



SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM

Anyagtudományi és Technológiai Tanszék



Anyagszerkezet és –vizsgálat

NGB_AJ021_1

3. Előadás

Dr. Hargitai Hajnalka

(Csizmazia Ferencné dr. előadásanyagai alapján)



Tematika



- Színfémek és kétalkotós ötvözetek kristályosodása, fázisátalakulásai lehűlés folyamán.
- Fázis, szabadsági fok, egyensúlyi rendszer, Gibbs-féle fázisszabály értelmezése.
- Fázisok típusai. Egyensúlyi fázis-átalakulások, homogén és heterogén szövetszerkezet kialakulása.
- Kétalkotós ötvözet egyensúlyi diagramjainak alaptípusai.
- Állapotábrák gyakorlati alkalmazási lehetőségei, egyensúlyi fázisok meghatározása. Példák kétalkotós egyensúlyi diagramokra (Sn-Pb, Al-Si rendszerek).



Ötvözetek



- **Színfémek** nem tudják az ipar igényeit kielégíteni
- **Ötvözet** (látszatra egynemű, fémes természetű elegy, két vagy több fém összeolvasztásával, vagy egymásban való oldásával) (fémek, metalloidok-pl. C, S, nem fémes elemek- pl. S, P, gázok – pl. N)

☞ **Alapfém**

☞ **ötvöző**

☞ **szennyező**



Az ötvözetek szerkezete, fázisai



- színfém,
- szilárdoldat
- vegyület

Ezek a **kristályos fázisok** előfordulhatnak **önállóan**, mint **egyfázisú** szövetelemek, de alkothatnak egymással **kétfázisú** heterogén **szövetelemeket** is (eutektikum, eutektoid)



Szilárd oldat



- Oldat jellegű **fázis**
- Az alkotói közösen építik fel a rácsszerkezetet
- **Oldó fém rácsszerkezete** jellemző
- Az ötvözőfém atomjainak beilleszkedése két módon:
 - Szubsztitúciós** (helyettesítés)
 - Intersztíciós** (beékelődés)

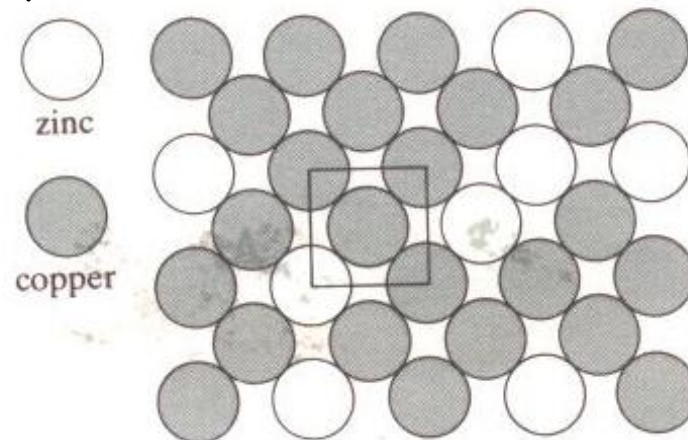


Szilárd oldat



Jelölése: a görög ábécé betűivel, pl. α -Fe, γ -Fe

⇒szubsztitúciós az
alapfém atomját
helyettesíti

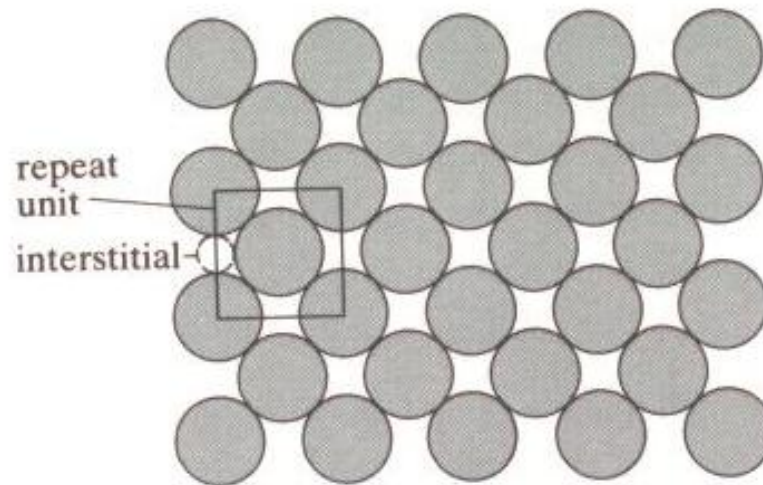


⇒interszticiós az
alapfém atomjai közé
beékelődik

Kis rendszámú, kis átmérőjű

elemek: C, N, B, O, H

Fe

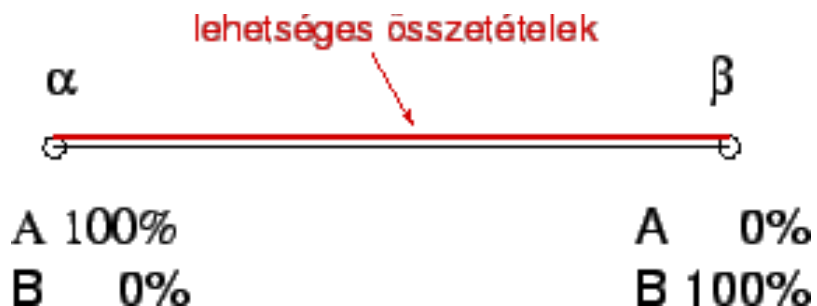




Az oldódás lehet:



- **Korlátlan** (csak szubsztitúciós), ha:
 - azonos a rácsszerkezet
 - atomátmérőben $\pm 14 - 15 \%$ -nál nem nagyobb az eltérés
 - azonos a vegyérték
 - Az elektrokémiai potenciálban kis különbség



Pl. Cu-Ni, Au-Ag, Fe-Ni

– **Korlátozott**



Az ötvözet alkotó nem oldják egymást



Ha az ötvözet alkotói nem oldják egymást szilárd állapotban, a színfémek külön kristályosodnak, az ötvözetrendszerben megjelenik az eutektikum



A fémek és ötvözetek kristályosodása, átalakulásai



Hogyan jön létre a szilárd szerkezet?

Kristályosodás:

olyan fázisátalakulás, amelyben **folyadék fázis szilárd fázissá** alakul át.



A fémek és ötvözetek kristályosodása, átalakulásai



Rendszer:

- A rendszer homogén, önálló határoló felületekkel elkülöníthető része a **fázis. Jele: F**
- **Alkotói, komponensek (azonos atom fajtájú anyagok) Jele: K**
- **Állapottényezők: T, p, c**

Az állapotváltozók és a fázisok száma között egyensúly esetén összefüggés van.



A Gibbs féle fázisszabály fémekre érvényes alakja



- $F + S_z = K + 1$

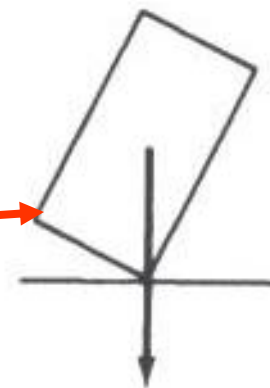
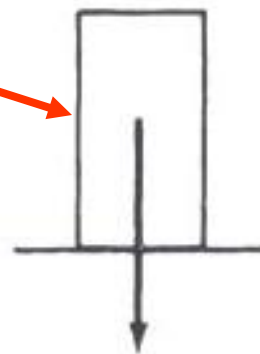
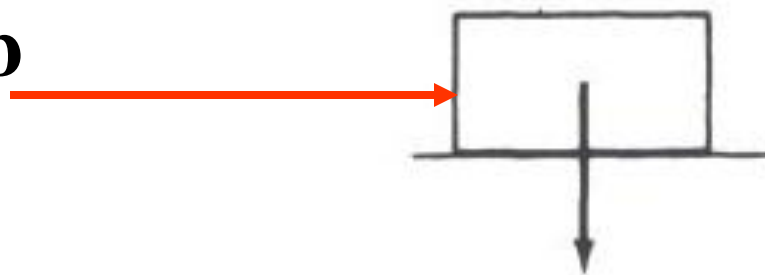
A rendszer mindig a legalacsonyabb energiaszintre törekszik.



A rendszer állapota lehet



- **Stabil** (legalacsonyabb energia szint)
- **metastabil** azt jelenti, hogy a rendszer fázisainak energiája nem a legkisebb, mégis hosszú ideig képesek ebben az állapotban maradni
- **instabil**





A rendszer állapotának vizsgálata a szabadenergiákkal



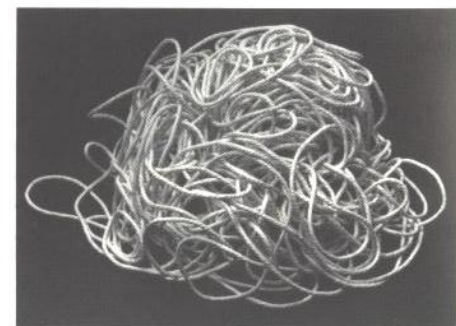
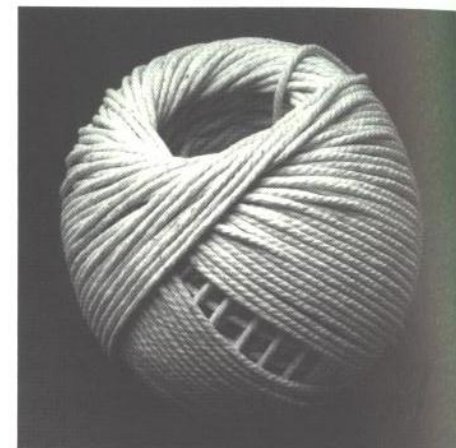
A rendszer adott
körülmények között akkor
van egyensúlyban, ha a
szabadenergiája
minimális!

A szabadenergia felírható :

$$F = U - T.S$$

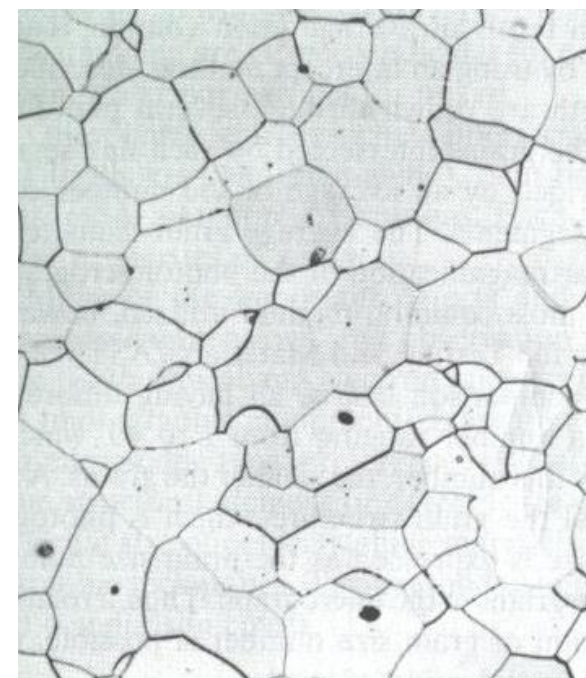
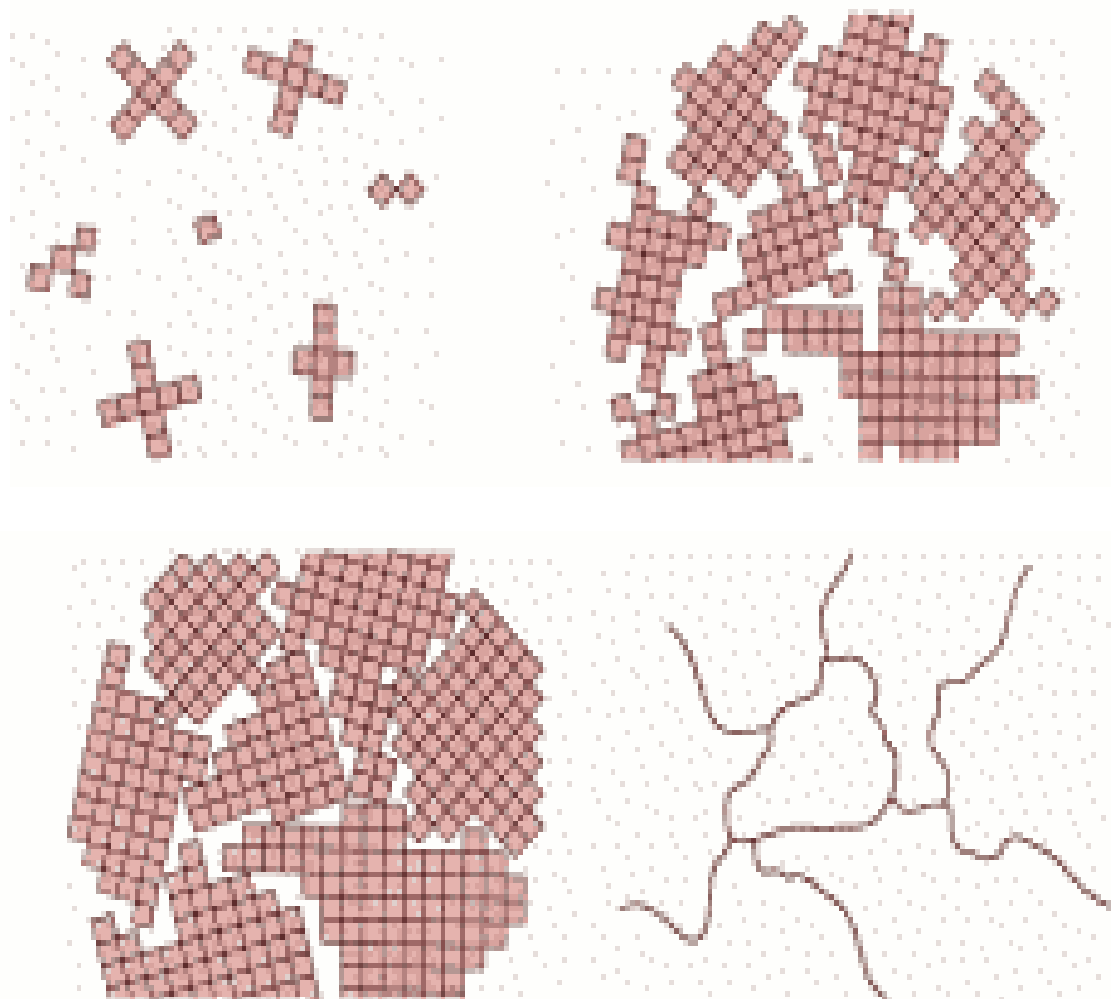
U: belső energia,

T: hőmérséklet, S: entrópia, rendezetlenség





Olvadék (fémek) dermedése





Fázisátalakulás



- A fázis fizikai tulajdonságai hirtelen megváltozhatnak.

