

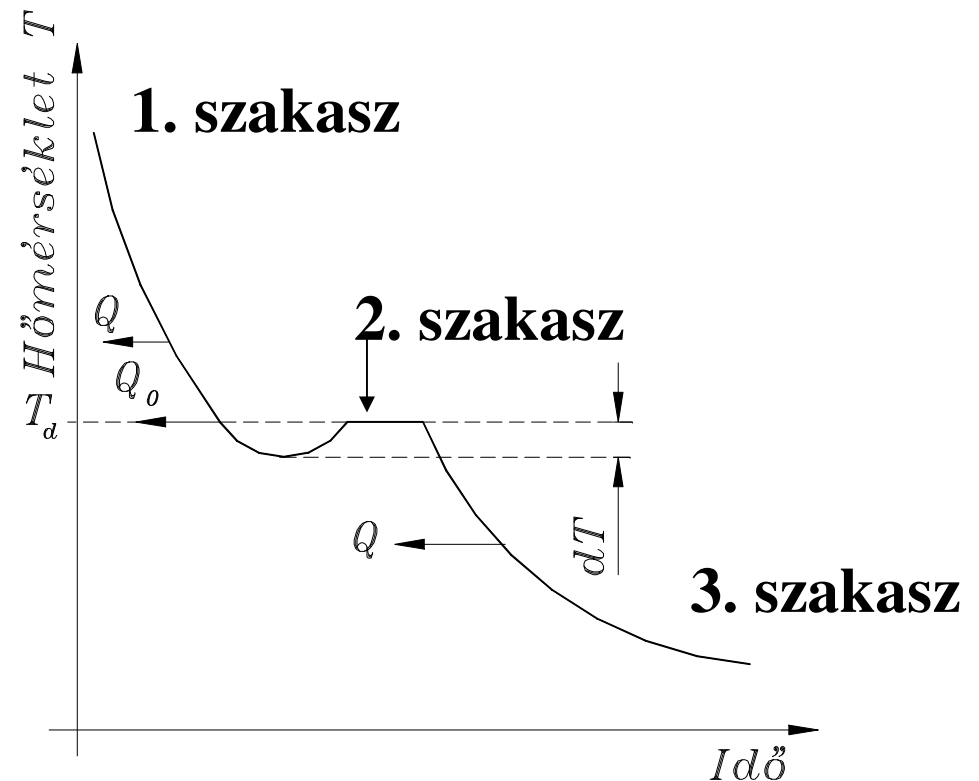
Színfémek és ötvözetek egyensúlyi lehűlése

Színfém lehűlési görbéje (nincs allotróp átalakulás)

$$F + S_z = K + 1.$$

$$K = 1$$

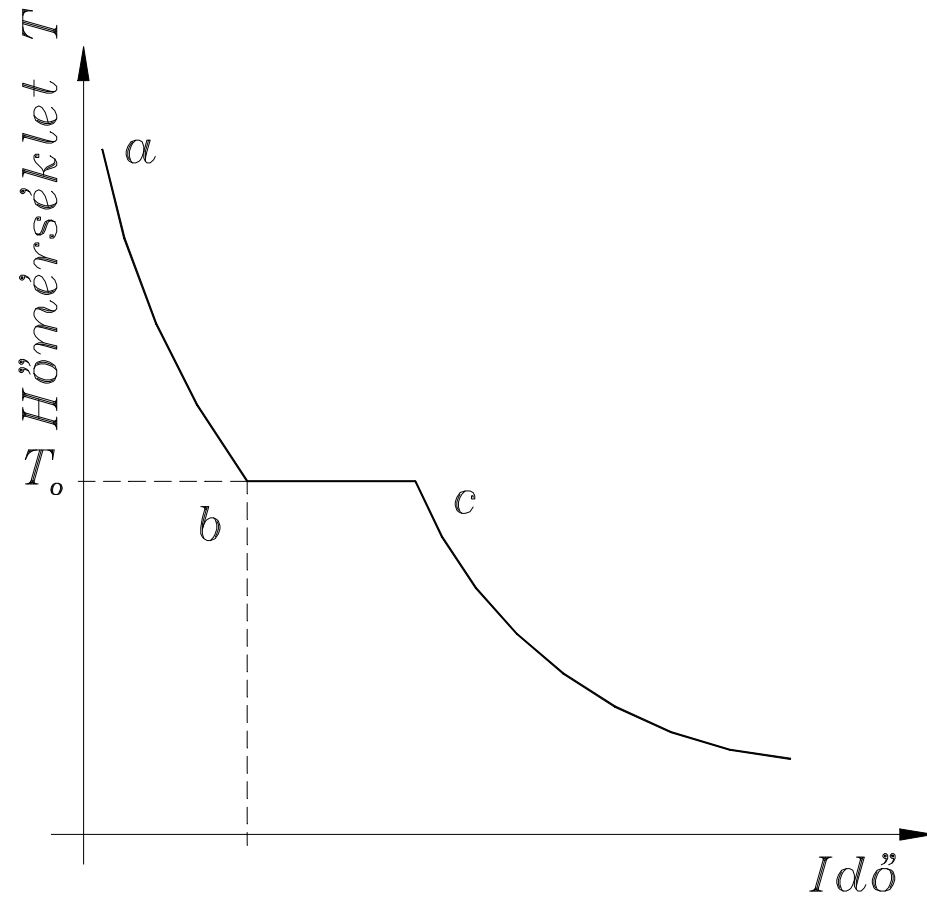
1. Szakasz $F=1$ olvadék
 $S_z=1 \Rightarrow T$ változhat
2. Szakasz $F=2$ olvadék + szilárd
 $S_z=0 \Rightarrow T = \text{constans}$
3. Szakasz $F=1$ szilárd
 $S_z=1 \Rightarrow T$ változhat



Az ábrán látható dT hőmérsékletkülönbség a kristályosodás megindításához kell!

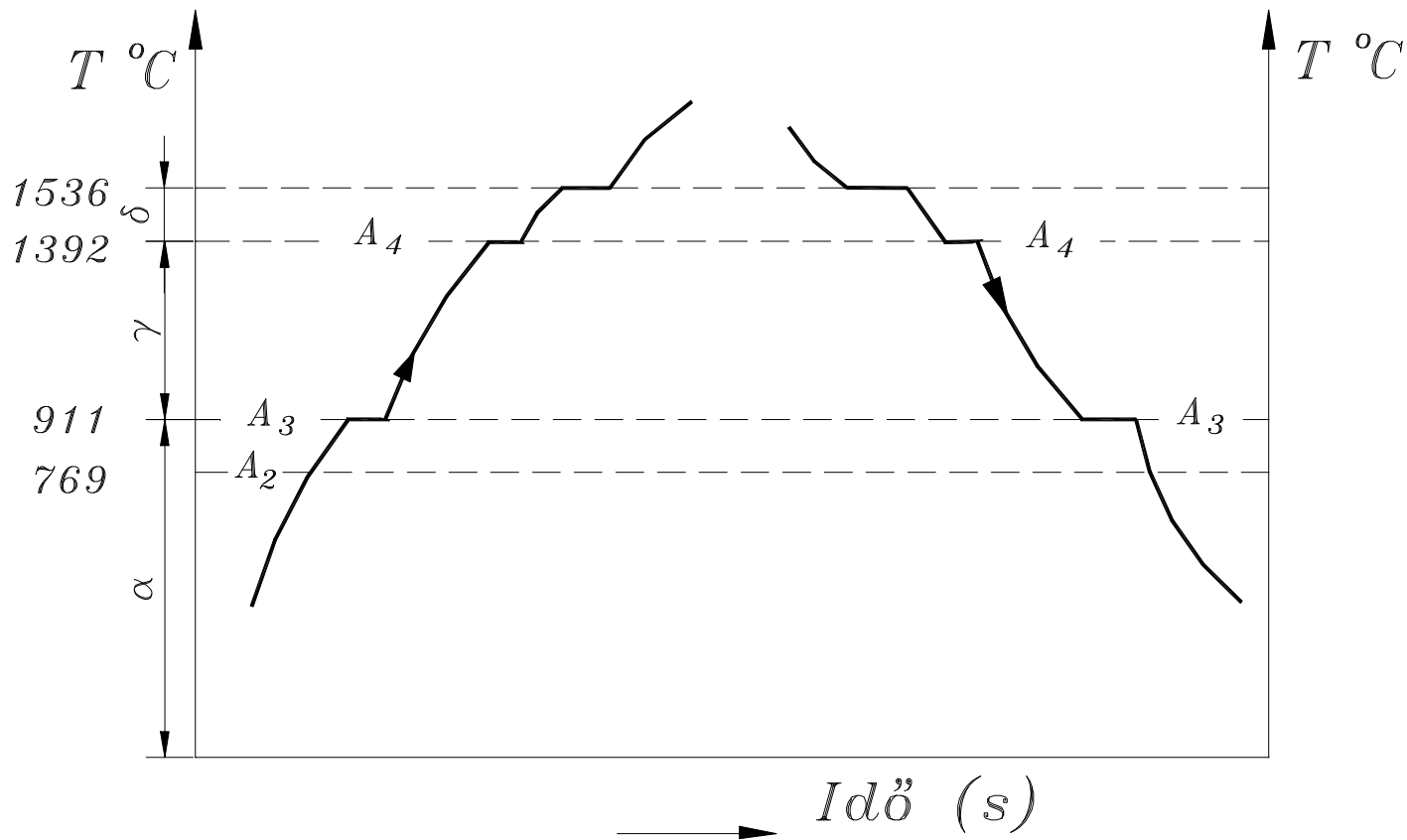
Színfém lehülési görbéje (nincs allotróp átalakulás)

Egyszerűsített
lehülési görbe



Színfém hevítési és lehűlési görbéje (Fe)

(allotróp átalakulás van)



Szilárd oldat lehűlési görbéje

$$F + Sz = K + 1$$

$$K = 2 \quad \text{A és B}$$

1. Szakasz $F=1$ $Sz=2$

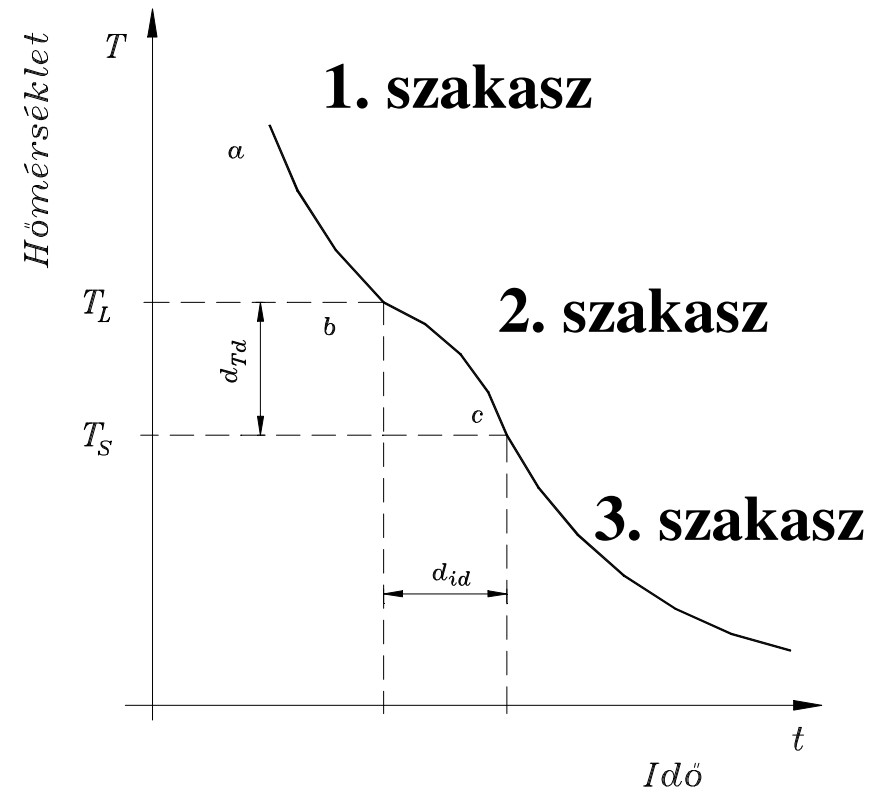
T és c változhat

2. Szakasz $F = 2$ $Sz = 1$

T változhat

3. Szakasz $F = 1$ $Sz = 2$

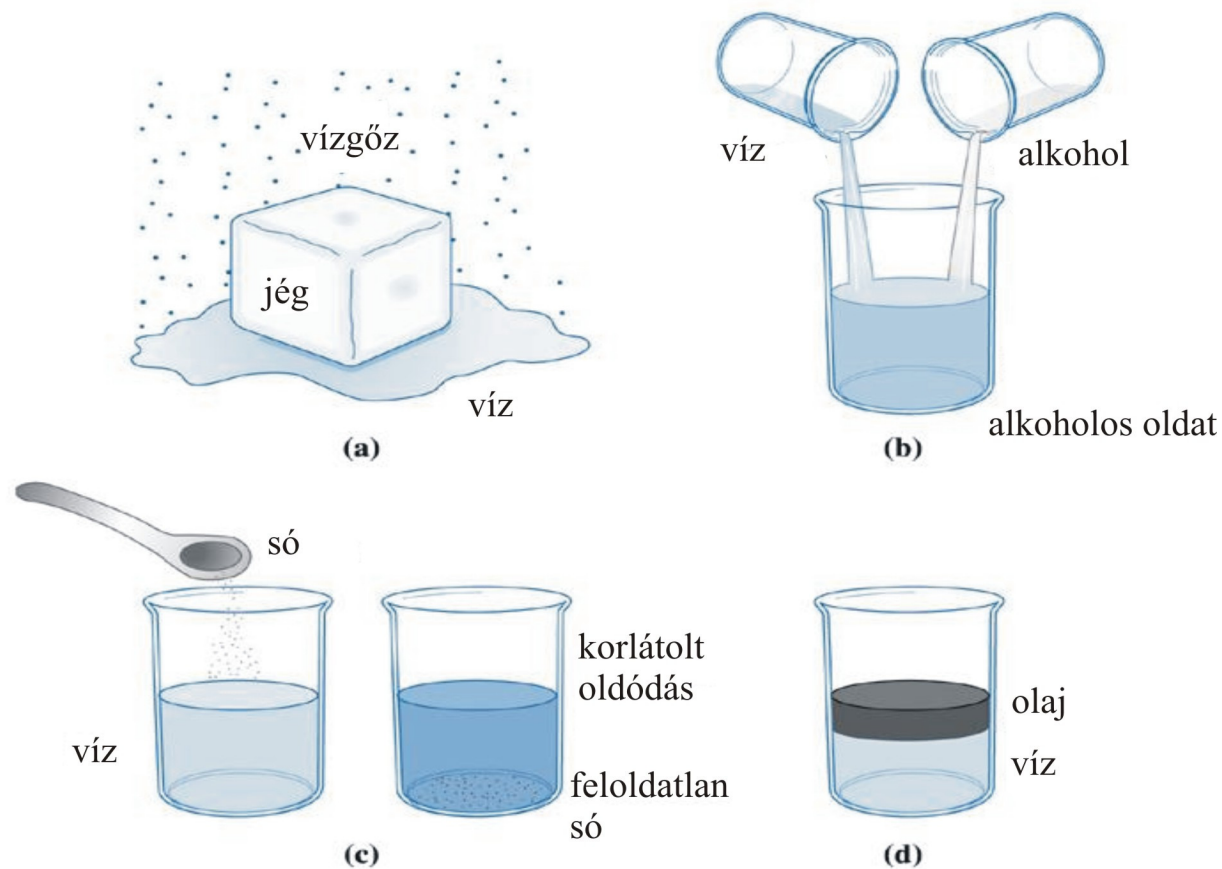
T és c változhat



Kétalkotós egyensúlyi diagramok

Fázis:

A fázis fogalmát már a lehülési görbéknél definiáltuk. „A fázis a térnek egy fizikai határokkal elválasztott része, amelyen belül fizikai, kémiai és egyéb tulajdonságai állandóak.”

