

Машински материјали

Предавање број 4

Дијаграми стања

ДИЈАГРАМИ СТАЊА

Садржај:

1. Једнокомпонентни системи
2. Двокомпонентни системи
 - 2.1 Дијаграми стања
3. Дијаграми стања железно-угљеник
 - 3.1 Метастабилни систем $\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$
 - 3.2 Стабилни систем $\text{Fe}-\text{C}_g$

Једнокомпонентни системи

Сваки једнокомпонентни ситем одређен је са три променљиве:

- Запремином
- Температуром
- Притиском

Стање материјала:

Физичко стање материјала (ТЕЛО
ЗАУЗИМА УНАПРЕД ОДРЕЂЕН ПРОСТОР
ТЈ.ТЕЛО ИМА ОДРЕЂЕНУ ЗАПРЕМИНУ И
ОБЛИК: а) чврсто стање материјала
б) течено стање
ц) гасовито стање

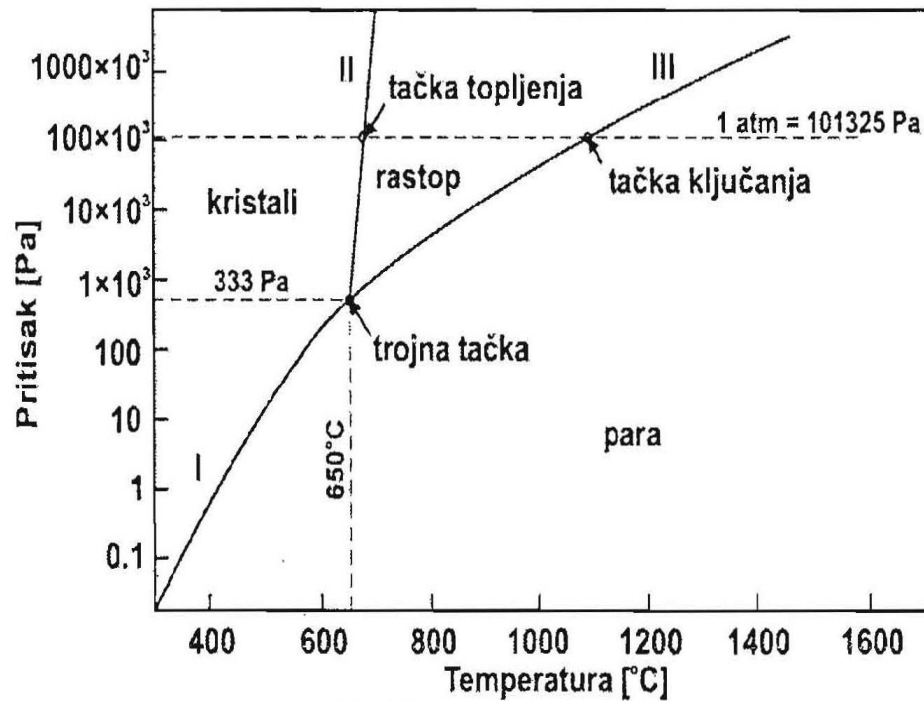
Фазно стање материјала:

- а) КРИСТАЛНО фазно стање материјала
- б) ТЕЧНО фазно стање материјала-РАСТОП
- ц) ГАСОВИТО фазно стање

ФАЗА

ФАЗА је стање материјала у условима равнотеже, где сваки основни део има исти хемијски састав, исту структуру и исте особине и који је физички одвојен од остатка система јасном границом.

ЈЕДНОКОМПОНЕНТНИ СИСТЕМИ



Слика 1 p-T Дијаграм стања магнезијума

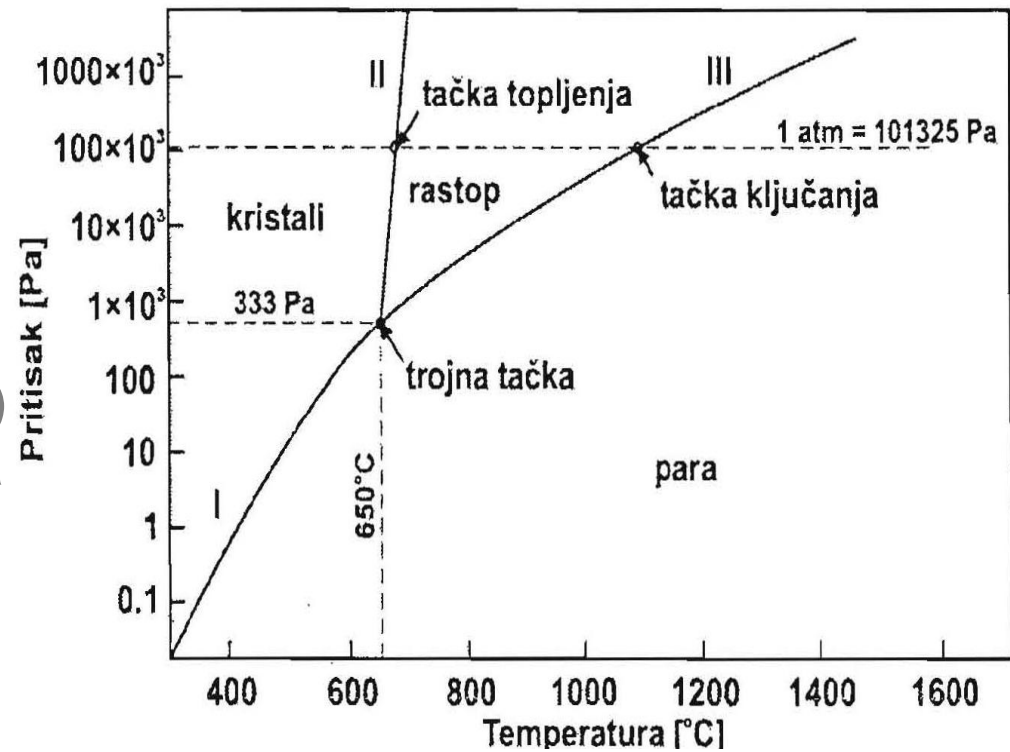
Пример једнокомпонентног металног система

ЈЕДНОКОМПОНЕНТНИ СИСТЕМИ

✓ Крива сублимације (I) представља директан прелаз паре у чврсту фазу, тј. одваја подручје кристала и паре.

✓ Крива топљења (очвршћавања) крива (II) одваја подручје кристала и растопа.

✓ Крива испаравања (сублимације) крива (III) одваја подручје растопа од паре.



Слика 2 П-Т дијаграм стања магнезијума

Тројна тачка (А)- све три фазе су у равнотежи.

ЈЕДНОКОМПОНЕНТНИ СИСТЕМИ

Гибсово правило фаза описује присуство фаза и њихову међусобну равнотежу у једном П-Т дијаграму стања.

$$S+F=K+2 \quad (1)$$

односно $S = K-F+2$

S-степен слободе система

F- број присутних фаза

K-број компонената система

Гибсово правило фаза

Према Гибсовом правилу фаза у једнокомпонентном систему за магнезијум постоје следеће равнотеже:

-Ако је $S = 2$, а $K = 1$ онда је $F = 1$ тј. у том подручју постоју само једна фаза

-Ако је $S = 1$, а $K = 1$ онда је $F = 2$ тј. у равнотежи су две фазе

-Ако је $S = 0$, а $K = 1$ онда је $F = 3$ тј. у равнотежи су три фазе.

ЈЕДНОКОМПОНЕНТНИ СИСТЕМИ

Слика 3а,б) Дијаграми стања Mg за $P = \text{конст.} = 1 \text{ атм.}$

Ако је $P = \text{конст.}$

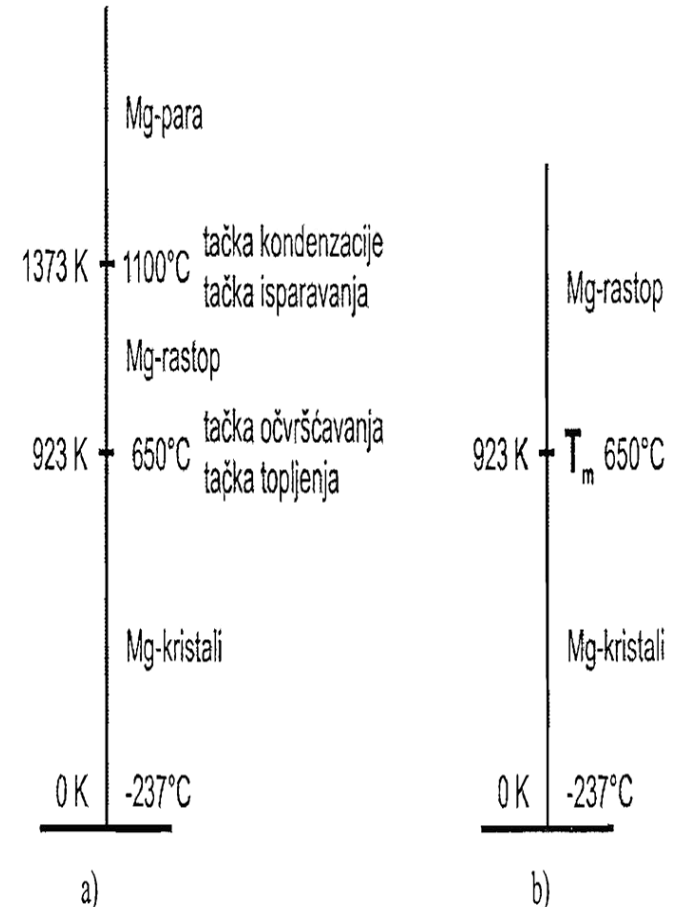
Gibbs-ово правило гласи:

$$S = K - F + 1$$

За температуру топљења T_m ,
степен слободе је $S = 0$,

Следи:

Максимални број фаза које су
у равнотежи $F_{\text{max}} = 2$.



ЈЕДНОКОМПОНЕНТНИ СИСТЕМИ

- Према **Другом закону термодинамике**:
- Постојана је она фаза која у задатим условима има најмању слободну енергију.

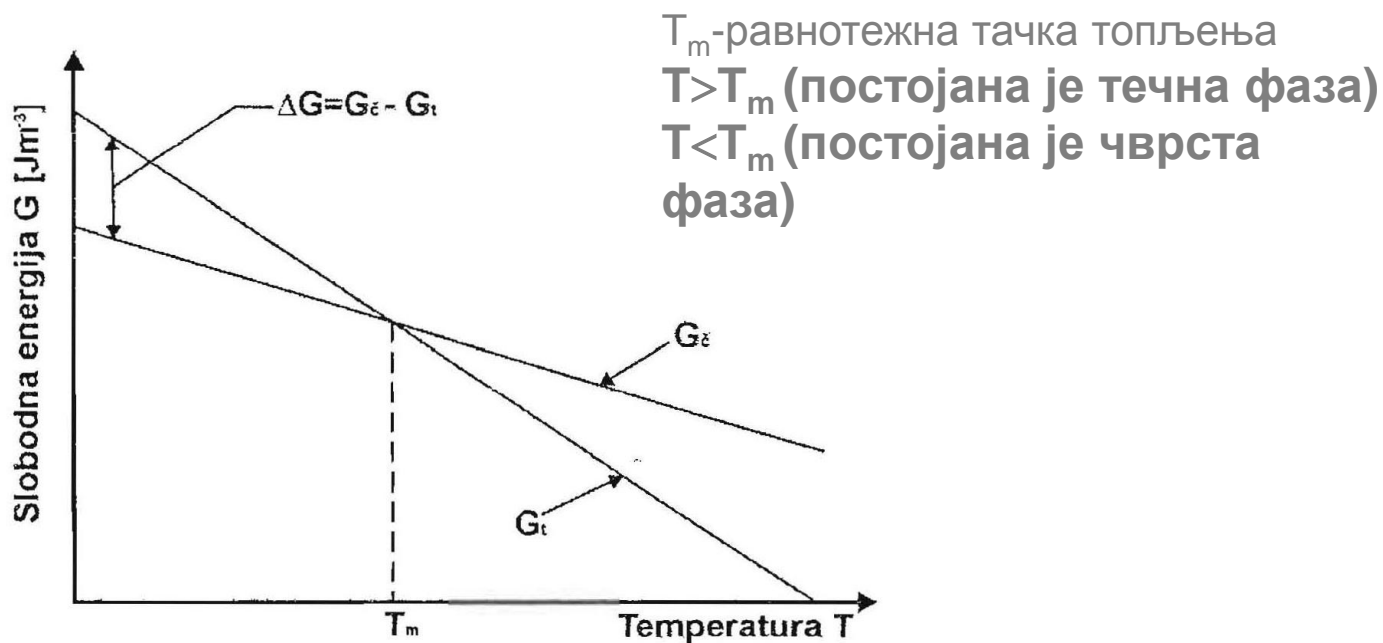
- **$H = G + TS$** (1)

- где су: H -укупна енергија система
- G -Гибсова слободна енергија
- TS -везана енергија система потребна да се догоди нека структурна промена
- T -температура
- S -ентропија

- **$G = H - TS$** (2)

ЈЕДНОКОМПОНЕНТНИ СИСТЕМИ

Промена Гибсове енергије течне и чврсте фазе



Слика 4 Промена слободне енергије течне и чврсте фазе у зависности од температуре

ЈЕДНОКОМПОНЕНТНИ СИСТЕМИ

$\Delta G=0$ (систем у равнотежи)

Реакција се не одвија, међутим до очвршћавања ипак долази

Објашњење овог феномена:

$$G_{\text{оч.}} = G_{\text{чврсто}} - G_{\text{течно}}$$

ИЛИ

$$\Delta G_{\text{оч}} = \Delta H_{\text{оч}} - T \Delta S_{\text{оч}} \quad (1)$$

У равнотежној тачки T_m  $\Delta G_{\text{оч}} = 0$

$$\Delta H_{\text{оч}} - T_m \Delta S_{\text{оч}} = 0$$

$$\text{тј. } \Delta S_{\text{оч}} = \Delta H_{\text{оч}} / T_m$$

Ако се вредност $\Delta S_{\text{оч}} = \Delta H_{\text{оч}} / T_m$ замени у (1), добија се:

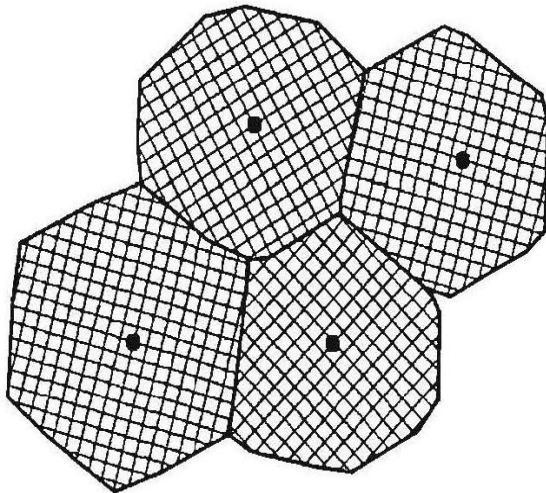
$$\Delta G_{\text{оч}} = \Delta H_{\text{оч}} \cdot (T_m - T) / T_m$$

$$\Delta G_{\text{оч}} = \Delta H_{\text{оч}} \cdot \Delta T / T_m$$

Хомогено и хетерогено очвршћавање

Процес очвршћавања може да се одвија :

а) хомогено



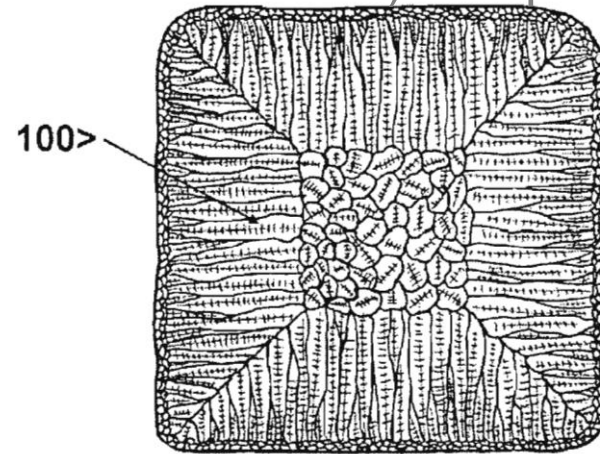
Слика 5 Шема поликристалне микроструктуре

Карактеристике **хомогеног очвршћавања**:

Образовање клица у чистом металу груписањем сопствених атома.

.Хомогено очврсли поликристални материјали су **квази-изотропни**.

б) хетерогено



Слика 6 Шема стубастих дендритних структура

Хетерогено очвршћавање

Образовање клица нове фазе на нечистоћама, зидовима калупа или намерно додатим честицама тзв инокулантима

ЈЕДНОКОМПОНЕНТНИ СИСТЕМИ

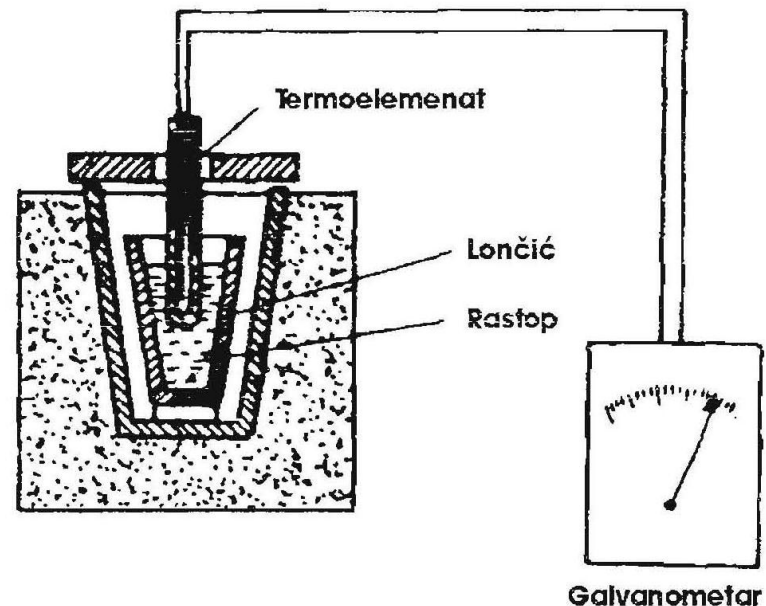
КРИВЕ ХЛАЂЕЊА (ЗАГРЕВАЊА)

Дефиниција:

Криве хлађења(загревања) прдстављају графички приказ промена фаза у зависности од температуре и од времена. График функције $T=f(\tau)$ назива се крива хлађења или загревања.

Термијска анализа (један од начина добијања криве хлађења) 1903.год.

Увео G.Тамман и базира се на принципу промене топлотног садржаја метала или легуре за време хлађења (загревања).



Слика 7 Шема уређаја за термијску анализу

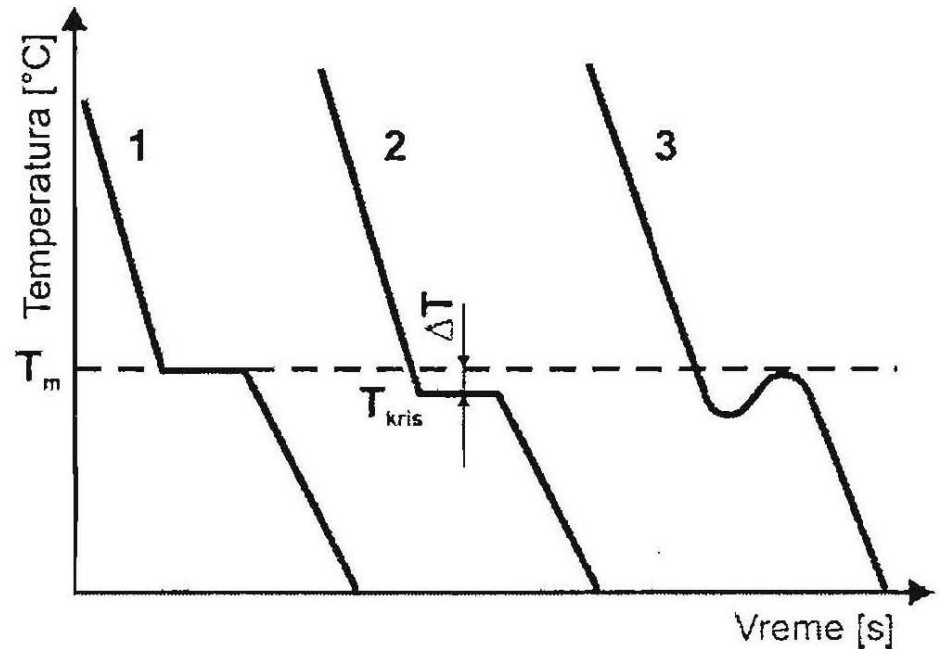
ЈЕДНОКОМПОНЕНТНИ СИСТЕМИ

КРИВЕ ХЛАЂЕЊА МЕТАЛА

Крива 1 представља криву хлађења у условима равнотеже тј. када се процес кристализације (очвршћавања) одвија на константној температури која одговара тачки топљења метала, T_m .

Крива 2 приказује ток процеса кристализације условљен температуром подхлађења ΔT .

Често се услед издвојене латентне температуре повиси температура метала као што приказује крива 3. Код чистих метала подхлађење обично износи од 10 до 30°C.



Слика 8 Криве хлађења метала

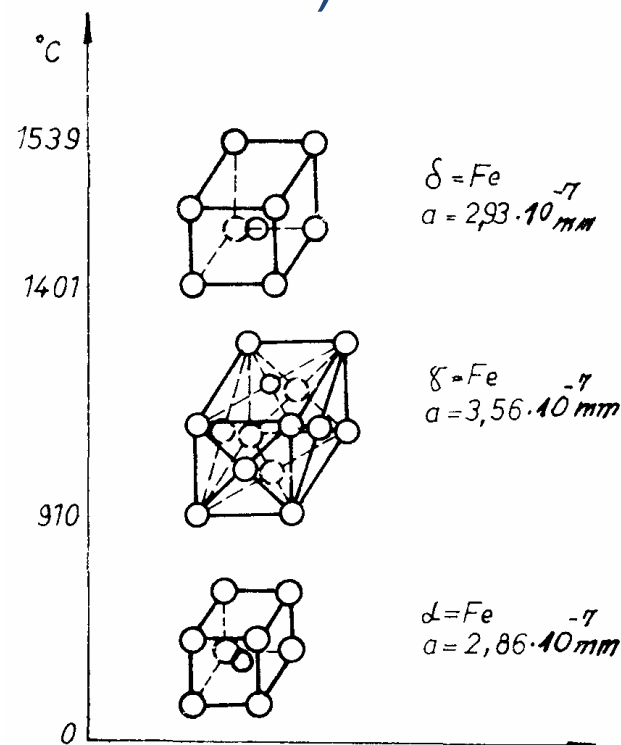
ЈЕДНОКОМПОНЕНТНИ СИСТЕМИ

ПРЕОБРАЖАЈИ У ЧВРСТОМ СТАЊУ (ПОЛИМОРФИЈА)

Код неких метала поред застоја који настаје на прелазу течне у чврсту фазу, јављају се одређени застоји и у чврстом стању.

Појава је карактеристична за метале који се у чврстом стању јављају у више кристалних облика и назива се **алотропија** или **полиморфија**.

Алотропија као феномен се користи за чисте метале, док се **полиморфија** користи као генерални термин за вишефазну појаву материјала у чврстом стању.



Слика 9 Полиморфне промене жезеза у зависности од температурног стања

ЈЕДНОКОМПОНЕНТНИ СИСТЕМИ

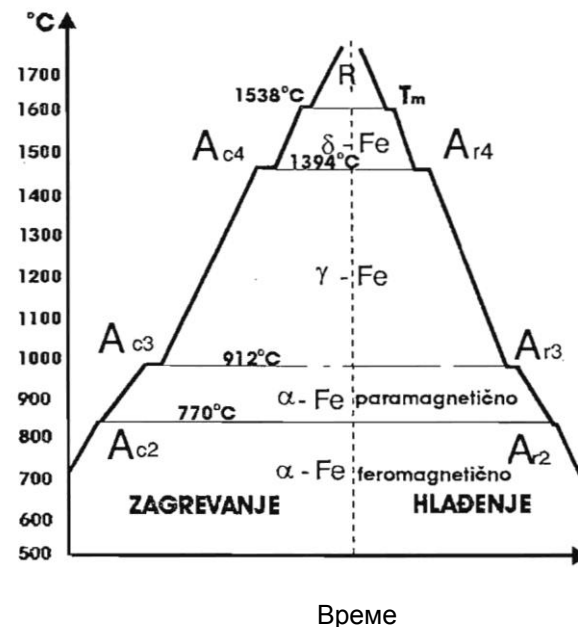
ПРЕОБРАЖАЈИ У ЧВРСТОМ СТАЊУ (ПОЛИМОРФИЈА)

При хлађењу процес је **реверзибилан**.

Промене које повратно прате температуре називају се **алотропске модификације**.

Са полиморфним променама стоје у тесној вези промене механичких својстава и специфичне запремине.

Две различите кристалне решетке немају исти распоред атома те неће имати ни исту густину. Значи да свака промена кристалне решетке има за последицу промену густине односно промену специфичне запремине дотичног метала (сл.10).



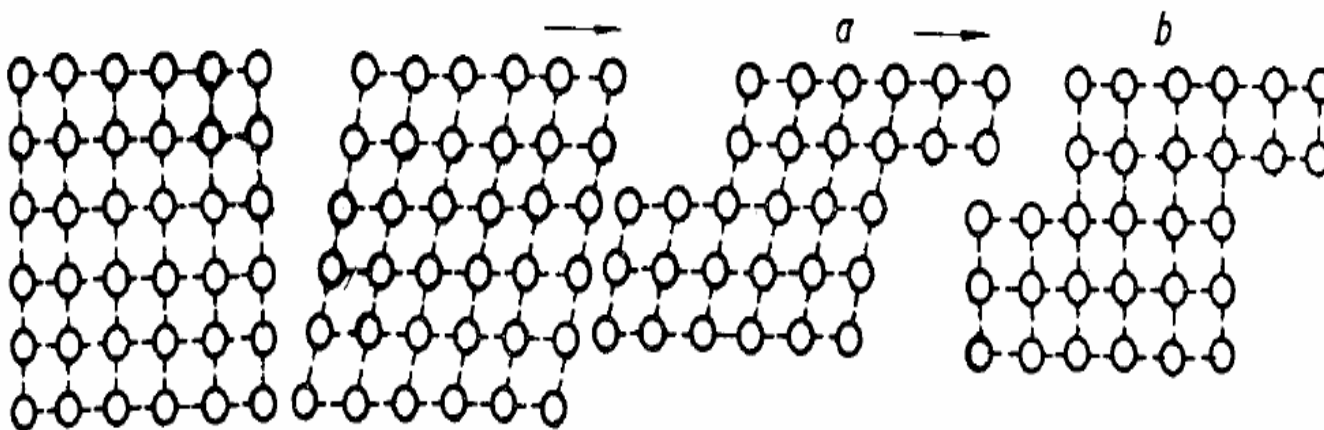
Слика 10 Крива загревања и хлађења железа (Fe)

ЈЕДНОКОМПОНЕНТНИ СИСТЕМИ

- Поред железа постоје и други полиморфни метали: кобалт(Co_α , Co_β), титан(Ti_α , Ti_β), цирконијум (Zr_α , Zr_β) и др.
- Код калаја постоје две модификације: $\text{Sn}_{\text{сиви}}$ са ПЦК структуром и $\text{Sn}_{\text{бели}}$, типа дијамант постојан до 16°C са тетрагоналном кристалном структуром постојан од 16 до 232°C када калај прелази у течно стање.

ЈЕДНОКОМПОНЕНТНИ СИСТЕМИ

ДЕФОРМИСАЊЕ КРИСТАЛА И РЕКРИСТАЛИЗАЦИЈА



Слика 11а Еластичне деформације

ЈЕДНОКОМПОНЕНТНИ СИСТЕМИ

ДЕФОРМИСАЊЕ КРИСТАЛА И РЕКРИСТАЛИЗАЦИЈА

Под дејством спољних сила, на метал, долази до деформације решетке, које могу бити еластичне и пластичне. до деформисања кристалне решетке долази деловањем спољних сила и њиховим савлађивањем кохезионих сила међу атомима.

