



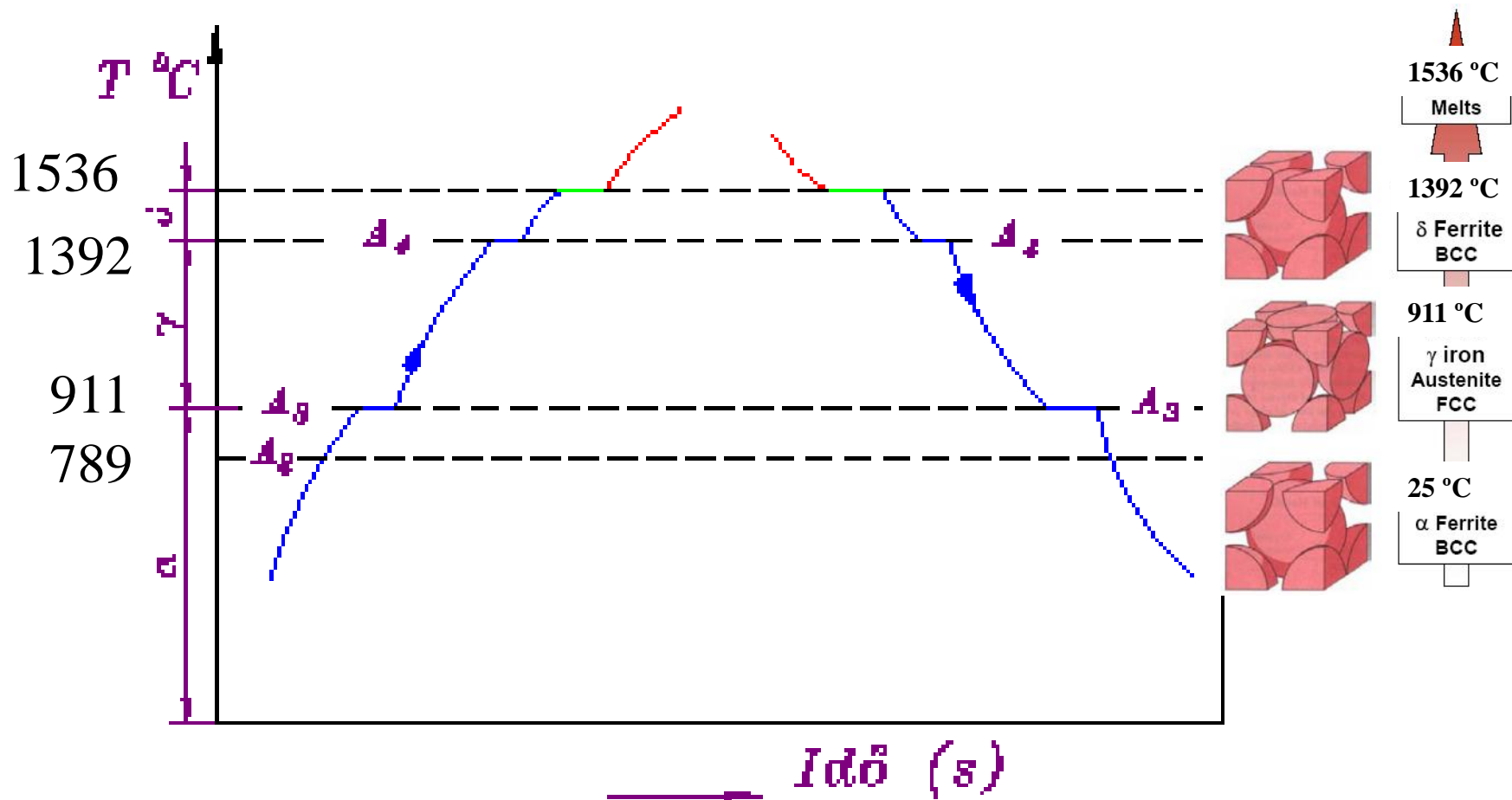
# Anyagszerkezet és –vizsgálat Fémten, Anyagvizsgálat

## 4. Előadás: Vas-karbon ötvözetrendszer

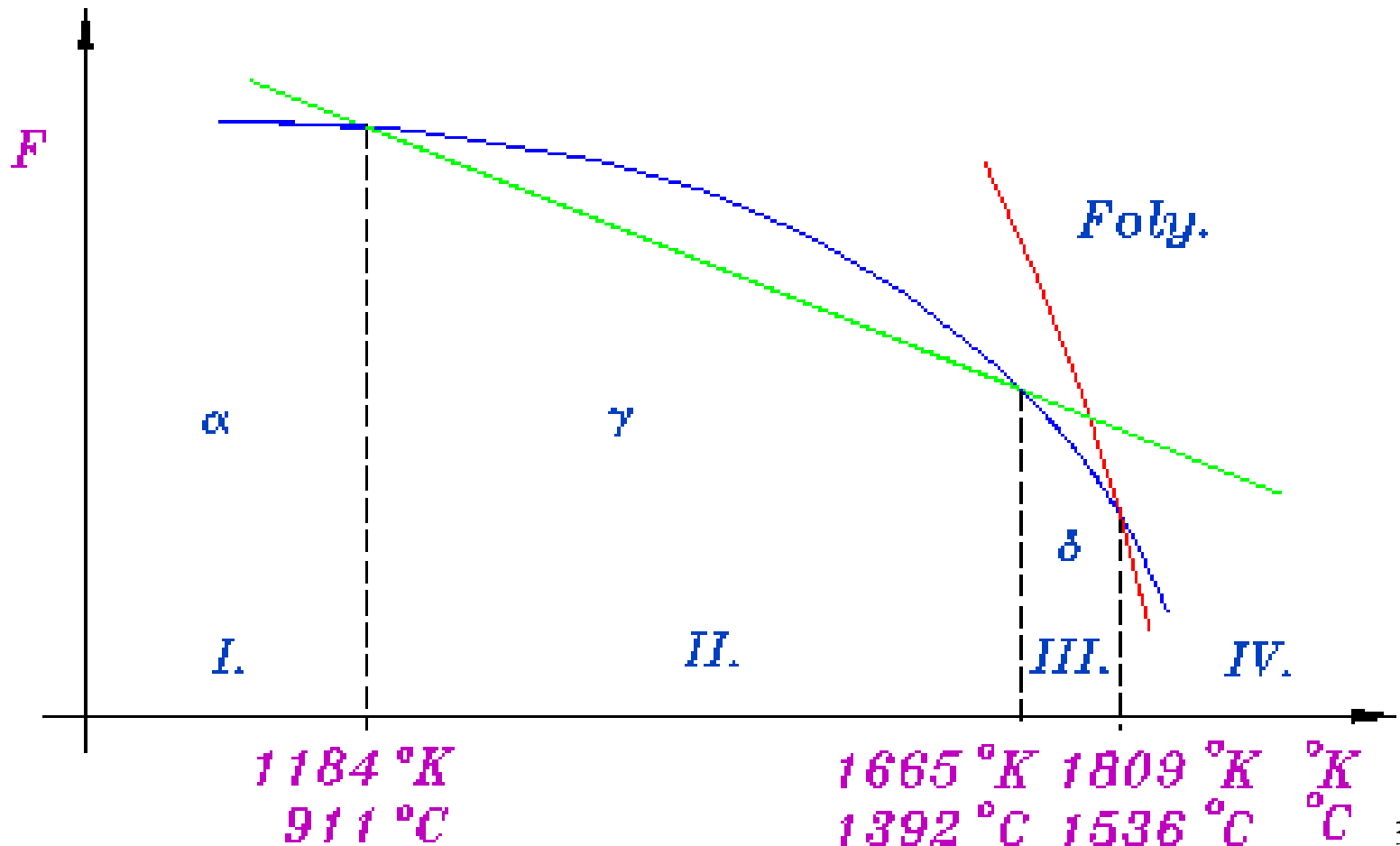
**Dr. Hargitai Hajnalka**

(Csizmazia Ferencné dr. előadásanyagai alapján)

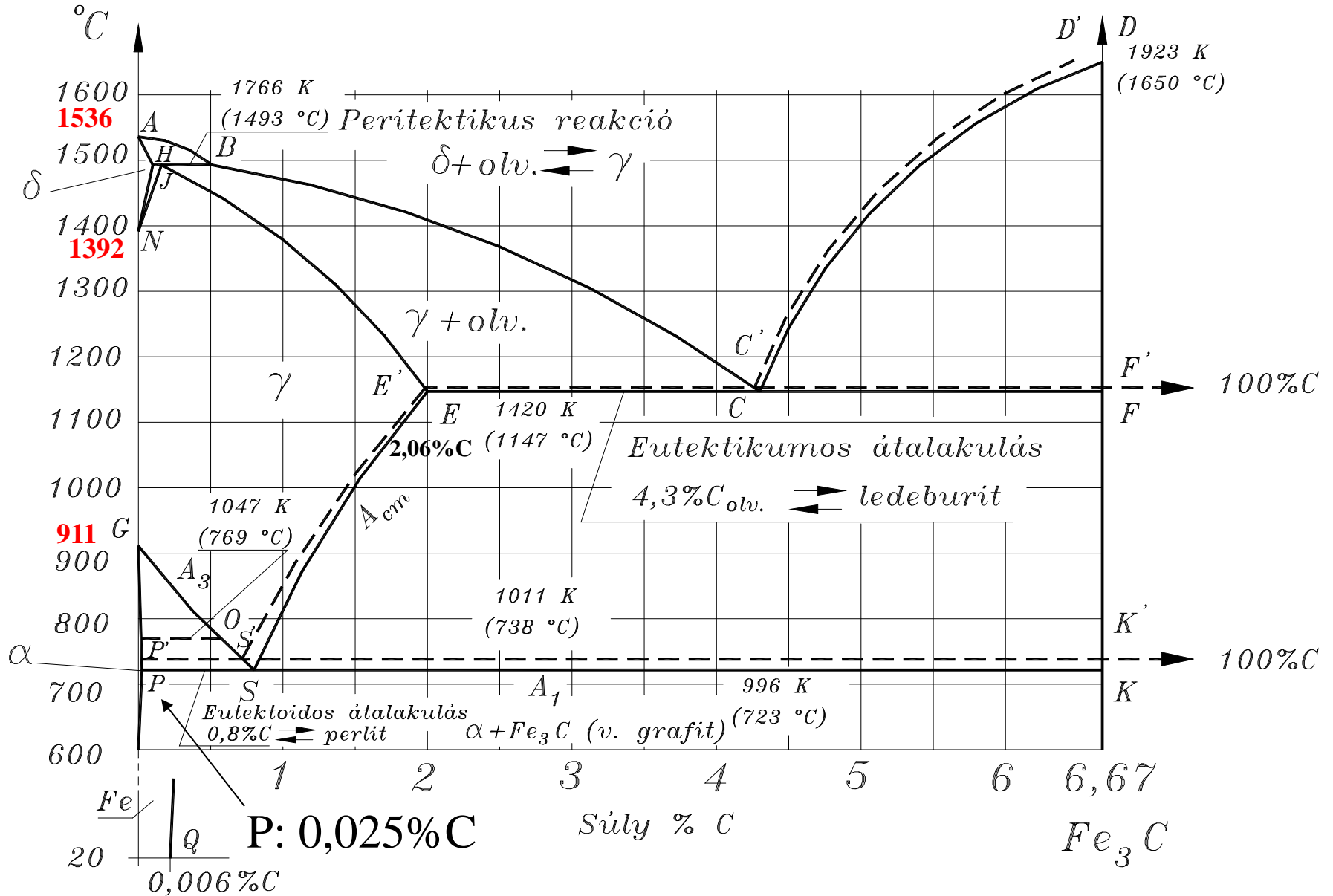
# Színvas hevítési és lehűlési görbéje (allotróp átalakulás van)



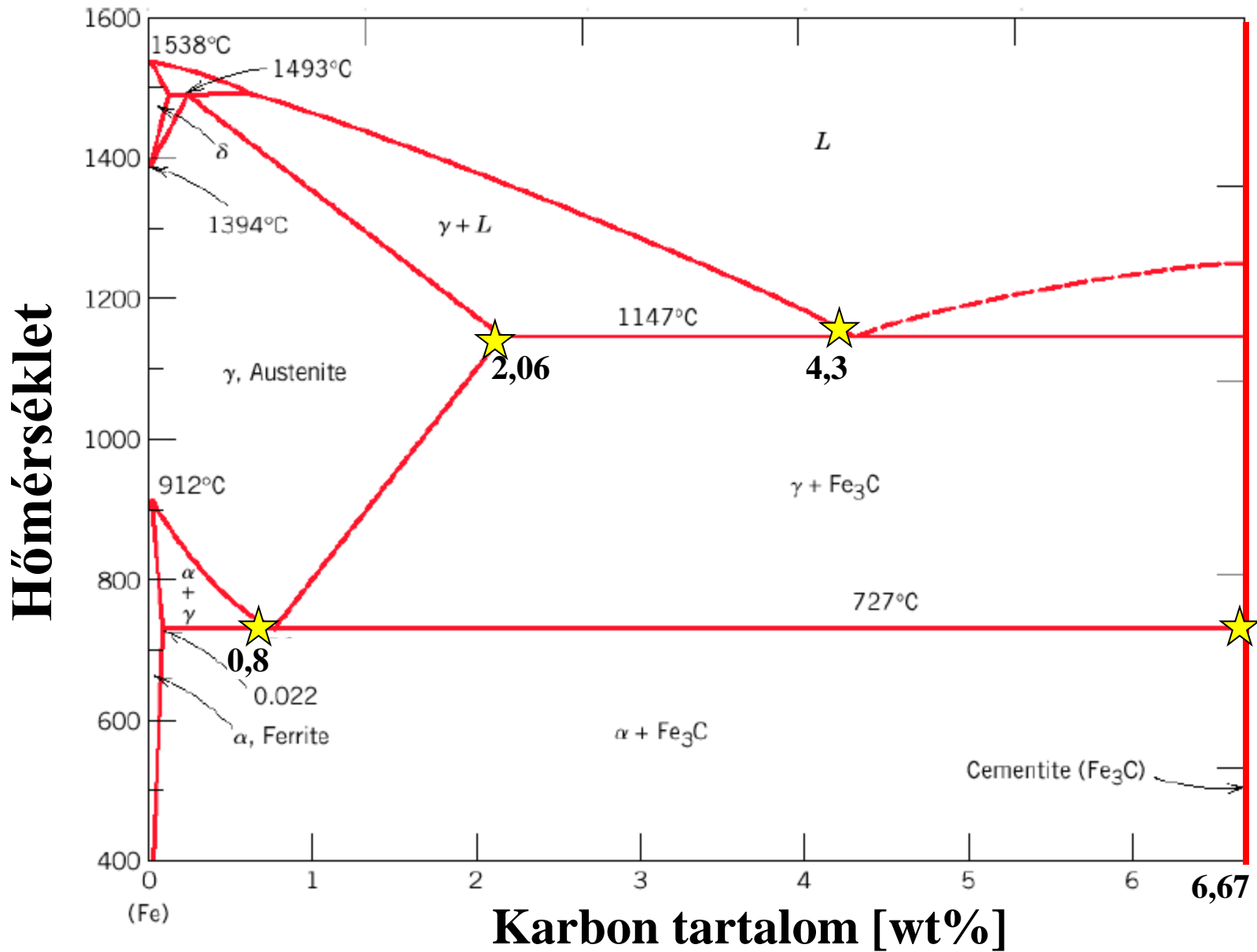
# A vas fázisainak szabadenergia görbéi



# Vas- Karbon diagram

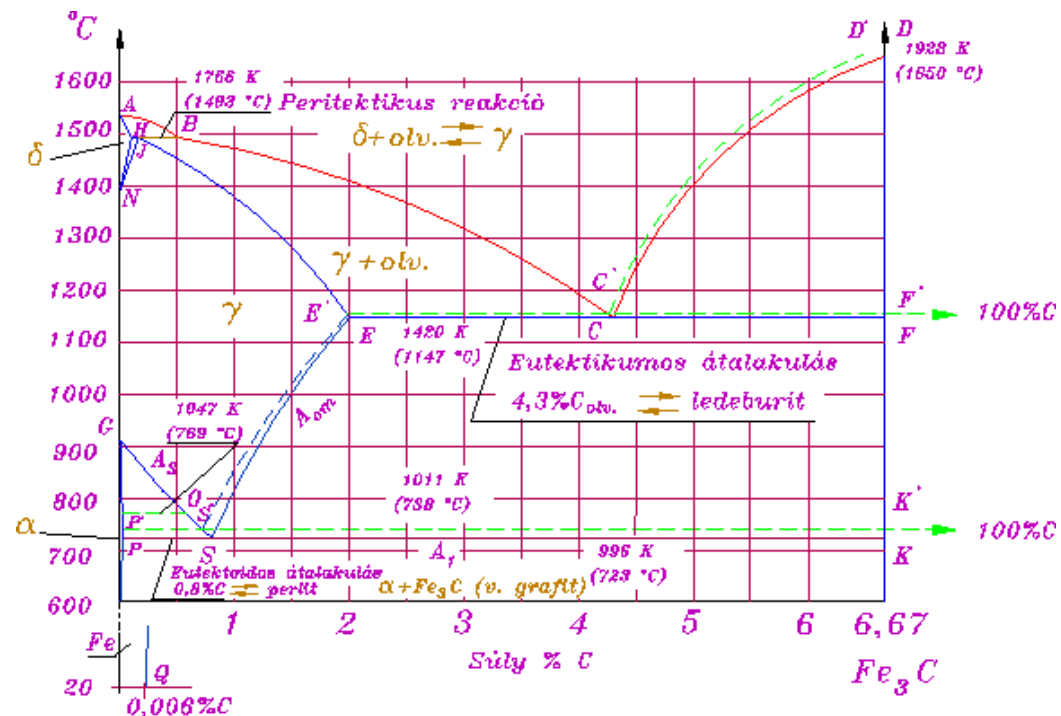


# Fe-Fe<sub>3</sub>C diagram



# 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  $\text{Fe}_3\text{C}$  interosztációs vegyületnek felel meg**)

## Az eltérések oka 2

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

- mint **elemi karbon vagy grafit**,
- és kötött formában, mint  **$\text{Fe}_3\text{C}$ , 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**.

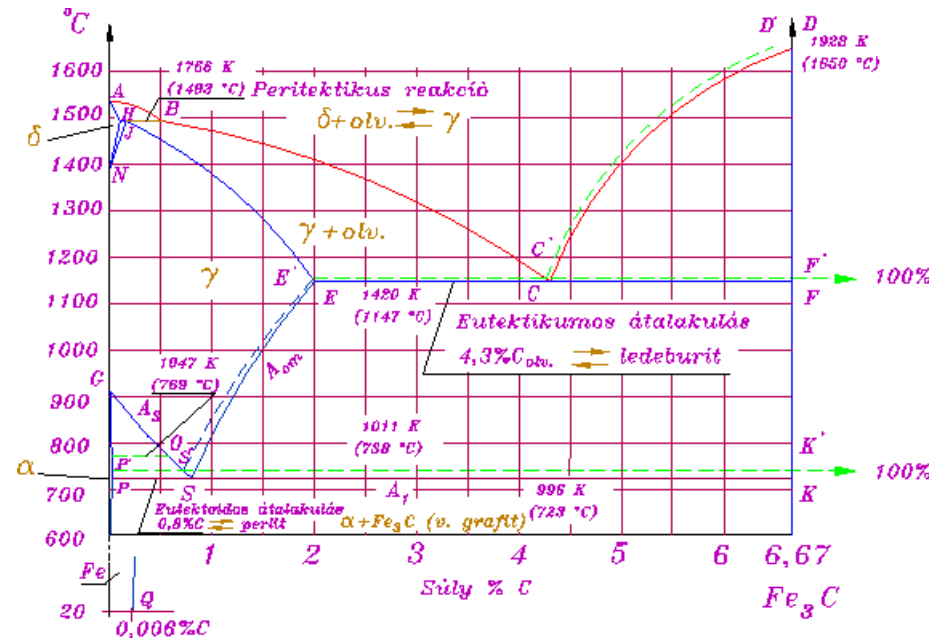


# Heyn - Charpy féle ikerdiagram

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

Melyik a stabil?

- már 700 C° felett megfigyelhető a Fe<sub>3</sub>C 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 - Fe<sub>3</sub>C 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 tartalmaznak 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-Fe<sub>3</sub>C 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 Fe<sub>3</sub>C függőlegeséig ábrázoljuk.

