



MéRNÖKI ANYAGOK

JÁRMŰSZERKEZETI ANYAGOK

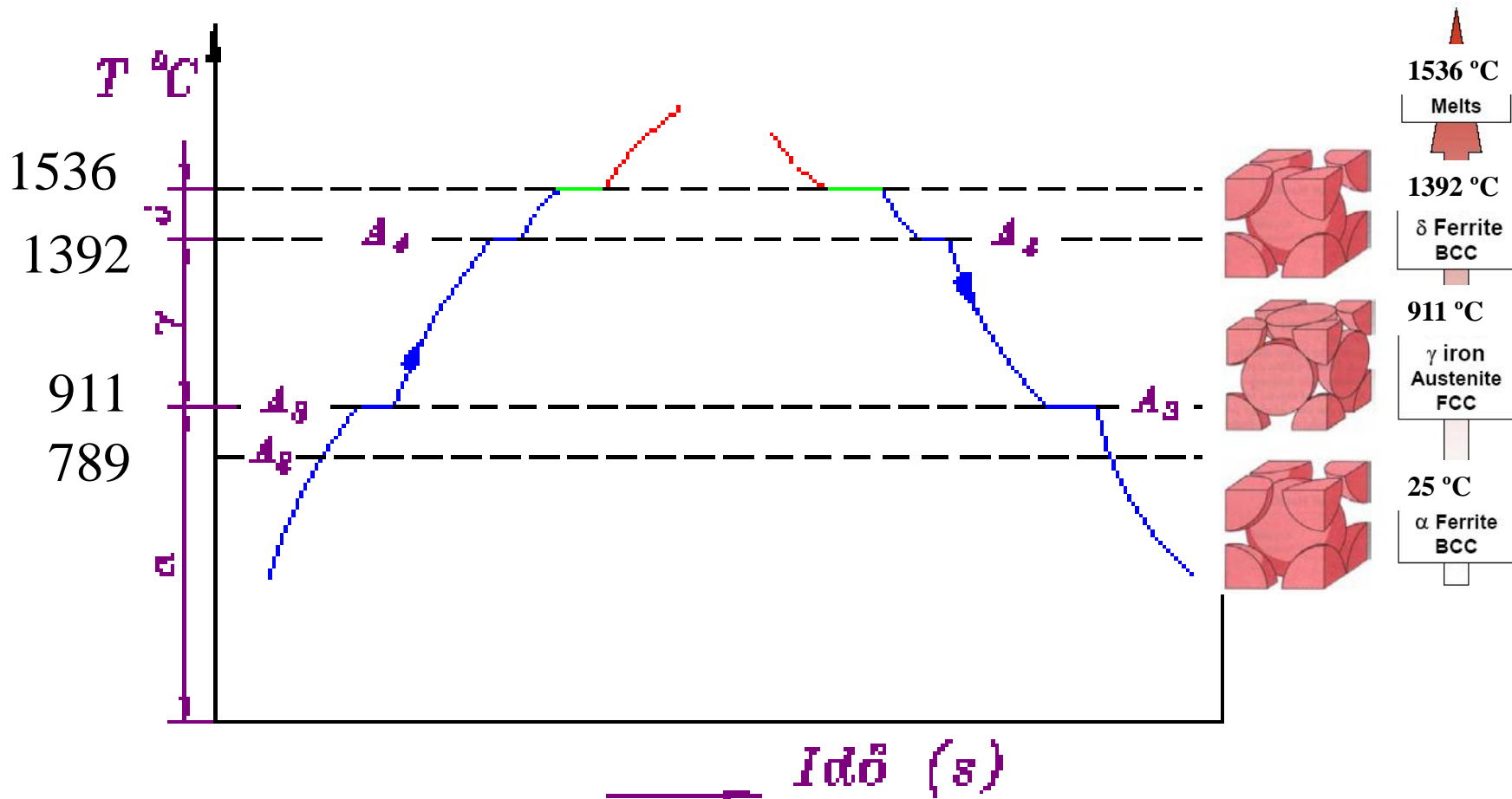
Vas-karbon ötvözetrendszer

Egyensúlyi átalakulások

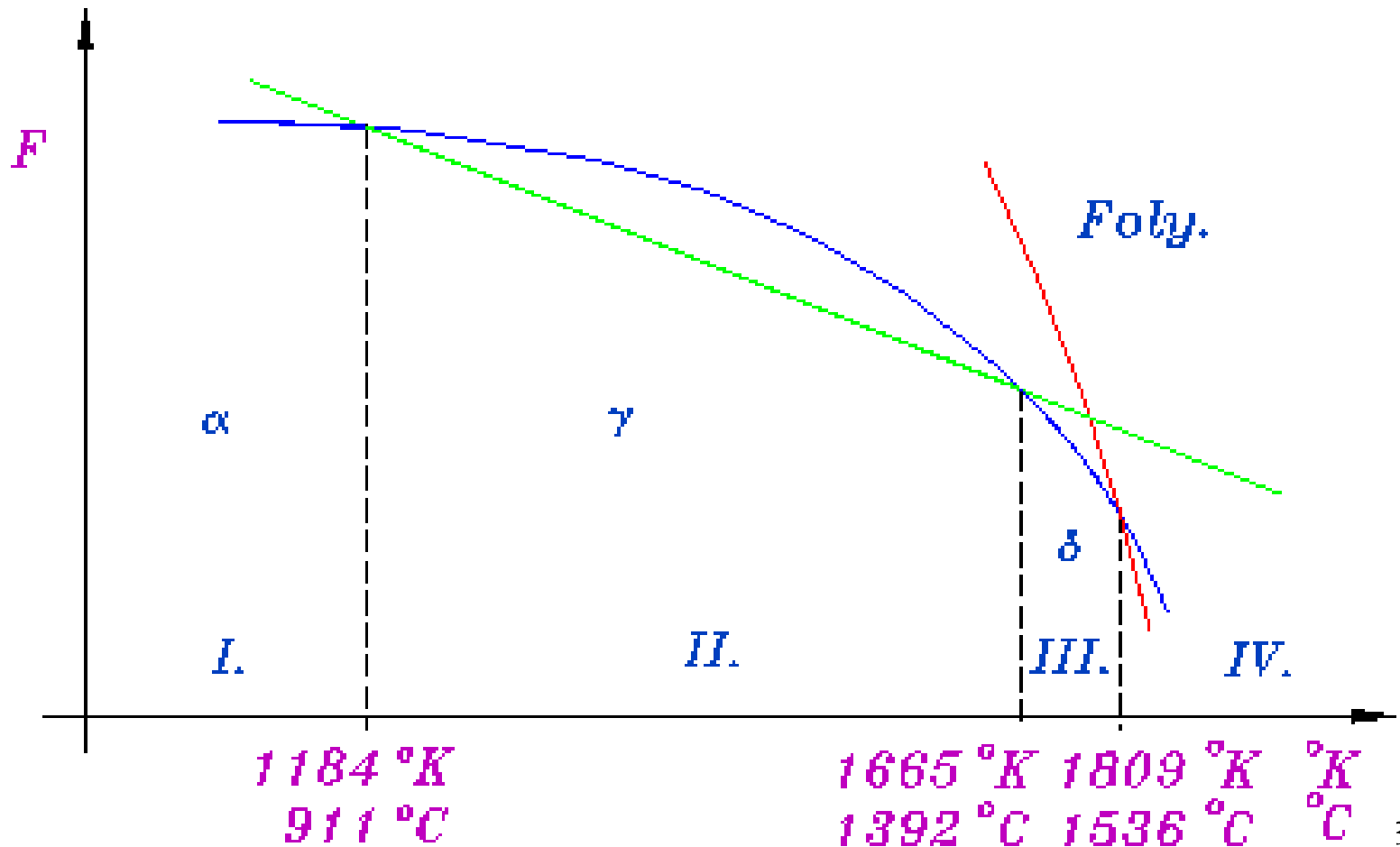
Dr. Hargitai Hajnalka

(Csizmazia Ferencné dr. előadásanyagai alapján)

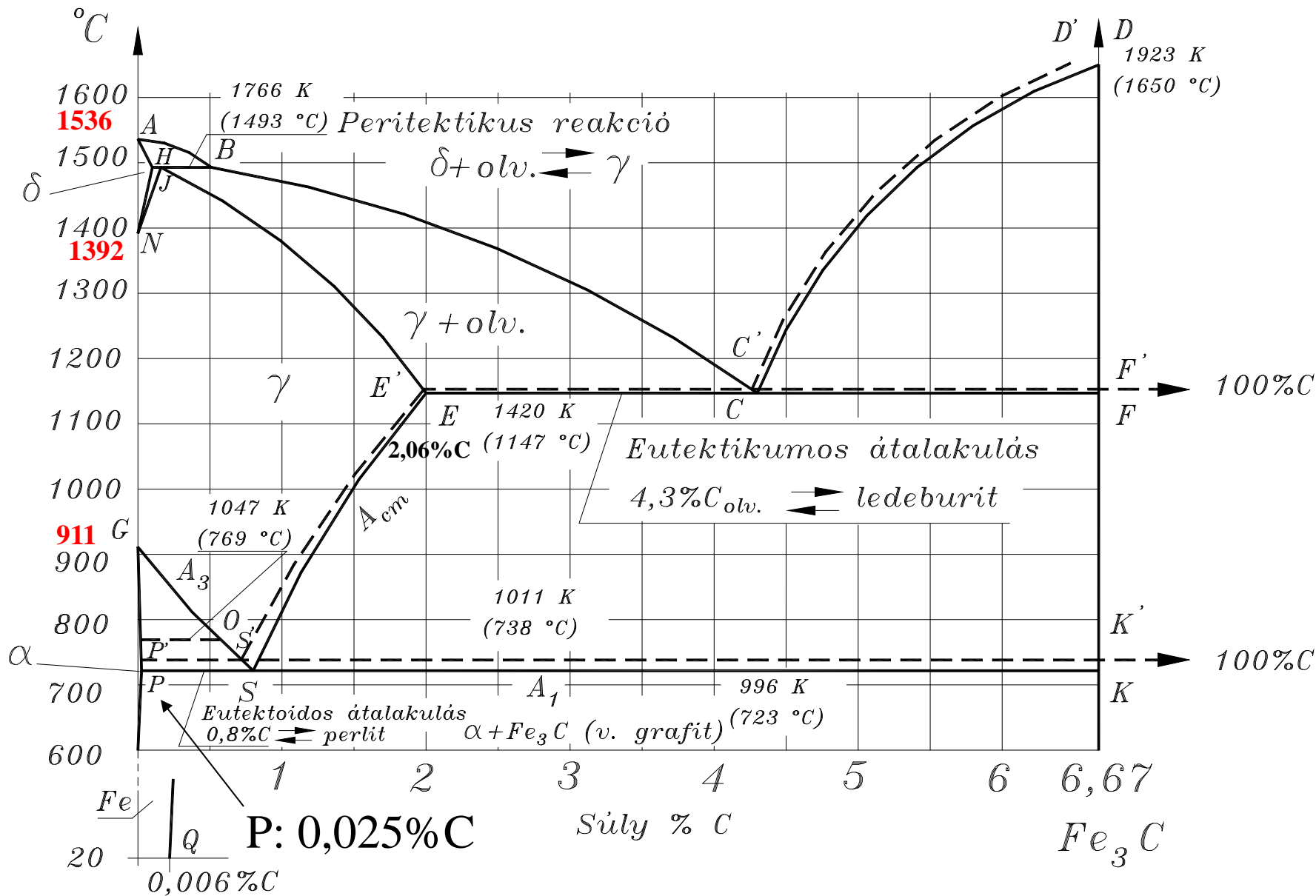
Színvas hevítési és lehűlési görbéje (allotróp átalakulás van)



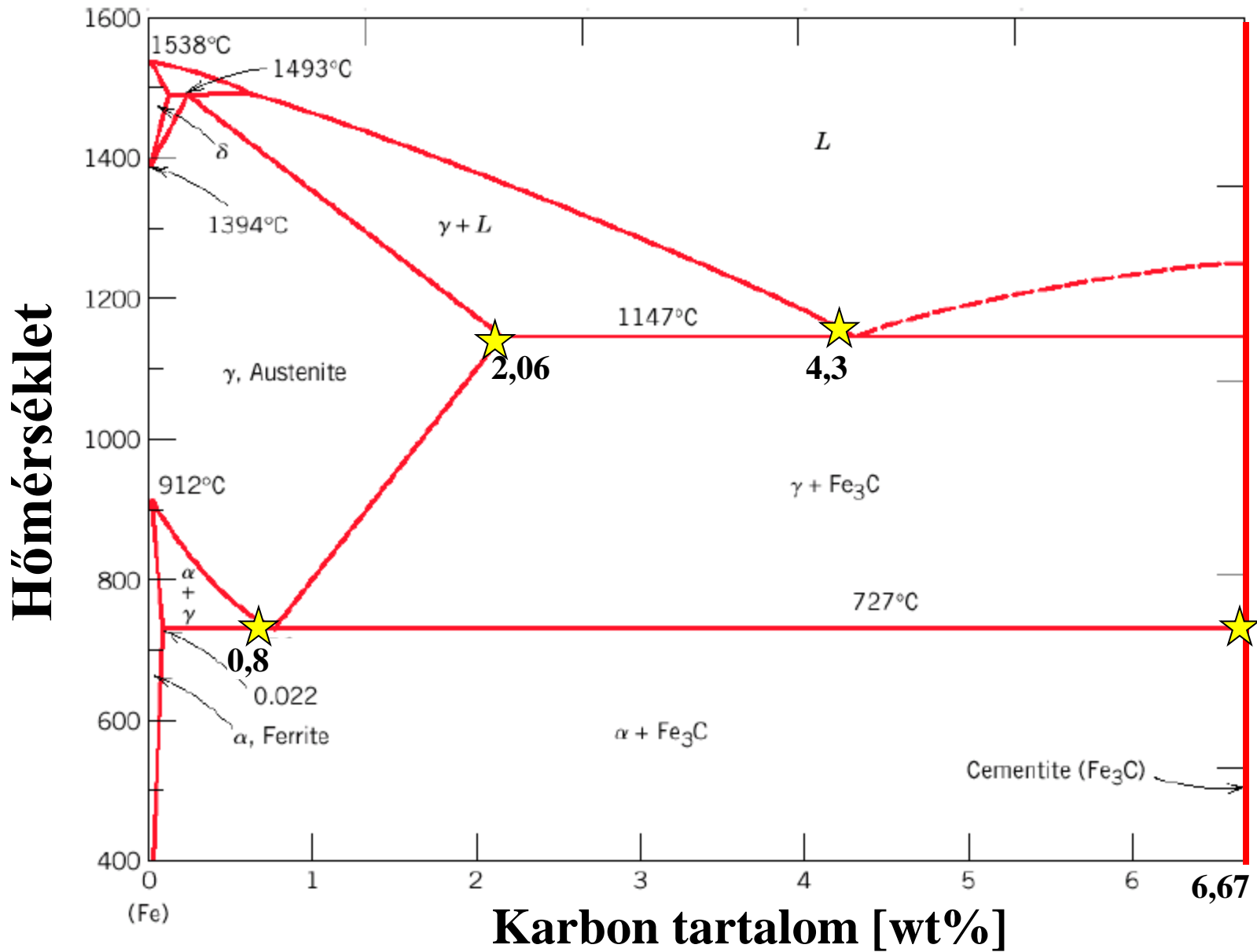
A vas fázisainak szabadenergia görbéi

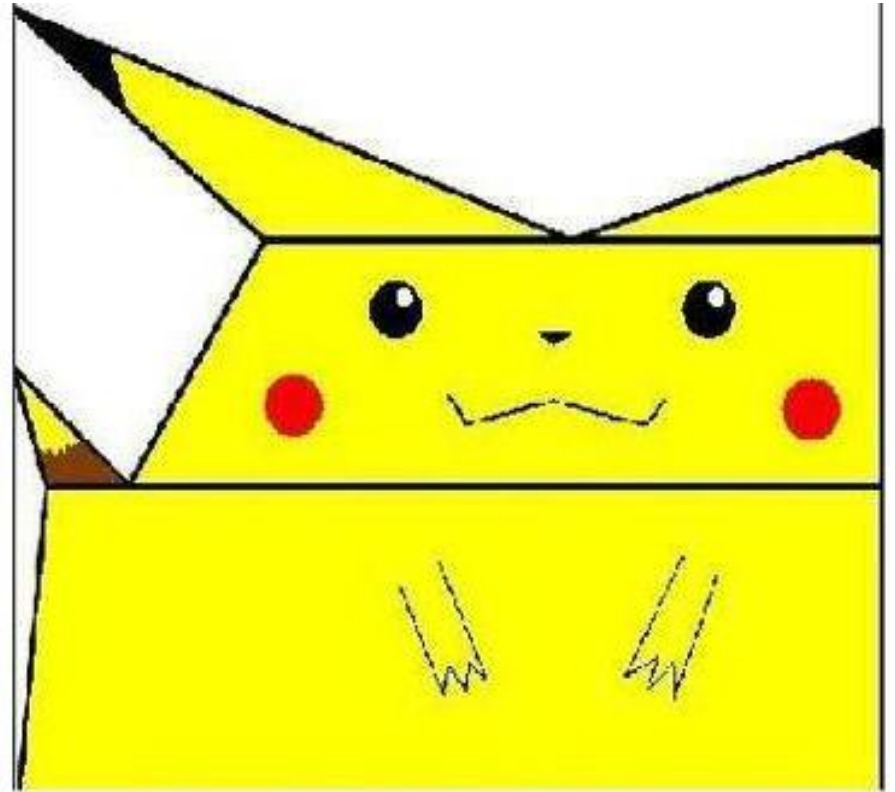
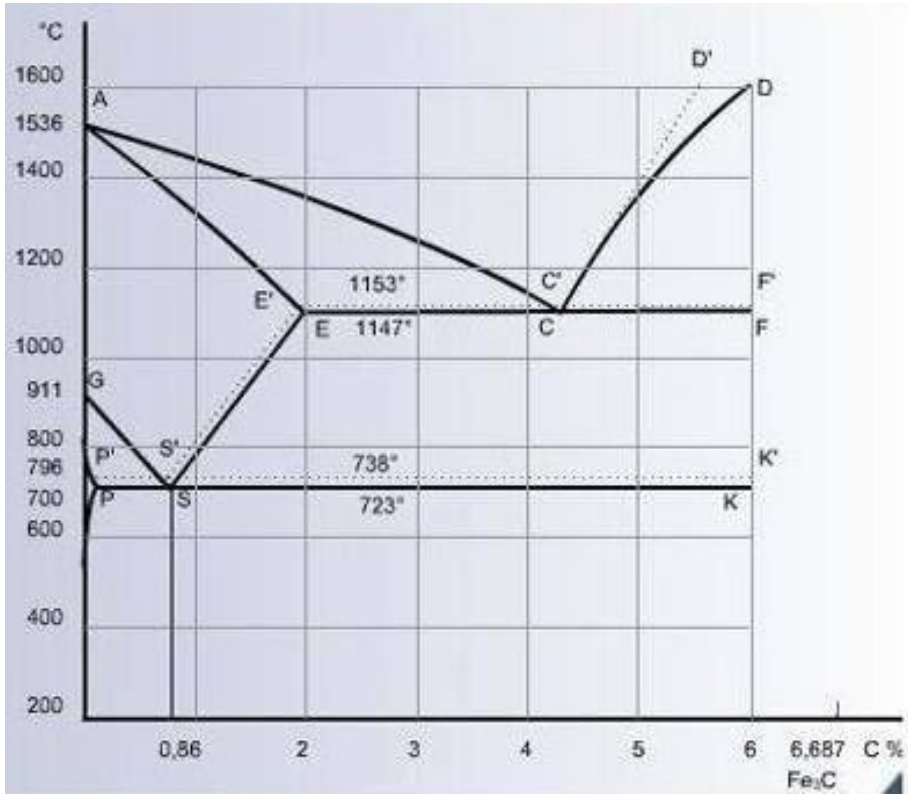


Vas- Karbon diagram



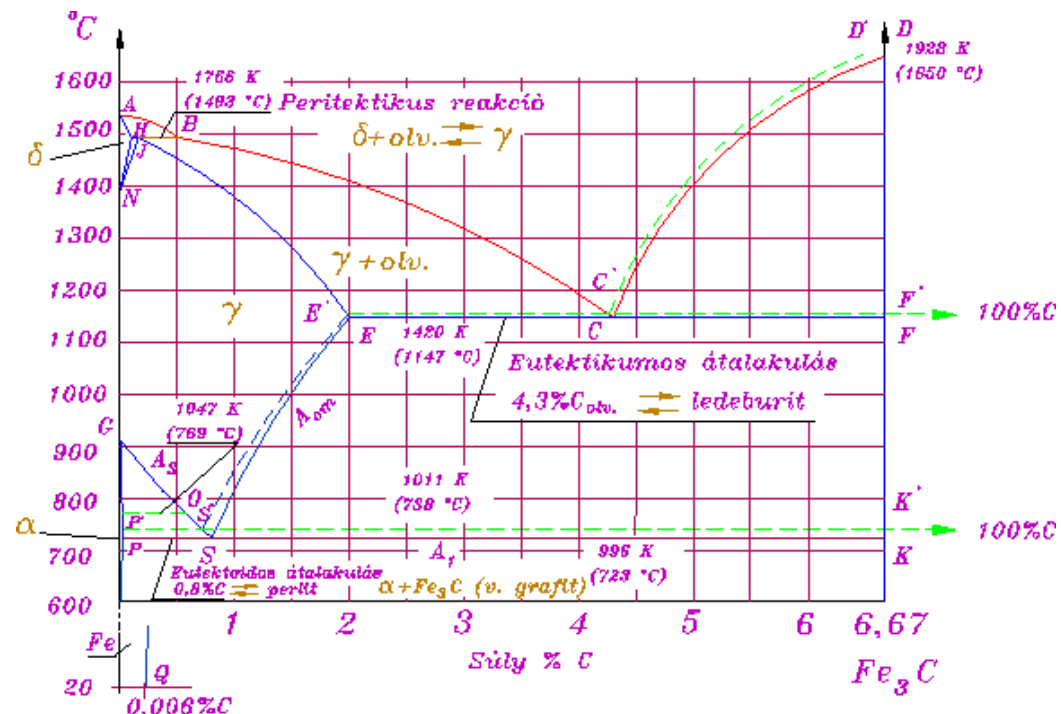
Fe-Fe₃C diagram





Eltérések az eddig tárgyalt diagramokhoz képest

- a diagramot csak **6,67 C %-ig** ábrázolják,
- bizonyos vonalak folyamatos, és szaggatott vonallal is fel vannak tüntetve



Az eltérések oka 1

- **a 6 % C-nál nagyobb C tartalmú ötvözetekre semmilyen megbízható adatunk nincs, de ezeknek nincs is gyakorlati jelentősége.**

(A diagramban a **6.67 C %-nál látott függőleges a Fe_3C interosztíciós vegyületnek felel meg**)

Az eltérések oka 2

A **karbon** a vasötvözetekben kétféle alakban jelenik meg,

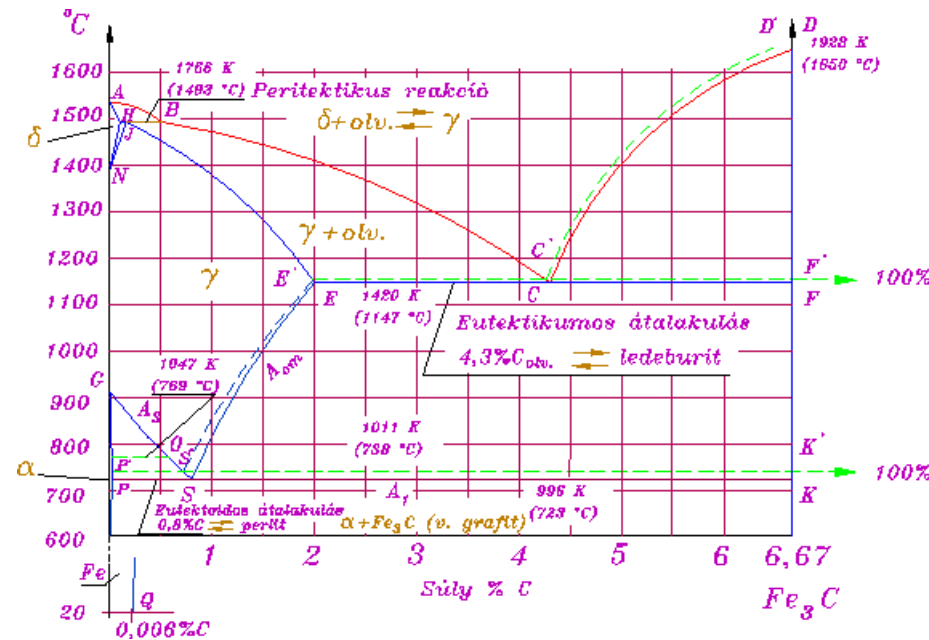
- mint **elemi karbon vagy grafit**,
- és kötött formában, mint **Fe_3C , vaskarbid**
- A **vas-vaskarbid(folyamatos vonal)** és a **vas-grafit (szaggatott vonal)** ötvözeteknek kétféle diagramjuk van. A két diagramnak egy koordináta rendszerben való ábrázolása Heyn-Charpy nevéhez fűződik, ezért nevezzük a diagramot **Heyn-Charpy féle iker diagramnak**.