Еластичне деформације кристалне решетке одражавају се незнатним померањем атома једних атома у односу на друге (сл.11а), и нестају са престанком спољних сила.

ЈЕДНОКОМПОНЕНТНИ СИСТЕМИ

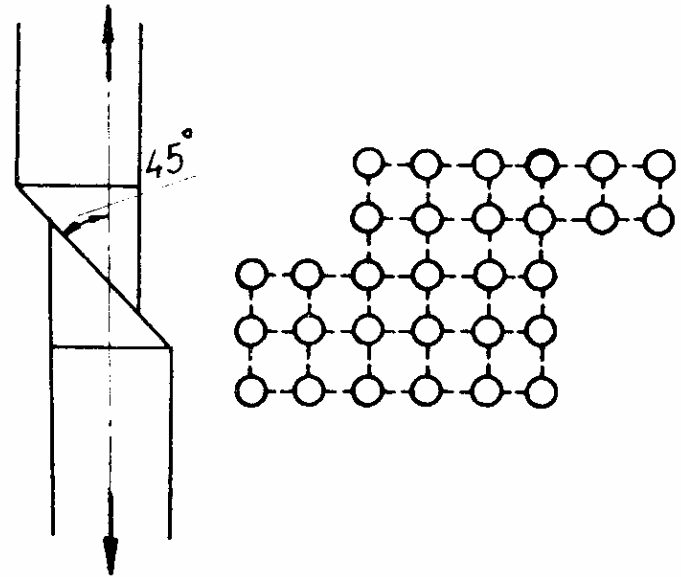
Пластично деформисање монокристала

Дефиниција:

При специфичним условима хлађења може се постићи да већа количина растопине очврсне око једног центра кристализације те се добијају монокристали.

Пластично деформисање монокристала може се остварити:

Транслацијом тј. Померањем (једног дела монокристала према другом под дејством спољних сила.



Слика 12

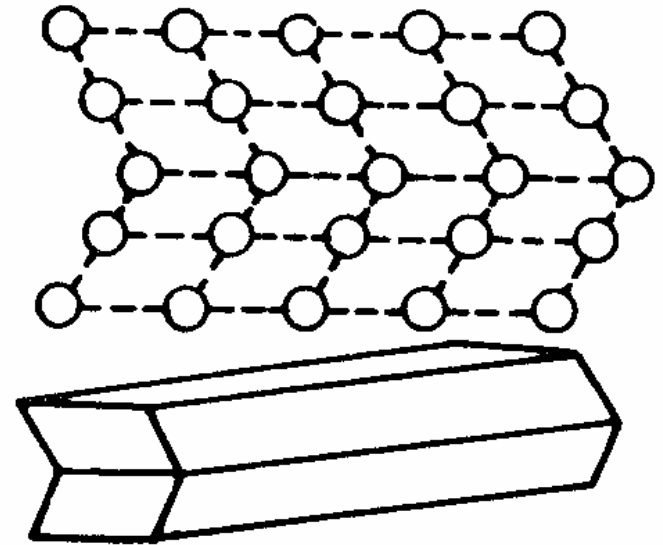
ЈЕДНОКОМПОНЕНТНИ СИСТЕМИ

Пластично деформисање монокристала

Двојниковањем се деформишу монокристали при деловању већих сила, те долази до бржег померања једног дела монокристала у односу на други (сл 13).

ВАЖНО!

Двојниковањем се углавном деформишу метали који кристалишу по просторно центрираној кубној решетци.



Слика 13

ЈЕДНОКОМПОНЕНТНИ СИСТЕМИ

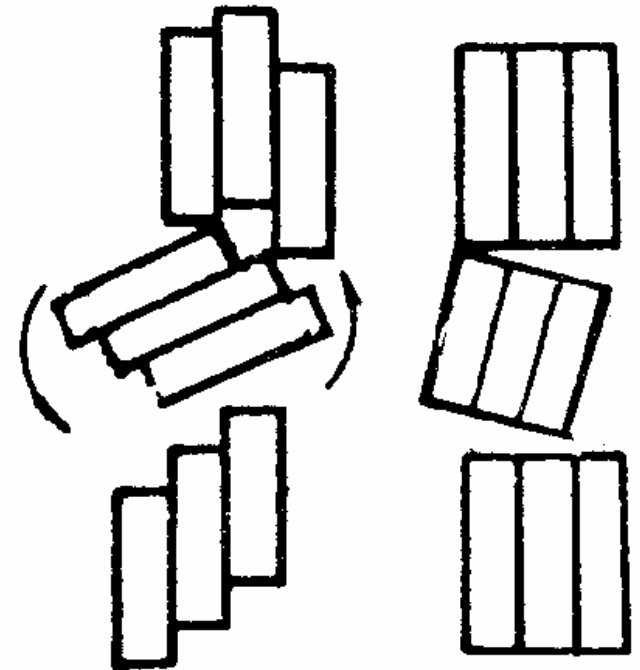
Пластично деформисање **поликристалних материјала**

Пластично деформисање поликристалних материјала је много сложеније од деформисања монокристала.

Сложеност деформисања поликристалних материјала долази услед облика, величине, оријентације металних зрна и међукристалних веза.

ВАЖНО!

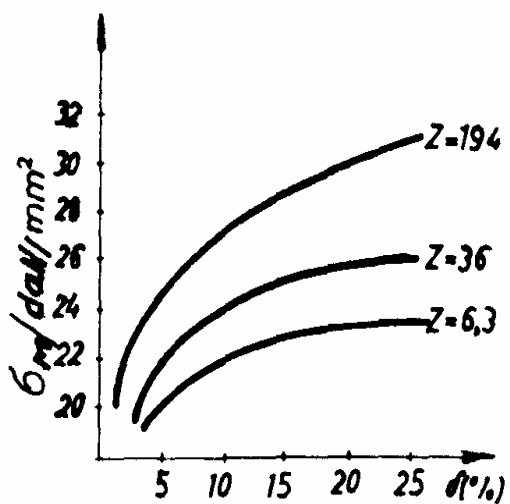
Код поликристалних материјала метално зрно није директно оптерећено већ индиректно.



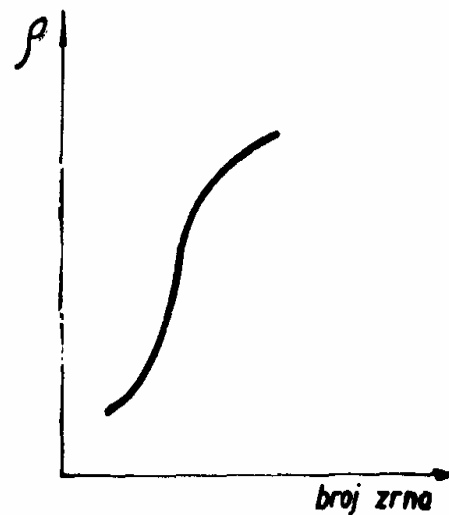
Слика 14

ЈЕДНОКОМПОНЕНТНИ СИСТЕМИ

Пластично деформисање поликристалних материјала



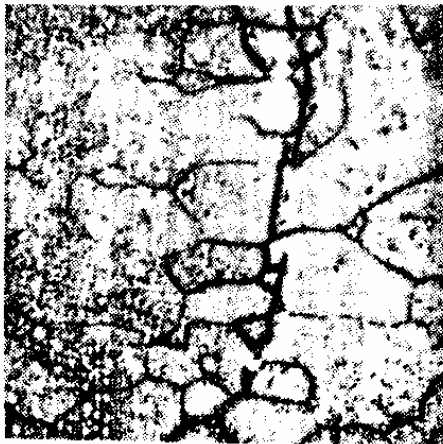
Слика 15а



Слика 15б

ЈЕДНОКОМПОНЕНТНИ СИСТЕМИ

Пластично деформисање поликристалних материјала



(a)



(b)

Слика 16

Под дејством спољних сила лом поликристалних материјала може
настати:

- Интеркристално (Слика 16а)
- Транскристално (Слика 16б)

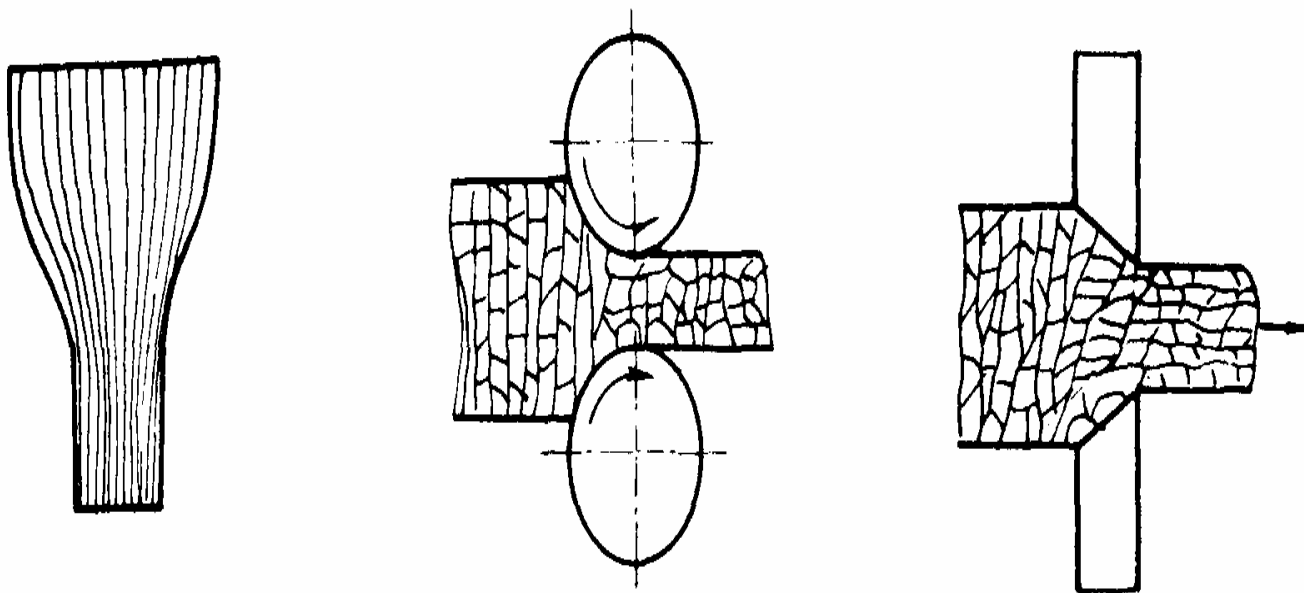
Обрада метала и легура пластичном деформацијом

- Циљ обраде метала пластичном деформацијом је обликовање, побољшање структуре
- Поступци обраде метала пластичном деформацијом
- (метали су изложени напрезањима већим од еластичних а мањих од максималних.) су:
- -Ковање
- -Пресовање
- -Ваљање

У зависности од температурног режима обрада метала пластичном деформацијом може бити:

- 1. Обрада пластичном деформацијом на хладно;
- 2. Обрада пластичном деформацијом на топло.

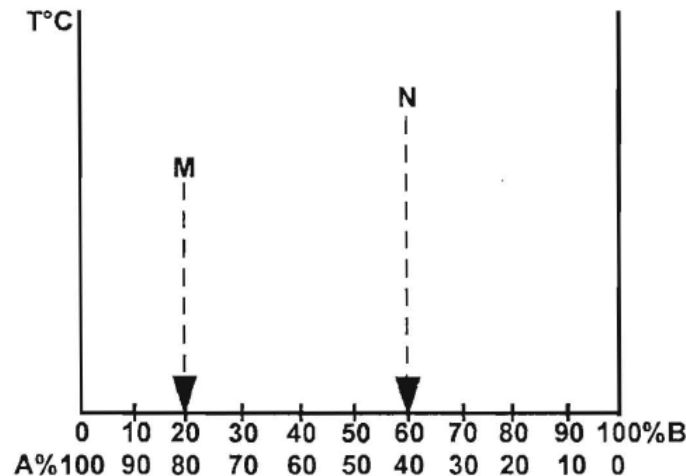
Обрада метала и легура пластичном деформацијом на хладно



Слика 17

ДВОКОМПОНЕНТНИ ДИЈАГРАМИ СТАЊА

Дијаграм стања двојних легура представља графички приказ фаза у равнотежи у зависности од температуре и састава легуре.



ВАЖНО!