Például a két fázis térfogata jelentősen eltérhet egymástól (pl. a víz megfagyásakor, amikor a víz térfogata megnő a jég állapotba alakulva).

A hőmérséklet (vagy a nyomás) változásával több **fém atomjai** is más-más kristályszerkezetben stabilak, azaz megváltozik a rácsszerkezet.

A **hőmérséklet** növelésével az allotróp átalakulások egyre „lazább”, „nyitottabb” módosulatokat hoznak létre.

ALLOTRÓPIA



Színfém lehülési görbéje

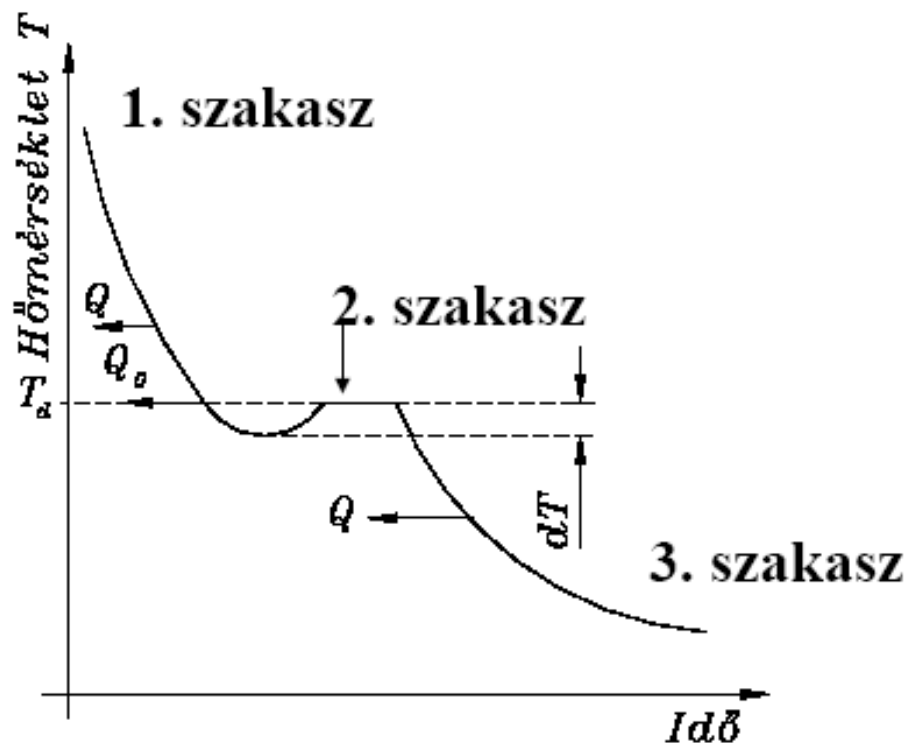
Nincs allotróp átalakulás



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

$$K = 1$$

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

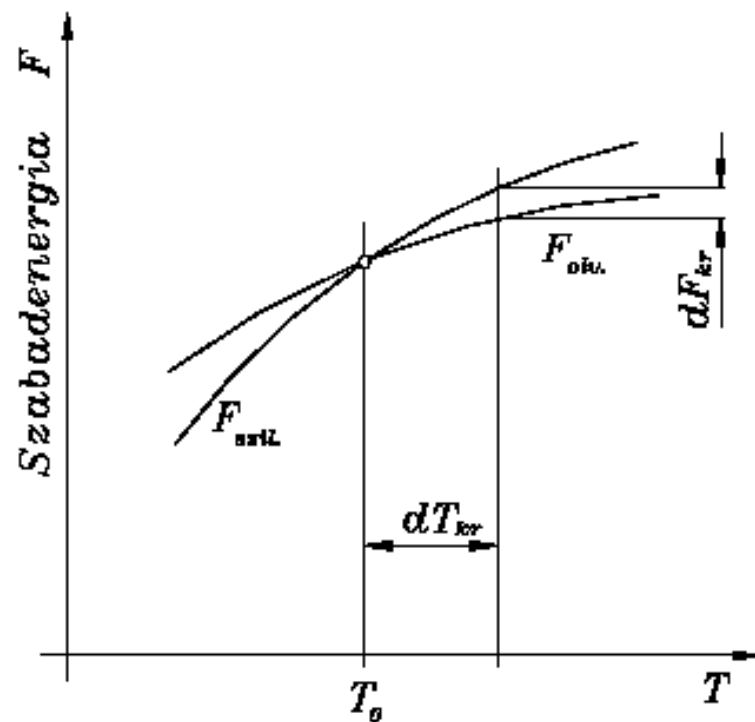
Nincs allotróp átalakulás



- Az olvadás- illetve dermedésponton a két fázis szabadenergiája egyenlő

$$F_{\text{olv.}} = F_{\text{szilárd}}$$

- Minél nagyobb a **túlhűtés**, illetve a túlhevítés annál nagyobb a különbség a két fázis szabadenergiája között, tehát annál nagyobb az **átalakulás hajtó ereje**.



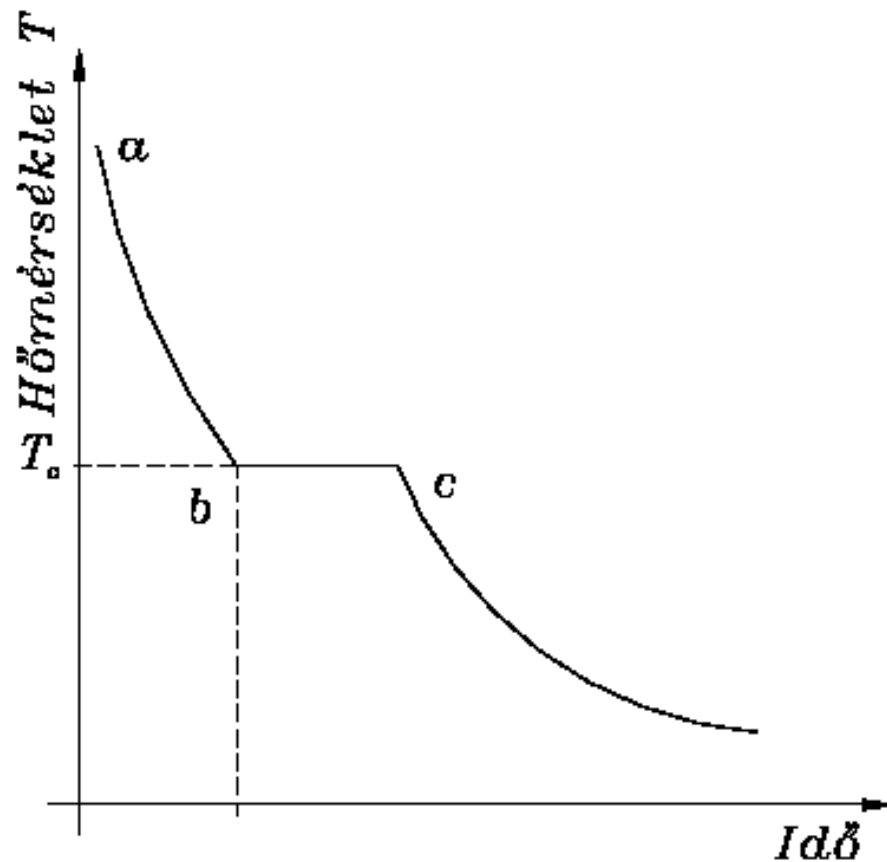


Színfém lehülési görbéje

Nincs allotróp átalakulás



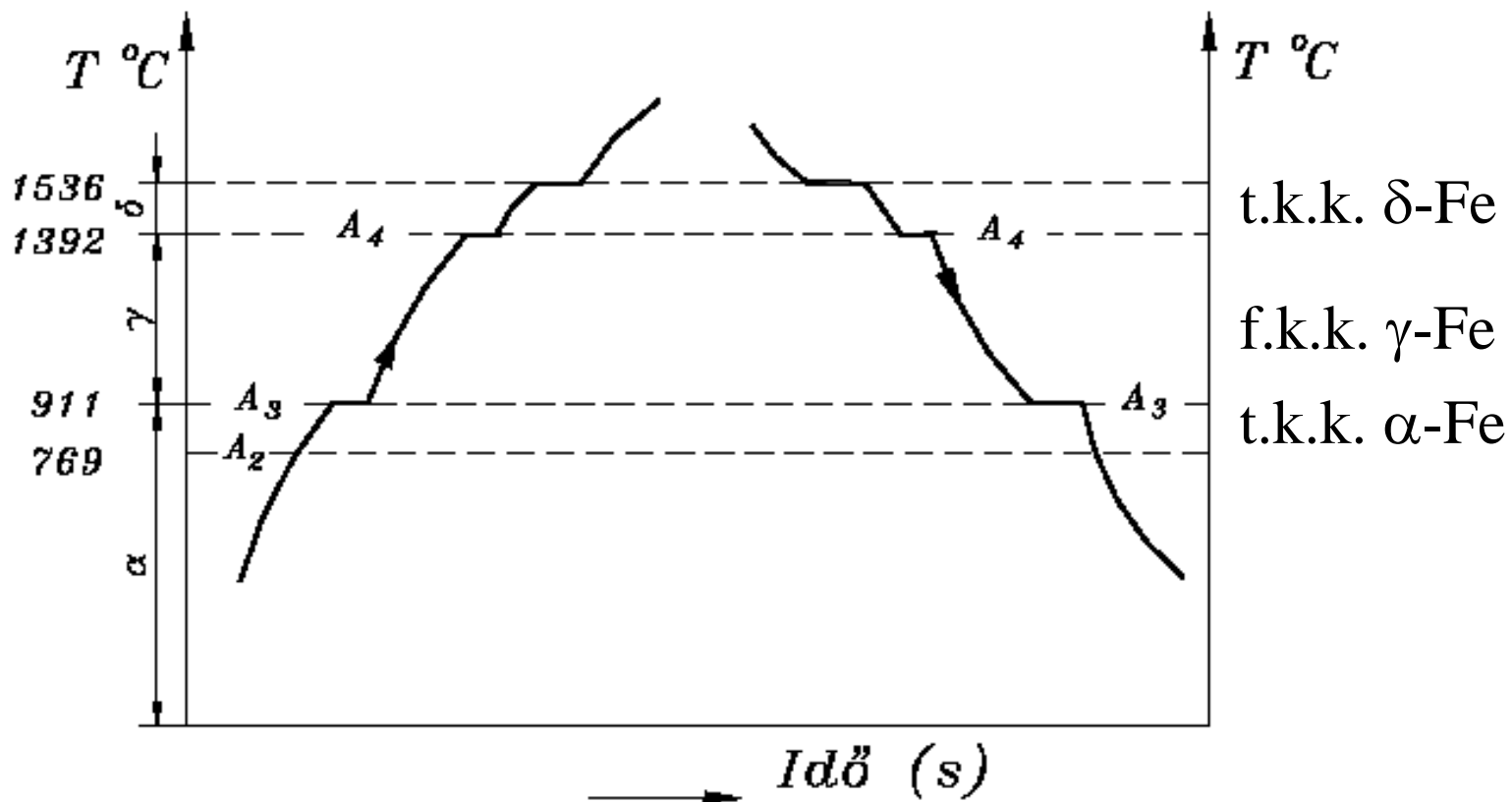
Egyszerűsített
lehülési görbe





Színfém hevítési és lehűlési görbéje (Fe)

