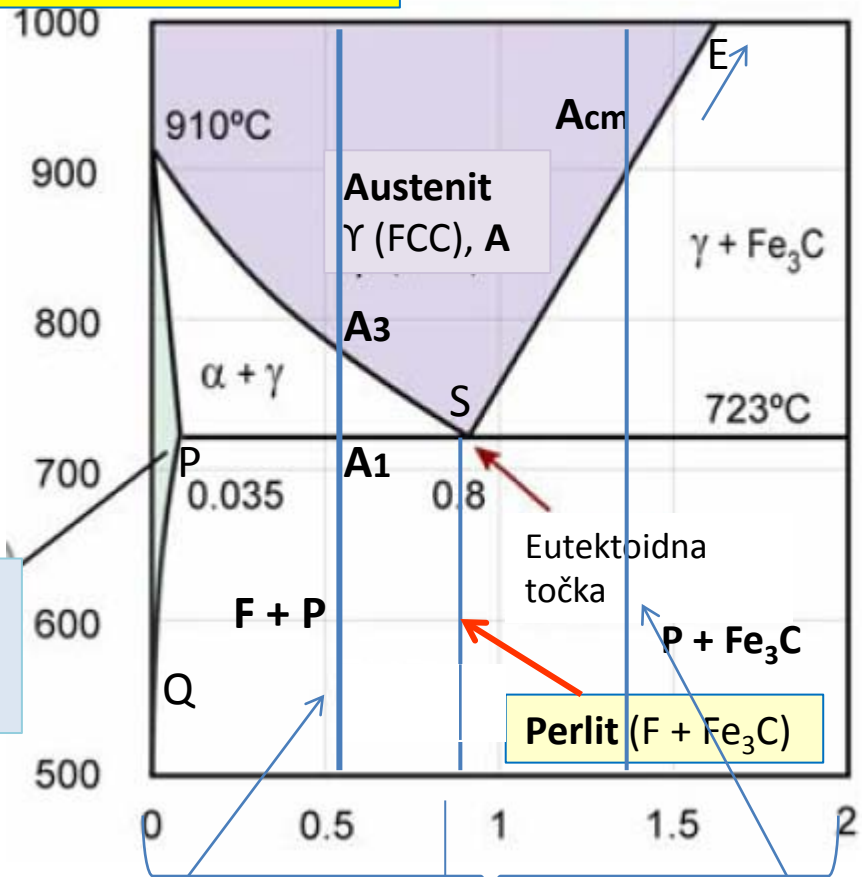
Na eutektoidnoj temperaturi od 723°C austenit γ (FCC) se, kod koncentracije od 0.8 mas. % ugljika, razlaže na **perlit** (ime mikrostrukture eutektoidnog čelika) koji se sastoji iz α ferita i Fe₃C cementita (F + C).

α
Ferit
(BCC), F

A1 - temperatura eutektoidne pretvorbe:
austenit (A) → ferit (F) + cementit (C)

A3 – temperatura pretvorbe A u F

Acm – temperatura nastanka cementita (C) iz A



ČELICI

Podeutektoidni čelici

> 0.8%C

Nadeutektoidni čelici

od 0.8 do 2.03%C

Eutektoidni čelik

0.8%C

- **Zagrijavanjem podeutektoidnih čelika (> 0.8%C)**, mikrostrukture ferit (F) + perlit (P), proces austenitizacije (rasta austenitnih zrna) počinje dosezanjem temperature u kritičnoj tački A1 (crta PS, na eutektoidnoj temperaturi 723°C). Perlit se pritom pretvara u austenit i nastaje mikrostruktura ferit + austenit. Daljim zagrijavanjem ferit se postupno transformira u austenit. Dosezanjem temperature koja odgovara kritičnoj tački A3 (crta GS), mikrostruktura čelika postaje austenitna.
- **Zagrijavanjem nadeutektoidnih čelika (od 0.8 do 2.03%C)** mikrostrukture perlit + cementit, na eutektoidnoj temperaturi 723°C, također dolazi do pretvorbe perlita u austenit. Prisutni cementit se potpuno transformira u austenit pri dosezanju temperature u kritičnoj tački Acm (crta SE).
- **Brzina pretvorbe perlita (feritno-cementitne mikrostrukture) u austenit**, osim temperature zagrijavanja, ovisi i o veličini njihovih lamela. Što su lamele ferita i cementita tanje brže nastaju jezgre austenita i proces austenitizacije je brži. Sadržaj ugljika u čeliku također ima utjecaja na brzinu procesa austenitizacije. Što je veći sadržaj ugljika, to se proces brže odvija. Legirni elementi u čeliku: Cr, Mo, W, V i drugi karbidotvorci usporavaju proces austenitizacije, zbog težeg otapanja karbida legirnih elemenata u austenitu. Sadržaj otopljenih legirnih elemenata u austenitu nije ujednačen. Proces homogenizacije austenita, koji sadrži legirne elemente, nešto duže traje jer je difuzija atoma legirnih elemenata u kristalnoj rešetci γ -Fe znatno sporija u odnosu na ugljik.

Fazne pretvorbe pri hlađenju ugljičnih čelika

Pretvorba pothlađenog austenita (Izotermička pretvorba austenita)

