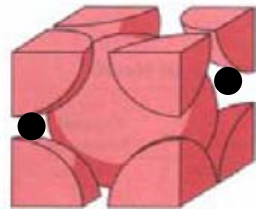
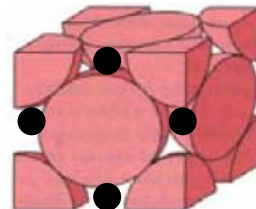
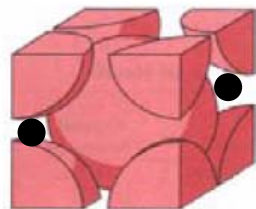


Fazni Fe – Fe₃C dijagram

- **Točan i precizan odgovor na pitanje što je čelik nije lako dati jer postoji veliki broj legura koje nose to ime. Sve one sadrže željezo i bilo bi lako reći da su čelici sve legure koje kao glavnu komponentu sadrže željezo.**
- **Postoje legure koje također kao glavnu komponentu sadrže željezo, ali nisu čelici (na primjer lijevana željeza i neke superlegure).**
- **Glavna razlika između lijevanih željeza i čelika je u rasponima sadržaja ugljika. Ti su rasponi određeni maksimalnim sadržajem ugljika koji se može otopiti u čvrstom željezu (u kristalnoj rešetci čistog željeza i stvarati intersticijske (uključinske) kristale mješance. Najveća topivost ugljika je oko 2 mas.% (u FCC rešetci željeza na 1147° C). Čelici su legure željeza koje sadrže manje od 2 mas.% ugljika dok lijevana željeza sadrže više od 2 mas. % ugljika.**
- **Mnogi čelici sadrže određene minimalne koncentracije ugljika. To ne znači da svi čelici moraju sadržavati znatne količine ugljika. U nekim čelicima je sadržaj ugljika namjerno vrlo mali. Također, količina ugljika u kristalu mješancu željeza smanjuje se dodavanjem legirnih kemijskih elemenata koji imaju veliku tendenciju ka stvaranju karbida, intermetalnih spojeva s ugljikom.**

Topivost ugljika je veća u FCC rešetci željeza nego u BCC, jer su prostori za intersticijski položaj atoma ugljika veći kod FCC rešetke.

Atom ugljika ●



1538°C
Taljevina željeza

1394°C
 δ kristal mješanac željeza i ugljika (BCC kristalna rešetka) - ferit

912°C
 γ kristal mješanac željeza i ugljika (FCC kristalna rešetka) - austenit

25°C
 δ kristal mješanac željeza i ugljika (BCC kristalna rešetka) - ferit

Shematski prikaz intersticijskih kristala mješanaca alotropa željeza s ugljikom

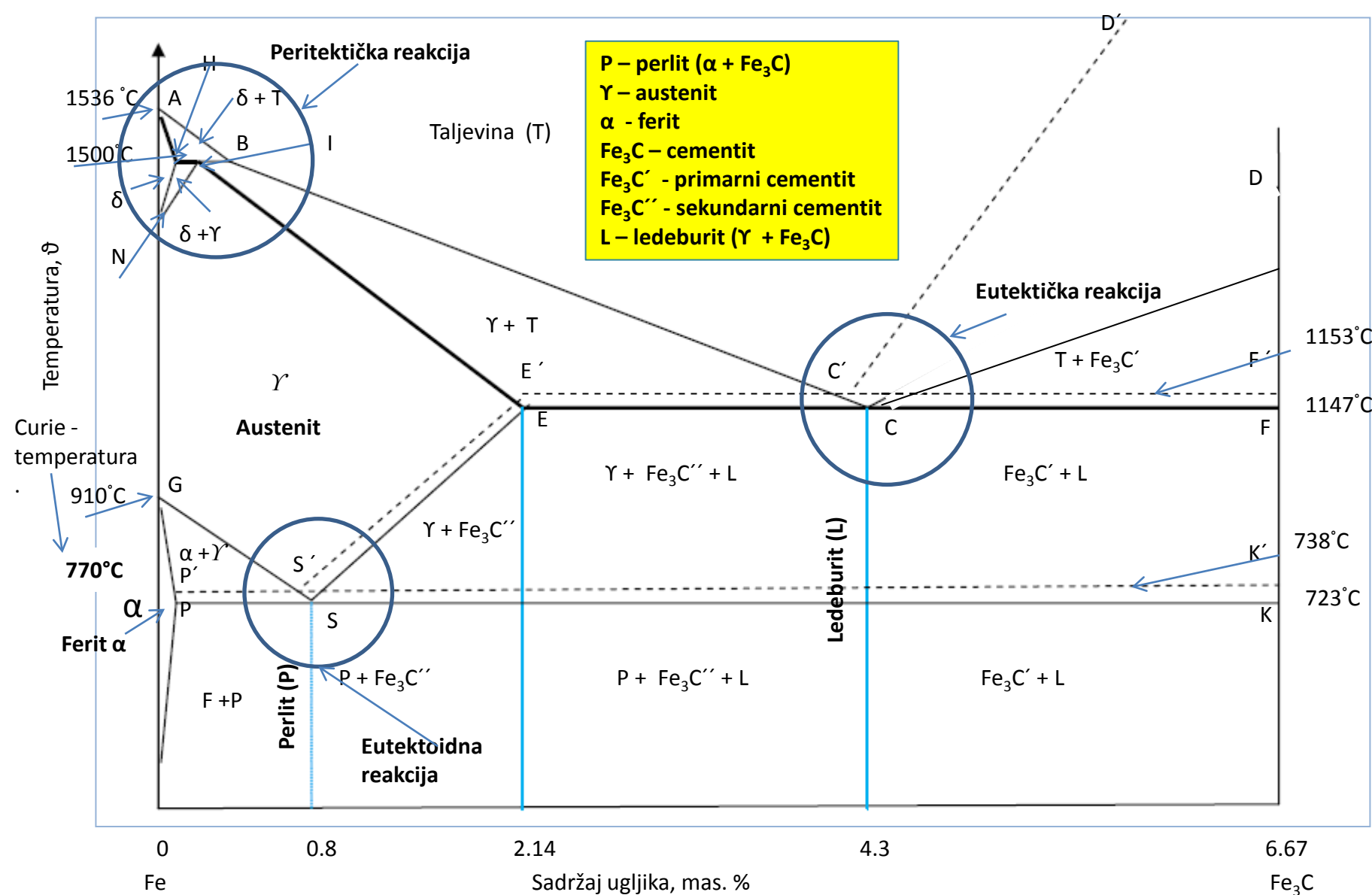
Ravnotežni (Fe – C) i metastabilni (Fe- Fe₃C) dijagrami.