# Fe -Fe<sub>3</sub>C rendszer

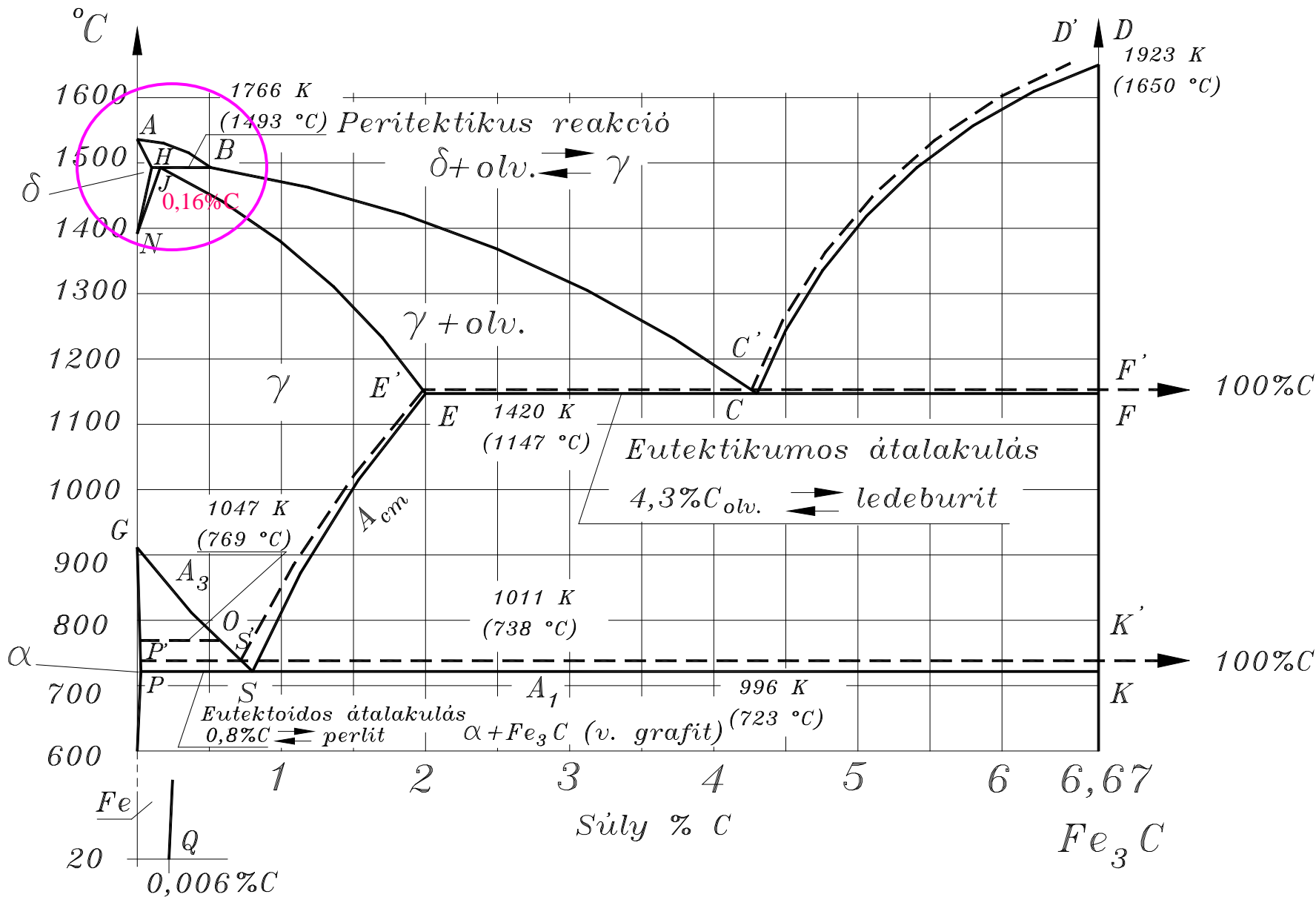
Eddig megismert egyensúlyi diagramok alapján a karbidos rendszerről megállapíthatjuk, **hogyan az alkotók folyékony állapotban minden arányban, szilárd állapotban pedig korlátozottan oldják egymást.**

**Vasötvözetek**  
**kristályosodásának vizsgálata**

**Fe-Fe<sub>3</sub>C rendszer**

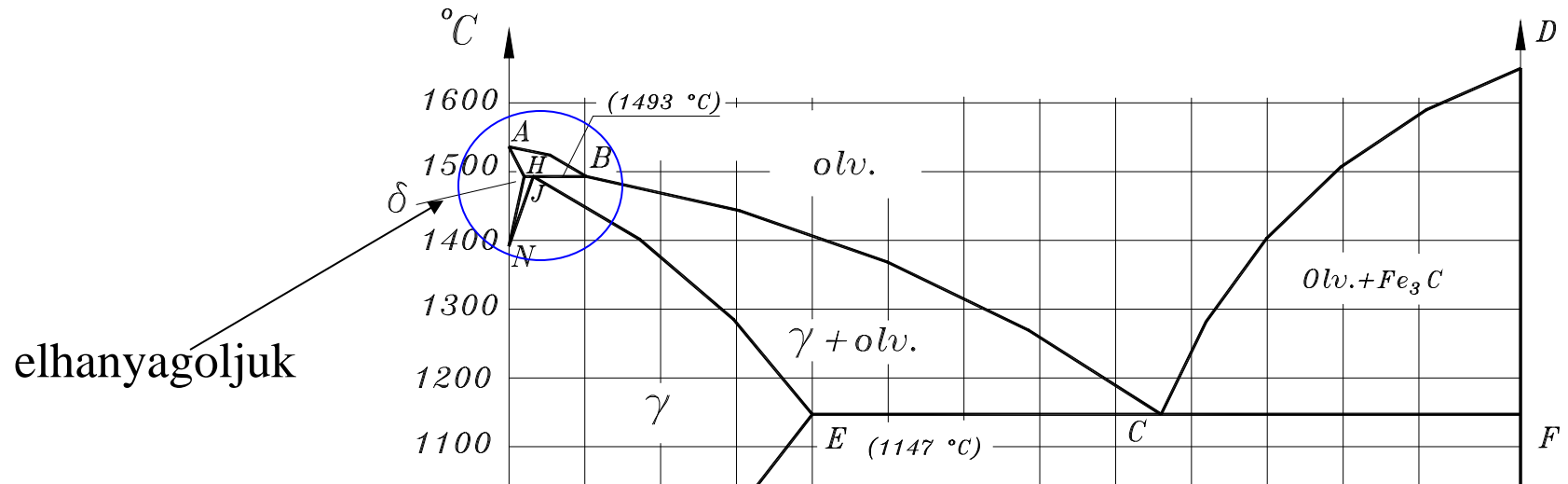


# Vas- Karbon diagram



# Fe-Fe<sub>3</sub>C egyensúlyi diagram

## Kristályosodás az BC likvidusz szerint

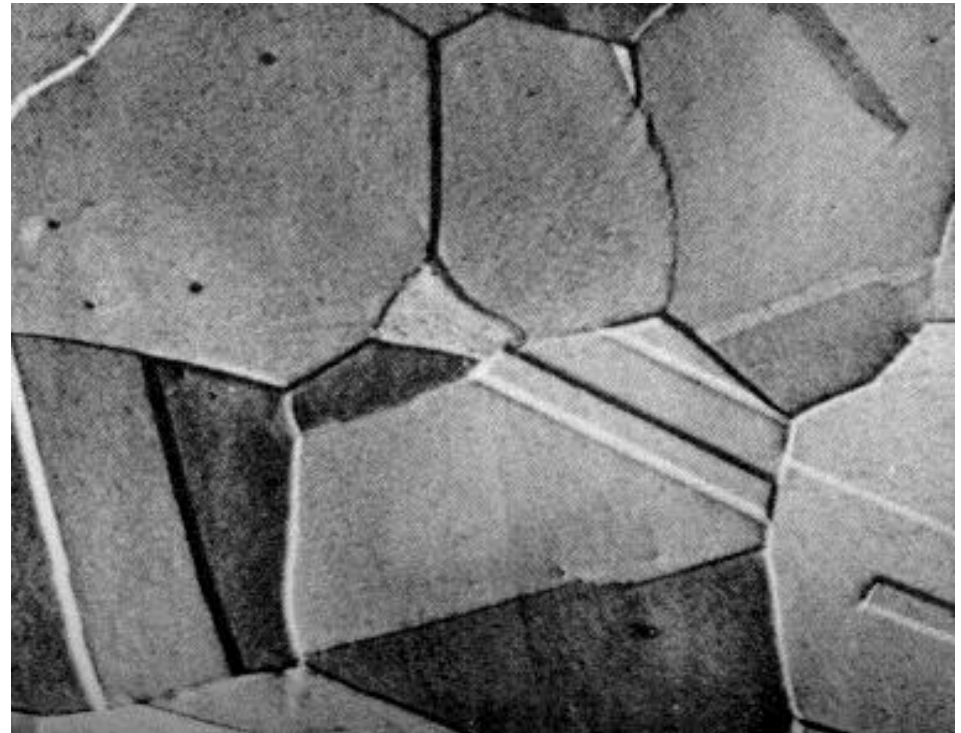


Az AB likvidusz elhanyagolásával egészen 4,3 % C-ig a kristályosodás a **BC likvidusz** és a **JE szolidusz** szerint  $\gamma$  szilárd oldat formájában történik. Ezt a szilárd oldatot **Robert Austenről, ausztenitnek** nevezik.

# Auszténit

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

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

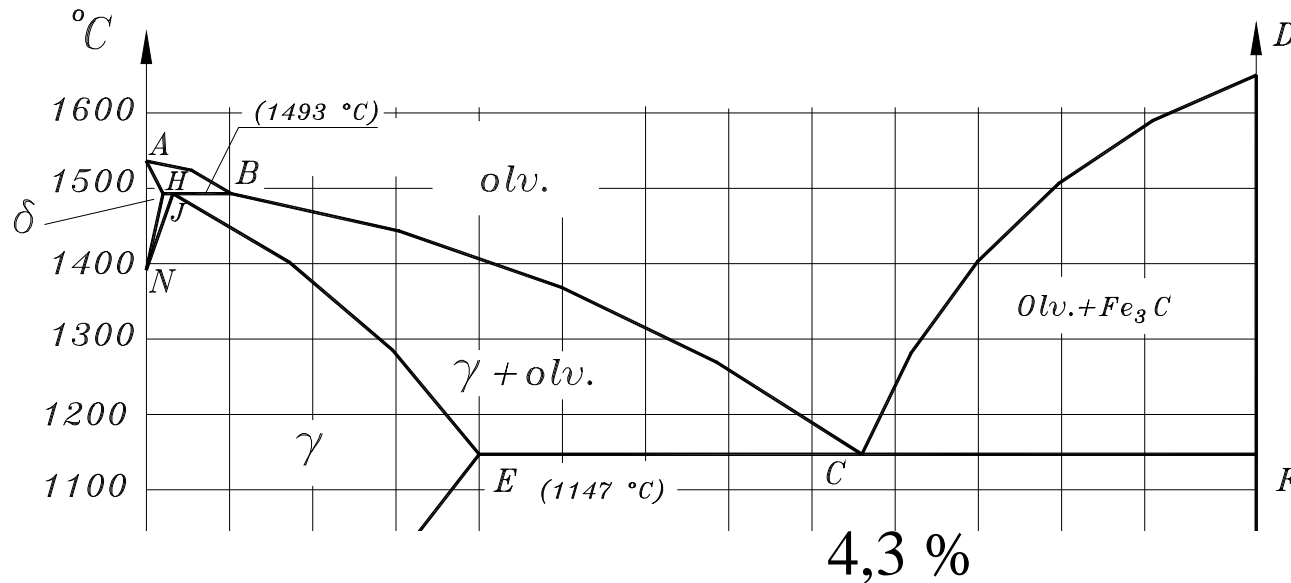


Nem ferromágneses, jól alakítható

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

# Fe-Fe<sub>3</sub>C egyensúlyi diagram

## Kristályosodás az CD likvidusz szerint



A nagy C tartalmú ötvözetek kristályosodása **Fe<sub>3</sub>C** 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-Fe<sub>3</sub>C egyensúlyi diagram

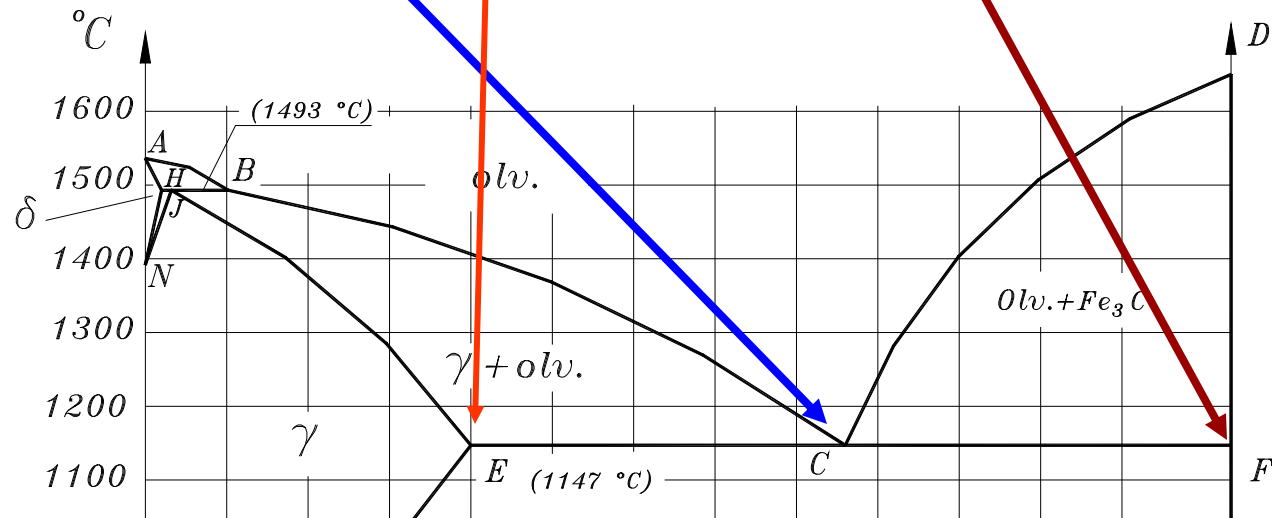
## Eutektikum kristályosodása

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

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



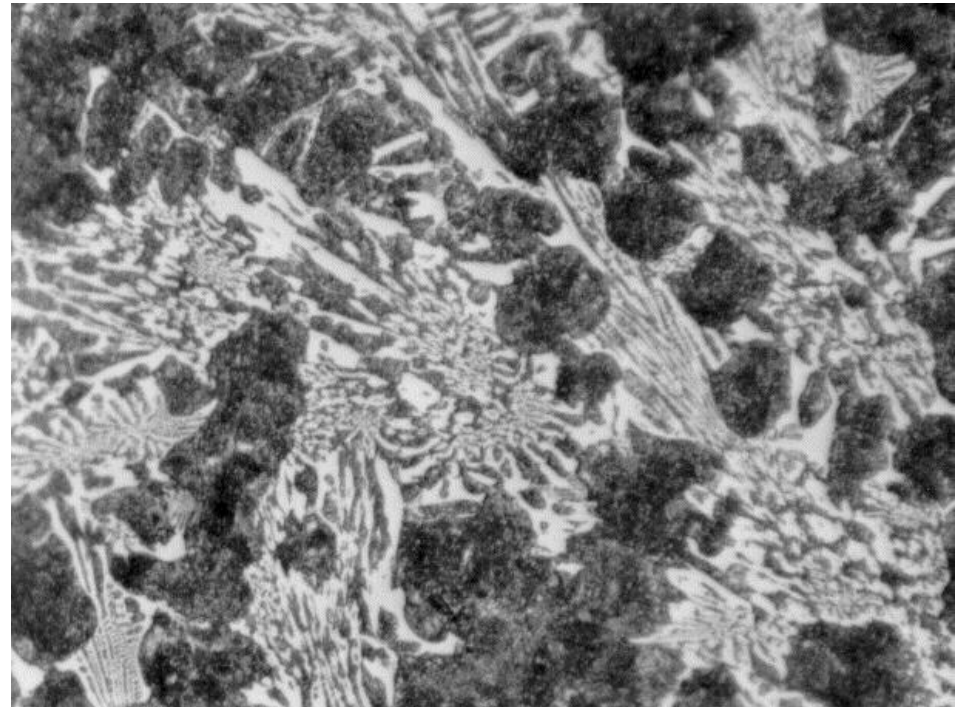
- Az eutektikum neve **Ledebur** angol tudós nyomán **ledeburit**



# Ledeburit

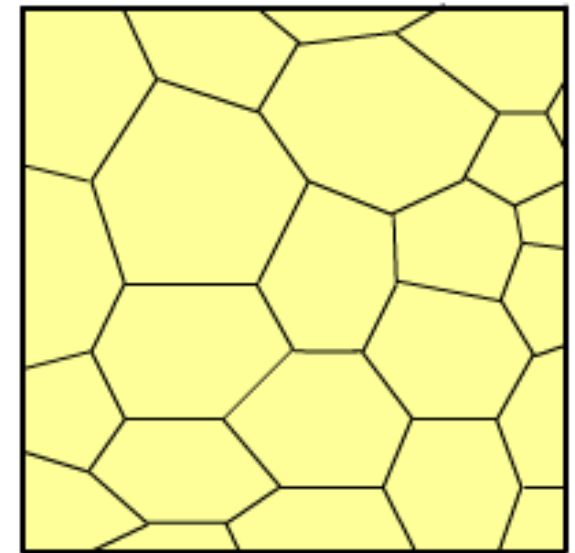
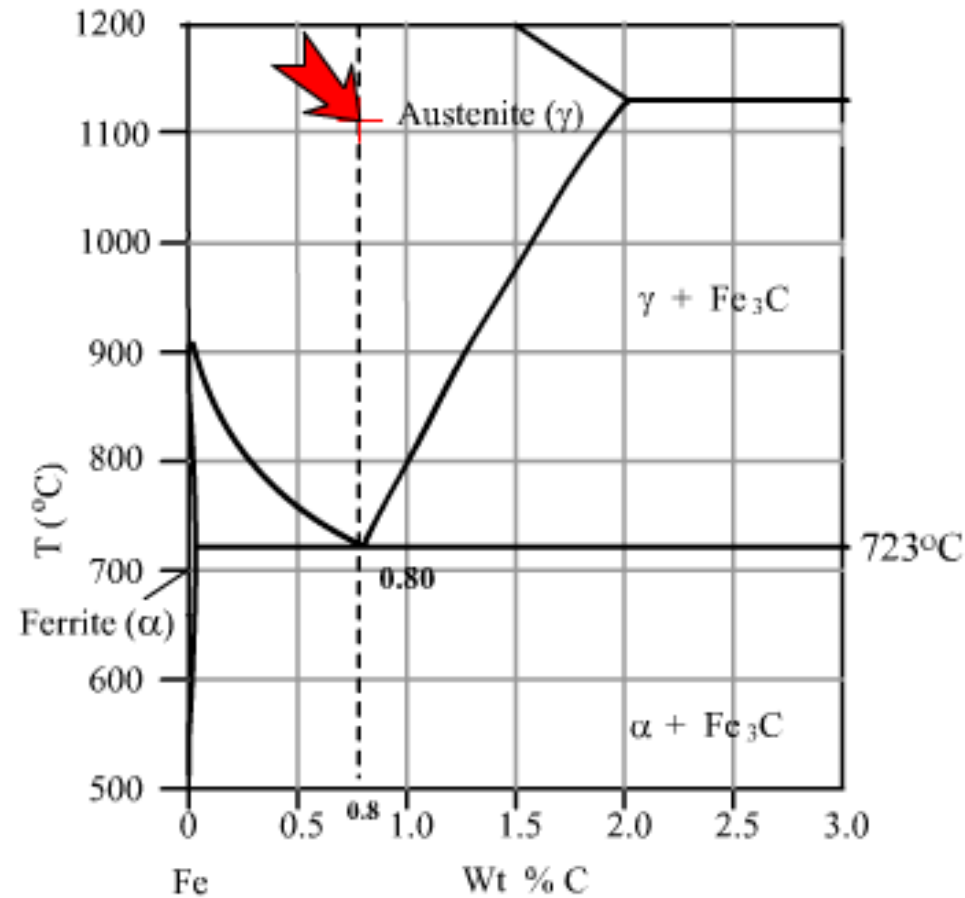
**1147 C°-on képződik  
4,3 %C olvadékból.**

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



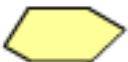
**Fe-Fe<sub>3</sub>C egyensúlyi diagram**  
**Szilárd állapotban végbemenő átalakulások**



# Eutektoidos átalakulás



⬆ BACK TO START

⬇ DECREASE TEMPERATURE

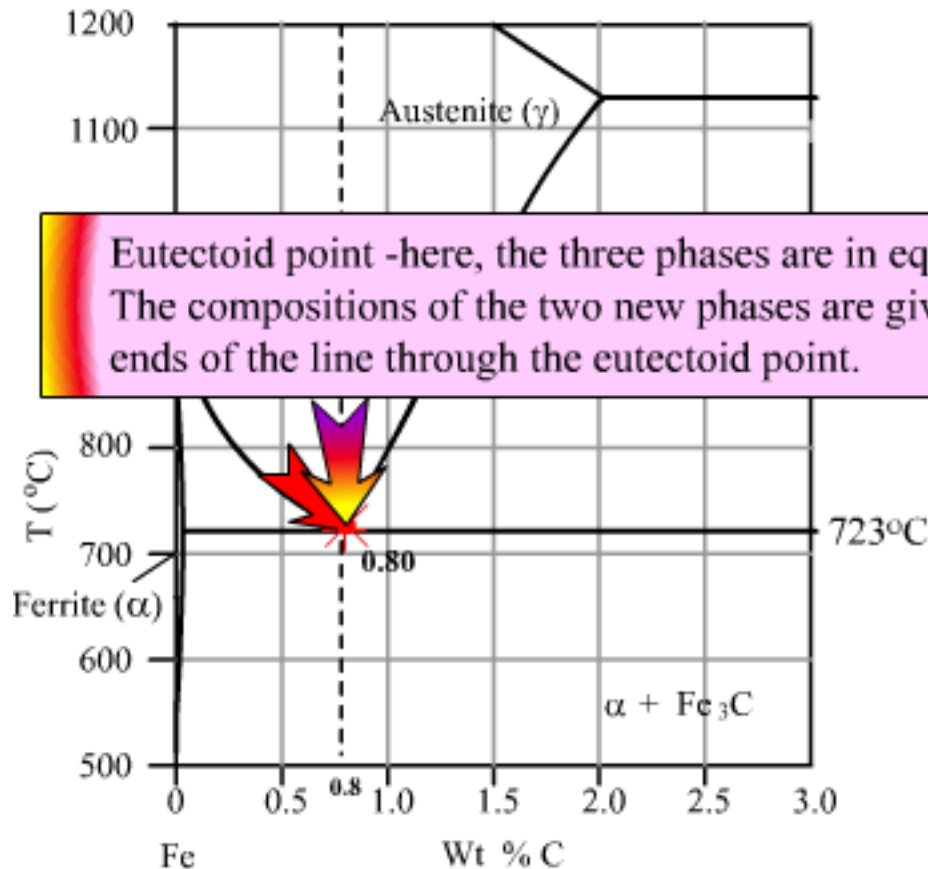
Austenite = 

$\text{Fe}_3\text{C}$  =  Ferrite = 

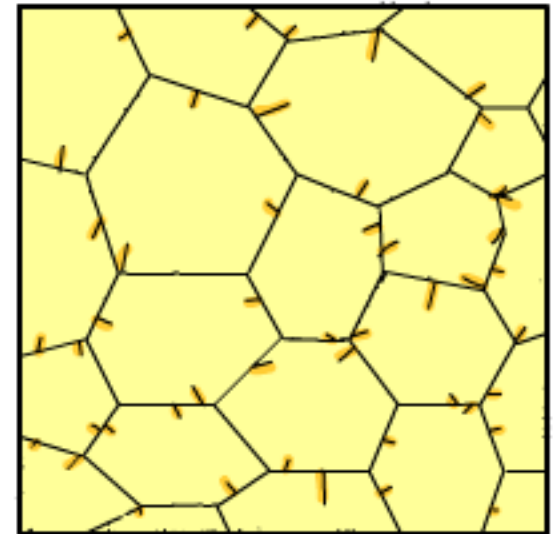
For a plain carbon steel of eutectoid composition (Fe, 0.8 wt% C), then at all temperatures above 723°C, the composition is 100% austenite ( $\gamma$ ).



# Eutektoidos átalakulás

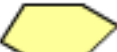




Eutectoid point -here, the three phases are in equilibrium. The compositions of the two new phases are given by the ends of the line through the eutectoid point.