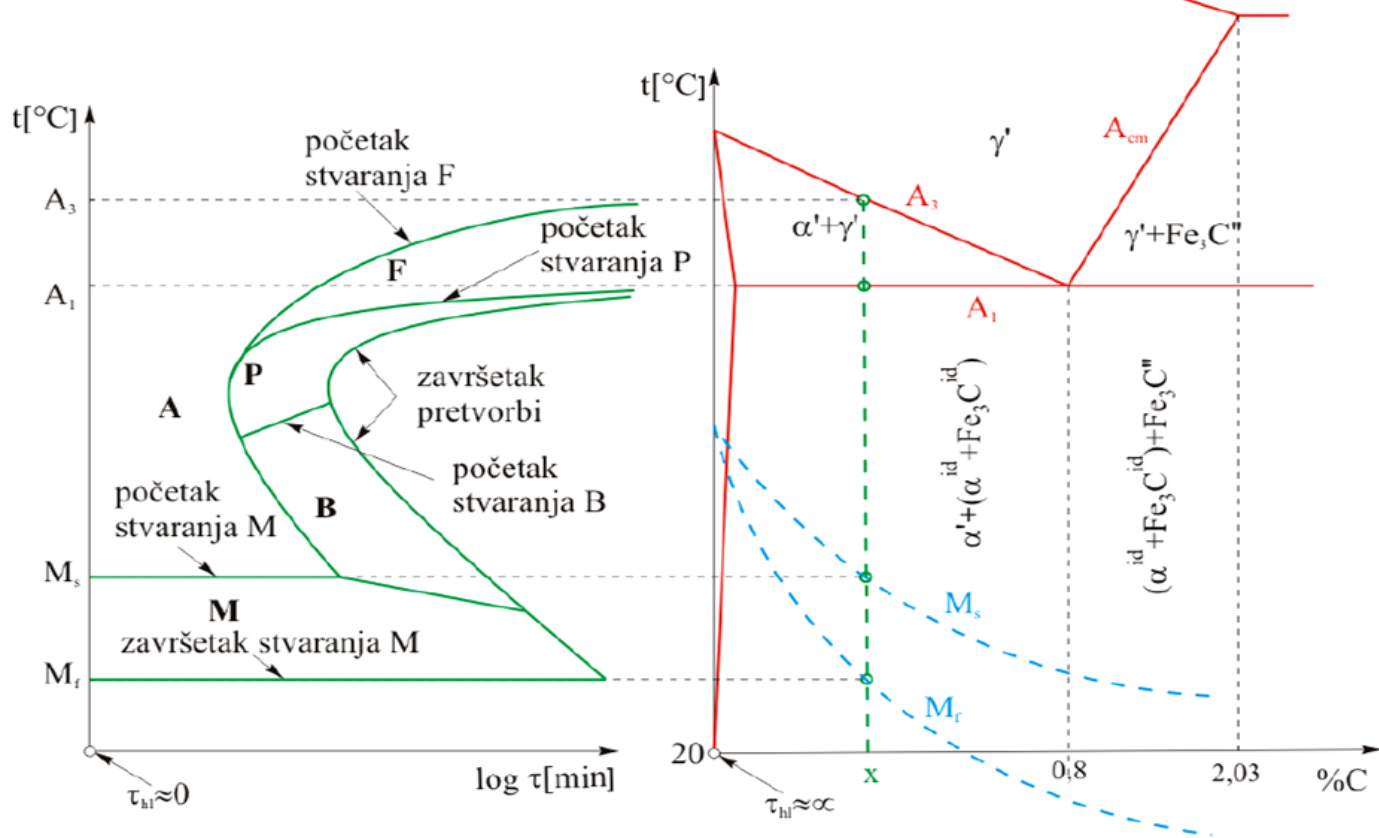
- Pretvorba austenita događa se samo na temperaturama nižim od 723°C (kritična tačka Ar1).
- Za opisivanje kinetike pretvorbe pothlađenog austenita koriste se eksperimentalno dobiveni dijagrami koji su u literaturi poznati pod nazivom TTT (*Time–Temperature–Transformation*) ili (*vrijeme – temperatura – transformacija (pretvorba)*) dijagrami.
- Za izvođenje procesa izotermičke transformacije austenita potrebno je uzorke čelika zagrijavati do temperatura koje odgovaraju stabilnom austenitu (iznad kritične točke), a zatim brzo hladiti do temperatura koje su niže od kritične tačke Ar1, tj. do temperatura na kojima se obavlja pretvorba austenita na pr. 600°C, 500°C, 400°C itd., i držati uzorke čelika na tim temperaturama različito vrijeme, tj. do potpune transformacije austenita.

Za transformaciju austenita u feritno–cementitnu strukturu na nekoj konstantnoj temperaturi potrebno određeno vrijeme.

KONSTRUKCIJA TTT - DIJAGRAMA

- Metastabilni Fe-Fe₃C dijagram ne daje uvid u faze i količine faza koje nastaju pri većim brzinama hlađenja. Pri vrlo malim brzinama hlađenja nastaju metastabilne faze (ferit, lamelarni perlit i sekundarni cementit).
- U praksi je brzina hlađenja uglavnom veća od metastabilne, pa su nastale faze bitno različite od onih koje se nalaze u metastabilnom dijagramu. Pri vrlo velikim brzinama hlađenja nastaje martenzit uz eventualno nešto nepretvorenog austenita.
- Između vrlo malih i vrlo velikih brzina hlađenja mikrostruktura čelika je smjesa cementita i ferita.
- Porastom brzine hlađenja mikrostruktura cementita i ferita postaje sve finija.
- Za točno određivanje sastava faza i količinskih udjela faza, koje nastaju ubrzanim hlađenjem, promjene faza i temperatura u dijagramu moraju biti prikazane kao vremenska funkcija.

- Cilj komercijalne upotrebe toplinske obrade čelika je postizanje optimalnih kombinacija svojstava čelika za vrlo široku primjenu. To se može postići samo strogim upravljanjem nastajanja pogodne mikrostrukture, strogom kontrolom brzine hlađenja i vremena zadržavanja.
- Odgovarajući postupci toplinske obrade ne mogu se opisati na temelju ravnotežnih dijagrama.
- U tu je svrhu potrebno konstruirati posebne dijagrame, temeljene na empirijski utvrđenim pretvorbama mikrostrukture, nazvani **TTT – dijagrami (Time-Temperature-Transformation diagrams) - (vrijeme – temperatura – pretvorba)**
- U skladu s procedurom s kojom su oni nastali razlikuju se **ITT –dijagrami (Isothermal Transformation diagrams)** koji su danas dostupni za praktično sve uobičajene vrste čelika i mogu se pronaći u brošurama proizvođača čelika, te **CCT – dijagrami (Continuous Cooling Transformation diagrams)**, koji su ograničene dostupnosti. ITT –dijagrami su bolji za planiranje procesa toplinske obrade nego CCT –dijagrami.
- .
- Pomoću TTT - dijagrama moguće je odrediti količinu pretvorenog austenita A u funkciji brzine i temperature hlađenja te vrste i količine nastalih faza. TTT-dijagrami koriste se i za određivanje načina hlađenja s ciljem postizanja odgovarajuće mikrostrukture i faznog sastava pogodnog za određena svojstva čelika.



Konstrukcija TTT–dijagrama

a) TTT- dijagram za točno određenu koncentraciju x [% C], a iz toga dijagrama, za poznati režim hlađenja „t- τ “ (krivulju hlađenja), mogu se pratiti pretvorbe mikrostrukture u zadanom čeliku.

Područja u TTT-dijagramu, obilježena velikim slovima, predstavljaju:

A – područje čistog austenita

F – područje pretvorbe austenita u primarni ferit

P – područje pretvorbe austenita u perlit

B – područje pretvorbe austenita u bainit

M – područje pretvorbe austenita u martenzit.