Ravnotežni dvokomponentni fazni dijagram Fe-C (označen s isprekidanom crtom) opisuje područja faza koja uključuju ugljik u obliku grafita i kristale mješance alotropskih modifikacija (alotrope) željeza sa u njima intersticijski smještenim atomima ugljika. Međutim, grafit se obično ne formira u komercijalnim čelicima osim ako se čelik ozbiljno ne pregrije. To je zbog toga što tu postoje metastabilne karbidne faze koje mogu započeti rasti mnogo brže nego li to može grafit iz prezasićene otopine kristala mješanca. Najvažniji od tih karbida je Fe₃C (cementit).

Ako je u željezu vrlo niska koncentracija sumpora (S) i fosfora (P) Fe₃C se može razložiti na grafit i željezo za otprilike 8 sati na 700°C. Taj se način razvijanja grafita naziva grafitizacija i nepoželjan je jer oslabljuje mehanička svojstva čelika.

Ipak, grafit ne brzim hlađenjem kojim se izlaže čelik. Cementit je pronađen u mnogim višestoljetnim arheološkim nalazima.

Zbog toga relevantni dijagram za praktične svrhe je **metastabilni dijagram Fe- Fe₃C (označen punom crtom)** na kojem cementit zamjenjuje grafit.



Fazni dijagram Fe – Fe₃C

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

□ Na faznom dijagramu **Fe – Fe₃C** zaokružene su 3 specifične reakcije karakteristične za procese hlađenja legura željeza s različitim koncentracijama ugljika.

- **Peritektička reakcija** gdje se na peritektičkoj temperaturi od 1500°C i u peritektičkoj točki / taljevina, T i δ (BCC) kristali mješanci željeza ohlade u **austenit** – γ (FCC).

- **Eutektoidna reakcija** (potpuna) nastaje na eutektoidnoj temperaturi od 273°C i kod koncentracije ugljika od 0.8 mas. % gdje se austenit transformira u strukturu **perlit** koja se sastoji iz ferita α i cementita Fe₃C.

I peritektička i eutektoidna reakcija odnose se na čelike.

- **Eutektička reakcija** odnosi se na lijevana željeza. Na eutektičkoj temperaturi od 1147°C u eutektičkoj točki taljevina, T hlađenjem prelazi u austenit i cementit koji se kao struktura naziva **ledeburit**, L.

Na temperaturi od 770°C čelici se transformiraju iz paramagnetičnog u feromagnetično stanje. Ta temperatura naziva se Curie temperatura.

Peritektička reakcija

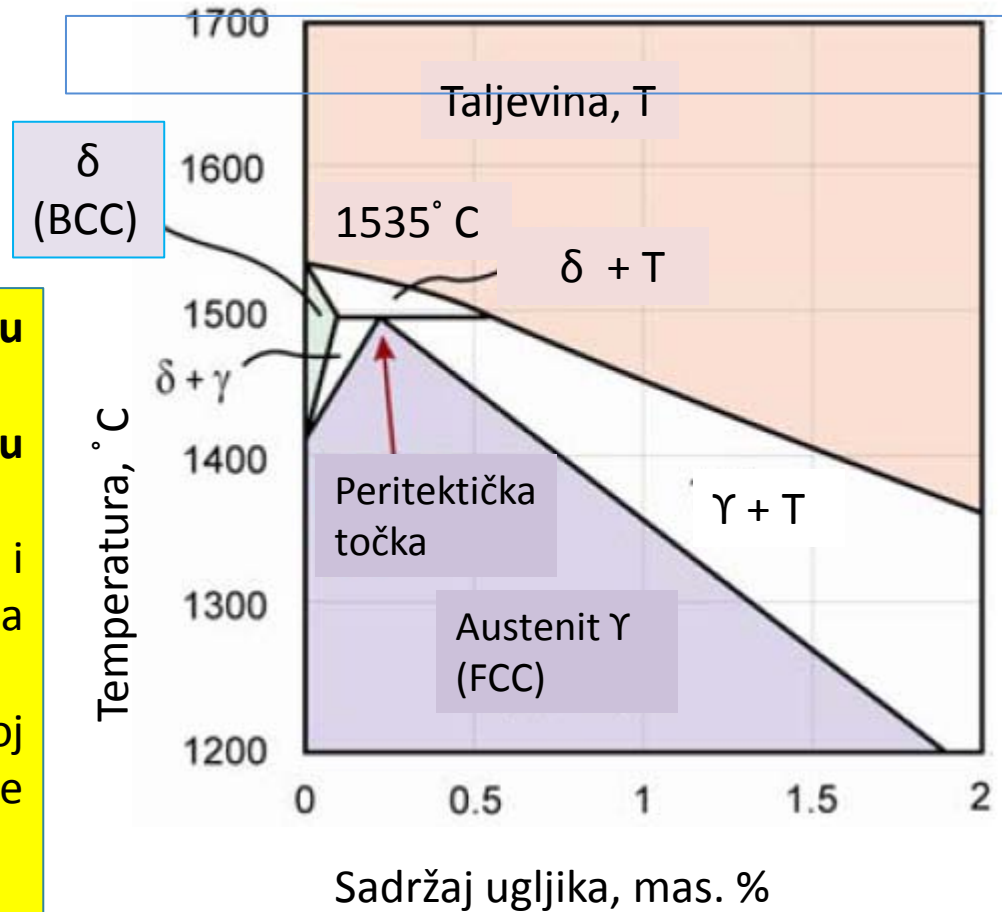
δ (BCC) + T

Austenit γ
(FCC)

Na peritektičkoj temperaturi 1500°C , u peritektičkoj točki, δ (BCC) i taljevina T se transformiraju u austenit γ (FCC).