Heyn - Charpy féle ikerdiagram

A két diagram közül természetesen csak az egyik felelhet meg az egyensúlyi állapotnak!

Melyik a stabil?

- már 700 C° felett megfigyelhető a Fe_3C felbomlása
$$\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow 3\text{Fe} + \text{C}$$
- a grafitos (szaggatott) vonalak a magasabb hőmérsékleteken haladnak.



Tehát

- **A vas-grafit (Fe - C) rendszer a stabil**
- **Az Fe - Fe₃C rendszer a metastabil**

Miért gyakoribb a kötött, vaskarbidos forma?

- az elemi C metalloid elem, és mint ilyen, a kristályosodás megindulásához, igen nagy túlhűtést igényel, kristály csírái nagy késéssel képződnek, és a grafit kristályosodási sebessége is kicsi.
- Ezért a nagyobb C tartalmú Fe-C ötvözetek lehűlésekor többnyire az történik, hogy a grafit kristályosodása csírák hiányában még el sem kezdődik, mire az ötvözet annyira lehűl, hogy megkezdődik a karbidos kristályosodás.

- **A grafit kristályosodása vagy végtelen lassú lehűtéssel, vagy a gyakorlatban a vaskarbid stabilitását csökkentő ötvözőkkel - elsősorban Si - érhető el.**
- **A gyakorlati grafitos ötvözetek (öntöttvasak) mindig tartalmazznak 1,5-3 % Si-t!**

A vasötvözetek csoportosítása

- **töretük alapján**
 - **a grafitos ötvözetek**, mindig a kis szilárdságú grafit mentén törnek, így töretük a grafit hatására **szürke**.
 - **A vaskarbidot** tartalmazó ötvözetek töret fémes, tehát **fehér**.

A Fe-Fe₃C ötvözetek diagramja

A karbidos rendszer esetében olyan egyensúlyi diagramról van szó, ahol az **egyik komponens a szén vas**, a **másik pedig a vaskarbid**. A diagram koncentráció egyenesén megállapodás szerint a C %-át tüntetjük fel. A rendszer első függőlegese a szén vas lehűlési görbéjének pontjait mutatja, és a diagramot a Fe₃C függőlegeséig ábrázoljuk.

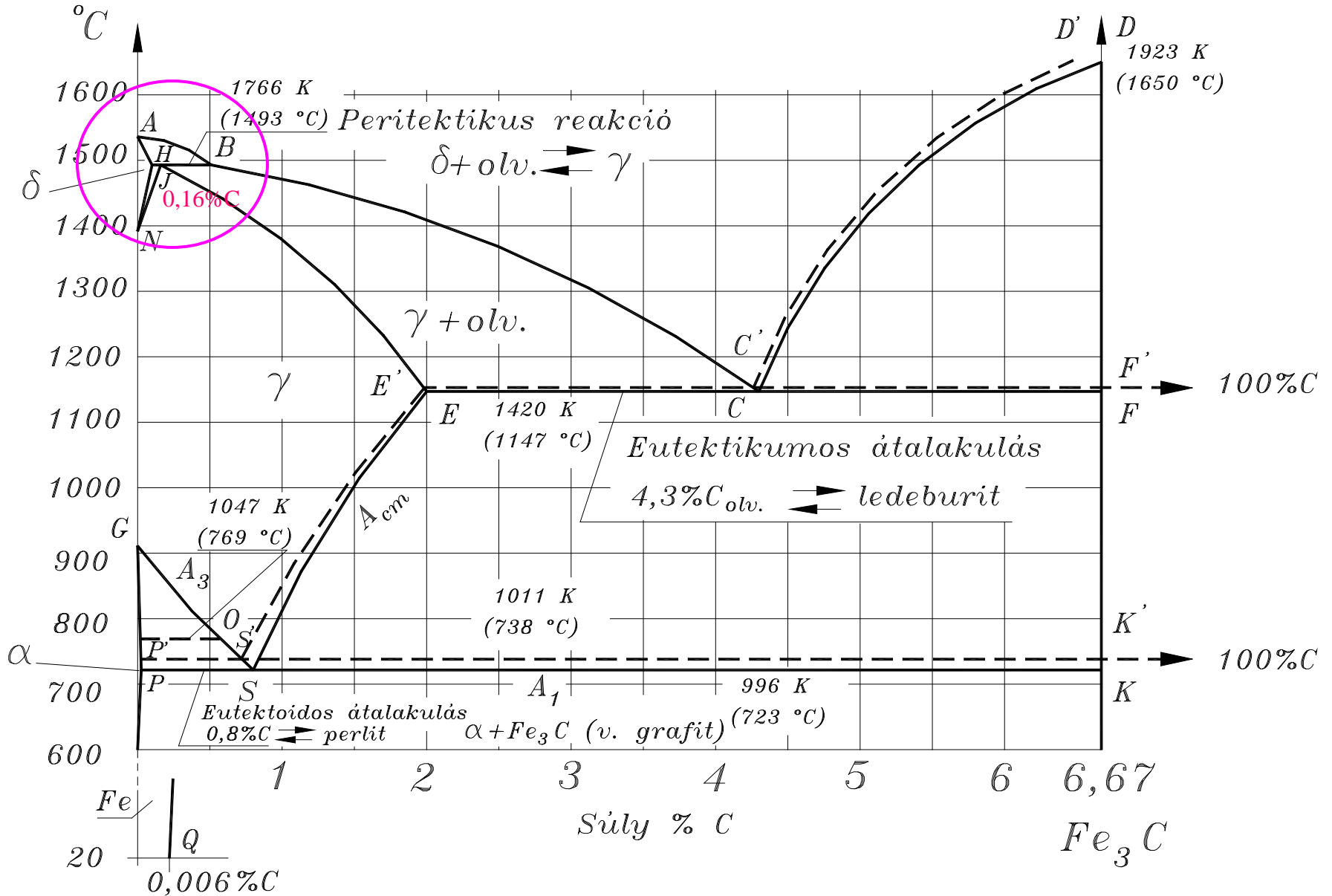
Fe -Fe₃C rendszer

Eddig megismert egyensúlyi diagramok alapján a karbidos rendszerről megállapíthatjuk, **hogy az alkotók folyékony állapotban minden arányban, szilárd állapotban pedig korlátozottan oldják egymást.**

Vasötvözetek
kristályosodásának vizsgálata

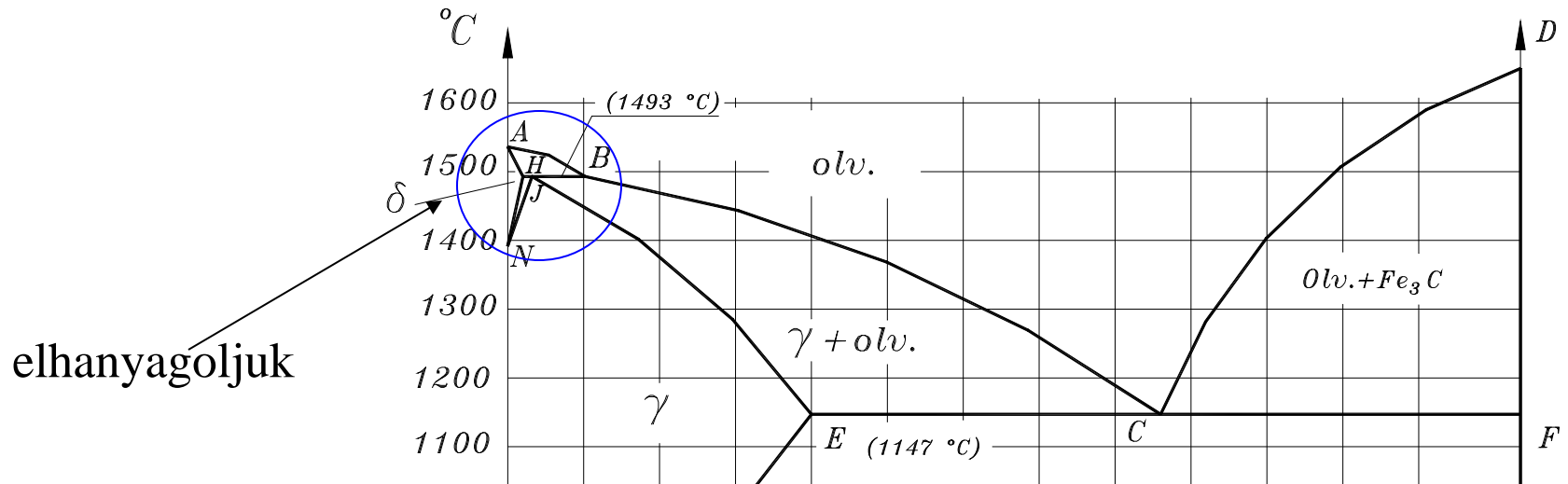
Fe-Fe₃C rendszer

Vas- Karbon diagram



Fe-Fe₃C egyensúlyi diagram

Kristályosodás az BC likvidusz szerint

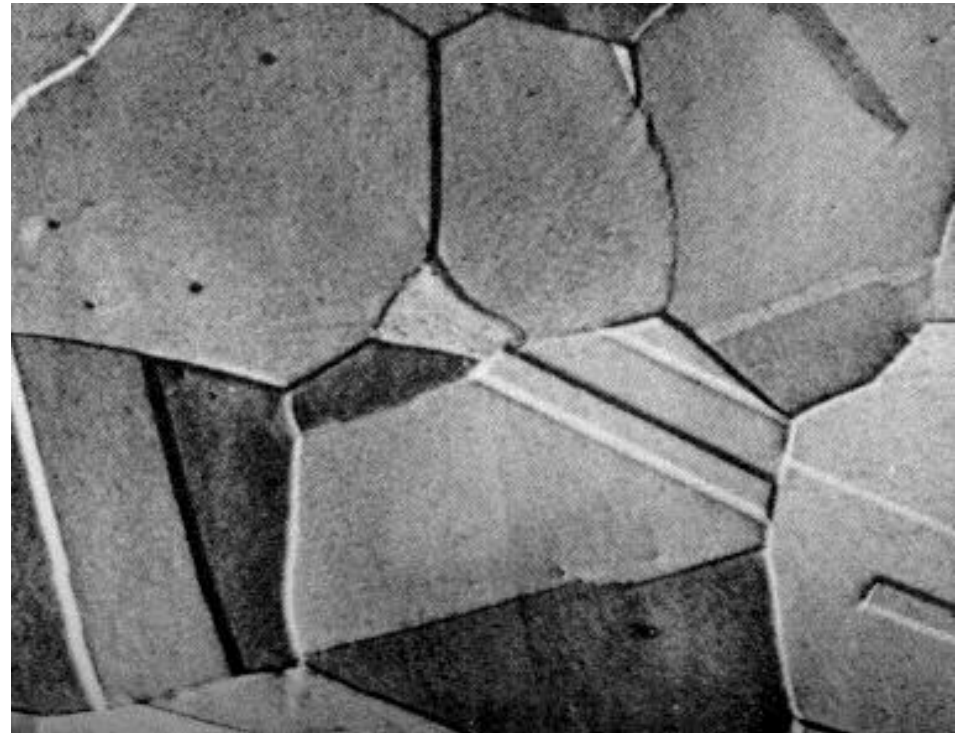


Az AB likvidusz elhanyagolásával egészen 4,3 % C-ig a kristályosodás a **BC likvidusz** és a **JE szolidusz** szerint **γ szilárd oldat** formájában történik. Ezt a szilárd oldatot **Robert Austenről, ausztenitnek** nevezik.

Auszténit

Az **auszténit** - interszticiós szilárd oldat (A lapközepes köbös rácsú γ Fe-ban oldott C)

Korlátozottan oldja a kARBONT,
maximális C oldó képessége 2,06% (1147 C°-on, minimális 0,8% (723 C°-on))

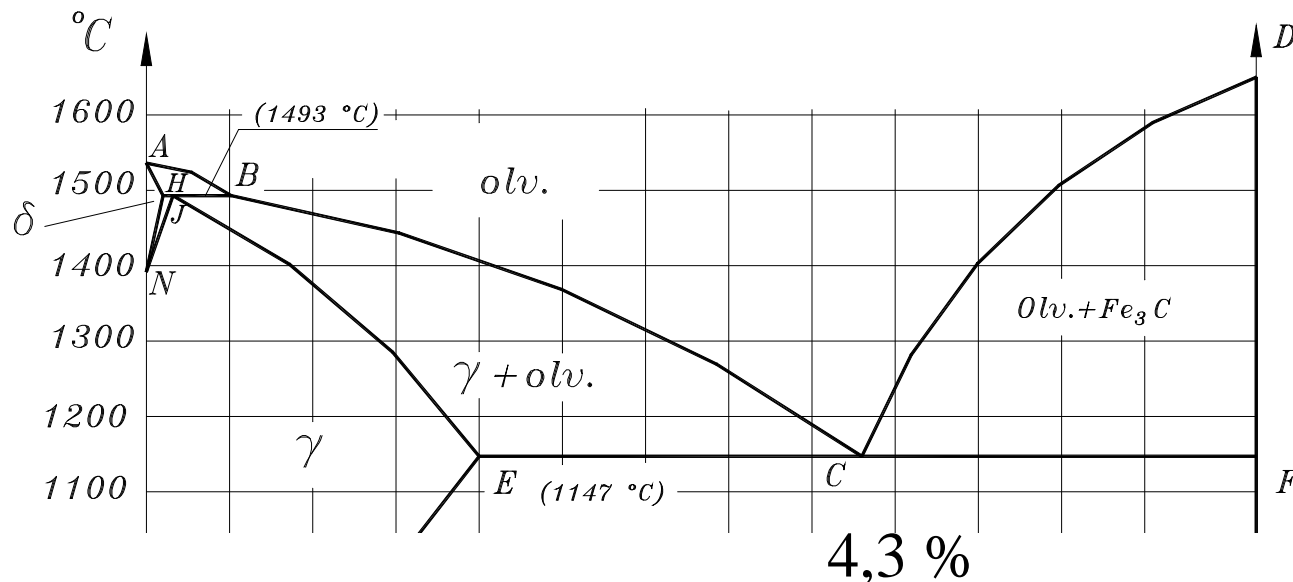


Nem ferromágneses, jól alakítható

Szobahőmérsékleten csak ötvözött acéloknál (18%Cr, 10%Ni)

Fe-Fe₃C egyensúlyi diagram

Kristályosodás az CD likvidusz szerint



A nagy C tartalmú ötvözetek kristályosodása **Fe₃C** kristályosodásával (szövetelemi neve cementit) kezdődik a **CD likvidusz** és a **DF szolidusz** szerint.

- Nagyon rideg
- Fényesítéskor a csiszolat síkjából kiemelkedik, a maratószer nem marják, mindig fényes, vilásos színű marad

Fe-Fe₃C egyensúlyi diagram

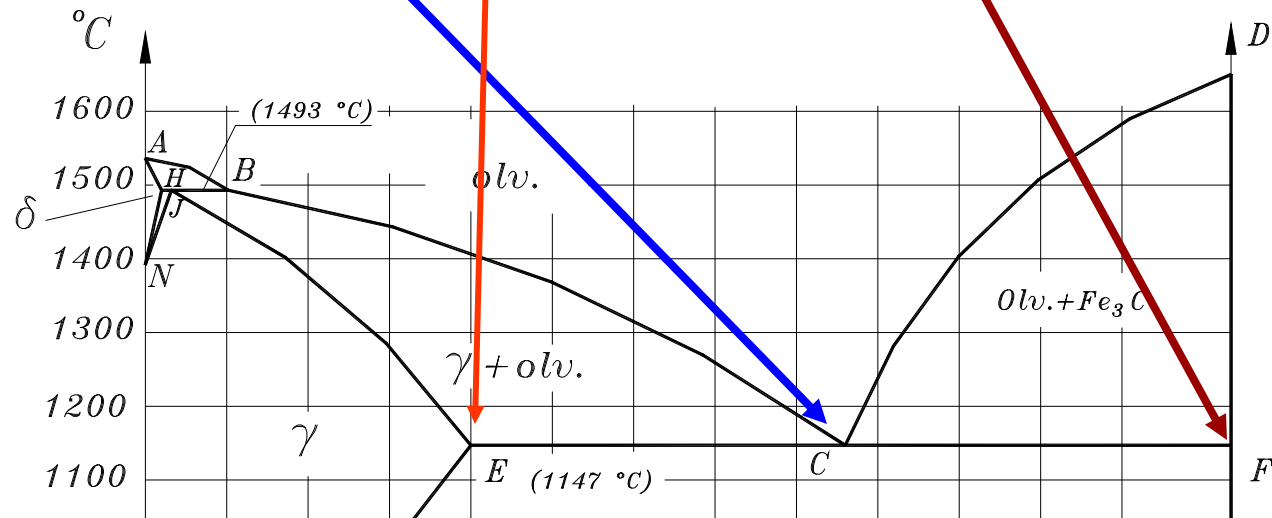
Eutektikum kristályosodása

A C pontban metszi egymást a két likvidusz, tehát eutektikus kristályosodás jön létre.

Az eutektikum **1147 C° (ECF vonal)** képződik:



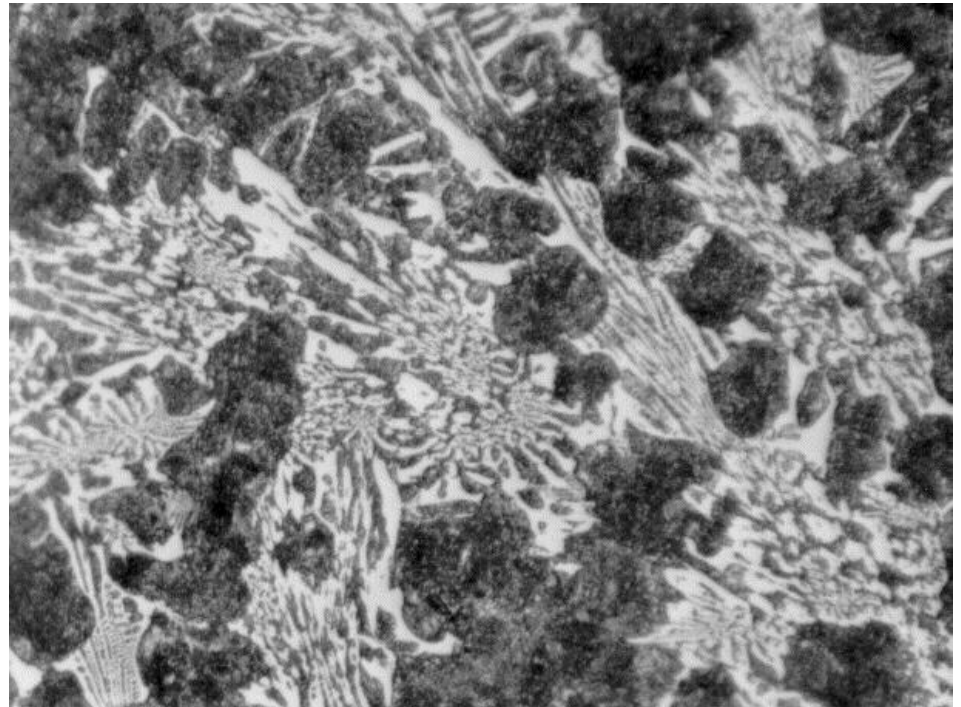
- Az eutektikum neve **Ledebur** angol tudós nyomán **ledeburit**



Ledeburit

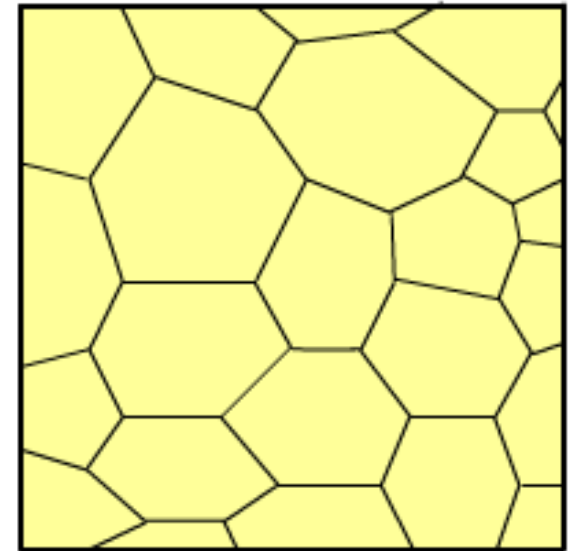
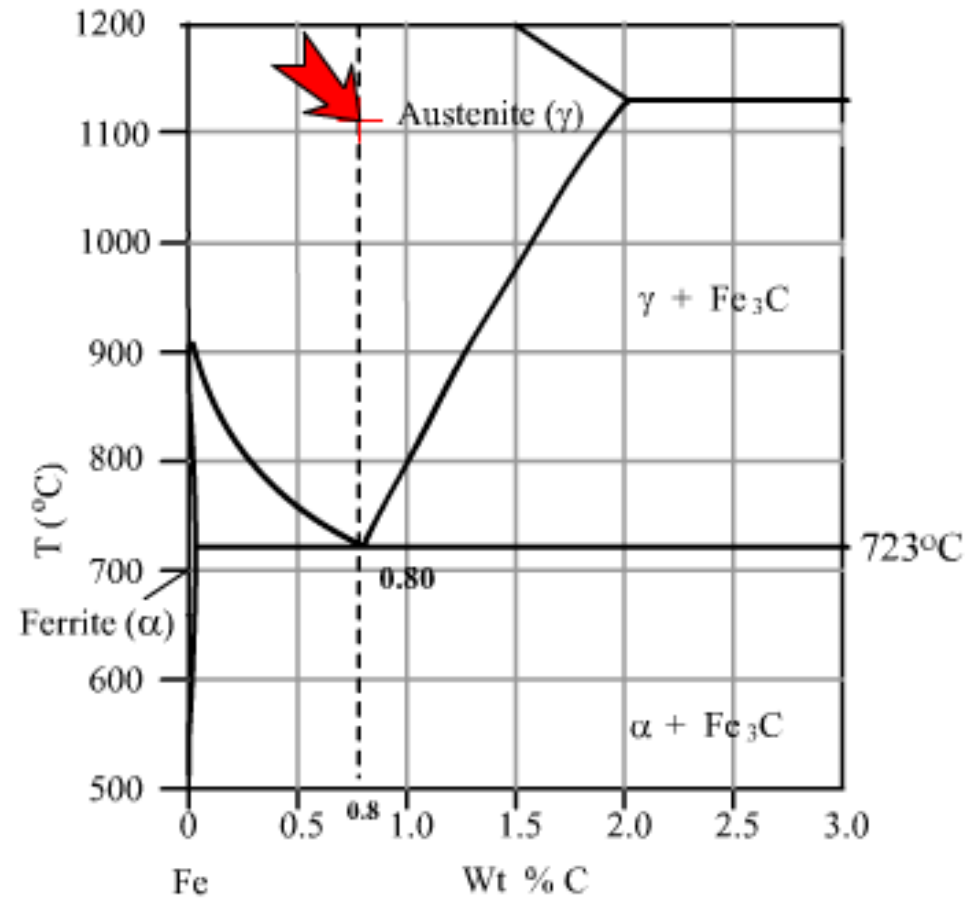
**1147 C°-on képződik
4,3 %C olvadékból.**