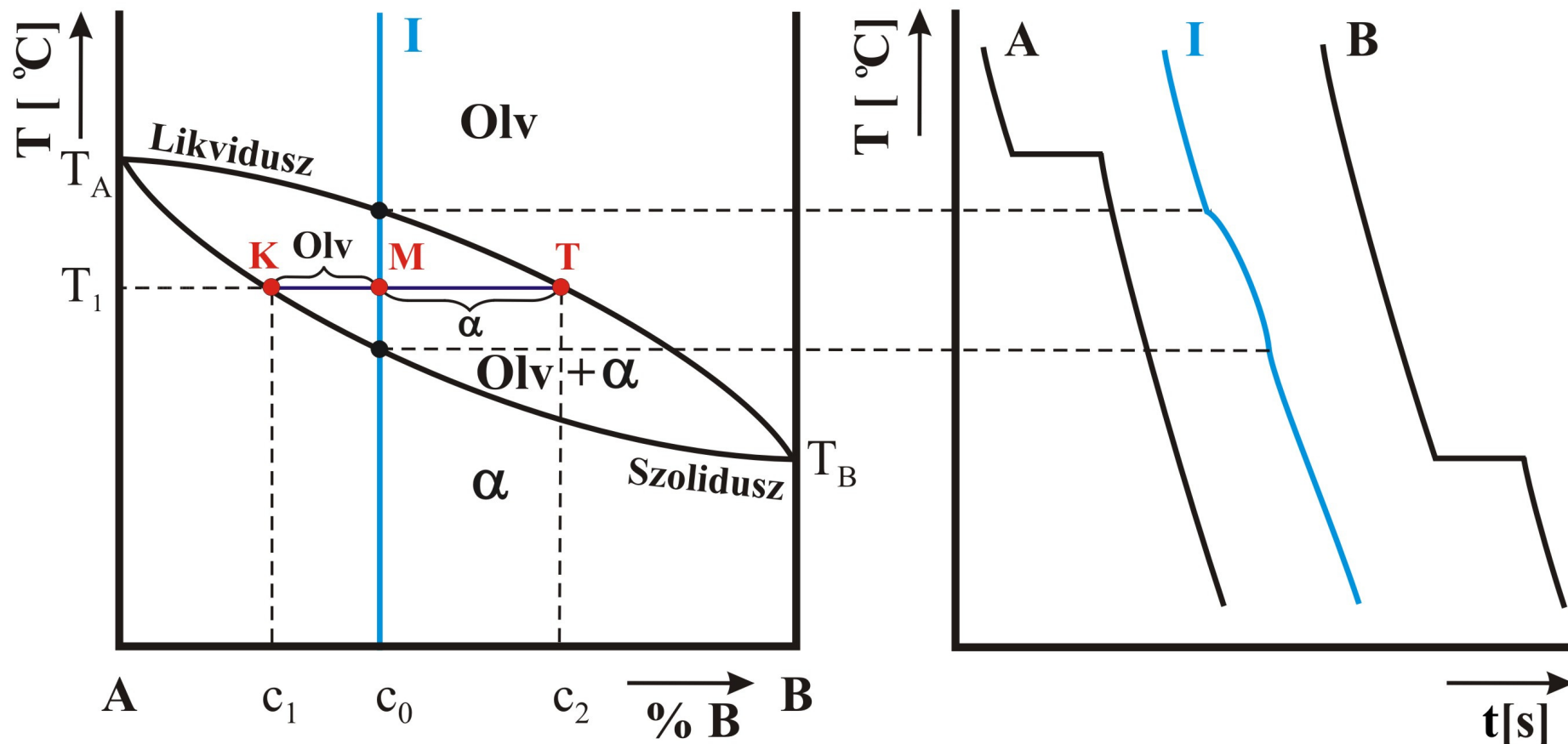


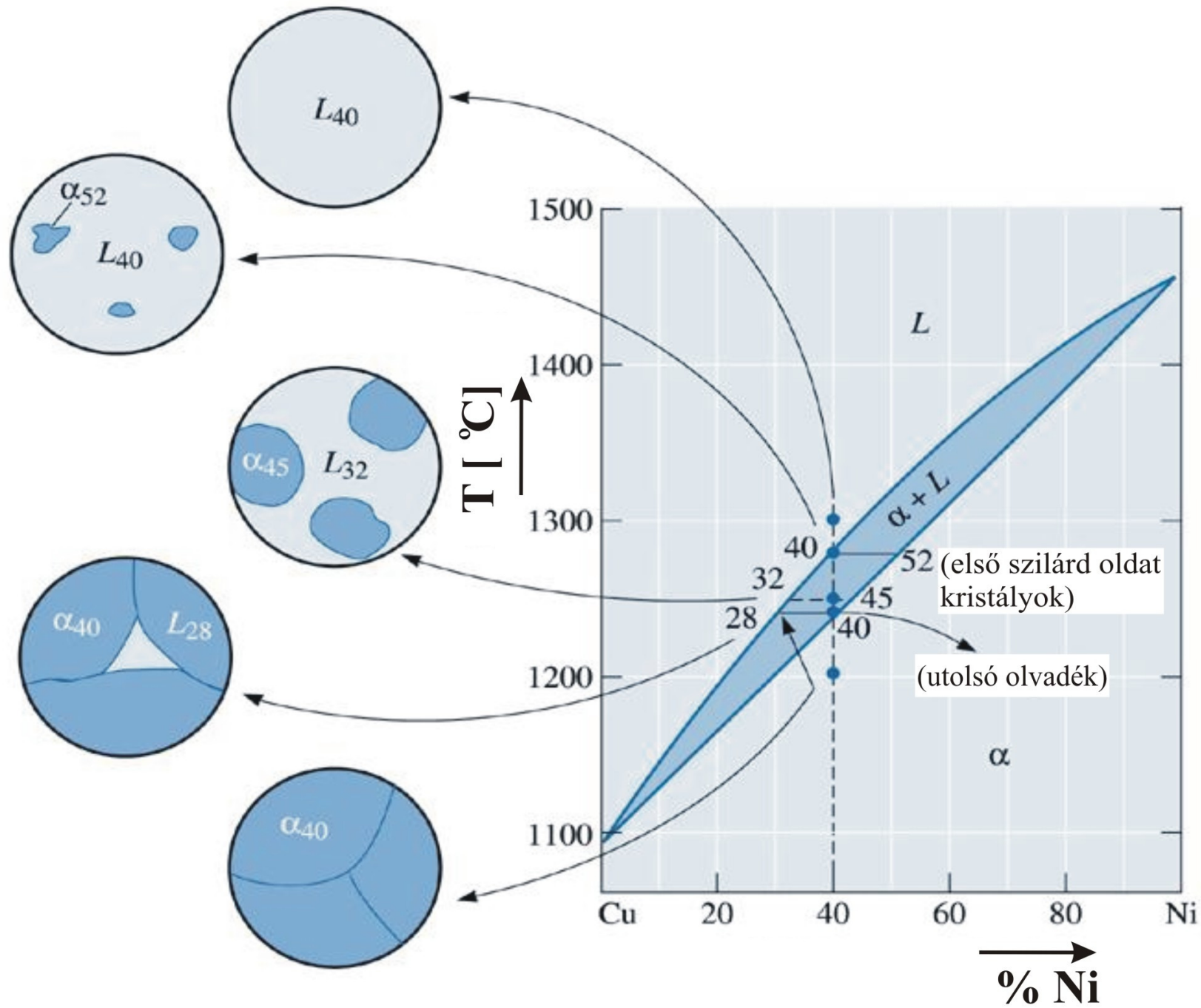
A kétalkotós egyensúlyi diagramok

alaptípusai:

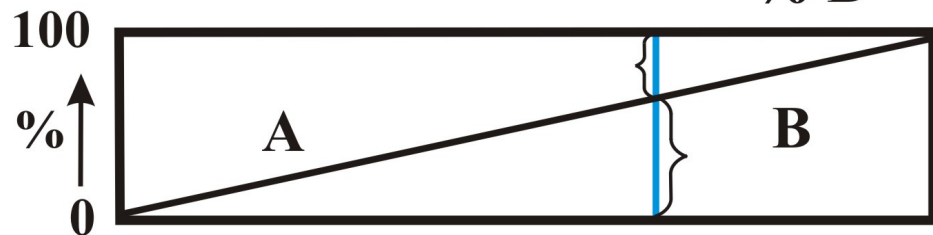
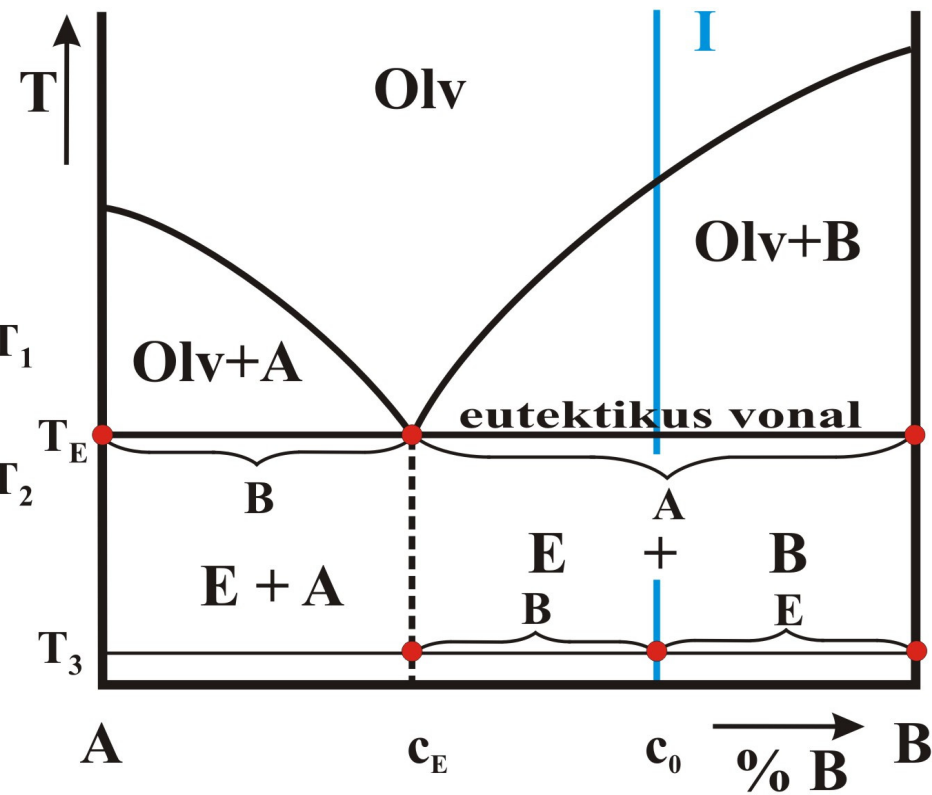
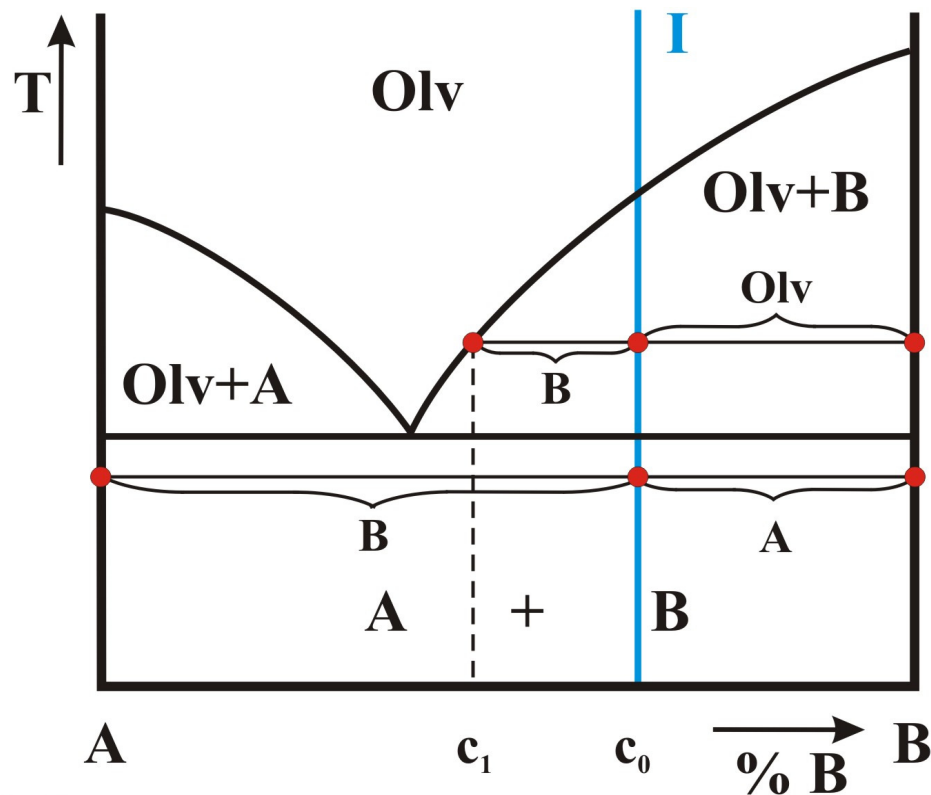
- 1) **Egymást korlátlanul oldó kétalkotós ötvözet egyensúlyi diagramja**
 - (a két alkotó olvadt és szilárd állapotban korlátlanul oldódik)
- 2) **Egymást szilárd állapotban nem oldó kétalkotós ötvözet egyensúlyi diagramja**
 - (a két alkotó olvadt állapotban teljesen, szilárd állapotban egyáltalán nem oldódik)
- 3) **Egymást szilárd állapotban korlátozottan oldó kétalkotós ötvözet egyensúlyi diagramja**
 - (a két alkotó olvadt állapotban teljesen, szilárd állapotban korlátozottan oldódik)
- 4) **Egymást szilárd állapotban nem oldó, vegyületfázist tartalmazó kétalkotós ötvözet egyensúlyi diagramja**