Kaže se da se iz dvije faze (čvrste i tekuće) razvila nova čvrsta faza **austenit**.

To se događa na vrlo visokoj temperaturi kod vrlo male koncentracije ugljika u čeliku.



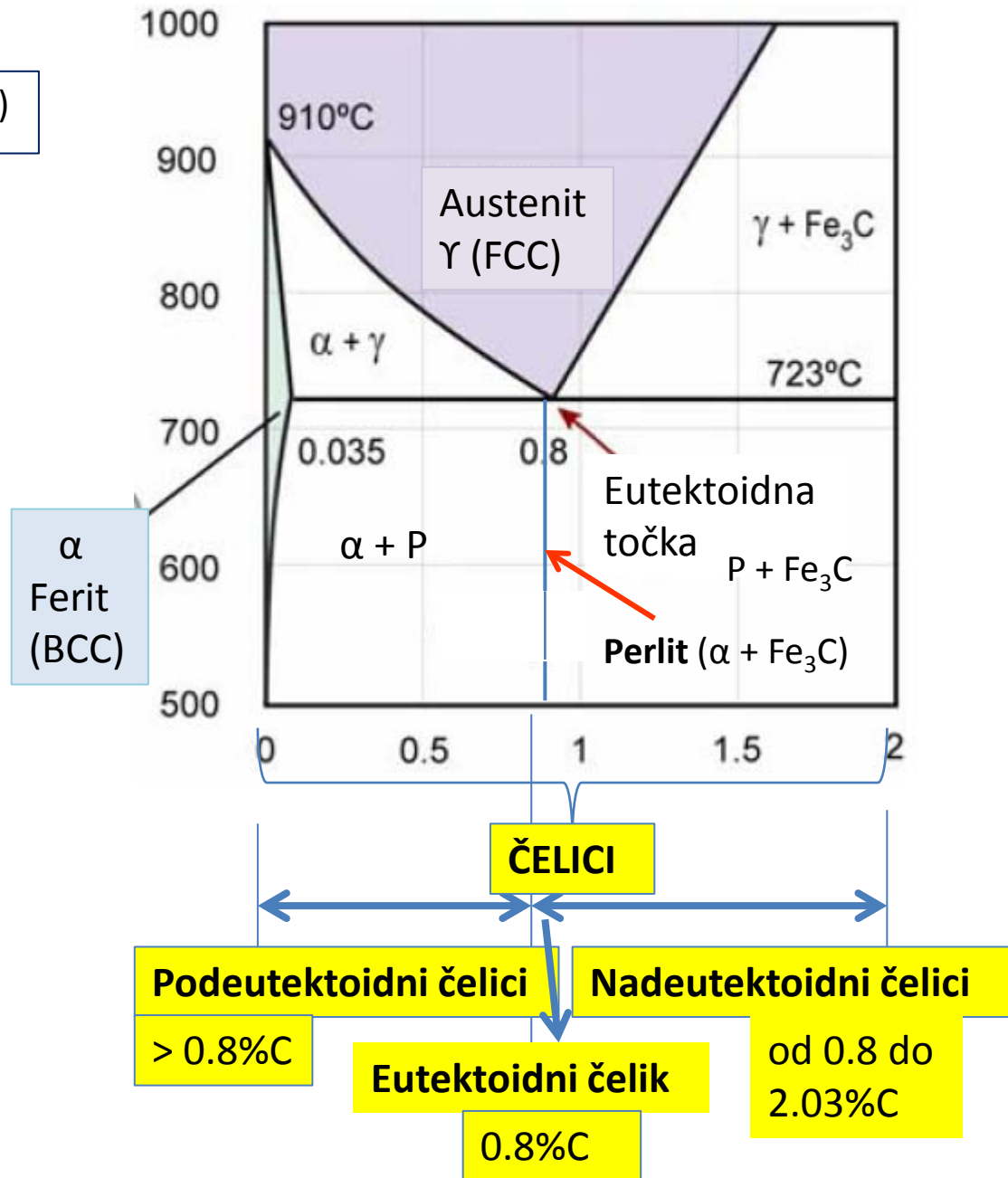
Eutektoidna reakcija

Austenit γ (FCC)



Perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$)

Na eutektoidnoj temperaturi od 273°C austenit γ (FCC), kod koncentracije ugljika od 0.8 mas. %, se razlaže na perlit (ime mikrostrukture eutektoidnog čelika) koji se sastoji iz α ferita i Fe_3C cementita.