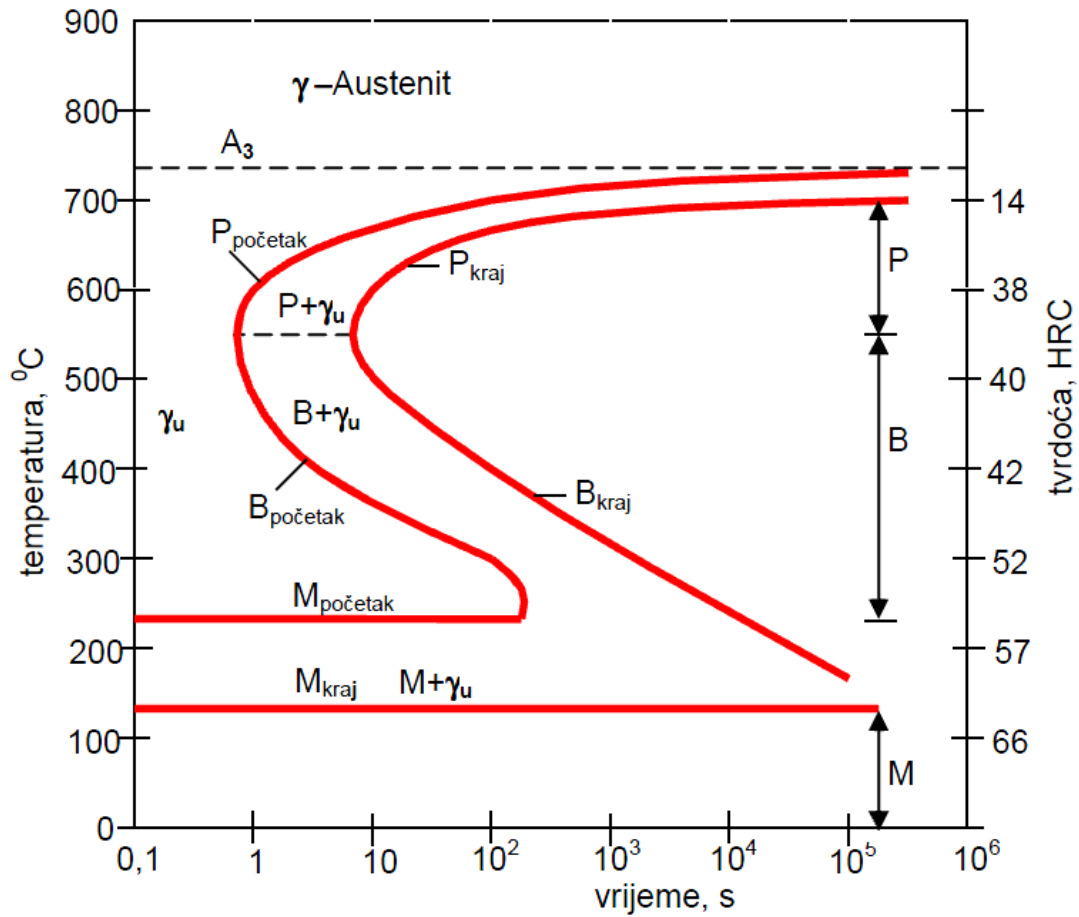
- TTT–dijagrami ne moraju točno odgovarati uvjetima promjene toplinskog stanja kod realnog izratka. Razlog te pojave leži u uvjetima snimanja TTT-dijagrama.
- Snimanje TTT–dijagrama izvodi se u posebnim (laboratorijskim) uvjetima, različitim od uvjeta toplinske obrade realnog izratka. Uzorci na kojima se snima dijagram su u pravilu znatno manjih dimenzije od izradaka na kojima se izvodi toplinska obrada.
- TTT-dijagrami daju dobru orijentaciju za izbor rashladnog sredstva u cilju postizanja određenog faznog sastava tj. svojstava. Međutim, za fino podešavanje parametara toplinske obrade i postizanje optimalnih svojstava vrlo je često potrebno napraviti pokuse.

➤ TTT - dijagram se koristi za određivanje prikladnog sredstva za gašenje, odnosno dijagrama za kontinuirano ohlađivanje te za određivanje gornje i donje kritične brzine gašenja.

Gornja kritična brzina gašenja je ona najmanja brzina ohlađivanja kod koje se dobiva potpuno martenzitna (M) mikrostruktura, a *donja kritična brzina gašenja* je ona najmanja brzina ohlađivanja kod koje tek počinje pretvorba u martenzit.

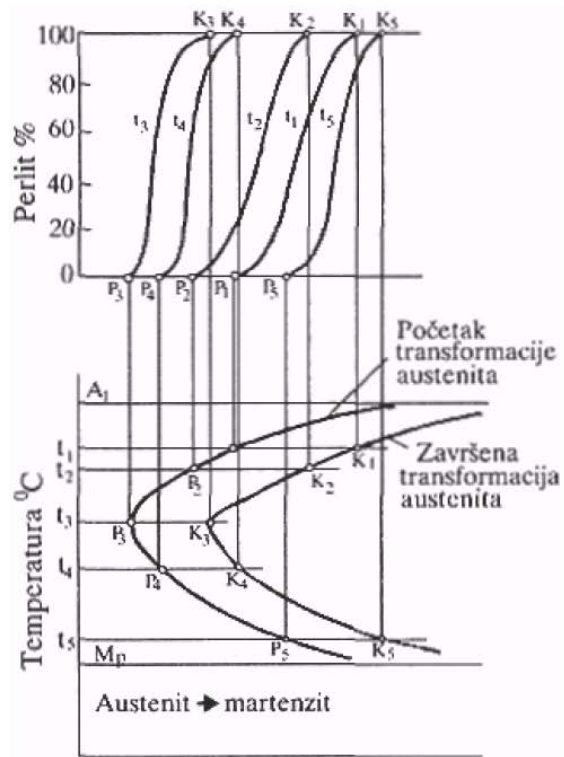
➤ Na TTT – dijagramu razlikuju se dvije krivulje od kojih lijeva predstavlja početak mikrostrukturne pretvorbe, a desna kraj mikrostrukturne pretvorbe čelika.

➤ Između ovih dviju krivulja odvija se mikrostrukturna pretvorba pri raznim temperaturama.



