

**UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI
KATEDRA ZA METALNE MATERIJALE**

Zenica, 18.01.2008. godine

S E M I N A R S K I R A D

**Iz Predmeta: Materijali
Tema : Livenje gvožđa**

**Pregledala :
v.prof.dr.sc Nađija Haračić**

**Predale:
Alić Ena
Ibraković Lejla**

S A D R Ź A J

- 2. Uvod**
 - I Kristalizacija sivog gvožđa**
- 3. II Reakcije u sistemu Fe-C**
 - Eutektička transformacija u lijevanom željezu**
 - Eutektoidna transformacija u lijevanom željezu**
- 5. III Kristalne strukture Fe-C legura prema stabilnom dijagramu stanja**
 - IV Livena gvožđa**
- 6. Bijela livena gvožđa**
- 7. Siva livena gvožđa**
- 8. Mehanička svojstva sivih livenih gvožđa**
 - Podjela sivog liva po JUS-u**
- 9. Legirana livena gvožđa**
- 10. Odbijeljeno liveno gvožđe**
 - Temper livena gvožđa**
- 11. Crni temperovani liv**
- 12. Mehanička svojstva crnog temperovanog liva**
 - Bijeli temperovani liv**
- 13. Mehanička svojstva bijelog temperovanog liva**
 - Modularni liv**
- 14. Termička obrada livenih gvožđa**

U V O D

I Kristalizacija sivog gvožđa

Stabilni ravnotežni dijagram Fe-Ce koji odgovara kristalizaciji grafita prikazuje se uvijek skupa sa metastabilnim dijagramom Fe-Fe₃C i to isprekidanom linijom. Ovaj dijagram je pomaknut prema višim temperaturama (eutektička sa 1.145-1.153°C) S-738 i nižim temperaturama.

Tačke se označavaju istim slovima samo sa oznakom "prim" .

Kod kristalizacije po stabilnom ravnotežnom dijagramu Fe-C umjesto cementita kristalizira grafit, pa prema tome gdje se u metastabilnom dijagramu pojavljuje primarni Fe₃C u stabilnom se pojavljuje primarni grafit.

Sekundarni Fe₃C zamjenjuje sekundarni grafit; ledeburit grafitnim eutektinim aperlit grafitni eutektoid. Do kristalizacije po stabilnom ravnotežnom dijagramu može doći samo kod vrlo polahkog hlađenja i legiranjem sa grafitornim elementima.

U industriji kristalizacija gvožđa obično teče kombinovano po metastabilnom i stabilnom dijagramu. Po stabilnom dijagramu gvožđa kristaliziraju samo u temperaturnom području do nešto ispod eutektičke reakcije da bi zatim kod nižih temperatura preobražaja tekli po metastabilnom Fe-Fe₃C dijagramu.

Prema tome će gvožđa u uslovima hlađenja u industriji npr.u livnicama, kristalizirati do nešto ispod eutektične temperature kao austenit i grafitni eutektikum, a kod daljeg hlađenja će se iz austenita stvarati sekundarni Fe₃C dok će na eutektoidnoj temperaturi preostali austenit preći u perlit.

Posljedica takve kombinovane kristalizacije su kristalne strukture sivog gvožđa u industriji koje se sastoje iz grafitnih lamela u metalnoj osnovi koje sačinjavaju perlit(perlitni liv) ili perlit i cementit ili perlit i ferit. Struktura metalne osnove, kao i količina ugljika izlučenog kao grafit zavisi od brzine hlađenja i legirajućih elemenata u gvožđu.