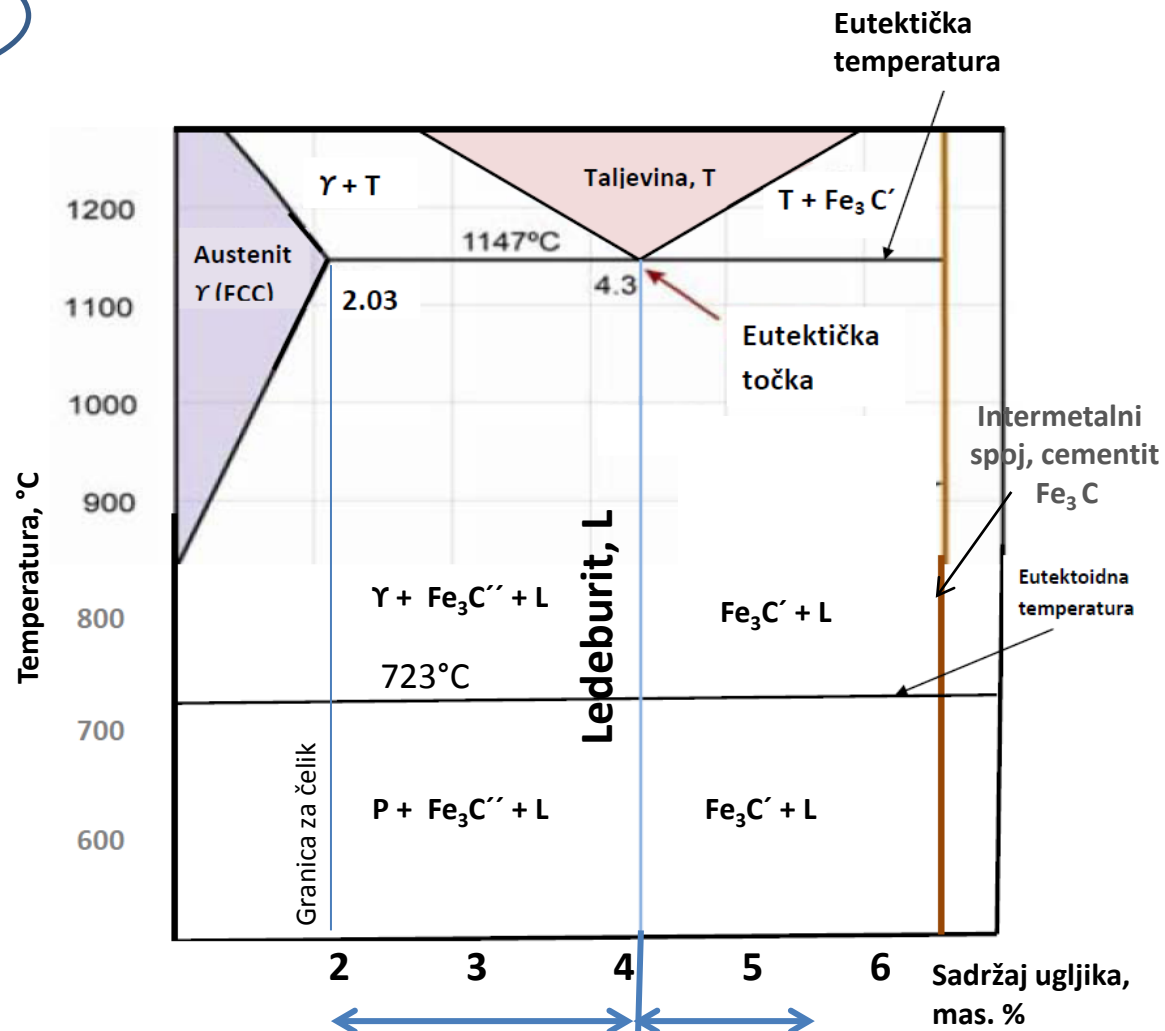
Eutektička reakcija

Eutektička reakcija karakteristična je za lijevana željeza.

Taljevina → Ledeburit, L

Taljevina na eutektičkoj temperaturi od 1147°C i u eutektičkoj točki (4.3 mas.% C) prelazi u čvrsto stanje koje se kao mikrostruktura naziva **ledeburit ($\gamma + \text{Fe}_3\text{C}'$)**.

Na eutektoidnoj temperaturi od 723°C γ (austenit) se transformira u perlit, P.