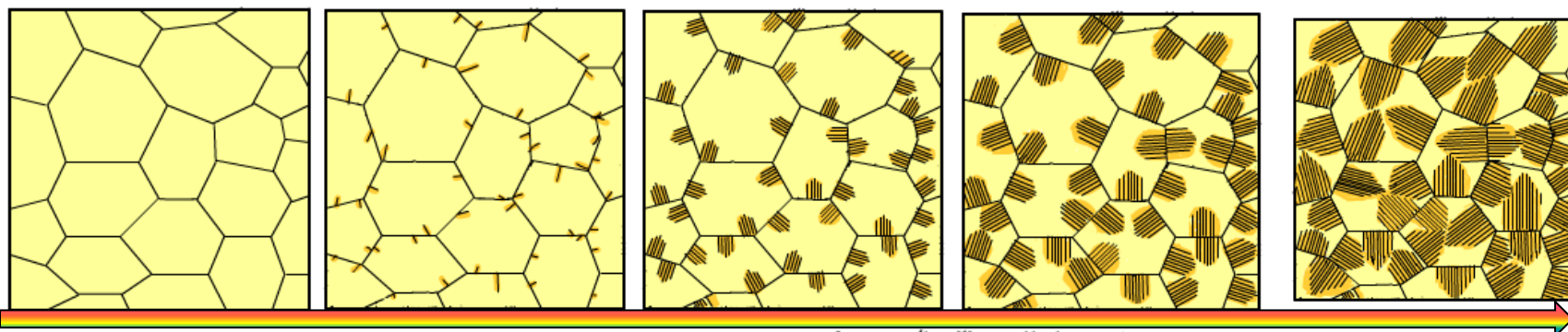
▲ BACK TO START

▼ DECREASE TEMPERATURE

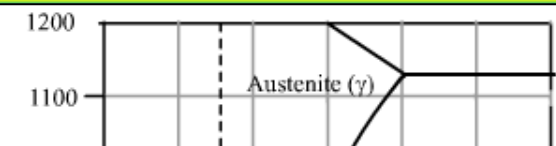
Austenite = 

$\text{Fe}_3\text{C}$  =  Ferrite = 

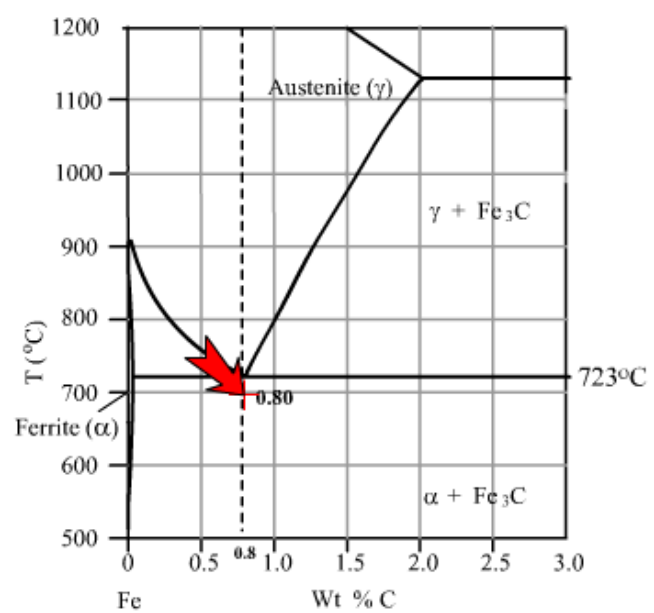
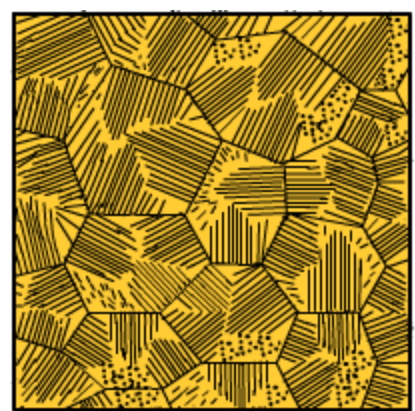
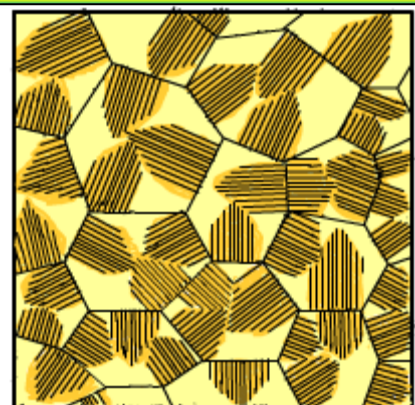
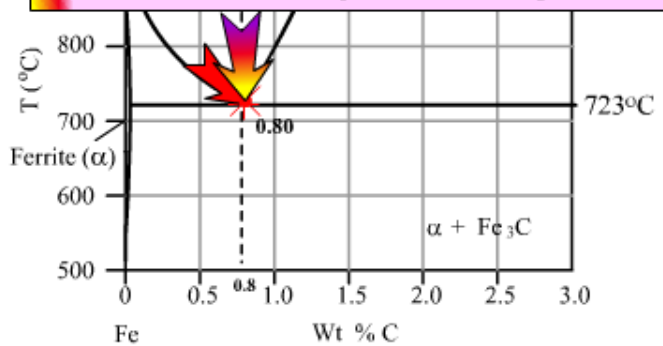
At the eutectoid temperature,  $723^\circ\text{C}$ , there is a plateau in the cooling curve during which time the microstructure transforms to pearlite, which is a two phase microstructure of ferrite (virtually pure Fe) and cementite ( $\text{Fe}_3\text{C}$  with 25 at% C). This transformation occurs by nucleation and growth.



## Eutektoidos átalakulás



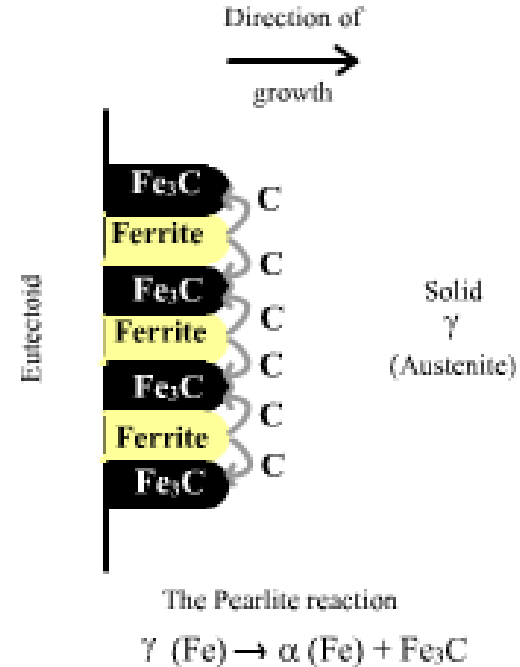
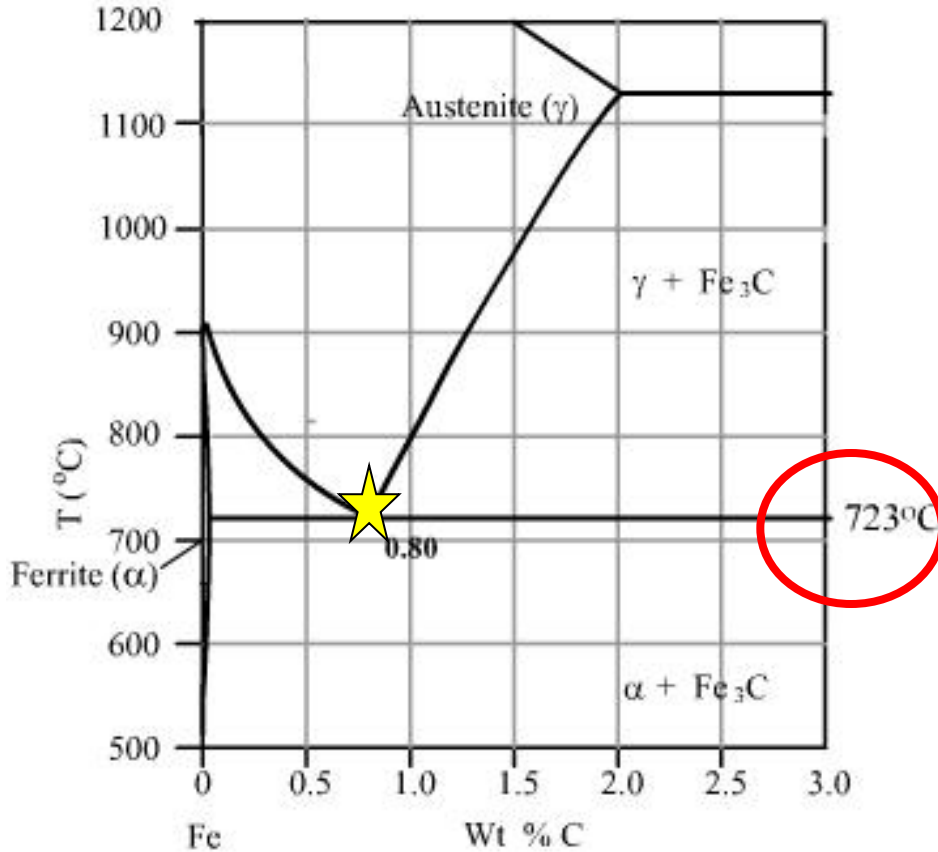
Eutectoid point -here, the three phases are in equilibrium. The compositions of the two new phases are given by the ends of the line through the eutectoid point.



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

# Eutektoidos átalakulás:

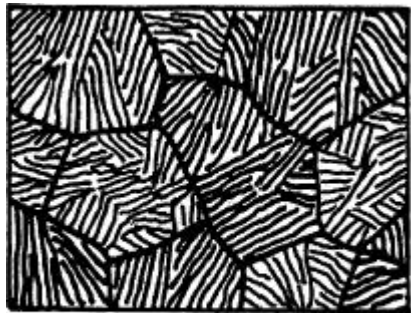
1 szilárd fázisból 2 szilárd fázis keletkezik



Perlit képződési reakció

Két fázis keveréke:

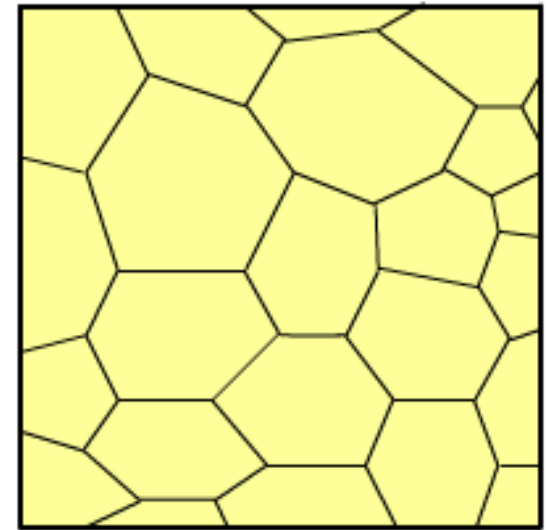
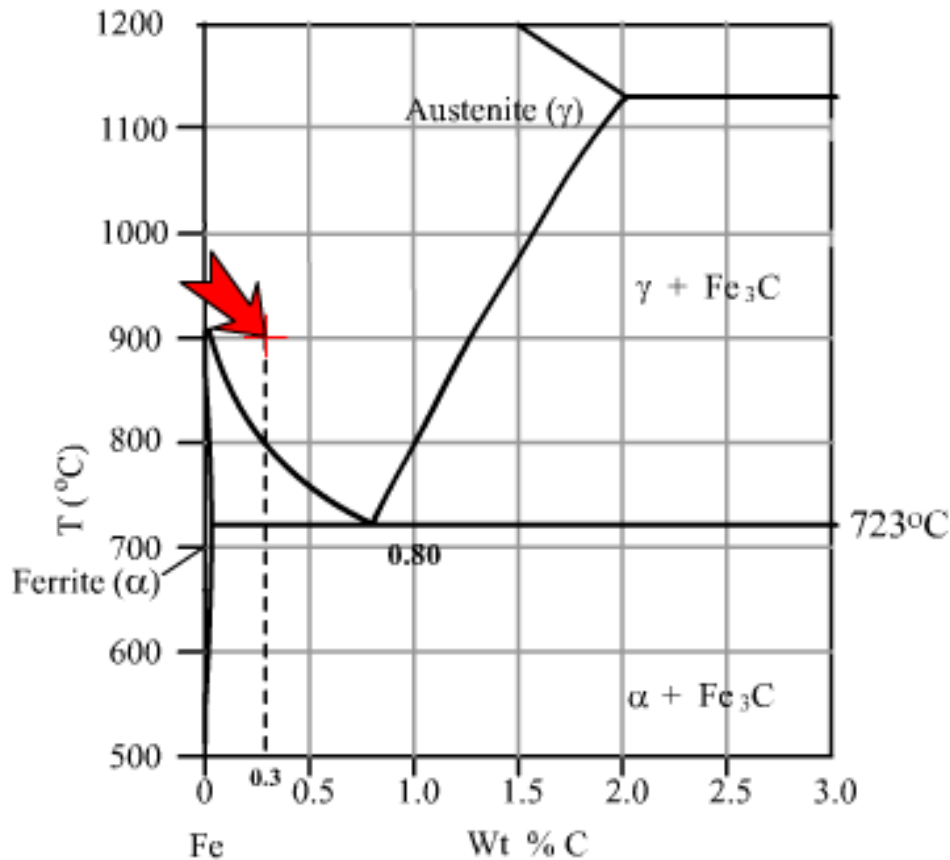
- Ferrit
- cementit



50  $\mu\text{m}$


Pl. Vasúti sín anyaga <sup>27</sup>

# Hipo-Eutektoidos átalakulás



⬆ BACK TO START

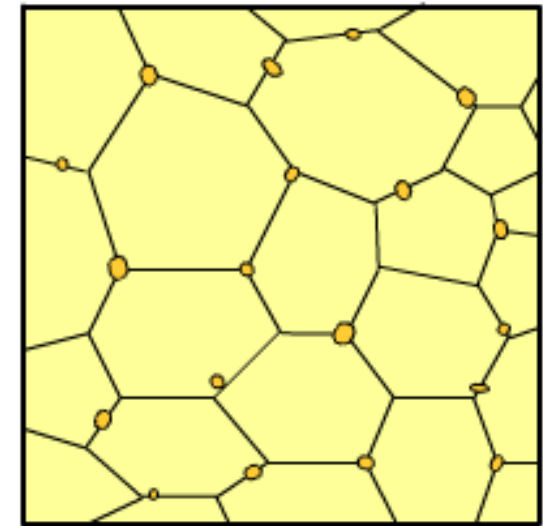
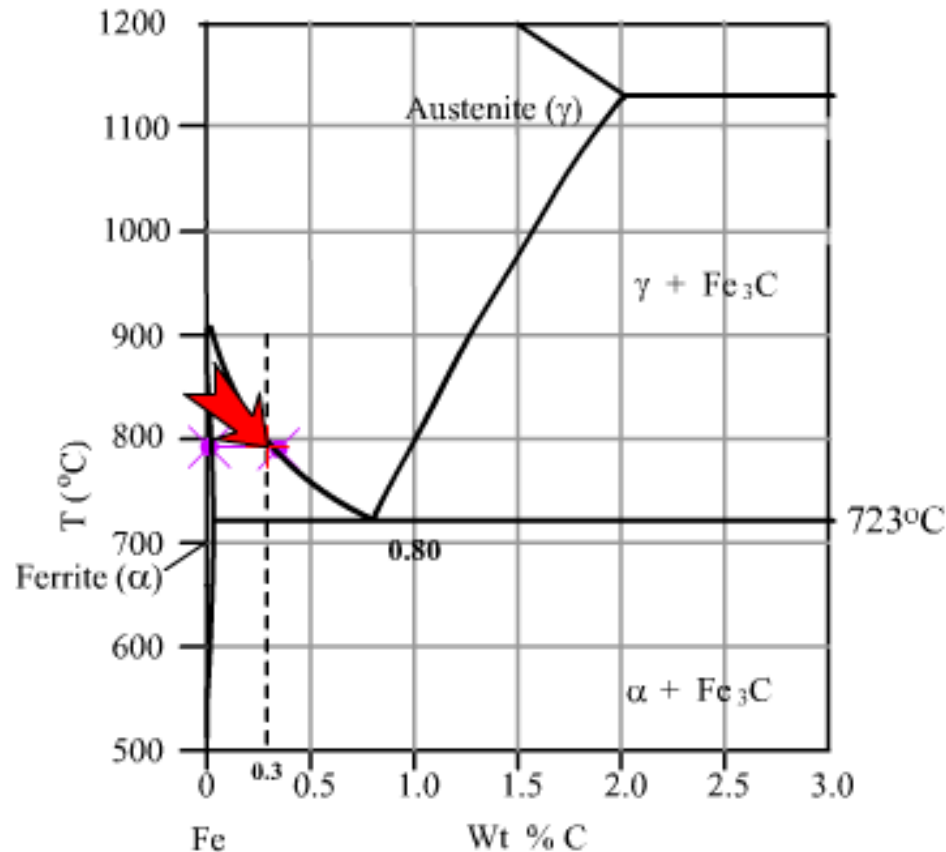
⬇ DECREASE TEMPERATURE

Austenite = 

Fe<sub>3</sub>C =  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

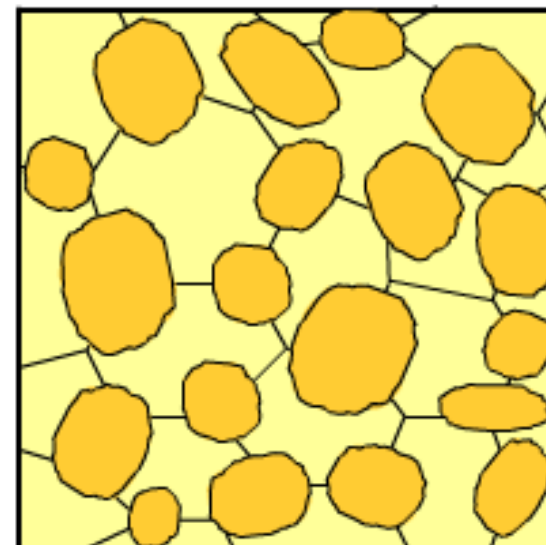
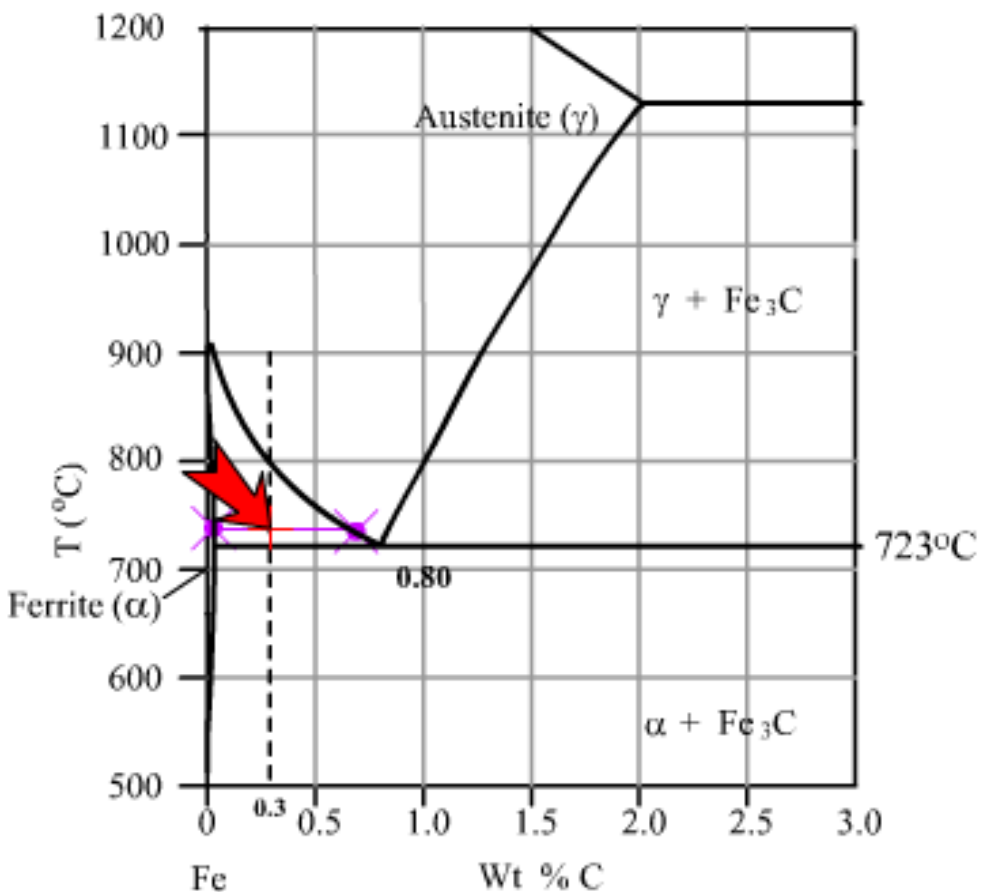
Austenite = 

Fe<sub>3</sub>C =  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.

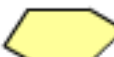
As the carbon is rejected into the remaining austenite, this becomes increasingly carbon rich, so the composition of the austenite moves along the solidus line as indicated until the eutectoid temperature is reached (at 0.8 wt% C).