Egymást korlátlanul oldó kétalkotós ötvözet egyensúlyi diagramja

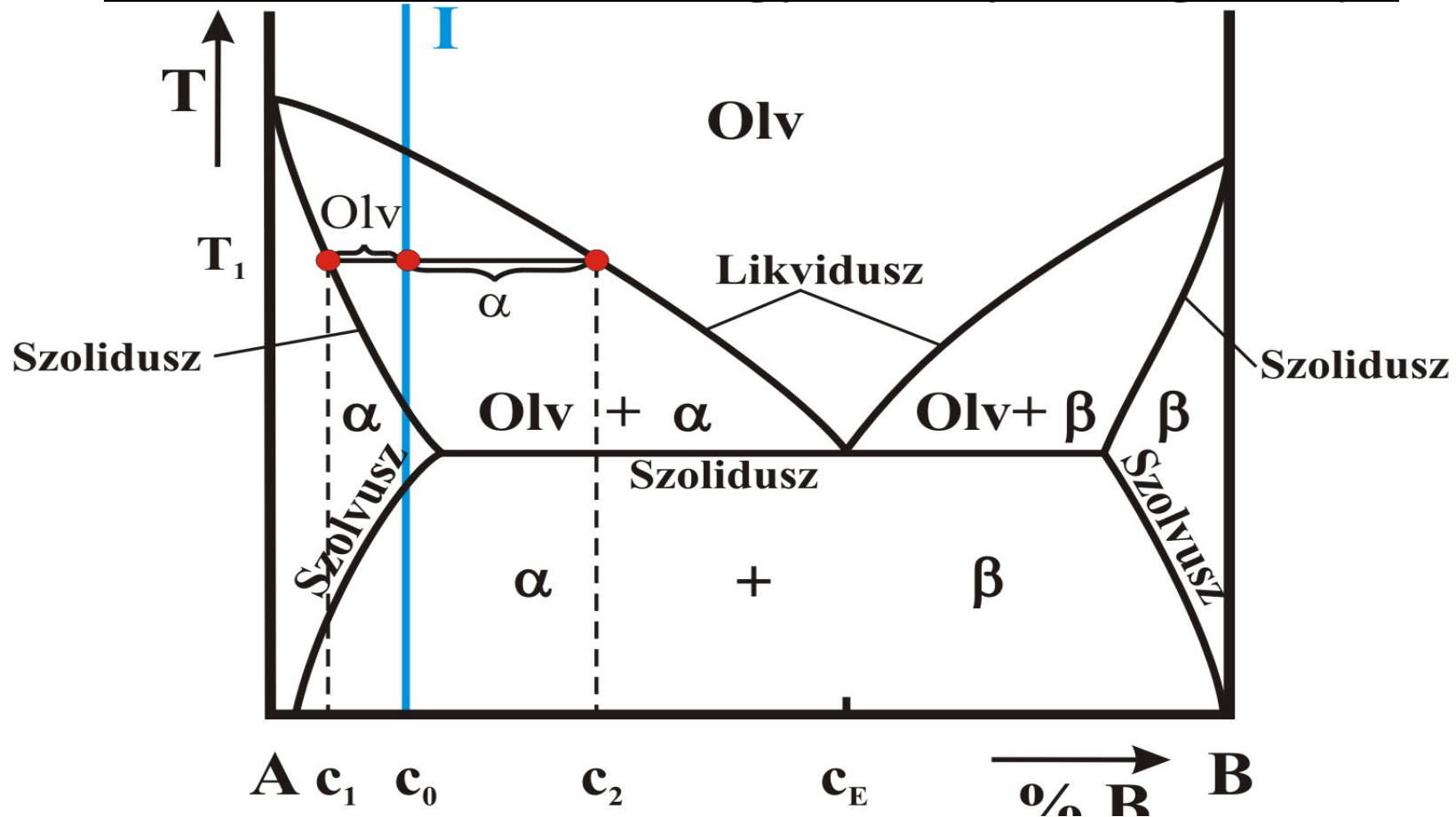




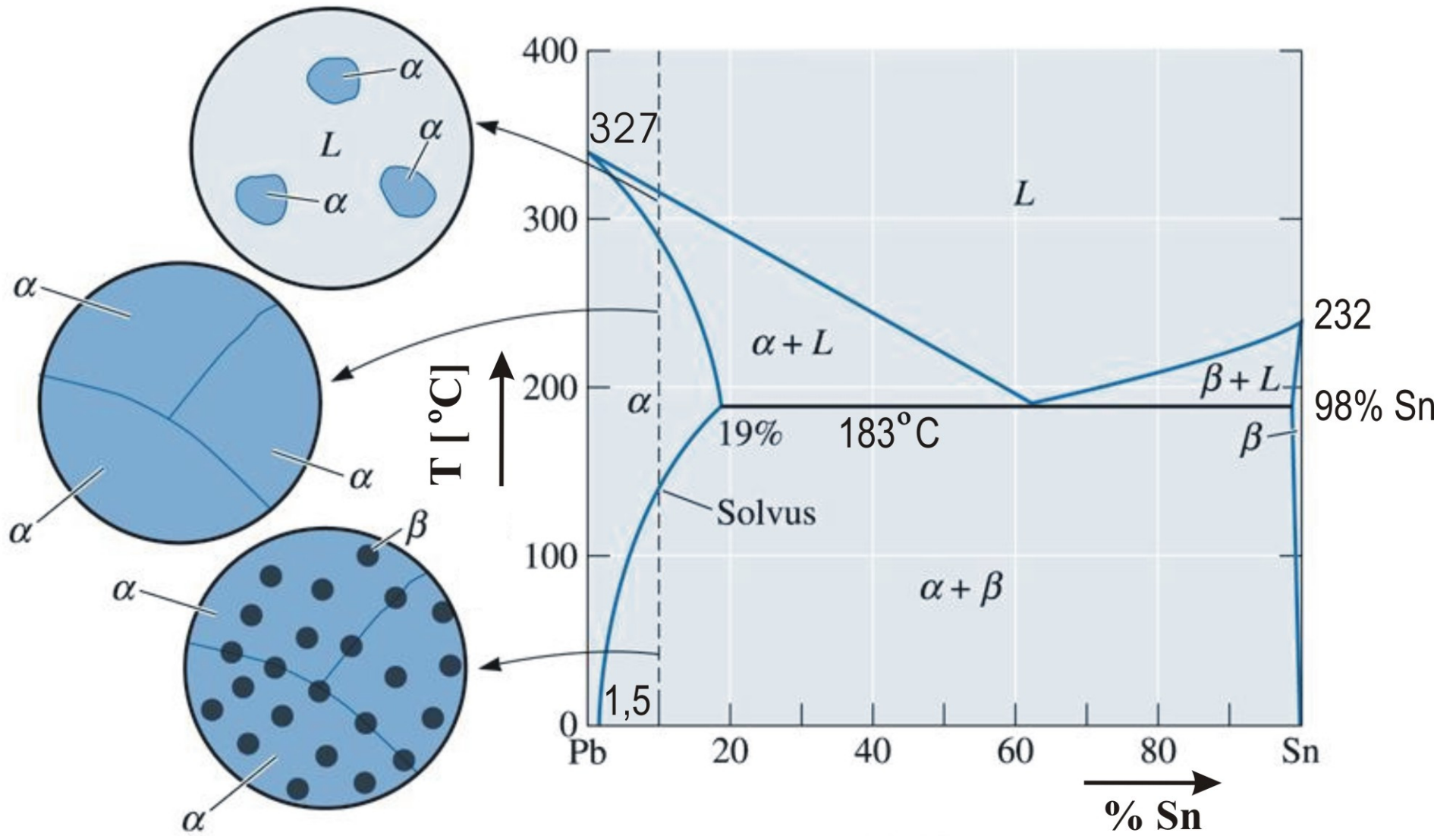
Egymást szilárd állapotban nem oldó kétalkotós ötvözet egyensúlyi diagramja

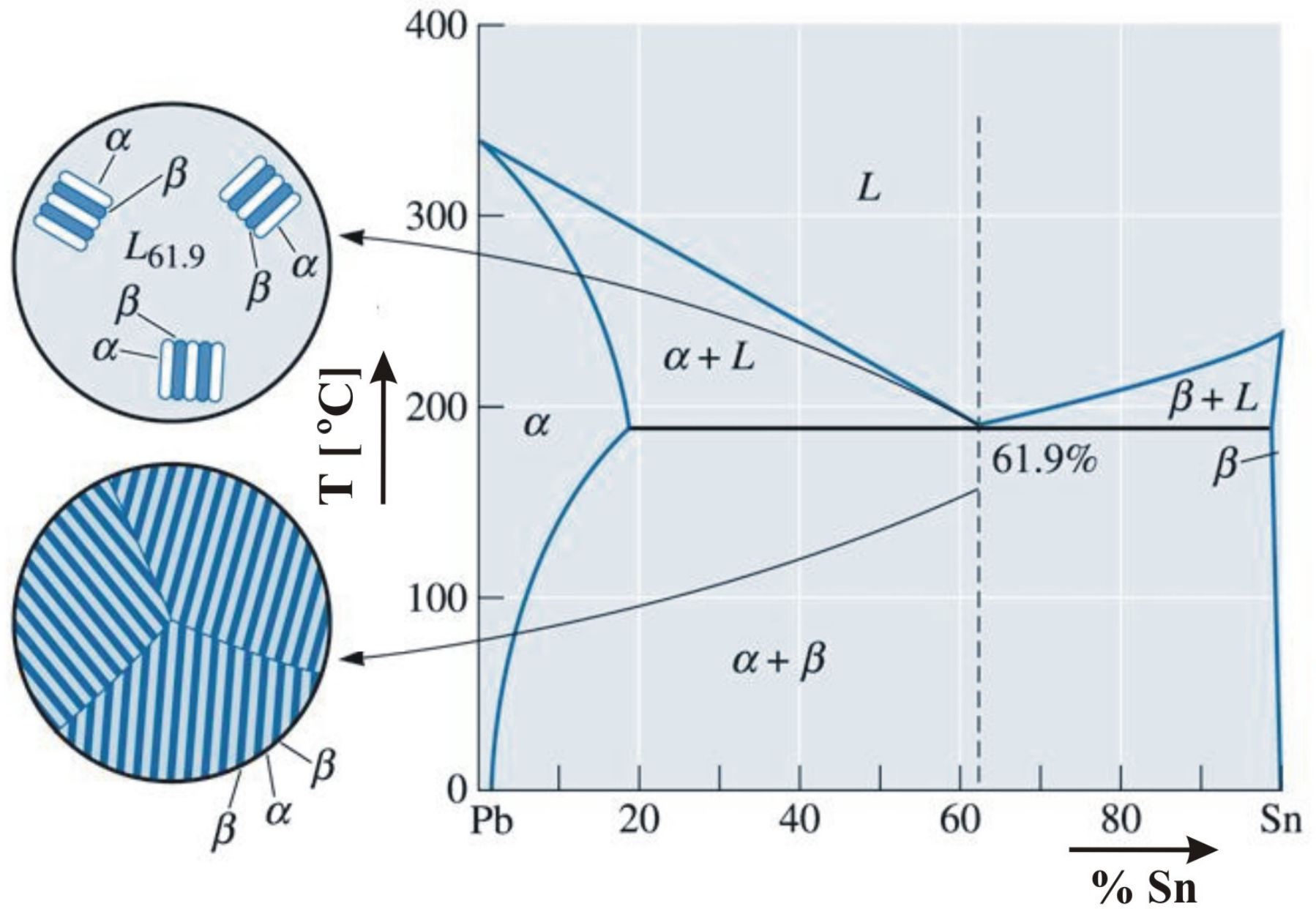


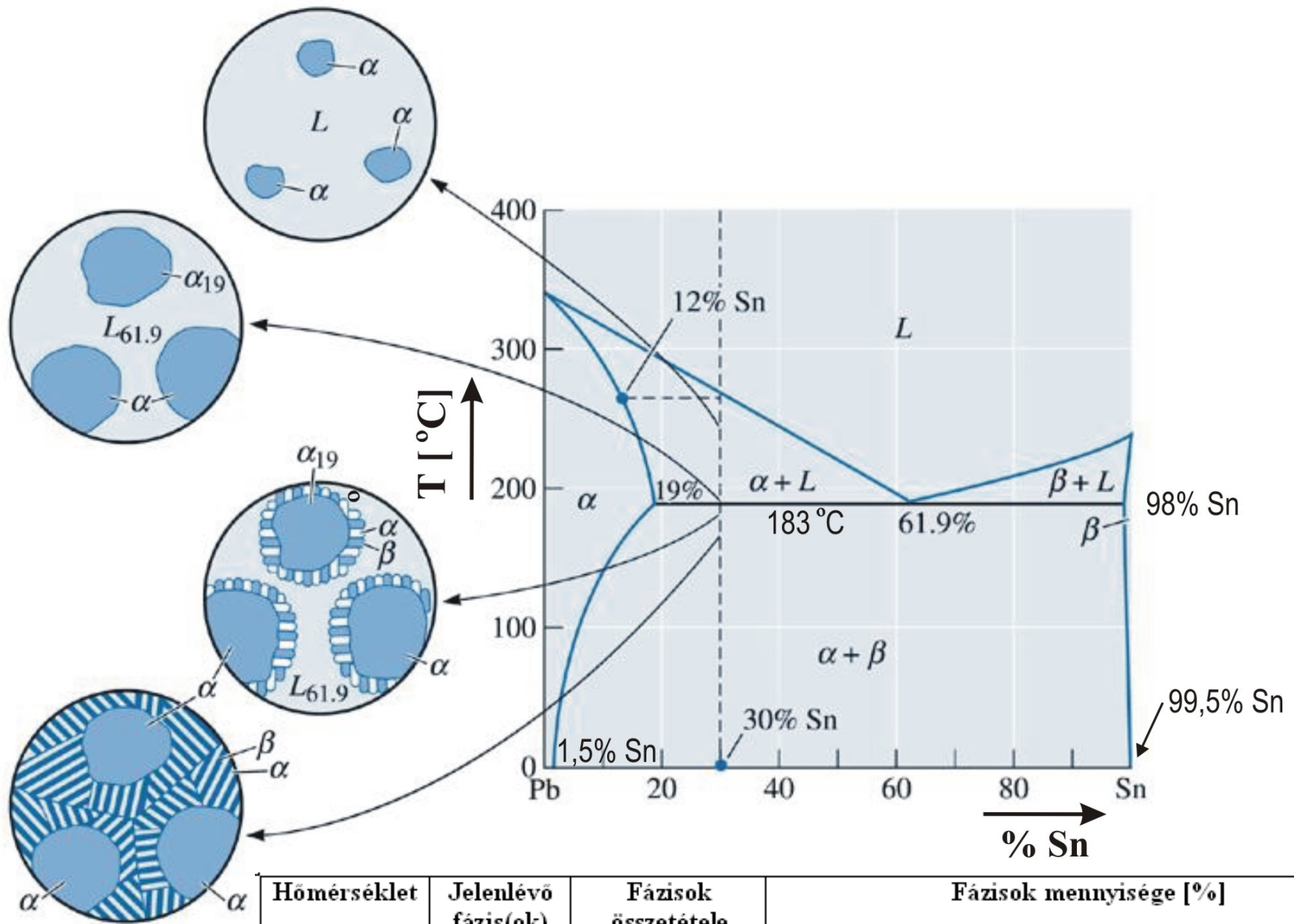
Egymást szilárd állapotban korlátoltan oldó kétalkotós ötvözet egyensúlyi diagramja



	Fázisok összetétele [%]	Fázisok mennyisége [%]
Olvadék fázis	c_2	$Olv = \frac{c_0 - c_1}{c_2 - c_1} \cdot 100$
Szilárd fázis α	c_1	$\alpha = \frac{c_2 - c_0}{c_2 - c_1} \cdot 100$

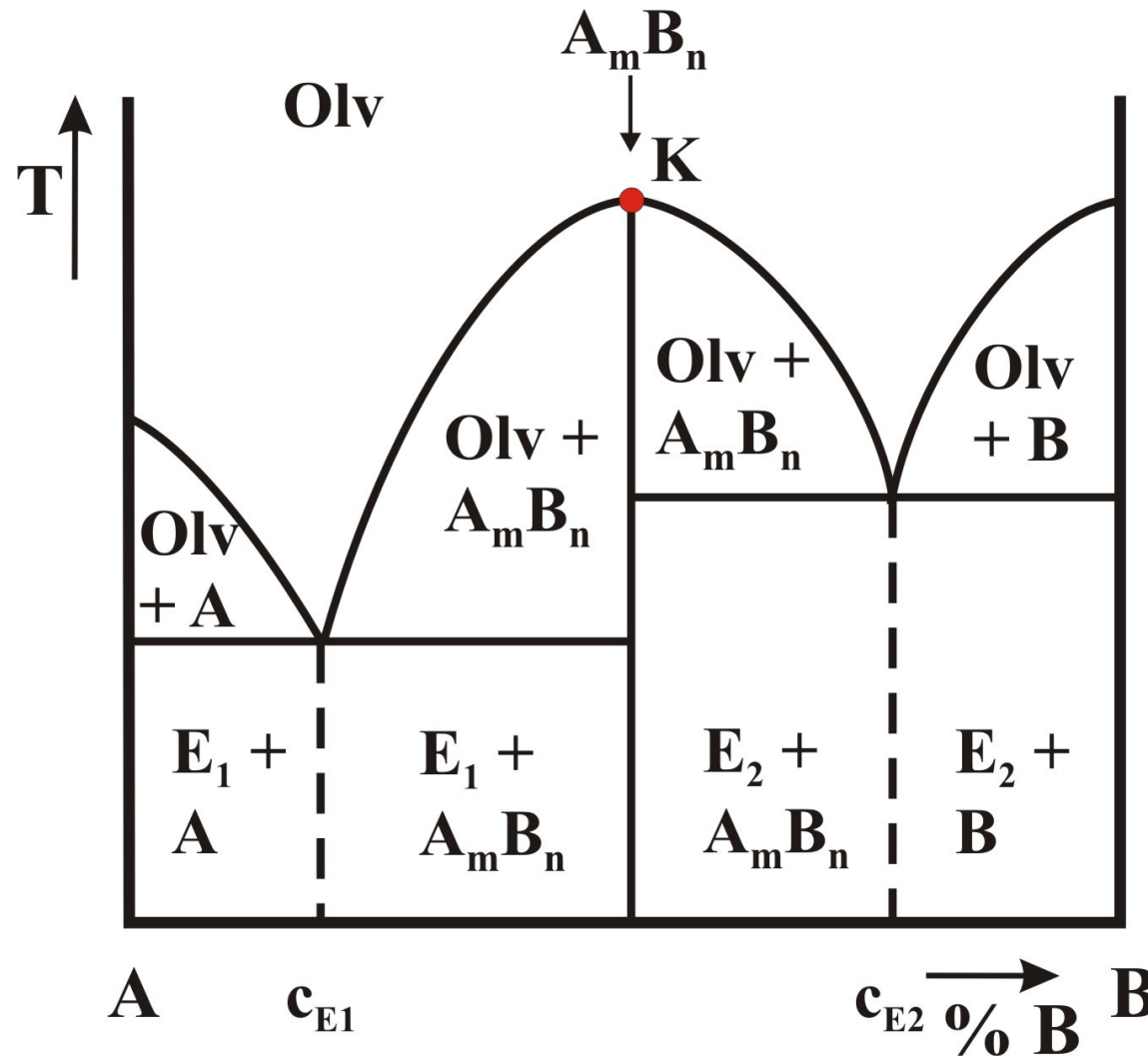






Hőmérséklet	Jelenlévő fázis(ok)	Fázisok összetétele Sn[%]	Fázisok mennyisége [%]
300 °C	Olvadék	Olvadék=30%	Olvadék=100%

**Egymást szilárd állapotban nem oldó,
vegyületfázist tartalmazó kétalkotós
ötvözet egyensúlyi diagramja**



- **Diagramolvasás szabályai:**

- A diagramban felülről lefelé haladva az első vonal a likvidusz görbe a második a szolidusz vonal.
- Ahány ágú a likvidusz görbe, annyi féle fázis kristályosodhat közvetlenül az olvadékból.
- A diagramban jobbról balra vagy balról jobbra haladva heterogén területek mellett csak homogén területek, homogén területek mellett csak heterogén területek lehetnek.
- A heterogén területekben az azokat jobbról és balról határoló homogén területek fázisai vannak jelen. A heterogén területek fázisainak mennyiségét az emelőszabály alkalmazásával határozhatjuk meg.
- Homogén területben 100% homogén fázis található, ebben az esetben az emelőszabály alkalmazásának nincs értelme.
- Ha a szolidusz vonal vízszintes egyenes, akkor az alatta lévő terület heterogén. Ha a szolidusz vonal görbe az alatta lévő terület homogén.
- Ha a diagramban bármilyen irányban haladva ferde vonalat metszünk, a fázisok száma csökken vagy növekszik.