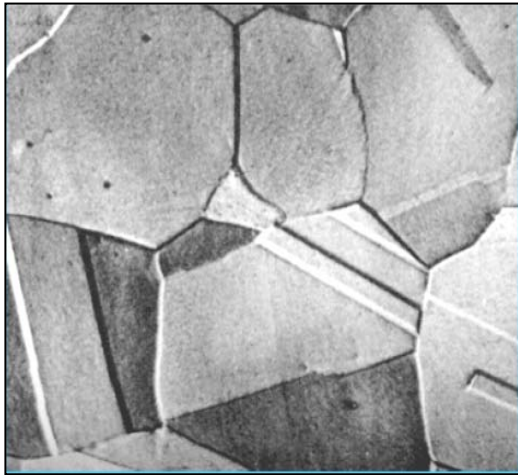
Podeutektičko lijevano željezo

Nadeutektičko lijevano željezo

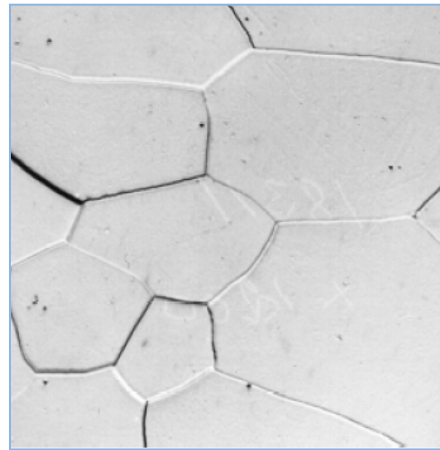
Eutektičko lijevano željezo, ledeburit

Mikrostrukture faznog Fe – Fe₃C dijagrama

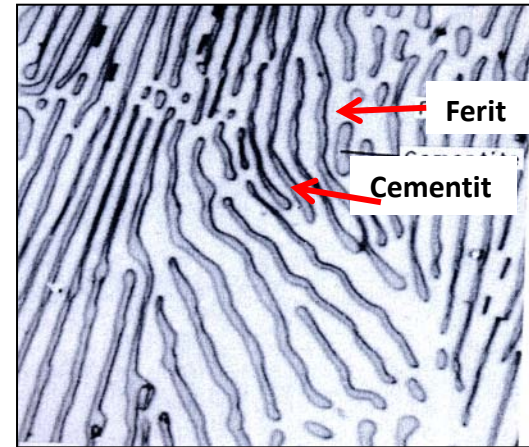
Mikrostrukture čelika



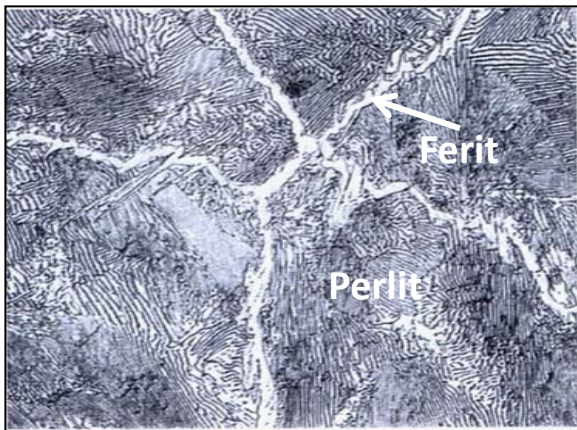
Mikrostruktura austenita



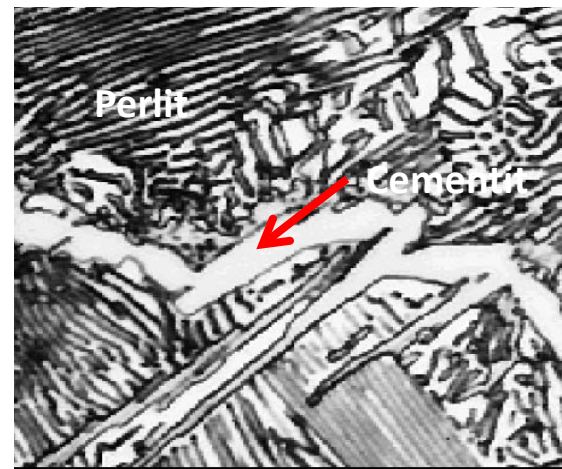
Mikrostruktura ferita



Mikrostruktura perlita

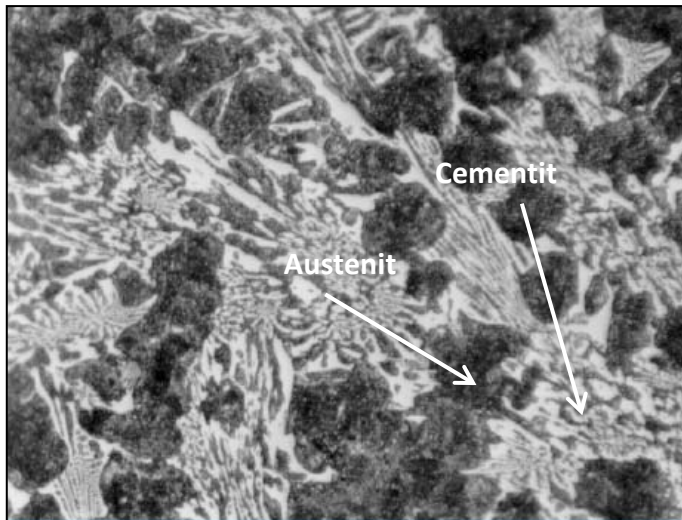


Mikrostruktura podeutektoidnog čelika

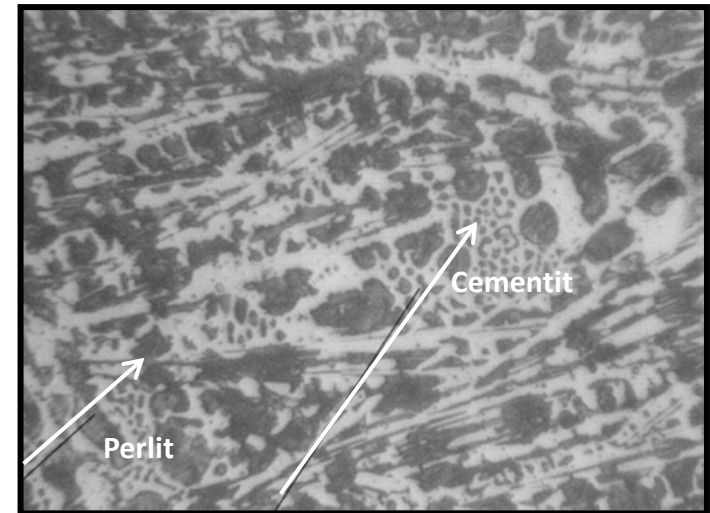


Mikrostruktura nadeutektoidnog čelika

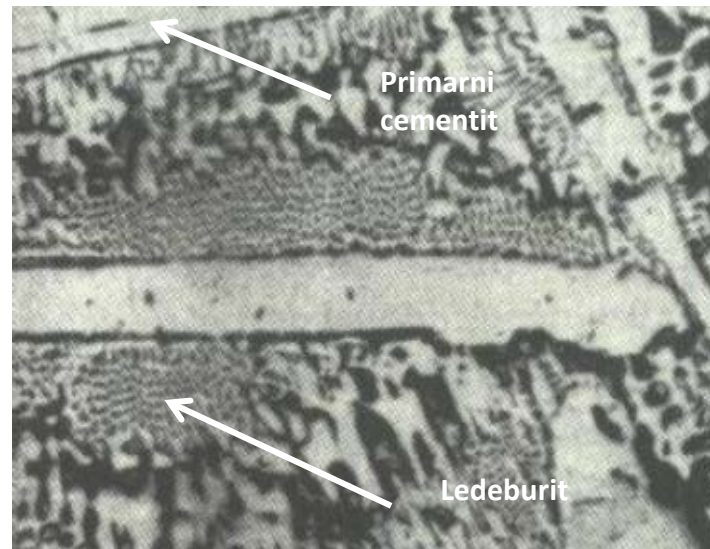
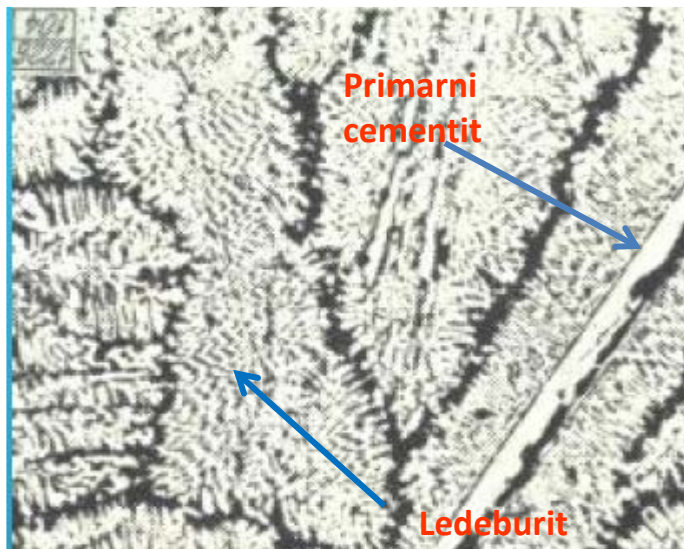
Mikrostruktura lijevanih željeza