Код двокомпонентног система
легура:

$$S = 0, \text{ tj. } 0 = 2 - F + 1,$$
$$F_{\max} = 3.$$

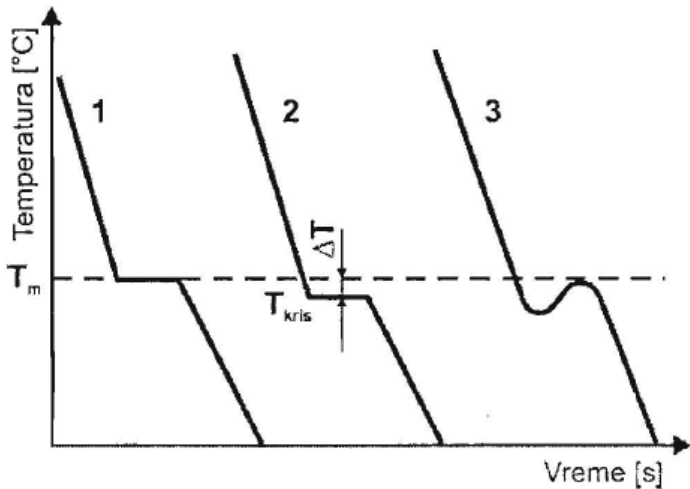
Слика 18 шема дијаграма стања

Gibbs-ово правило фаза примењује се и код легура, с том разликом што притисак није променљива величина већ има константну вредност ($p = 1 \text{ atm} = \text{конст.}$)

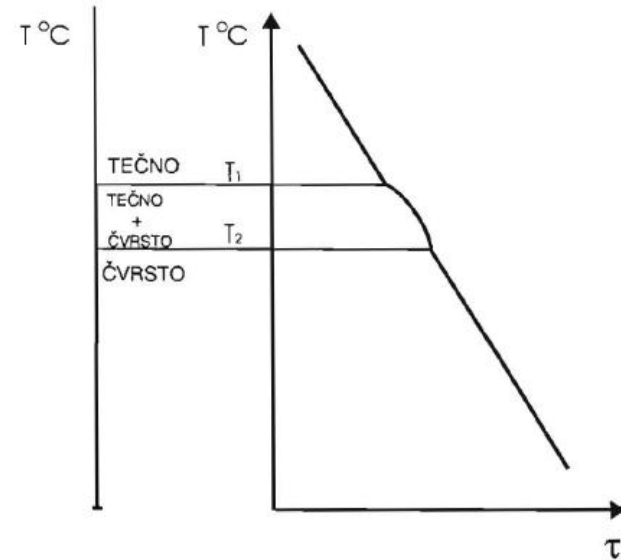
Gibbs-ово правило фаза има облик: $S = K - F + 1$

Двокомпонентни дијаграми стања

Конструкција дијаграма стања

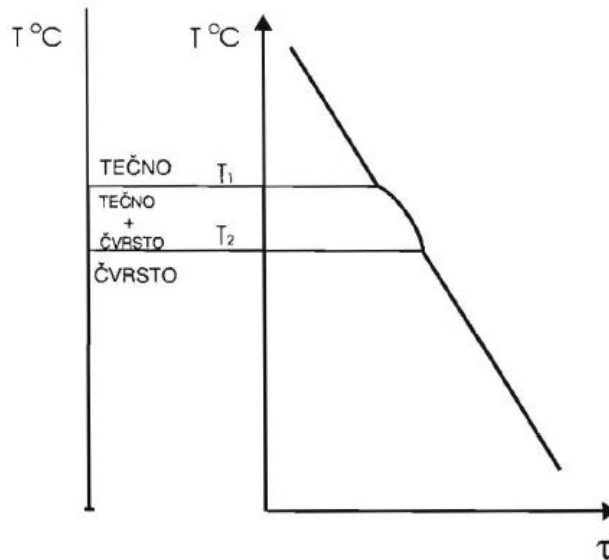


**Очврћавање на $T = \text{конст.}$
(Криве хлађења чистог метала)**



**Очврћавање у температурном интервалу
(Криве хлађења легура)**

Двокомпонентни дијаграми стања



T_1 - ликвидус тачка
 T_2 солидус тачка

Очврћавање у температурном интервалу
(Криве хлађења легура)

На основу дијаграма стања познатог састава, могуће је унапред знати особине свих легура исте врсте.

Дијаграм стања служи за избор режима термичке обраде и обраде легуре деформацијом на топло.

Двокомпонентни дијаграми стања

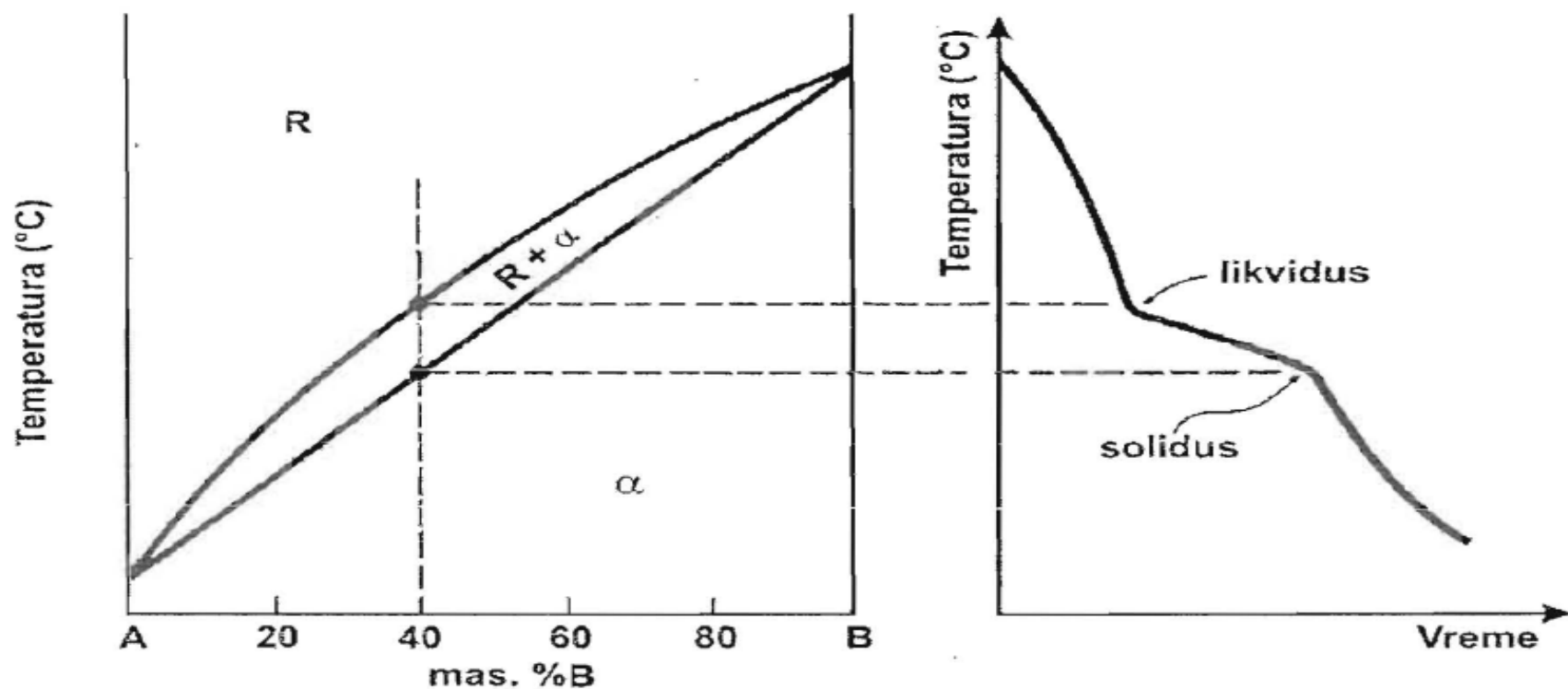
Собзиром на способност растворљивости компонената једне у другу код двојних легура имамо више врста дијаграма стања:

I тип: Дијаграми стања потпуне растворљивости у чврстом стању,

II тип: Дијаграми стања потпуне растворљивости у течном и нерастворљиве у чврстом стању,

III тип: Дијаграми стања потпуне растворљивости компонената у течном и делимичне растворљивости у чврстом стању.

I тип: Дијаграми стања потпуне растворљивости у чврстом стању



Дијаграм стања потпуне растворљивости у чврстом стању са кривом хлађења једне легуре

I тип: Дијаграми стања потпуне растворљивости у чврстом стању

Системи легура код којих настају непрекидни чврсти раствори (Изоморфни системи).

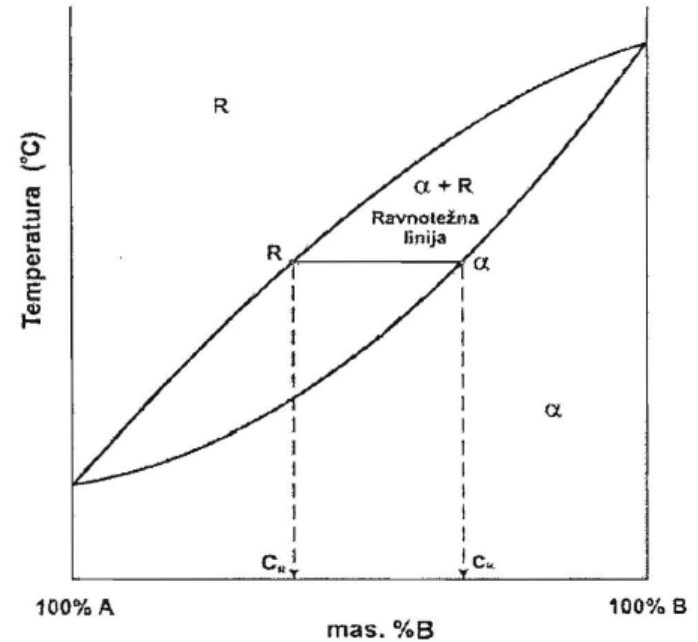
По овом дијаграму очвршћавају легуре: Cu-Ni, Cu-Mn, Cu Au, Bi-Sb, Pd-Ag, Ag-Au, Mg-Cd и керамички изоморфни системи као NiO-MgO.

изоморфизам означава појаву код којих додатак друге компоненте не утиче на промену кристалног облика основне фазе.

Дијаграми стања потпуне растворљивости у чврстом стању

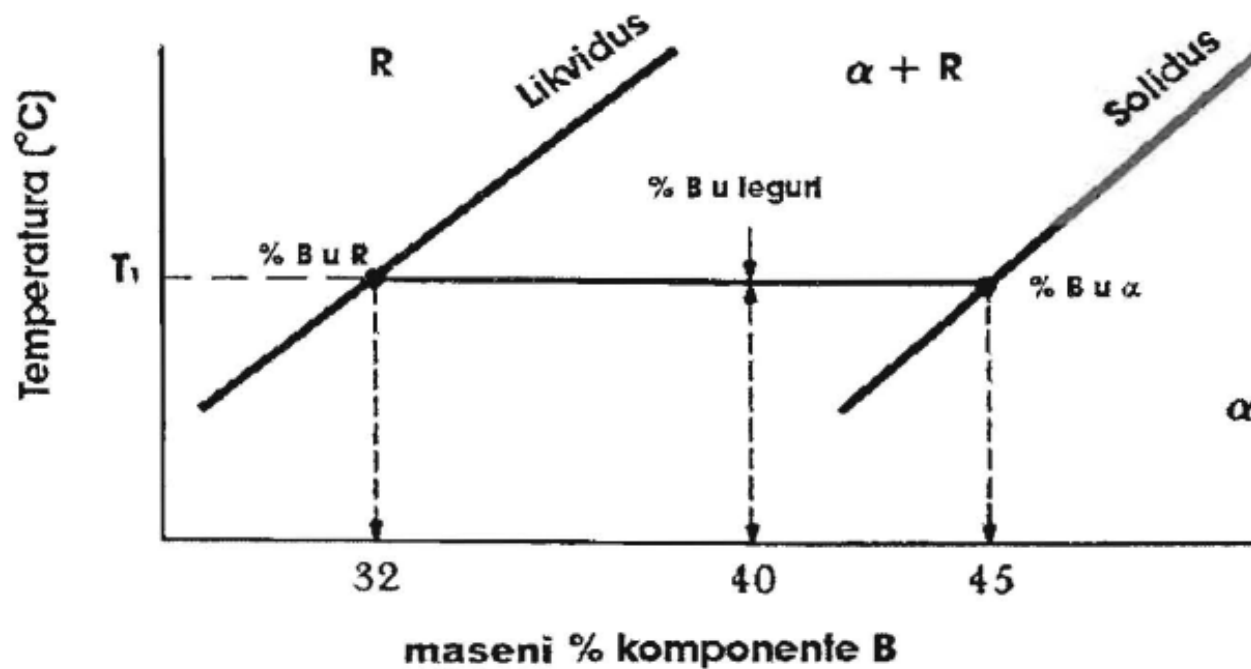
Према Gibbs-овом правилу фаза
степен слободе у подручју између
ликвидус и солидуса је
 $S=1$, двофазно подручје ($R+\alpha$) увек
фиксирано температуром.

Температуром је одређена и њихова
концентрација.



Слика Термодинамичка равнотежа растопа R
и α чврстог раствора)

Одређивање количине фаза у легури



Слика Правило полуге

Легура : 60% А и 40% В

на T_1 легура се састоји из растопа који има састав:
(32%В и 68%А) и чврсте фазе : α (45%В и 55%А)

Дијаграми стања потпуне растворљивости у чврстом стању

Термини:

Ликвидус линија

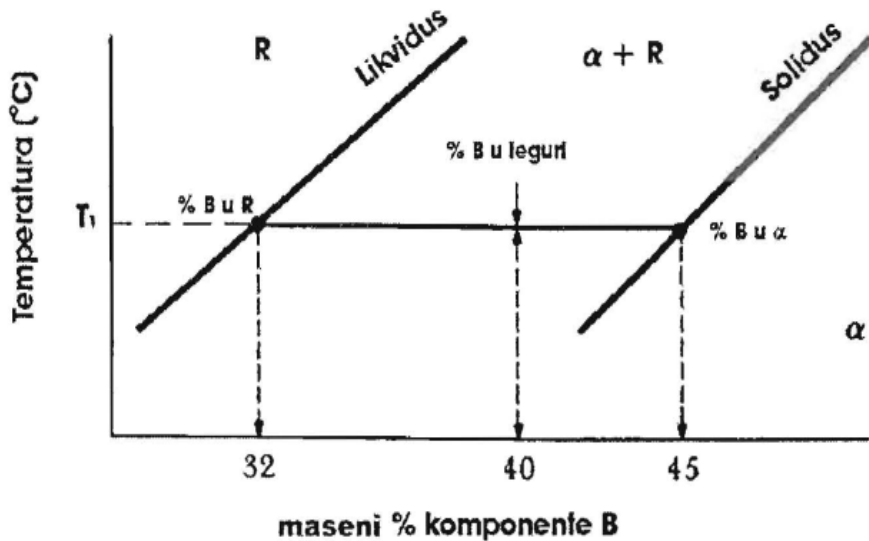
Линија која повезује све тачке температуре почетка очвршћавања легура РАЗНИХ састава назива се линија ЛИКИДУС.

Солидус линија

Линија која повезује све температурне тачке завршетка очвршћавања истих легура назива се линија СОЛИДУС.