Oznaka tačke temperatura °C % C

E'	1153	2,11
C'	1153	4,26
S'	738	0,69

II Reakcije u sistemu Fe-C

Eutektička transformacija u lijevanom željezu

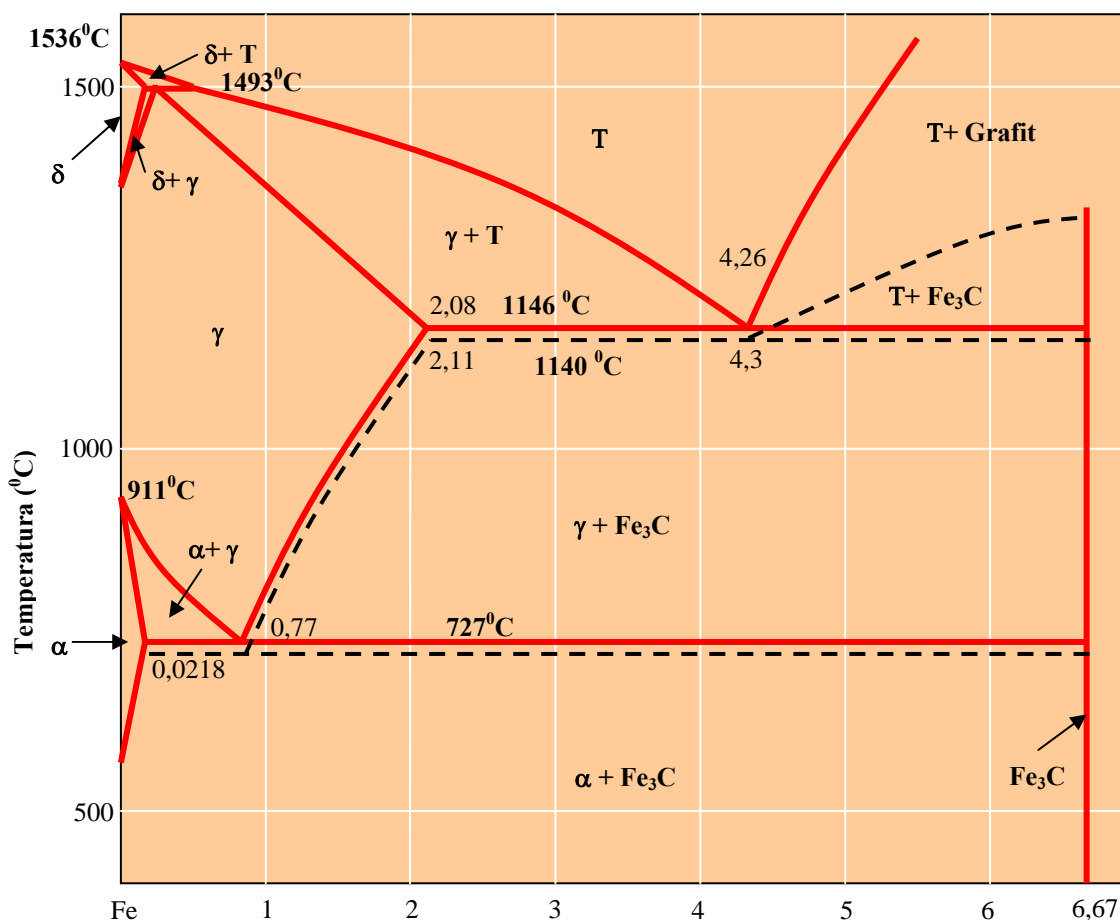
Na osnovi Fe-Fe₃C faznog dijagrama (crtkana linija), eutektička transformacija se zbiva u Fe-C leguri na 1140 °C: T → "Y + Fe₃C.

Ako mi proizvodimo lijevano željezo upotrebljavajući legure željezo-ugljik, ova transformacija stvara bijeli lijev s mikrostrukturom sastavljenom od Fe₃C i perlita, Fe-Fe₃C sastav je metastabilni fazni dijagram. Pod ravnotežnim uvjetima, eutektička reakcija je: T → "Y + grafit Fe-C fazni dijagram prikazan je na slici 1.

Kod stabilne eutektičke reakcije na 1140 °C je: T → "Y + grafit i nastaje sivi lijev, žilavi lijev i lijev s kompaktnim ugljikom.

U legurama Fe-C, taljevina se lako pothladi na 6 °C (temperaturna razlika između stabilne i metastabilne eutektičke temperature) i formira se bijelo lijevano željezo. Dodajući oko 2 % Si, željezo povećava temperaturnu razliku između eutektika, dozvoljavajući veća pothlađenja i duže vrijeme za nukleaciju i rast stabilnih eutektičkih grafita. Dakle, silicij je stabilizirajući element za grafit. Suprotan efekt imaju krom i bizmut, koji pospješuju bijelo lijevano željezo.

Također se mogu dodavati globulatori, kao što je FeSi legure, da bi se poboljšala nukleacija grafita ili se može reducirati brzina hlađenja odljevka, da bi se omogućilo duže vrijeme za rast grafita.



Slika 1. Fazni dijagram Fe-C pokazuje relaciju između stabilne željezo-grafit ravnoteže (puna linija) i metastabilne željezo-cementit transformacije (crtkana linija).

Silicij također smanjuje količinu ugljika u eutektiku. Može se definirati

$$\text{ekvivalent ugljika (CE): } CE = \% C + \frac{\% Si + \% P}{3}$$

Eutektička reakcija je uvijek blizu 4,3 % CE. Visok ugljikov ekvivalent pospješuje rast ugljičnog eutektika. Velika brzina hlađenja i mali ugljikov ekvivalent pospješuje formiranje bijelog lijeva, dok niska brzina hlađenja i visoki ugljikov ekvivalent pospješuje sivi lijev.

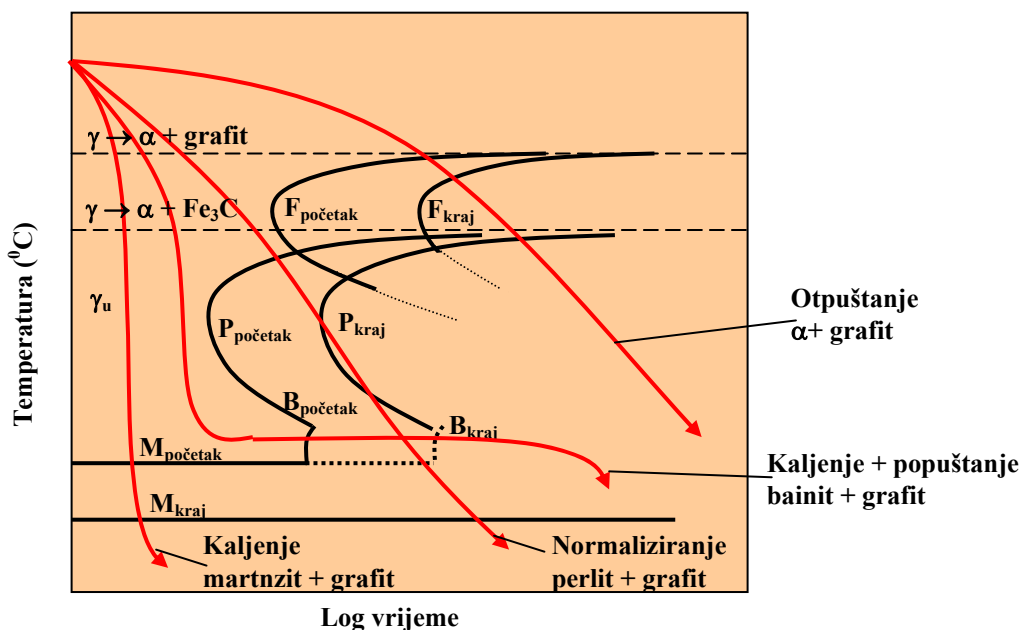
Eutektoidna transformacija u lijevanom željezu