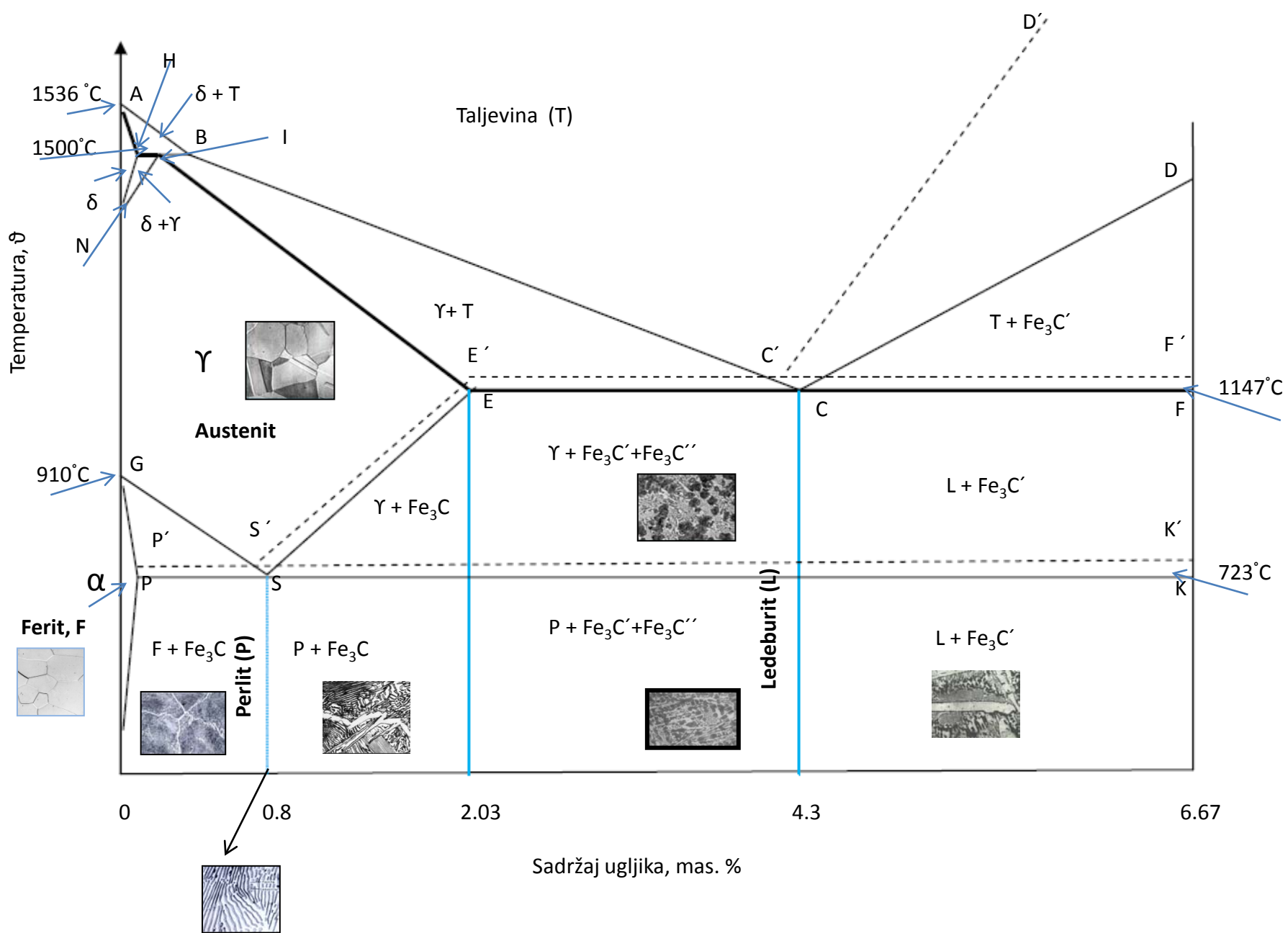
**Mikrostruktura ledeburita ($\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$)
prije eutektoidne transformacije**



**Mikrostruktura ledeburita ($\text{P} + \text{Fe}_3\text{C}$)
nakon eutektoidne transformacije**



Mikrostruktura nadeutektičkog lijevanog željeza



- Može se primijetiti da ispod eutektoidne temperature nema austenita (dijagram Fe – Fe₃C) jer tamo je željezo legirano samo s ugljikom. Ali, poznati su nam austenitni čelici.
- Za postizanje drukčijih mikrostruktura pa time i novih svojstava čelika i lijevanih željeza oni se legiraju i prema potrebi toplinski obrađuju.