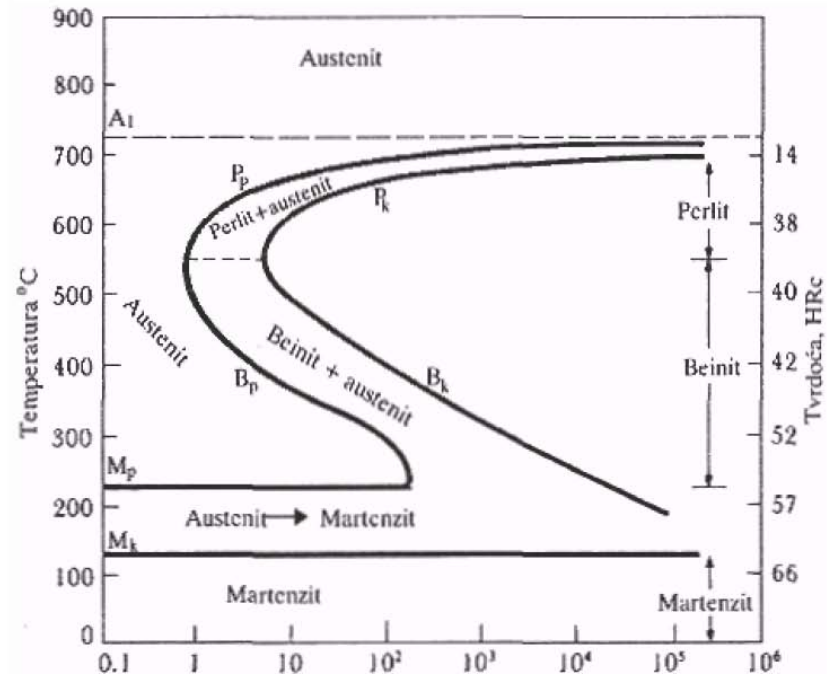
Oznake mikrostrukturnih faza:

- γ - Austenit
- A - Austenit
- P - Perlit
- B - Bainit
- M - Martenzit



Vrijeme, ln t

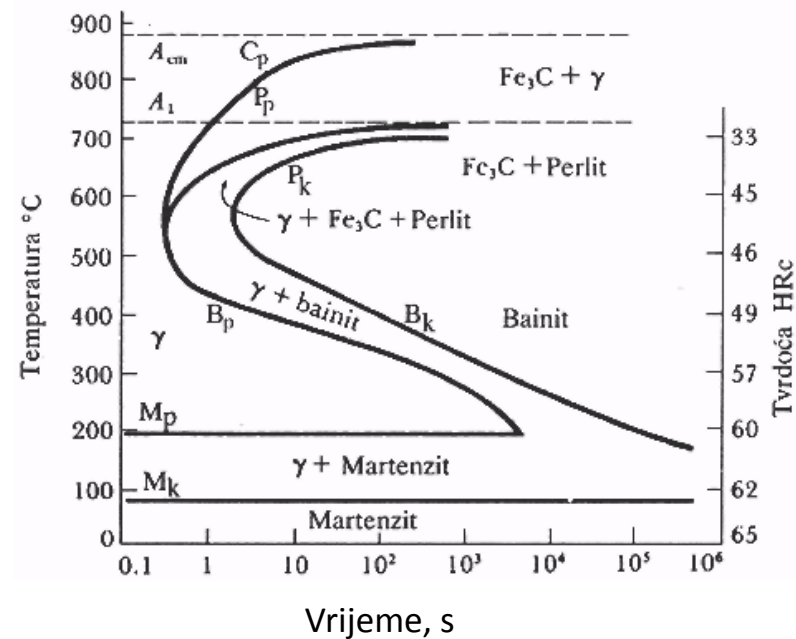
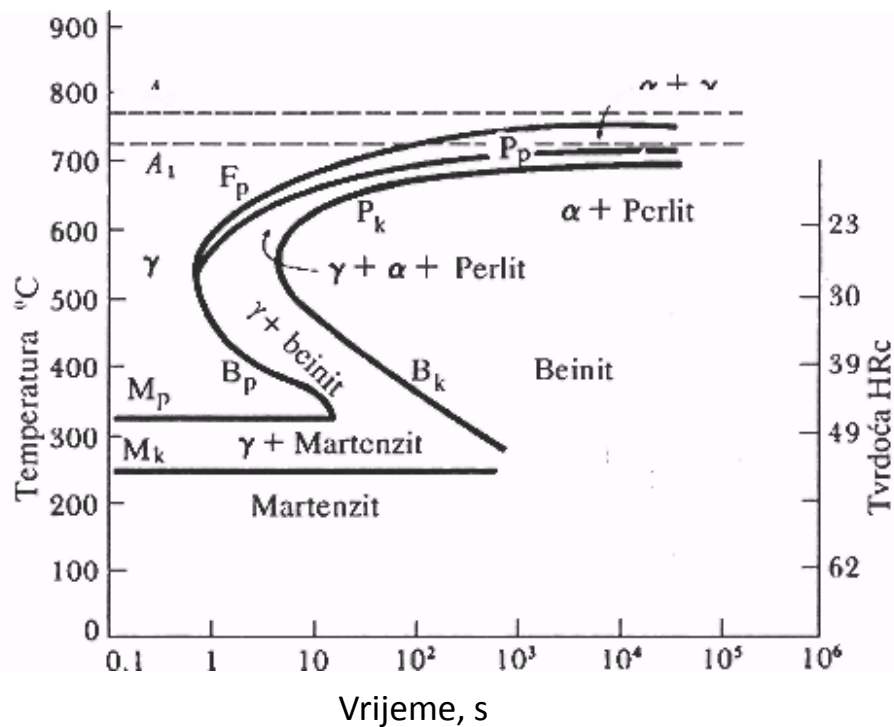
a)



Vrijeme, s

b)

- Schema konstruiranja dijagrama izotermičke pretvorbe austenita eutektoidnog čelika
- Dijagram izotermičke pretvorbe austenita eutektoidnog čelika (0.8%C), TTT -dijagram