Az eltérések oka 1

Fe-Fe₃C diagram esetén

- **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 Fe₃C interszticiós vegyületnek felel meg**)

Az eltérések oka 2

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

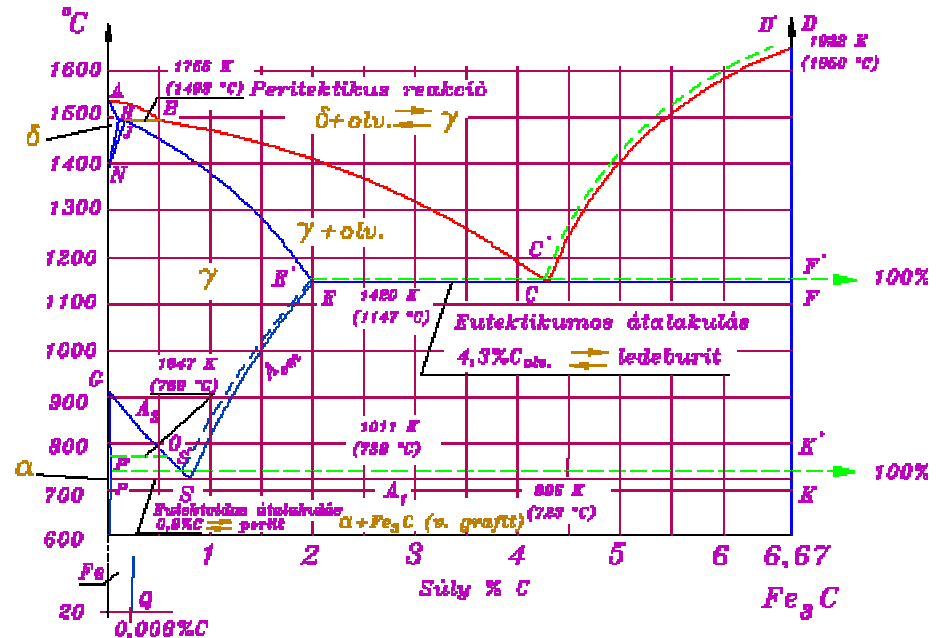
- mint **elemi karbon vagy grafit**,
- és kötött formában, mint **Fe₃C, vaskarbid**
- A **vas-vaskarbid(folyamatos vonal)** és a **vas-grafit (szaggatott vonal)** ötvözeteknek kétféle diagramjuk van. A két diagramnak egy koordináta rendszerben való ábrázolása Heyn-Charpy nevéhez fűződik, ezért nevezzük 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 Fe₃C felbomlása
- 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 csirák 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 tartalmazzanak 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.

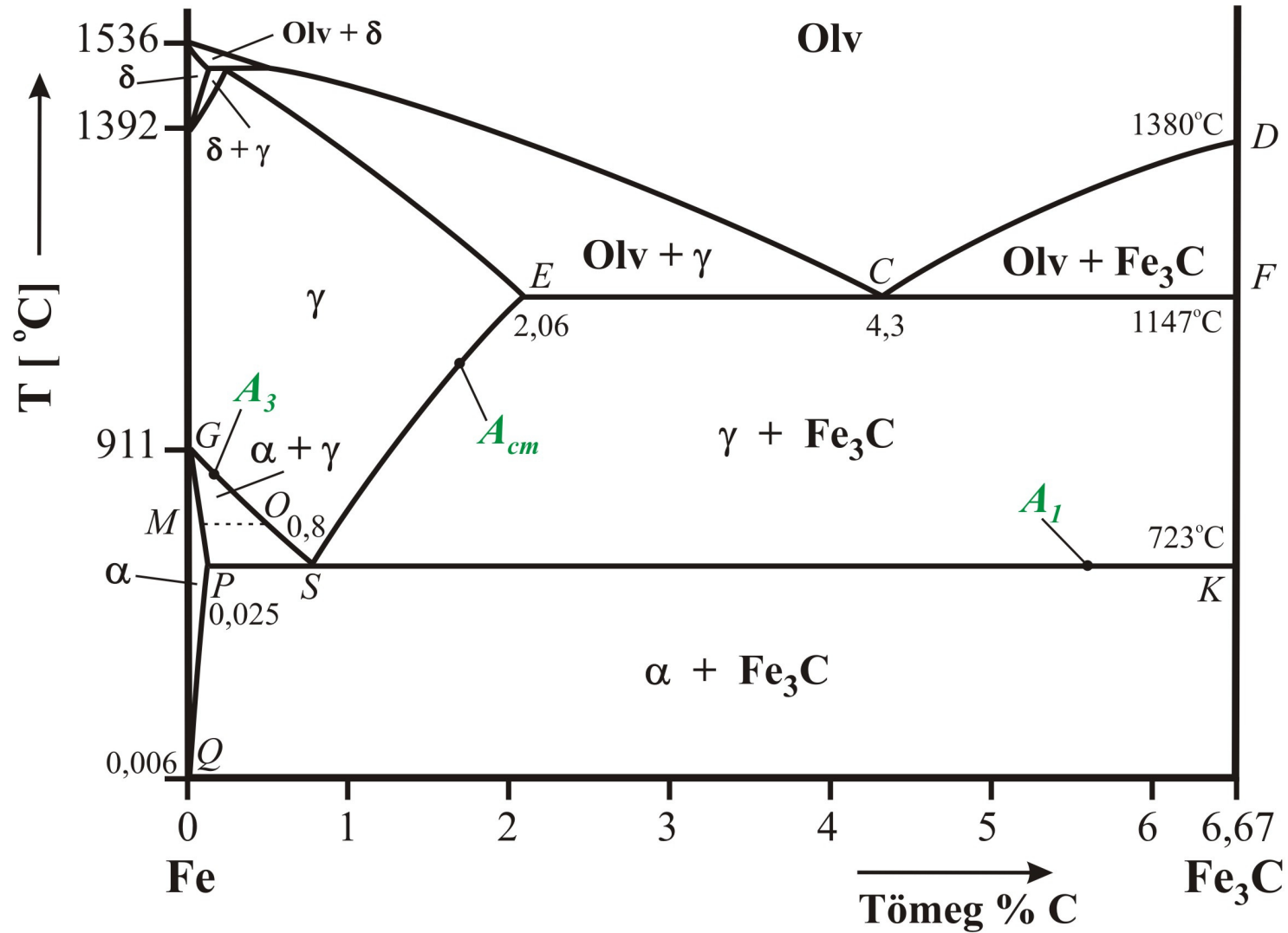
Fe -Fe₃C rendszer

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

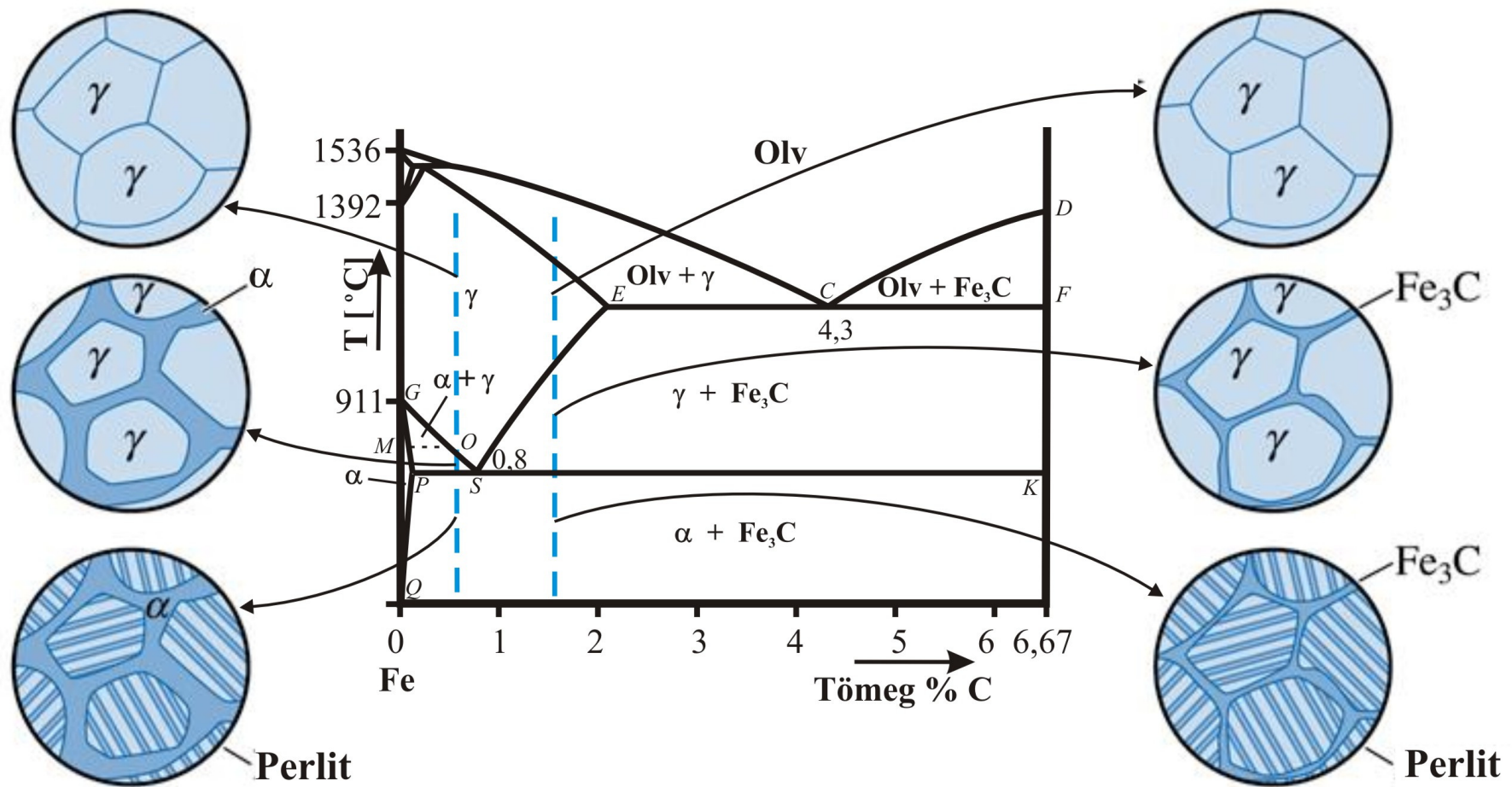
**Vasötvözetek
kristályosodásának vizsgálata**

Fe-Fe₃C rendszer

Fe-Fe₃C metastabilis egyensúlyi diagram fázisokkal

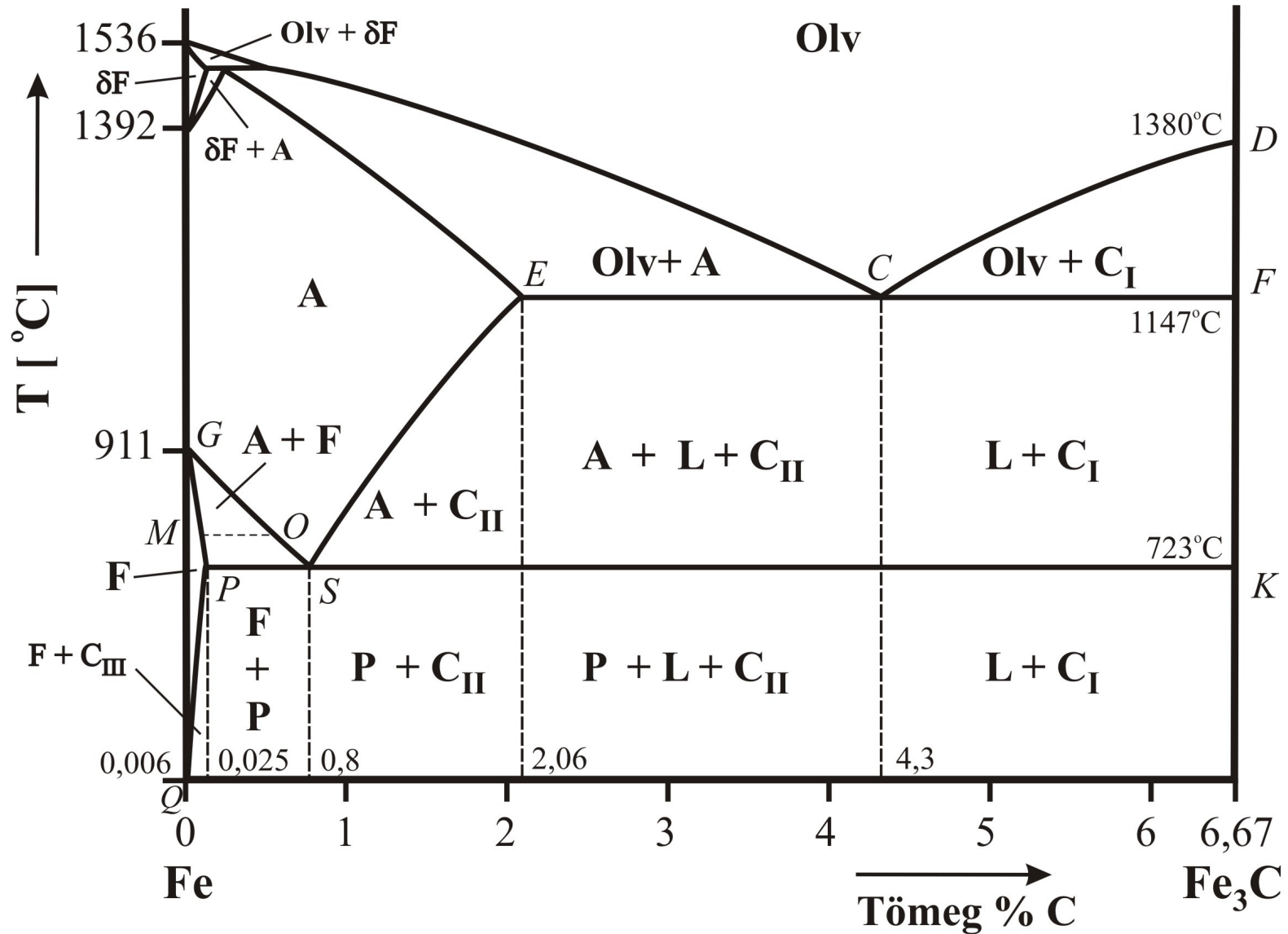


Fe-Fe₃C metastabil egyensúlyi diagram bal alsó sarka, fázisokkal



Fe-Fe₃C metastabil egyensúlyi diagram

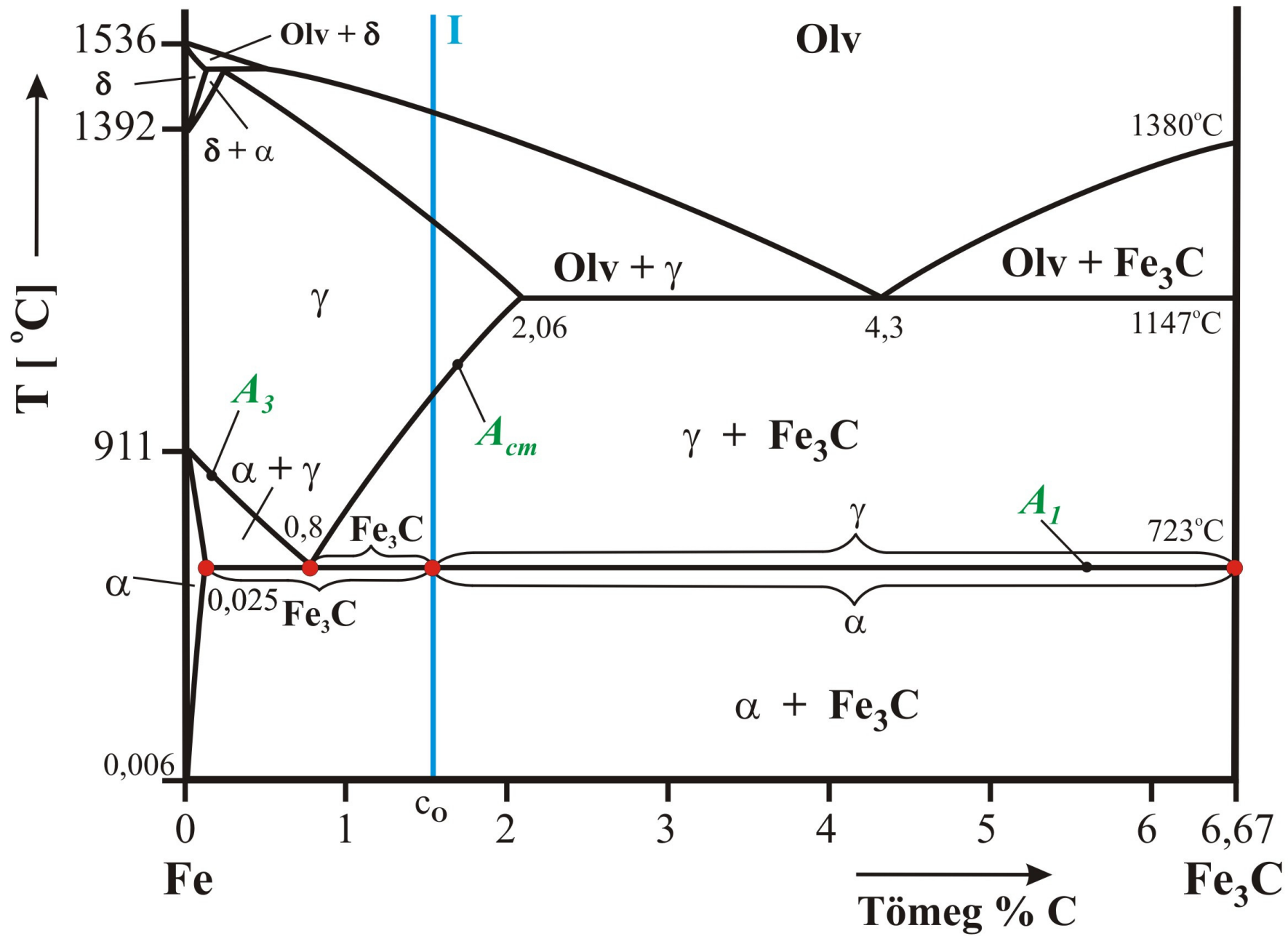
szövetelemei



A kialakult szövetelemek és fázisaik

1. táblázat

Szövetelem	Fázisa(i)	Képződési hőmérséklet
Ausztenit (A)	γ	Likvidusz vonal alatt
Ferrit (F)	α	GOS vonal alatt
Perlit (P)	$\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$	723 °C
Ledeburit (L)	$\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$	1147 °C
primer cementit (C _I)	Fe_3C	CD vonal alatt
szekunder cementit (C _{II})	Fe_3C	SE vonal alatt
tercier cementit (C _{III})	Fe_3C	PQ vonal alatt