Struktura matriksa i svojstva svake vrste lijevanog željeza se određuju transformacijom austenita za vrijeme eutektoidne transformacije. U Fe-Fe₃C faznom dijagramu, koji se upotrebljava za čelik, austenit se transformira u ferit i cementit, često u formi perlita. Ipak, silicij pospješuje stabilnu eutektoidnu reakciju: $\gamma \rightarrow \gamma + \text{grafit}$.

Pod ravnotežnim uvjetima, ugljikovi atomi difundiraju iz austenita u egzistirajuće partikle čestice grafita, ostavljajući ferit s malo ugljika.

Transformacijski dijagram prikazan na slici 2. opisuje kako se austenit može transformirati za vrijeme toplinske obrade. Žarenje (ili hlađenje u peći) stvara meka feritična matrica.

Normalizacija, ili hlađenje na zraku stvara perlitična matrica. Lijevano željezo se može kaliti i poboljšati da bi se proizveo bainit ili može biti gašeno u martenzit, a zatim poboljšano. Kaljen i poboljšan žilavi lijev, s čvrstoćom do 1380 MPa, se upotrebljava za mjenjače visokih kvaliteta.



Slika 2. Dijagram transformacije austenita u lijevano željezo

III Kristalne strukture Fe-C legura prema stabilnom dijagramu stanja

% C	Struktura
Do 0,02	Fe α
Do 0,69	F+graf.eutektoid Fe α+(Fe α-C) Graf.eutektoid Fe α+C
0,69 do 2,11	Graf.eutektoid + Sek.graf.
2,11 do 4,26	Podeutektički S.6 Sek.grafit + grafitni eutektoid+e-eutektikum;u praksi lamelarni grafit+perlit +Fe₃C ili ferit
4,26	Eutektičko F.6.graf.eutektikum e+(Fe α+C) u praksi lamelarni grafit +perlit +Fe₃C
Više od 4,26	Nadeutektičko sivo gvožđe Grafitni eutektikum+grafit

IV Livena gvožđa

Livena gvožđa se ne mogu smatrati dvojnim legurama gvožđa i ugljika, jer ona sadrže i Si i Mn radi regulisanja grafitizacije i prateće elemente S, P, O₂ i N₂; dok u legirani livenim gvožđima imamo još i legirajuće elemente Mo, V, W i druge.

Osobine, kao i primjena livenih gvožđa zavise od oblika ugljika, koji se nalazi u strukturi gvožđa. Ugljik u livenom gvožđu može se nalaziti u dva oblika, kao karbid gvožđa(Fe₃C) ili karbid dobijen vezivanjem ugljika sa drugim elementima i kao slobodan ugljik-grafit.

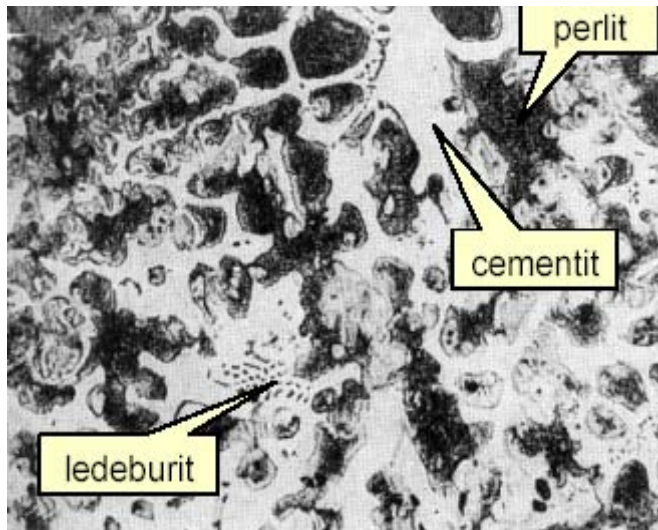
U vezi sa načinom dobijanja i oblikom javljanja ugljika u gvožđu razlikujemo dvije vrste gvožđa i to:

- ✚ Bijela livena gvožđa
- ✚ Siva livena gvožđa

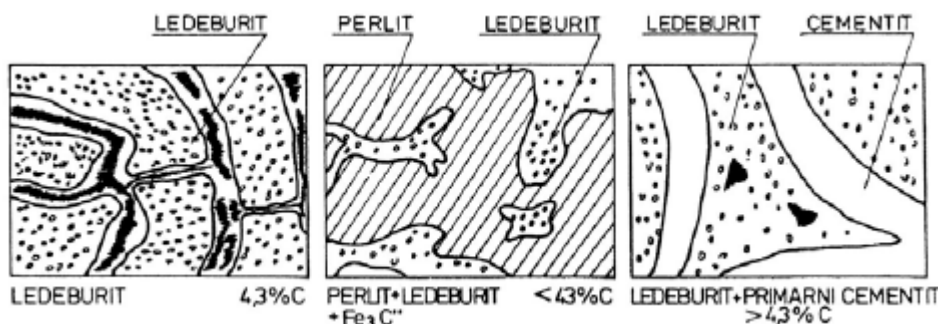
Osim ove dvije vrste razlikujemo i druge vrste livenih gvožđa kao što su:

- ✚ Legirana livena gvožđa
- ✚ Modificirana siva livena gvožđa
- ✚ Temper livena gvožđa

Bijela livena gvožđa



Slika 3. Bijelo liveno gvožđe



Slika 4. Struktura bijelog livenog gvožđa

Uglik se kod bijelih livenih gvožđa većinom nalazi vezan u obliku cementita ili drugih karbida.