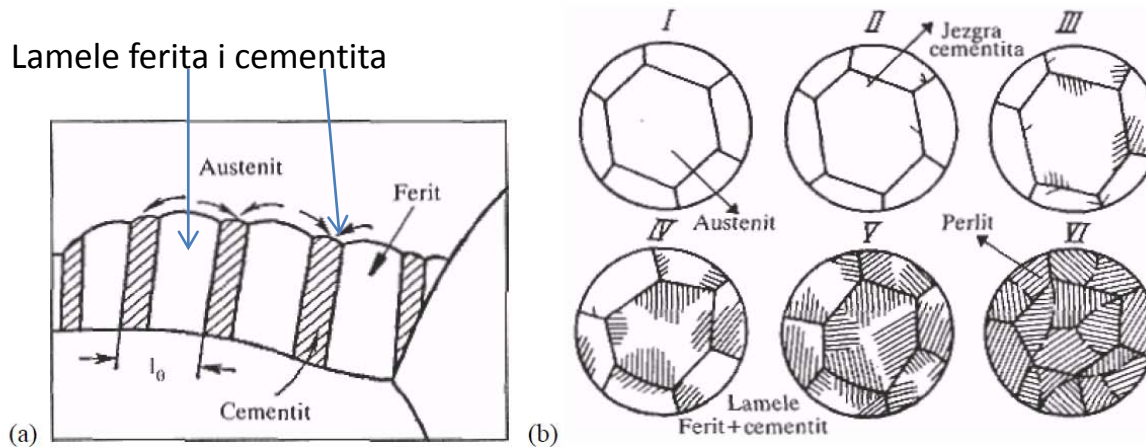


Slika 10.5. (a) Dijagram izotermičkog razlaganja austenita ili TTT–dijagram za podeutektoidni čelik;
 (b) Dijagram izotermičkog razlaganja austenita ili TTT–dijagram za nadeutektoidni čelik

Perlitna pretvorba pothlađenog austenita

➤ događa se u temperaturnom intervalu od kritične tačke A1 i započinje po difuzijskom mehanizmu. Prije pretvorbe atomi ugljika su istisnuti iz rešetke γ – Fe (austenita). Istisnuti atomi ugljika spajaju se sa željezom u intermetalni, kemijski spoj Fe_3C –cementit.

▪ Formirane jezgre cementita izdvajaju se na granicama austenitnih zrna i služe kao centri kristalizacije. Rast jezgara cementita nastaje zbog difuzije atoma ugljika iz austenita. Dijelovi austenitnog zrna, koje okružuju nastale lamele cementita, se pretvore u ferit kad se dovoljno osiromaše ugljikom, tako se sa stvaranjem lamela cementita stvaraju i lamele ferita. Tako se u austenitnom zrnu formiraju kolonije lamela ferita i cementita, koje se s vremenom povećavaju u duljinu (lokalni rast), a njima se priključuju nove lamele (bočni rast).

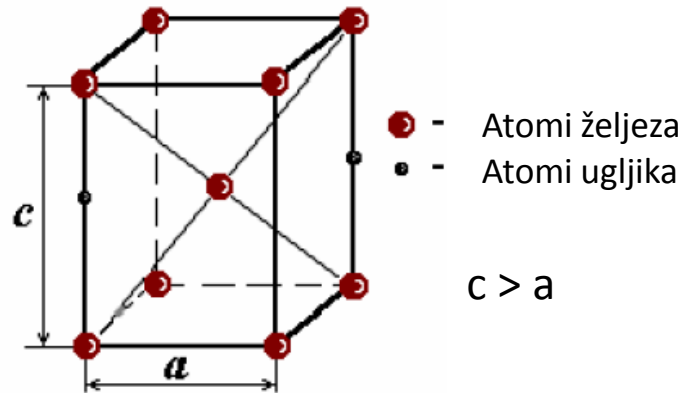


Shematski prikaz pretvorbe austenita u perlit: pravac difuzije atoma C prikazan je strelicama I – austenitno zrno; II – nastajanje centra kristalizacije cementita na granicama austenitnog zrna; III, IV i V – faze rasta nastalih lamela ferita i cementita i stvaranje perlitnih zrna, VI - perlit

- Veličina perlitnih kristalnih zrna je manja ako je manje zrno pothlađenog austenita te ako je veći stupanj pothlađivanja.
- Na nižim temperaturama pretvorbe austenita u perlit nastaje finija feritno–cementitna mikrostruktura, tj. manji je međulamelarni razmak l_0 (srednja vrijednost debljine dvije susjedne lamele ferita i cementita).
- O razmaku lamela ferita i cementita u perlitu ovise mehanička svojstva čelika: što su lamele tanje veća je tvrdoća, manja žilavost i plastičnost perlita (eutektoidnog čelika).
- Ovisno o veličini i gustoći slaganja lamela ferita i cementita, u strukturi čelika eutektoidnog sastava, razlikuju se mikrostrukture: *perlit*, *sorbit* i *trinit* ili *grubi*, *fini* i *vrlo fini perlit*. Sve tri mikrostrukture nastaju tijekom pretvorbe pothlađenog austenita difuzijom atoma ugljika prije pretvorbe austenita u perlit.

Martenzitna pretvorba

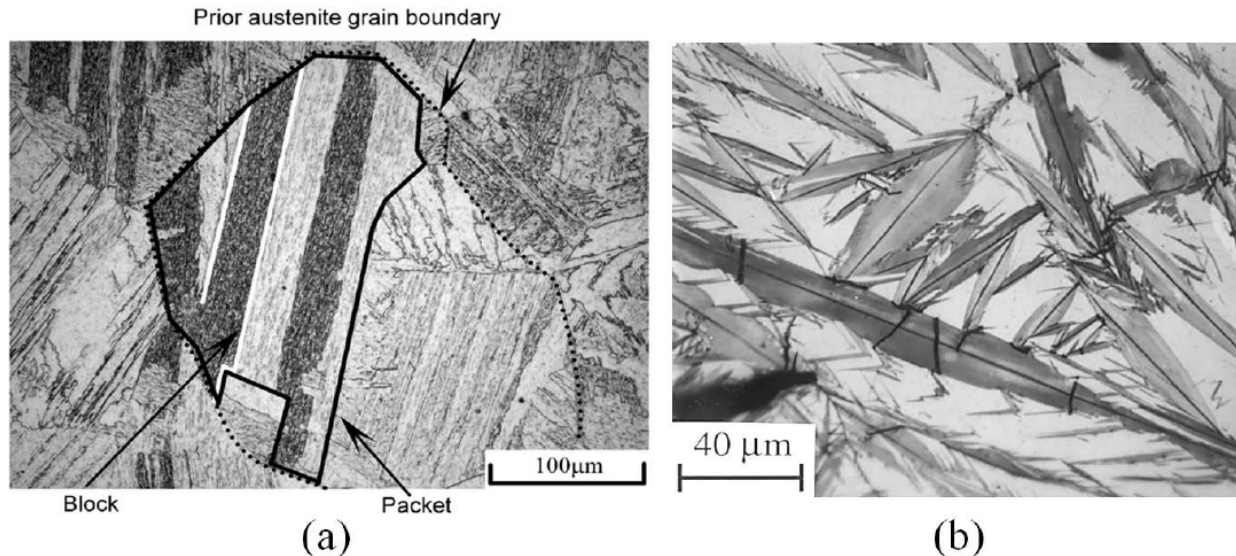
- Martenzitna pretvorba nastaje kada brzina hlađenja stabilnog austenita dostigne vrijednost kritične brzine. Austenit se bez prethodnog oslobađanja ugljika pretvara u prezasićeni α – kristal mješanac, martenzit.
- Martenzit je jednofazna struktura i predstavlja prezasićeni α – kristal mješanac ugljika i drugih legirnih elemenata u α -Fe. Nastaje kao rezultat bezdifuzijske pretvorbe austenita i ovisi samo o temperaturi, a ne i o vremenu trajanja procesa.