Двокомпонентни дијаграми стања

Одређивање количине фаза у легури



На тој температури количина α фазе износи X , док је количина растопа: $1 - X$

$$(\% B \text{ у } \alpha)(X) + (\% B \text{ у } R)(1 - X) = (\% B \text{ у легури})$$

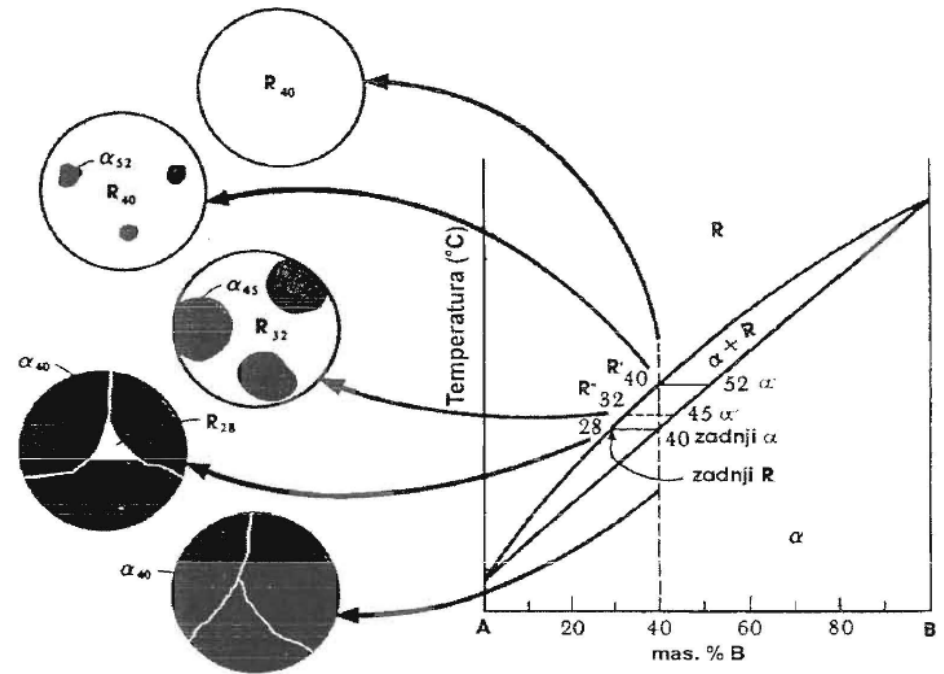
Слика Правило полуге

$$X_{\text{(количина } \alpha \text{ фазе)}} = \frac{(\% B \text{ у легури}) - (\% B \text{ у } R)}{(\% B \text{ у } \alpha) - (\% B \text{ у } R)}$$

Двокомпонентни дијаграми стања

Ток очвршћавања је непрекидно праћен дифузијом, како у растопу, тако и у чврстој фази α , тако да на крају процеса, сви кристали (зрна) α чврстог раствора постају хомогени и садрже 60%A и 40%B.

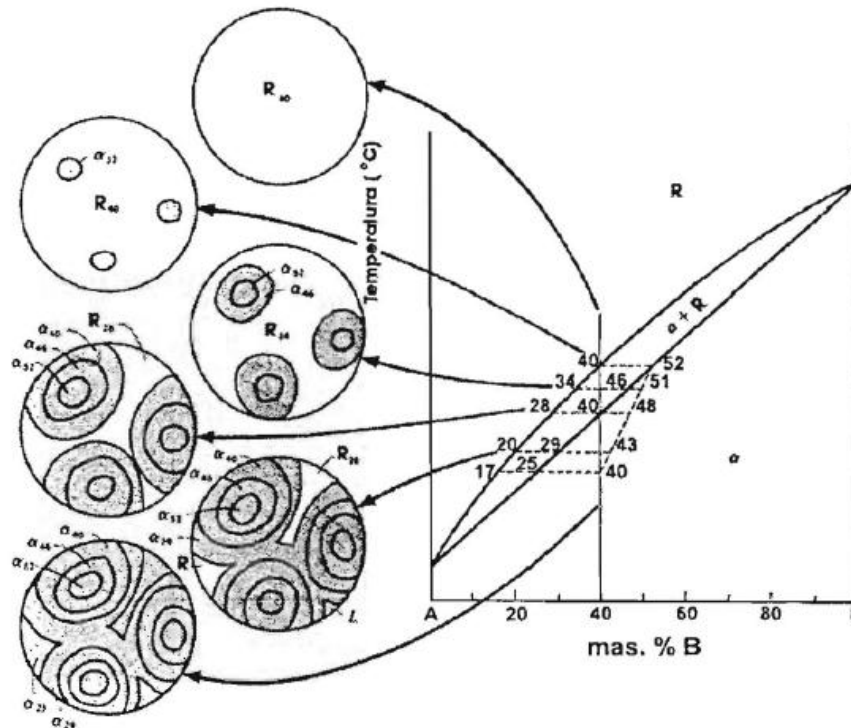
Процес очвршћавања (нуклеације и раста зрна) приказан на слици у реалним условима практично се не дешава.



Слика Ток очвршћавања легуре састава 60%A и 40%B

Двокомпонентни дијаграми стања

Појава кристалне сегрегације



Слика Ток неравнотежног очврђавања легуре састава 60%A и 40%B

Двокомпонентни дијаграми стања

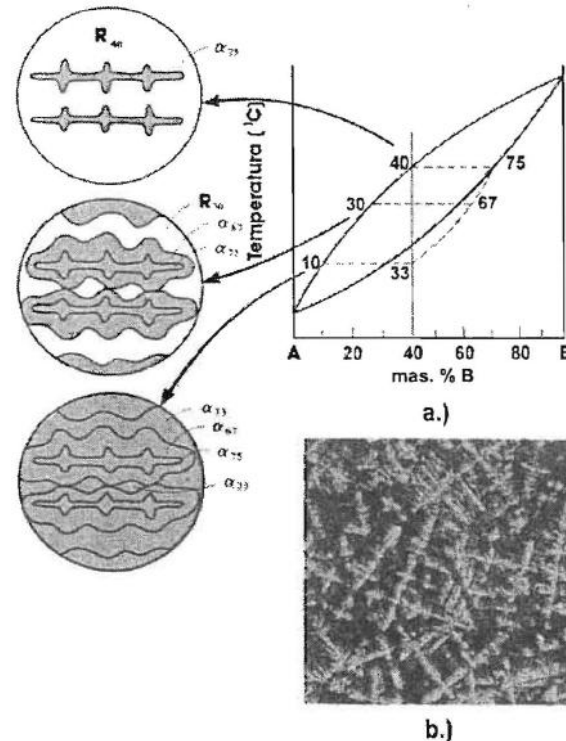
Ако је процес подхлађења јаче изражен кристална сегрегација има специфични облик, тј. стварају се дендрити.

ДЕНДРИТИ су примарна, ливачка, сегрегирана микроструктура.

Примарне и секундарне осе дендрита, при нагризању, постају видљиве. Оне су, увек богатије компонентом која има вишу тачку топљења, а интердендритски простор је богатији другом компонентом.

Дендритна сегрегација увек се може одстранити дифузијом (дифузионо жарење).

Легура се загрева до температуре испод солидус линије, држи одређено време и лагано хлади.

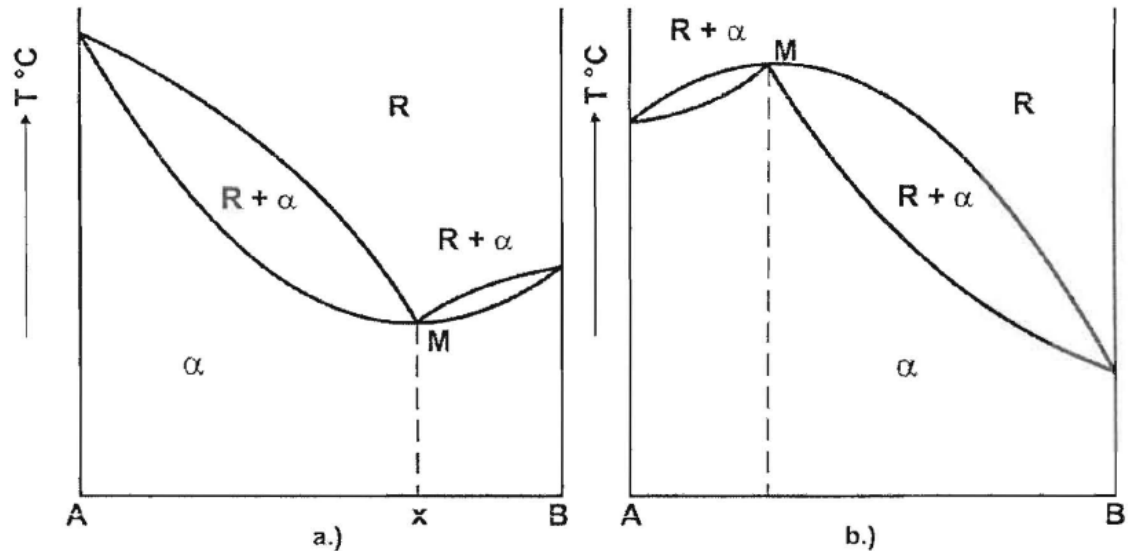


Слика Дендритна сегрегација

Двокомпонентни дијаграми стања

За легуру са преклопљеном тачком ликвидус и солидус, карактеристично је да се топи конгруентно, што значи на константној температури, без промене састава.

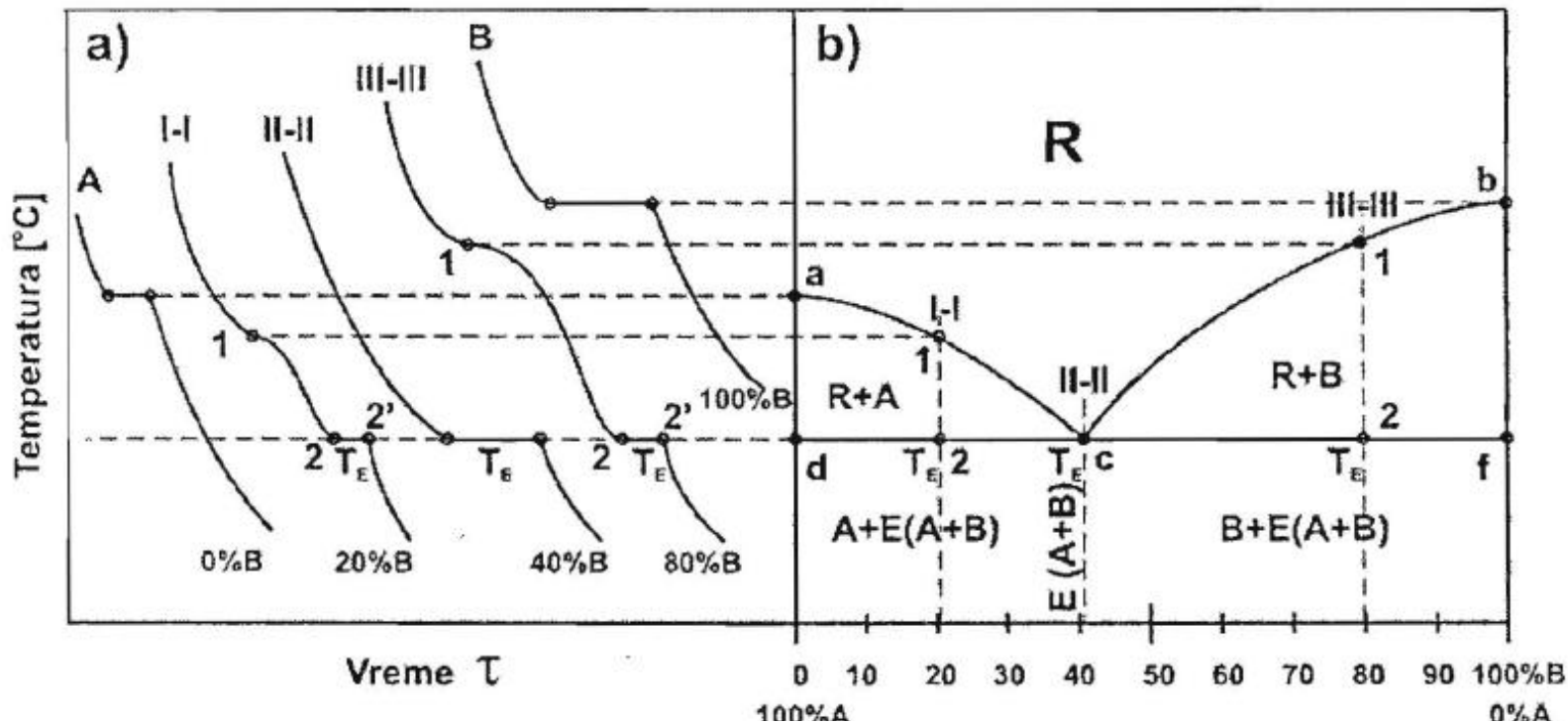
Код ових легура при очвршћавању не настаје сегрегација и могу се третирати као самосталне компоненте. Тада се дијаграм може поделити на два дела, на систем А-М, и систем М-В.



Слика Дијаграм стања а) са максимумом б) са минимумом

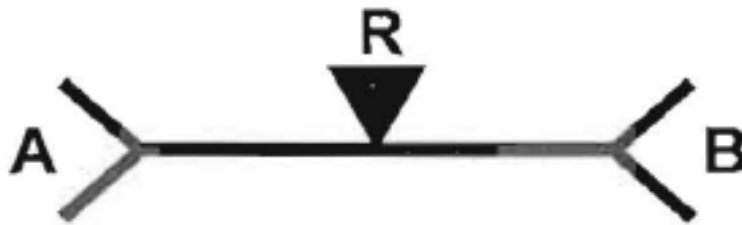
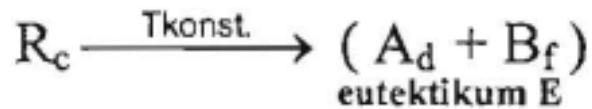
Међутим, није позната ниједна легура са максимумом у дијаграму стања, док су са минимумом познате, као што је то легура Cu-Mn.

2.тип: Дијаграми стања потпуне нерастворљиве у чврстом стању



Слика Дијаграм стања потпуне нерастворљивости у чврстом стању (б) са кривама хлађења(а)

II тип: Дијаграми стања потпуне нерастворљиве у чврстом стању



Еутектичка реакција

Смеша кристала добијена као продукт еутектичке реакције назива се еутектикум.