Bijela livena gvožđa mogu biti legirana i nelegirana, ali i kod jednih i drugih osnovni strukturni elementi su: cementit, ledeburit i perlit, koji daju prijelomnoj površini bijelog livenog gvožđa sjaj.

Što se tiče mehaničkih osobina bijela livena gvožđa su uvijek tvrda, otporna na habanje i vrlo teško se obrađuju rezanjem zbog čega se obrađuju uvijek brušenjem. Nemogu se obrađivati deformacijom.

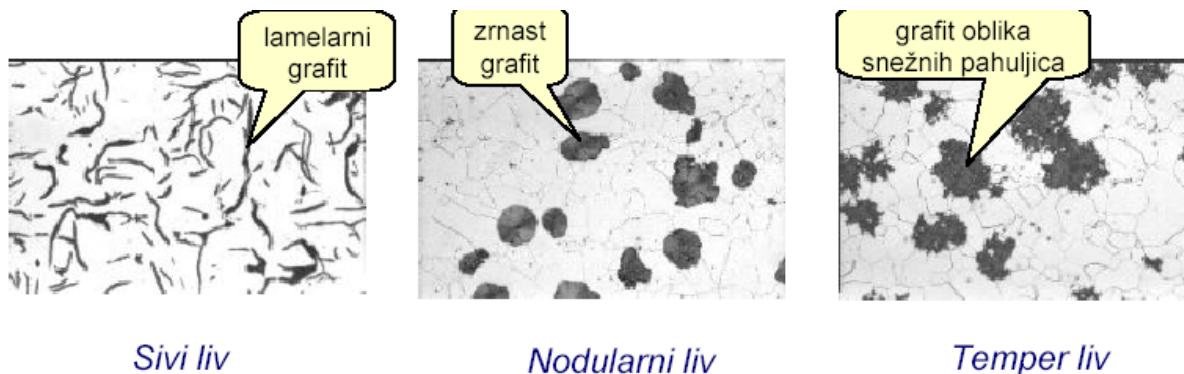
Odlikuju se otpornošću na koroziju, toplotu i kiseline. Tvrdoća bijelih livenih gvožđa kreće se od: $HB = 300 \text{ Kp/mm}^2$ pa sve do $HB = 600 \text{ Kp/mm}^2$, a kod legiranih bijelih livenih gvožđa i do $HB = 800 \text{ Km/mm}^2$.

Bijela livena gvožđa se manje upotrebljavaju u mašinstvu od sivih livenih gvožđa. Ona se više koriste kao materijal za preradu u čelike i temper livena gvožđa. Bijela livena gvožđa ne podvrgavaju se termičkoj obradi već se koriste u livenom stanju.

Siva livena gvožđa

Prema obliku grafita u sivom livenom gvožđu razlikuju se:

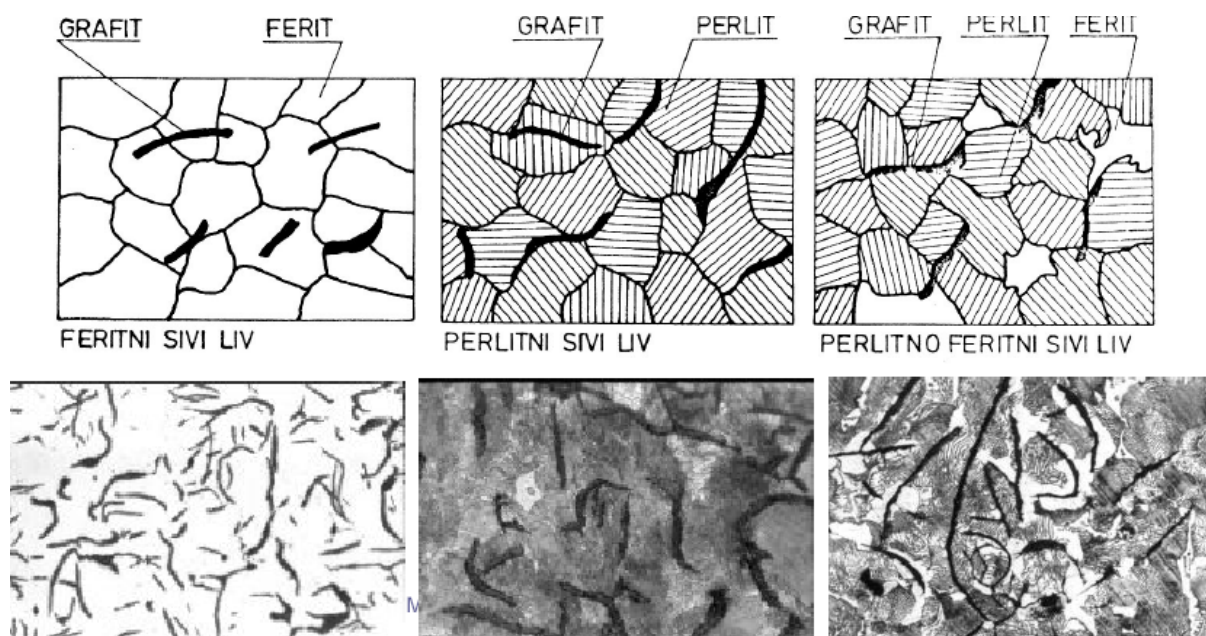
- ✚ Sivi liv-SL (lamelarni grafit)
- ✚ Nodularni liv –NL (zrnasti grafit)
- ✚ Temper liv –TeL (grafit oblika snežnih pahuljica)