Legirni elementi koji se dodaju čelicima mogu se podijeliti u dvije skupine:

- **Gamageni** legirni elementi ili austenotvorci promiču ili stabiliziraju austenit (γ - FCC)
- **Alfageni** legirni elementi ili feritotvorci promiču ili stabiliziraju ferit (α – BCC)), neki su od njih i karbidotvorci

Alfageni legirni elementi	Gamageni legirni elementi	Karbidotvorci
Krom, Cr	Nikal, Ni	Krom, Cr
Molibden, Mo	Mangan, Mn	Molibden, Mo
Silicij, Si	Ugljik, C	Niobij, Nb
Niobij, Nb	Dušik, N	Titanij, Ti
Aluminij, Al	Bakar, Cu	Volfram, W
Vanadij, V	Kobalt, Co	Vanadij, V
Volfram, W		Tantal, Ta

LIJEVANA ŽELJEZA (legirana)

```
graph TD; A[LIJEVANA ŽELJEZA (legirana)] --> B[Sivi lijev]; A --> C[Nodularni lijev]; A --> D[Bijeli (tvrđi lijev)]; A --> E[Temper (kovkasti) lijev];
```

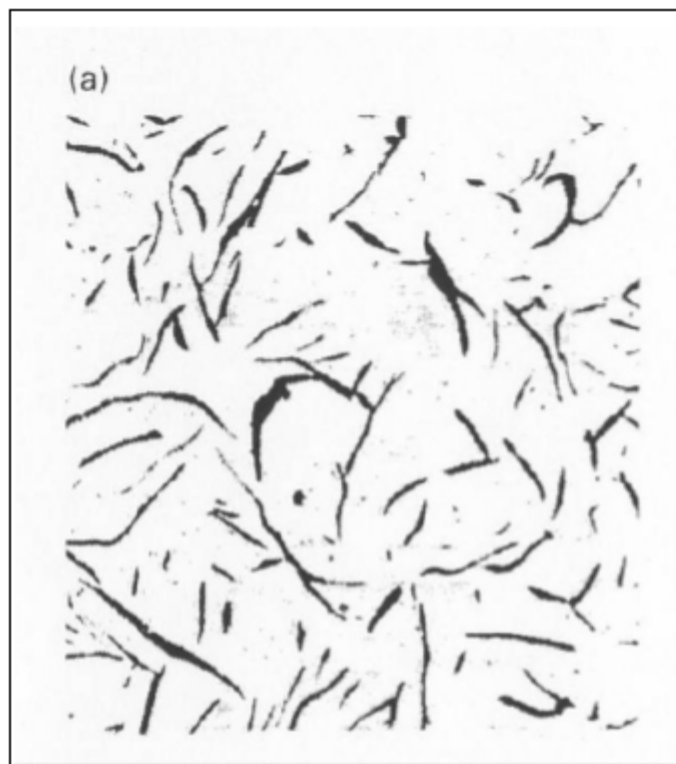
Sivi lijev

Nodularni lijev

Bijeli (tvrđi lijev)

Temper
(kovkasti) lijev

SIVI LIJEV



Sivo lijevano željezo je krhko – uzduž grafitnih listića

Grafit osigurava podmazivanje strojeva i ima efekt prigušivanja vibracija



Mikrostruktura sivog lijeva s listićima grafita

Kemijski sastav sivog lijeva

3,5...4,5 %Si
0,3...1,2 %Mn
1,4 %Si
0,4...1,5 %P
< 0,1 %S

Si – jak grafitizator koji omogućuje stvaranje grafita

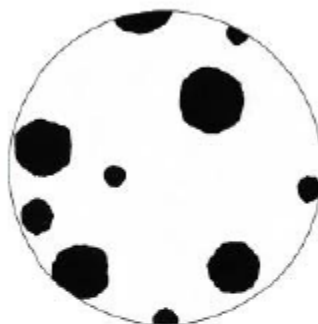
P – grafitizator koji poboljšava livljivost. Štetan jer smanjuje žilavost

Mn , **S** cementatori

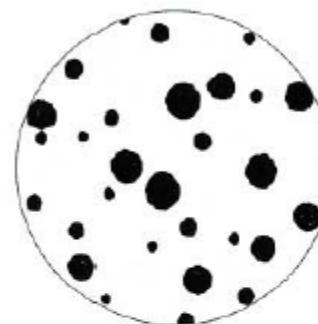
NODULARNI LIJEV



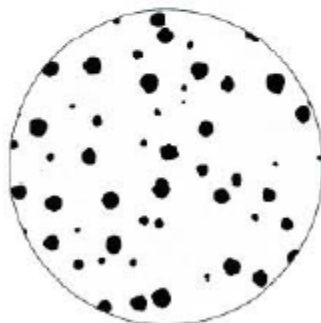
3
25 - 50mm



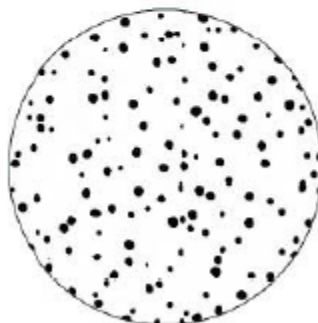
4
12 - 25mm



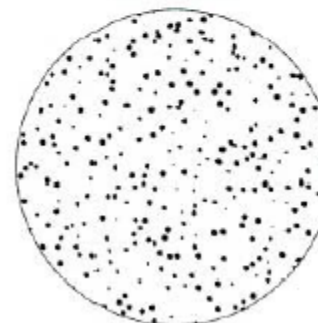
5
6 - 12mm



6
3 - 6mm



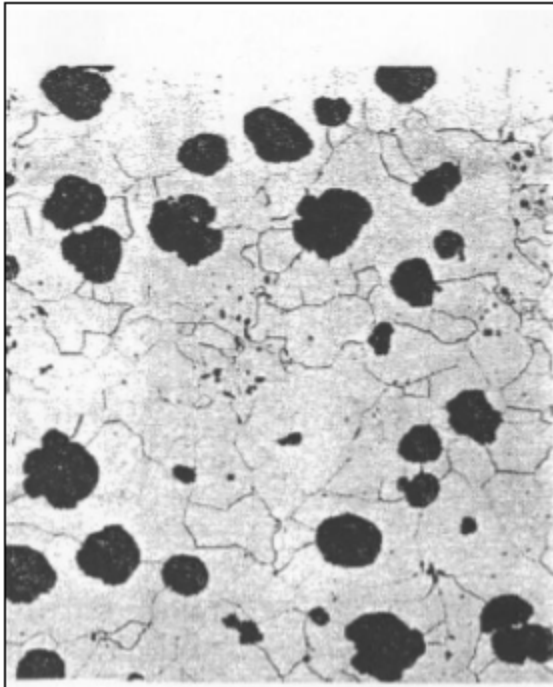
7
1,5 - 3mm



8
< 1,5mm

Normirane veličine grafitnih nodula u nodularnom lijevu

NODULARNI LIJEV



- Za postizanje kuglica grafita u taljevinu se dodaju Mg ili Ce
 - Skuplji je od sivog lijeva
- U odnosu na sivi lijev je duktilniji i manje krhak
- upotrebljava se tamo gdje je potrebno nešto duktilnosti i žilavosti (za visoko mehanički opterećene strojne dijelove)