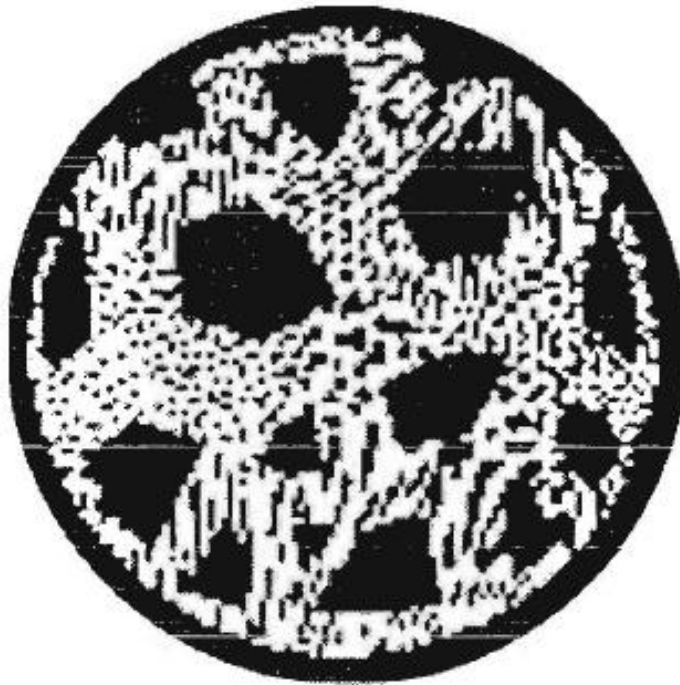


Слика Микроструктура еутектикума

Еутектикум је грчка реч и означава фини распоред кристала у смеси.

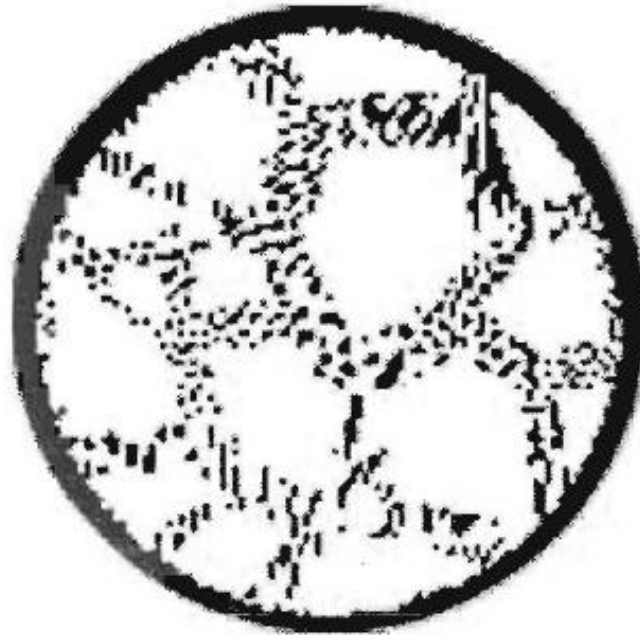
Према морфологији еутектикум може бити зрнасти, ламеларни или у екстерном случају раздвојени.

Двокомпонентни дијаграми стања

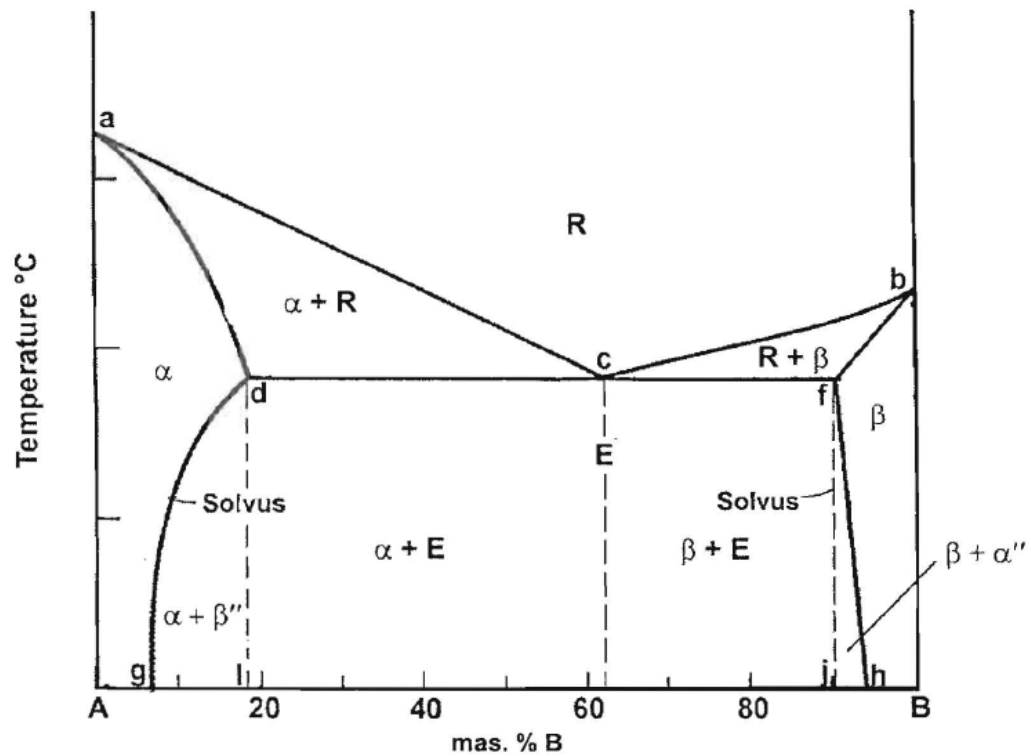


Слика Микроструктура подеутектичке легуре

Двокомпонентни дијаграми стања



Слика Микроструктура еутектичке легуре



Слика Дијаграм стања делимичне растворљивости у чврстом стању

DIJAGRAM STANJA ŽELEZO–UGLJENIK

DIJAGRAM STANJA ŽELEZO-UGLJENIK

Definicija:

Dijagram stanja dvojnih legura predstavlja grafički prikaz faza u ravnoteži u zavisnosti od temperature i sastava legura.

U dijagramu stanja Fe-C,

Fe - železo je osnovna komponenta.

Atomski broj mu je $Z=26$, a maseni broj $A=55,85$ g/molu.

C - ugljenik je druga komponenta sistema ($Z=6$, $A=12,01$ g/molu)

U tečnom stanju neograničeno se rastvara u železu, dok je u čvrstom ta rastvorljivost ograničena, te stvara ograničene intersticijske čvrste rastvore.

U zavisnosti od kristalne strukture železa, postoje tri vrste čvrstih rastvora:

α , γ i δ čvrsti rastvor.

Shodno tome u **kom se obliku ugljenik javlja**, razlikuju se **dva sistema legura**:

Sistem legura Fe – Cgr. , odnosno stabilan sistem

Sistem legura Fe – Fe₃C, metastabilni sistem.

Grafit kao komponenta sistema Fe – Cgr ima sledeće karakteristike:

Krt je i ima **malu tvrdoću**. Kristališe po heksagonalnom kristalografskom sistemu.

Cementit, Fe₃C, kao komponenta sistema Fe – Fe₃C, predstavlja stehiometrijsko hemijsko jedinjenje sa ortorombičnom kristalnom strukturom.

Veoma je **krt i tvrd**.

Pošto je metastabilna faza on se u određenim uslovima razlaže na železo i slobodni ugljenik (grafit), kao što sledi:

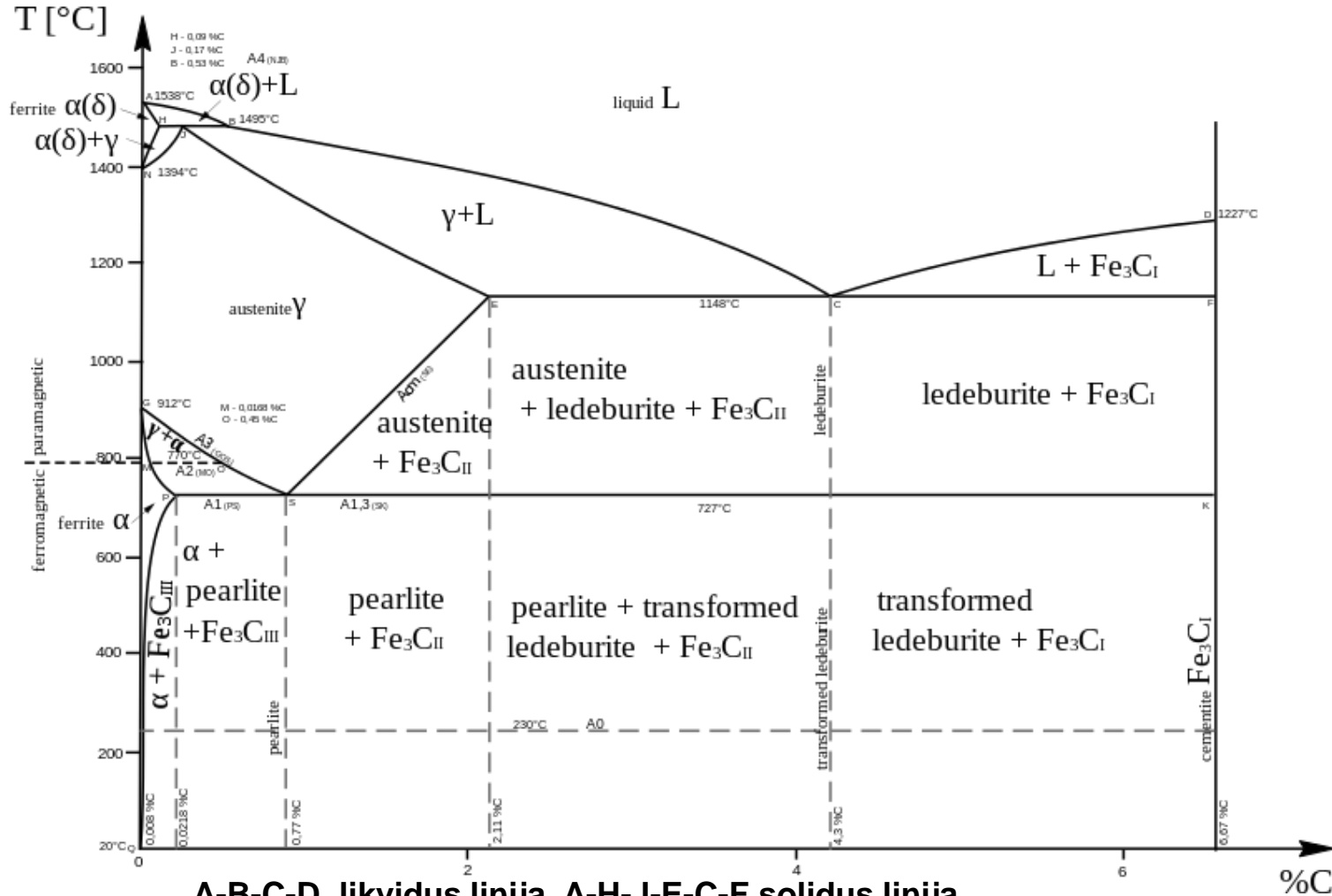


- Metastabilni sistem je podhlađeni sistem stabilnog sistema.

VAŽNO

- Ima veliki praktični značaj pošto se preko njega mogu objasniti mikrostrukture realnih čelika i belih gvožđa.

Metastabilni sistem Fe-Fe₃C



A-B-C-D likvidus linija, **A-H-J-E-C-F** solidus linija.

G-O-S, odnosno **G-P**, predstavlja **A₃** promenu; **N-H**, odnosno **N-J** **A₄** promenu.

U dijagramu egzistiraju tri čvrsta rastvora:

α čvrsti rastvor (zove se ferit) postojan je u području G-P-Q.

Ima zapreminski centriranu kubnu (ZCK) strukturu.

Maksimalna rastvorljivost ugljenika iznosi 0,0218% u tački P na temperaturi 727°C, a u tački Q (sobna temperatura) 0,006%.

γ čvrsti rastvor (zove se austenit), postojan je u području G-O-S-E-J-N.

Ima površinski centriranu kubnu (PCK) strukturu.

Maksimalna rastvorljivost je 2,11%C u tački E, na temperaturi 1148°C.

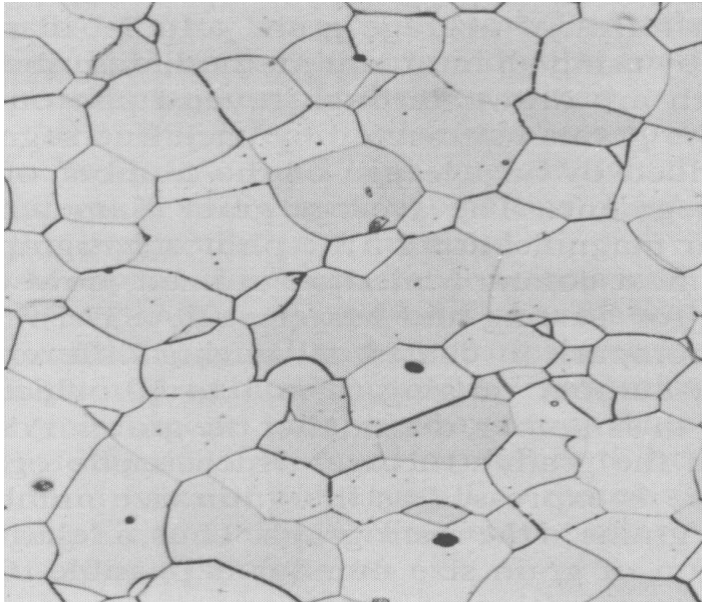
Najniža temperatura postojanja austenita je na temperaturi 727°C, u tački S.

δ čvrsti rastvor (zove se δ -ferit), postojan je u području A-H-N.