**Fázisai a képződés
hőmérsékletén :
ausztenit és
vaskarbid.**




Fe-Fe₃C egyensúlyi diagram
Szilárd állapotban végbemenő átalakulások


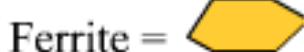
Eutektoidos átalakulás



⬆ BACK TO START

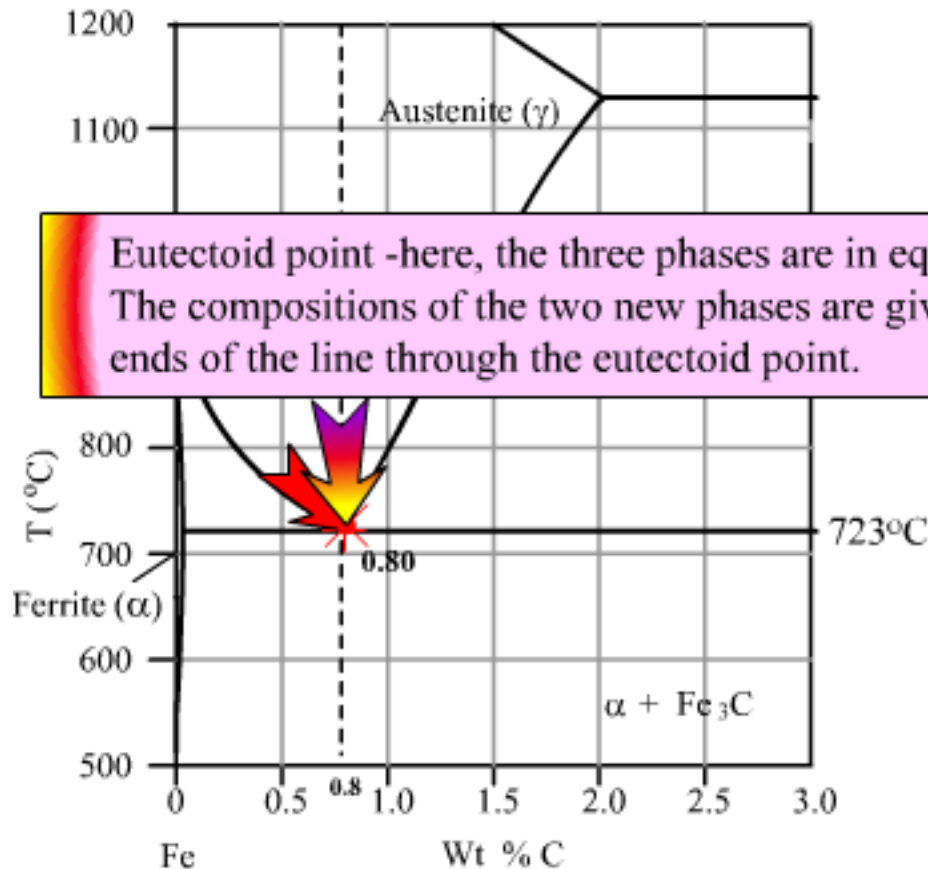
⬇ DECREASE TEMPERATURE

Austenite = 

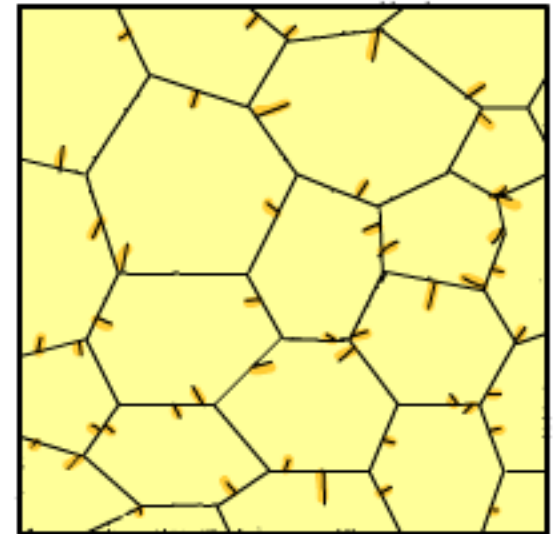
Fe_3C =  Ferrite = 

For a plain carbon steel of eutectoid composition (Fe, 0.8 wt% C), then at all temperatures above 723°C , the composition is 100% austenite (γ).




Eutektoidos átalakulás



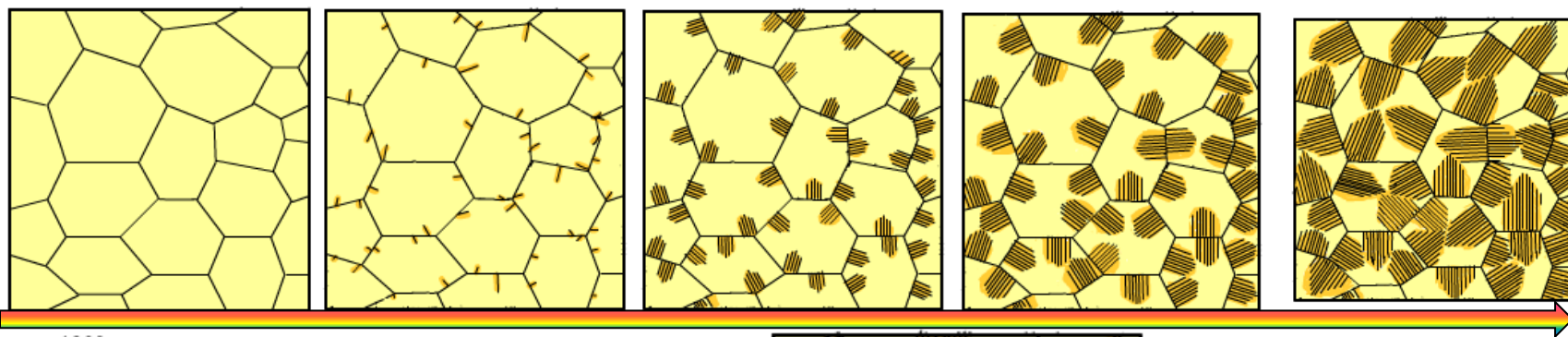
Eutectoid point -here, the three phases are in equilibrium. The compositions of the two new phases are given by the ends of the line through the eutectoid point.



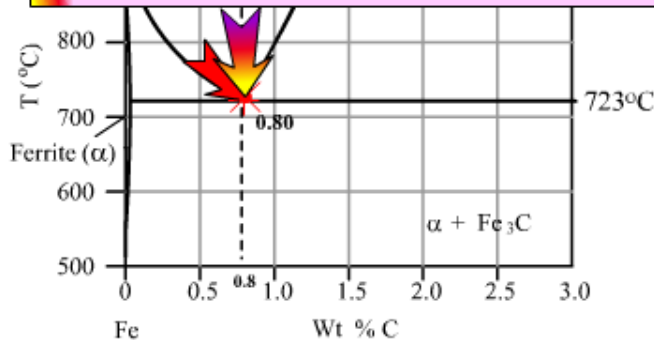
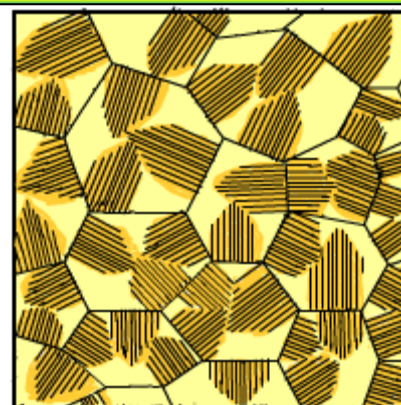
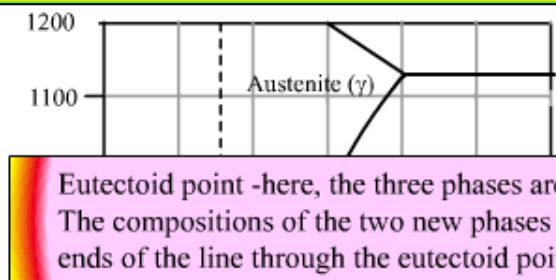
- ▲ BACK TO START
- ▼ DECREASE TEMPERATURE

Austenite = 
 Fe_3C =  Ferrite = 

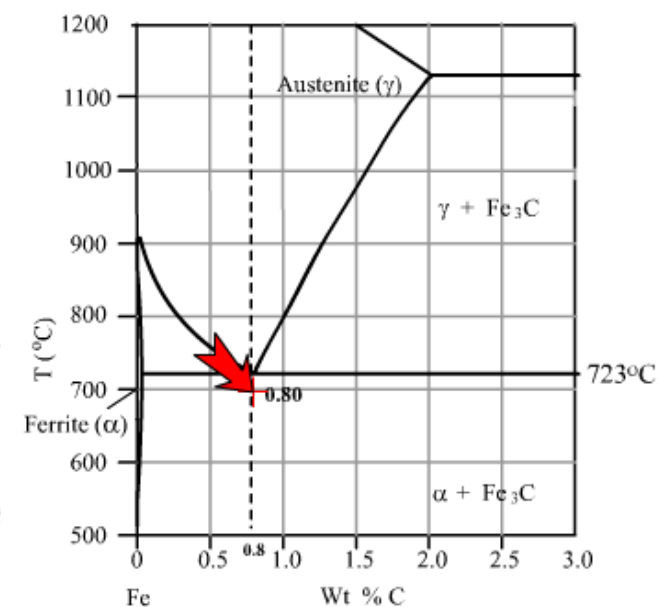
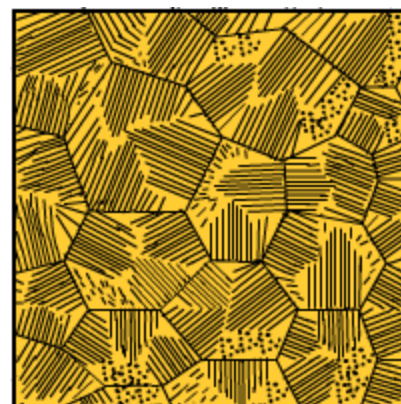
At the eutectoid temperature, 723°C , there is a plateau in the cooling curve during which time the microstructure transforms to pearlite, which is a two phase microstructure of ferrite (virtually pure Fe) and cementite (Fe_3C with 25 at% C). This transformation occurs by nucleation and growth.



Eutektoidos átalakulás

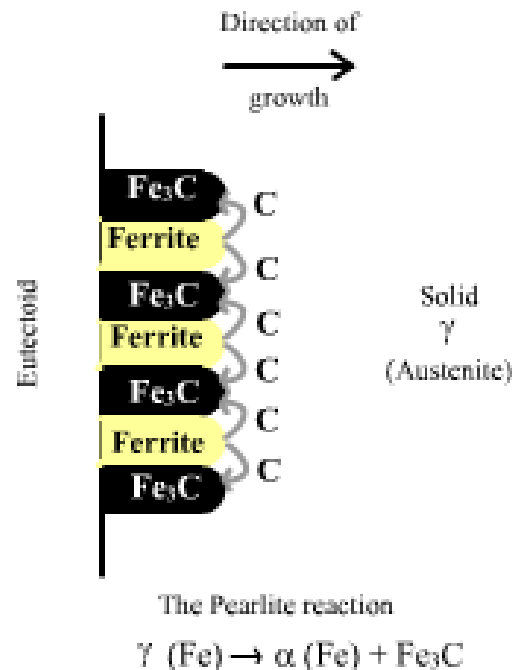
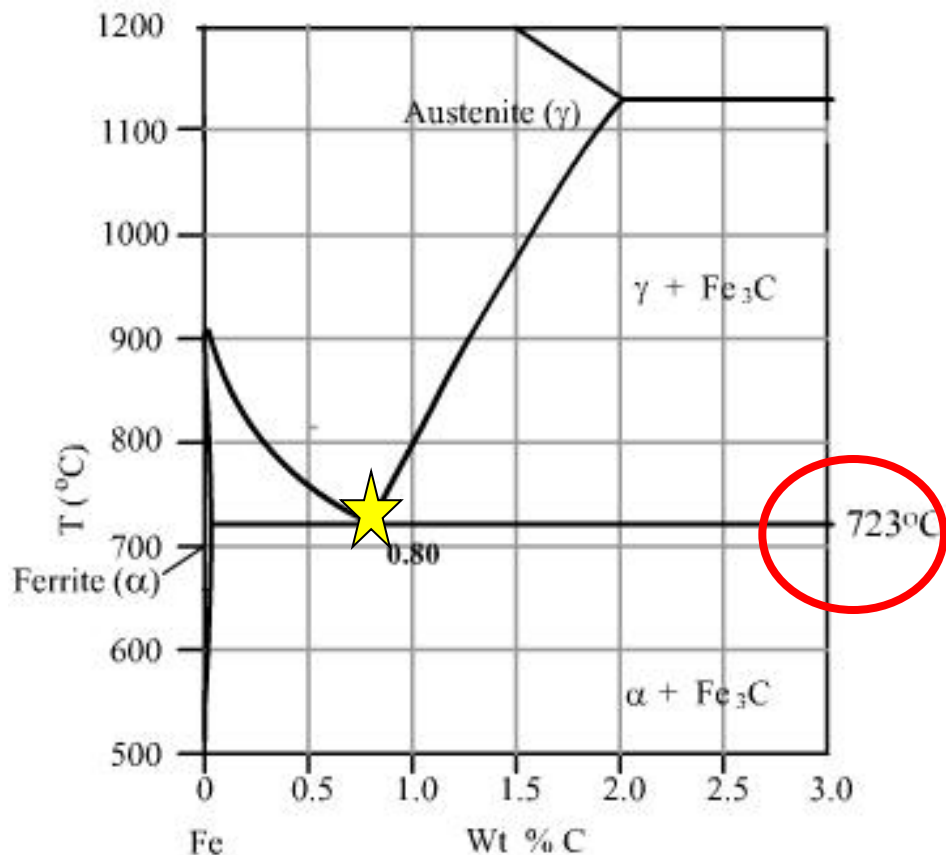


**723 °C alatt 100%
perlites szerkezet**



Eutektoidos átalakulás:

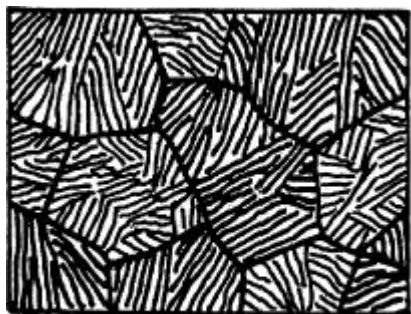
1 szilárd fázisból 2 szilárd fázis keletkezik



Perlit képződési reakció

Két fázis keveréke:

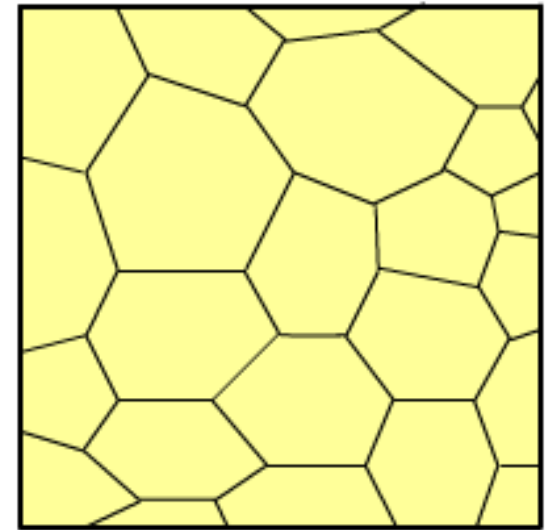
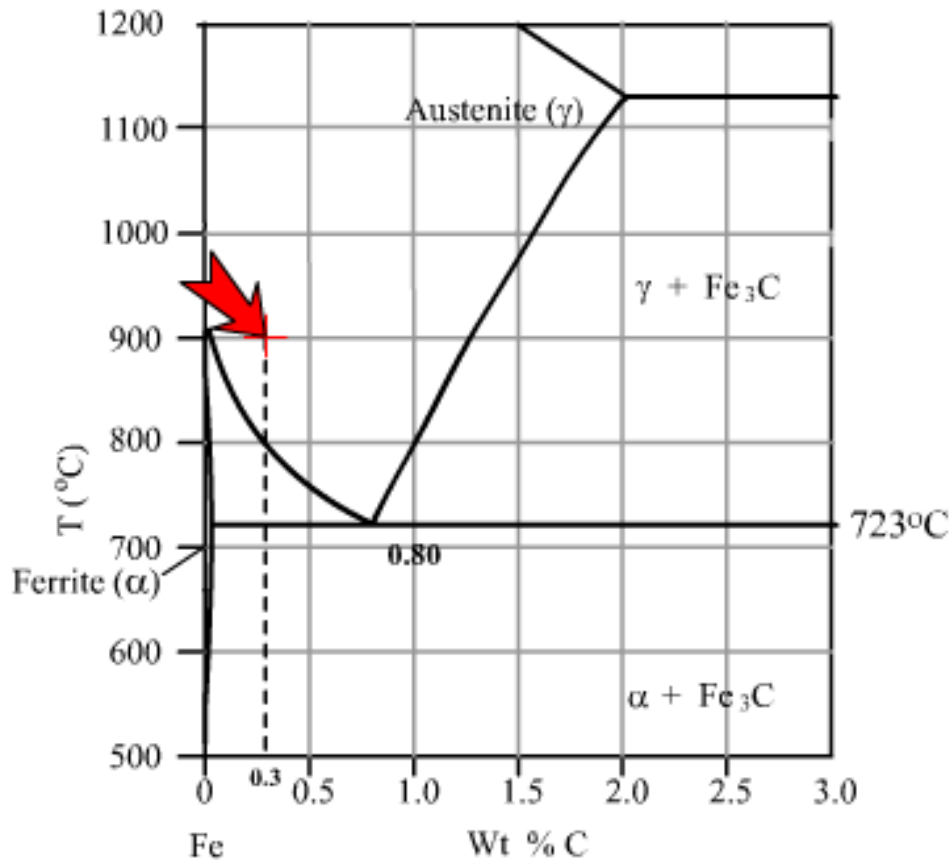
- Ferrit
- cementit



50 μm

Pl. Vasúti sín anyaga ²⁸

Hipo-Eutektoidos átalakulás



⬆ BACK TO START

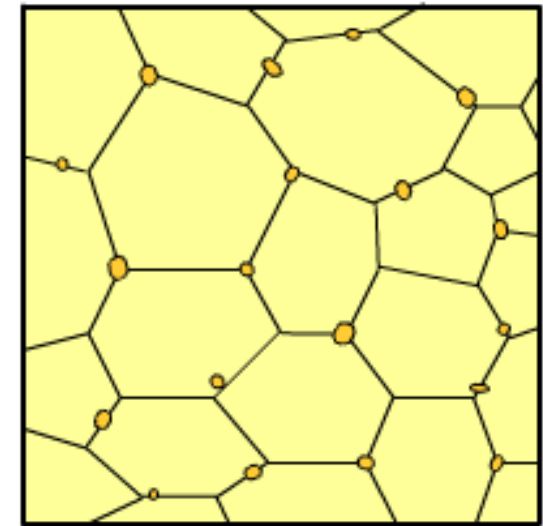
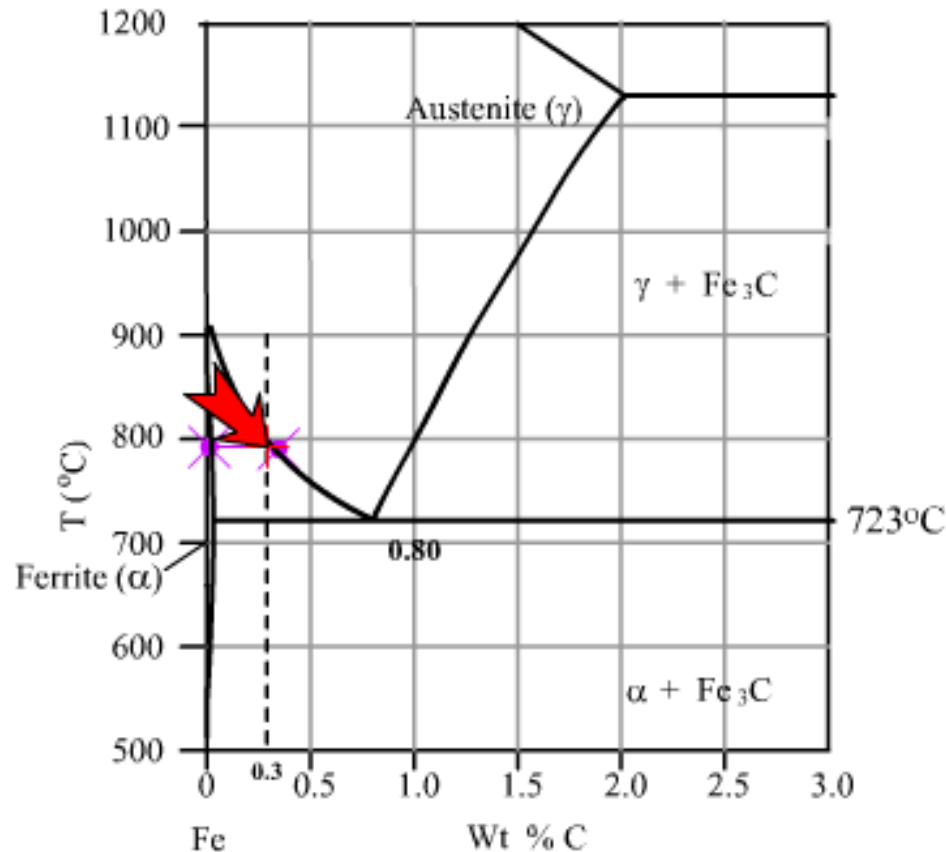
⬇ DECREASE TEMPERATURE

Austenite =

Fe_3C = Ferrite =


Above 800°C, the equilibrium phase is austenite. The iron atoms are arranged in a face-centred cubic (fcc) lattice, with the carbon atoms sitting interstitially. It is a single phase solid.

Hipo-Eutektoidos átalakulás



⬆️ BACK TO START

⬇️ DECREASE TEMPERATURE

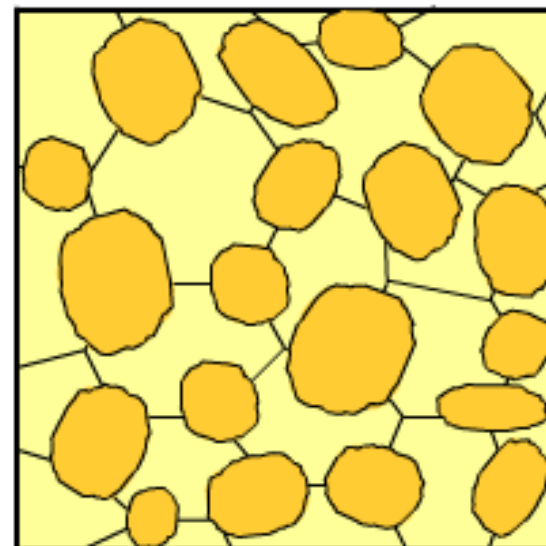
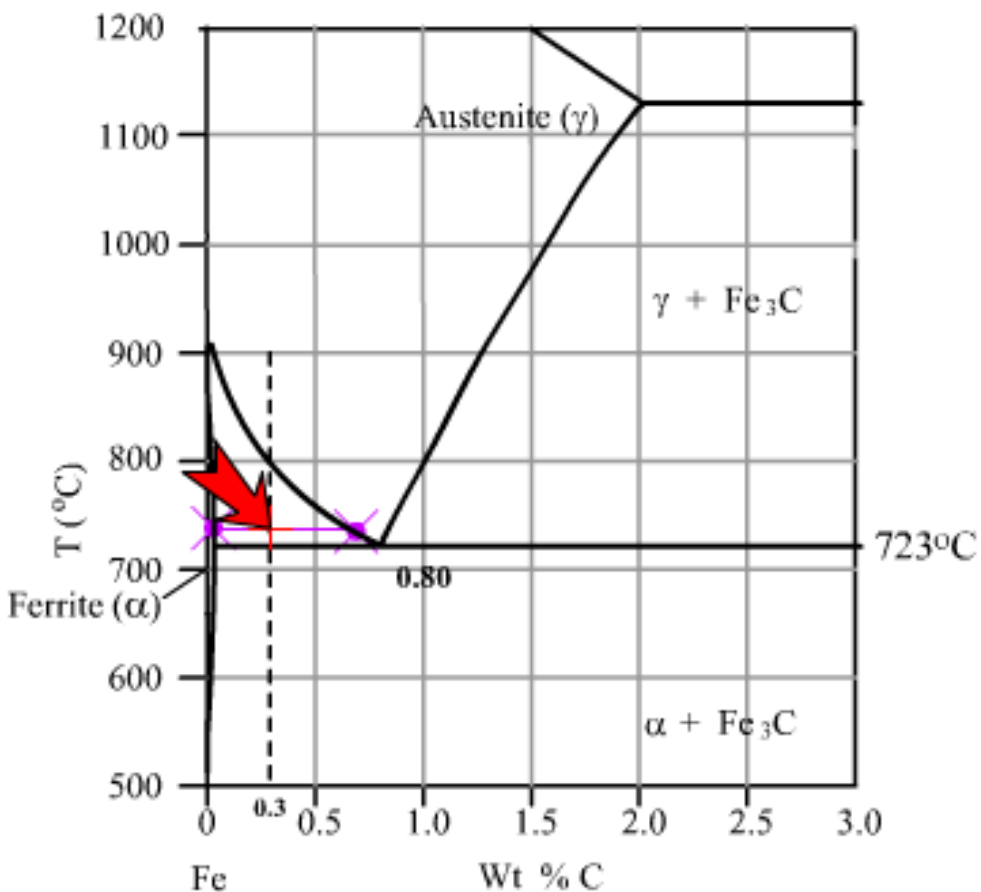
Austenite = 

Fe_3C =  Ferrite = 

From 800°C to 723°C : At 800°C , we enter a 2-phase region - ferrite plus austenite. Ferrite is a body centred cubic (bcc) lattice. Carbon is much less soluble in the bcc structure as the interstitial spacing is less, so carbon is rejected from the ferrite. The first ferrite to form will nucleate on the grain boundaries.