Allotróp átalakulás van





Szilárd oldat (A,B) lehűlési görbéje

$$F + Sz = K + 1$$

$$K = 2 \quad A \text{ és } B$$

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

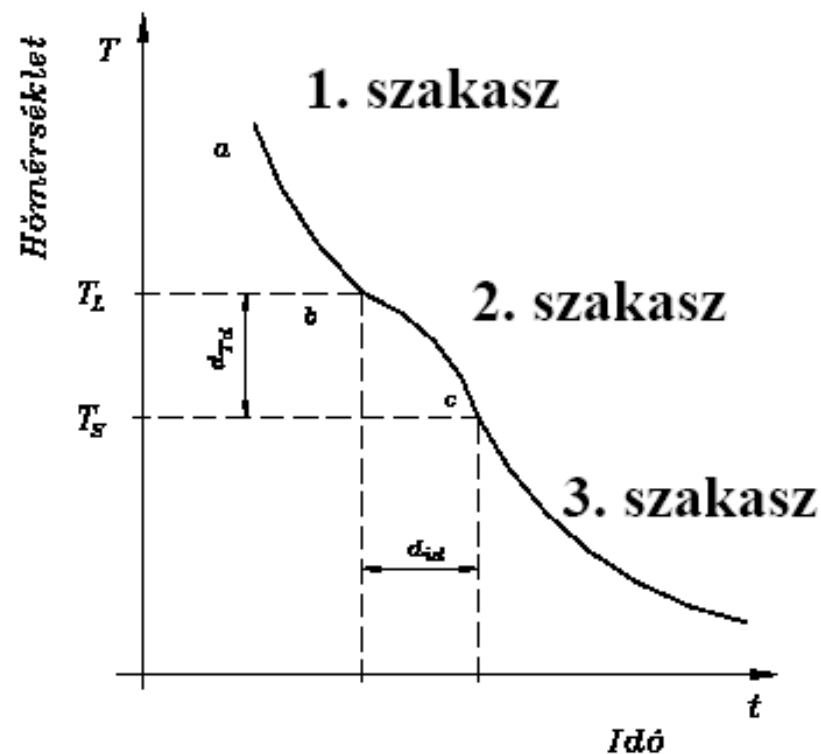
T és c változhat

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

T változhat

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

T és c változhat

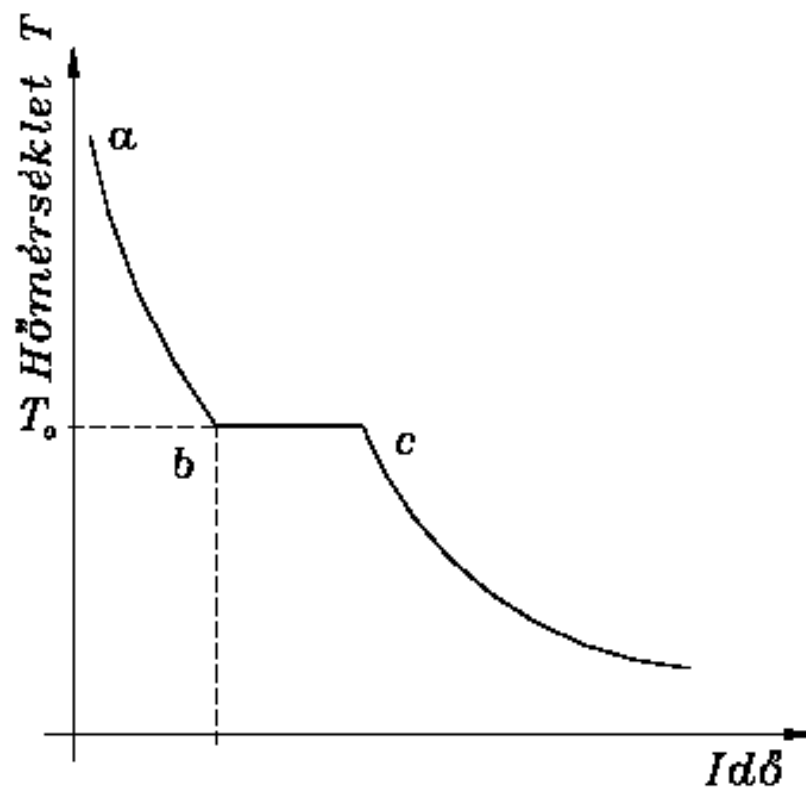




Vegyület lehűlési görbéje



A vegyületek (A_mB_n) keletkezhet ún. **nyílt maximummal**, azaz egy állandó hőmérsékleten dermed és olvad a vegyület, ami a **színfémekkel azonos lehűlési görbét** eredményez.





Kétalkotós egyensúlyi diagramok

- A fémek és ötvözeteik viselkedésének vizsgálata a lehülési görbék segítségével megtehető.
- két fém minden lehetséges összetételét egyensúlyi diagramon vagy állapot ábrán
- Az **egyensúlyi diagram** vízszintes tengelyén az A és B alkotó összes lehetséges koncentrációi, **függőleges tengelyén a hőmérséklet van** feltüntetve.





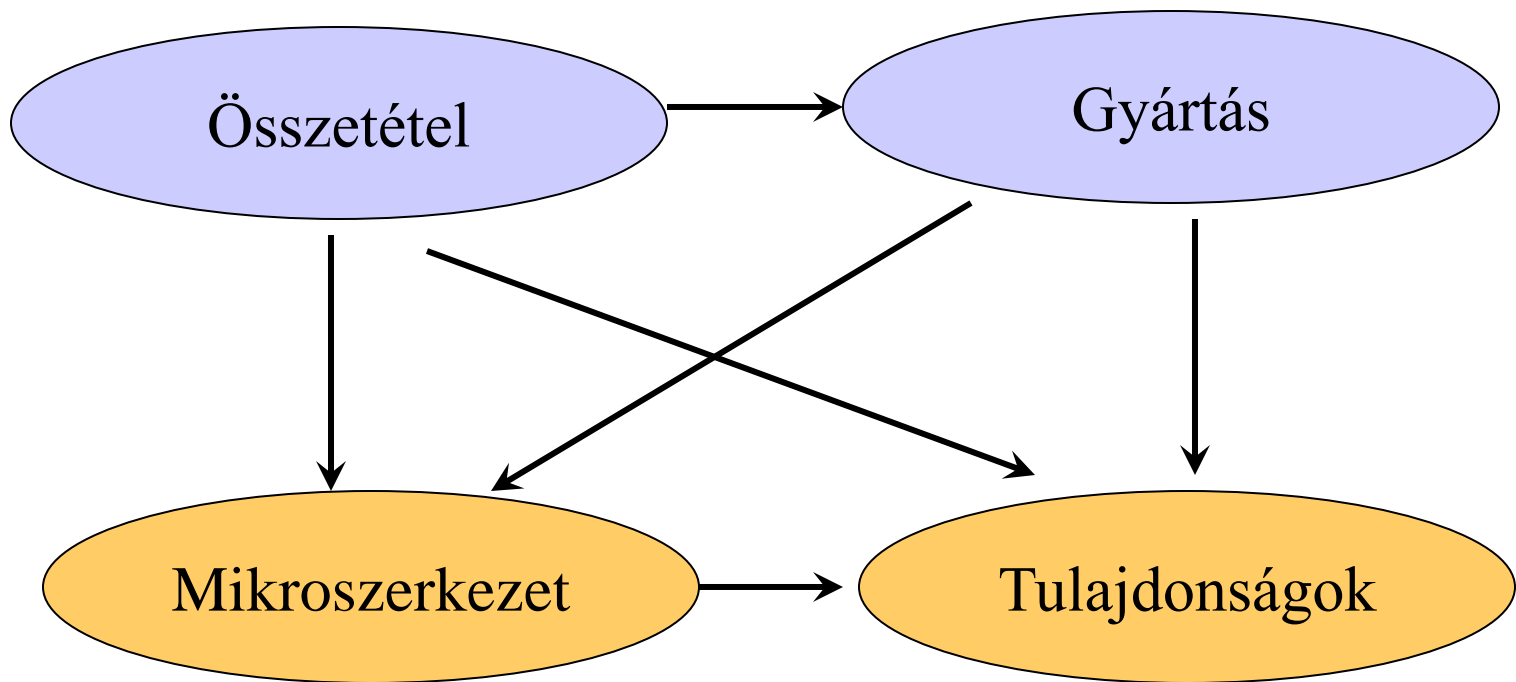
Kétalkotós egyensúlyi diagramok



Az egyensúlyi diagram **vízszintes tengelye az alapvonal - koncentráció egyenes - hossza 100 % -nak felel meg.**

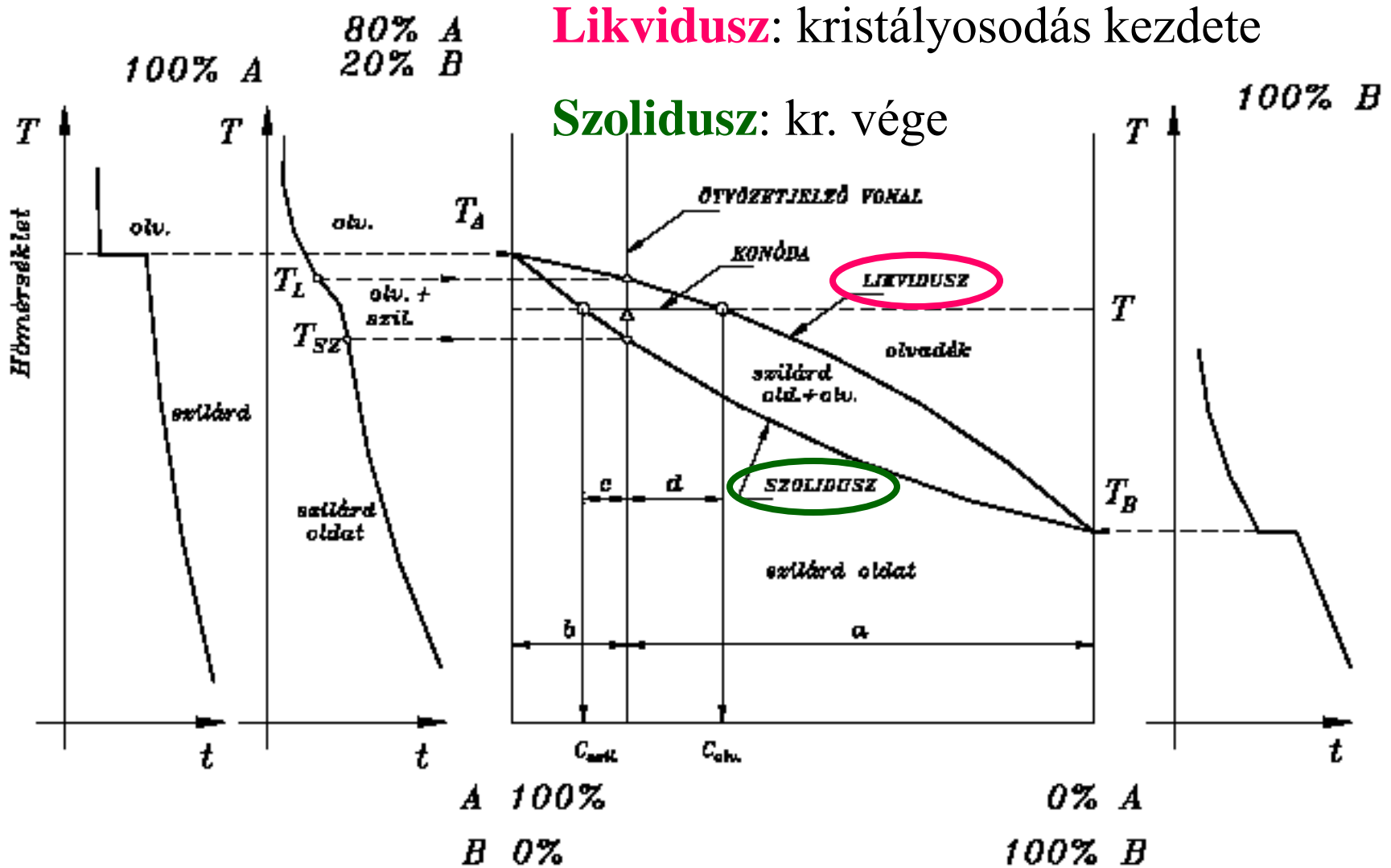
A vonal egyik vég pontja **A (100 % A)** , a másik vég pontja a **B (100 % B)** alkotónak felel meg. A közbenső pontok, A-tól B felé haladva a két alkotó %-át mutatják.

A **függőleges tengelyre a hőmérsékletet** visszük fel.





Kétalkotós egyensúlyi diagramok szerkesztése



Bármely ötvözet állapota meghatározható tetszőleges hőmérsékleten



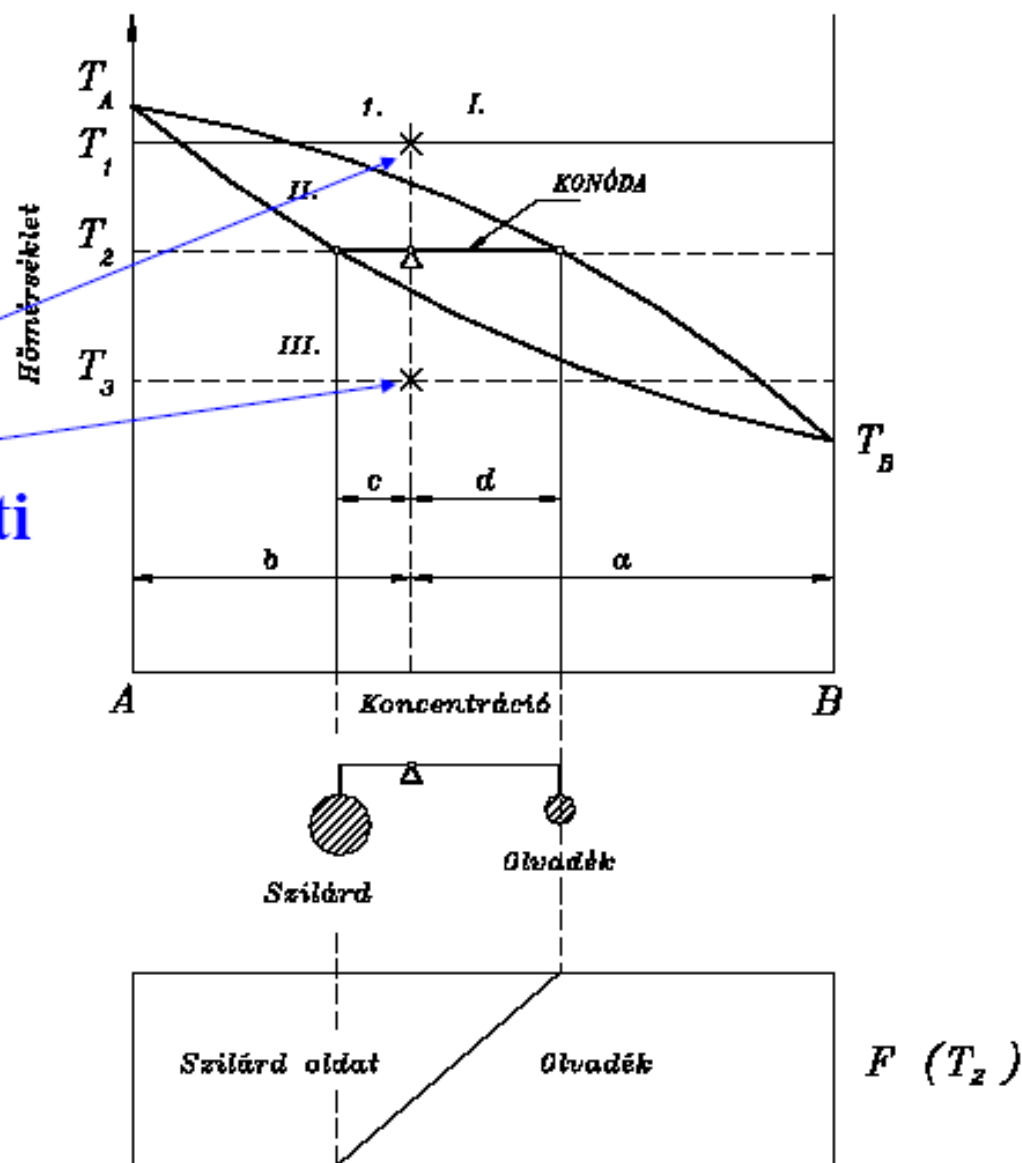
Egyensúlyi diagramok értelmezése

adott ötvözetben és adott hőmérsékleten az alábbi kérdéseket kell megválaszolni az egyensúlyi diagramok segítségével:

- milyen fázis, vagy fázisok találhatóak
- milyen az adott fázis, vagy fázisok összetétele, koncentrációja
- mennyi a fázis, vagy fázisok mennyisége

Az egyensúlyi diagramok értelmezése

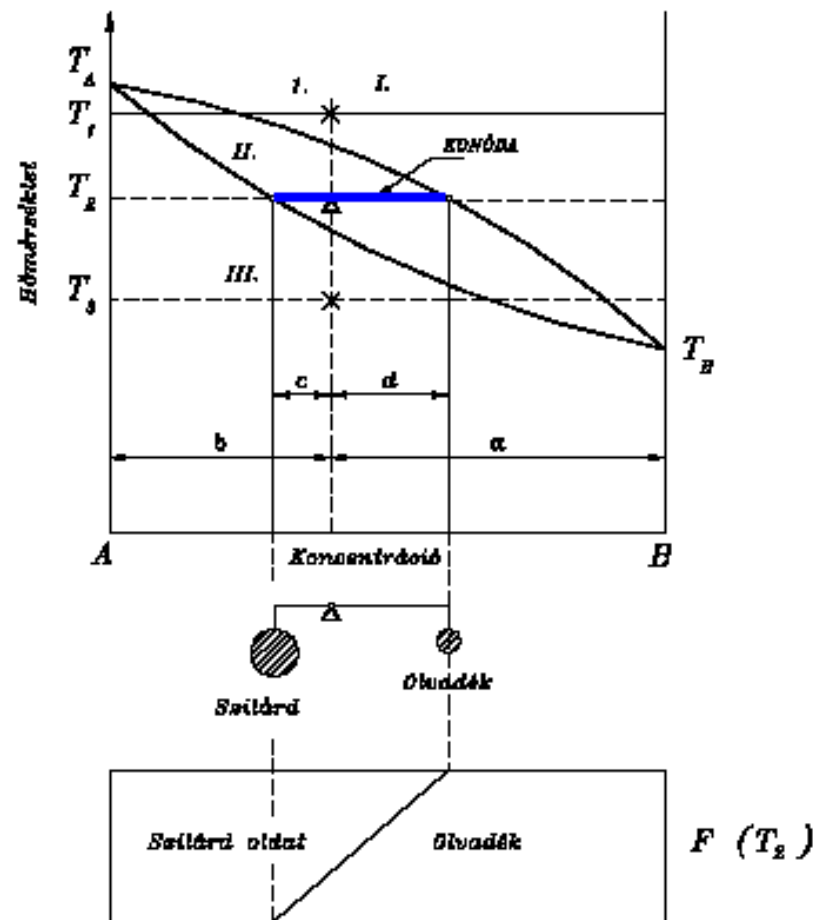
Homogén, egyfázisú területen az ötvözet egy pont, a hőmérsékleti izoterma és az ötvözetjelző metszéspontja jellemzi!





Konóda

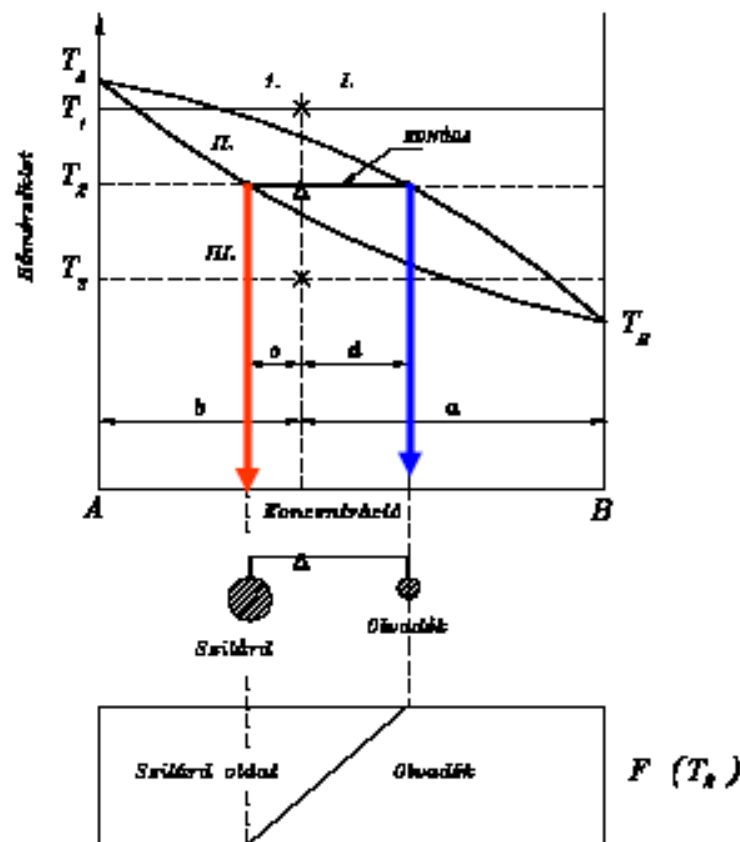
Az ötvözetet a hőmérséklet jelző izotermának a likvidusz és szolidusz vonallal határolt részén az un **konóda** jellemzi.





Koncentráció szabály

A koncentráció szabály,
a likvidusz és a konóda
metszéspontja a
koncentráció egyenesre
vetítve az olvadék fázis,
a szolidusz és a konóda
metszéspontja pedig a
szilárd fázis összetételét
adja meg.





Emelőszabály



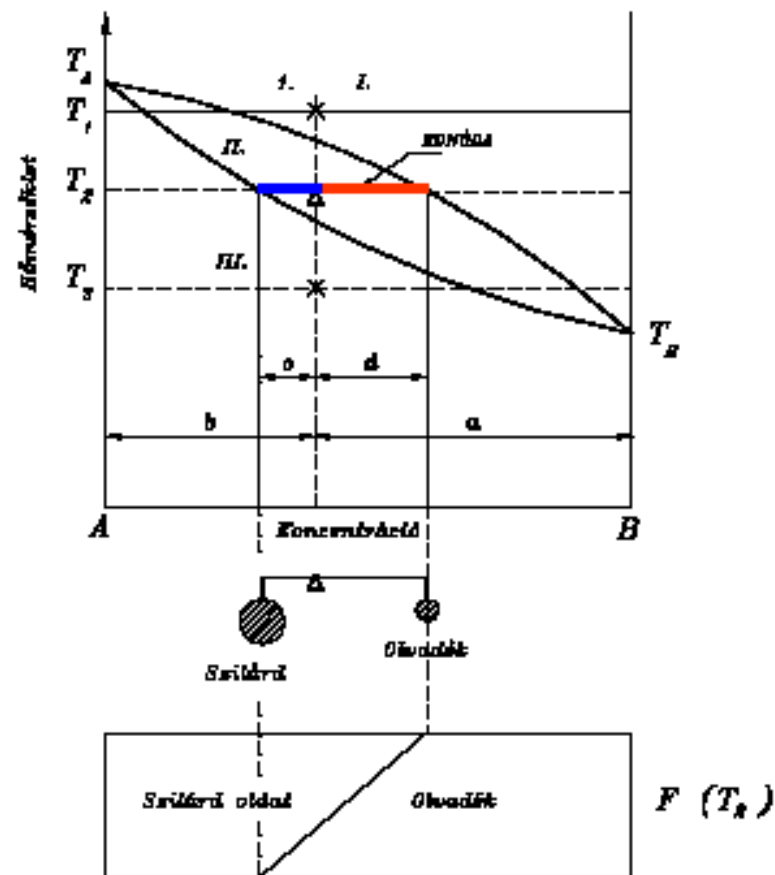
A fázisok mennyiségének meghatározását teszi lehetővé

- Az olvadék mennyisége

$$x = \frac{c}{d+c}$$

- A szilárd fázis mennyisége

$$1-x = \frac{d}{d+c}$$



Az emelő szabály a fordított karok szabálya.

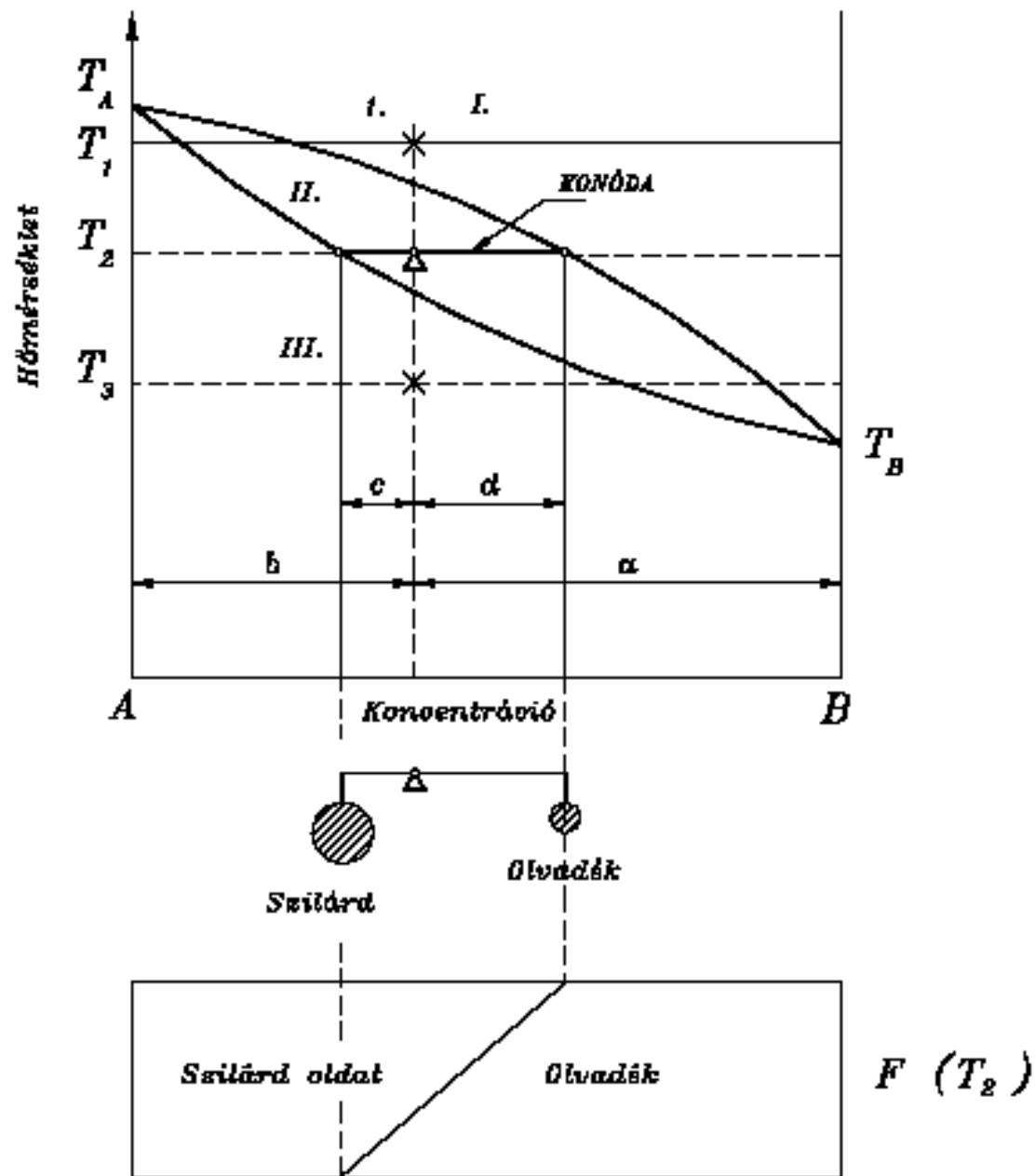


A fázisok mennyiségének meghatározása szerkesztéssel



A fázisok mennyiségét a számítás módszeren kívül grafikusán is meghatározhatjuk a **fázis diagram** segítségével.

A **fázis diagramot** az egyensúlyi diagram alá rajzoljuk , úgy, hogy az **egyik oldala megegyezik a koncentráció egyenessel**, és szintén a koncentrációt mutatja, másik, rövidebb oldala pedig az ötvözet fázisainak mennyiségét mutatja %-ban.