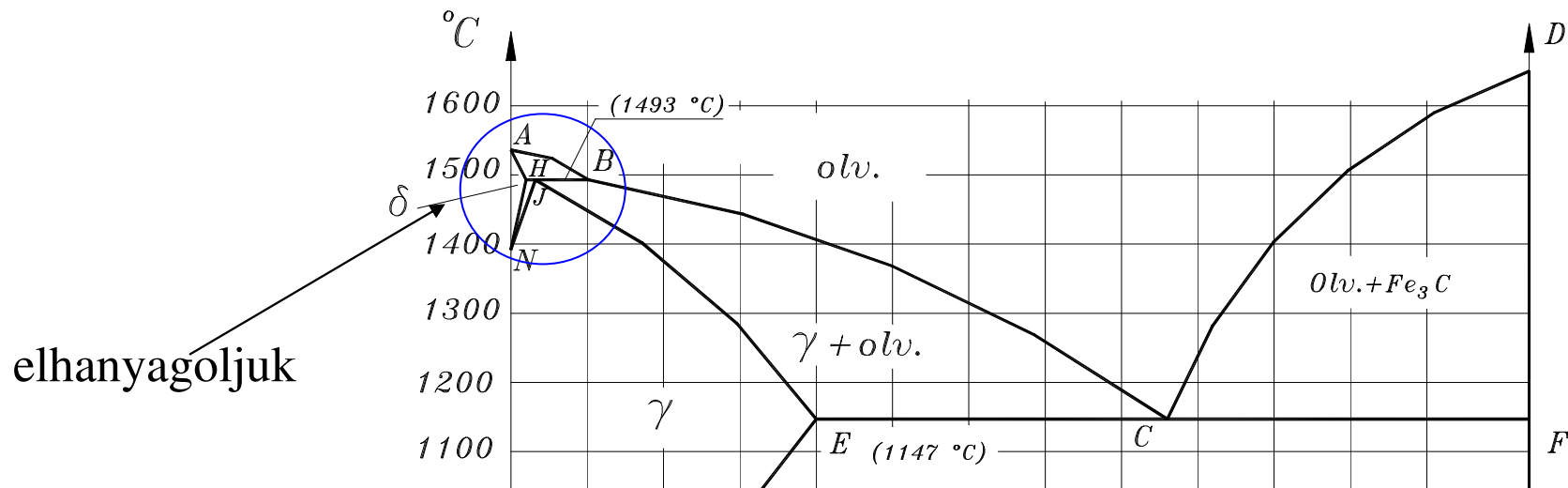


2. táblázat

Hőmérséklet	Jelenlévő fázis(ok)	Fázisok összetétele [%]	Fázisok mennyisége [%]
723+ΔT°C	γ+Fe ₃ C	γ=0,8% Fe ₃ C=6,67%	$\gamma = \frac{6,67 - 1,5}{6,67 - 0,8} \cdot 100 = 88\%$; $Fe_3C = \frac{1,5 - 0,8}{6,67 - 0,8} \cdot 100 = 12\%$
723-ΔT°C	α+Fe ₃ C	α=0,025% Fe ₃ C=6,67%	$\alpha = \frac{6,67 - 1,5}{6,67 - 0,025} \cdot 100 = 78\%$; $Fe_3C = \frac{1,5 - 0,025}{6,67 - 0,025} \cdot 100 = 22\%$
20°C	α +Fe ₃ C	α=0,006% Fe ₃ C=6,67%	$\alpha = \frac{6,67 - 1,5}{6,67 - 0,006} \cdot 100 = 77,6\%$; $Fe_3C = \frac{1,5 - 0,006}{6,67 - 0,006} \cdot 100 = 22,4\%$
1147°C	γ	γ=1,5%	γ = 100%
1500°C	Olvadék	Olvadék=1,5%	Olvadék=100%

Fe-Fe₃C egyensúlyi diagram

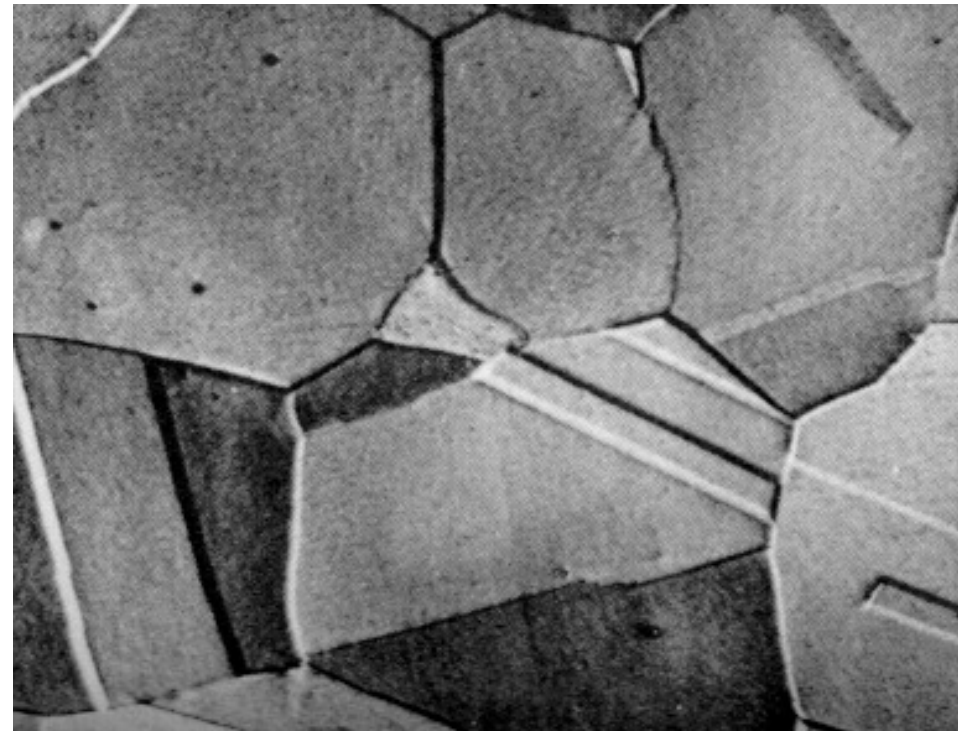
Kristályosodás a BC likvidusz szerint



Az AB likvidusz elhanyagolásdával 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.

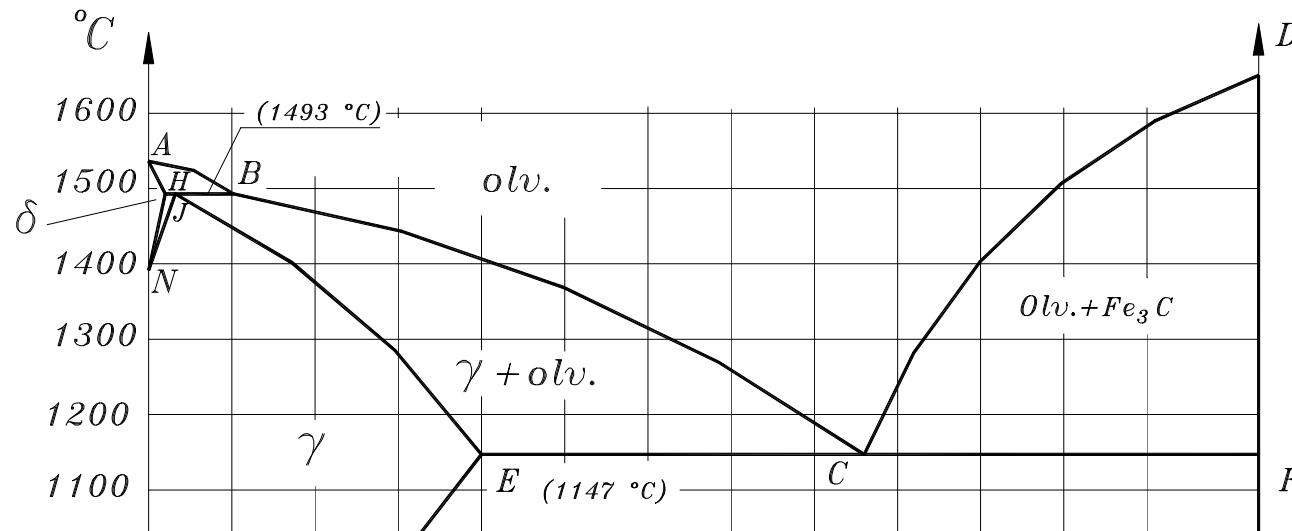
Auszténit

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))



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.

Fe-Fe₃C egyensúlyi diagram

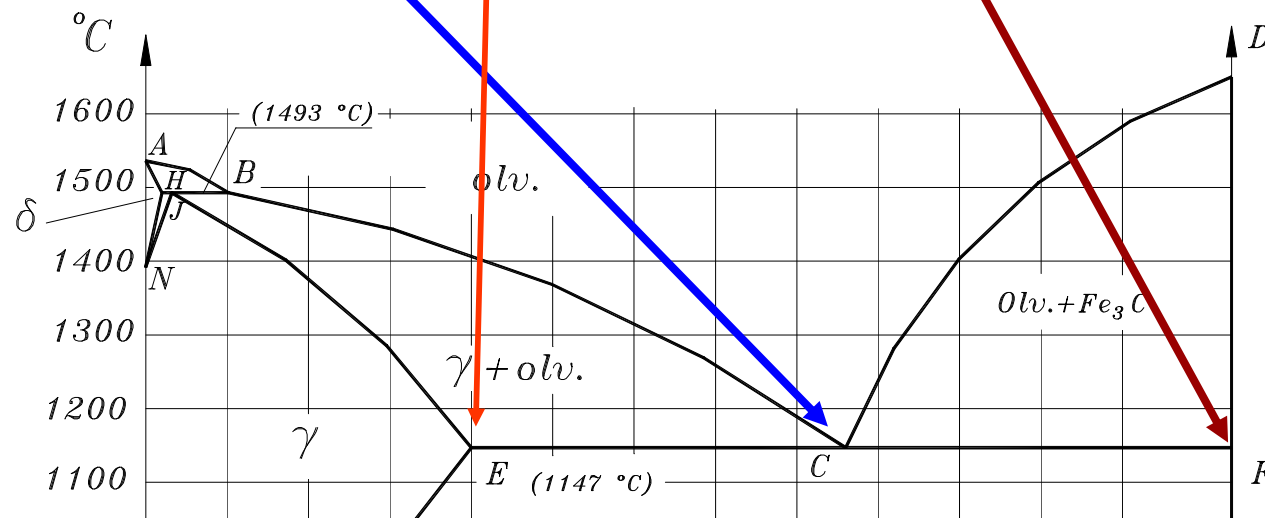
Eutektikum kristályosodása

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**

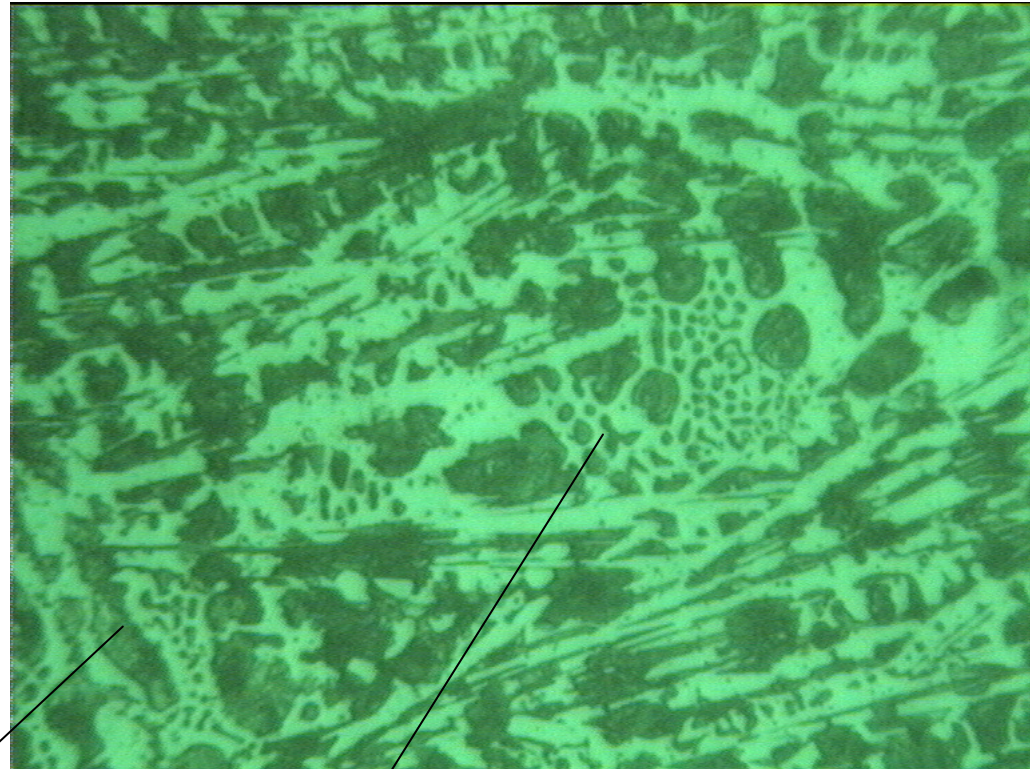


Ledeburit

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

**Kemény, rideg,
kopásálló**

Az ausztenitből
képződött perlit



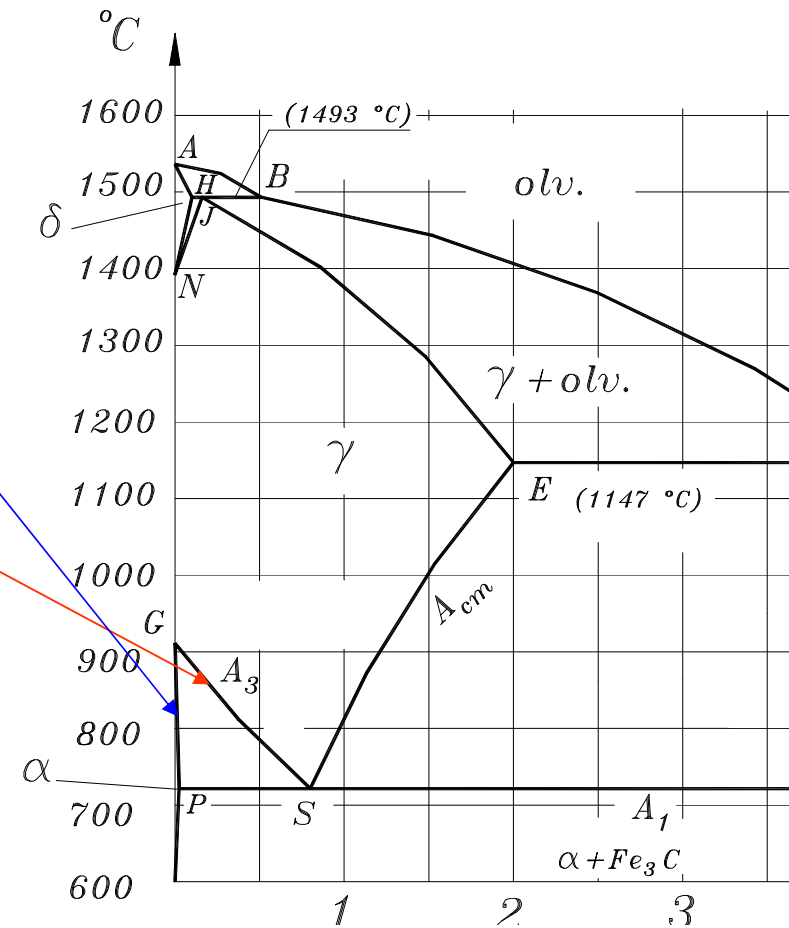
vaskarbid

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
neven ferritté alakul

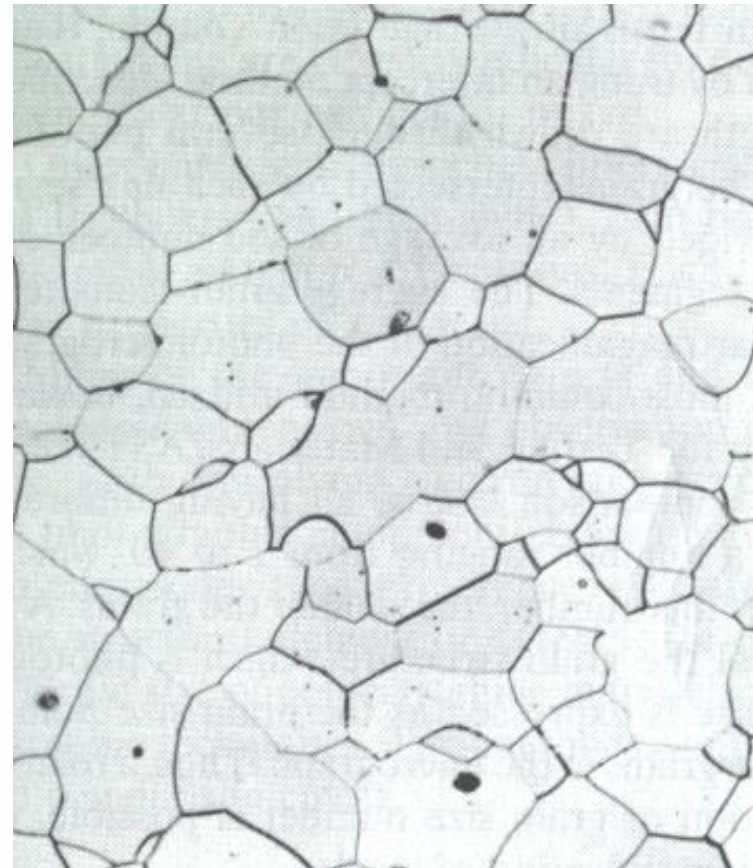


Fe-Fe₃C egyensúlyi diagram

Szilárd állapotban végbemenő átalakulások

A ferrit α szilárd oldat,
térközepes köbös rácsú
 α -Fe-ban intersztíciósan
oldott C.