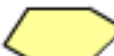
As the carbon is rejected into the remaining austenite, this becomes increasingly carbon rich, so the composition of the austenite moves along the solidus line as indicated until the eutectoid temperature is reached (at 0.8 wt% C).

Hipo-Eutektoidos átalakulás



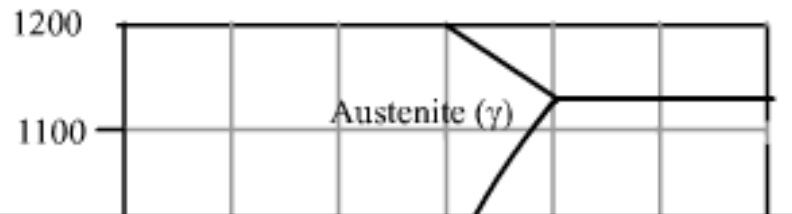
⬆️ BACK TO START

⬇️ DECREASE TEMPERATURE

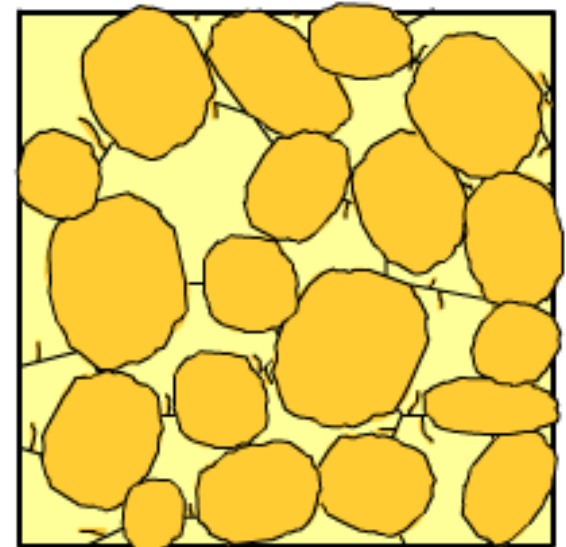
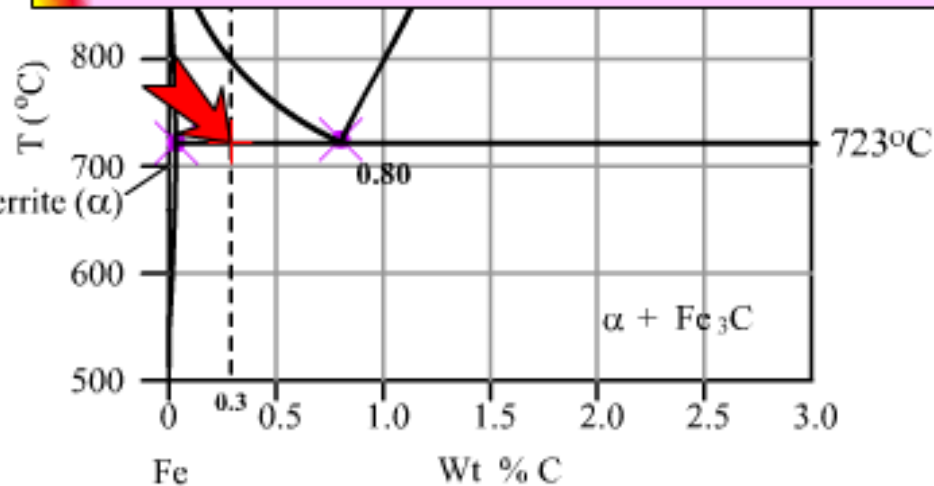
Austenite = 

Fe_3C =  Ferrite = 

Hipo-Eutektoidos átalakulás

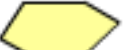


Eutectoid point - here, the three phases are in equilibrium. The compositions of the two new phases are given by the ends of the line through the eutectoid point.



⬆️ BACK TO START

⬇️ DECREASE TEMPERATURE

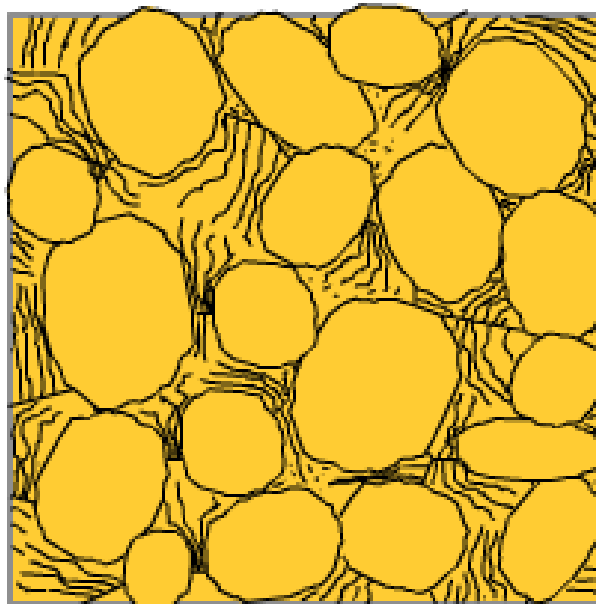
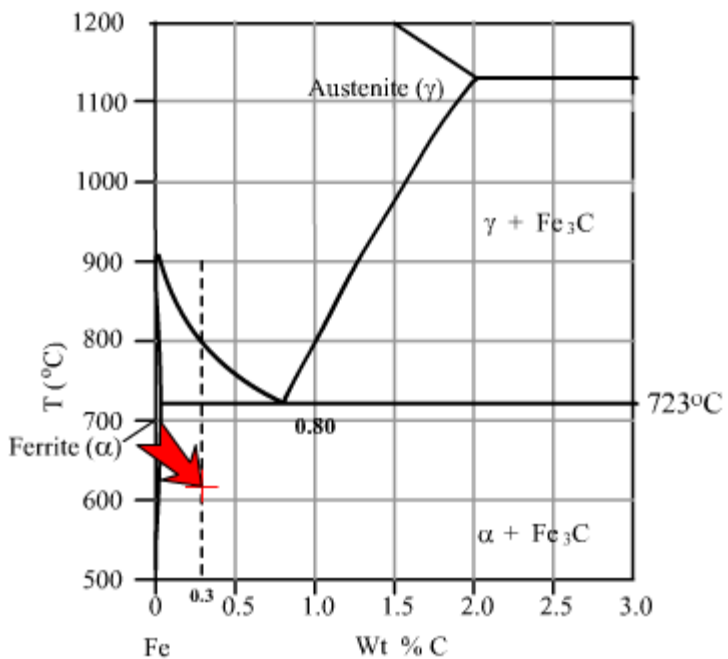
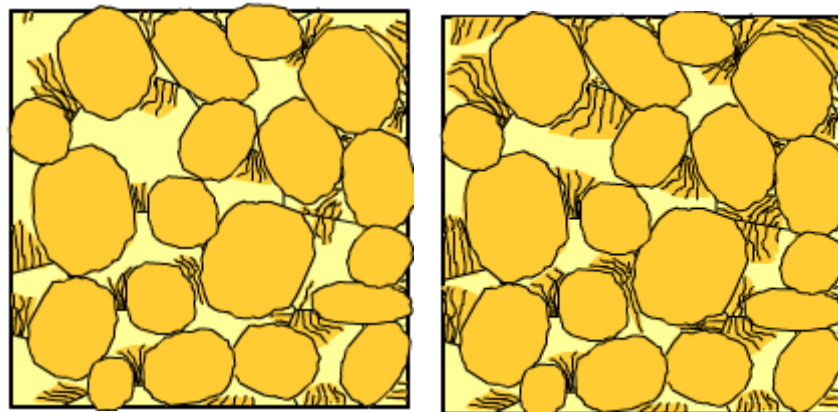
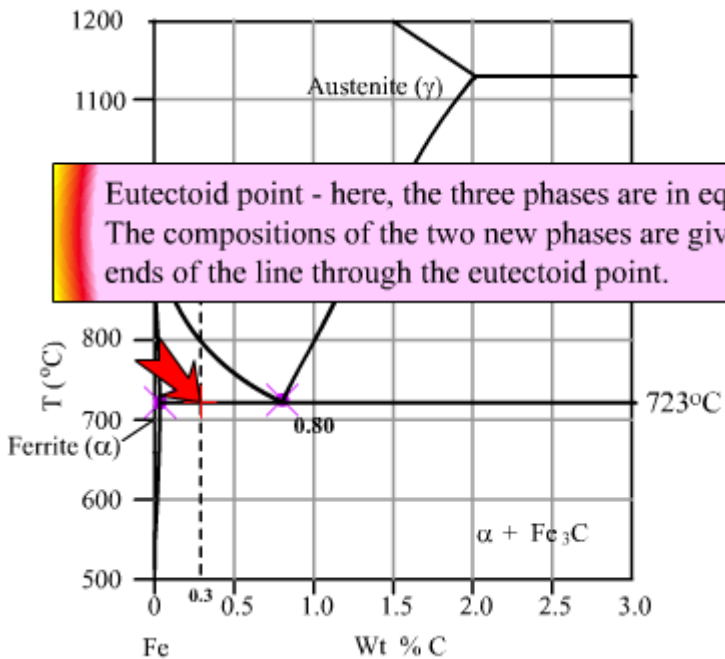
Austenite = 

Fe_3C =  Ferrite = 

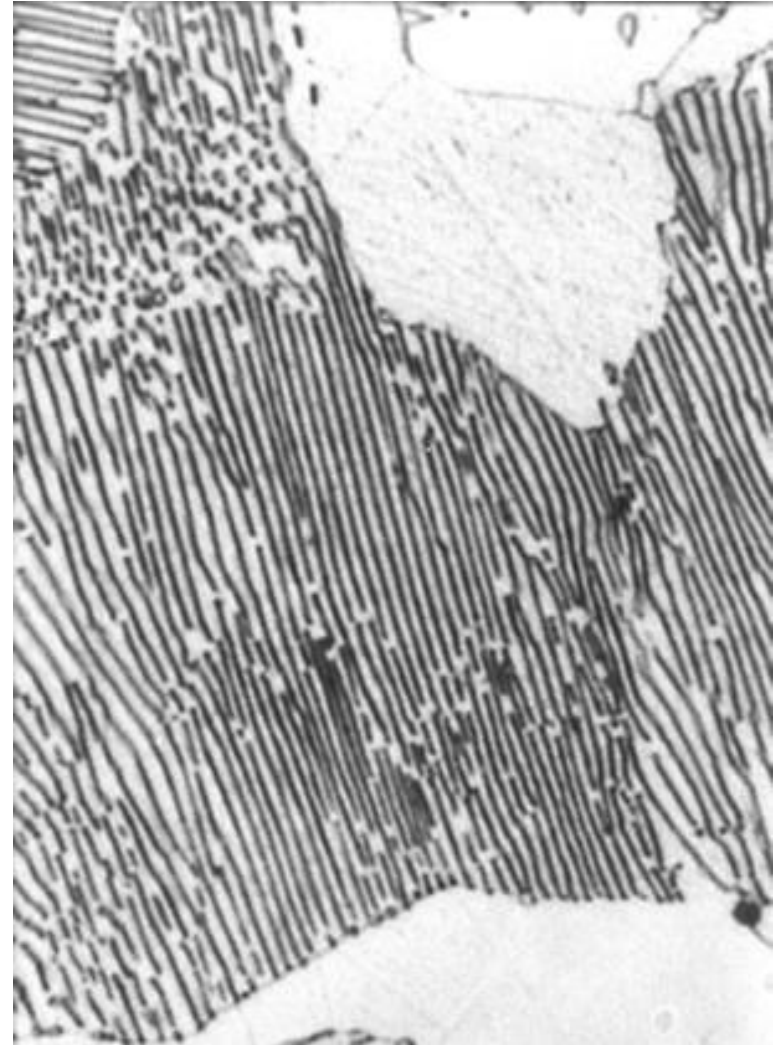
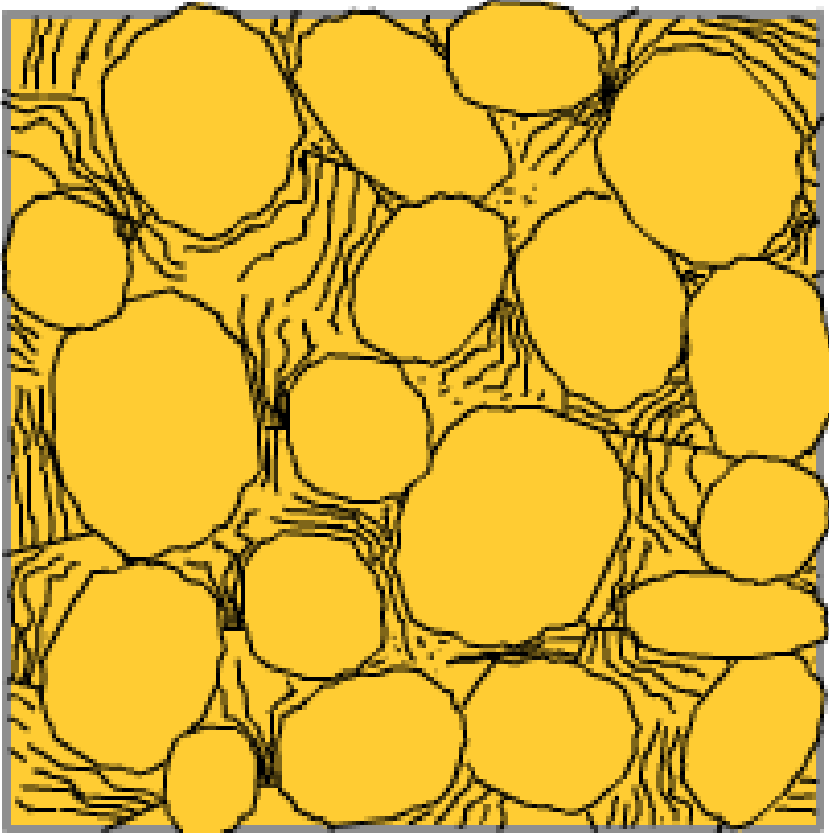
At 723°C, the austenite has a carbon content of 0.8 wt% C (increased from its starting composition of 0.3%) and is thus at the eutectoid point. It decomposes into pearlite - a two-phase mixture of ferrite and cementite.

The final microstructure is ferrite grains within a matrix of pearlite. Note that the ferrite within the pearlite is the same stuff as the ferrite forming the whole grains, so there are only 2 phases present.

Hipo-Eutektoidos átalakulás



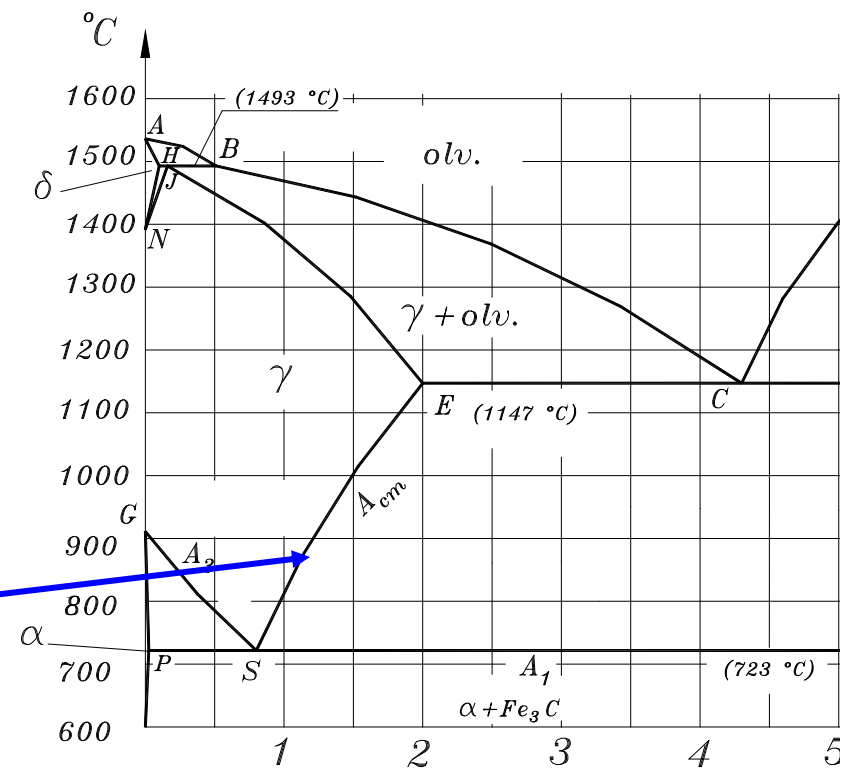
Hipo-Eutektoidos szerkezet



Fe-Fe₃C egyensúlyi diagram

Szilárd állapotban végbemenő átalakulások

- Az ausztenit - interszticiós szilárd oldat - korlátozottan oldja a korbont, maximális C oldó képessége 2,06% (E). Az ausztenit **korlátozott karbonoldóképességének vonala az SE**, az oldhatatlanná váló C e vonal mentén **Fe₃C_{II}** formájában válik ki.



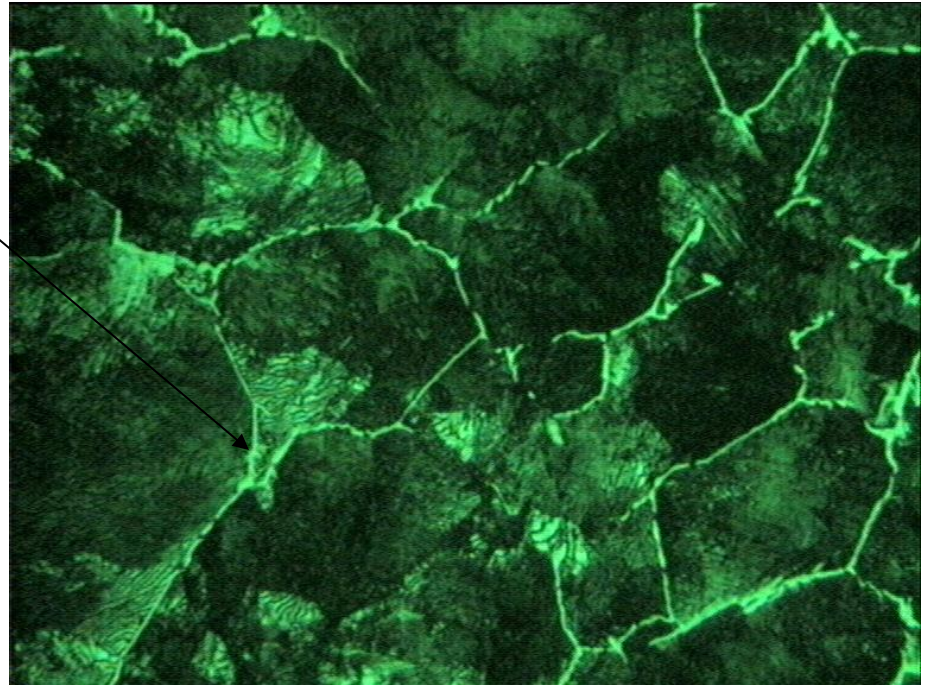
Szövetdiagram 20°

Fe-Fe₃C egyensúlyi diagram

Szilárd állapotban végbemenő átalakulások

Szekunder cementit

Szegregáció, kiválás a
krisztallithatórok mentén

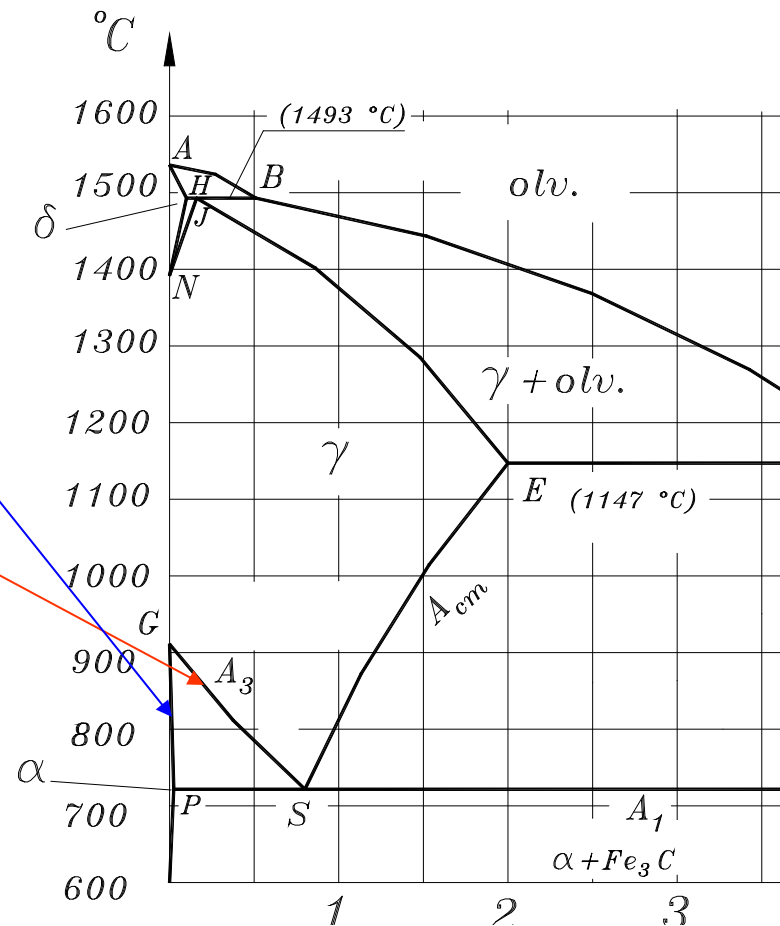


Fe-Fe₃C egyensúlyi diagram

Szilárd állapotban végbemenő átalakulások

Allotróp átalakulás

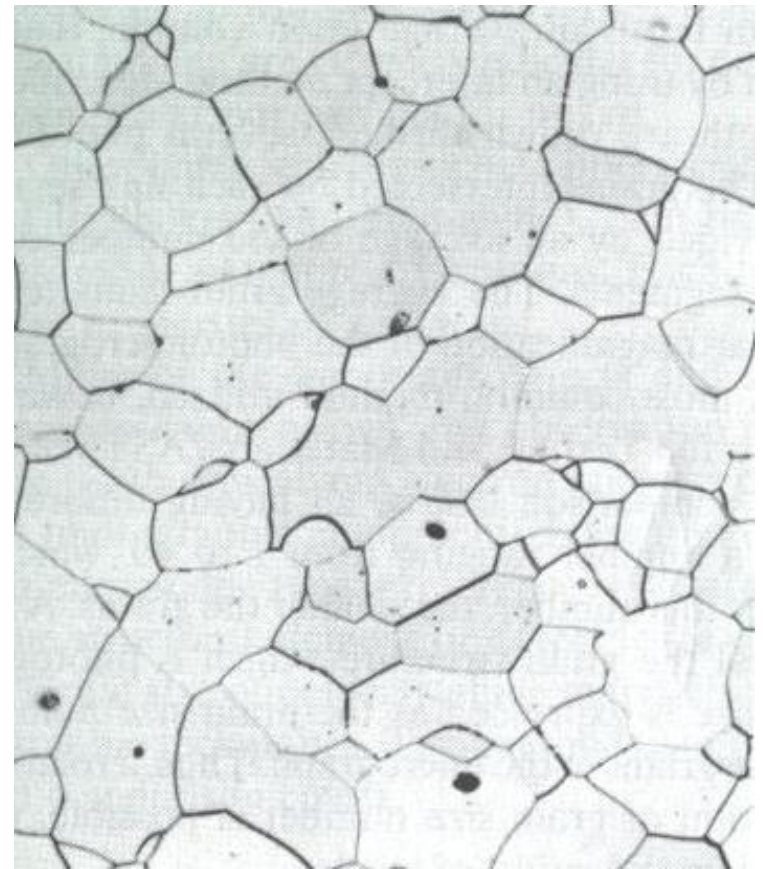
a lapközepes köbös γ ausztenit
a szén vas A_3 pontjából
kiinduló **GS** kezdő és **GP**
befejező görbék által
meghatározott hőmérséklet
közben térközepes köbös α
szilárdoldattá, szövetelemi
nevén **ferrit** alakul