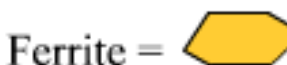
# Hipo-Eutektoidos átalakulás



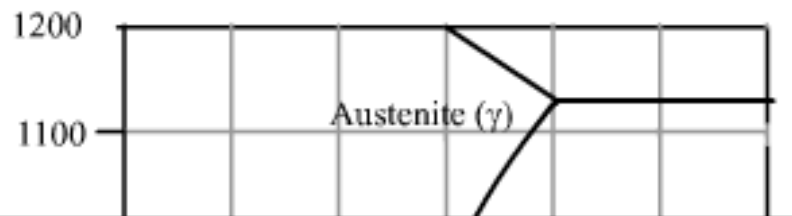
⬆ BACK TO START

⬇ DECREASE TEMPERATURE

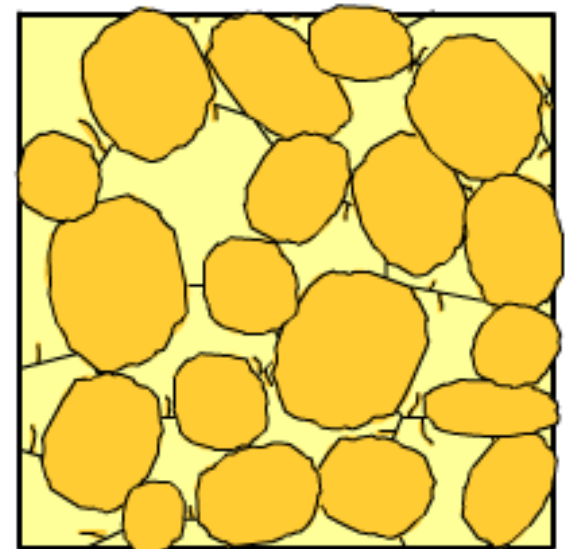
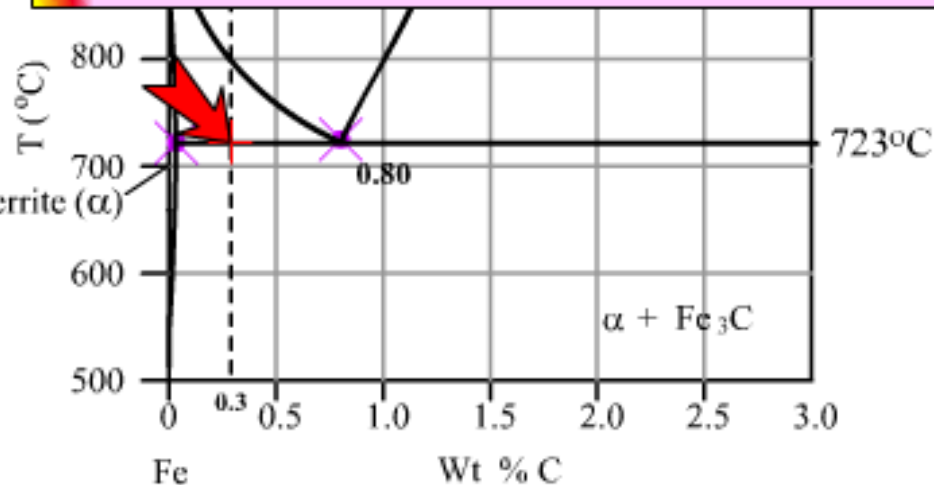
Austenite = 

Fe<sub>3</sub>C =  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

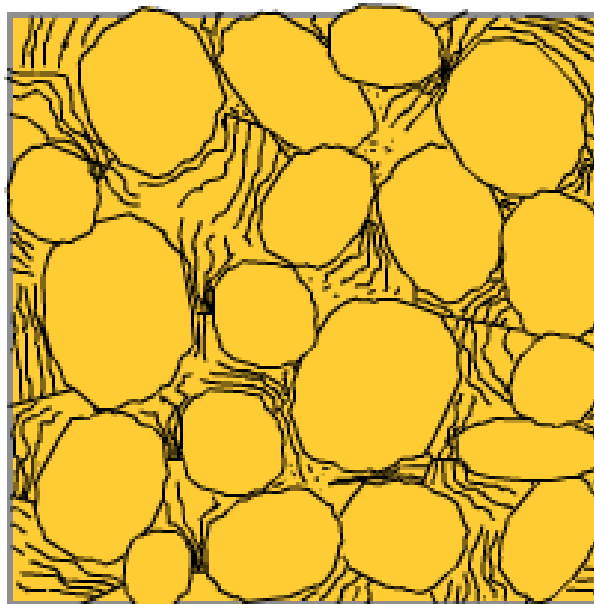
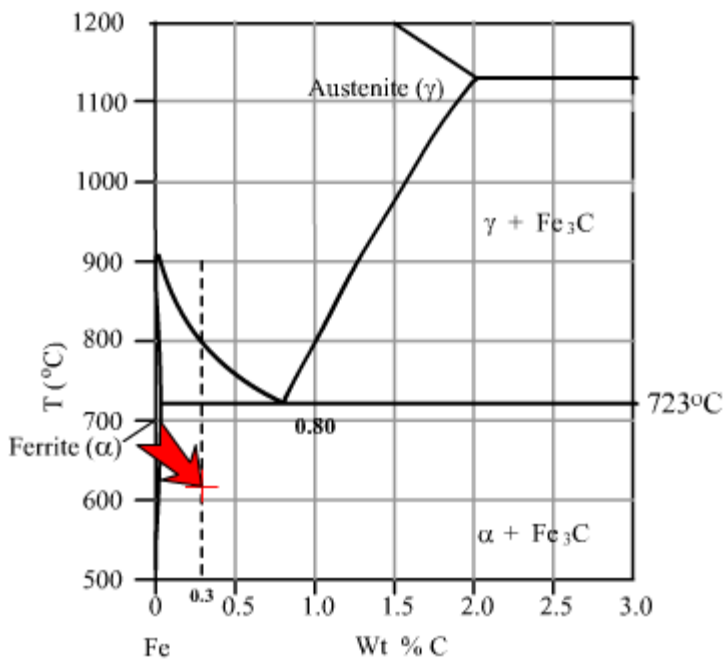
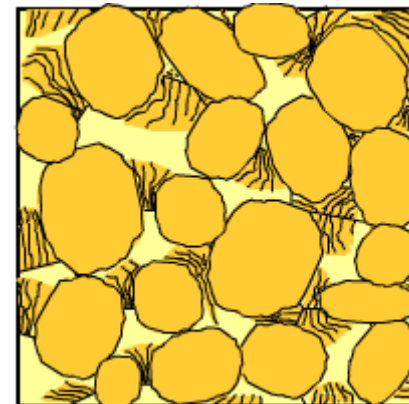
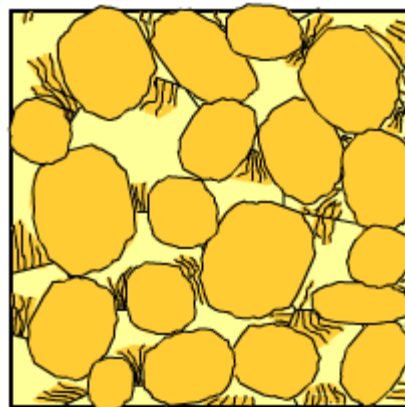
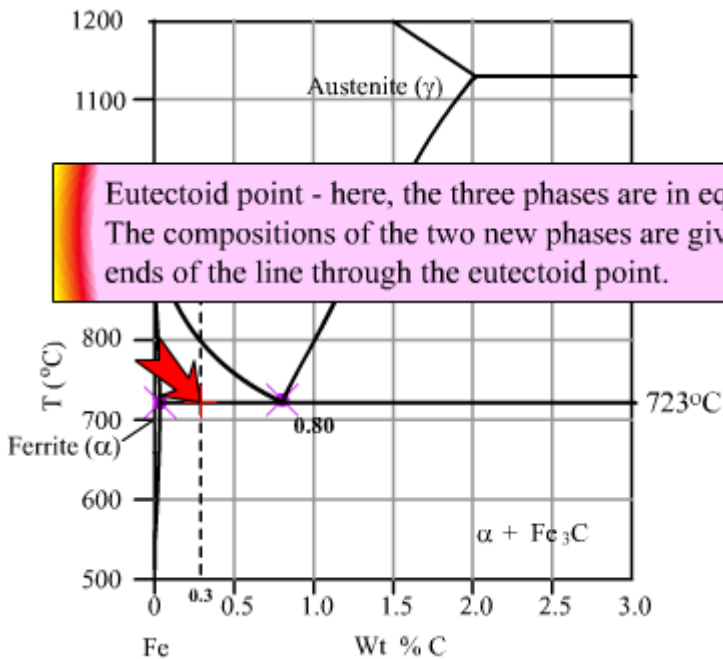
Austenite = 

$\text{Fe}_3\text{C}$  =  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.

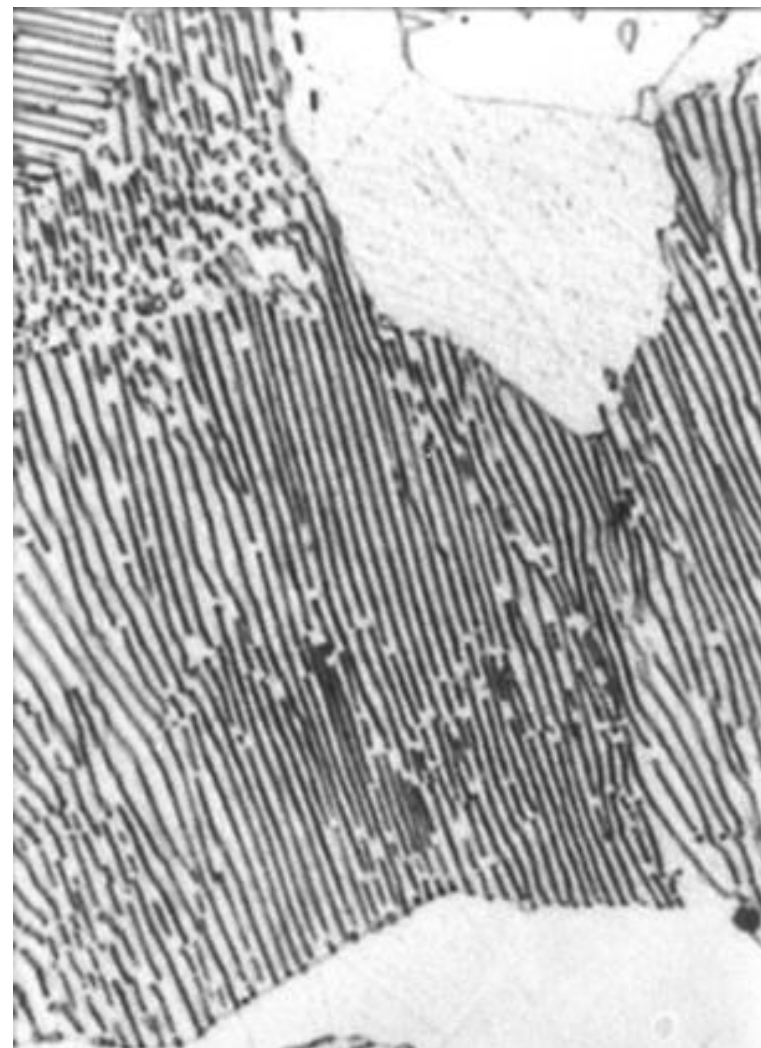
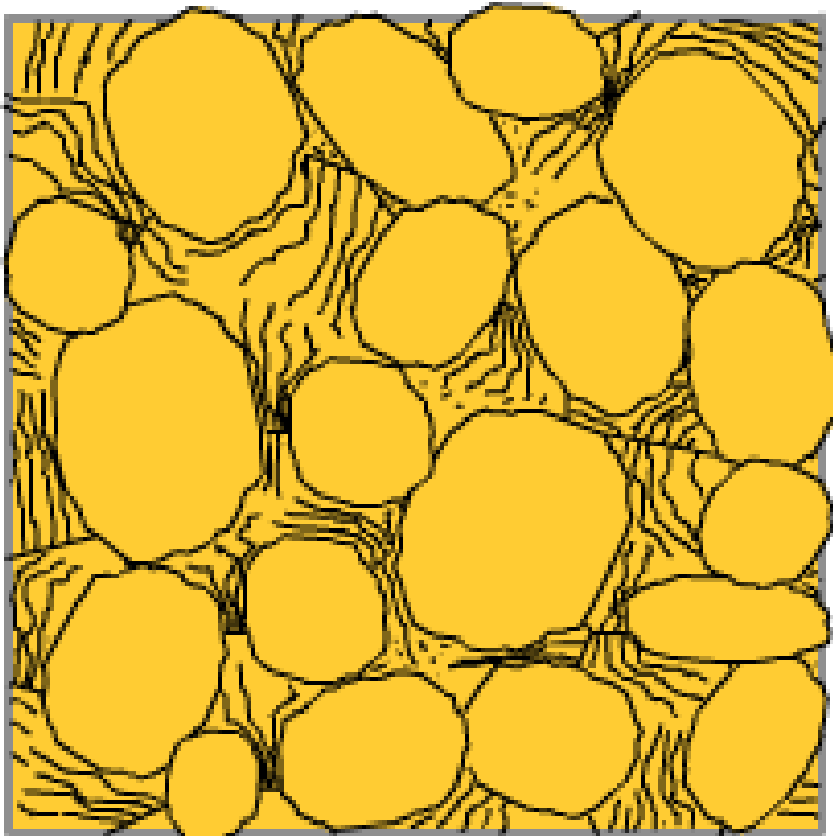
The final microstructure is ferrite grains within a matrix of pearlite. Note that the ferrite within the pearlite is the same stuff as the ferrite forming the whole grains, so there are only 2 phases present.

# Hipo-Eutektoidos átalakulás





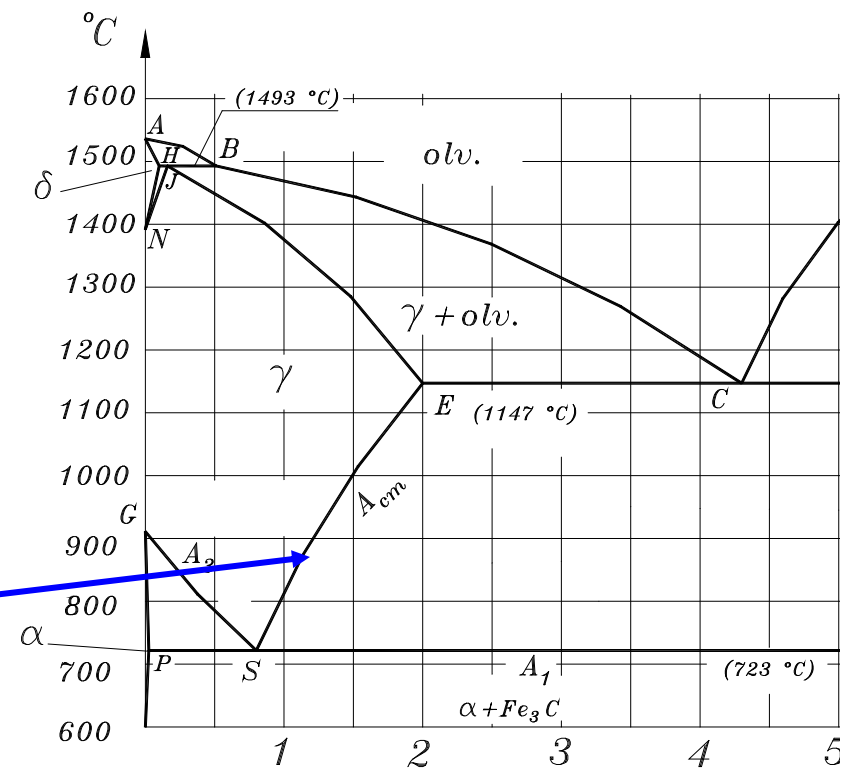
# Hipo-Eutektoidos szerkezet



# Fe-Fe<sub>3</sub>C 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 **Fe<sub>3</sub>C<sub>II</sub>** formájában válik ki.



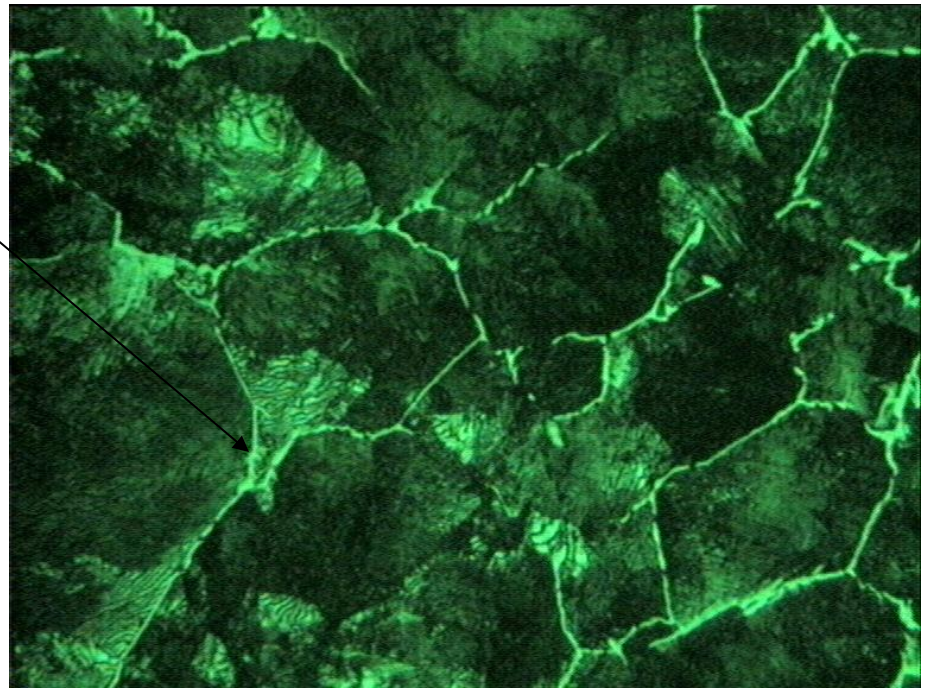
Szövetdiagram 20°

# Fe-Fe<sub>3</sub>C egyensúlyi diagram

## Szilárd állapotban végbemenő átalakulások

### Szekunder cementit

Szegregáció, kiválás a  
krisztallithatók mentén

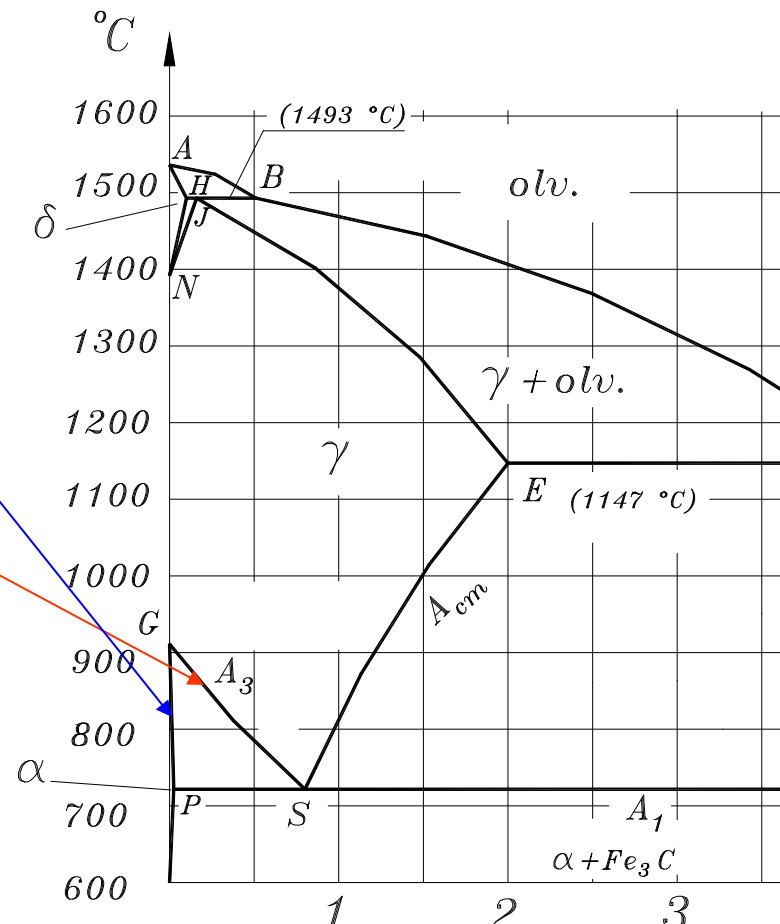


# Fe-Fe<sub>3</sub>C egyensúlyi diagram

## Szilárd állapotban végbemenő átalakulások

### Allotróp átalakulás

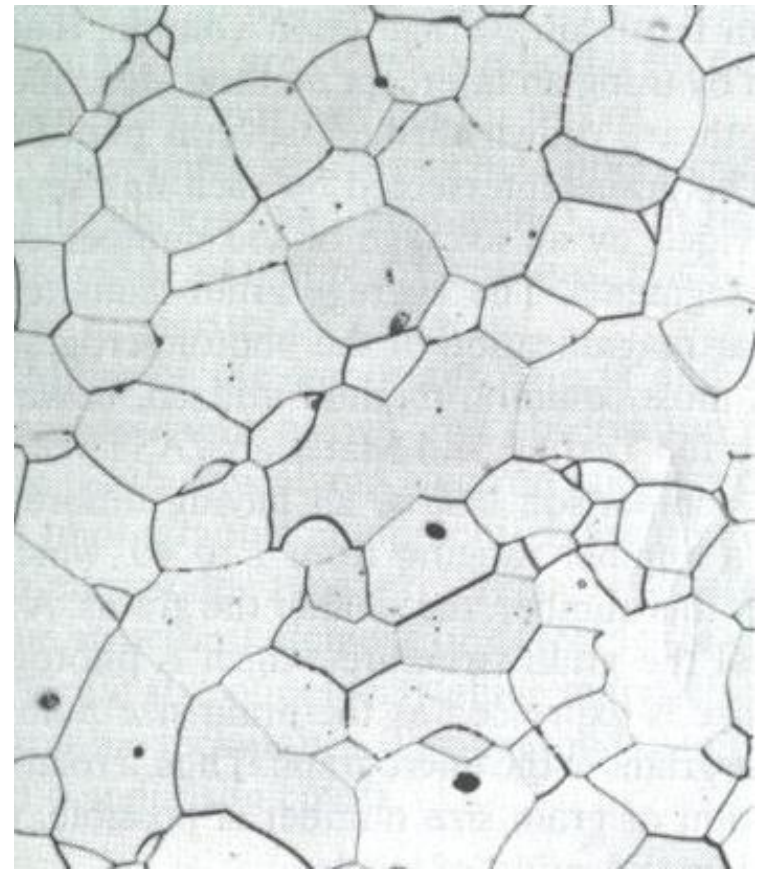
a lapközepes köbös  $\gamma$  ausztenit  
a szén vas  $A_3$  pontjából  
kiinduló **GS** kezdő és **GP**  
befejező görbék által  
meghatározott hőmérséklet  
közben térközepes köbös  $\alpha$   
szilárdoldattá, szövetelemi  
nevén **ferrit** alakul