Slika 5. Podjela sivih livenih gvožđa prema obliku grafita

Naziv sivi liv potiče od tamnog izgleda prelomljenog odlivka. Od ukupne količine ugljika u sivom livu, najviše 0,8% C vezano je u obliku karbida gvožđa (cementit - Fe_3C sadržan u perlitu), a preostala količina izlučena je u obliku lamelarnog grafita.

U sivom livu nema slobodnog cementita, već samo u vidu eutektoida-perlita. Metalna osnova livenog gvožđa, zavisno od % C i % Si može biti perlitna, perlitno-feritna i feritna.



Slika 6. Metalna osnova livenog gvožđa

Mehanička svojstva sivih livenih gvožđa

Mehaničke karakteristike sivog liva

Klasa SL	SL100	SL150	SL200	SL250	SL300	SL350	SL400
min R_m , MPa	100	150	200	250	300	350	400
max HB	192	201	216	238	250	270	280

Odlivci od sivog liva imaju nisku tvrdoću, malu jačinu na kidanje, ali 3-5 puta veću jačinu na pritisak. Razlog tome je što napone zatezanja prenosi samo metalna osnova, a ne i lamele praškastog grafita, dok pri dejstvu pritiska i one učestvuju u raspodjeli napona.

Zatezna čvrstoća sivog livenog gvožđa je veća što mu je tvrdoća veća. Oblik grafita u sivom livenom gvožđu ima značajan uticaj. Ako je grafit izlučen u obliku zrna to je negativnost mase presijecanja gvožđa smanjena, pa se pri dobijanju sivog livenog gvožđa teži što sitnijim, zrnastim uključinama grafita.

Osim ispitivanja zatežućom silom siva livena gvožđa ispituju se i na savijanje. Vrš se tako što se uzorak cilindričnog ili prizmatičnog oblika postavlja na dva oslonca, opterećuje silom po sredini, koja se povećava sve dok se uzorak ne prelomi. Jačina na savijanje sivog mašinskog liva je 1,5 do 2 puta veća od zatene jačine i kreće se u granicama od 35 do 50 kp/mm².

U pozitivne osobine sivog liva spadaju: relativno jeftina proizvodnja, dobra livkost, dobra mašinska obradivost odlivaka i otpornost na abraziju.

Podjela sivog liva po JUS-u C.J2.020

Po JUS-u pod sivim livom podrazumijeva se liv sa više od 1,7% C, kod koga je veći dio ugljika izlučen u obliku grafita kroz cijeli presjek.

Običan sivi liv SL-00 upotrebljava se za izradu neopterećenih dijelova: odlivci za štednjake, ukrasni dijelovi.

Običan sivi liv SL-14 koristi se za malo opterećena postolja, kanalizacioni i sanitarni liv, dijelove poljoprivrednih mašina, konzole i td.

Liv srednje jačine SL-18 koristi se za malo opterećene cilindre, klipove klipnih mašina, vodovodne cijevi i armature, dijelovi mašina za elektroindustriju.

Liv srednje jačine SL-22 koristi se za srednje opterećena postolja i dijelove mašina, doboše kočnica brzih vozila i dijelova sa povećanim habanjem, poklopce, lokomotivskih cilindara.

Liv velike čvrstoće SL-26 koristi se za cijevi i armature pod pritiskom, jako opterećene dijelove mašina, cilindre lokomotiva i dizel motora i td.

Liv velike čvrstoće SL-30 koristi se za naročito opterećene odlivke.

JUS-om se predviđa sivi liv za naročitu uporebu:

-Termički obrađeni:

- ✚ Kaljeni KSL
- ✚ Poboljšani PSL
- ✚ Mehki MSL
- ✚ Vještački ostvareni OSL
- ✚ Kokilni liv KOSL

-Vatropostojani:

- ✚ Nisko vatrostalni VSL
- ✚ Hematitni VHSL

-Hemijski postojani : HSL

-Tvdi liv:

- ✚ Tvdokorni livTTL
- ✚ Bijeli liv BTL

Legirana livena gvožđa

Radi poboljšanja mehaničkih osobina kao što su čvrstoća i žilavost, livenom gvožđu se dodaju u manjim količinama legirajući elementi: Cr, Ni, Ni-Cr, Ti, Mo, Cu i Al.

Legirajući elementi omogućavaju stvaranje sitno zrnatijeg i ravnomjernije raspoređenog grafita. Pravilnim izborom i doziranjem legirajućih elemenata ostvaruje se visoko kvalitetno sivo liveno gvožđe sa fino sitnozrnastom perlitnom strukturom i sitno zrnastim ravnomjerno raspoređenim grafitom.