Fe-Fe₃C egyensúlyi diagram

Szilárd állapotban végbemenő átalakulások

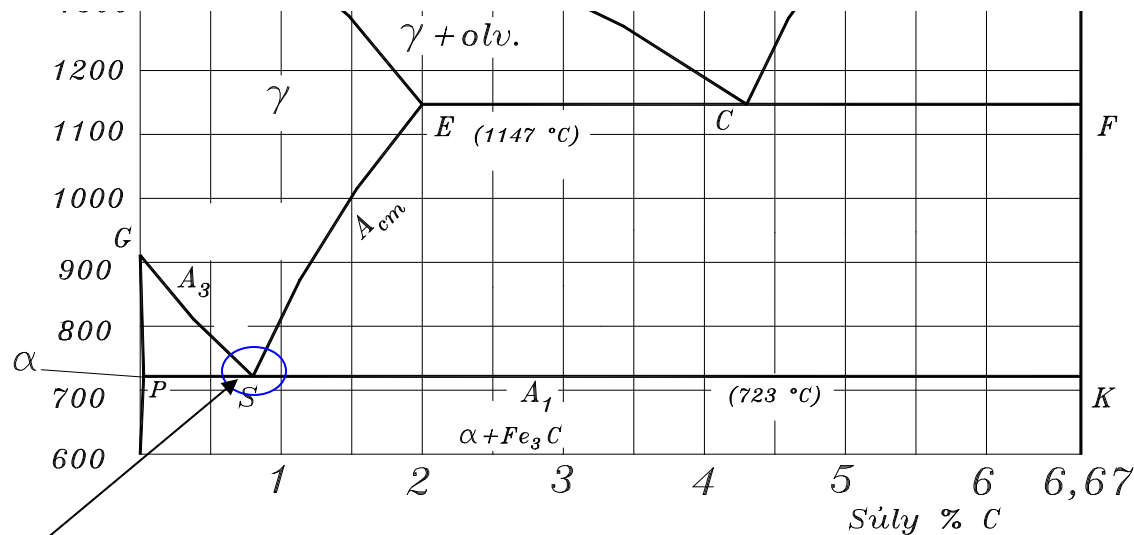
A ferrit α szilárd oldat,
térközepes köbös rácsú
 α -Fe-ban intersztíciósan oldott
C.
Maximális C oldóképessége 723
C°-on 0,025 % (P pont)
minimális szobahőmérsékleten
0,006 % (Q pont)
Leglággyabb szövetelem, hidegen is
jól alakítható, nyújtható.
(Pl. mélyhúzó lemezek)



Fe-Fe₃C egyensúlyi diagram

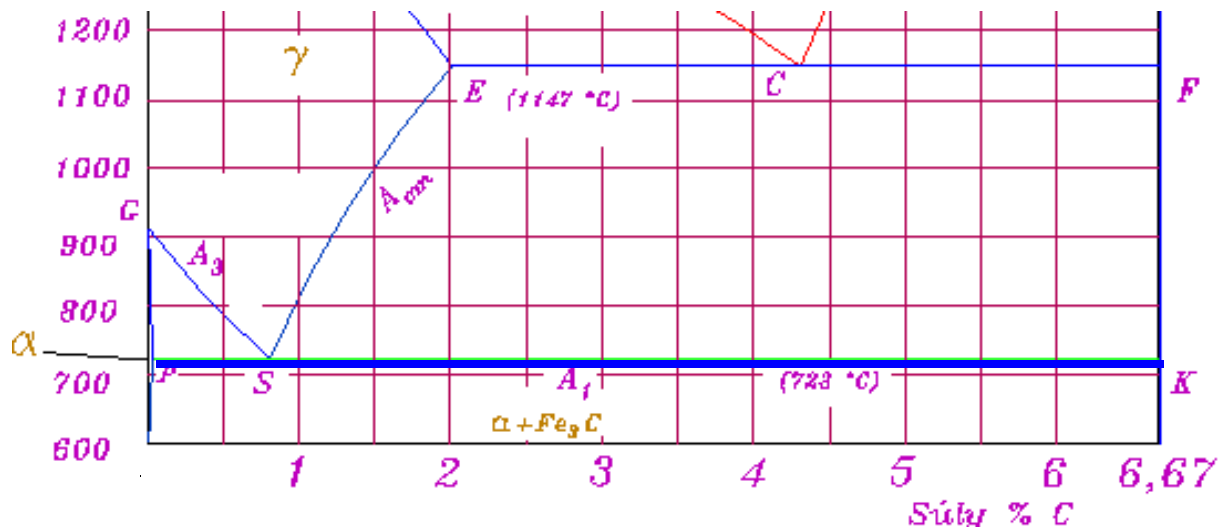
Szilárd állapotban végbemenő átalakulások

Eutektoidos folyamat



Az **S** pontban metszi egymást az allotróp átalakulás kezdő(GS) és a korlátozott oldóképesség (ES) vonala. $F = 3$, ezek a **l.k.k. rácsú γ** , a keletkező **t.k.k. rácsú α** és a **Fe₃C**. $F = 3$ esetén $Sz = 0$, tehát a folyamatnak **állandó hőmérsékleten** kell lejátszódnia.

Eutektoidos folyamat

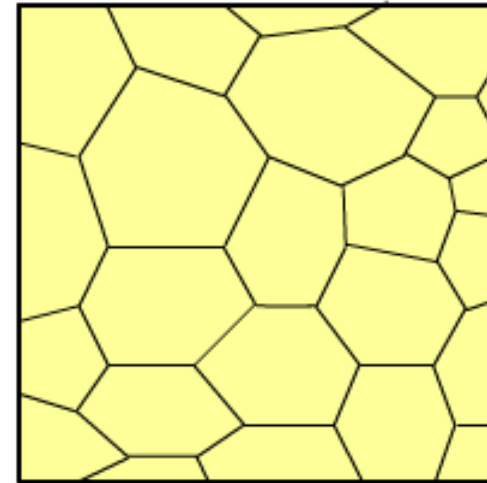
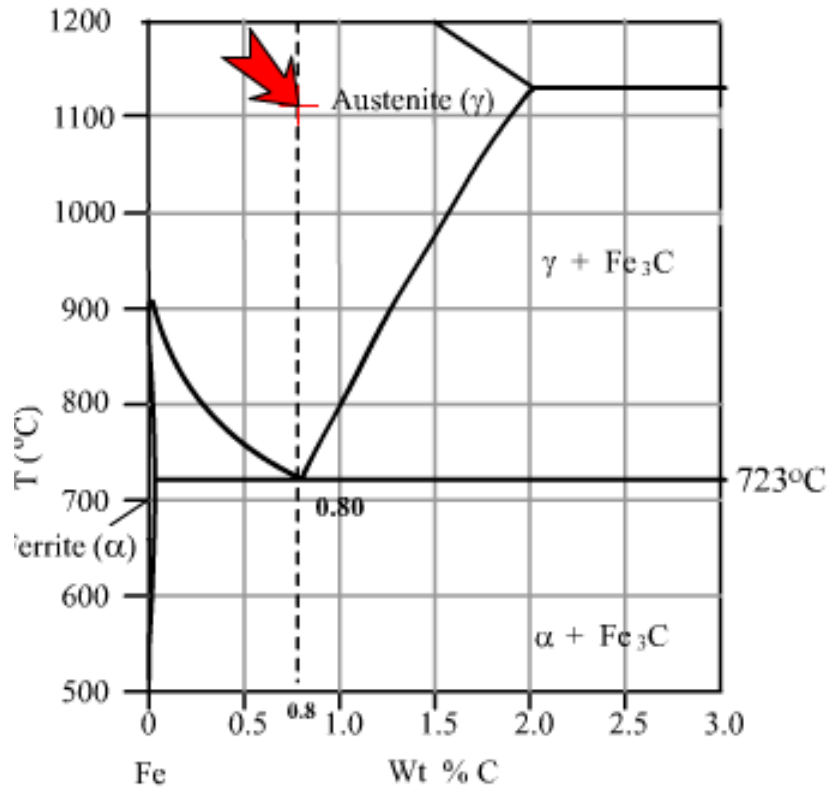


Az eutektoidos folyamat 723 C °-on a PSK vonalon játszódik le az alábbi módon:




A keletkező kétfázisú szövetelemet, eutektoidot perlitnek nevezük.



Eutektoidos folyamat

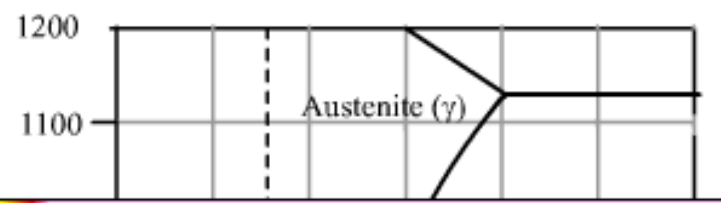


▲ BACK TO START

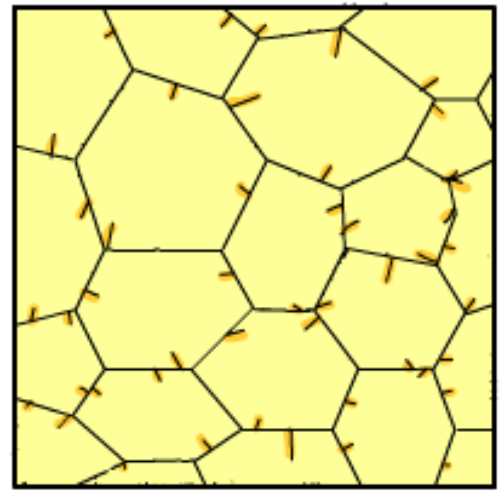
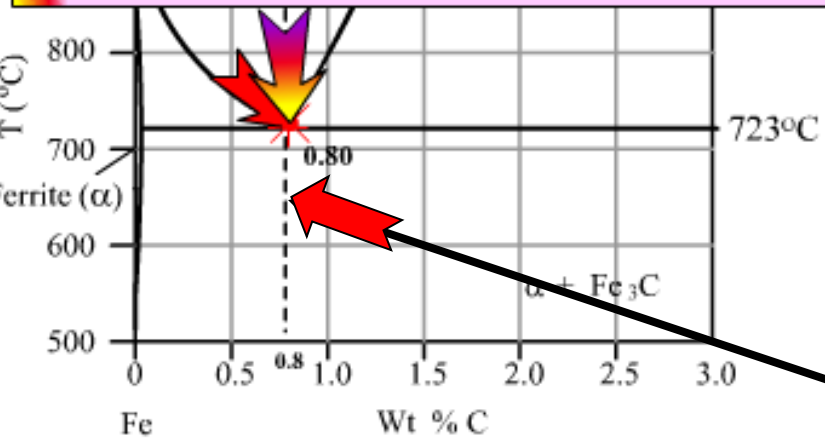
▼ DECREASE TEMPERATURE

Austenite = 




Fe_3C =  Ferrite = 

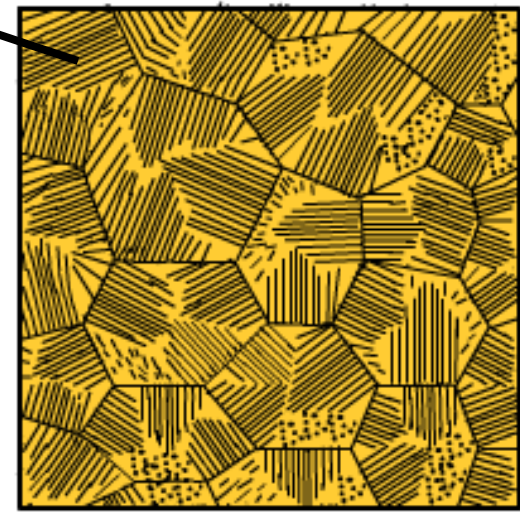
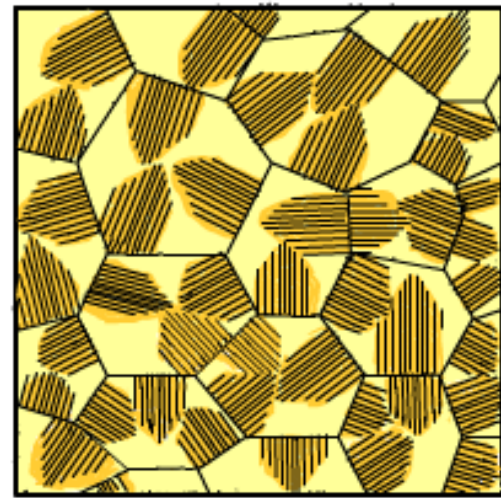
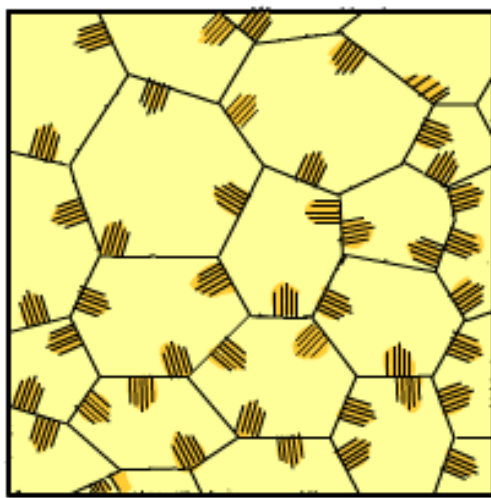


Eutectoid point - here, the three phases are in equilibrium. The compositions of the two new phases are given by the ends of the line through the eutectoid point.



- ▲ BACK TO START
- ▼ DECREASE TEMPERATURE

Austenite = 
 Fe₃C =  Ferrite = 



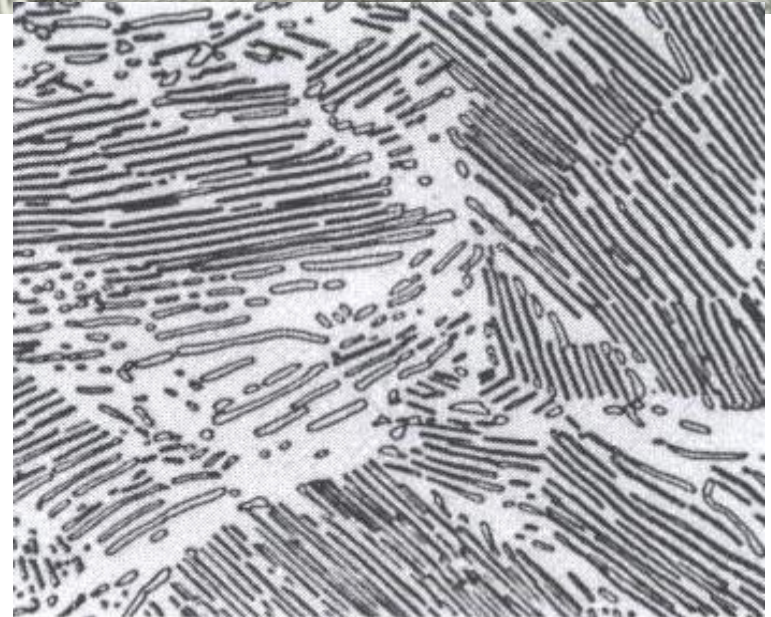
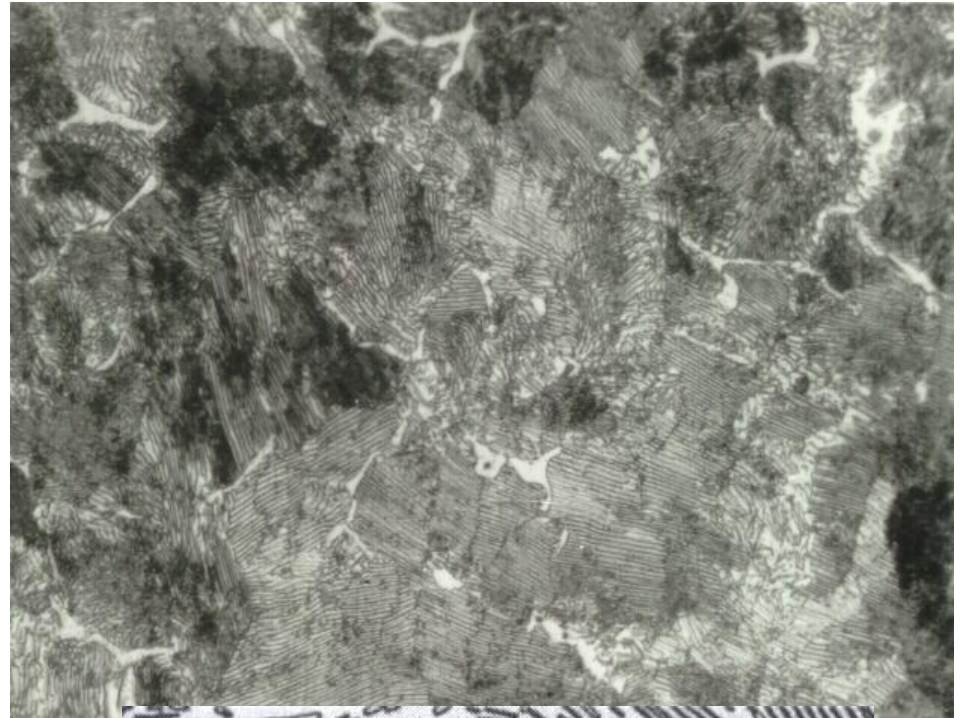
Perlit

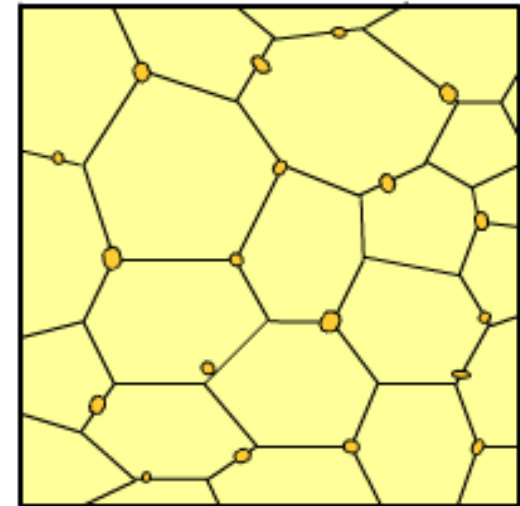
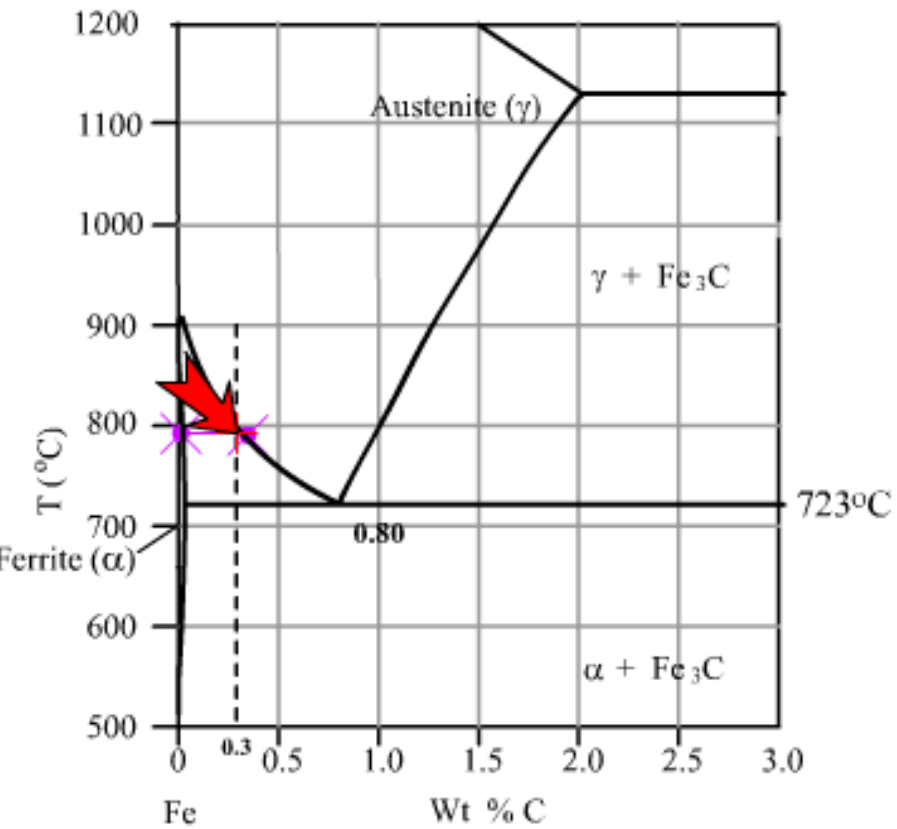
A keletkező perlit kétfázisú szövetelem, eutektoid

723 C°-on képződik



A maratott csiszolat gyöngyházfénnel csillog - PEARL



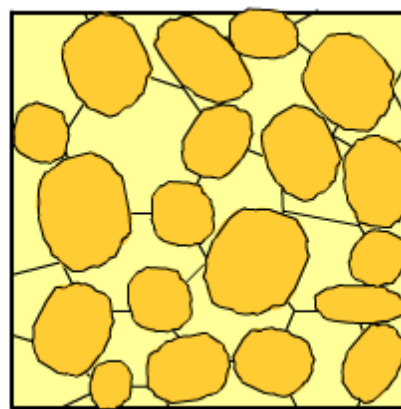
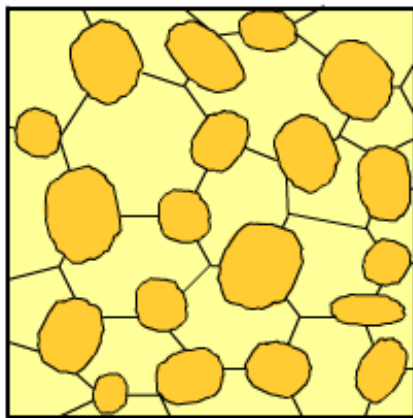


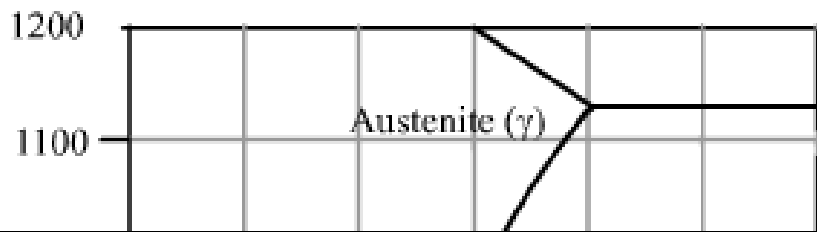
BACK TO START

DECREASE TEMPERATURE

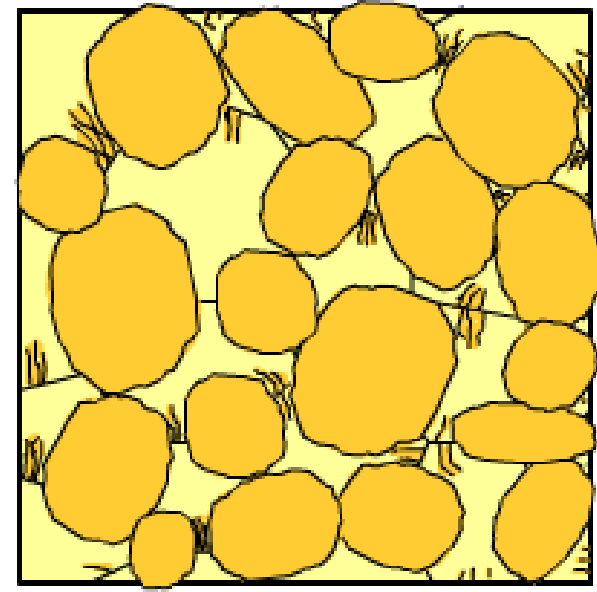
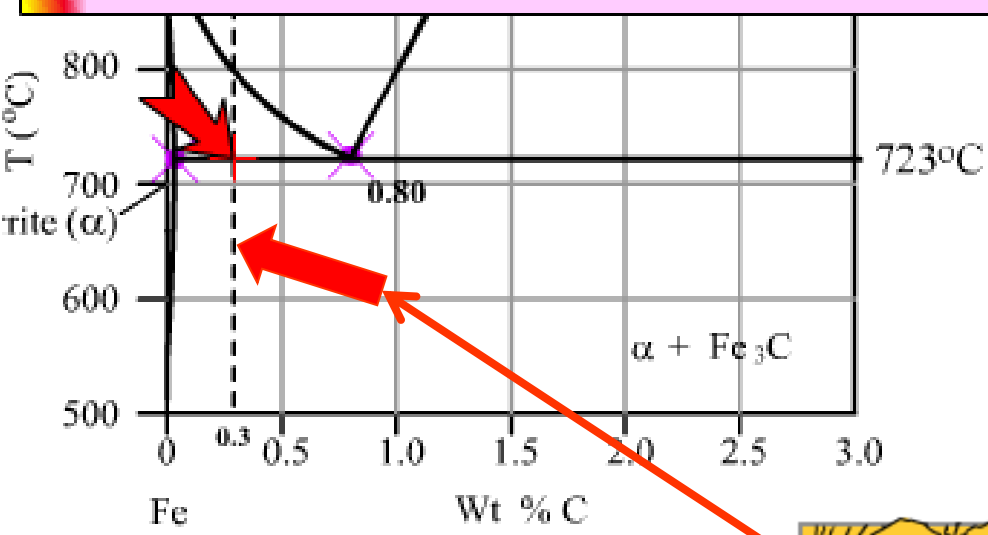
Austenite =



Fe_3C = Ferrite =






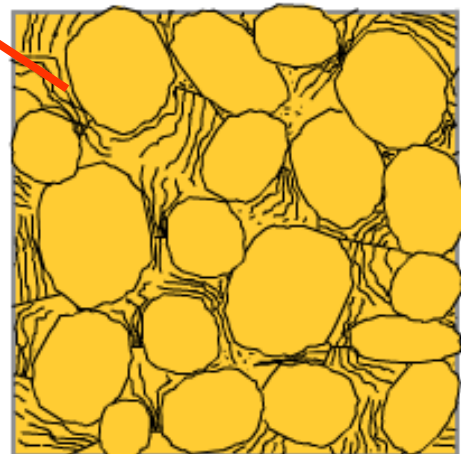
Eutectoid point - here, the three phases are in equilibrium. The compositions of the two new phases are given by the ends of the line through the eutectoid point.