Mikrostruktura nodularnog lijeva

BIJELI (TVRDI) LIJEV

➤ dobiven *forsiranjem* metastabilne kristalizacije u metalnoj kokili ili u mokrom pješčanom kalupu

➤ **kemijski sastav** taljevine:

2,5...3,5 %C

< 0,6 %Si

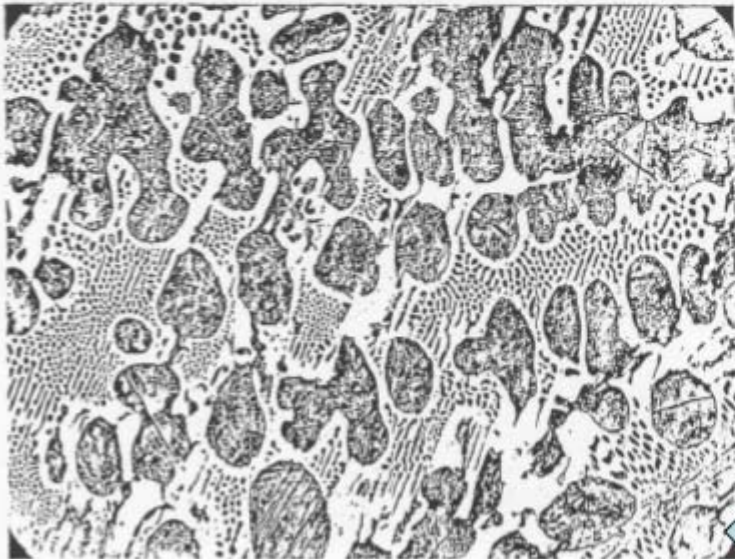
3,0...4,0 %Mn

< 0,9 %P

< 0,25 % S

➤ **Mn** - kao **cementator** pospješuje stvaranje karbida, odnosno sprječava stvaranje grafita

BIJELI (TVRDI) LIJEV



- lijev s karbidima
- brzo ohlađivanje (karbid nastaje jer nema vremena za nastajanje grafita)

karbiditvorci: Cr, V,...

- skuplji od sivog lijeva
- tvrd je i lomljiv

Mikrostruktura bijelog lijeva

SVOJSTVA BIJELOG (TVRDOG) LIJEVA:

- tvrd (> 400 HV) i krhak
 - osjetljiv na udarna opterećenja
 - mala istezljivost
 - velika otpornost na pritiske i abrazijsko trošenje
 - teško obradljiv odvajanjem čestica
- pri lijevanju dolazi do stvaranja šupljina i zaostalih naprezanja

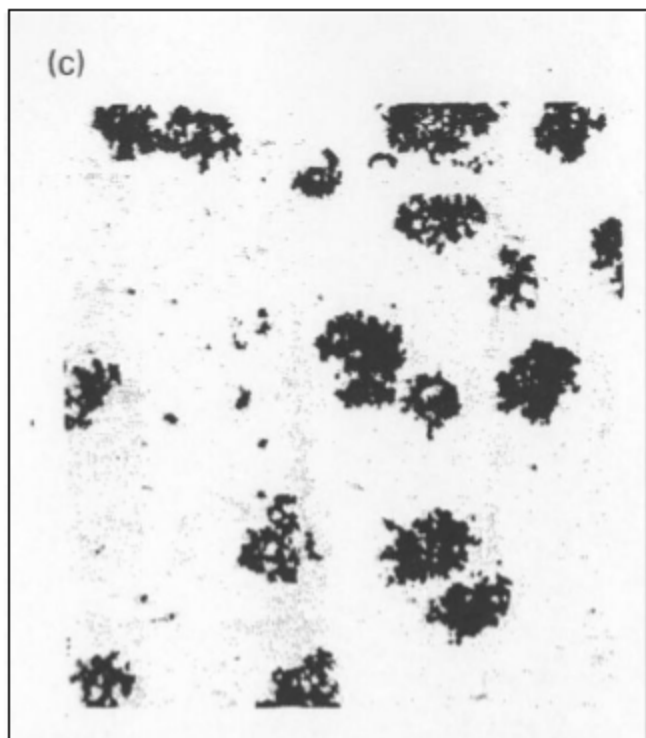
PRIMJENA:

- valjci u metalnoj i drugim industrijama
 - kotači i papuče kočnica
 - dijelovi za drobilica za kamen
 - alati za izvlačenje žice
 - matrice za briketiranje ugljena
- oklopi bubnjeva u industriji cementa
- kugle u bubnjevima za drobljenje ugljena i sl.

TEMPER (KOVKASTI) LIJEV

- sirovina za dobivanje ovoga lijeva je bijeli tvrdi lijev
- odljevci bijelog tvrdog lijeva su tvrdi i krhki,
- za dobivanje manje tvrdoće, veće žilavosti, kovkosti i bolje obradljivosti odljevci iz bijelog tvrdog lijeva moraju se podvrgnuti decementacijskom žarenju

TEMPER LIJEV



- Podeutektičke legure željeza koje skrućuju u kalupu u strukturu kao bijeli lijev
- naknadnim žarenjem odljevaka dobivaju se mehanička svojstva slična nodularnom lijevu
- grafit je u strukturi sličan onom u nodularnom lijevu
- svojstva su slična nodularnom lijevu



Mikrostruktura temper lijeva