Prema sadržaju legirajućih elemenata livena gvožđa dijelimo na:

- ✚ Niskolegirana sa sadržajem legirajućih elemenata do 3%
- ✚ Srednjelegirana sa sadržajem legirajućih elemenata 3 do 10%
- ✚ Visokolegirana sa sadržajem legirajućih elemenata preko 10%

Modificirana siva livena gvožđa

Dobivaju se dodavanjem specijalnih materija-modifikatora-u liveno gvožđe pred izlivanje.

Kao modifikator najčešće služi Si koji se dodaje rastopljenom sivom gvožđu 75% ferosilicija ili silikokalcija.

Modificirati se mogu nelegirana i legirana livena gvožđa.

Za vrlo mehko liveno gvožđe primjenjuju se kombinovani modifikatori, kao što su:

- + Silikokalcij
- + Ferosilicij
- + Specijalni modifikator, koji sadrži 2 dijela ferosilicija i jedan dio aluminijska.

Od modificiranih livova izrađuju se i odgovorniji dijelovi kao što su : koljenasta vratila, valjaonička vratila itd.

Odbijeljeno liveno gvožđe

Odbijeljivanje livenog gvožđa koristi se za dobijanje naročito tvrde površine odlivka, koji je u radu izložen habanju kao što je to kod vagonskih točkova, valjaka za valjanje metala, matrica za izvlačenje i td.

Za dobijanje odlivaka sa odbijeljenim površinskim slojem osim odgovarajućih brzina hlađenja potreban je i odgovarajući hemijski sastav gvožđa. Odbijeljena livena gvožđa često se nazivaju "Melirana" ili „Tvrđim livovima“.

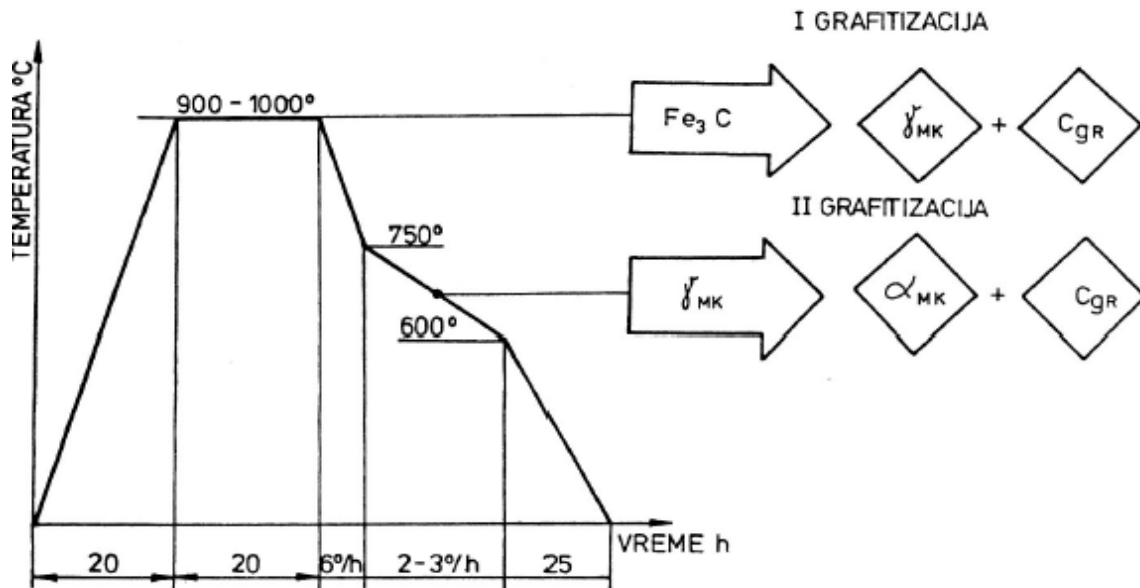
Temper livena gvožđa

Temper livena gvožđa spadaju u kvalitetna livena gvožđa. Dobijaju se od bijelog livenog gvožđa dugotrajnim žarenjem na povišenim temperaturama radi razlaganja cementita.

Prema hemijskom sastavu, načinu dobijanja, strukturi i osobinama razlikujemo dvije vrste Temper livenih gvožđa:

- + Crni temper liv(američki)
- + Bijeli temper liv(evropski)

Crni temperovani liv

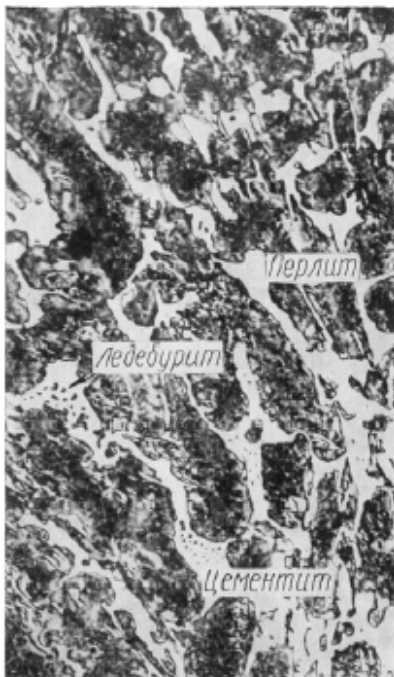


Slika 7. Termički tretman pri dobijanju crnog temperovanog liva

Crni temperovani liv dobija se dugotrajnim žarenjem bijelog livenog gvožđa u zaštitnoj atmosferi, pri čemu se cementit u strukturi razlaže, a ugljik se u potpunosti, ili njegov pretežni dio izlučuje u obliku temperovanog ugljika.