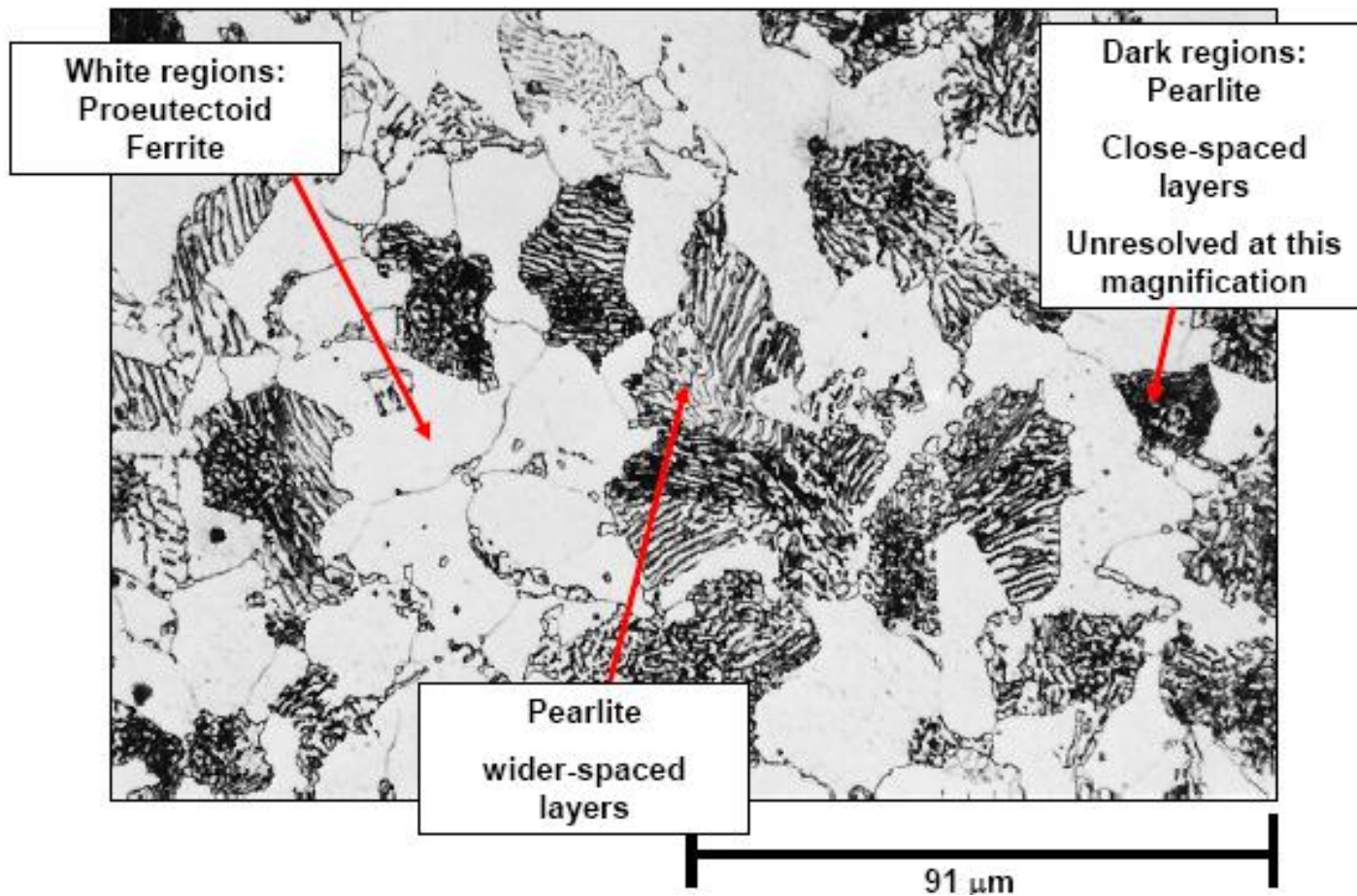
-  BACK TO START
-  DECREASE TEMPERATURE

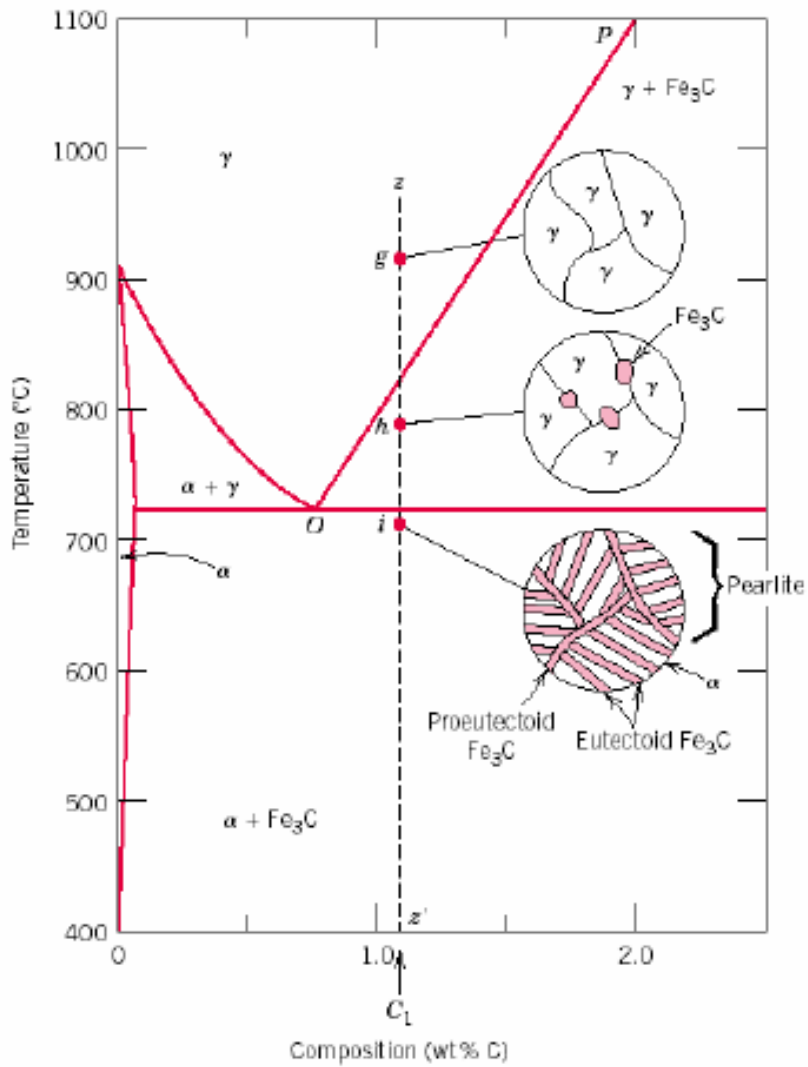
Austenite = 

Fe_3C =  Ferrite = 

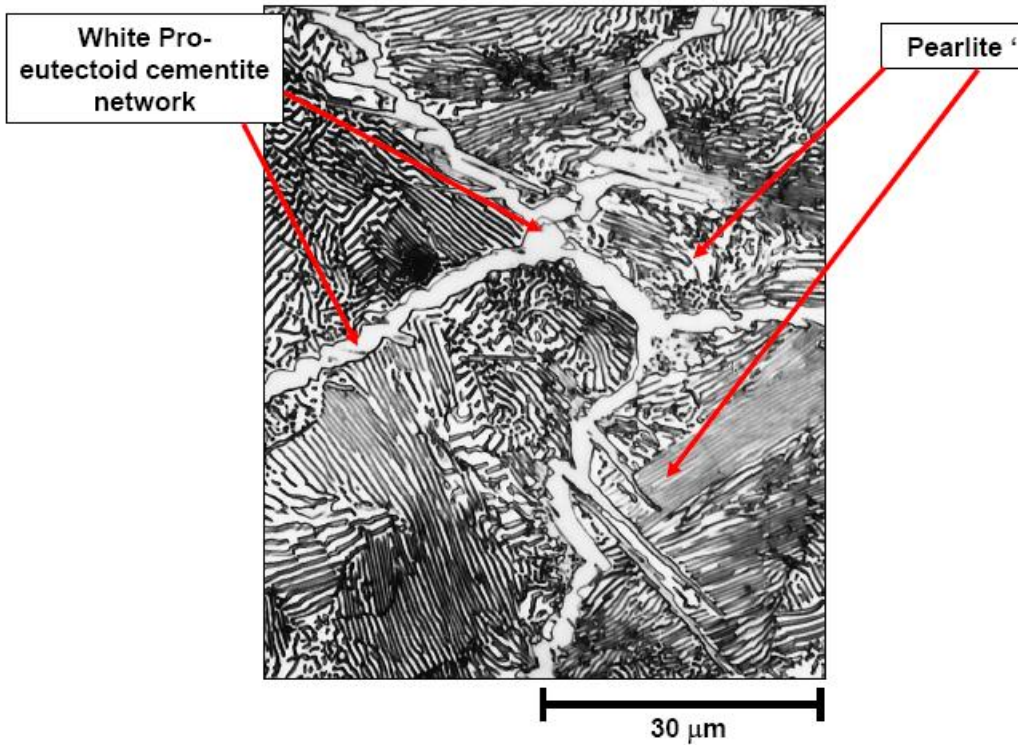


Hypo-eutectoid Composition (0.38 wt% C)





Hyper-eutectoid Composition (1.40 wt% C)

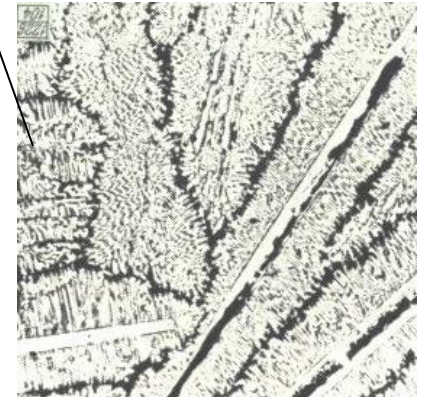
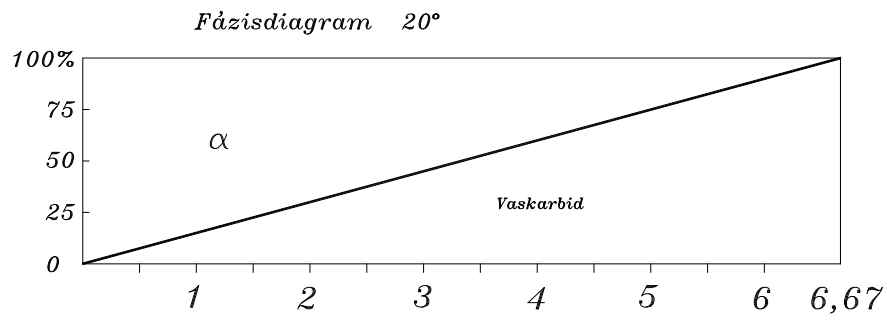
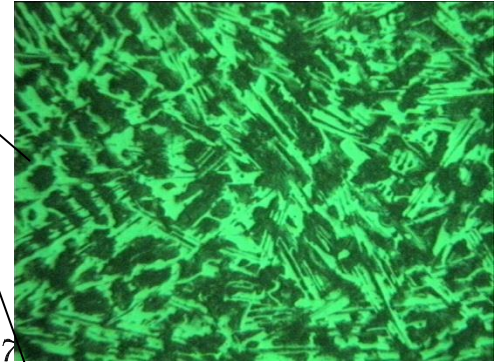
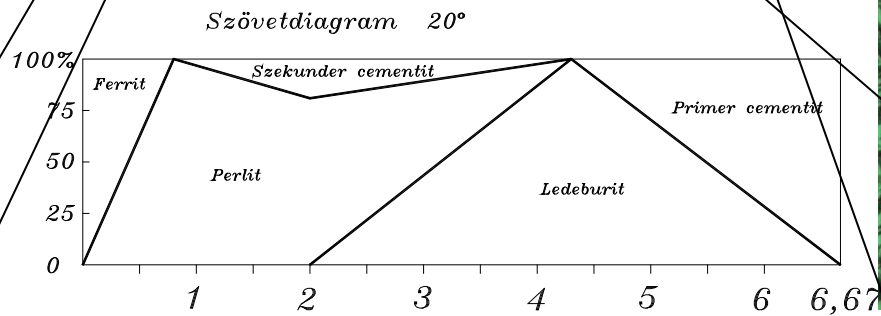
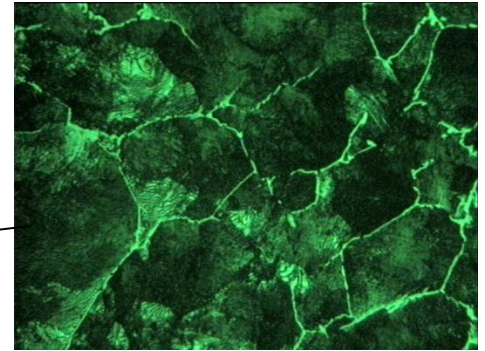
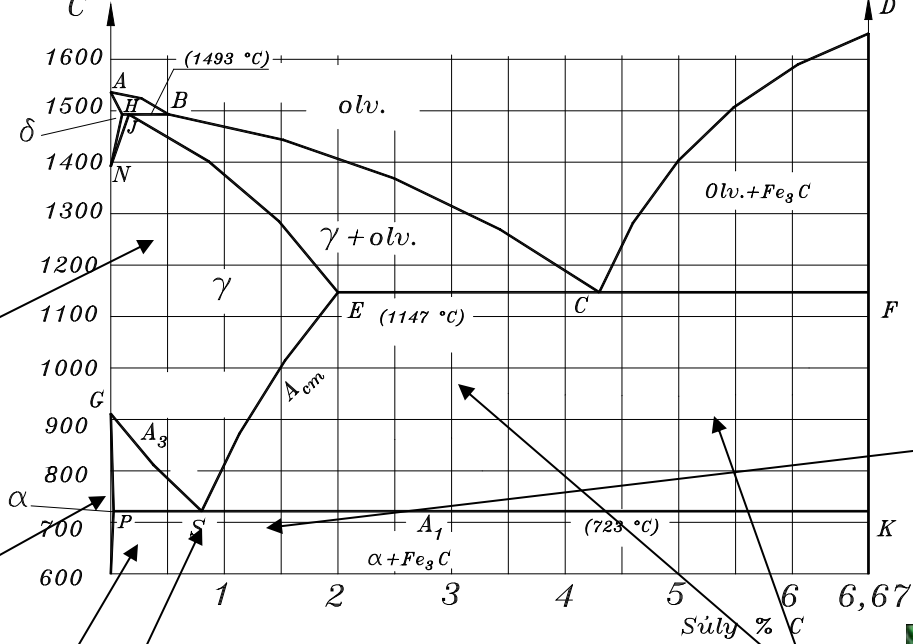
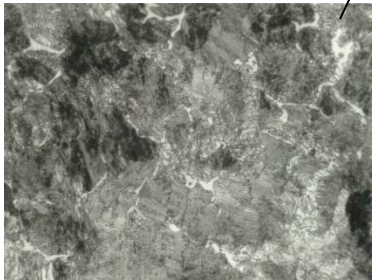
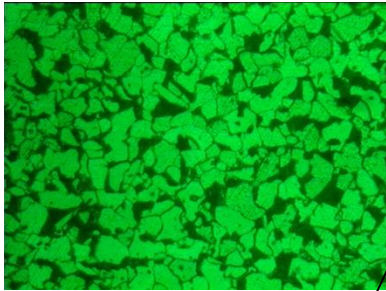
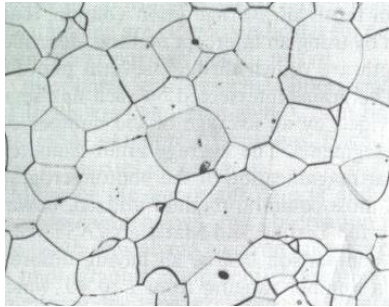
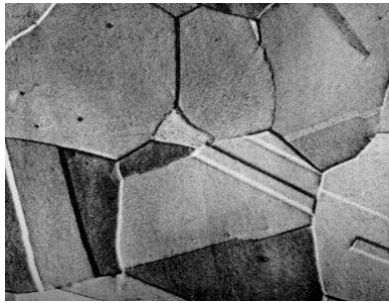


A vasötvözeteket a diagram alapján csoportosíthatjuk

2,06% karbon tartalomig **acélokról**, az annál nagyobb karbon tartalom esetén **nyersvasakról**, vagy **öntöttvasakról** beszélünk.

Az ötvözeteket tovább az **eutektikus** és az **eutektoidos** ponthoz képesti helyzetük szerint **osztályozzuk**. A **$C < 0,8$ %-nál acélok** **hipoeutektoidos**, ha **$C > 0,8$ %g hipereutektoidos acélok**,

$C < 4,3$ %-nál öntöttvasakat hipoeutektikus, a **$C > 4,3$ % hipereutektikus öntöttvasaknak**



Az acélok

2,06% karbon tartalomig acélok
Szobahőmérsékleten ferrit és perlit
szövetelemekből állanak

A C tartalom hatása

0,15 % C

Szövetszerkezet:

ferrit + perlit

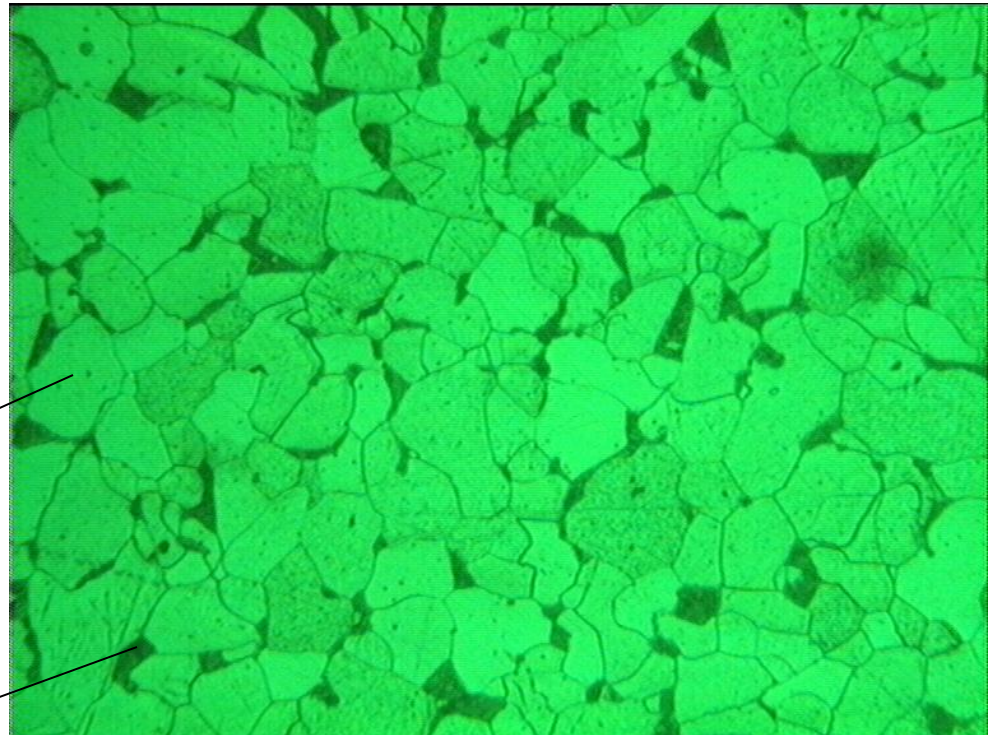
N 200x

Marószer: nitál

(alkoholos salétromsav)

ferrit

perlit



Lágy, szívós, jól alakítható, kis mértékben terhelhető

A C tartalom hatása

0,25 % C

Szövetszerkezet:

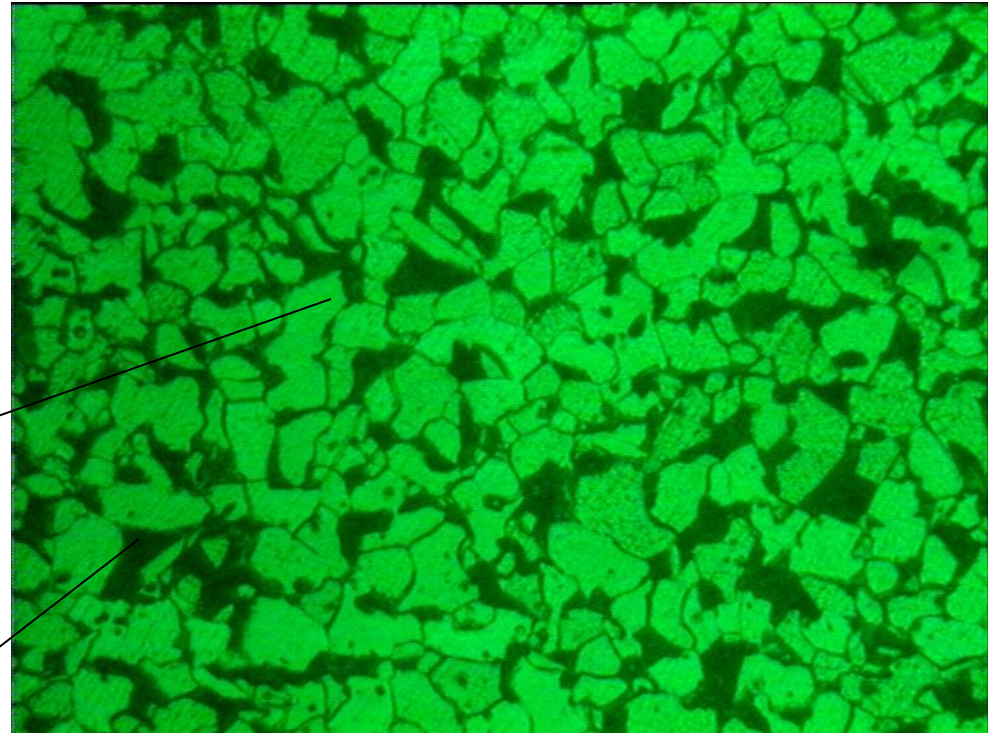
ferrit + perlit

N 200x

Marószer: nitál

ferrit

perlit



Keménység nő, terhelhetőség nő,
alakíthatóság csökken

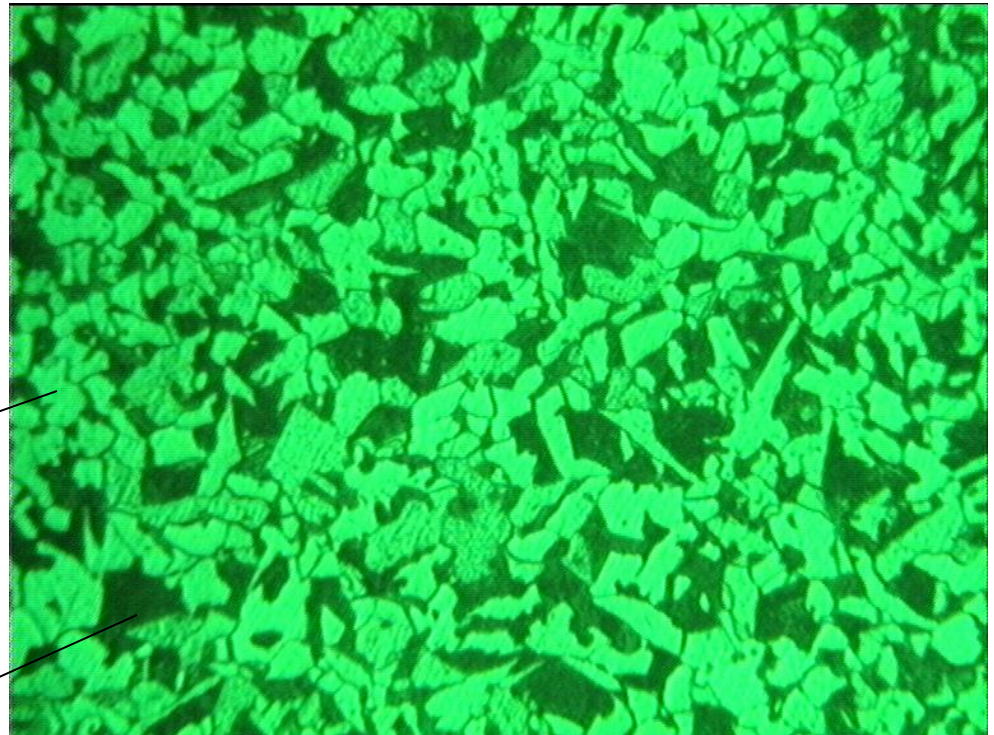
A C tartalom hatása

0,35 % C

Szövetszerkezet:

ferrit + perlit

N 200x



ferrit

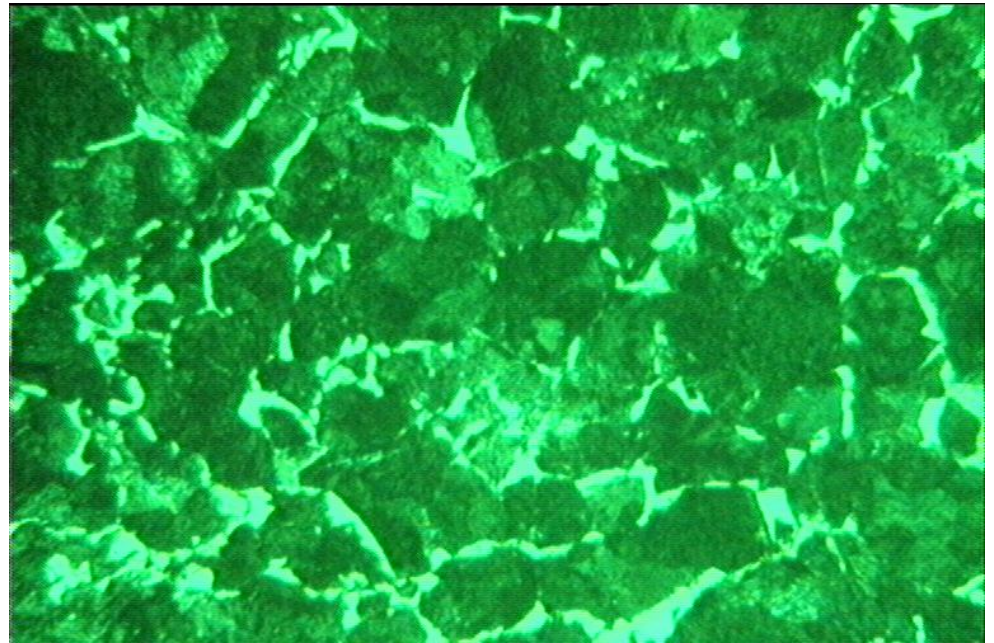
perlit

A C tartalom hatása

0,45 % C

Szövetszerkezet:
ferrit + perlit

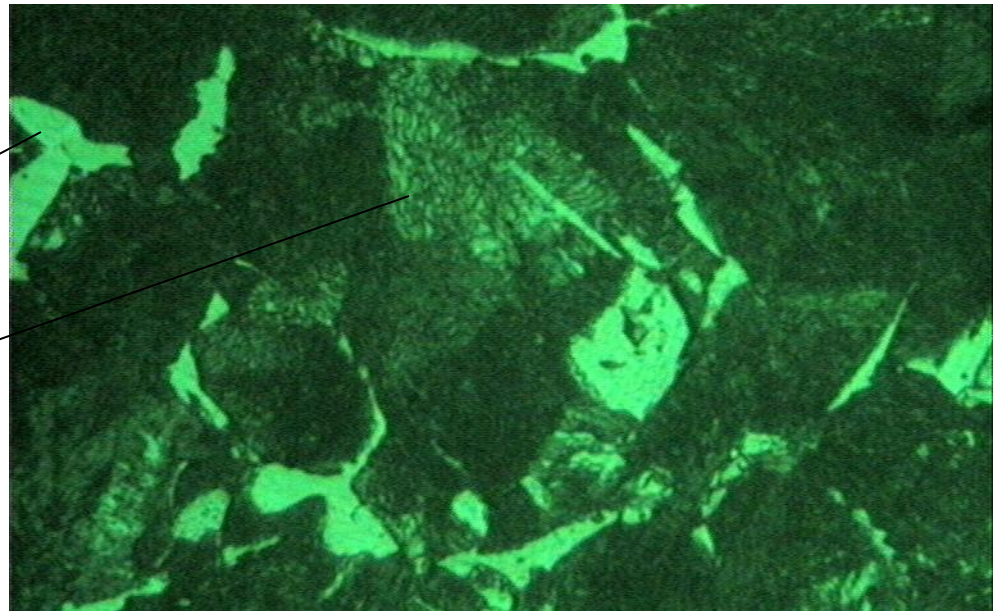
N 200x



N 500x

ferrit

perlit



Lemezes szerkezet

A C

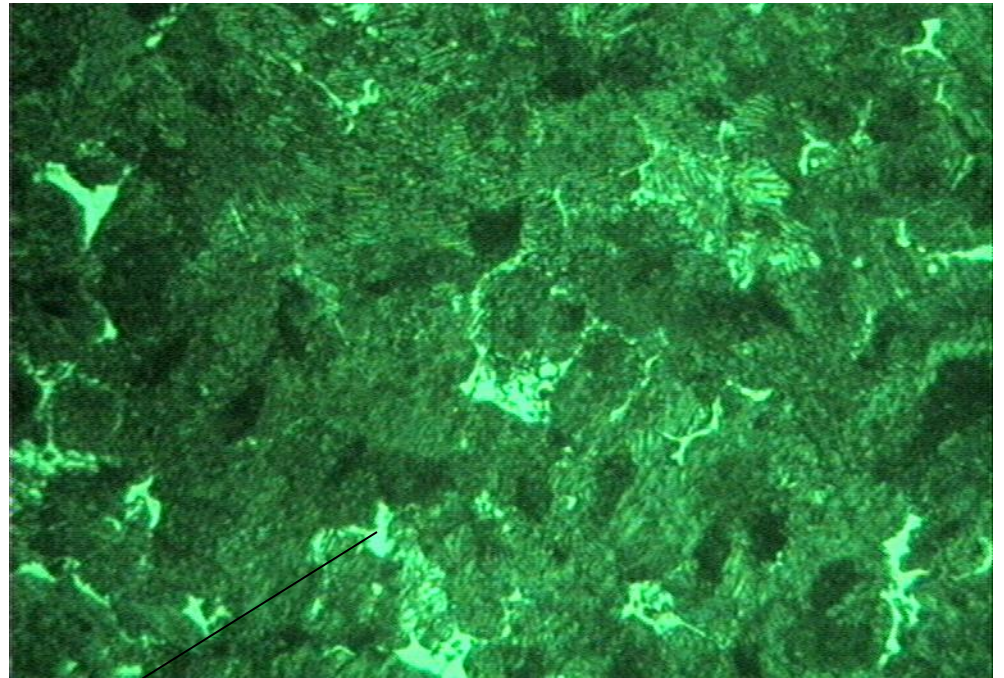
tartalom hatása

0,60 % C

Szövetszerkezet:

ferrit + perlit

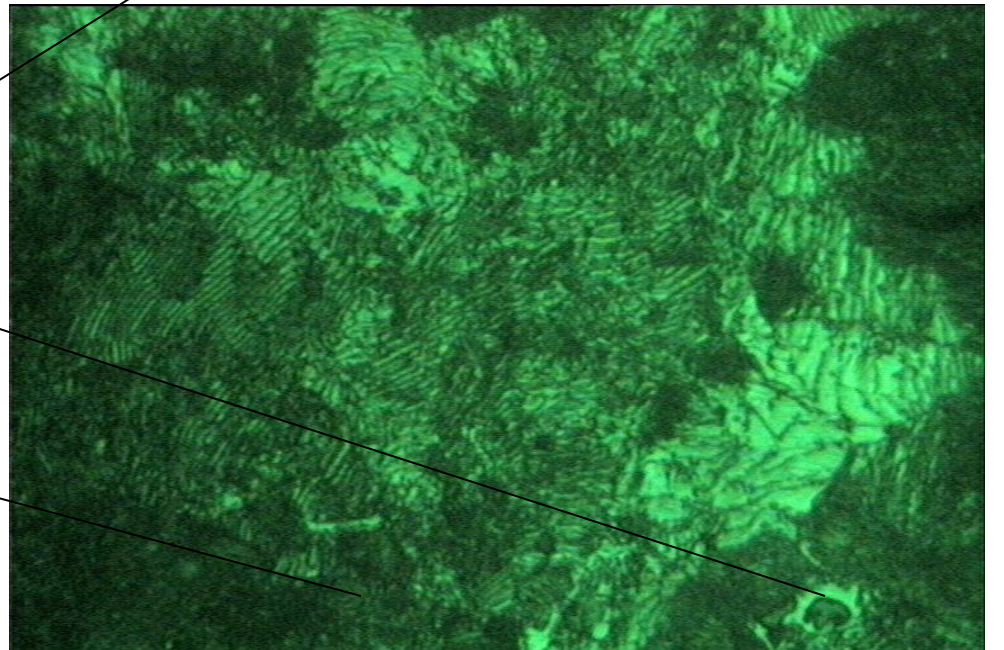
N 200x



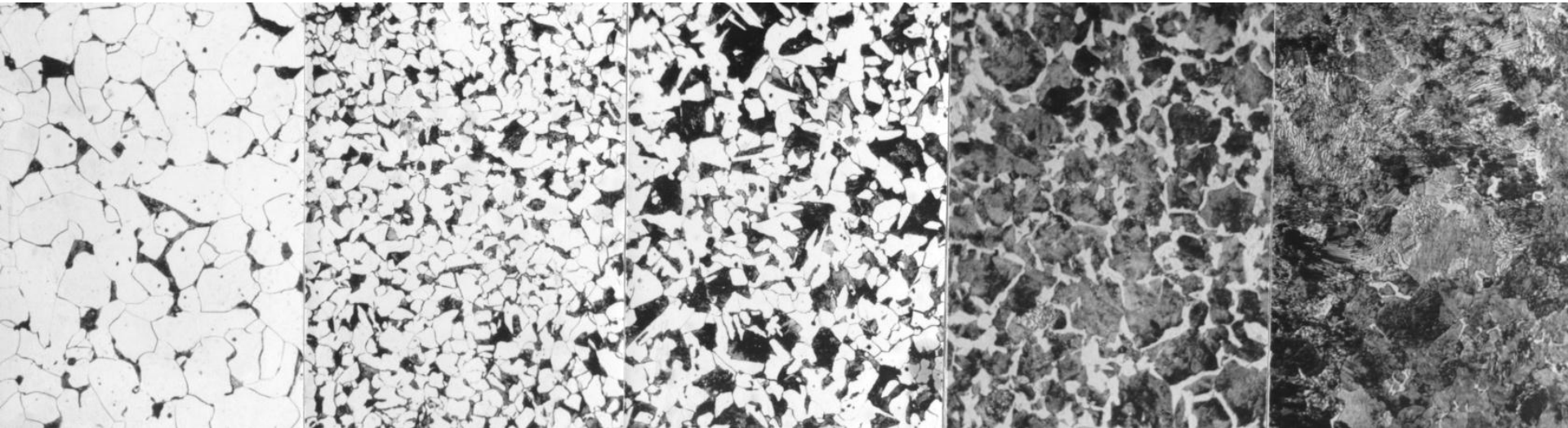
N 500x

ferrit

perlit



A C tartalom hatása a szövegszerkezetre



A C tartalom növekedésével csökken a ferrit és nő a perlit mennyisége, ami a szilárdság, a keménység növekedését, az alakváltozókéesség csökkenését eredményezi

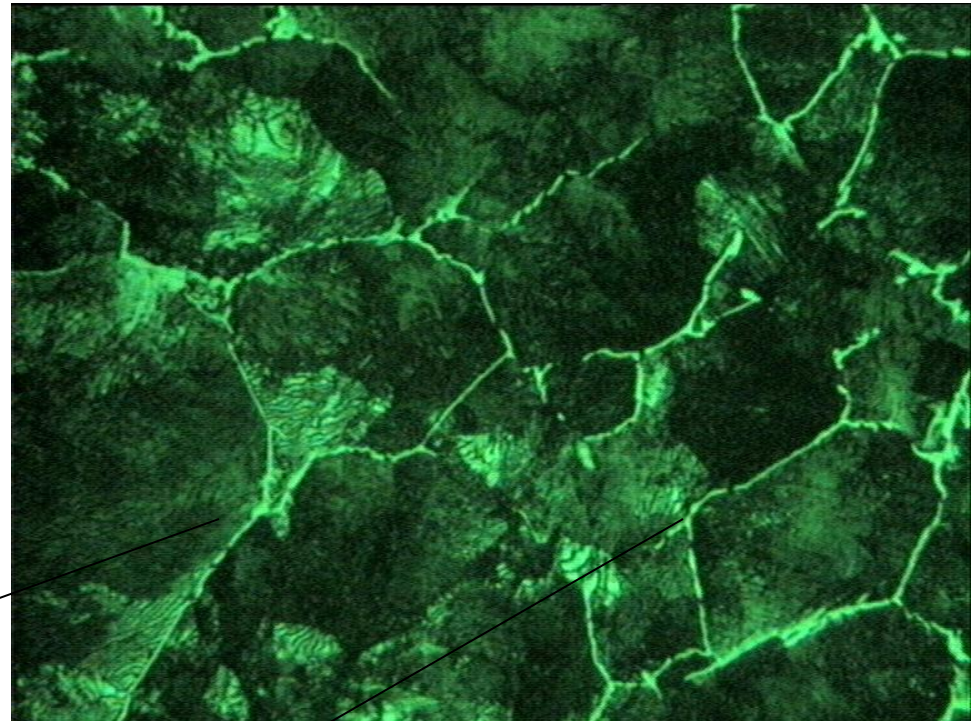
Hipereutektoidos acél C $\approx 1,3\%$

Szerszámacélok (pl. fogaskerék)

Szövetszerkezet
perlit+ szekunder
cementit

N 250 x

Marószer: Nitál



perlit

Szekunder cementit
(hálós)

Fe- Fe₃C rendszer

Öntöttvasak

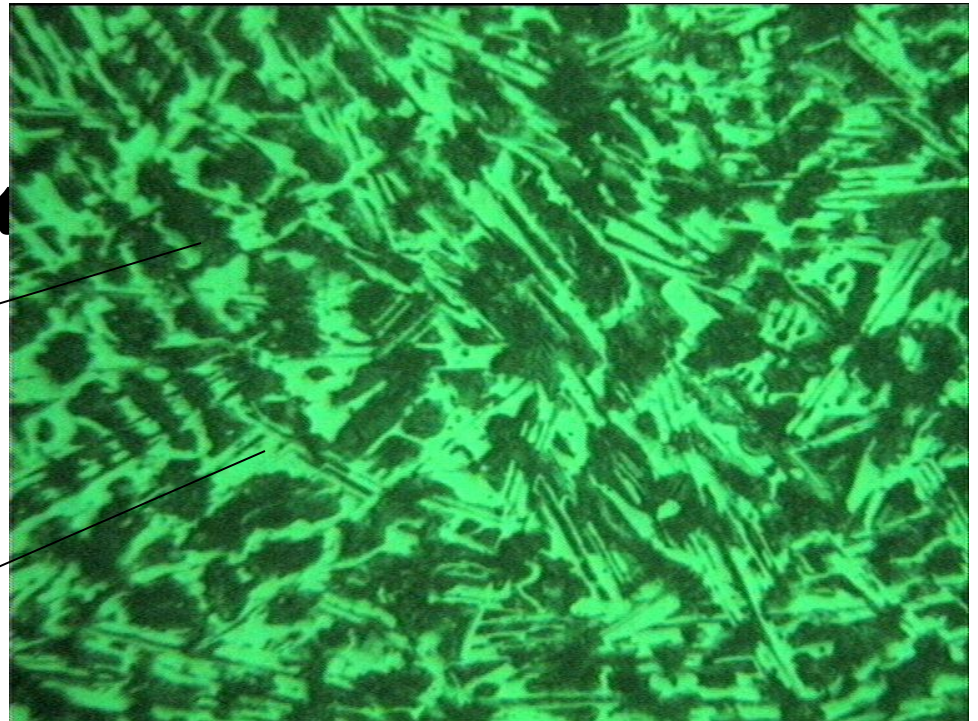
- A karbidos rendszer szerint kristályosodó öntöttvasakat **önálló szerkezeti anyagként nem használják**, mivel nagyon kemények, nem alakíthatóak, a megmunkálásuk is nehézségeket okoz
- A karbidos rendszer szerinti kristályosodás elsősorban azokra az ötvözetekre jellemző, amelyeket a továbbiakban az acélgyártás alapanyagaként használnak.

Hipoeutektikus öntöttvas

Szövetszerkezet:
perlit + ledeburit +
szekunder cementit

perlit

ledeburit

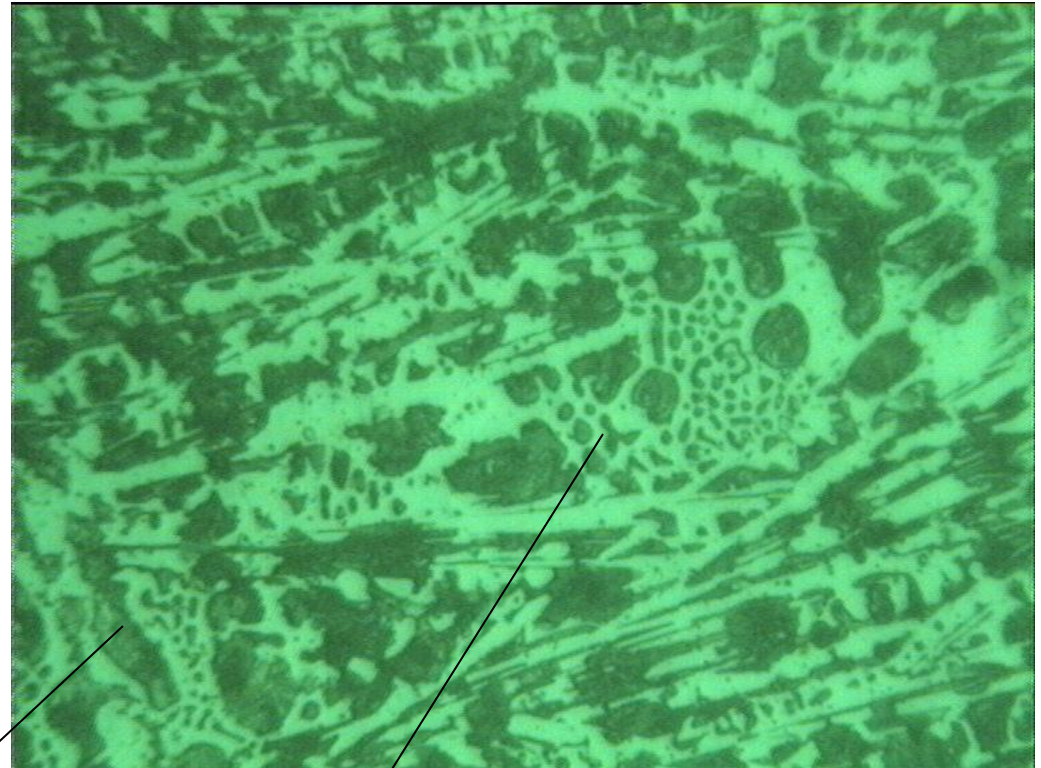


Ledeburit

**1147 C°-on képződik
4,3 %C olvadékból.
Fázisai : ausztenit és
vaskarbid. Az ausztenit
szekunder cemenetit
kiválás után perlitté
alakul**