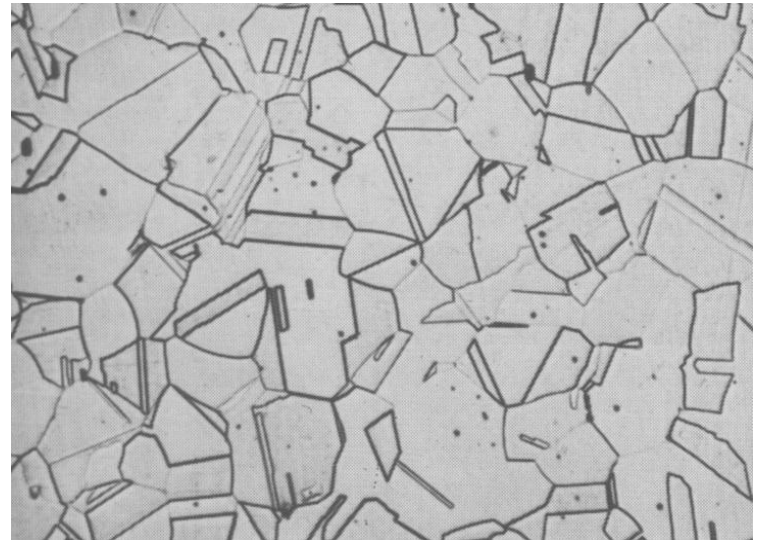
Ima zapreminski centriranu kubnu (ZCK) strukturu,

Maksimalna rastvorljivost ugljenika 0,09% u tački H, na temperaturi 1945°C.

α čvrsti rastvor
Ferit



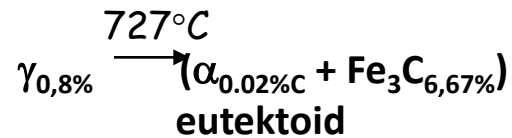
γ čvrsti rastvor
Austenit



Invarijantne reakcije u dijagramu stanja Fe-Fe₃C

- na temperaturi 1495°C peritektička reakcija, linija H-J-B →
- peritektička : $(\delta_{0,09\%C} + R_{0,53\%C}) \rightarrow \gamma_{0,17\%C}$
- na temperaturi 1148°C eutektička reakcija, linija E-C-F →
- eutektička: $R_{4,3\%C} (\gamma_{2,11\%C} + Fe_3C_{6,67\%C})$
eutektikum
- na temperaturi 727°C eutektoidna reakcija, linija P-S-K →
- eutektoidna: $\gamma_{0,8\%} (\alpha_{0,02\%C} + Fe_3C_{6,67\%})$
eutektoid

EUTEKTOIDNA REAKCIJA



Produkt eutektoidne reakcije je eutektoid.

To je složena mikrostruktura sastavljena od dve faze međusobno pomešane u vidu mehaničke smeše.

- Eutektoidna reakcija je analogna eutektičkoj reakciji.
- Legura sa eutektoidnom koncentracijom od 0,8%C naziva se eutektoidnom,
- legure sa 0,02 –0,8%C podeutektoidnim,
- legure sa 0,8-2,11%C nadeutektoidnim.

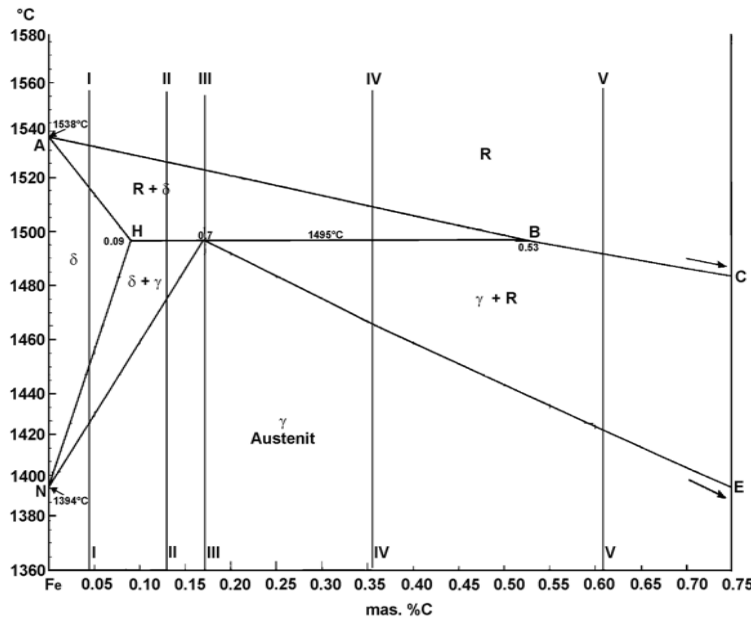
ČELICI

**Sve legure u Fe-Fe₃C
koje sadrže količinu ugljenika do 2,11%,
nazivaju se ČELICI.**

Podela:

- čelik sa 0,8%C je eutektoidan čelik,
- čelici sa 0,02 –0,8%C su podeutektoidni i
- čelici sa 0,8-2,11% su nadeutektoidni čelici.

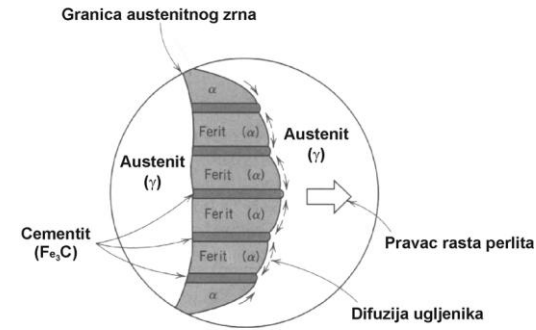
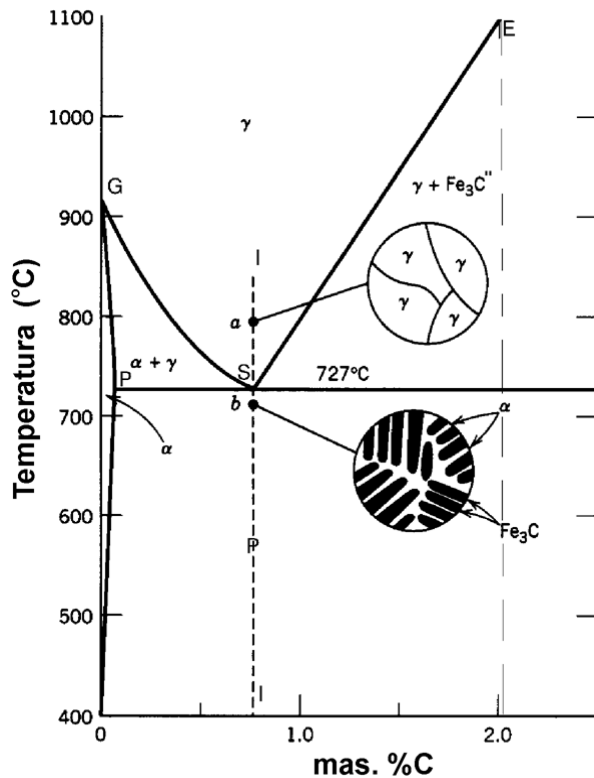
Segment dijagrama stanja Fe- Fe₃C



**Pokazuje 5 načina
očvršćavanja čelika.**

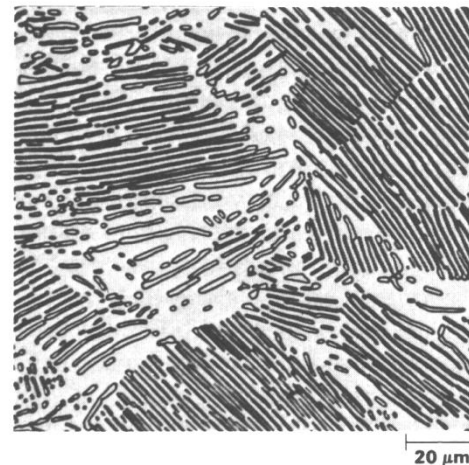
**Svi čelici bez obzira na
način očvršćavanja,
prolaze kroz γ austenitno
područje i kasnije se dalje
transformišu.**

Tok transformacije eutektoidnog čelika



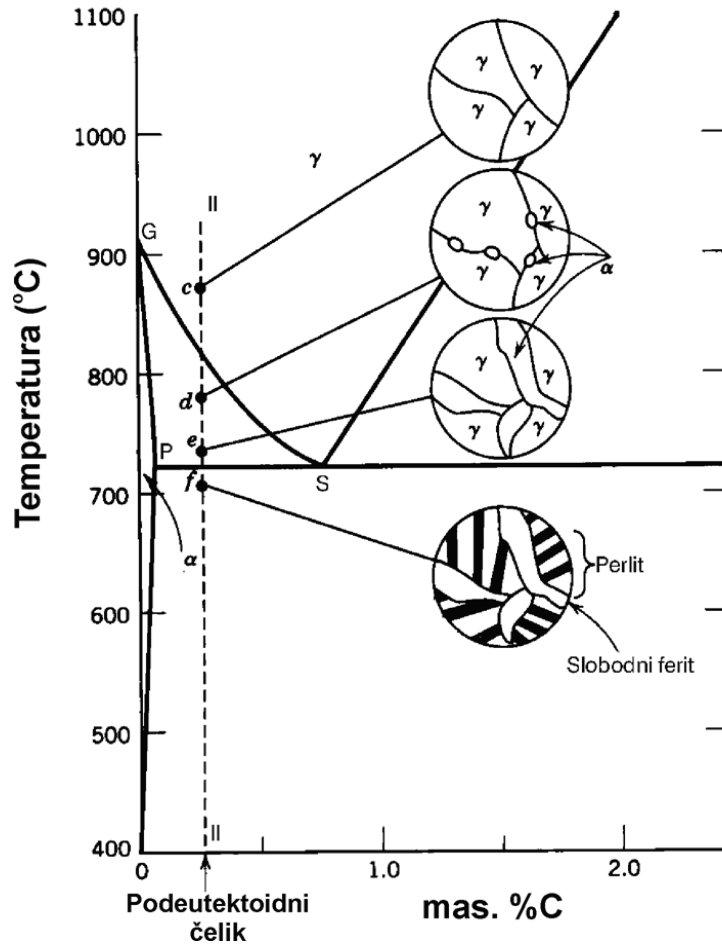
Šema nastajanja perlita

Strelice na slici ukazuju da je proces stvaranja i rasta perlita difuziono kontrolisan.



Perlit
čelik sa 0.8%C

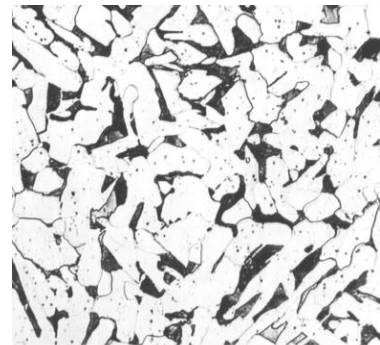
Tok transformacije podeutektoidnih čelika



Feritno-pelitna
mikrostruktura čelika

0,2%C

0,6%C

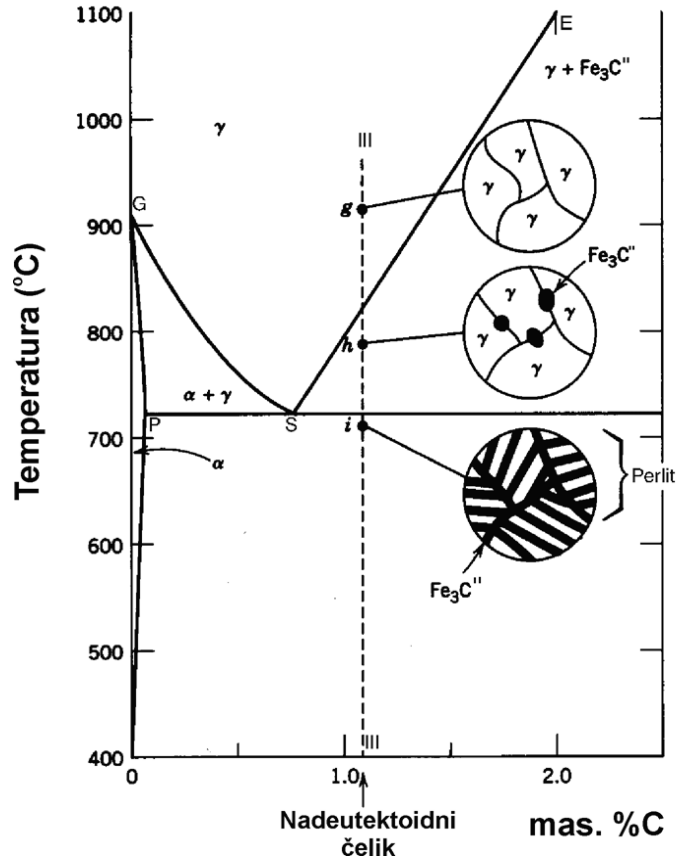


(a) 500x

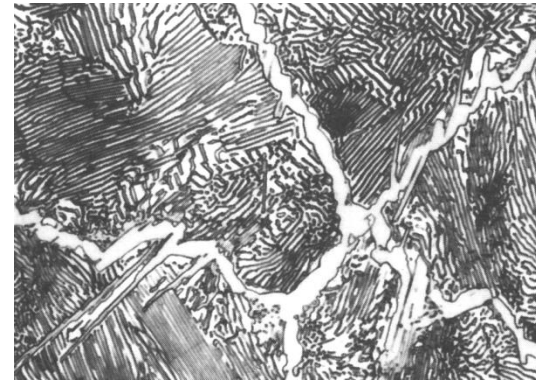


(b) 500x

Tok transformacije nadeutektoidnih čelika



Perlit i $\text{Fe}_3\text{C}''$ (sekundarni cementit)
čelik sa 1.4%C



BELA GVOŽĐA

Legure sa sadržajem ugljenika od 2,11%-6,67% nazivaju se BELA GVOŽĐA,

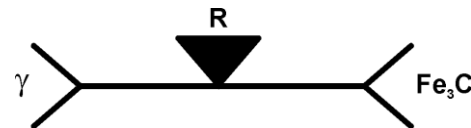
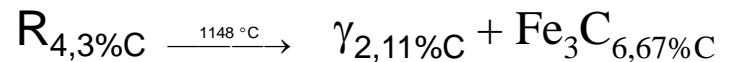
PODELA:

belo eutektičko gvožđe, to je gvožđe sa 4,3% C,
bela podeutektička gvožđa, to su gvožđa sa 2,11% -
4,3%C

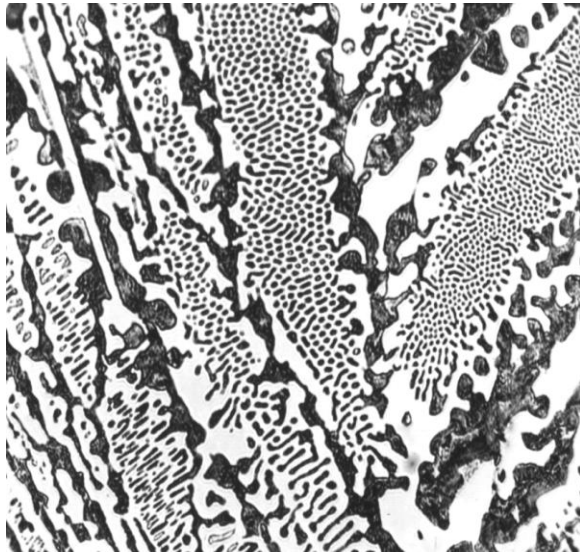
bela nadeutektička gvožđa, to su gvožđa sa 4,3% -
6,67%C.