# Fe-Fe<sub>3</sub>C egyensúlyi diagram

## Szilárd állapotban végbemenő átalakulások

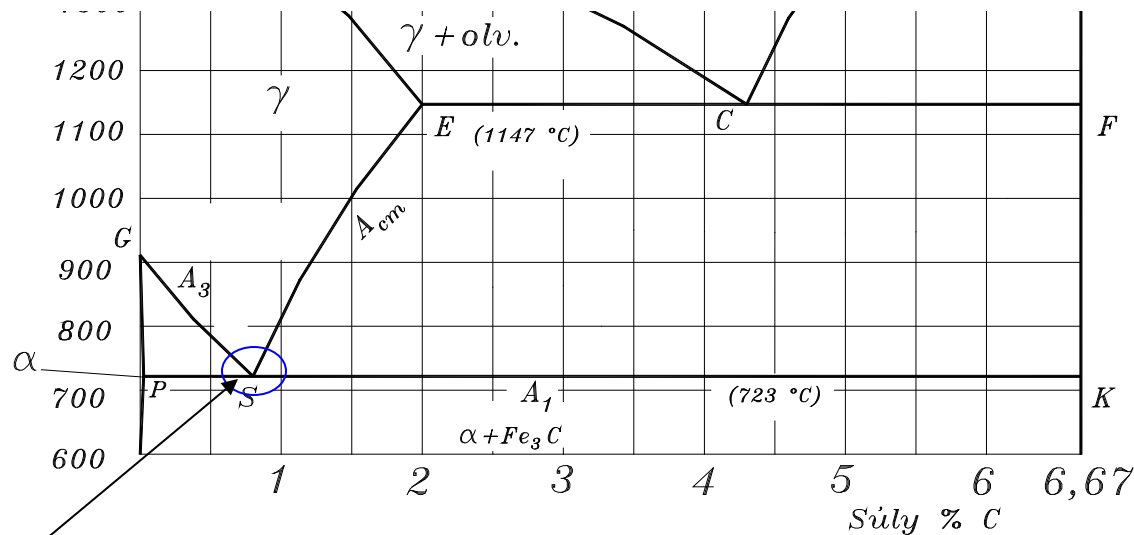
**A ferrit  $\alpha$  szilárd oldat,**  
**térközepes köbös rácsú**  
 $\alpha$ -Fe-ban intersztíciósan oldott  
C.  
Maximális C oldóképessége 723  
C°-on 0,025 % (P pont)  
minimális szobahőmérsékleten  
0,006 % (Q pont)  
Leglággyabb szövetelem, hidegen is  
jól alakítható, nyújtható.  
(Pl. mélyhúzó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



# Fe-Fe<sub>3</sub>C egyensúlyi diagram

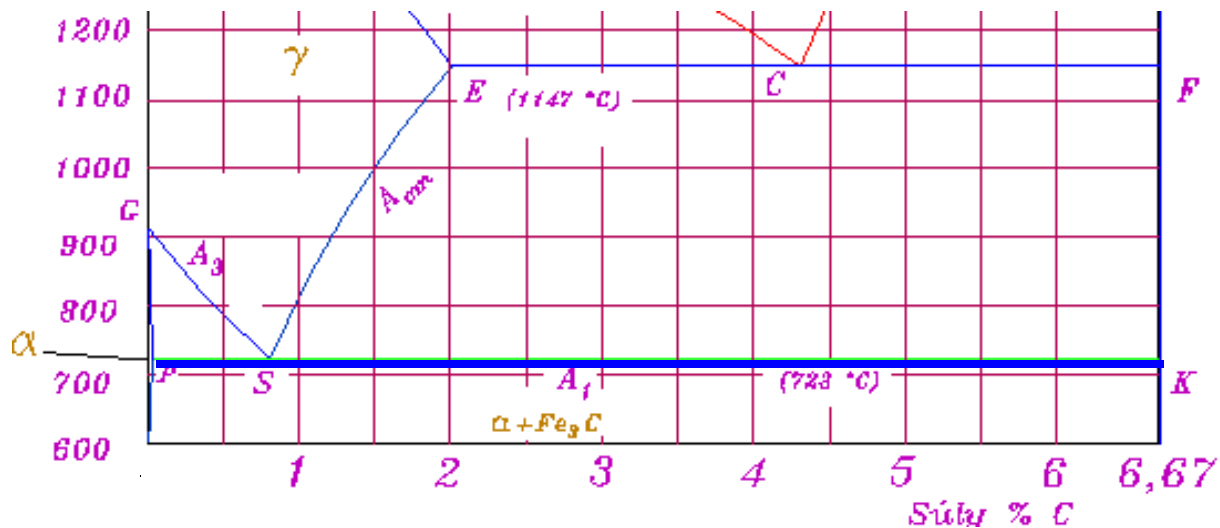
## Szilárd állapotban végbemenő átalakulások

### 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  $\gamma$** , a keletkező **t.k.k. rácsú  $\alpha$**  és a **Fe<sub>3</sub>C**.  $F = 3$  esetén  $Sz = 0$ , tehát a folyamatnak **állandó hőmérsékleten** kell lejátszódnia.

# Eutektoidos folyamat

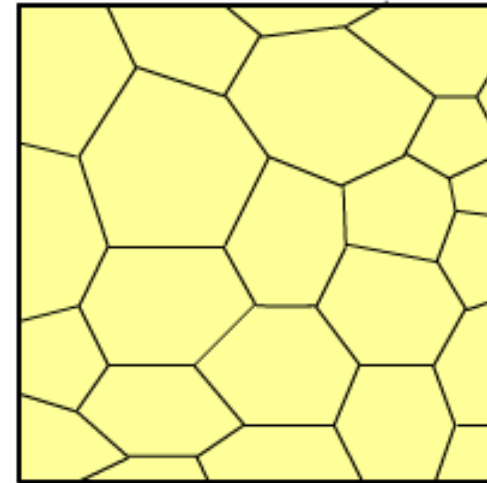
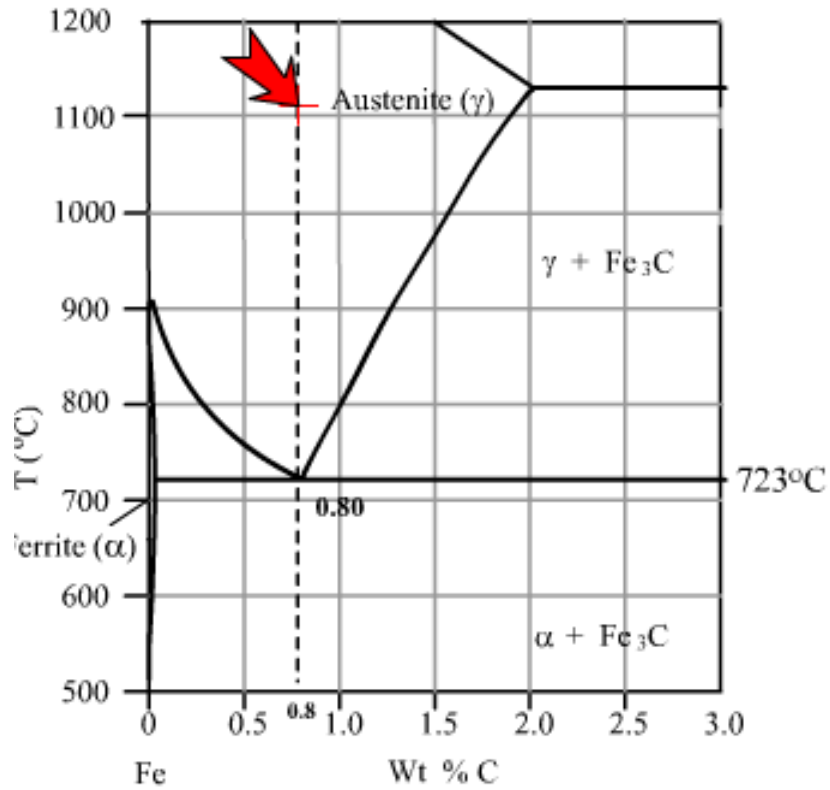


**Az eutektoidos folyamat 723 C °-on a PSK vonalon játszódik le az alábbi módon:**




**A keletkező kétfázisú szövetelemet, eutektoidot perlitnek nevezzük.**



# Eutektoidos folyamat



▲ BACK TO START

▼ DECREASE TEMPERATURE

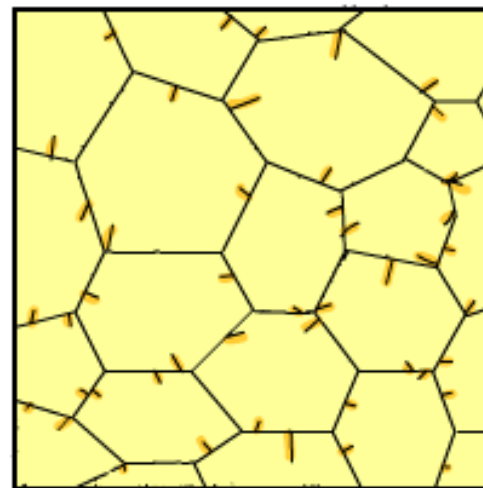
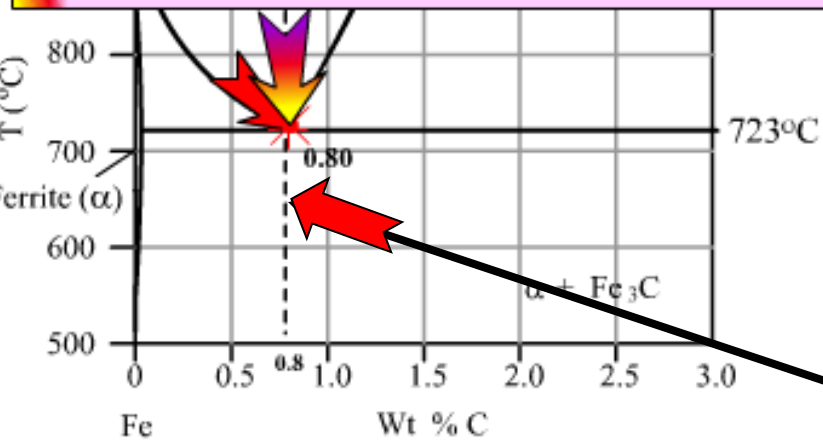
Austenite = 

$\text{Fe}_3\text{C}$  =  Ferrite = 








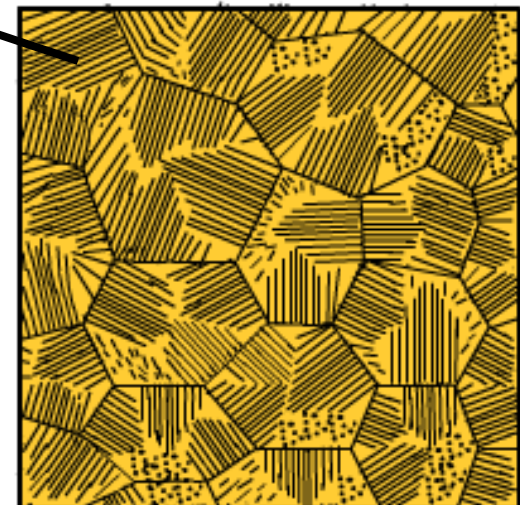
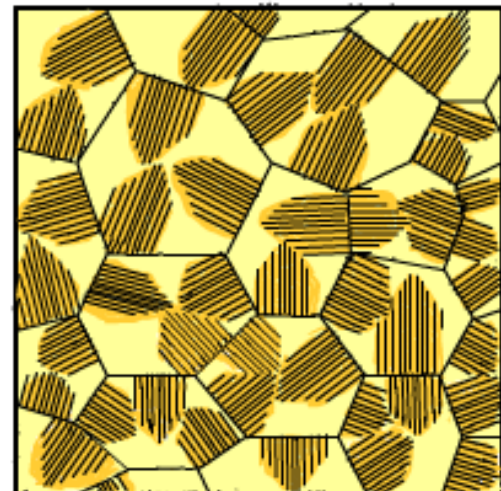
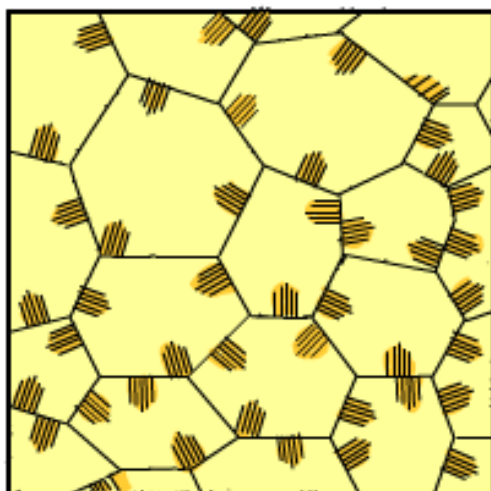
Eutectoid point - here, the three phases are in equilibrium. The compositions of the two new phases are given by the ends of the line through the eutectoid point.



-  BACK TO START
-  DECREASE TEMPERATURE

Austenite = 

$Fe_3C$  =  Ferrite = 



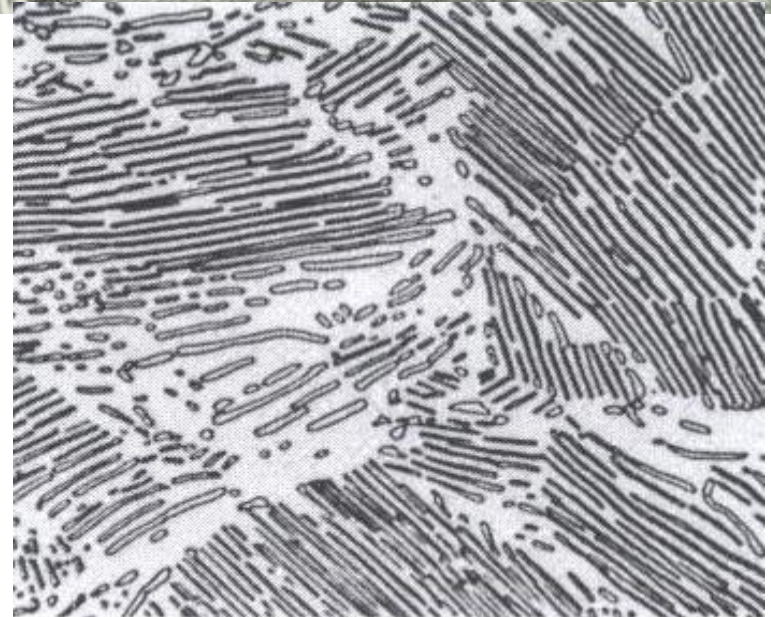
# Perlit

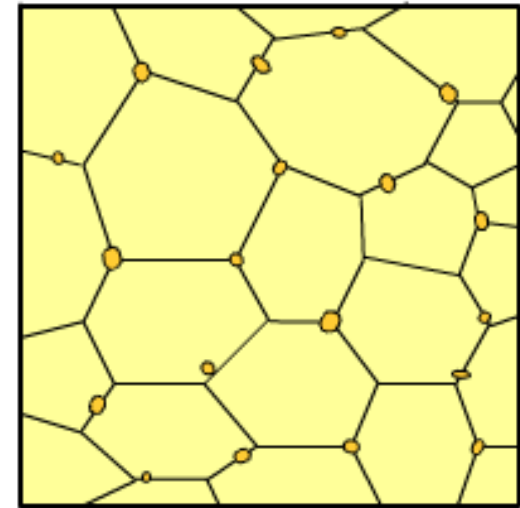
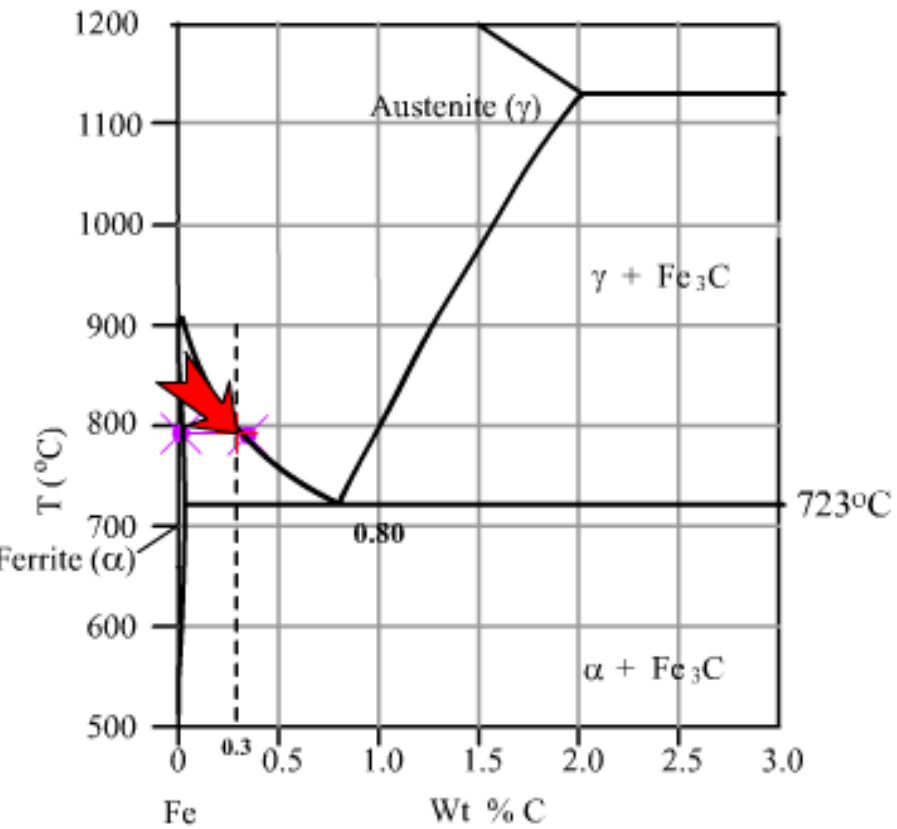
A keletkező perlit kétfázisú szövetelem, eutektoid

723 C°-on képződik



A maratott csiszolat gyöngyházfénnel csillog - PEARL



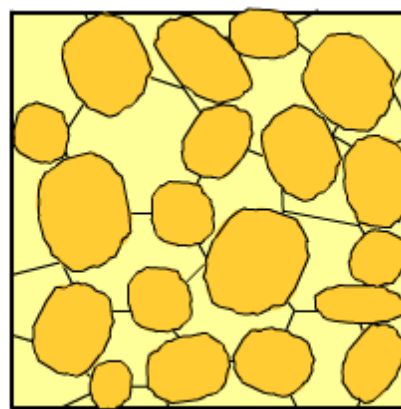
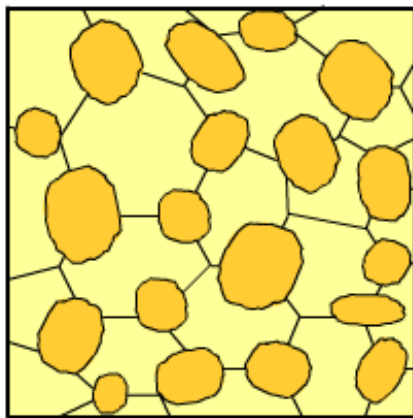


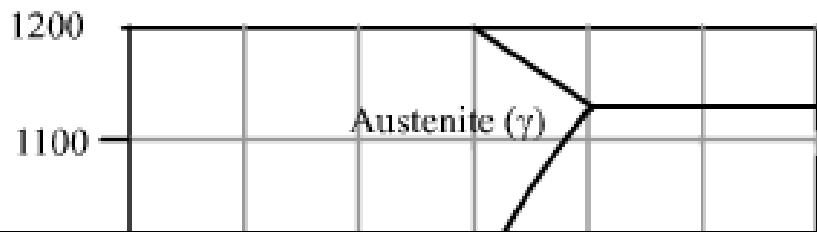
BACK TO START

DECREASE TEMPERATURE

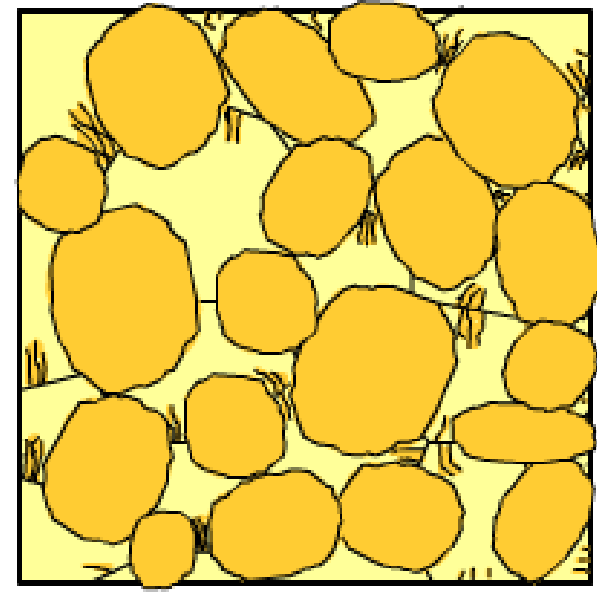
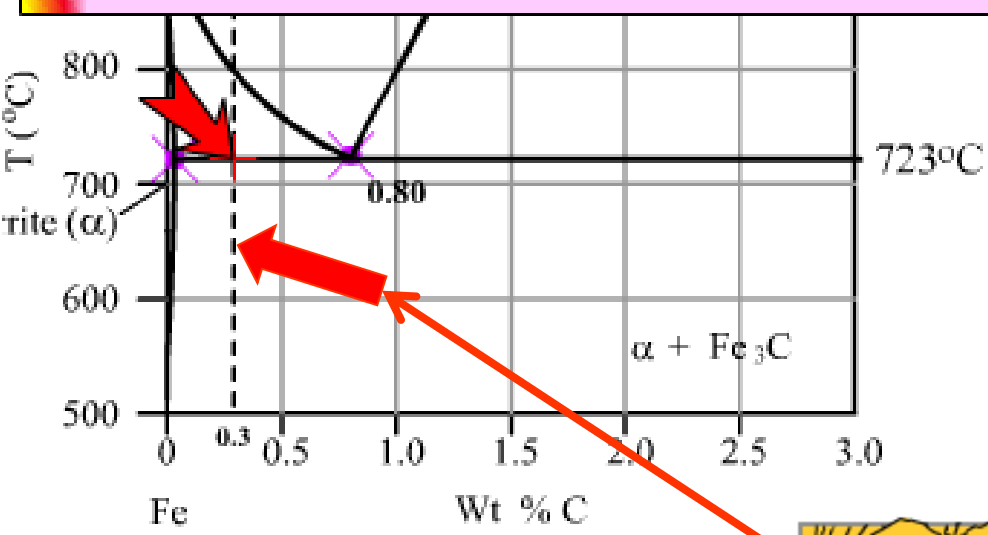
Austenite =



$\text{Fe}_3\text{C}$  = Ferrite =






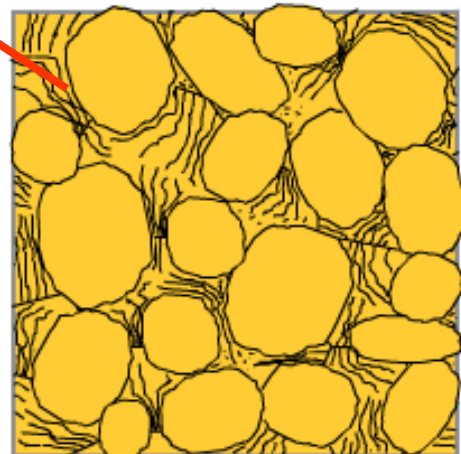
Eutectoid point - here, the three phases are in equilibrium. The compositions of the two new phases are given by the ends of the line through the eutectoid point.