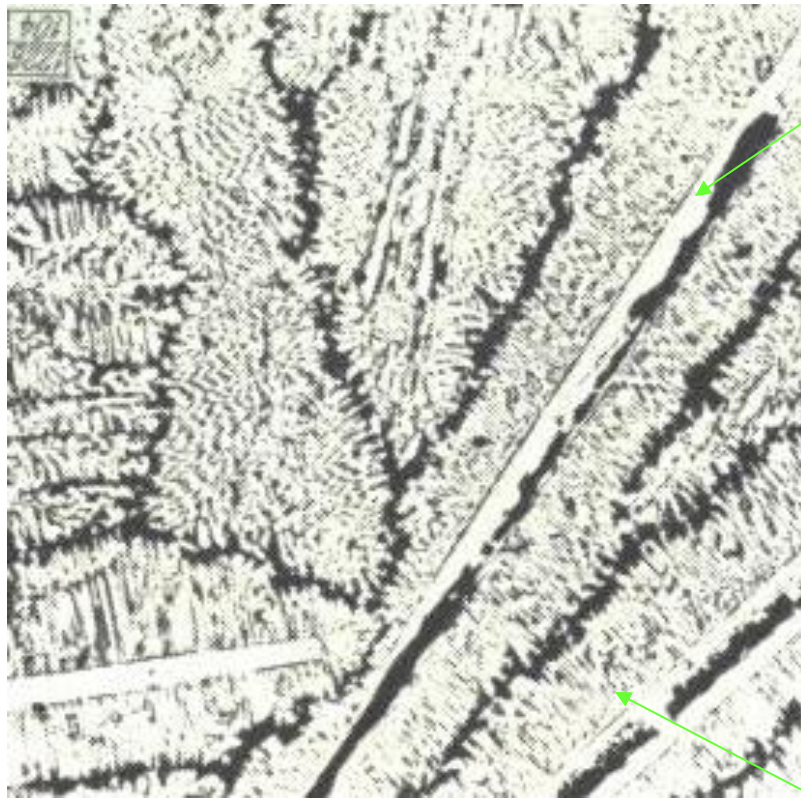
**Kemény, rideg,
kopásálló**

Az ausztenitből
képződött perlit

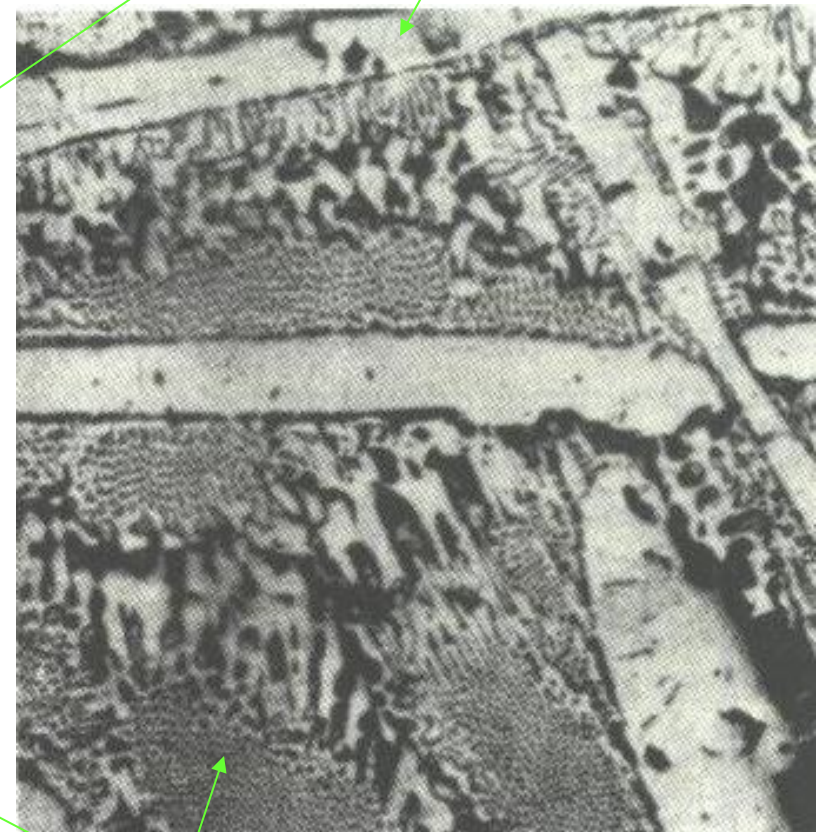


vaskarbid

Hipereutektikus öntöttvas



N 50 x

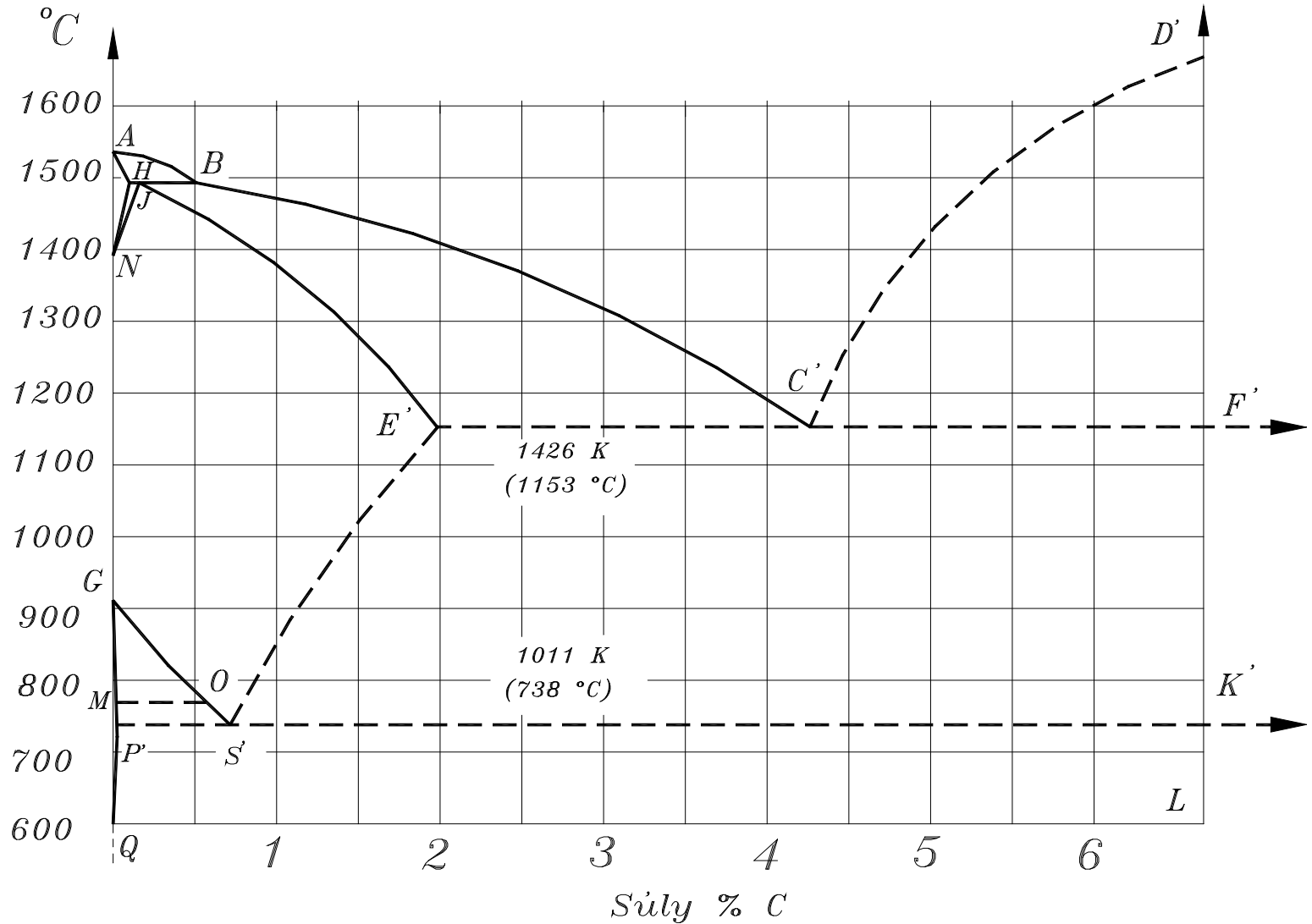


N 300x

ledeburit

Primer cementit

Vas - Grafit diagram



Grafitos vagy stabil rendszer

A grafitos vagy stabil rendszer egyensúlyi diagramjának alakja a karbidos rendszer diagramjához nagyon hasonlít, sőt a két diagram vonalainak jelentős része pontosan egybeesik. Azok a vonalak ugyanis, amelyek a vas módosulatainak és azok szilárd oldatainak képződésére vonatkoznak az ikerdiagram mindkét tagjában közösek. **Különböző helyzetűek azok a vonalak, amelyek a cementitnek vagy a karbidos szövetelemeknek, lédeburitnak vagy perlitnek a képződésére vonatkoznak.**

Grafitos vagy stabil rendszer

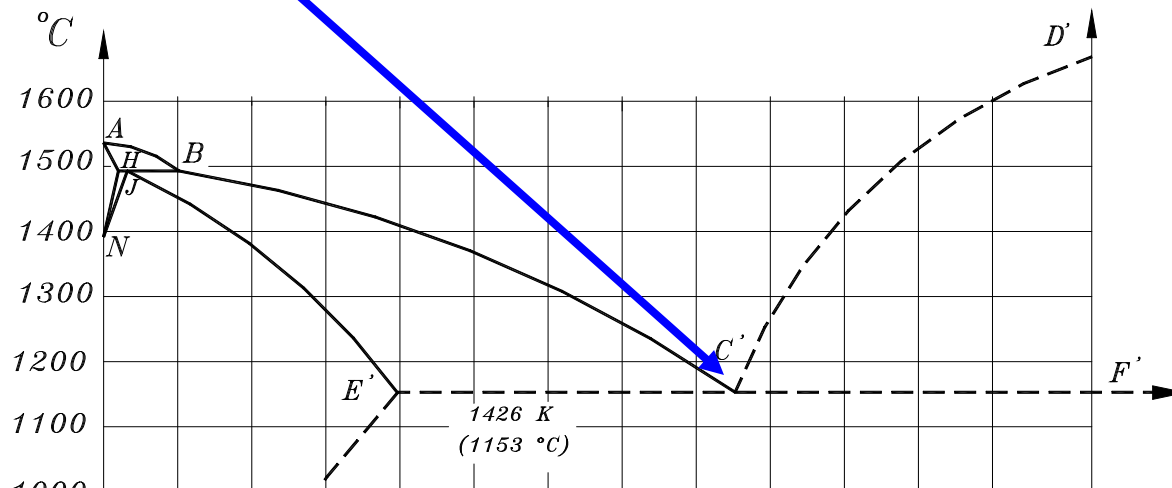
Fontos megjegyezni, hogy itt a 6,67 % C tartalmú Fe_3C nem létezik, a diagram a 100 % C-ig tart. A grafitos rendszer fázisaira vonatkozó pontokat ' -vel jelöljük.

A pontok magasabb hőmérsékleteken vannak, ezért a hozzájuk tartozó C tartalom kisebb.

Vas - grafit egyensúlyi diagram

Eutektikum kristályosodása 1

A grafitos rendszer szerint a γ ausztenit kristályosodásának kezdetét jelentő BC' likvidusz és a grafit kristályosodásának kezdetét jelentő C'D' likvidusz a C' pontban metszi egymást. Ez a grafitos rendszer eutektikus pontja. Hőmérséklete 1153 C°.



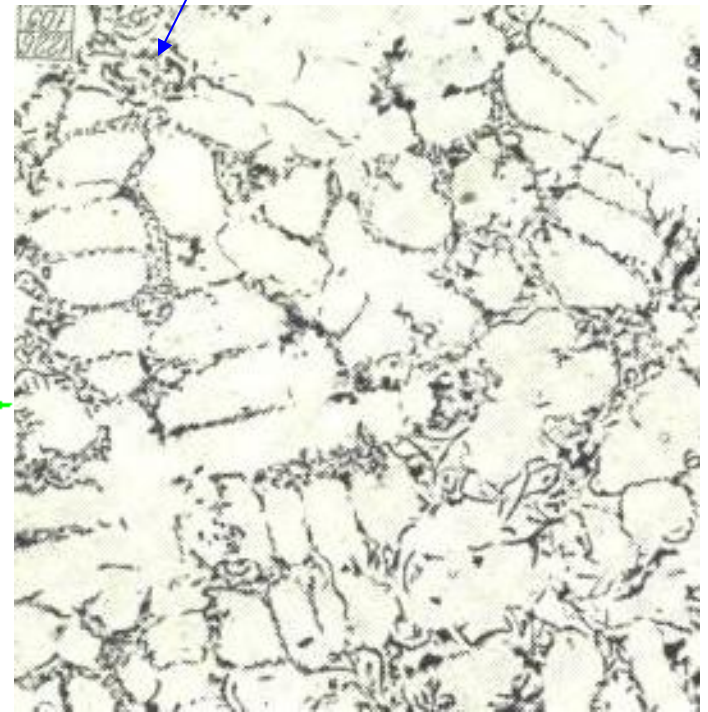
Vas - grafit egyensúlyi diagram

Eutektikum kristályosodása 2

Az eutektikus reakció 1153 C°-on:



A szövetelem neve **grafitos eutektikum**



Vas - grafit egyensúlyi diagram

Eutektoidos folyamat

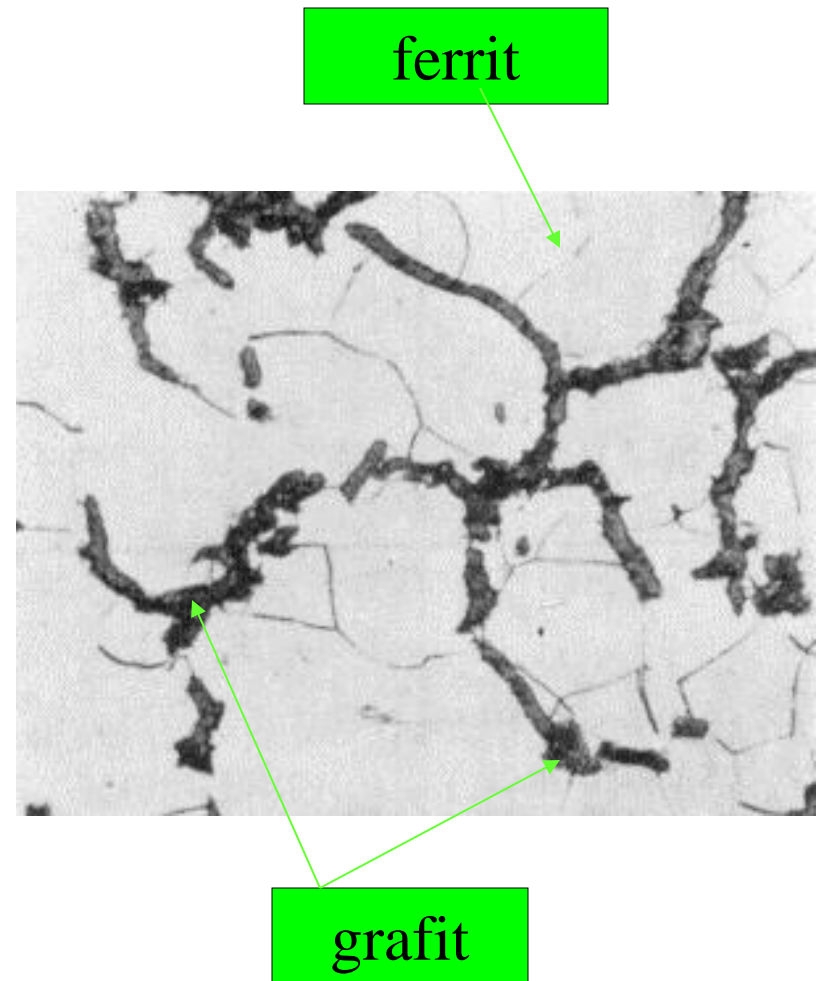
Az **ausztenit átalakulása** a grafitos rendszer szerint is végbemegy , mégpedig **738 C°-on a P'S'K' vonalon.**



Ez a grafitos eutektoid

Hipoeutektikus öntöttvas

**A hipoeutektoidos
öntöttvasak
szövetszerkezete
szobahőmérsékleten
grafitos eutektikum,
szekunder grafit és
grafitos eutektoid.
Mikroszkópon
megfigyelve csak
grafitot és ferritet
látunk**



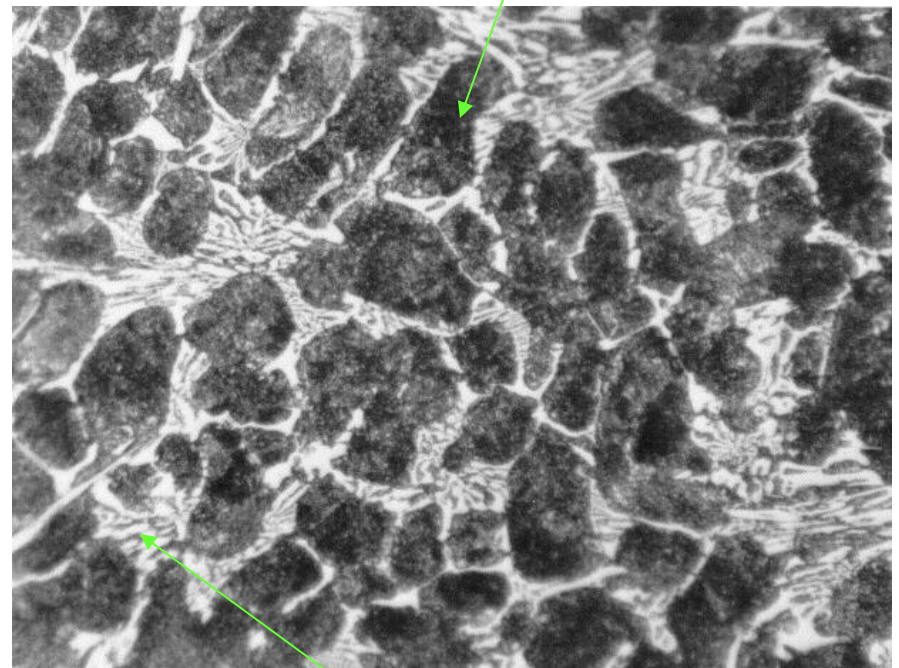
Gyakorlati öntöttvasak

A gyakorlati öntöttvasak mindig tartalmazznak 1,5-2 % szilíciumot.

- **Ha a lehűlési sebesség túl nagy (vékony az öntvény fala)**
- **vagy túl kevés a Si az öntvény „kifehéredik”**

Grafitos rendszer 2

Kiseb Si, vagy gyorsabb hűtés esetén az ötvözet a karbidos rendszer szerint kristályosodik és kemény, rideg lesz

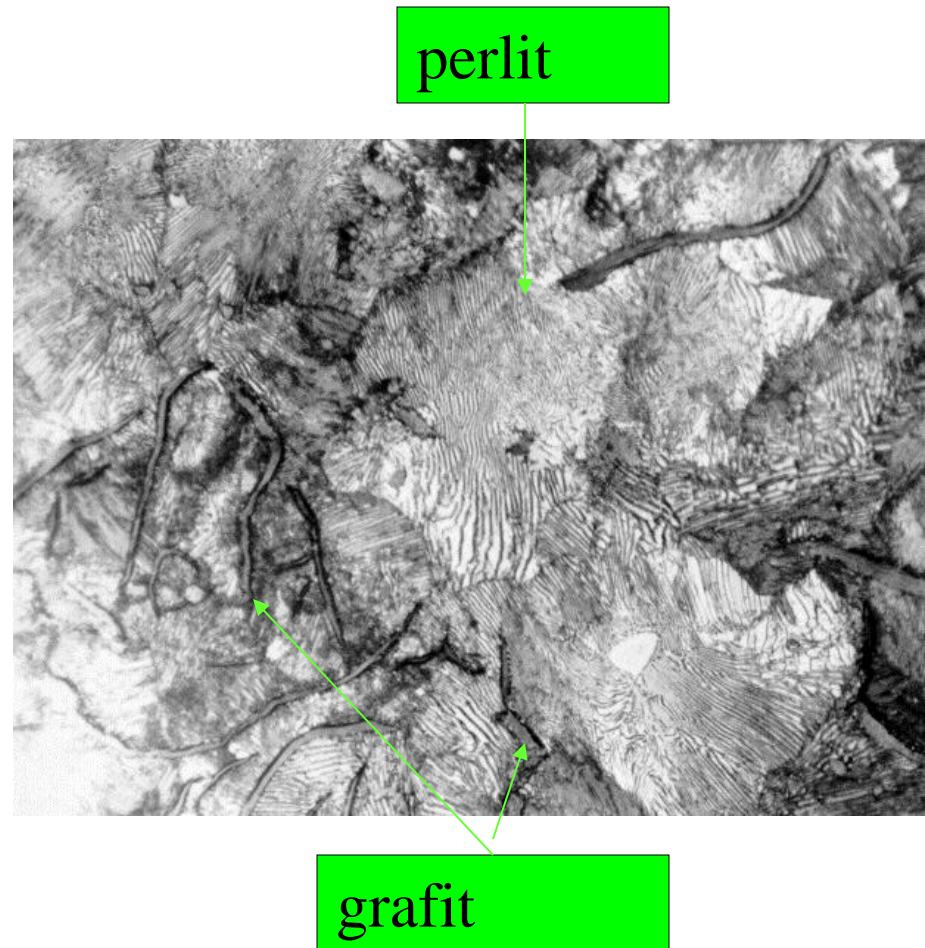


perlit

ledeburit

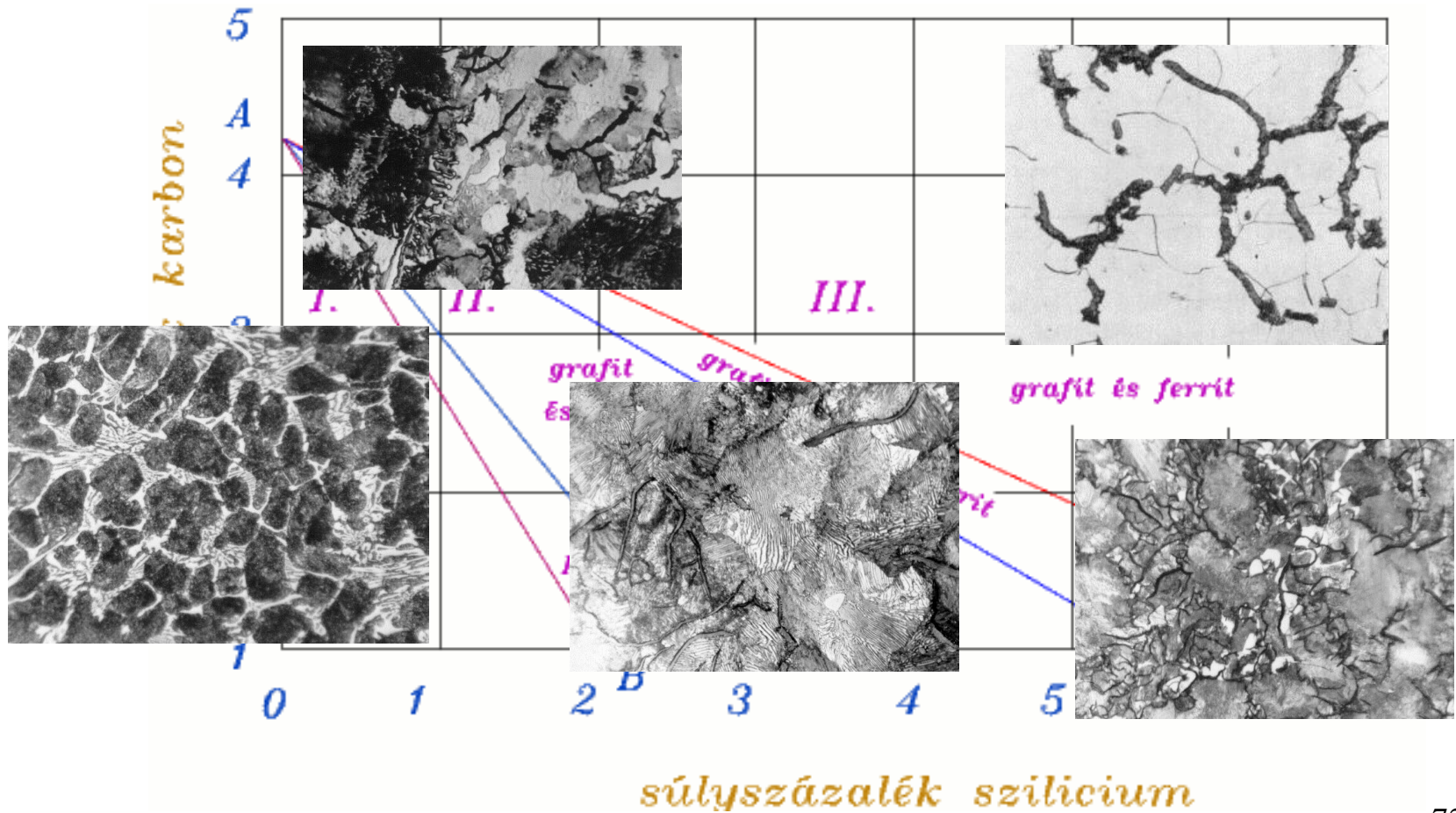
Grafitos rendszer 3

Gyakori az, hogy az ötvözet a grafitos rendszer szerint kristályosodik, de a karbidos rendszer szerint alakul át, így szövetszerkezete szobahőmérsékleten grafit és perlit



Öntöttvas diagramok

Maurer diagram



Öntöttvas diagramok

Greiner - Klingenstein diagram