Schema intersticijskog kristala mješanaca martenzita. Martezit kristalizira u prostorno centriranoj tetragonalnoj kristalnoj rešetki (BCT)

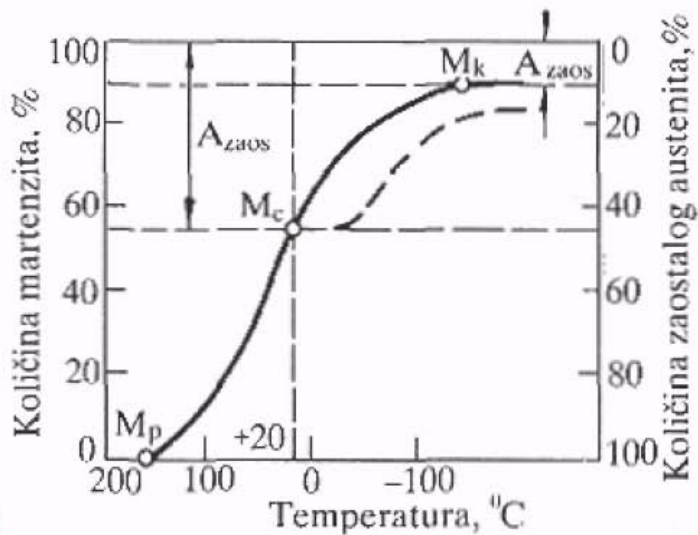
Atomi ugljika otopljeni u rešetki austenita, nakon vrlo brzog hlađenja, ostaju prisilno otopljeni u rešetki α -Fe, nesimetrično je proširuju u novu tetragonalnu prostorno centriranu rešetku BCT.

- Martenzit nastao pretvorbom austenita, sa sadržajem ugljika preko 0,15%, ima BCT kristalnu rešetku kod koje je parametar c veći od parametra a .
- Stupanj tetragonalnosti rešetke c/a , ovisi o sadržaju ugljika u čeliku; što je veći sadržaj ugljika u martenzitu, to je veći omjer c/a , tj. veća je tetragonalnost rešetke.
- Kristali martenzita u ovisnosti o sadržaju ugljika i temperaturi na kojoj se stvaraju, mogu imati različitu građu i oblik. Razlikuju se dva osnovna tipa kristala martenzita: paketasti i pločasti.

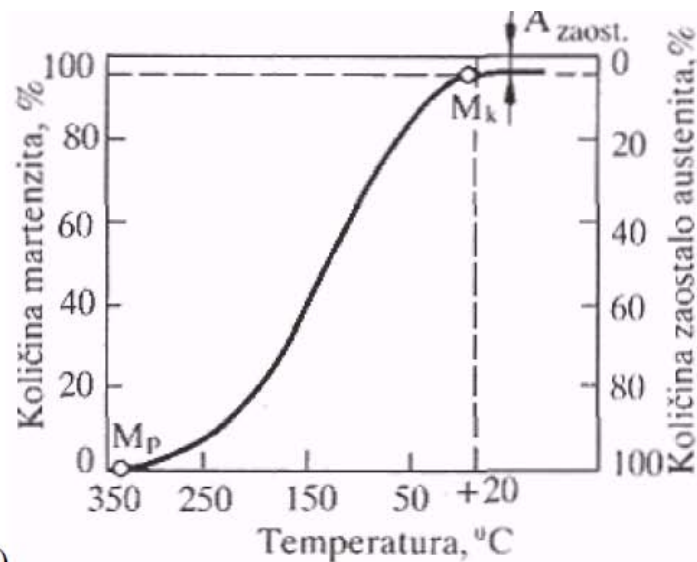


a) Mikrostruktura paketastog martenzita u željezu koje sadrži 0.0049 mas. % C; b) Pločasti martenzit u željezu koje sadrži 1.86 mas.% C

Paketasti kristali martenzita nastaju kod niskougljičnih i srednjeugljičnih i legiranih konstrukcijskih čelika ($< 0,5\% C$) i imaju oblik tankih letvica ($0,1-0,2 \mu\text{m}$) usmjerenih u jednom pravcu. Grupa ovih paralelnih kristala stvara paket.



(a)



(b)

Krivulje martenzitne pretvorbe: a) visokouglični čelik – isprekidana crta predstavlja krivulju martenzitne pretvorbe nakon stabilizacije austenita; b) krivulja srednje ugljičnog čelika

➤ Martenzitna pretvorba se ne provodi u potpunosti do kraja. Kada se dosegne temperatura M_k , kod čelika s većim sadržajem ugljika i kod legiranih čelika, tj. kod čelika čija je temperatura M_k niža od $+20^\circ\text{C}$, zaostaje određena količina austenita - *zaostali austenit (ostatni) ili masivni zaostali austenit*, za razliku od tankog sloja zaostalog austenita uvijek prisutnog kod paketastih kristala martenzita.

➤ Kod čelika s 0,6–1% C količina zaostalog austenita je $\sim 10\%$, a kod čelika s 1,3–1,5% C zaostalog austenita može biti 30–50%. Zaostali austenit se u mikrostrukturi kaljenih čelika vidi kao svjetla polja između iglica martenzita. Količina zaostalog austenita se može smanjiti hlađenjem do temperatura -100°C .

➤ **Zaostali austenit smanjuje čelicima tvrdoću, čvrstoću i otežava obradivost brušenjem.**

➤ Martenzit ima visoku tvrdoću i čvrstoću, ali je veoma krhak. Tvrdoća martenzita izravno ovisi o sadržaju ugljika i s njegovim porastom preko 0,6% dostiže tvrdoću HRC = 65, ali plastičnost i žilavost opadaju s porastom sadržaja ugljika.