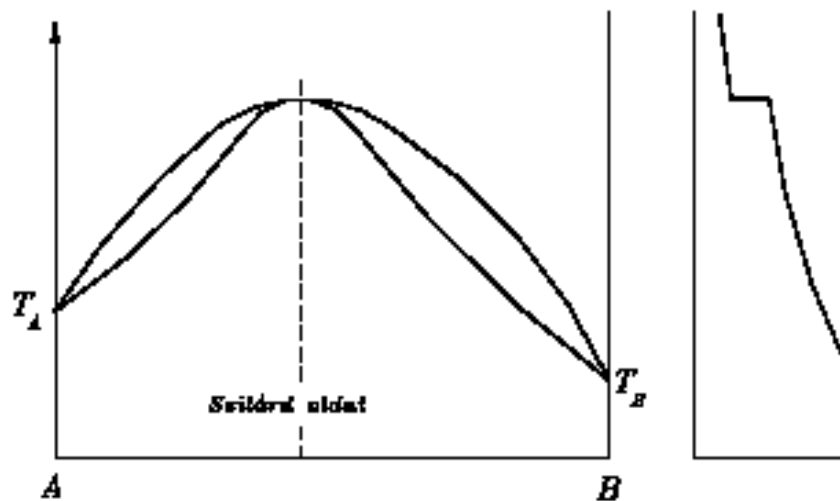
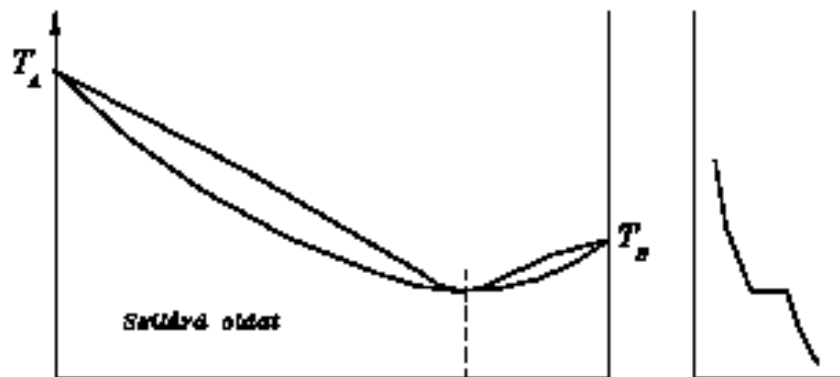
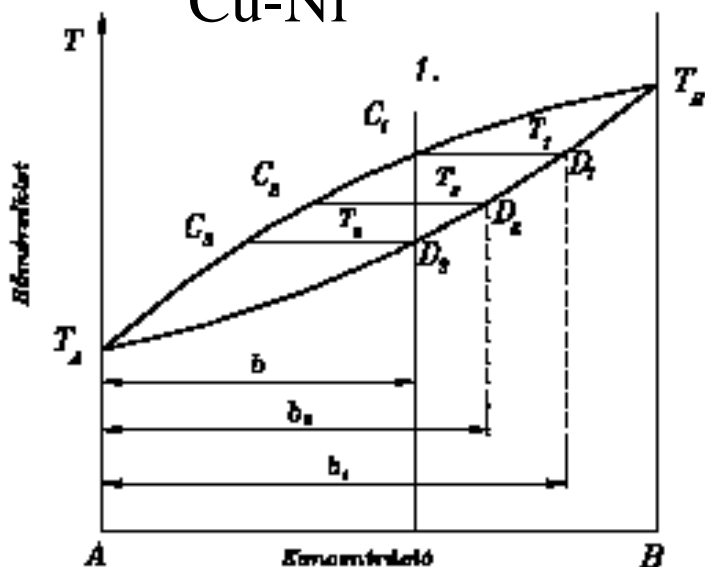




Szilárd oldat kristályosodása: Korlátlan oldódás

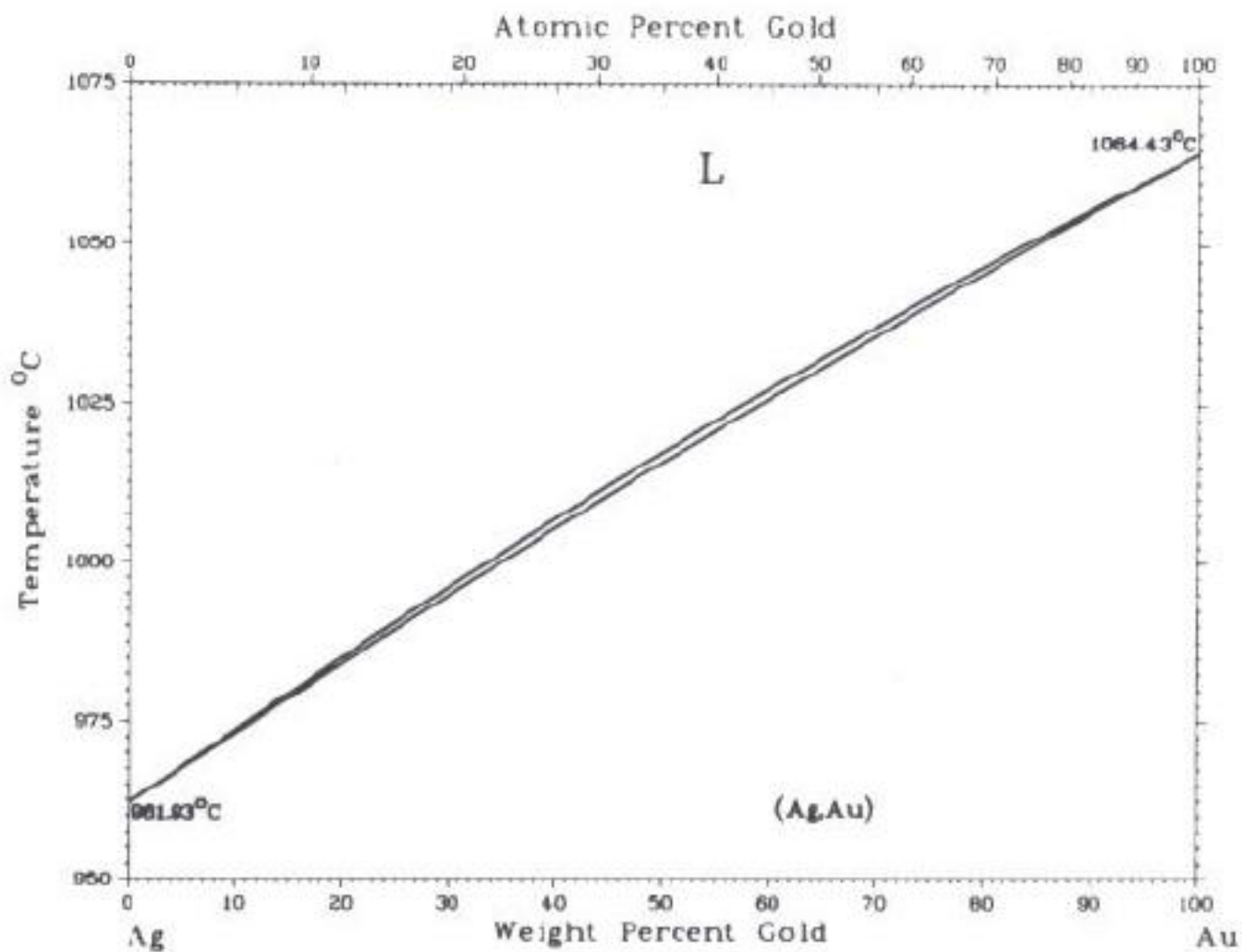


Cu-Ni



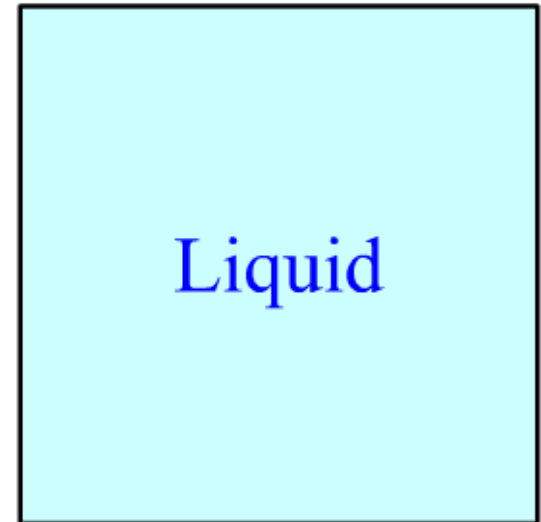
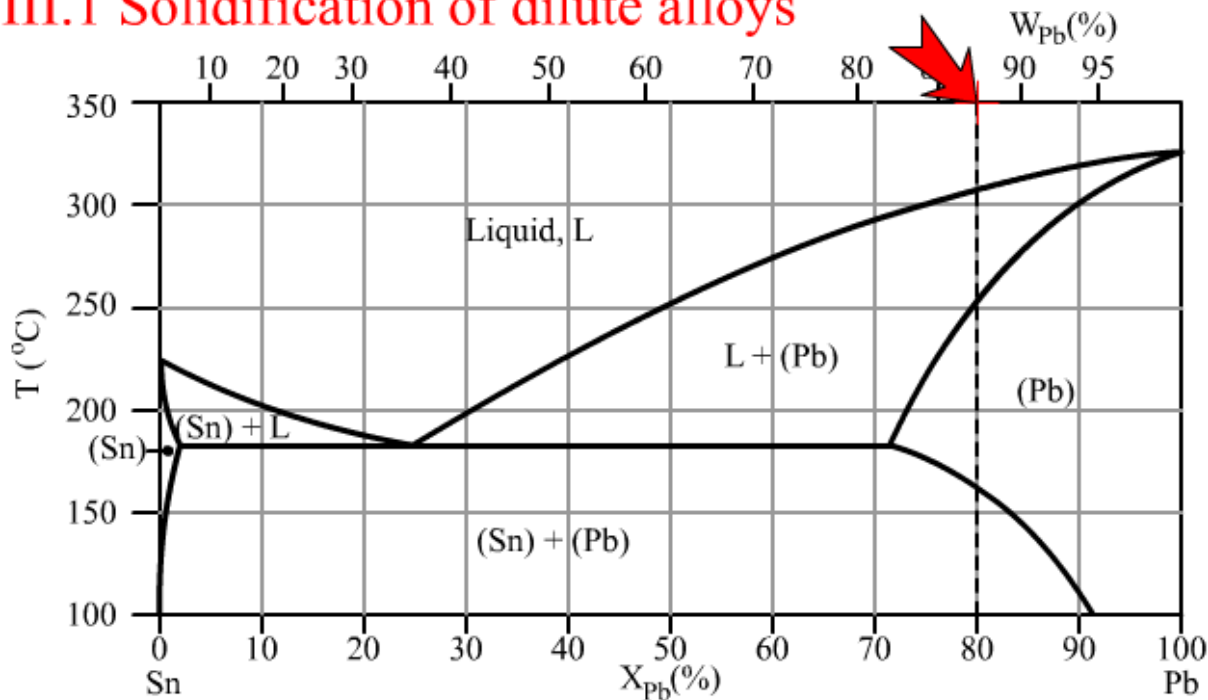