Pri procesu očvršćavanja sve legure gvožđa seku eutektičku liniju E-C-F (1148°C).

Na toj temperaturi dolazi do eutektičke reakcija koja glasi:



Ledeburit II - belo gvožđe sa 4,3%C



Ledeburit_{II} - belo gvožđe sa 4,3%C

Dobijeni eutektikum (smeša austenita i cementita) naziva se ledeburit- Lc.

Daljim hlađenjem od 1148°- 727°C u ledeburitu izlučuje se Fe₃C'' zbog opadanja rastvorljivosti ugljenika u austenitu sa 2,11% na 0,8%.

Ledeburit postojan u dijapazonu od tačke C do temperature 727°C naziva se ledeburit_I (L_I).

Na 727C austenit sa 0.8%C prelazi u perlit čime je nastao ledeburit L_{II}

**Podeutektičke legure belog
gvožđa,
od 2,11% - 4,3% C**



**Perlit + L_{II} + Fe₃C''
belo gvožđe sa 3,7%C**

**Nadeutektičke legure
belog gvožđa,
od 4,3% - 6,67%C**



**L_{II} + Fe₃C'
belo gvožđe sa 5,0%C**

Podeutektičke legure belog gvožđa, od 2,11% - 4,3% C

•Na T- 1148°C proces izdvajanja austenita se prekida eutektičkom reakcijom, gde ostatak rastopa sa 4,3%C prelazi u ledeburit L_C .

Na eutektičkoj temperaturi mikrostruktura belih gvožđa se sastoji iz austenita i ledeburita C.

Hlađenjem do 727C, iz austenita i ledeburita C izlučuje se Fe_3C'' , pa se mikrostruktura u pomenutom području sastoji iz smeše austenita, Fe_3C'' i ledeburita I.

Na 727C austenit prelazi u perlit, te se mikrostruktura podeutektičkih belih gvožđa na sobnoj temperaturi sastoji iz perlita, Fe_3C'' i ledeburita II.

Nadeutektičke legure belog gvožđa, od 4,3% -6,67%C

Kristalizacija počinje na likvidus liniji D-C gde nastaje primarni cementit

Fe_3C' u vidu oštih igala.

Na 1148C ostatak rastopa prvo prelazi u ledeburit C, a zatim hlađenjem do 727C u ledeburit I.

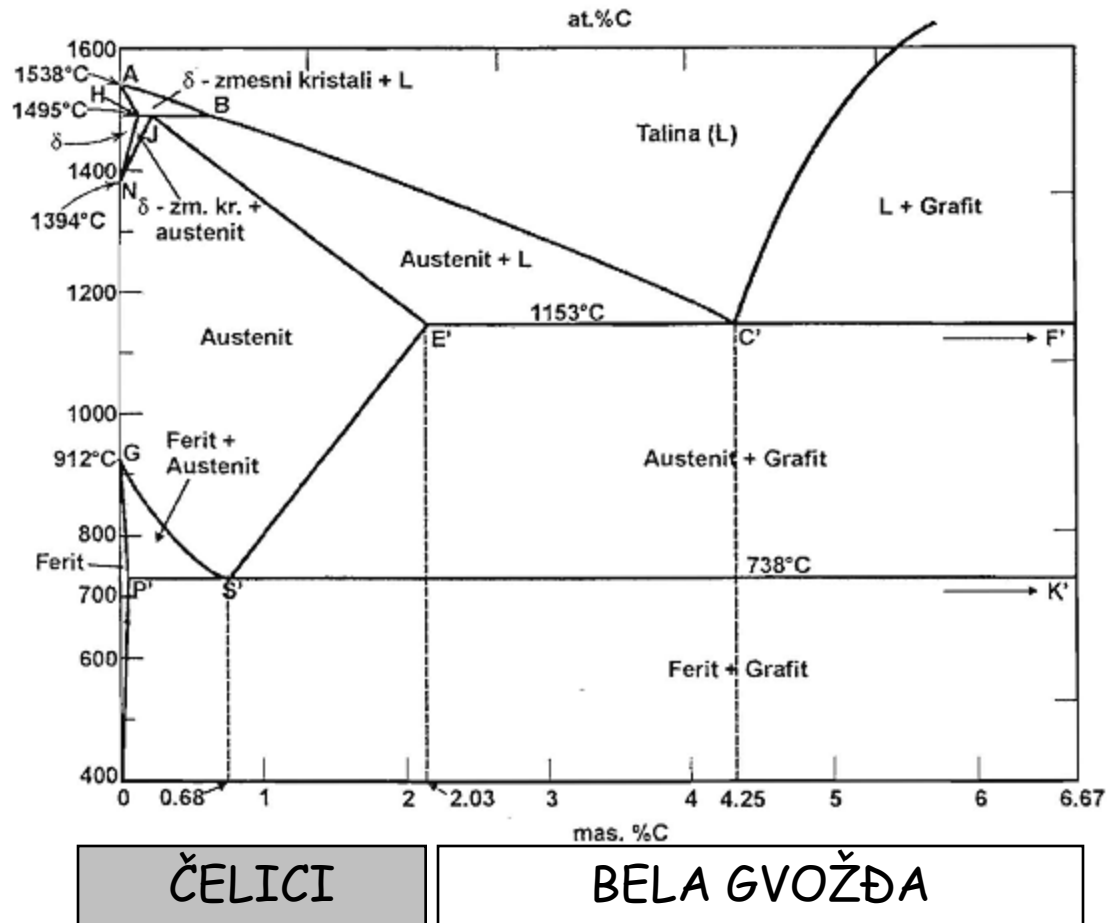
Na 727C, ledeburit_I prelazi u ledeburit_{II}

Na sobnoj T: $L_{II} + Fe_3C'$

Mikrostruktura legura u metastabilnom sistemu Fe - Fe₃C

Legure sa	0 - 0,006% C	imaju mikrostrukturu	FERIT
Legure sa	0,006% - 0,02%C	imaju mikrostrukturu	FERIT + Fe ₃ C'''
Legure sa	0,02% - 0,8%C	imaju mikrostrukturu	FERIT + PERLIT
Legura sa	0,8%C	ima mikrostrukturu	PERLIT
Legure sa	0,8% - 2,11%C	imaju mikrostrukturu	PERLIT + Fe ₃ C''
Legure sa	2,11 - 4,3%C	imaju mikrostrukturu	PERLIT + Fe ₃ C'' + L _{II}
Legure sa	4,3%C	imaju mikrostrukturu	L _{II}
Legure sa	4,3% - 6,67%C	imaju mikrostrukturu	L _{II} + Fe ₃ C'

Metastabilni sistem Fe-Fe₃C



Stabilni sistem Fe- Cgr

U METASTABILNOM SISTEMU ŽELEZO -CEMENTIT-
CEMENTIT JE METASTABILNA FAZA.

U slučaju povišene temperature, cementit može da se razlaži na grafit i Fe:



To je indirektno stvaranje grafita.

Međutim, grafit, može da nastane i direktno, iz rastopa, tokom procesa kristalizacije u uslovima sporog hlađenja.

Tada govorimo o STABILNOM SISTEMU Fe - Cgr

OBLIK RAVNOTEŽNIH LINIJA U STABILNOM SISTEMU
SE NE RAZLIKUJU OD LINIJA U Fe-Fe₃C SISTEMU

MEĐUTIM, TEMPERATURNE PROMENE I
KONCENTRACIJE
POJEDINIH TAČAKA NISU ISTE.

Ravnotežne temperature i koncentracije u Fe- Cgr dijagramu

Tačka	T (°C)	%C	Reakcija
H	1495	0,09	peritektička
J	1495	0,17	
B	1495	0,53	
A	1538	0,0	
N	1394	0,0	
E'	1153	2,03	eutektička
C'	1153	4,25	
F'	1153	6,67	
D'	3760	6,67	
G	912	0,0	eutektoidna
P'	738	0,019	
S'	738	0,68	
K'	738	6,67	

Mikrostrukture gvožđa u Fe- Fe₃C i Fe-C_{gr} sistemu

Sistem Fe- Fe ₃ C	Sistem Fe-C _{gr}
Ledeburit _c (austenit + cementit)	Grafitni eutektikum (austenit + grafit)
Perlit (ferit + cementit)	Grafitni eutektoid (ferit + grafit)
Primarni cementit (uzduž linije DC)	Primarni grafit (uzduž linije D' C')
Sekundarni cementit (uzduž linije ES)	Sekundarni grafit (uzduž linije E' S')

Kristalizacija legura sa 3% C

odvija se na sledeći način:

- Pri hlađenju, kada legura pređe liniju BC' , počinju da se izlučuju primarni kristali austenita.

Na temperaturi 1153°C (linija $E'F'$) austenitni kristali γ_0 sadrže 2,03% C (E'), a ostatak rastopa 4,25% C (C').

Rastop sastava 4,25% C na temperaturi 1153°C eutektičkom reakcijom prelazi u eutektikum koji se sastoji iz austenita i grafita (grafitni eutektikum).

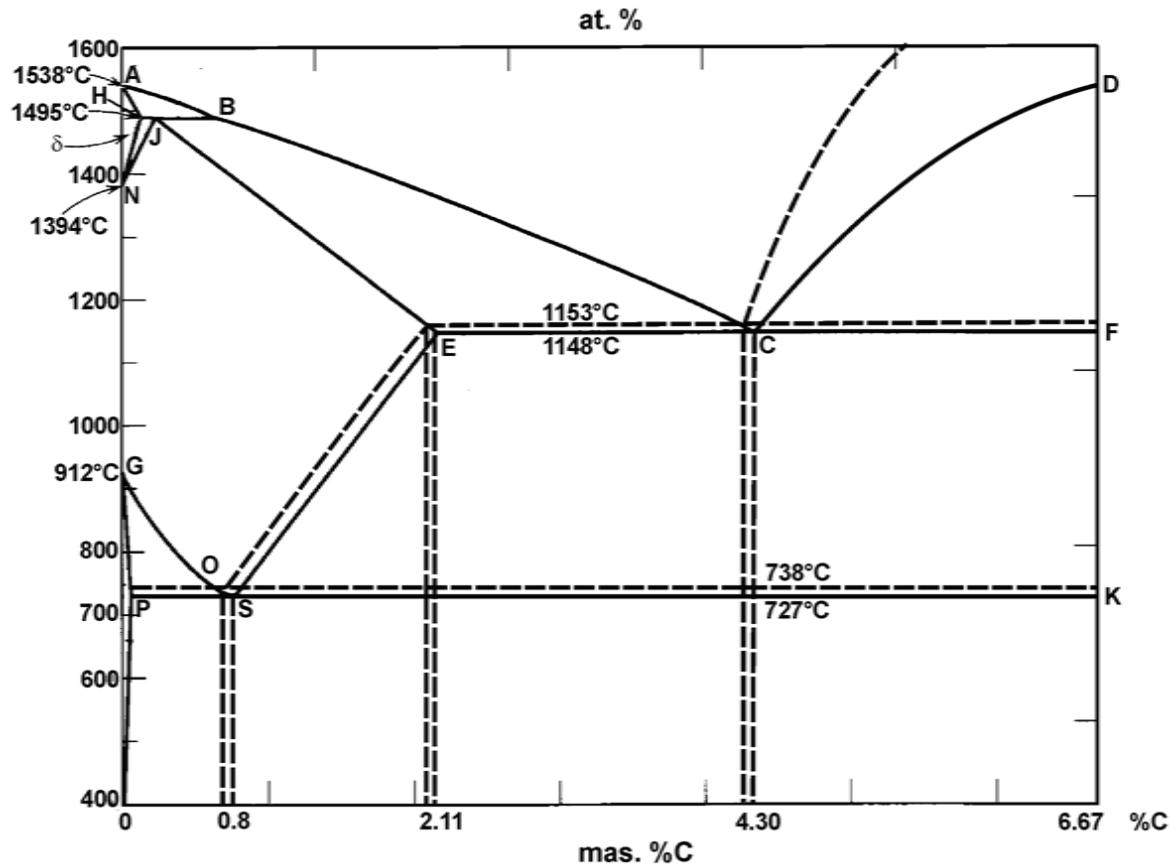
Hlađenjem legure do temperature 738°C (linija $P'S'K'$) iz austenita izlučuje se sekundarni grafit, tako da na temperaturi 738°C austenit sadrži samo 0,68% C.

Na temperaturi 738°C taj austenit eutektoidnom reakcijom prelazi u eutektoid koji je sastavljen iz ferita i grafita.

Na sobnoj temperaturi mikrostruktura legure sa 3% C se sastoji iz ferita i grafita.

Shodno legurama u metastabilnom sistemu legure sa 2,03% do 6,67% C se nazivaju **SIVA GVOŽĐA**.

Metastabilan i stabilan Fe-C sistem



Metastabilni - pune linije - koristi se kod čelika i belog liva

**Stabilni - isprekidane linije - nema praktični značaj,
jer su sivi livovi trojne legure Fe-C-Si**