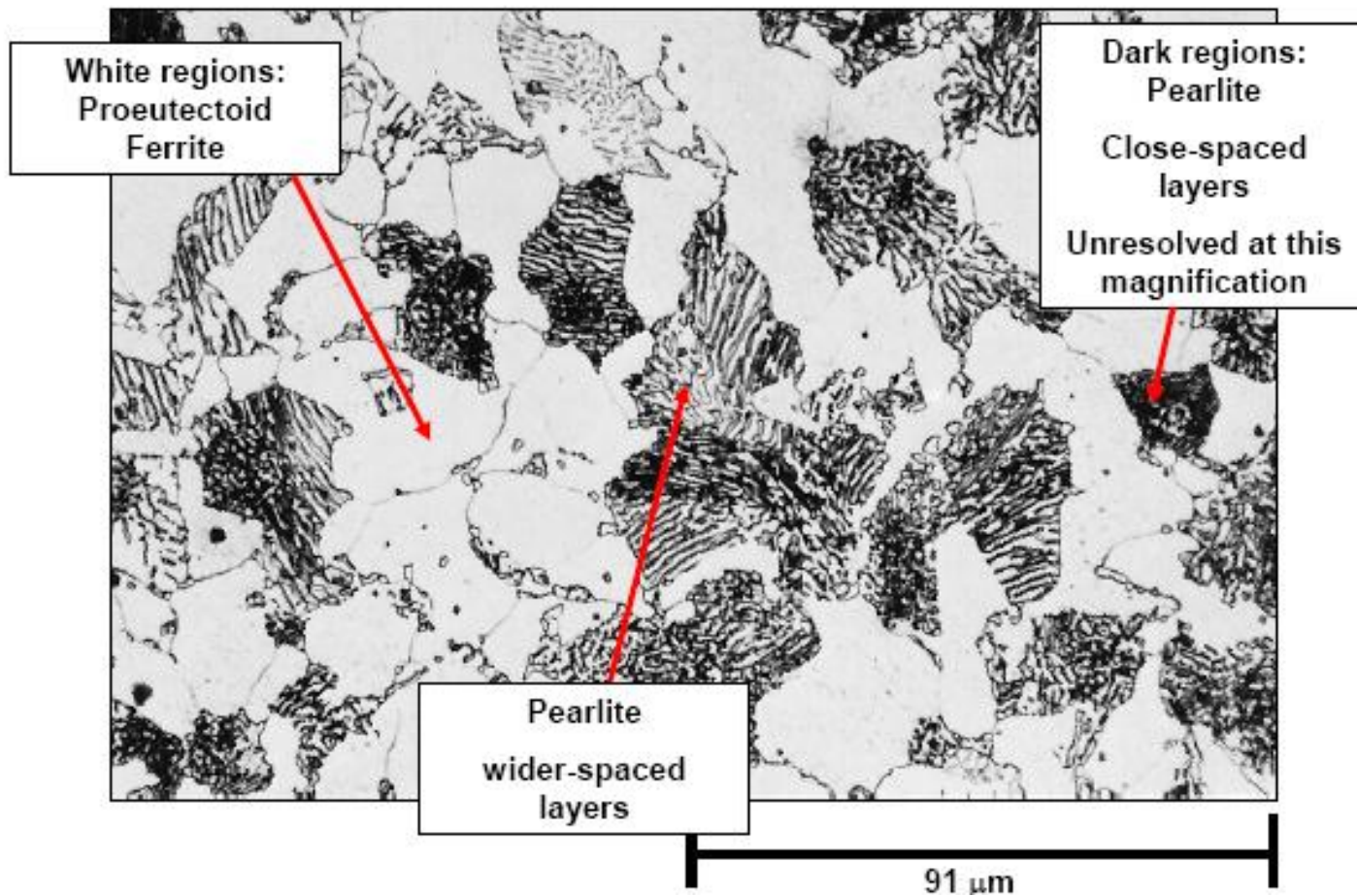
-  BACK TO START
-  DECREASE TEMPERATURE

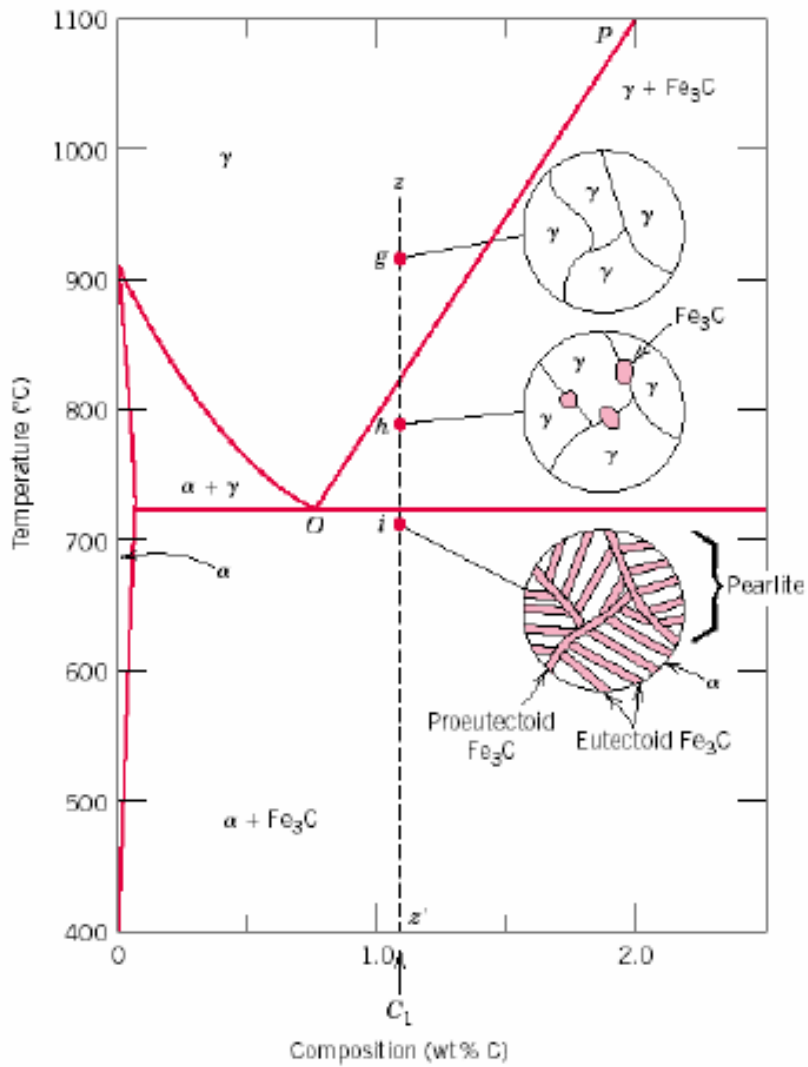
Austenite = 

$Fe_3C$  =  Ferrite = 

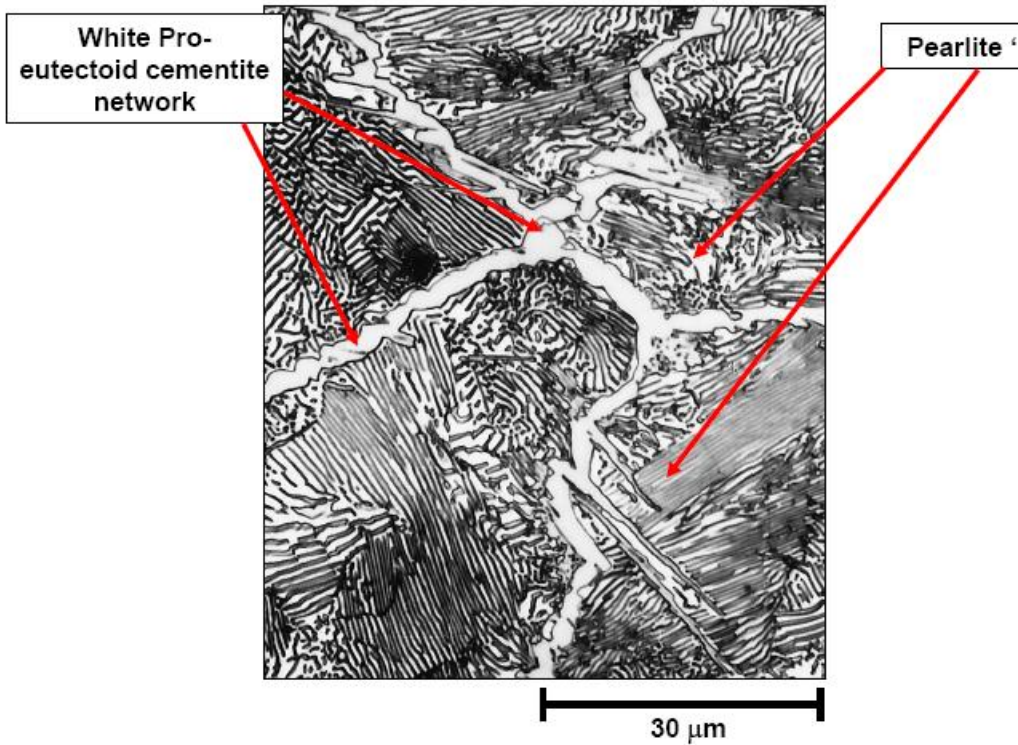


## Hypo-eutectoid Composition (0.38 wt% C)





## Hyper-eutectoid Composition (1.40 wt% C)

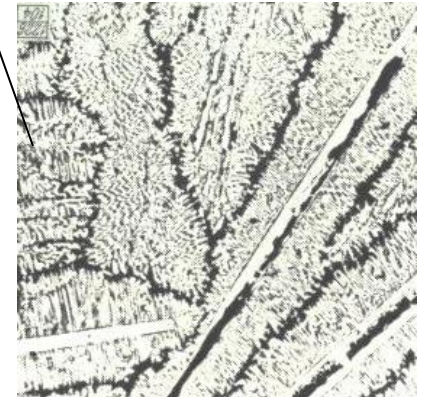
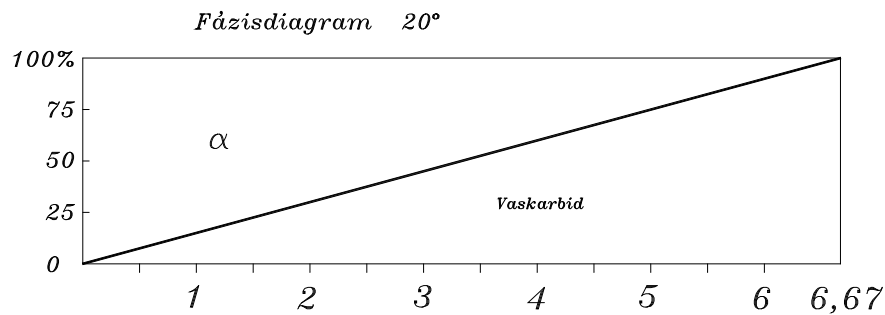
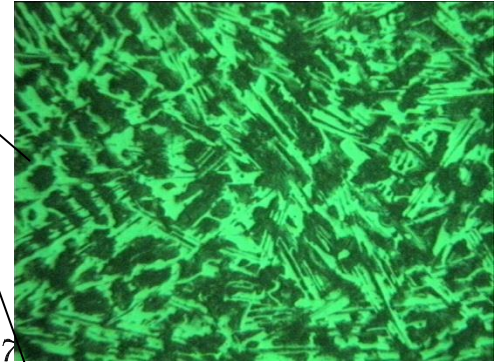
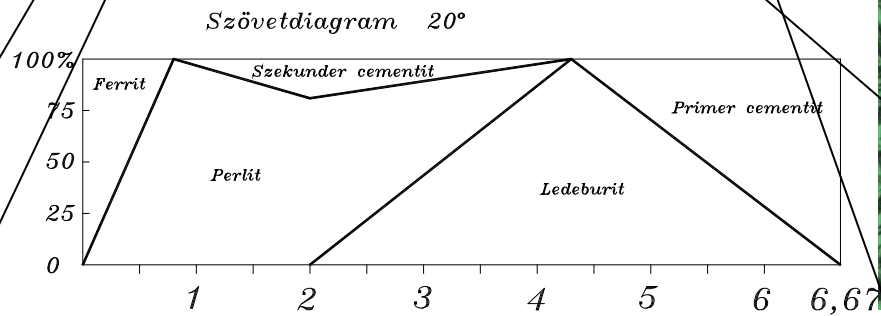
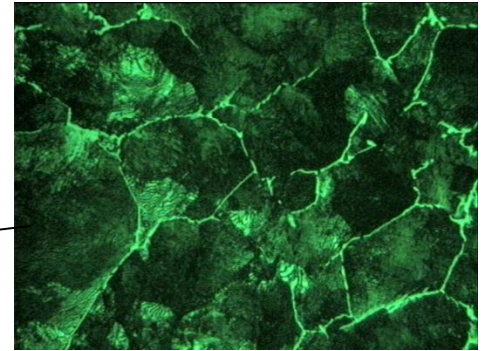
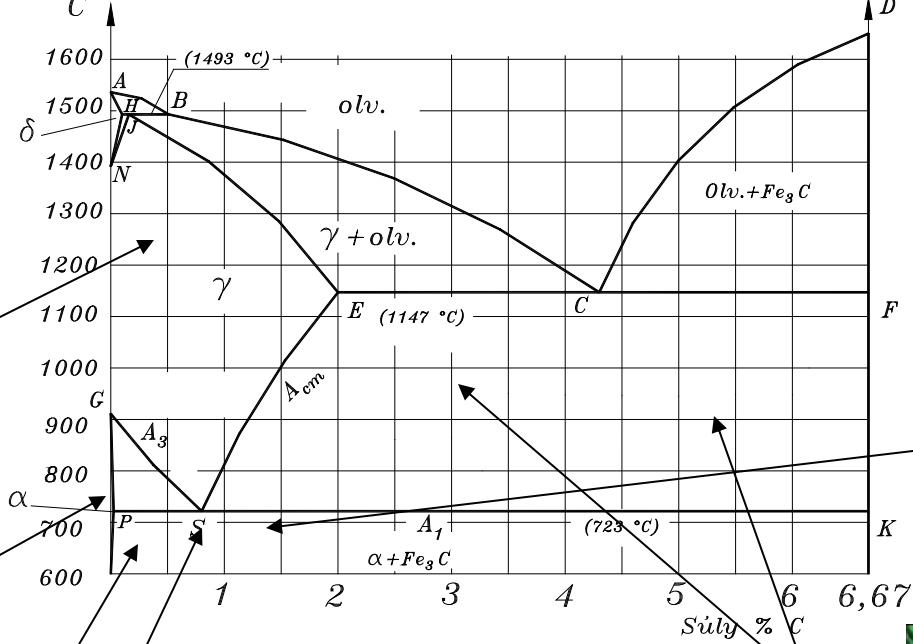
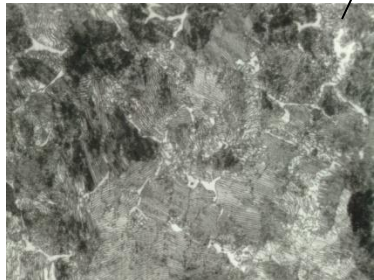
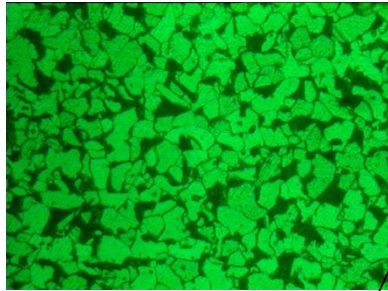
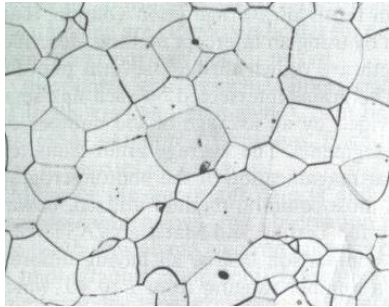
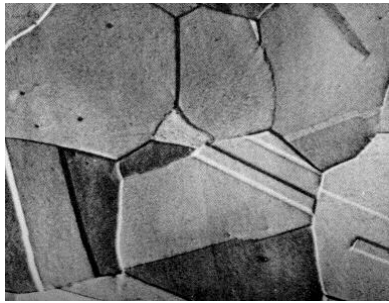


# A vasötvözeteket a diagram alapján csoportosíthatjuk

**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**

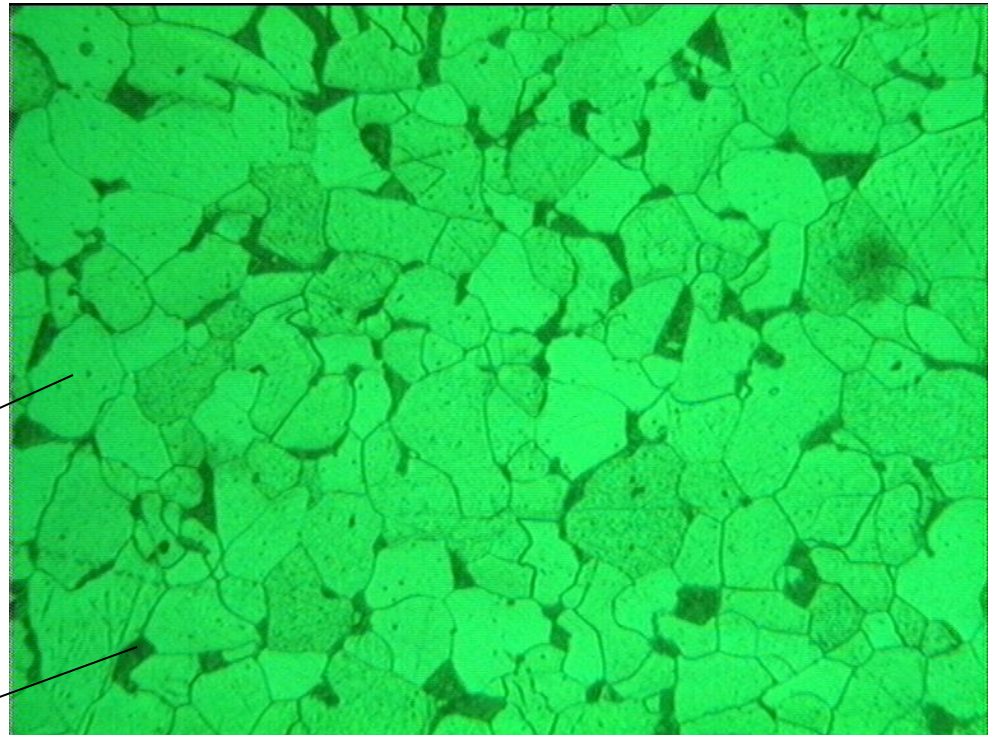
**N 200x**

**Marószer: nitál**

(alkoholos salétromsav)

ferrit

perlit



Lágy, szívós, jól alakítható, kis mértékben terhelhető

# A C tartalom hatása

**0,25 % C**

**Szövetszerkezet:**

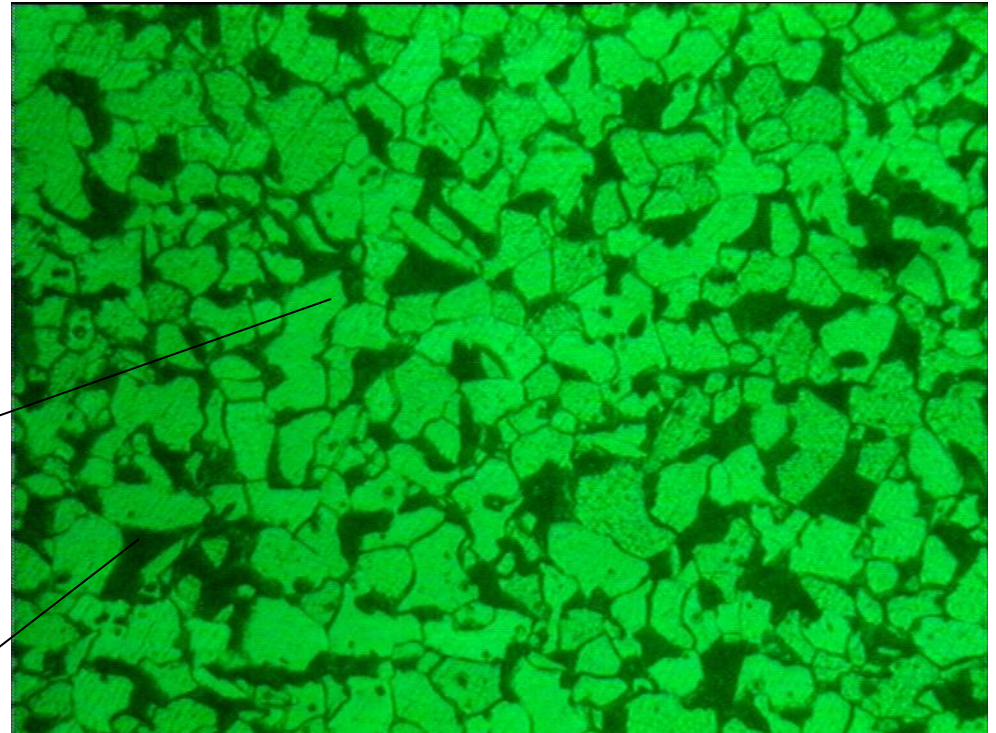
**ferrit + perlit**

**N 200x**

**Marószer: nitál**

ferrit

perlit



Keménység nő, terhelhetőség nő,  
alakíthatóság csökken

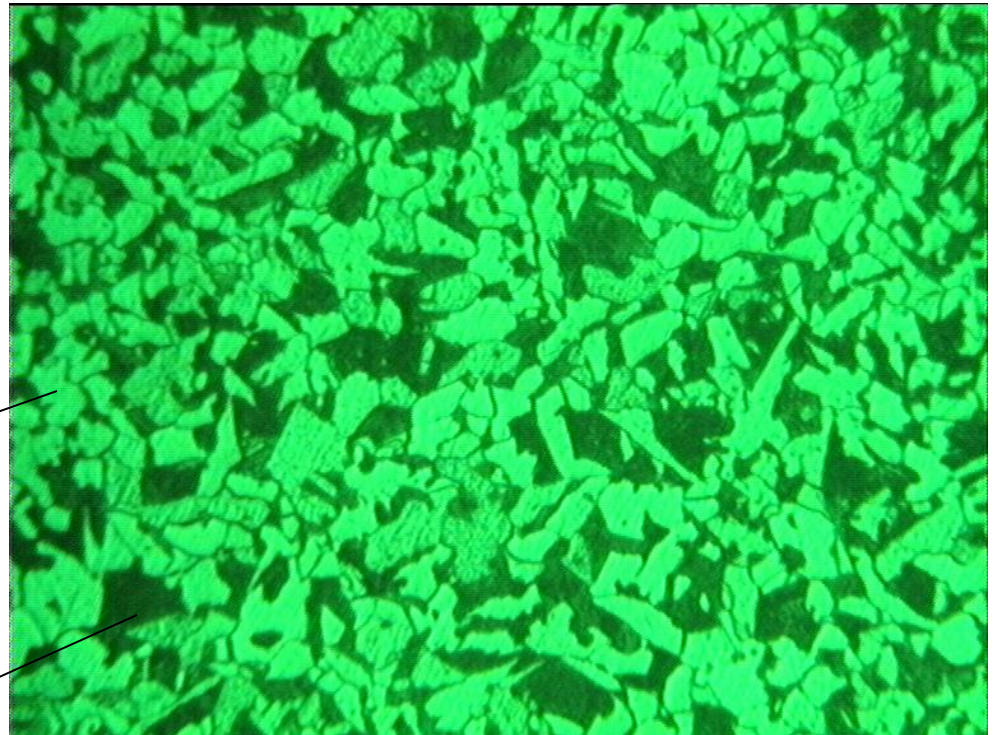
# A C tartalom hatása

## 0,35 % C

Szövetszerkezet:

ferrit + perlit

N 200x



ferrit

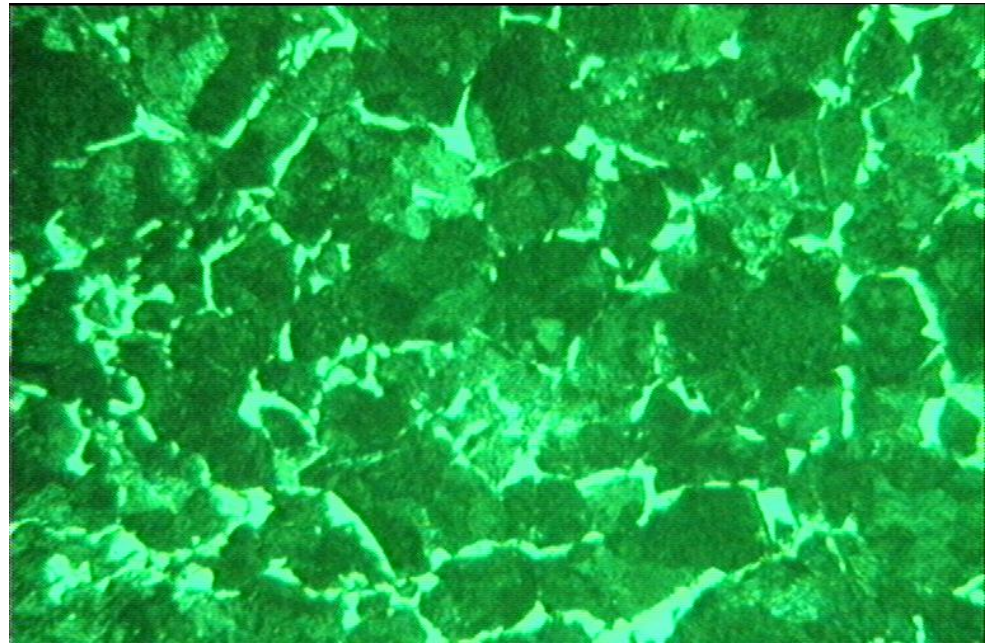
perlit

# A C tartalom hatása

## 0,45 % C

Szövetszerkezet:  
ferrit + perlit

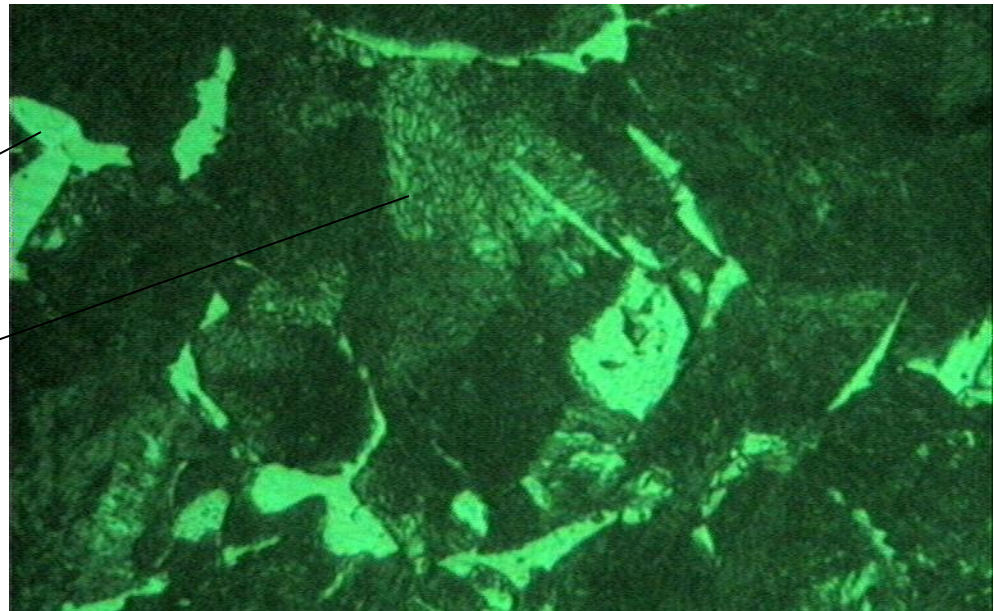
N 200x



N 500x

ferrit

perlit



Lemezes szerkezet

**A C**

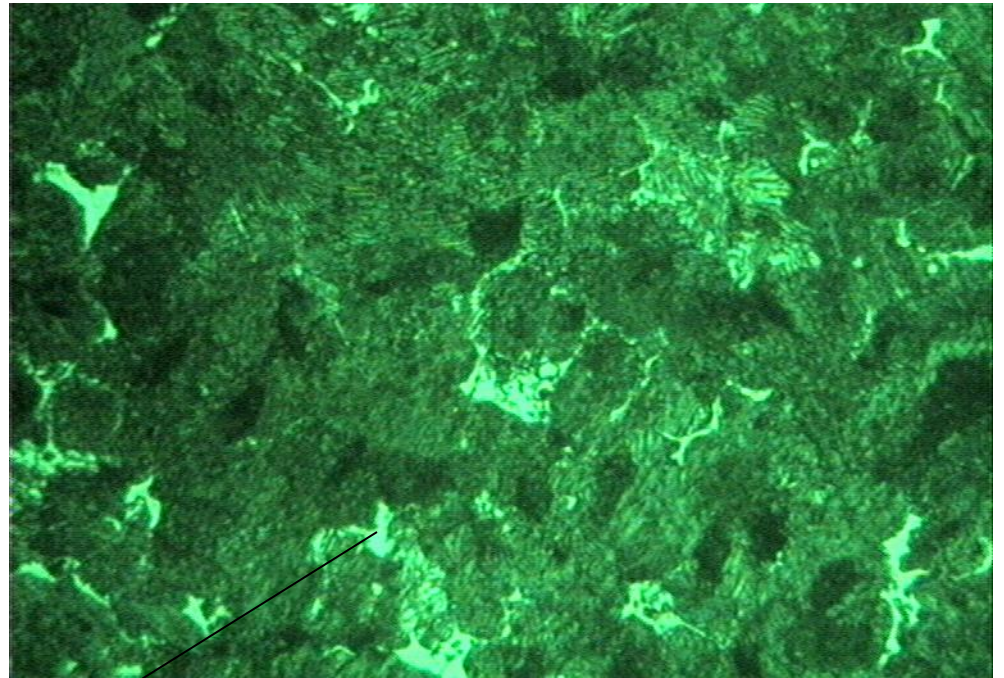
**tartalom hatása**

**0,60 % C**

**Szövetszerkezet:**

**ferrit + perlit**

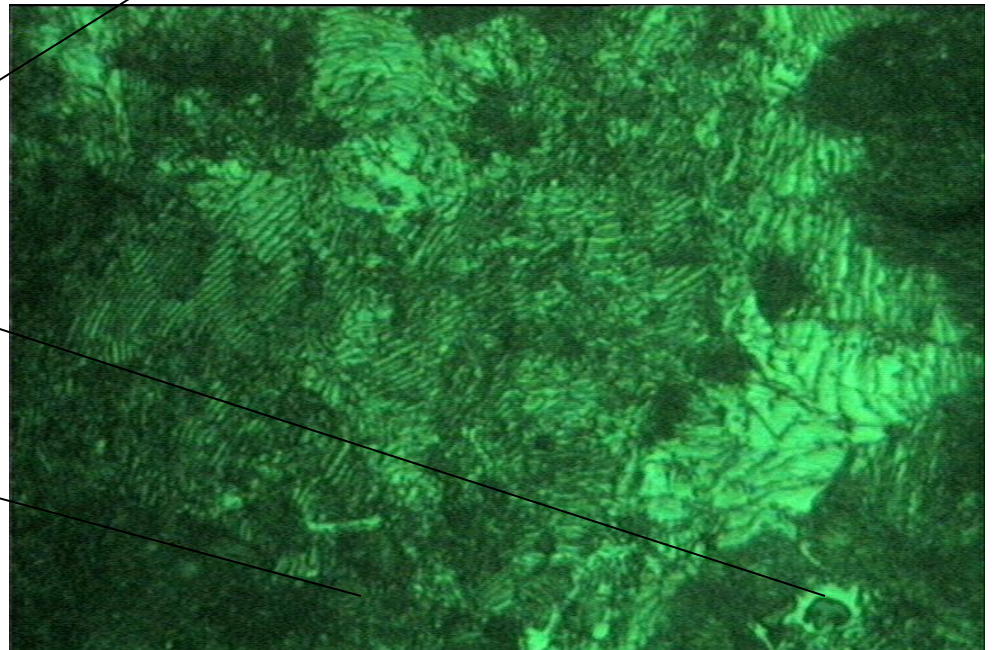
**N 200x**



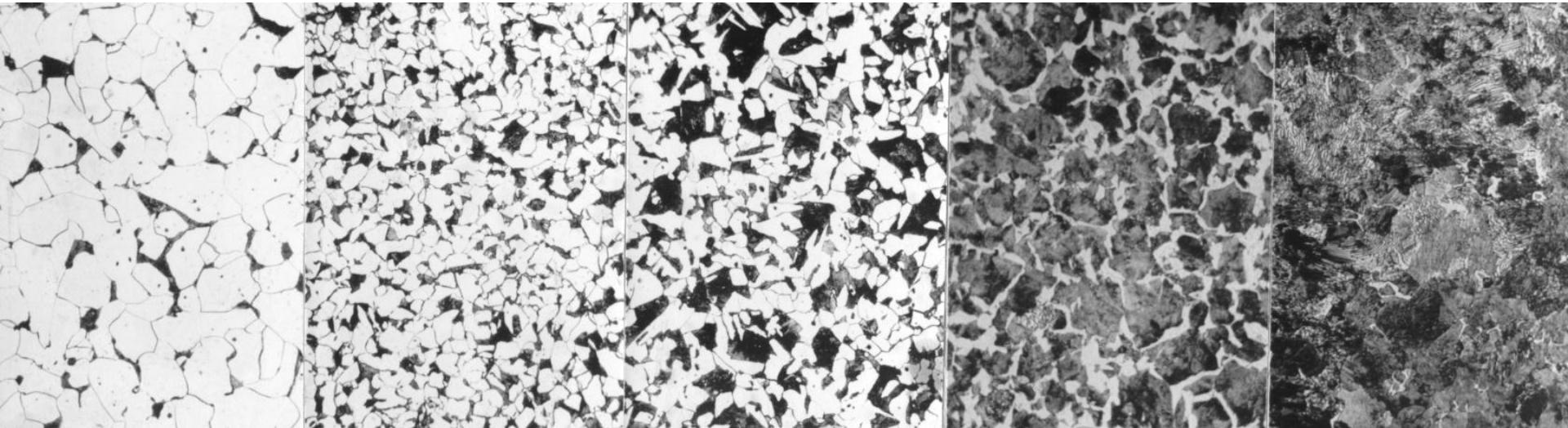
**N 500x**

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**

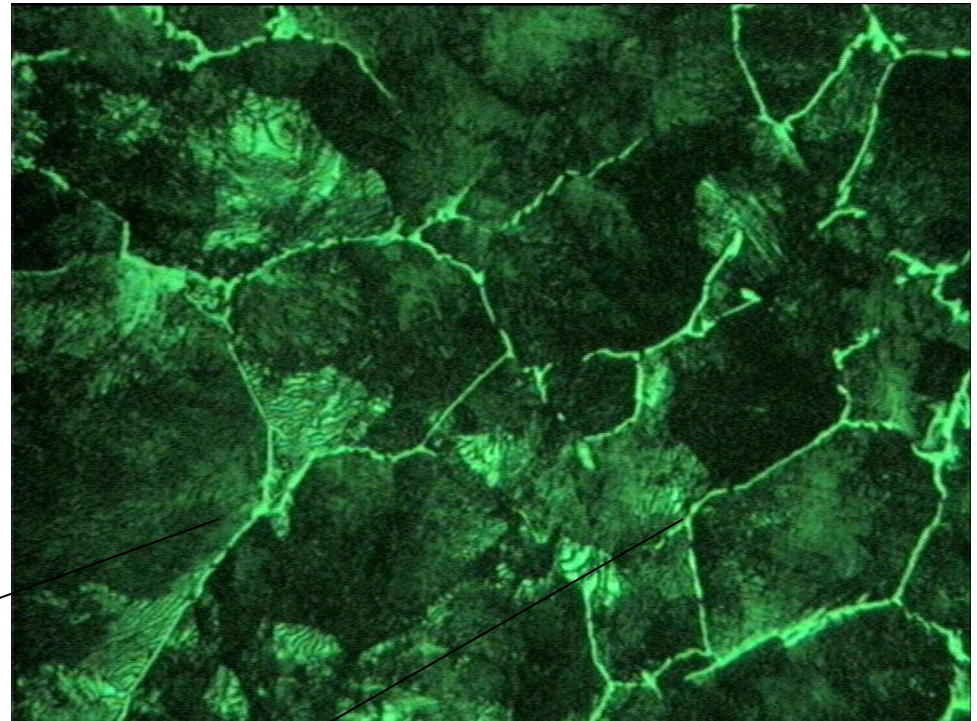
# Hipereutektoidos acél C $\approx 1,3\%$

Szerszámacélok (pl. fogaskerék)

**Szövetszerkezet**  
**perlit+ szekunder**  
**cementit**

**N 250 x**

**Marószer: Nitál**



perlit

Szekunder cementit  
(hálós)



# Fe- Fe<sub>3</sub>C rendszer

## Öntöttvasak

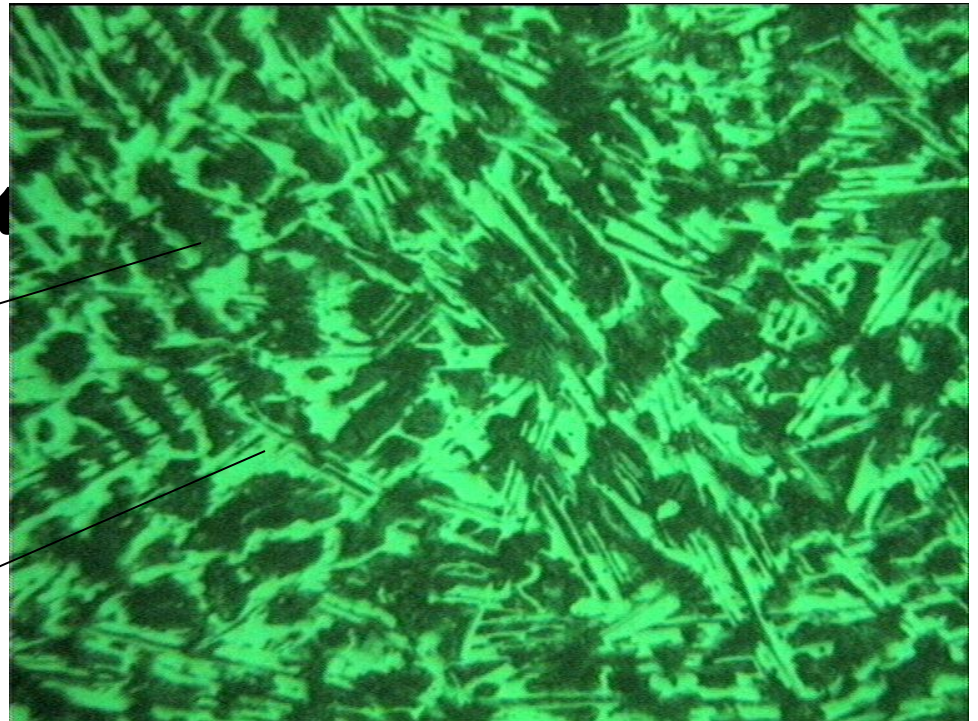
- A karbidos rendszer szerint kristályosodó öntöttvasakat **önálló szerkezeti anyagként nem használják**, mivel nagyon kemények, nem alakíthatóak, a megmunkálásuk is nehézségeket okoz
- A karbidos rendszer szerinti kristályosodás elsősorban azokra az ötvözetekre jellemző, amelyeket a továbbiakban az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