Grafitizacija crnog temperovanog liva se odvija u dvije faze. U prvoj fazi, prva grafitizacija, na temperaturi 900 do 1000 °C razlaže se cementit na austenit i elementarni ugljik-grafit u obliku temper ugljika.

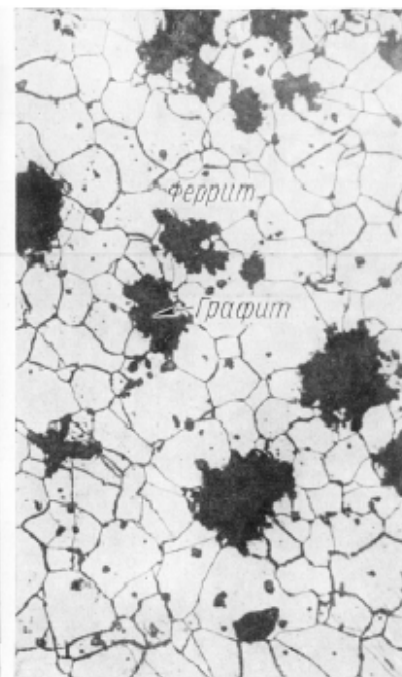
U drugoj fazi, druga grafitizacija, austenit se razlaže na ferit i elementarni ugljik.



Slika 8. Bijelo liveno gvožđe



Slika 9. Struktura poslije prve grafitizacije

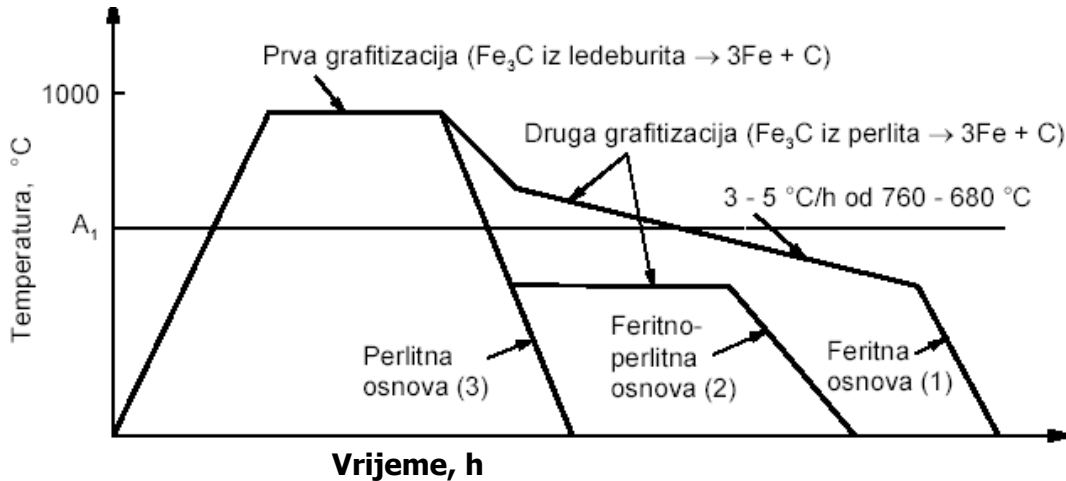


Slika 10. Struktura poslije druge grafitizacije

U drugoj fazi žarenja prezasićenog austenita pri T približno 700°C koriste se dvije a nekad i tri varijante hlađenja.

Kriva 1 odgovara veoma sporom hlađenju oko temperature A₁, tako da se formira feritna metalna osnova, obogaćena dodatnim temper ugljikom u toku drugog stadija grafitizacije. Pri znatno većoj brzini hlađenja (kriva 3) dobija se perlitna osnova.

Ako se legura podhladi brzinom oko 20°C /min do 500°C i pri ovoj temperaturi dobiće se feritno-perlitna osnova sa dodatnim temper ugljikom izlučenim u drugom stadiju grafitizacije po liniji 2 (slika 11.)



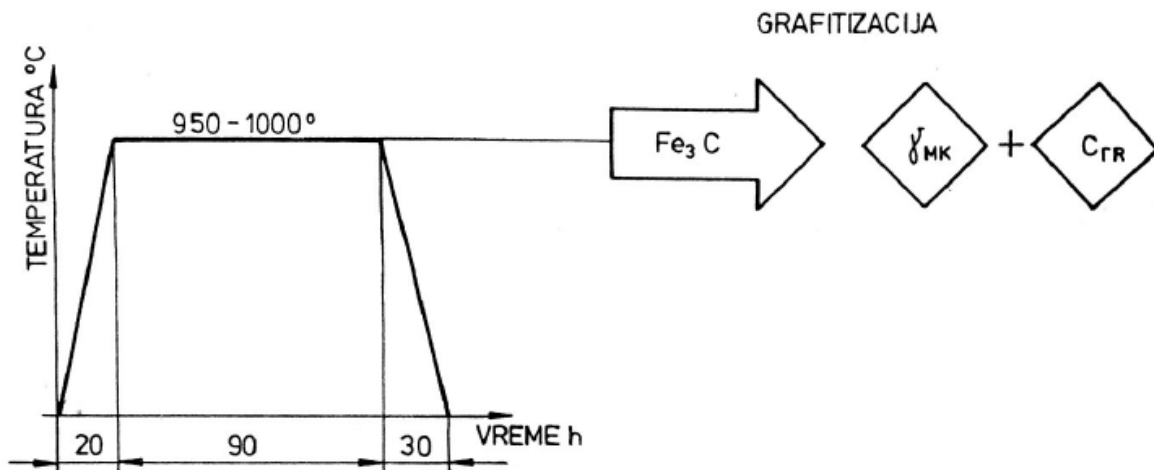
Mehanička svojstva crnog temperovaog liva data su u slidećoj tabeli:

CRNI TEMPEROVANI LIV JUS C.J2.021												
SVOJSTVO	VRSTE CRNOG TEMPEROVANOG LIVA											
	CTEL 35				CTEL 38				CTEL 40			
	MERODAVNA DEBLJINA ZIDA U mm											
	4-9	9-13	13-18	18-40	4-9	9-13	13-18	18-40	4-9	9-13	13-18	18-40
ZATEZNA ČVRSTOĆA - MPa	330				370				400			
IZDUŽENJE MIN - %	8				12				5			
TVRDOĆA MAX	150				140				250			
STRUKTURA	FERITNI LIV				FERITNI LIV				PERLITNI LIV			

Bijeli temperovani liv

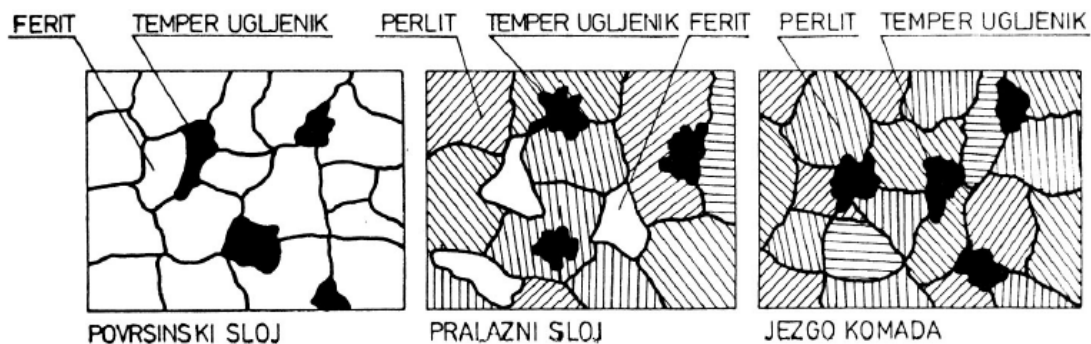
Dobija se dugotrajnim žarenjem bijelog livenog gvožđa u oksidacionoj atmosferi-običnim pećima, pri čemu nastaje razlaganje cementita na gvožđe i temper grafit, kao i manje ili veće razugljenjičenje površinskog sloja.

Grafitizacija-postupak razlaganja cementita traje veoma dugo(slika 12.)



Slika 12. Grafitizacija

Mikrostruktura bijelog temperovanog liva na površinskom sloju na površinskom sloju, obzirom na proces razugljeničenja je čisto feritna, u prelaznoj zoni perlitno ferlitna, a jezgro odlivka ima perlitnu strukturu sa gnjezdastim rasporedom grafita.(prikazan na slici 13).



Mehanička svojstva bijelog temperovanog liva, zavisno od debljine zidova odlivka data su u sljedećoj tabeli:

BELI TEMPEROVANI LIVI JUS C. J2.021

SVOJSTVO		VRSTE BELOG TEMPEROVANOG LIVA								
		BTeL00		BTeL35			BTeL40			
		MERODAVNA DEBLJINA ZIDA U mm								
SVE DEBLJINE ZIDA		4-9	9-13	13-18	18-30	4-9	9-13	13-18	18-30	
ZATEZNA ČVRSTOĆA	MPa	-	340			380				
IZDUŽENJE MIN	%	-	5	3	3	2	10	5	3	3
TVRDOĆA MAX	HB	250	200			200				

Modularni liv

Pošto obično liveno gvožđe sadrži grafit u obliku lamela ono je vrlo krto. Modularni liv se dobija dodavanjem cerijuma rastopljenom gvožđu pred izlivanje. Cerijum se dodaje u takvoj količini da nakon livenja ostaje u gvožđu više od 0,02%. Noduliranju se podvrgava nadeutektično gvožđe. Podedutektično gvožđe može se podvrgnuti noduliranju ako je legirano sa više od 10% Ni. Nodularni liv je otporan na dejstvo 10% NaOH i na temperaturi od 50% i na kisele rastvove.

Termička obrada livenih gvožđa

Termička obrada vrši se u cilju povećanja obradivosti, smanjenju unutrašnjih naprezanja, poboljšanju fizičkih i mehaničkih svojstava. Za poboljšanje fizičko mehaničkih svojstava odlivci se podvrgavaju slijedećim termičkim obradama: kaljenju, otpuštanju, normalizaciji i starenju.

L I T E R A T U R A

1. „Inženjerski metalni i nemetalni materijali“ autorica dr Nadžija Haračić
2. „Livenje gvožđa i čelika“ autor ing. Milan B. Pajević
3. „Ispitivanje materijala“ univerzitetska literatura
4. „Mašinski materijali“ predavanja dr Dragan Adamović
5. Literatura korištena sa interneta