- Navedena svojstva martenzita uglavnom proizlaze iz sposobnosti ometanja kretanja dislokacija intersticijski smještenih ugljikovih atoma u BCT rešetci martenzita, kao i u relativno malom broju sustava klizanja (duž kojih se kreću dislokacije) kod tetragonalne prostorno centrirane rešetke.
- Austenit ima nešto veću gustoću od martenzita, pa se pretvorbom austenita u martenzit povećava volumen. Ovo povećanje volumena u procesu brzog hlađenja, kod dijelova relativno većih dimenzija, može dovesti do deformacija pa čak i do pojava pukotina zbog povećanih unutarnjih naprezanja. Ovo je posebno izraženo kod čelika sa sadržajem preko 0,5% C.

- Martenzit je jednostavno rečeno: prezasićeni intersticijski kristal mješanac α -željeza (BCT), s ugljikom C, koji je prisilno zadržao koncentraciju izvornog austenita A.
- Martenzit je faza karakteristična za **zakaljeni čelik**. Čelik martenzitne strukture ima vrlo visoku tvrdoću (i čvrstoću), ali nisku duktilnost (lomno istezanje, kontrakciju) i nisku žilavost.
- Posljedica pretvorbe austenita u martenzit je povećanje volumena tako da će čelik martenzitne strukture imati veći volumen nego čelik feritno-perlitne (ili perlitno-cementitne) strukture.
- Čelik koji ima martenzitnu strukturu je **zakaljen, a postupak toplinske obrade, koji se sastoji od naglog hlađenja austenitiziranog čelika, naziva se kaljenje**.

Bainitna pretvorba

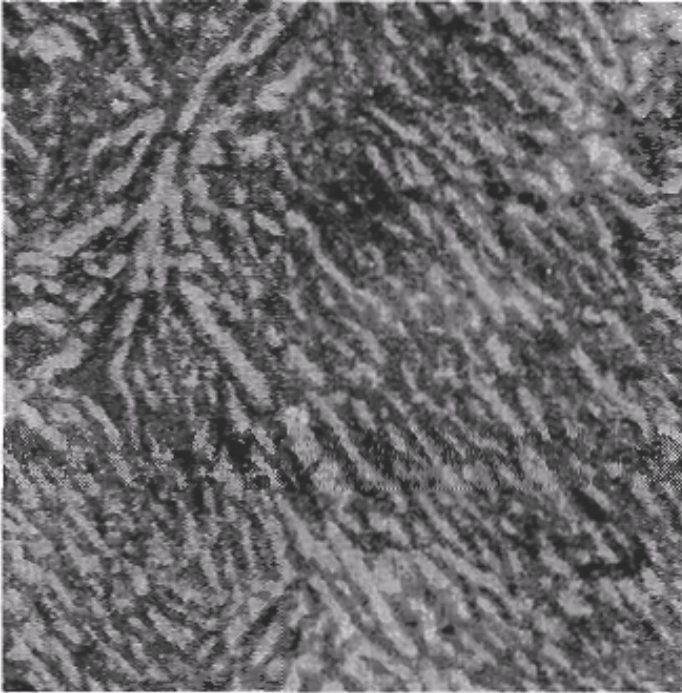
- Tijekom izotermičkog razlaganja austenita u temperaturnom intervalu između perlitne i martenzitne pretvorbe kao rezultat međufazne pretvorbe nastaje mikrostruktura koja se naziva **bainit**.
- Bainit je vrlo fine mikrostrukture, koji se sastoji od α - kristala mješanaca (ferit), prezasićen ugljikom, i iz čestica cementita.
- Za bainitnu pretvorbu je karakteristična kombinacija difuzne–perlitne i bezdifuzne–martenzitne pretvorbe zbog čega se još naziva i **međufaznom transformacijom**.
- Bainitna pretvorba počinje s difuzijskim gibanjem atoma ugljika u pothlađenom austenitu gdje nastaju područja austenita s većim ili manjim sadržajem ugljika. Ugljikom osiromašeni austenit (čije se temperature početka martenzitne pretvorbe M_p nalaze u području temperature međufazne pretvorbe $\gamma \rightarrow \alpha$) transformira se po mehanizmu martenzitne pretvorbe. Nastali niskouglični martenzit je nestabilan i odmah, na temperaturi međufaznog područja, stvara bainitnu strukturu. Iz austenita obogaćenog ugljikom, ako je prezasićenost ugljikom velika, u procesu izotermičkog razlaganja, izdvajaju se čestice cementita (Fe_3C), što dovodi do osiromašivanja austenita ugljikom i njegove daljnje transformacije sve do nastajanja bainitne mikrostrukture. Međufazna pretvorba austenita, kao i martenzitna pretvorba, ne odvijaju se u potpunosti, pa se u strukturi čelika pored bainita nalazi i određena količina zaostalog austenita.

➤ Mikrostruktura i mehanička svojstva bainita se razlikuju ovisno o temperaturi na kojoj dolazi do izotermičkog razlaganja austenita.

Postoji ***gornji bainit i donji bainit***.

➤ ***Gornji bainit*** nastaje na višim temperaturama u intervalu od 500–350°C i ima „perjastu“ građu kod koje je cementit izdvojen u obliku izoliranih uskih čestica smještenih između feritnih pločica i podsjeća na perlit. **Gornji bainit smanjuje plastičnost čelika, u usporedbi s mikrostrukturama dobivenim perlitnom pretvorbom (sorbit, trustit)**. Smanjenje plastičnosti gornjeg bainita u izravnoj je vezi s izdvajanjem relativno grubog cementita na granicama feritnih zrna. Tvrdoća i čvrstoća se ili ne mijenjaju ili se njihove vrijednosti nešto malo smanjuju.