# Hipoeutektikus öntöttvas

**Szövetszerkezet:  
perlit + ledeburit +  
szekunder cementit**

perlit

ledeburit

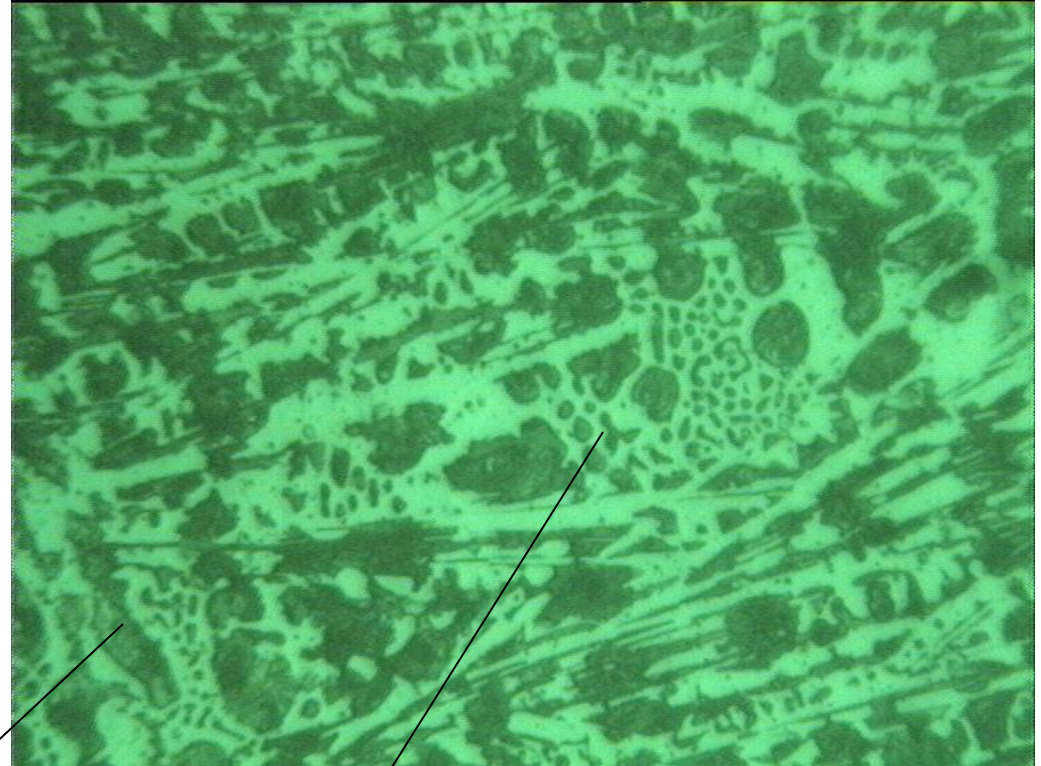


# Ledeburit

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

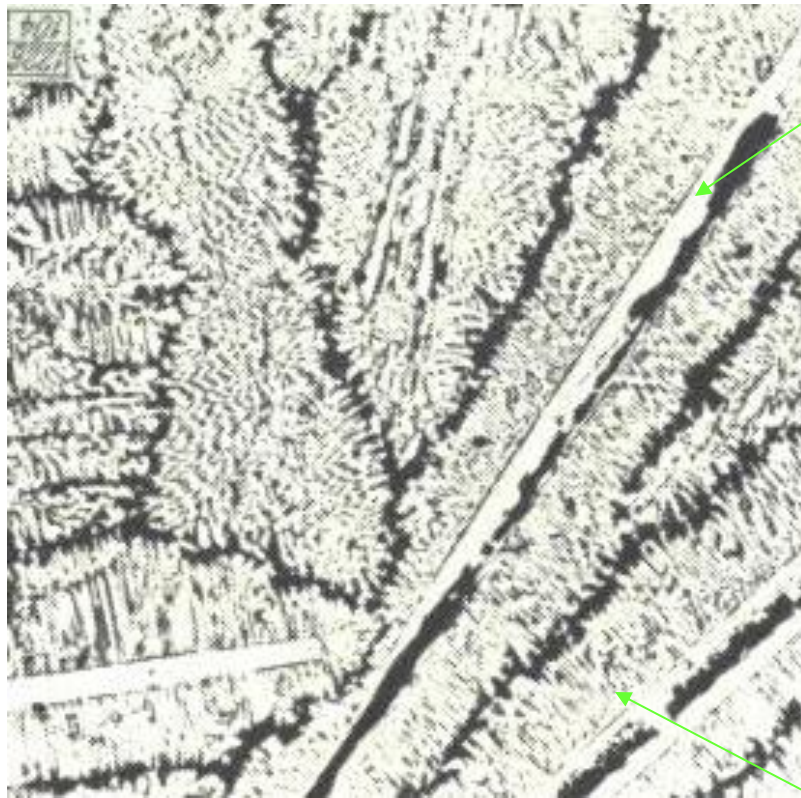
**Kemény, rideg,  
kopásálló**

Az ausztenitből  
képződött perlit

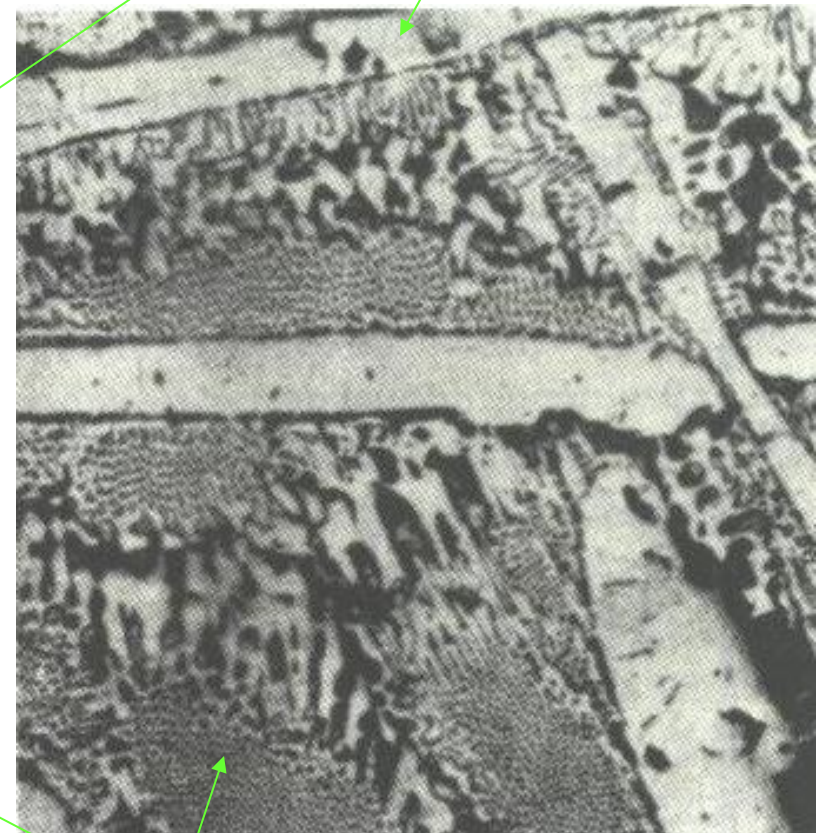


vaskarbid

# Hipereutektikus öntöttvas



N 50 x

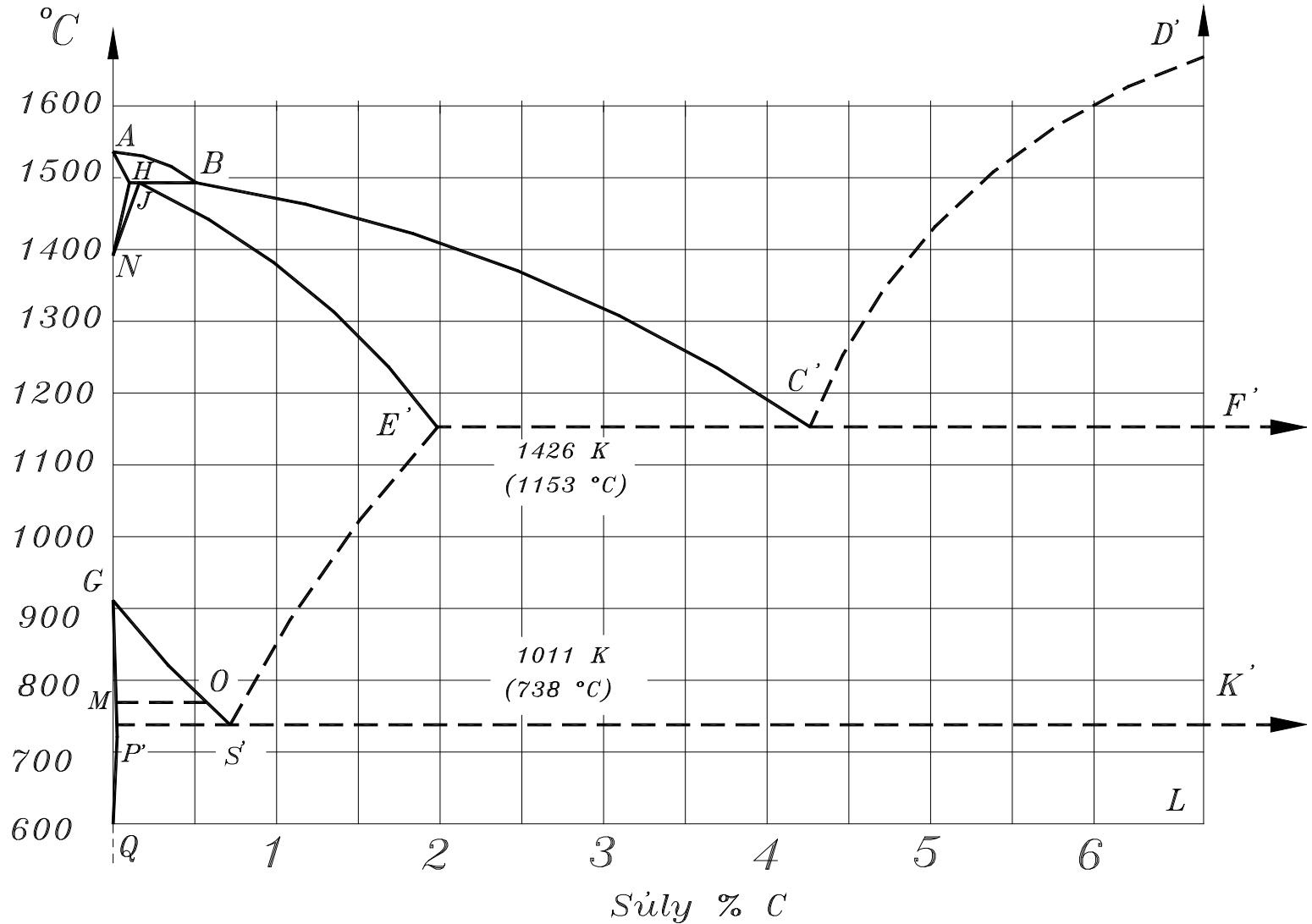


N 300x

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

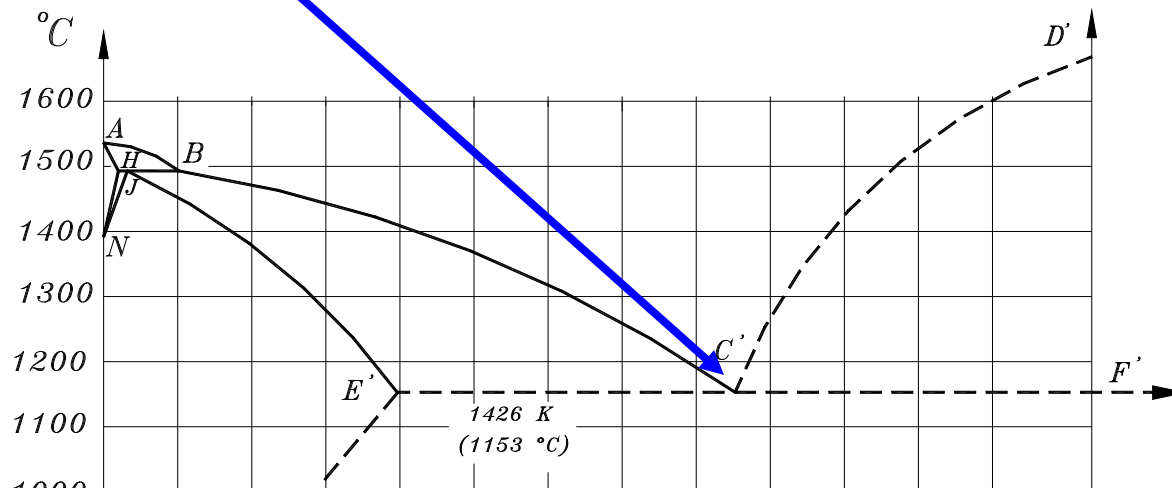
**Fontos megjegyezni, hogy itt a 6,67 % C tartalmú  $\text{Fe}_3\text{C}$  nem létezik, a diagram a 100 % C-ig tart. A grafitos rendszer fázisaira vonatkozó pontokat ' -vel jelöljük.**

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

# Vas - grafit egyensúlyi diagram

## Eutektikum kristályosodása 1

A grafitos rendszer szerint a  $\gamma$  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°.





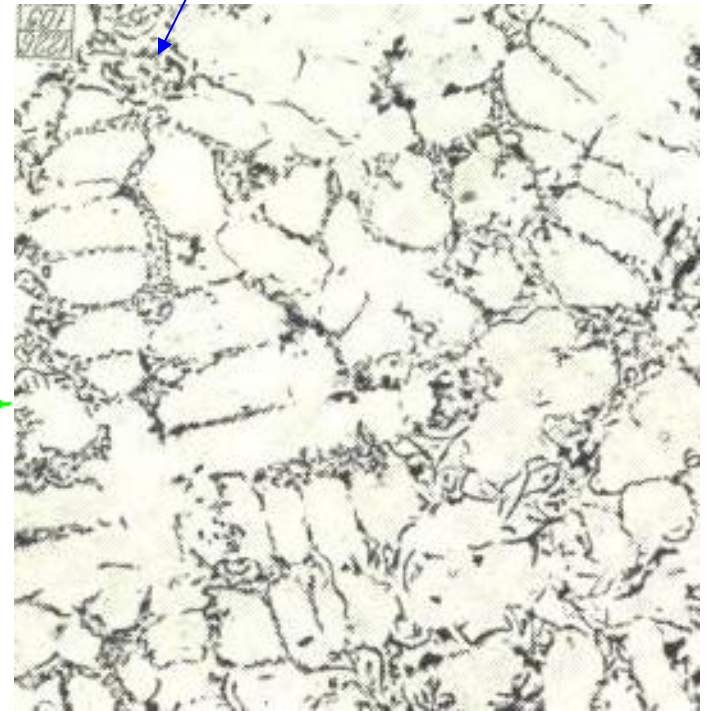
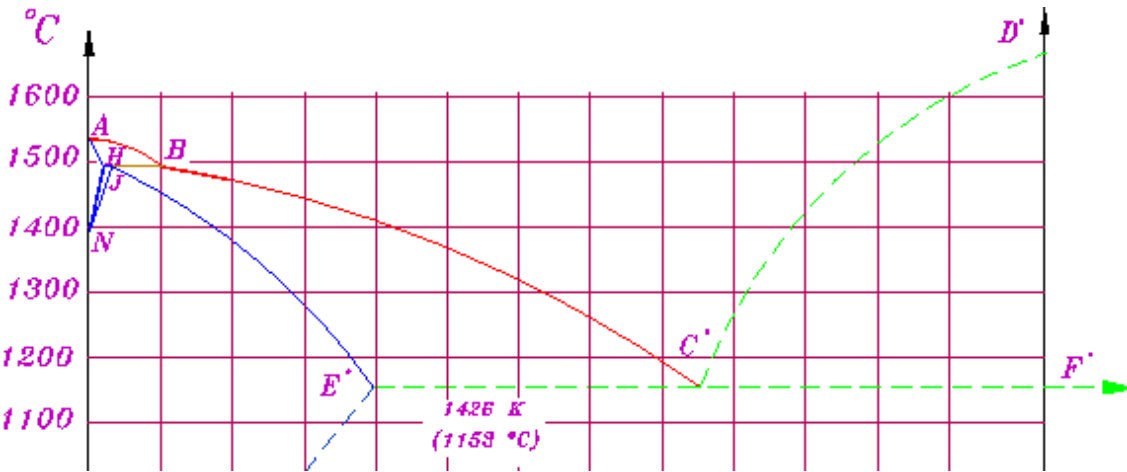
# Vas - grafit egyensúlyi diagram

## Eutektikum kristályosodása 2

Az eutektikus reakció 1153 C°-on:



A szövetelem neve **grafitos eutektikum**



# Vas - grafit egyensúlyi diagram

## Eutektoidos folyamat

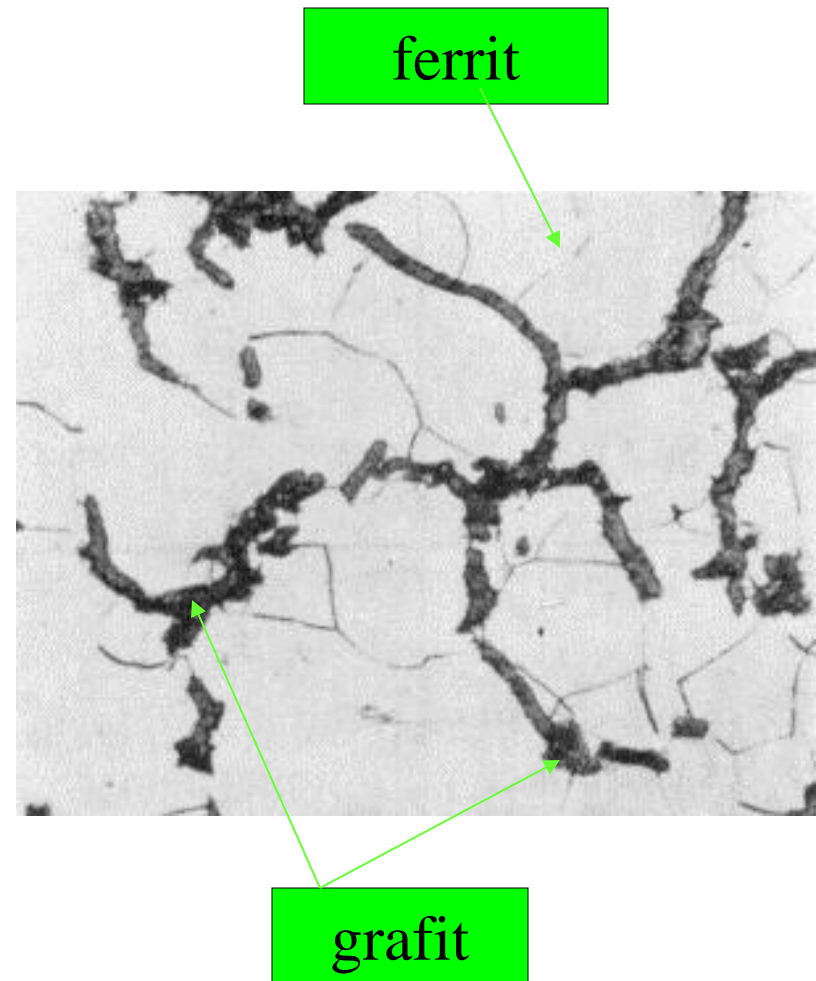
**Az ausztenit átalakulása a grafitos rendszer szerint is végbemegy , mégpedig 738 C°-on a P'S'K' vonalon.**



**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**



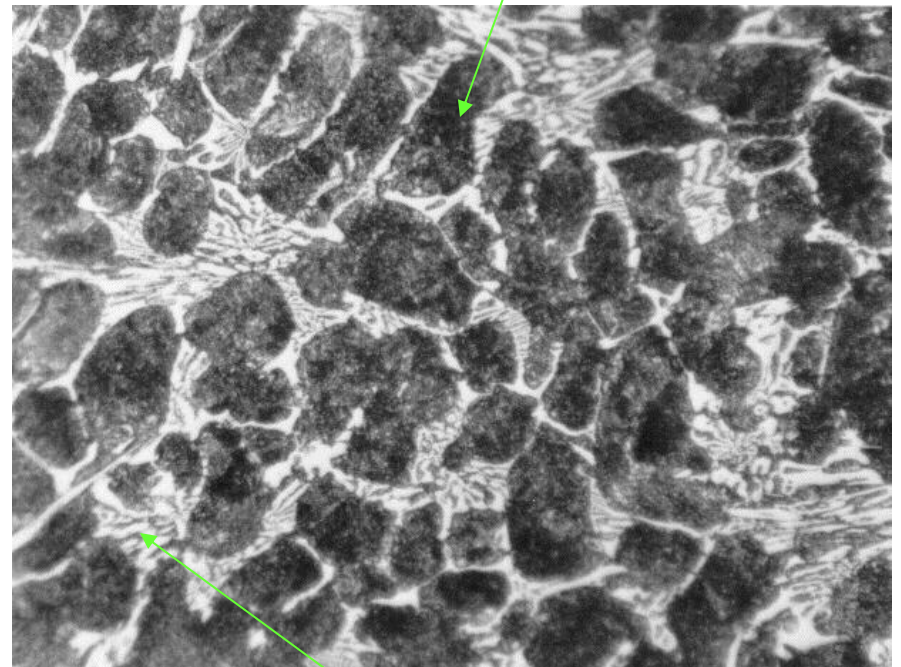
# Gyakorlati öntöttvasak

**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

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

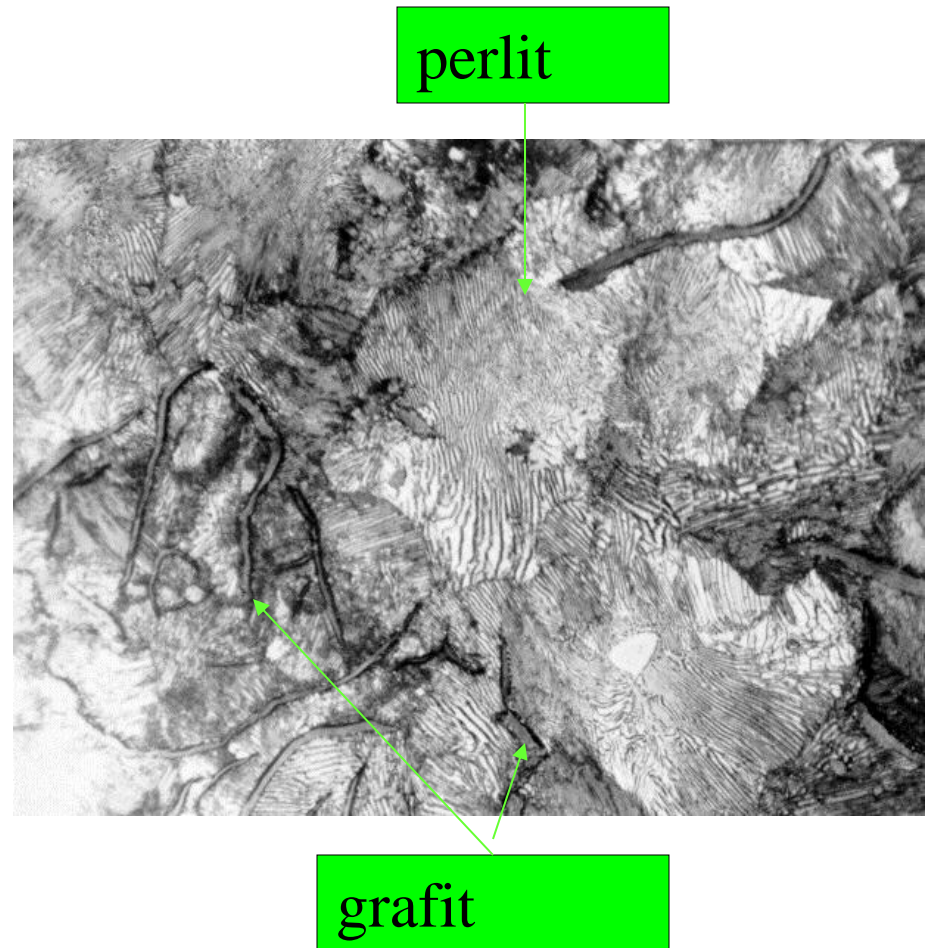


perlit

ledeburit

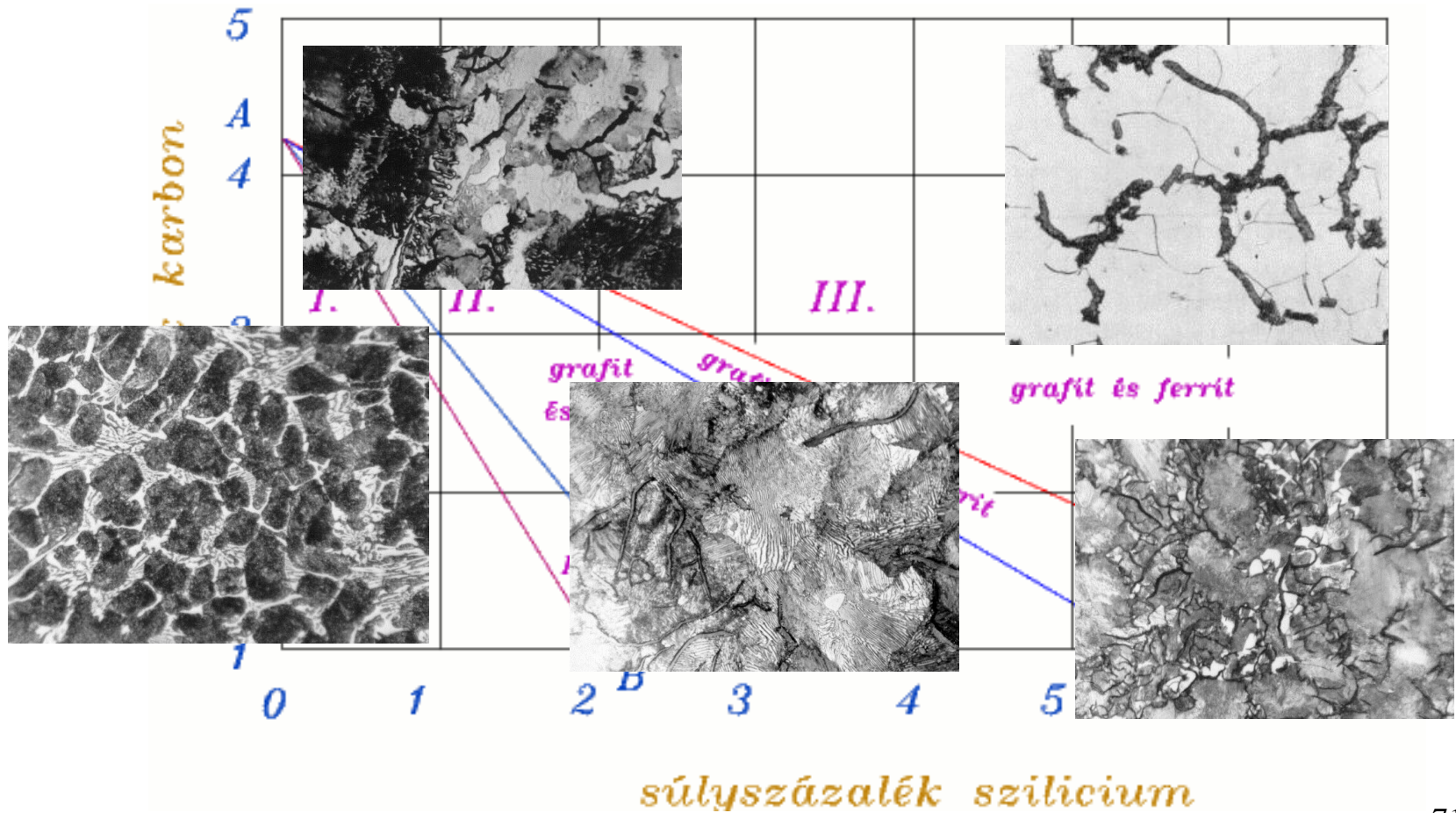
# Grafitos rendszer 3

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