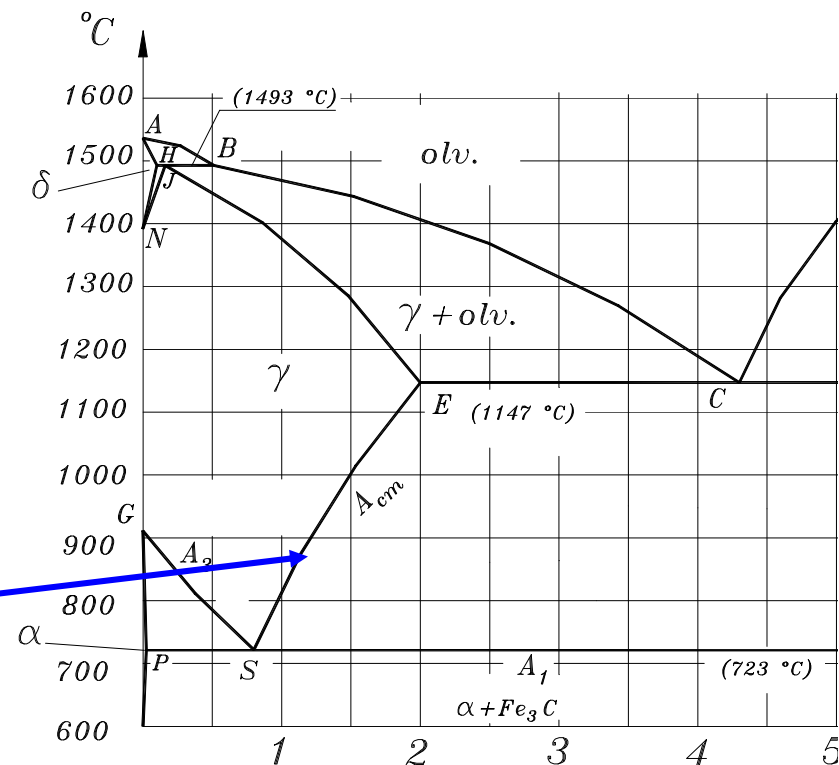
Maximális C
oldóképessége 723 C°-
on 0,025 % (P pont)
minimális
szobahőmérsékleten
0,006 % (Q pont)



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.

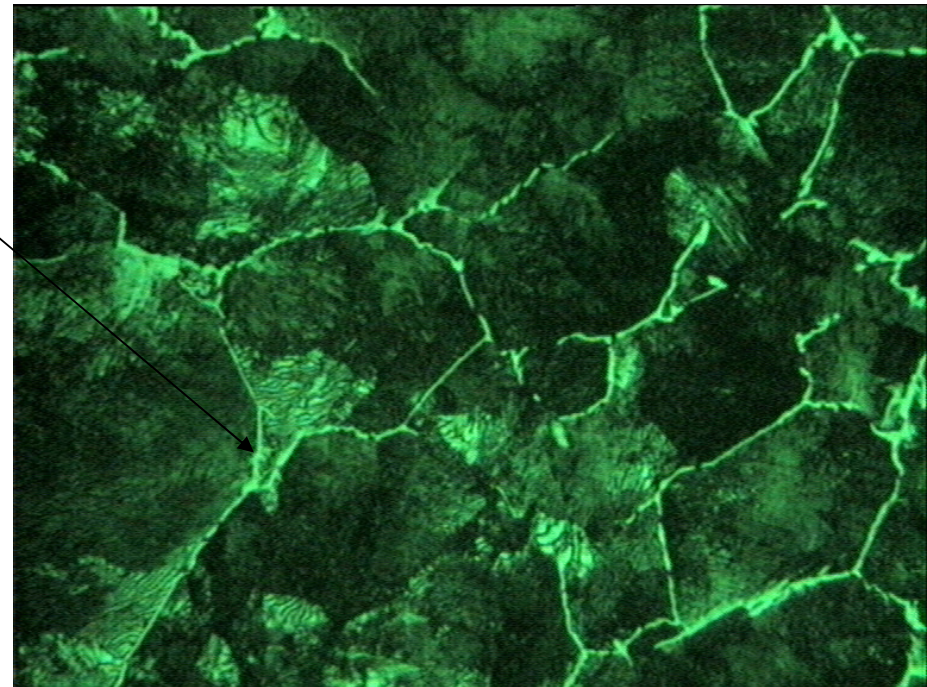


Szövetdiagram 20°

Fe-Fe₃C egyensúlyi diagram

Szilárd állapotban végbemenő átalakulások

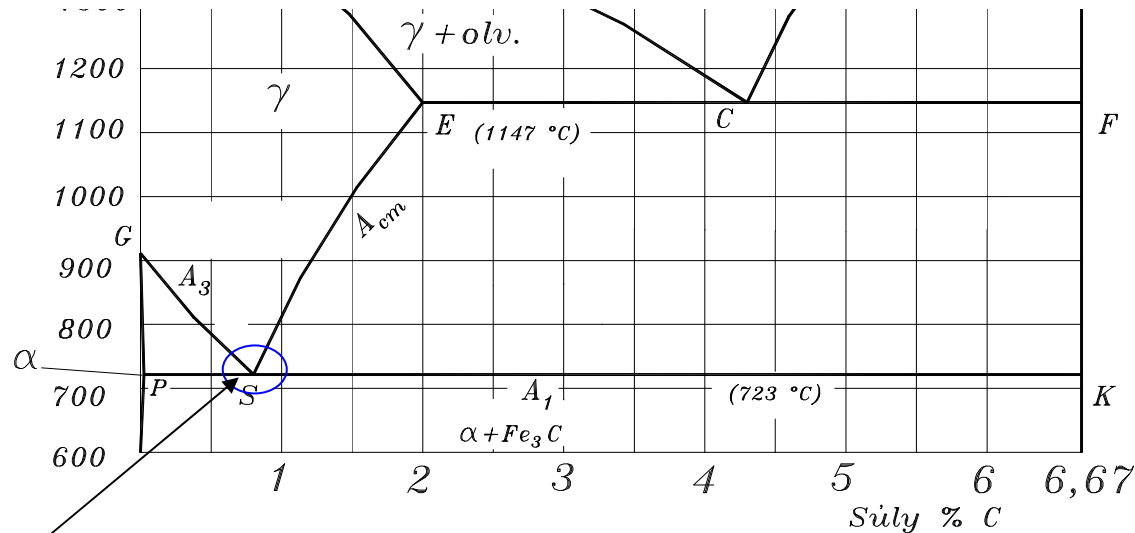
Szekunder cementit



Fe-Fe₃C egyensúlyi diagram

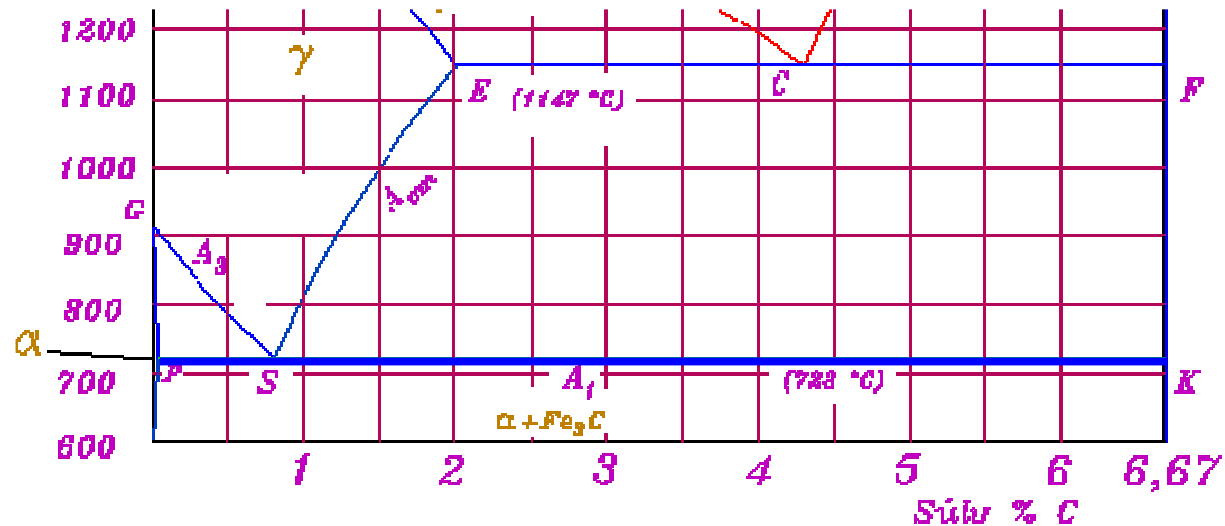
Szilárd állapotban végbemenő átalakulások

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:

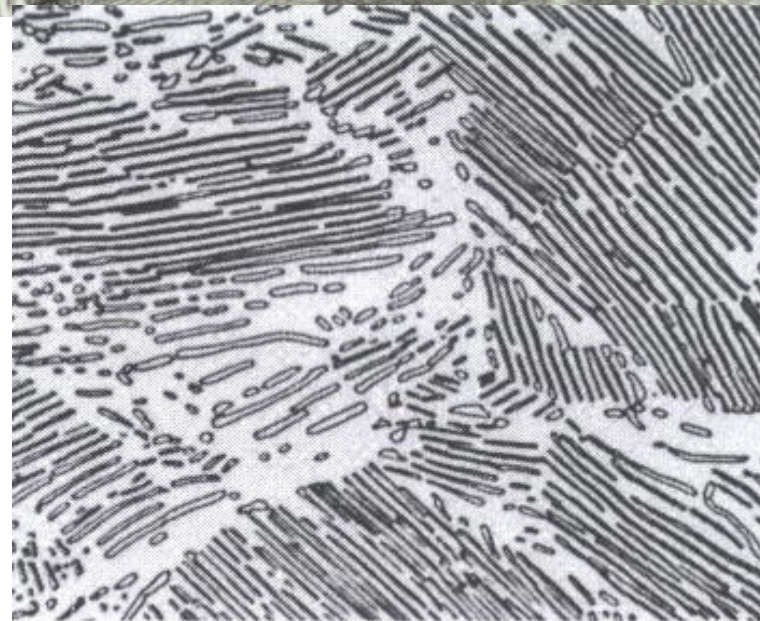


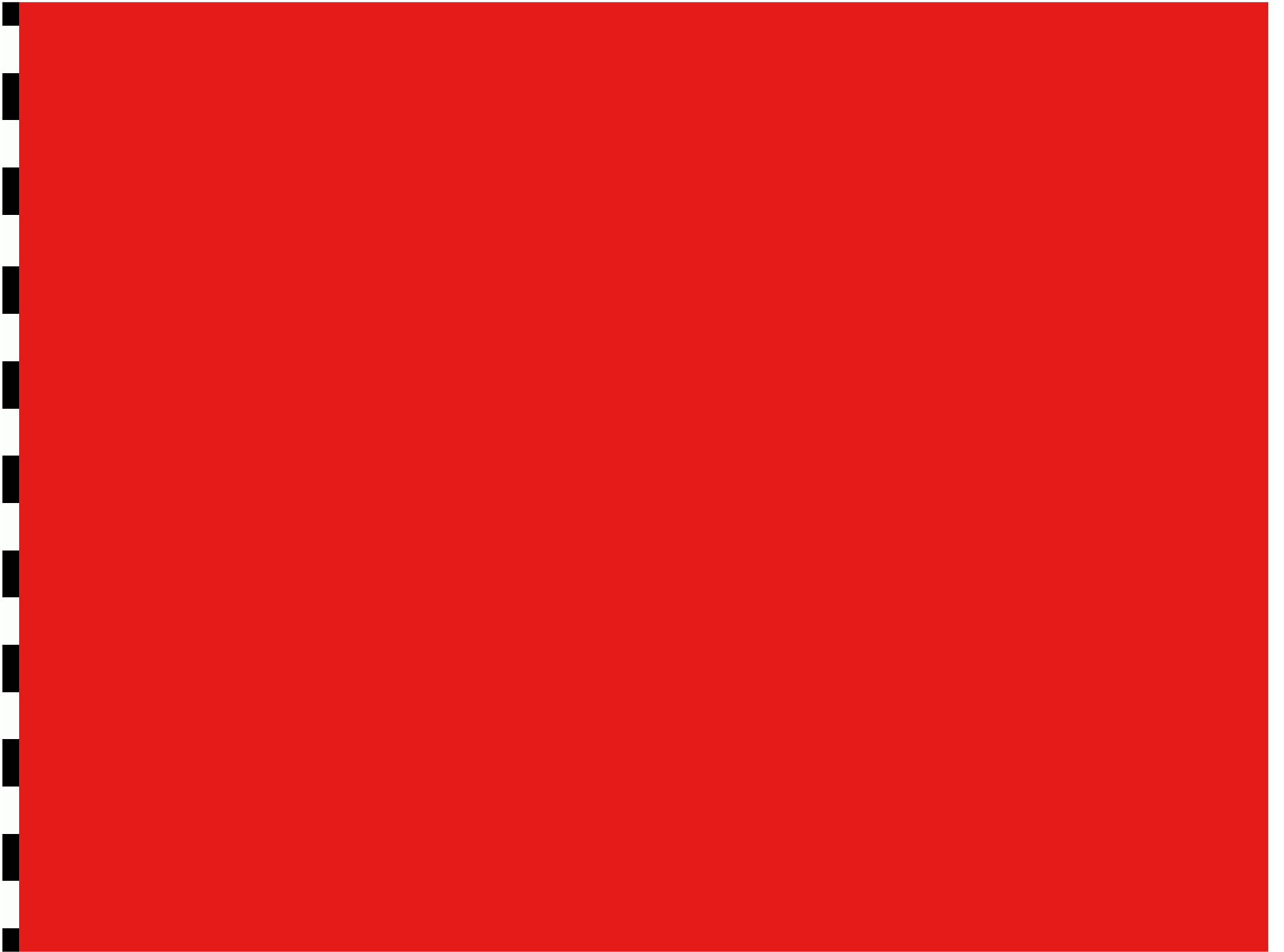
A keletkező kétfázisú szövetelemet, **eutektoidot** perlitnek nevezzük.

Perlit

A keletkező perlit
kétfázisú
szövetelem,
eutektoid

723 C°-on képződik

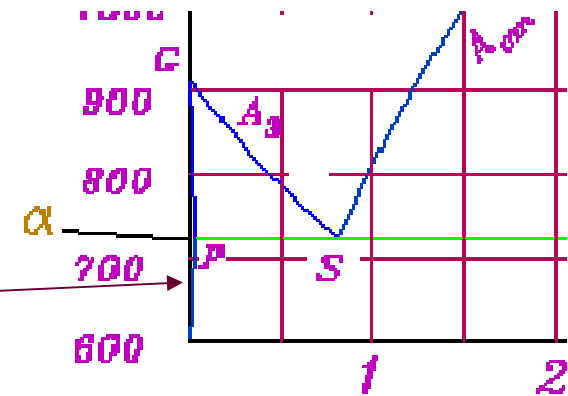




Fe-Fe₃C egyensúlyi diagram

Szilárd állapotban végbemenő átalakulások

Az allotróp átalakulással képződő t.k.k. rácsú α szilárd oldat is korlátozottan oldja a karbont. A korlátozott oldékonyság vonala a PQ, ami az oldhatatlanná váló C -nak Fe₃C_{III} formában való kiválását mutatja. A Fe₃C_{III} olyan kis mennyiségű, hogy általában elhanyagoljuk.