Au-Ag egyensúlyi diagram



III.1 Solidification of dilute alloys

MENU



▲ BACK TO START

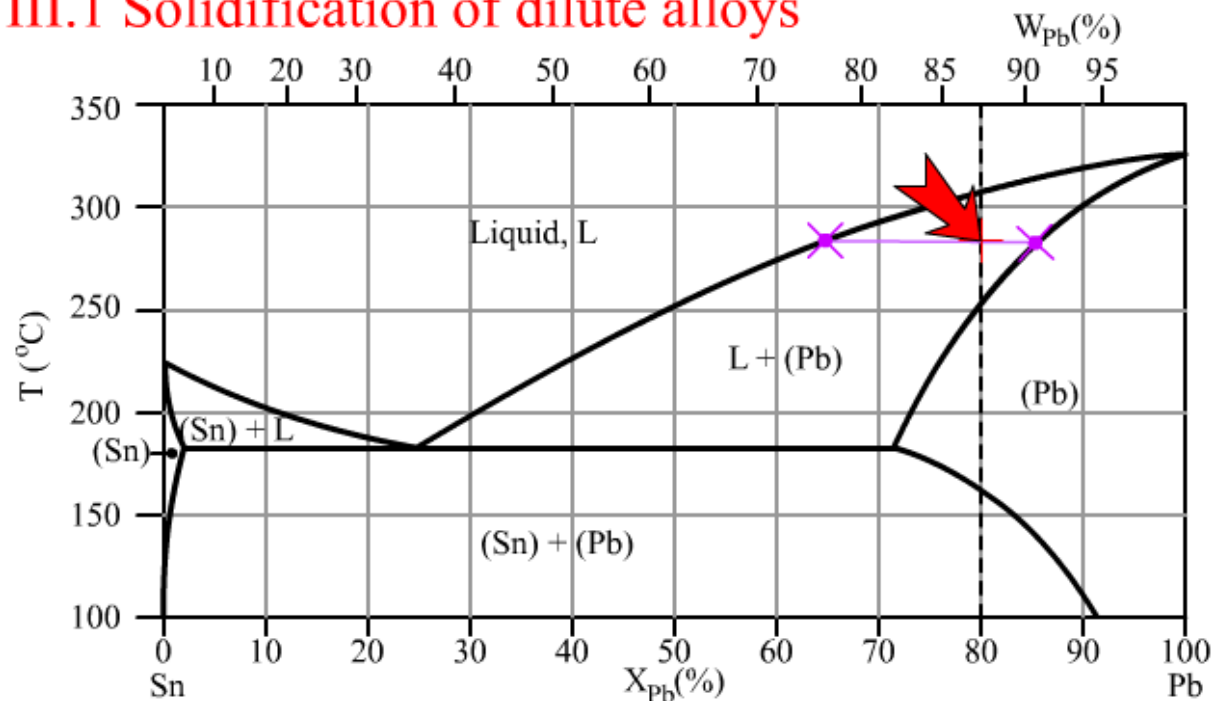
▼ DECREASE TEMPERATURE

1. From 350°C to 305°C: Single-phase liquid; no phase reaction.

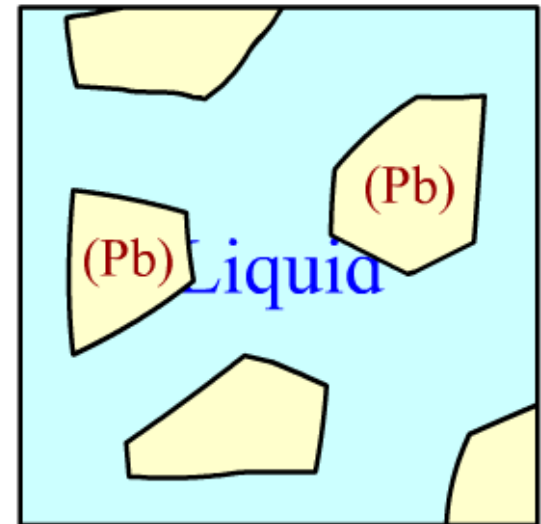
Sn-Pb egyensúlyi diagram

Korlátolt oldódás

III.1 Solidification of dilute alloys



MENU

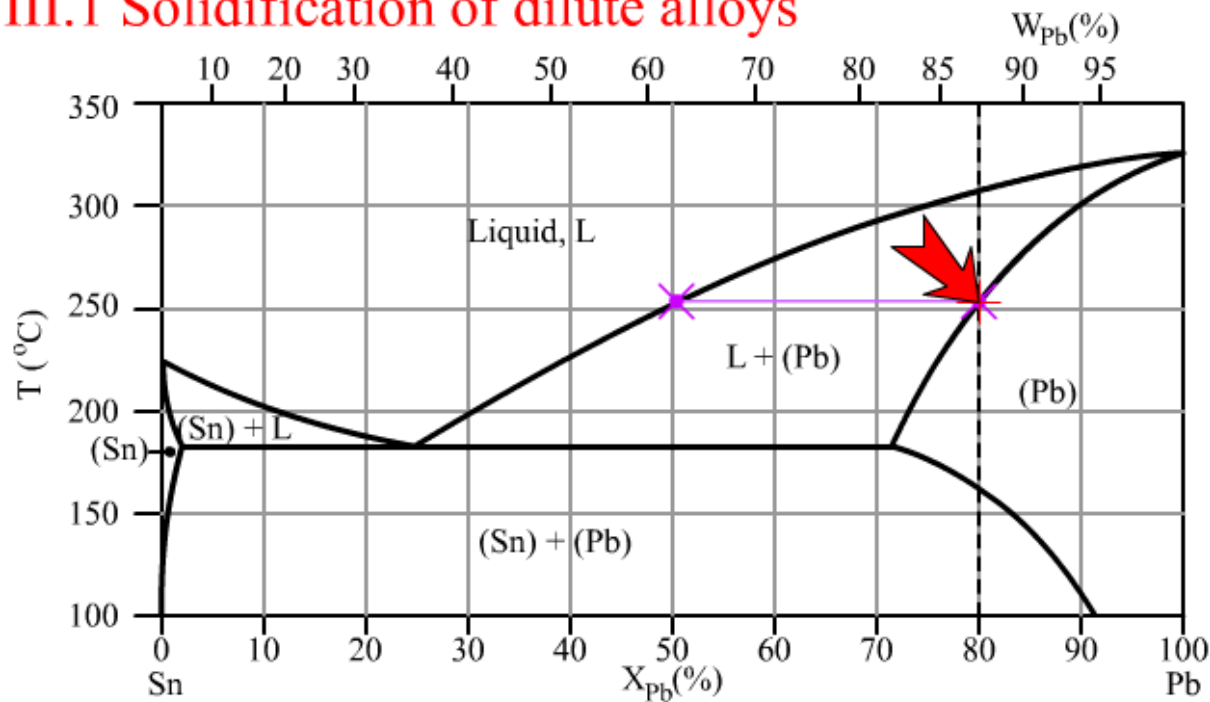


BACK TO START

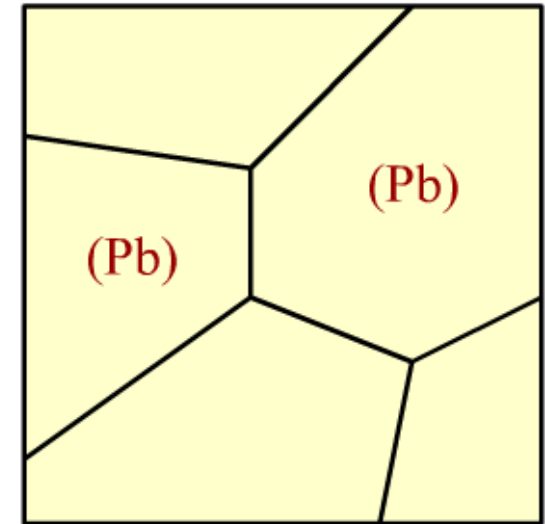
DECREASE TEMPERATURE

2. From 305 $^{\circ}\text{C}$ to 255 $^{\circ}\text{C}$: The liquidus is reached at 305 $^{\circ}\text{C}$; the reaction liquid \Rightarrow solid (Pb-rich solid solution) starts. The compositions of the two phases change (purple crosses on diagram) and therefore a phase reaction is taking place. On the right isolated colonies of Pb-rich solid are shown, surrounded by liquid and growing as the temperature drops; this occurs by a process of **nucleation and growth**.

III.1 Solidification of dilute alloys



MENU

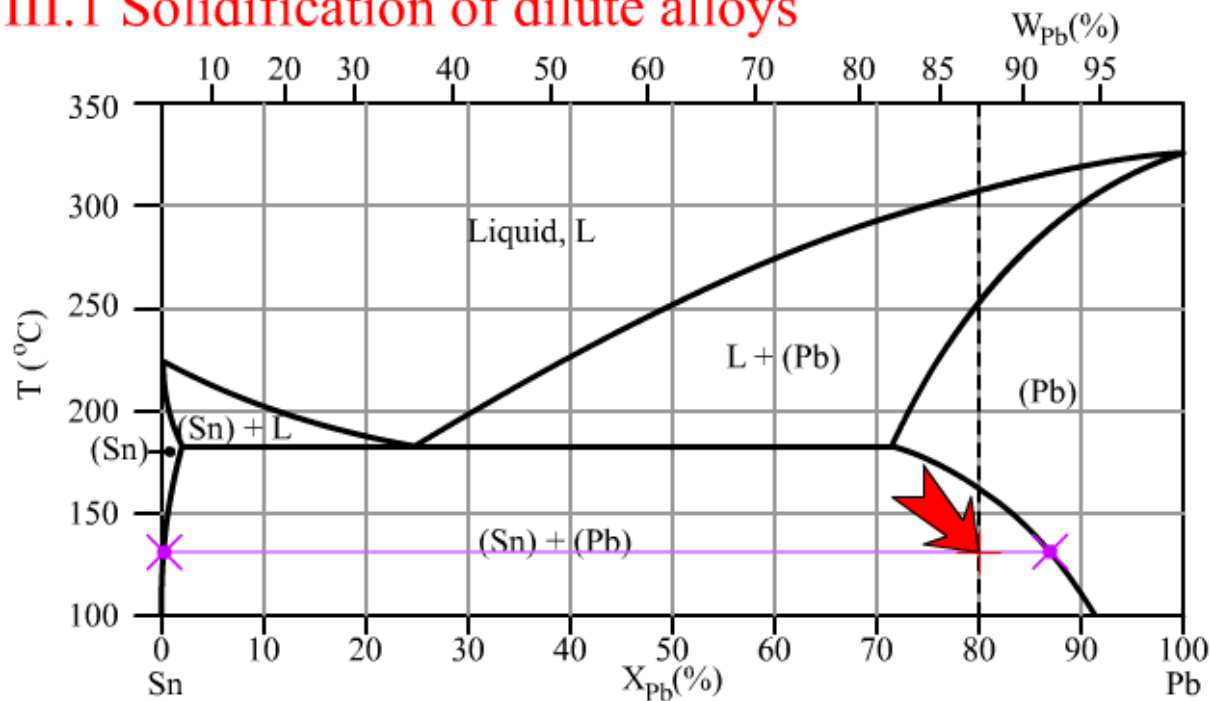


⬆️ BACK TO START

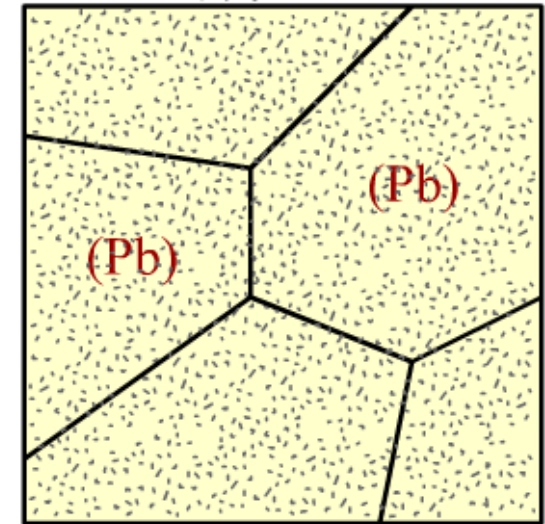
⬇️ DECREASE TEMPERATURE

3. From 255°C to 160°C: Single-phase Pb-rich solid (grain structure is shown on the right), with composition identical to that of the alloy. No phase reaction.

III.1 Solidification of dilute alloys



(Sn) =  **MENU**



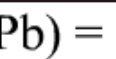

 **BACK TO START**

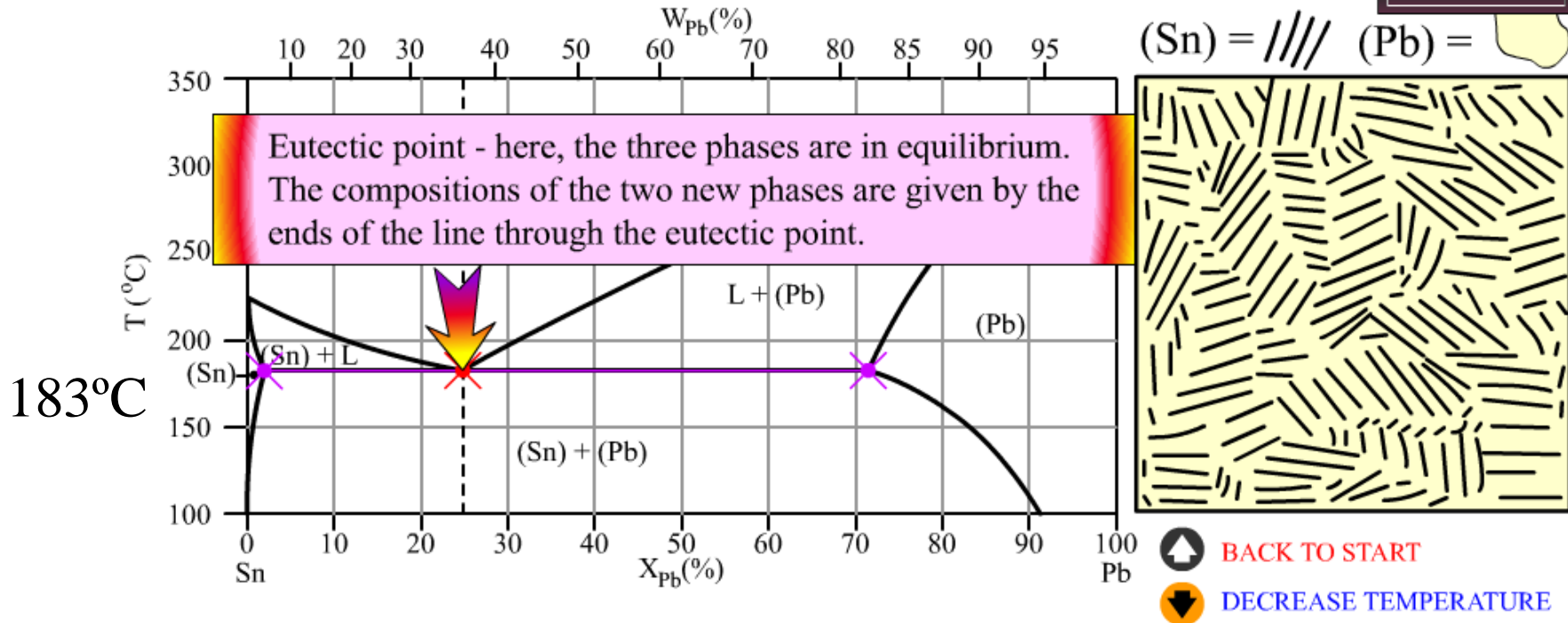
 **DECREASE TEMPERATURE**

4. From 160 $^{\circ}\text{C}$ to room temperature: The Pb-rich phase becomes unstable when the phase boundary at 160 $^{\circ}\text{C}$ is crossed. It breaks down into two solid phases, with compositions given by the ends of the tie-line (purple crosses). A phase reaction takes place. A small proportion of Sn-rich solid separates out from the matrix of Pb-rich solid (a process of nucleation and growth), in the form of many small particles, known as a

III.2 Eutectic solidification

MENU

(Sn) =  (Pb) = 



Az eutektikus összetétel előnyei (mint forraszanyag):

legalacsonyabb olvadáspontú összetétel, min. hőbevitel, ezért a forrsztandó anyag károsodása is csökken,

A kötés hamar megszilárdul.