➤ ***Donji bainit*** nastaje na nižim temperaturama u intervalu od 350°C do temperature M_p . Donji bainit ima igličastu strukturu, koja podsjeća na martenzit. Čestice cementita su sitne i izdvojene su unutar α -faze (ferit). **Donji bainit u mikrostrukturi čelika osigurava dobra mehanička svojstva, dobru plastičnost i žilavost**. Ovo se objašnjava povećanim sadržajem ugljika i velikom gustoćom dislokacija u bainitnoj α -fazi (feritu) i nastajanjem disperznog cementita raspoređenog u kristalima α -faze (feritu).



a)

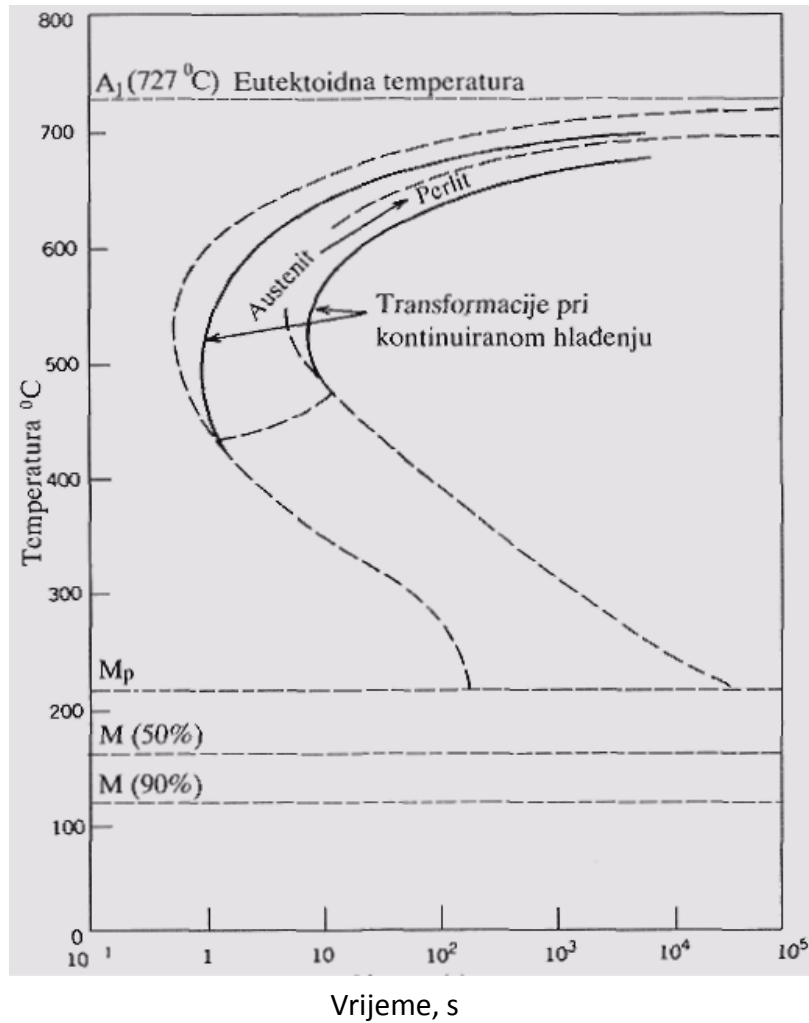


b)

Mikrostruktura bainita: (a) gornji bainit, $\times 5000$; (b) donji bainit i zaostali austenit, $\times 500$

Pretvorba austenita kontinuiranim hlađenjem

- Suvremeni postupci toplinske obrade čelika uglavnom se temelje na kontinuiranom hlađenju obratka s temperature na kojoj je austenit stabilan A1 do sobne temperature.
- Dijagrami izotermičke pretvorbe austenita vrijede samo za hlađenje u uvjetima konstantnih temperatura i moraju se modificirati ako se pretvorbe događaju na temperaturama koje se stalno mijenjaju.
- Pri kontinuiranom hlađenju potrebno je nešto više vremena za početak i kraj pretvorbe austenita. Zbog toga su krivulje izotermičke pretvorbe austenita pomaknute više udesno (dulji inkubacioni period) i ka nižim temperaturama - *dijagram kontinuiranog hlađenja*.
- ***Dijagrami kontinuiranog hlađenja omogućuju praćenje procesa pretvorbe austenita pri kontinuiranom hlađenju različitim brzinama. Uporabom ovih dijagrama mogu se dobiti tačniji podaci o temperaturnim intervalima u kojima se odvijaju fazne pretvorbe pri kontinuiranom hlađenju kao i o mikrostrukturama koje se pri tom formiraju.***



Dijagram kontinuiranog hlađenja ucrtan preko TTT - dijagrama (isprekidana linija) za ugljični čelik eutektoidnog sastava (0,8% C).

- Na dijagramu kontinuiranog hlađenja ugljičnog čelika eutektoidnog sastava ucrtane su dvije krivulje hlađenja, koje odgovaraju vrlo sporom hlađenju (hlađenje u peći) i nešto bržem hlađenju (hlađenje na mirnom zraku).
- Pretvorba austenita traje određeno vrijeme, a započinje u trenutku presjecanja krivulje hlađenja i krivulje početka pretvorbe te se završava presjecanjem krivulje hlađenja i krivulje kraja pretvorbe austenita. Mikrostrukture, koje nastaju u slučaju sporog i nešto bržeg hlađenja ugljičnih čelika, proizilaze iz perlitne pretvorbe austenita i sastoje se od lamela ferita i cementita (perlit, sorbit i trustit).
- Kontinuiranim hlađenjem ugljičnih čelika do sobne temperature neće nastati bainitna mikrostruktura zbog toga što će se sav austenit pretvoriti u perlit do trenutka kada bi bainitna pretvorba bila moguća.
- Područje na dijagramu u kojem dolazi do pretvorbe austenita u perlit završava se odmah ispod „koljena“ krivulje tj. na crti AB.
- Za bilo koju krivulju hlađenja koja prelazi preko crte AB, u točki presjecanja prestaje perlitna pretvorba, a preostali se austenit, pri dosezanju temperature M_p pretvori u martenzit. Mikrostruktura se tada sastoji se od martenzita i perlita.

- Što se tiče martenzitne pretvorbe, temperature početka M_p i kraja M_k ostaju nepromijenjene u oba dijagrama, u dijagramu izotermičke pretvorbe i dijagramu kontinualnog hlađenja.
- Pri kontinualnom hlađenju čelika najmanja brzina pri kojoj se sav austenit pretvara u martenzit, naziva se ***kritična brzina hlađenja***. Kritična brzina hlađenja je tangenta na „koljenu“ krivulje u točki gdje se završava perlitna pretvorba.
- Hlađenjem čelika brzinama većim od kritične dobiva se potpuno ***martenzitna struktura***.
- Hlađenjem čelika brzinama manjim od kritične, u određenom rasponu brzina, dobiva se perlitna i martenzitna mikrostruktura čelika;
- Pri malim brzinama hlađenja dobiva se potpuno perlitna mikrostruktura.