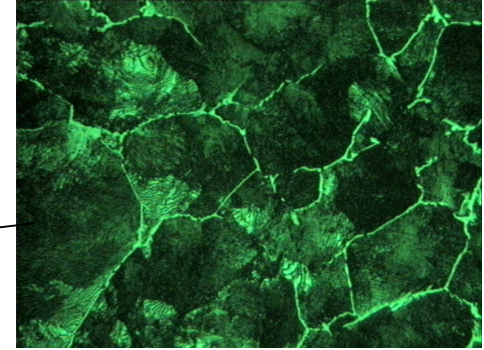
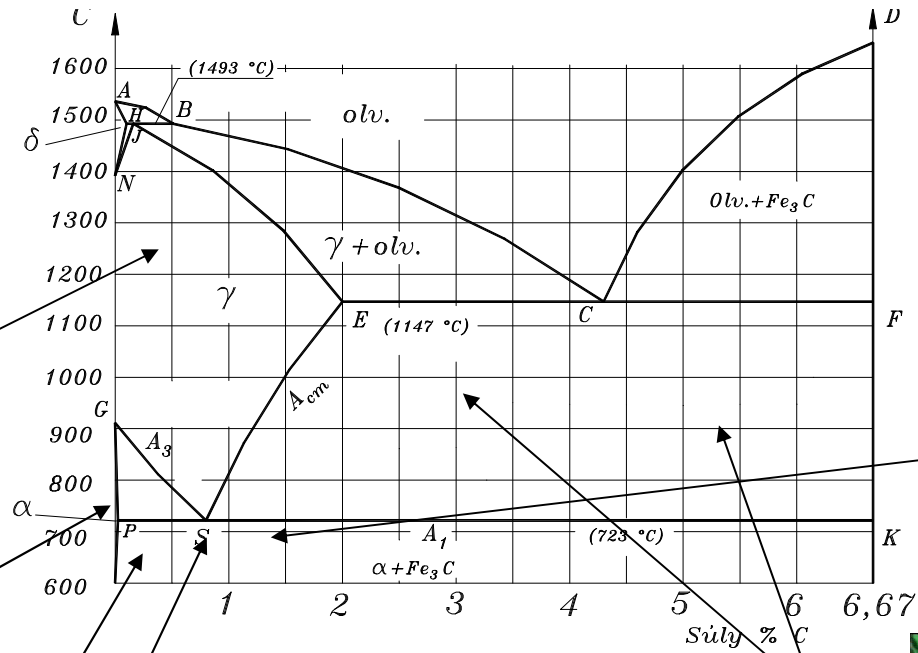
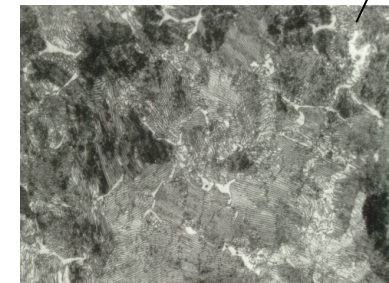
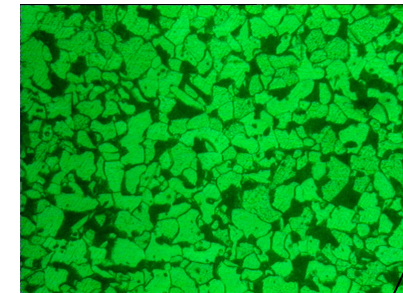
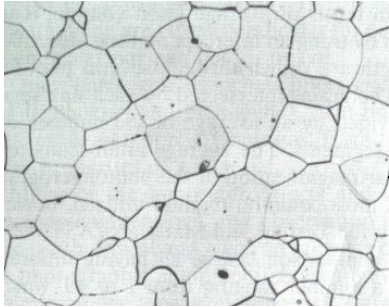
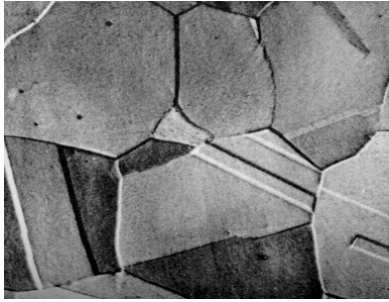


A vasötvözeteket a diagram alapján csoportosíthatjuk

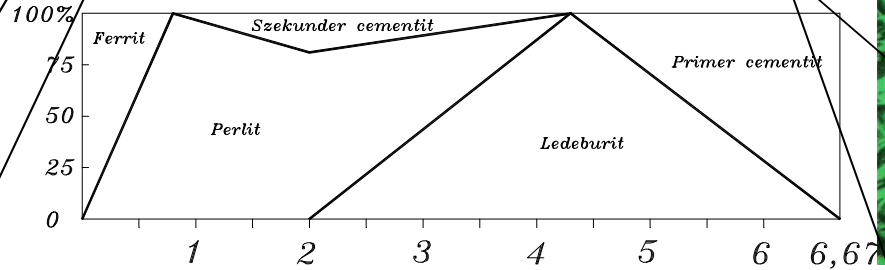
2,06% karbon tartalomig **acélokról**, az annál nagyobb karbon tartalom esetén **nyersvasakról**, vagy **öntöttvasakról** beszélünk.

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**,

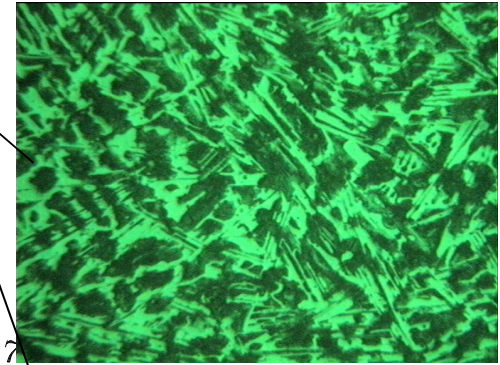
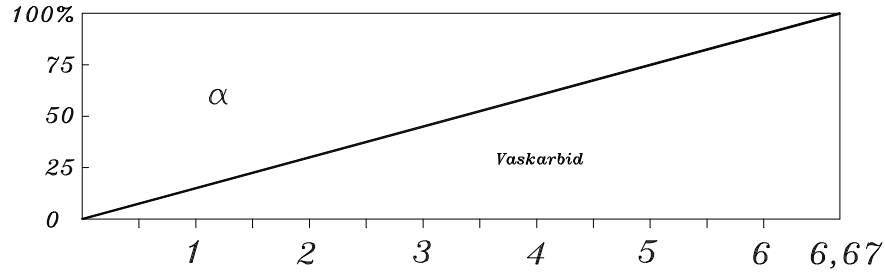
$C < 4,3$ %-nál öntöttvasakat hipoeutektikus, a **$C > 4,3$ % hipereutektikus öntöttvasaknak**



Szövetdiagram 20°



Fázisdiagram 20°



Az acélok

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

A C tartalom hatása

0,15 % C

Szövetszerkezet:

ferrit + perlit

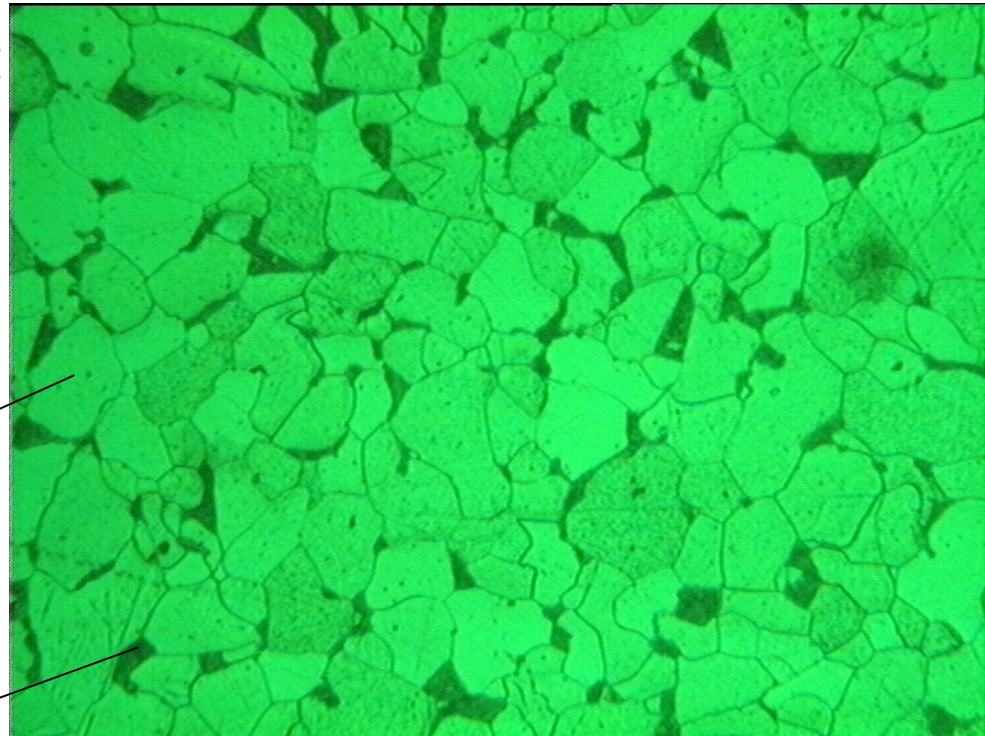
N 200x

Marószer: nitál

(alkoholos salétromsav)

ferrit

perlit



A C tartalom hatása

0,25 % C

Szövetszerkezet:

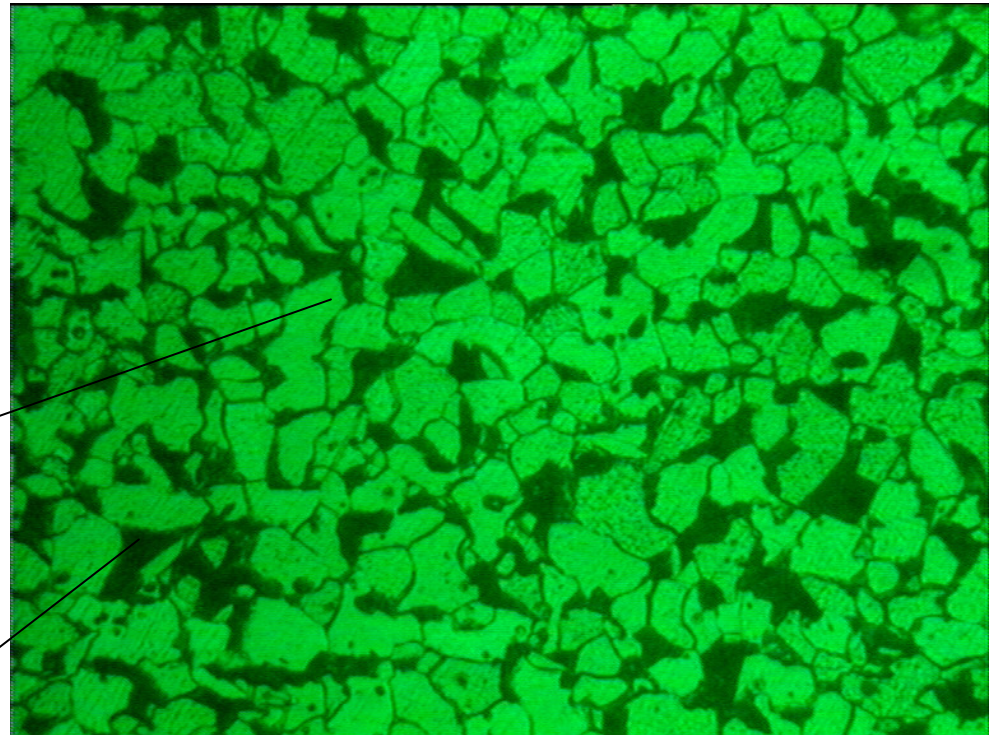
ferrit + perlit

N 200x

Marószer: nitál

ferrit

perlit



A C tartalom hatása

0,35 % C

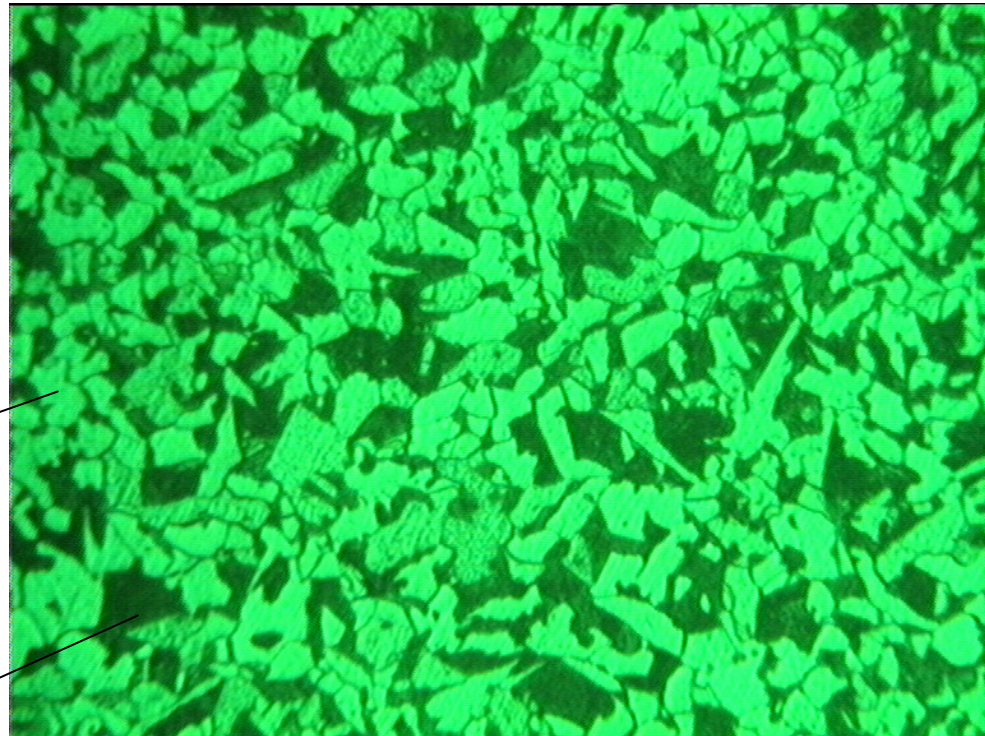
Szövetszerkezet:

ferrit + perlit

N 200x

ferrit

perlit



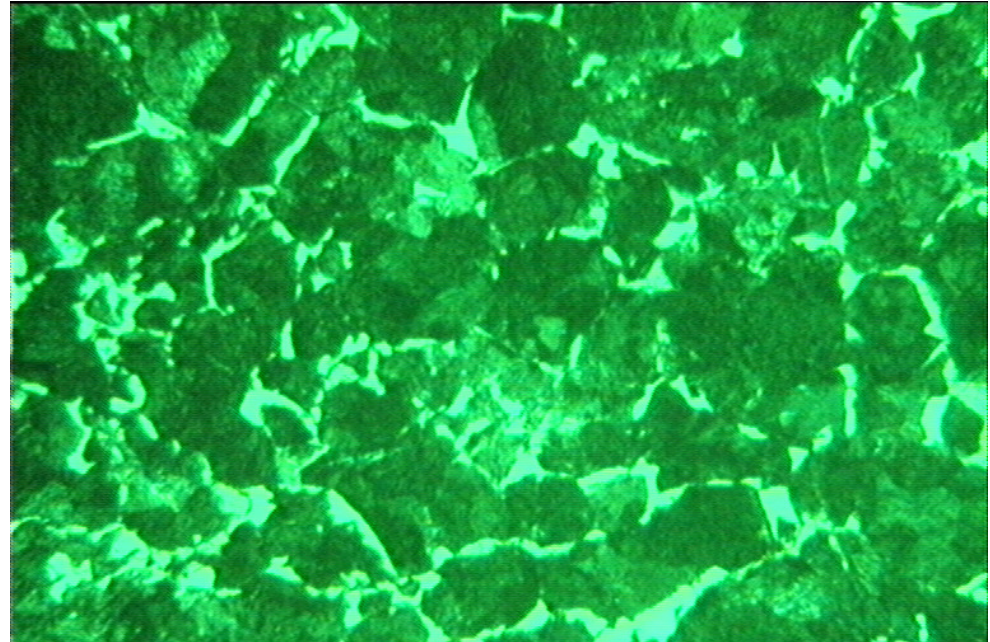
A C tartalom hatása

0,45 % C

Szövetszerkezet:

ferrit + perlit

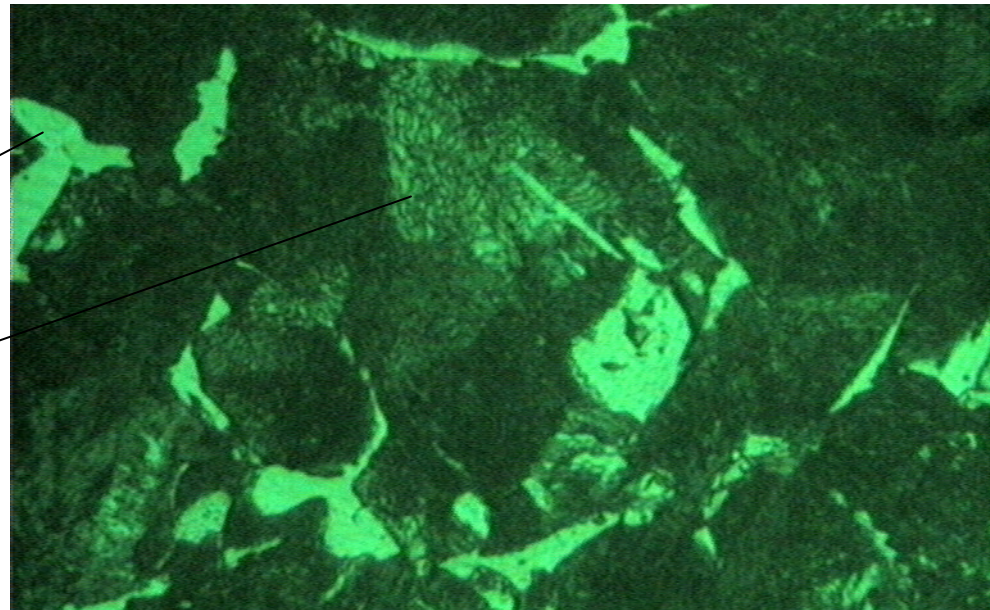
N 200x



N 500x

ferrit

perlit



A C

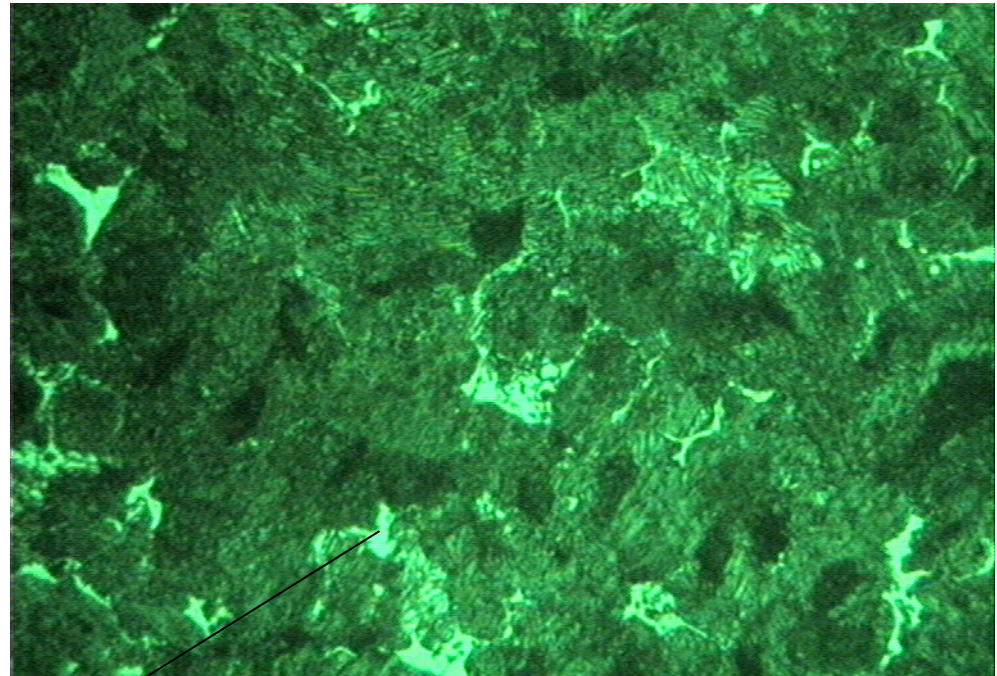
tartalom hatása

0,60 % C

Szövetszerkezet:

ferrit + perlit

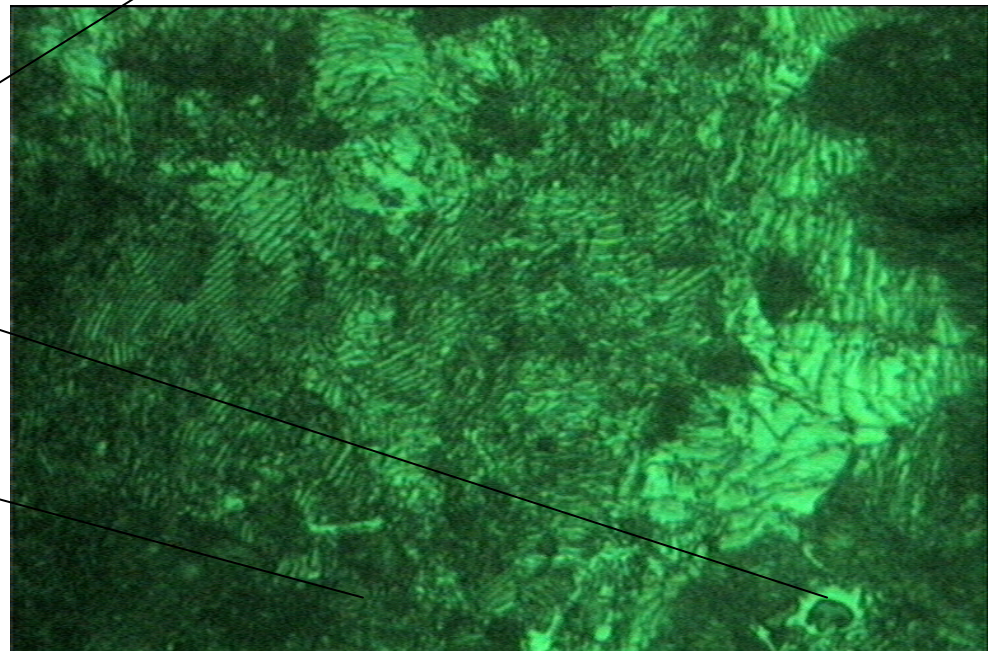
N 200x



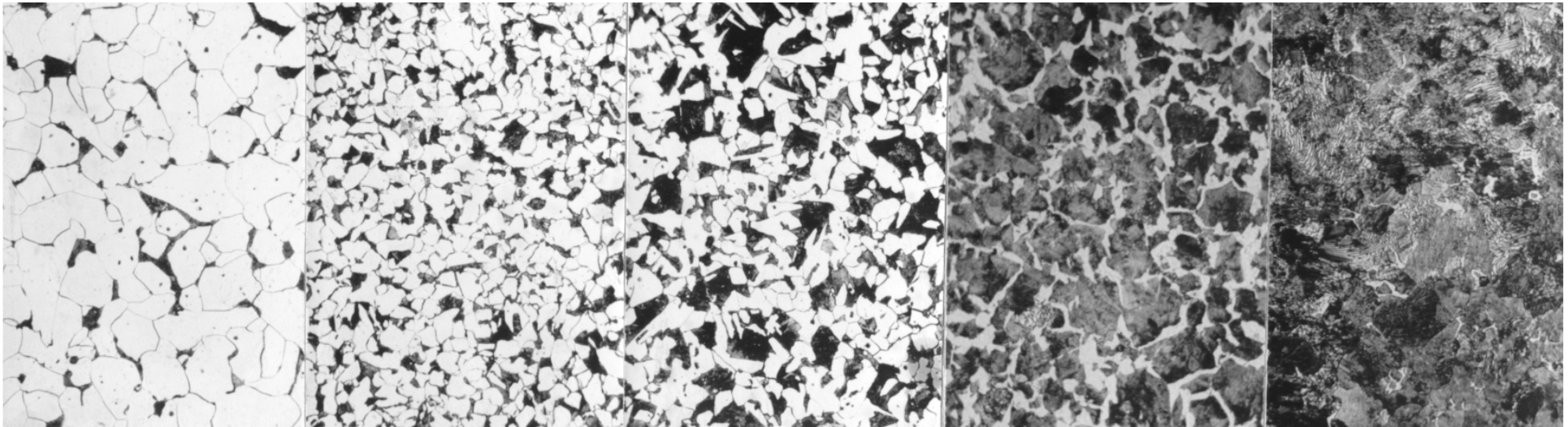
N 500x

ferrit

perlit



A C tartalom hatása a szövetstruktúrára



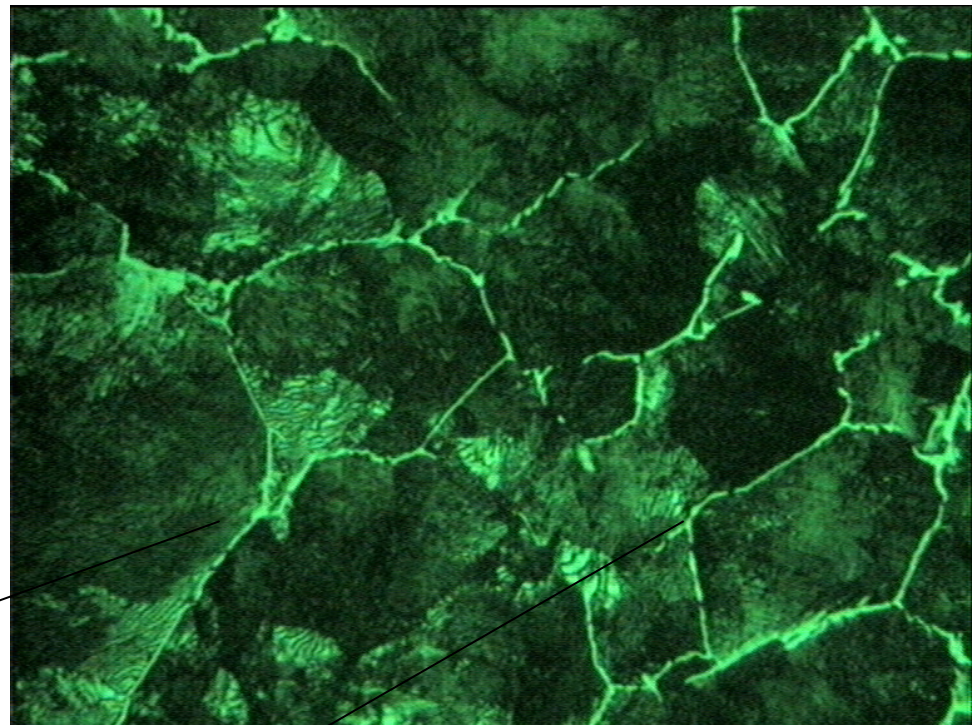
A C tartalom növekedésével csökken a ferrit és nő a perlit mennyisége, ami a szilárdság, a keménység növekedését, az alakváltozókéesség csökkenését eredményezi

Hipereutektoidos acél C $\approx 1,3$ %

**Szövetszerkezet
perlit+ szekunder
cementit**

N 250 x

Marószer: Nitál



perlit

Szekunder cementit
(hálós)

Fe- Fe₃C rendszer

Öntöttvasak

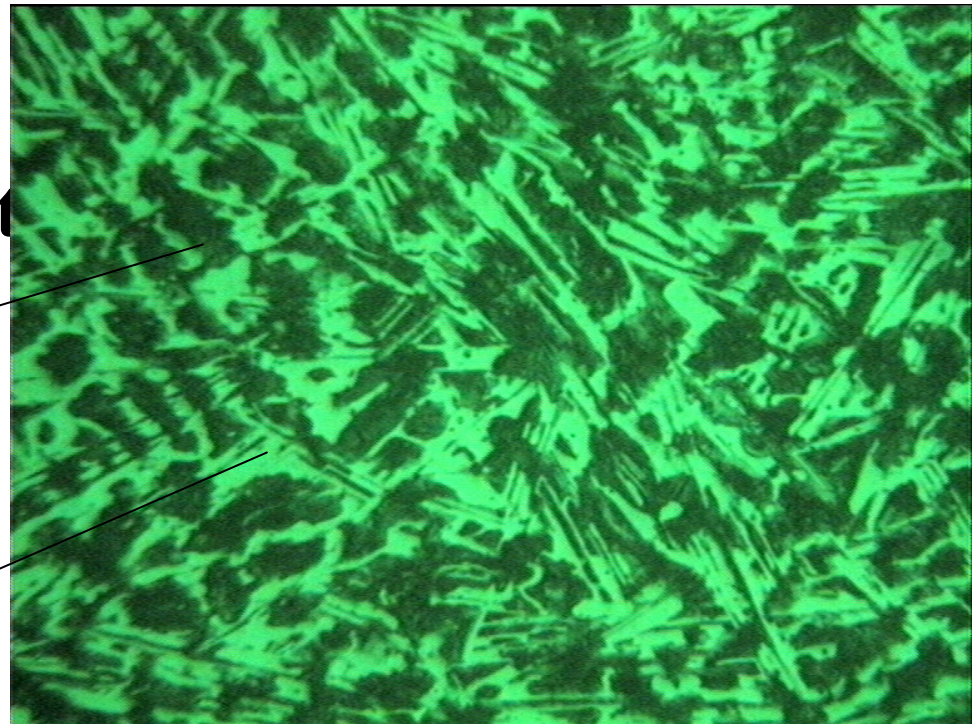
- A karbidos rendszer szerint kristályosodó öntöttvasakat **önálló szerkezeti anyagként nem használják**, mivel nagyon kemények, nem alakíthatóak, a megmunkálásuk is nehézségeket okoz
- A karbidos rendszer szerinti kristályosodás elsősorban azokra az ötvözetekre jellemző, amelyeket a továbbiakban az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

Hipoeutektikus öntöttvas

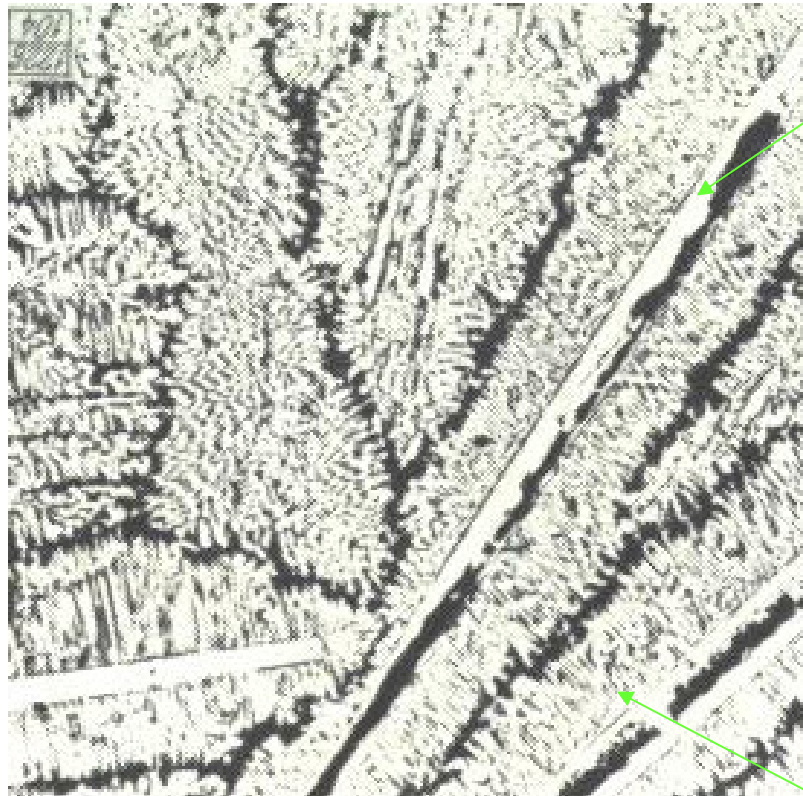
**Szövetszerkezet:
perlit + ledeburit +
szekunder cementit**

perlit

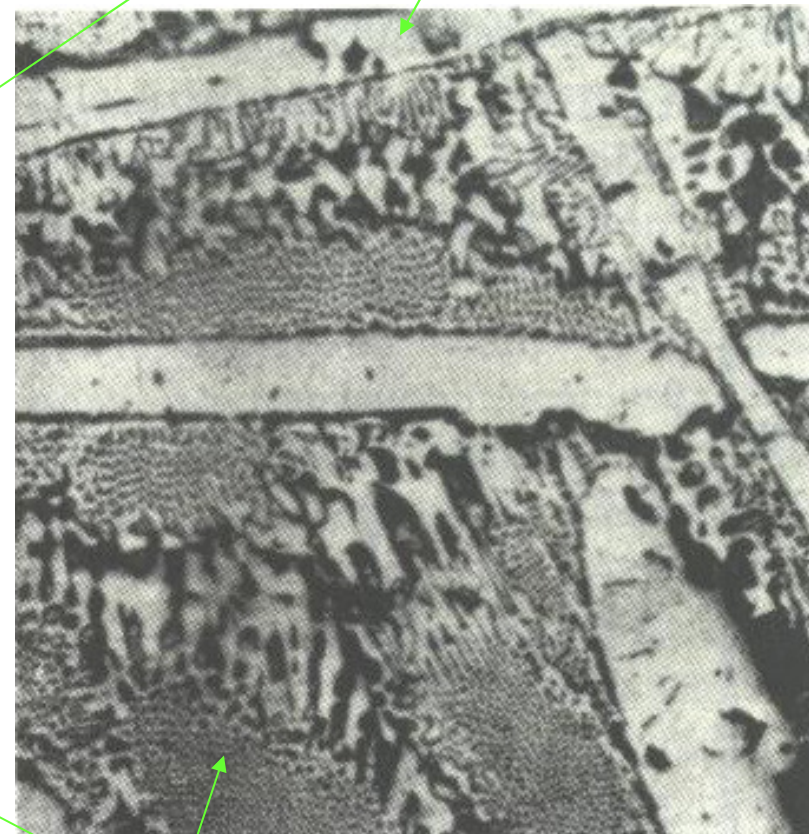
ledeburit



Hipereutektikus öntöttvas



N 50 x



N 300x

ledeburit

Primer cementit