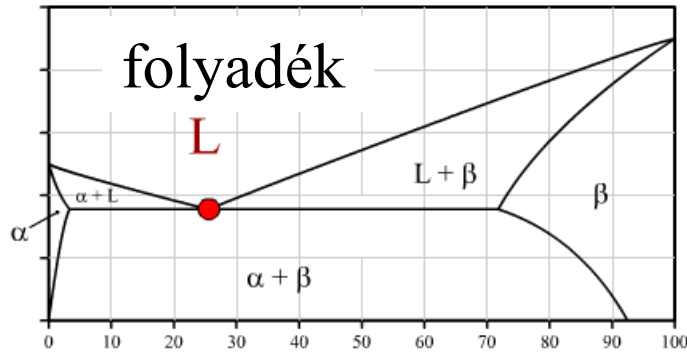
Eutektikum képződés



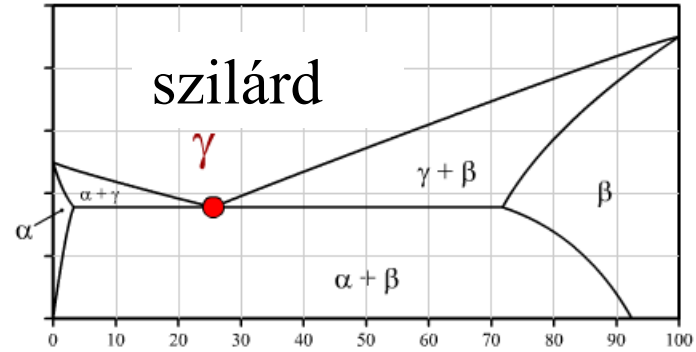
Az *eutektikum* két
likvidusz
metszéspontjának
megfelelő
összetételnél
képződik, állandó
hőmérsékleten.
Általános egyenlete:



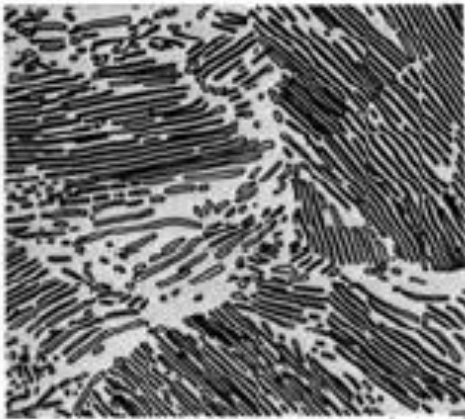
Eutektikum és Eutektoid



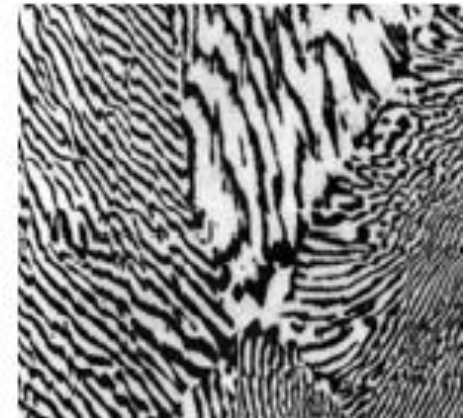
Eutectic



Eutectoid



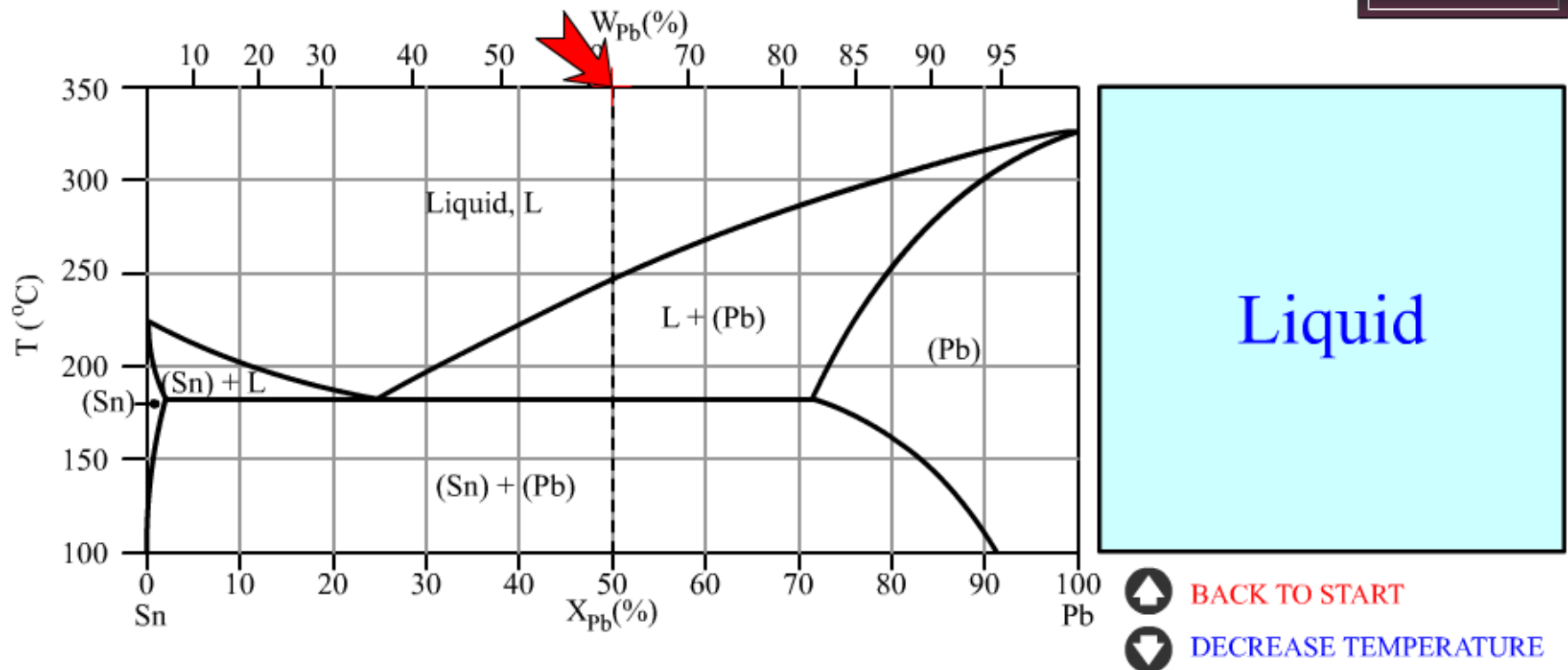
Fe-C eutektoid



Pb-Sn eutektikum

III.2 Eutectic solidification

MENU

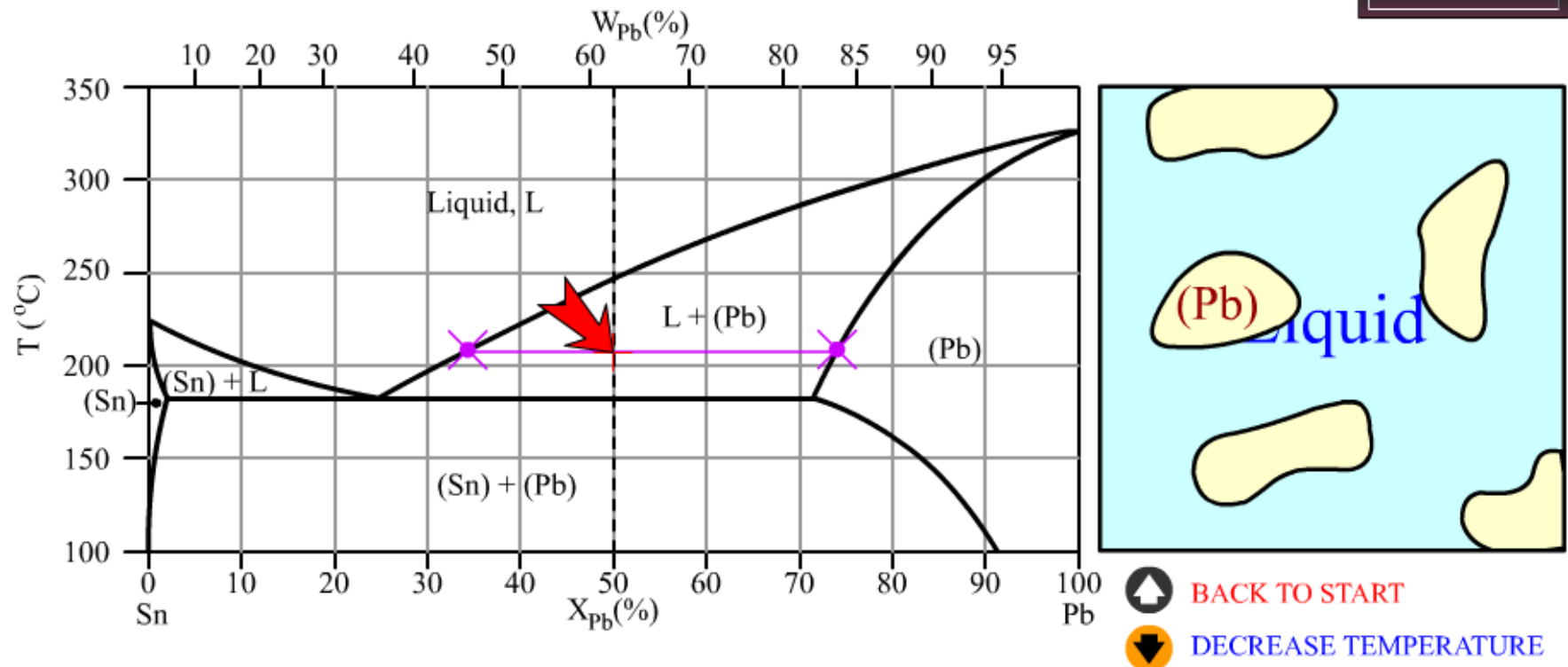


Consider now the cooling of an alloy with 50 at% lead. This can be thought of as a composite case between the behaviour outlined in III.1 and the eutectic one. Starting from 350°C , the following regions are observed:

1. From 350°C to 245°C : Single-phase liquid; no phase reaction.

III.2 Eutectic solidification

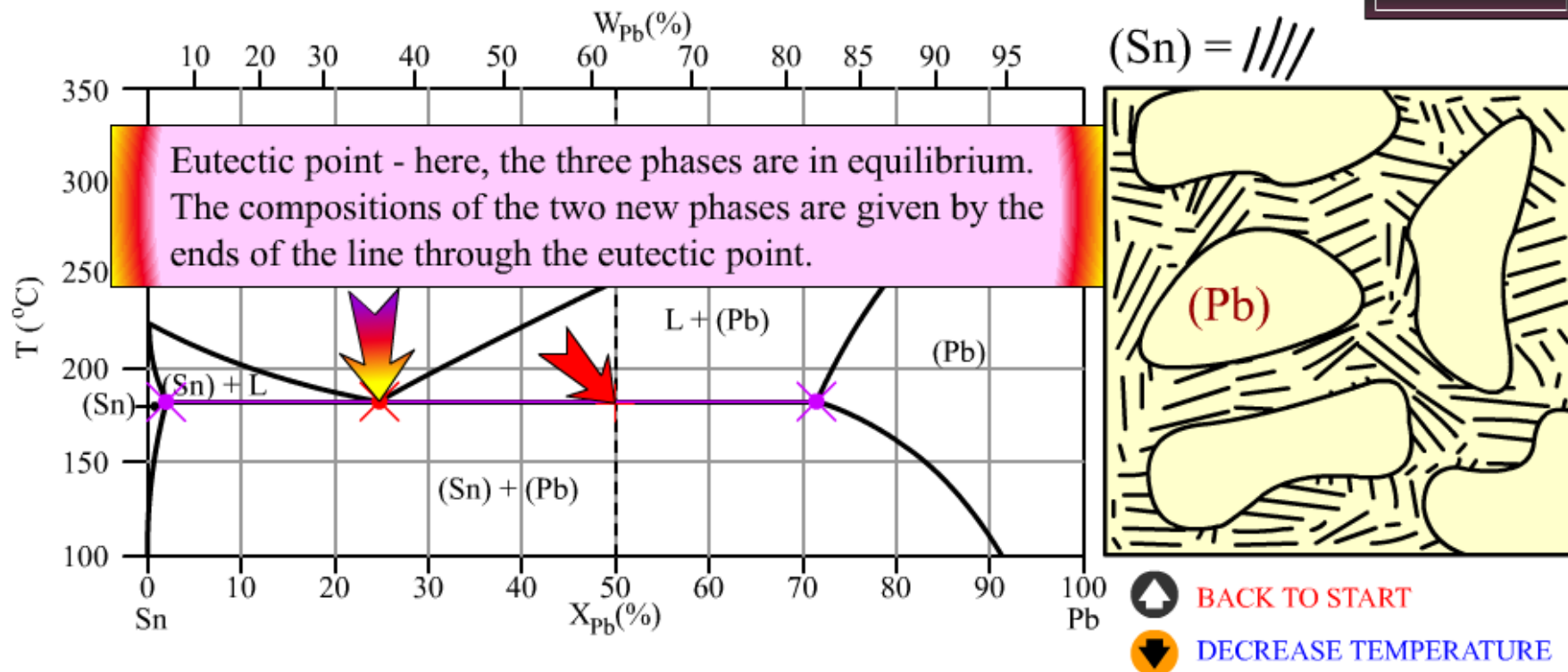
MENU



2. From 245°C to 183°C : The liquidus is reached at 245°C , and solid (Pb) first appears. The composition of the liquid moves along the liquidus line, that of the solid along the solidus line (purple crosses). This regime ends when the temperature reaches 183°C ; the alloy is about half liquid, half solid, by weight (using the **lever rule** - remember to use the **wt %** !!!).

III.2 Eutectic solidification

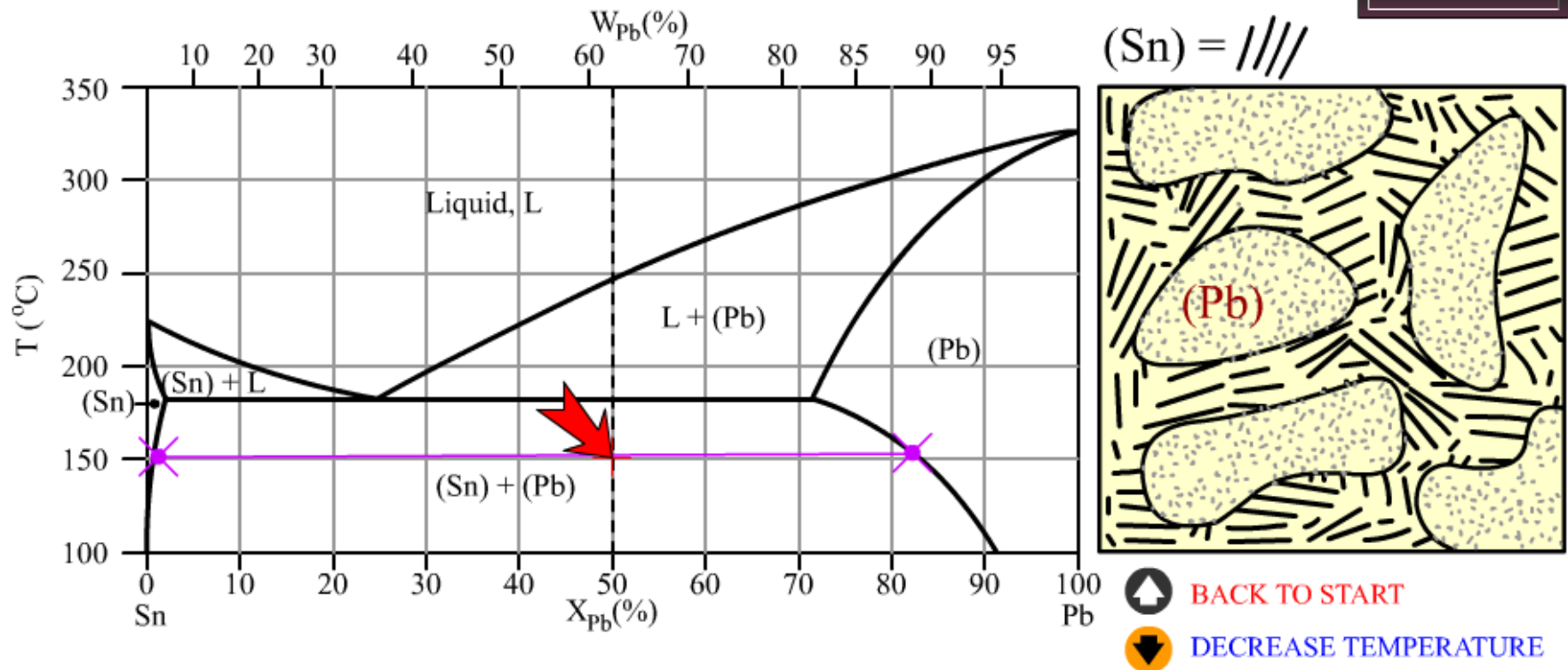
MENU



3. At 183°C , the remaining liquid has reached the eutectic point, and undergoes the eutectic reaction exactly as before: the liquid transforms to Sn-rich solid and Pb-rich solid.

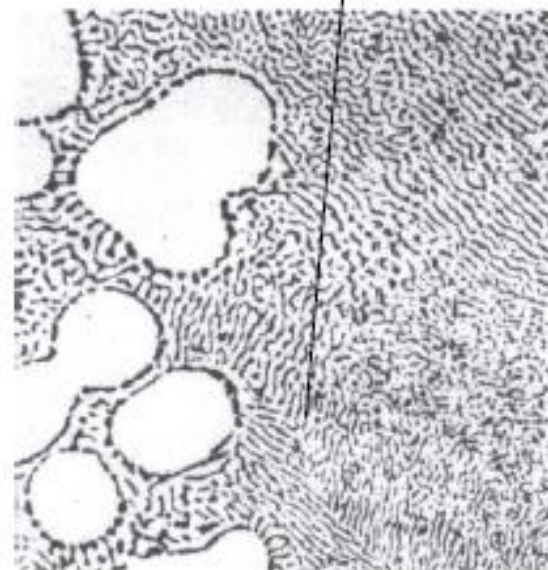
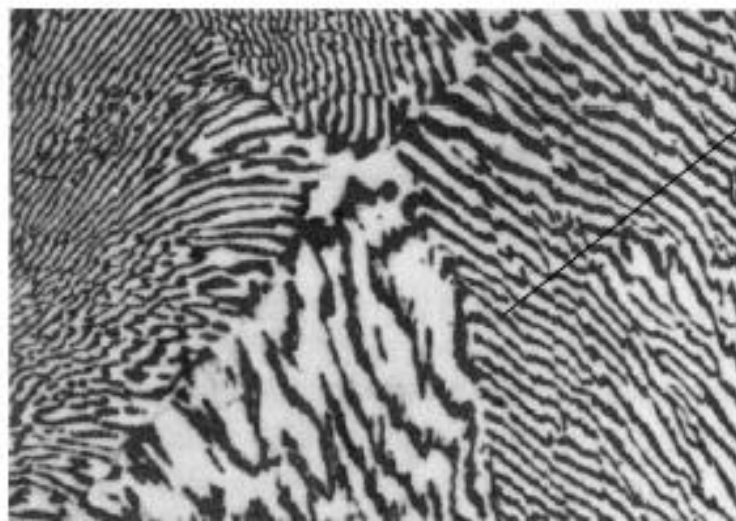
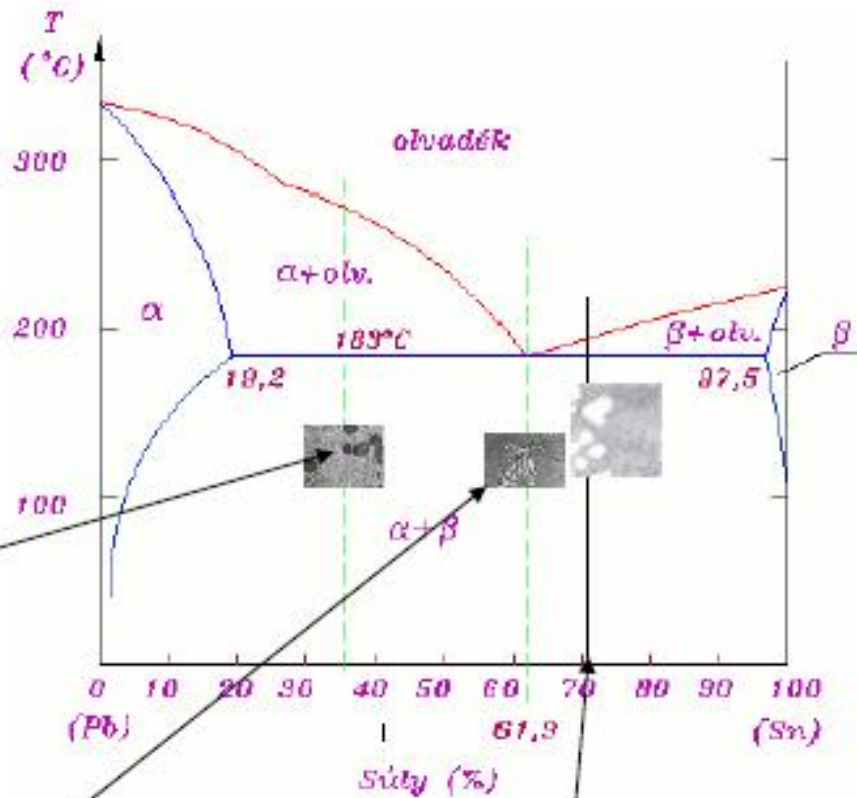
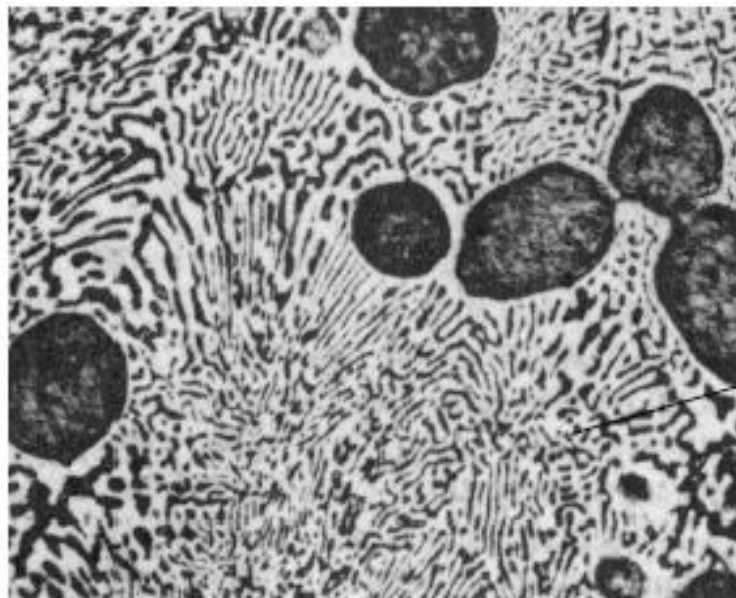
III.2 Eutectic solidification

MENU



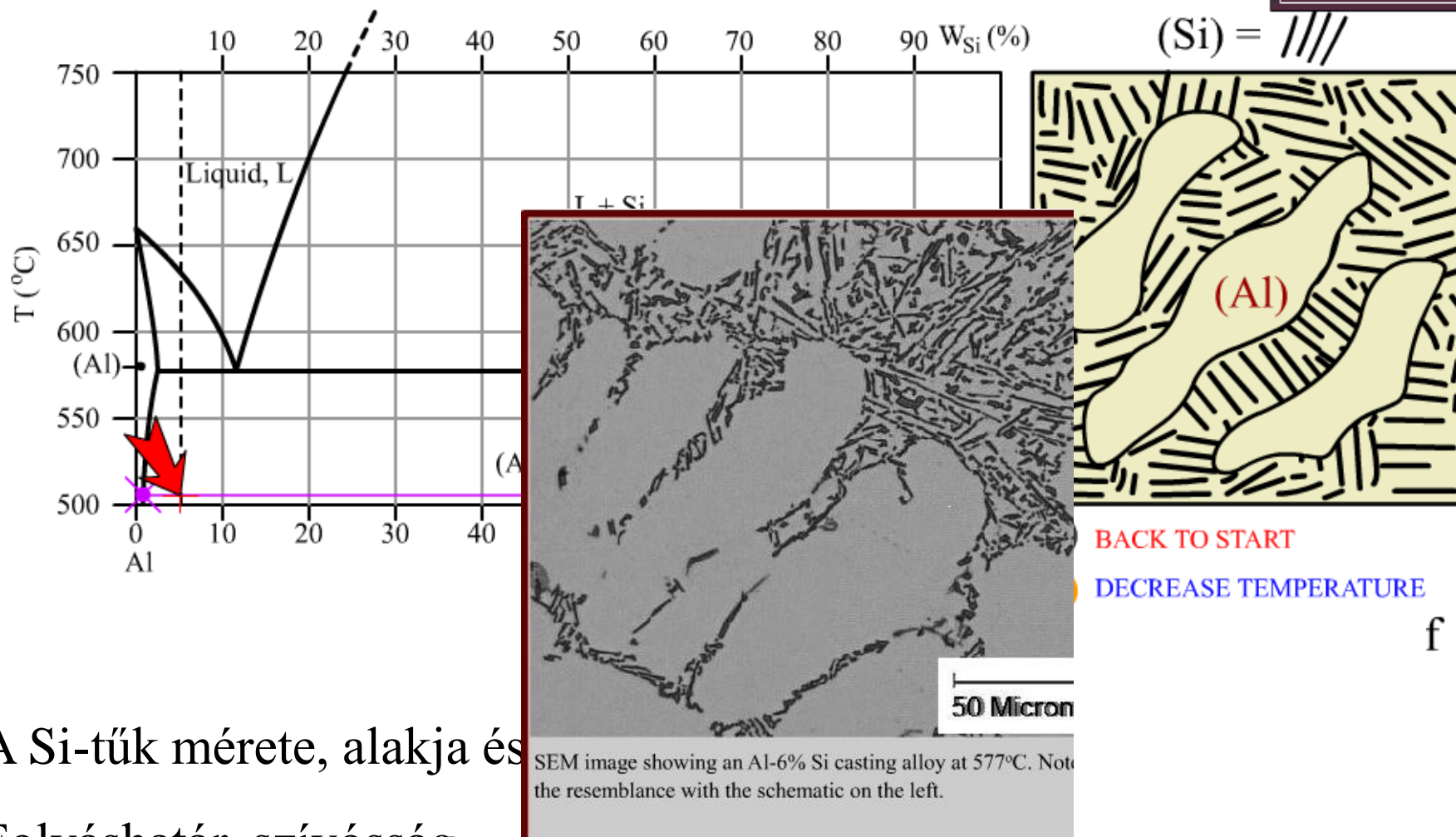
4. From 183°C to room temperature: The two microstructures each evolve:
- the Pb-rich solid becomes unstable, and Sn-rich solid precipitates (exactly as before, in 80 at% alloy).
 - the eutectic region evolves exactly as 100% eutectic did before: both phases change composition by inter-diffusion, becoming purer.

Sn-Pb



III.3 Eutectic microstructure

Al-6%Si öntvény



A Si-tűk mérete, alakja és

Folyáshatár, szívósság

élettartam

Szövetelemek

Metallográfiai képen megkülönböztethető olyan mikroszerkezeti elemek amelyek kristályosodás vagy átkristályosodás során keletkeztek és önálló határfelülettel rendelkeznek.

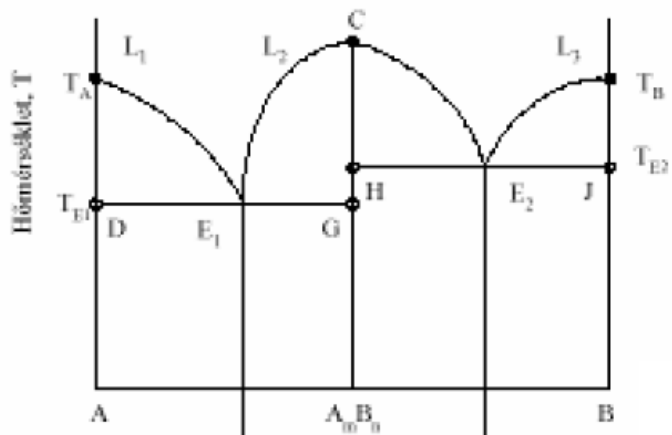
Történelmi eredet: mikroszkóp felbontóképessége (pl. perlit)

Tulajdonságaik erősen eltérnek a komponens fázisok tulajdonságaitól.

Fémteni jelentőség: **a makroszkópikus tulajdonságokat a szövetelemek határozzák meg nem a fázisok.** (pl. eutektikum)

Szövetelemek: fázisok, eutektikum, eutektoid

Vegyületképződés (stabil fémes vegyület)



Vegyület: függőleges vonal

Ha van oldódás kiszélesedik.

Elemi állapotábrákra való bontás lehetősége.

Állapotábra intermetallikus vegyülettel

