



SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM

Anyagtudományi és Technológiai Tanszék



Anyagszerkezet és –vizsgálat

NGB_AJ021_1

2. Előadás

2013. 09. 10.

Dr. Hargitai Hajnalka

(Csizmazia Ferencné dr. előadásanyagai alapján)



- Rácsrendezetlenségek, rácshibák típusai.
- Rugalmas és képlékeny alakváltozás értelmezése.
Diszlokációk szerepe a képlékeny alakváltozás folyamatában, alakítási keményedés jelensége.
- Az ötvözet fogalma, ötvözetek típusai.
- A halmazállapot és fázisátalakulás fogalma. Az átalakulás hajtóereje és sebessége. Nyomás és hőmérséklet hatása az átalakulási folyamatra.
- Allotrópia, diffúzió, kristályosodás és újrakristályosodás fogalma.



A fémek kristályos szerkezete



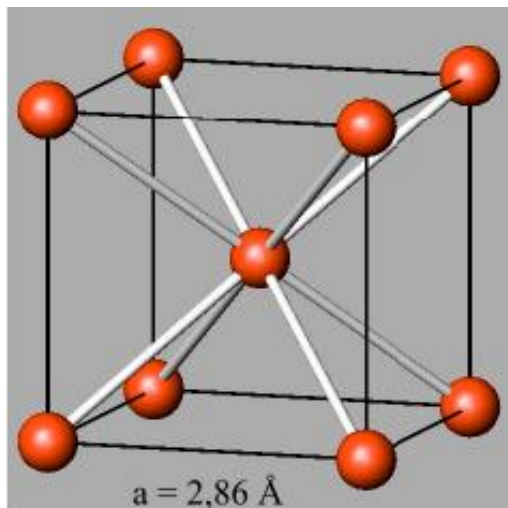
A kristályos szerkezetben az atomok **szabályos geometriai** rendben helyezkednek el.

Azt a legkisebb - több atomból álló - szabályos idomot, melynek ismételtetésével a rácsszerkezet leírható:

rácselemnek, vagy elemi cellának nevezzük.



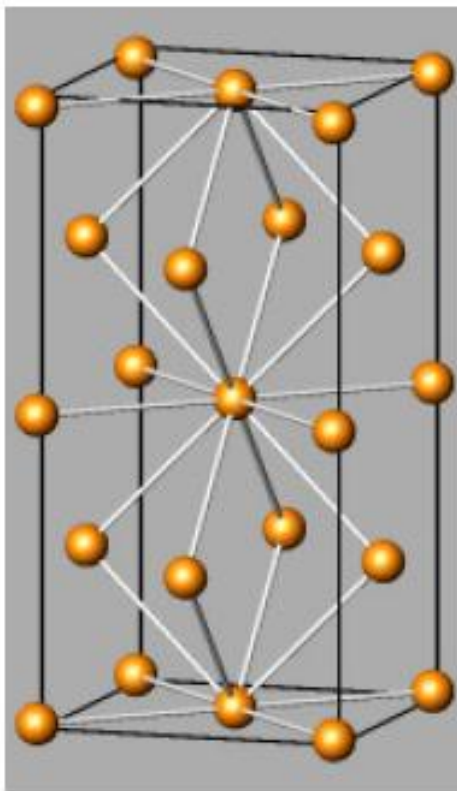
Kristályrács típusok



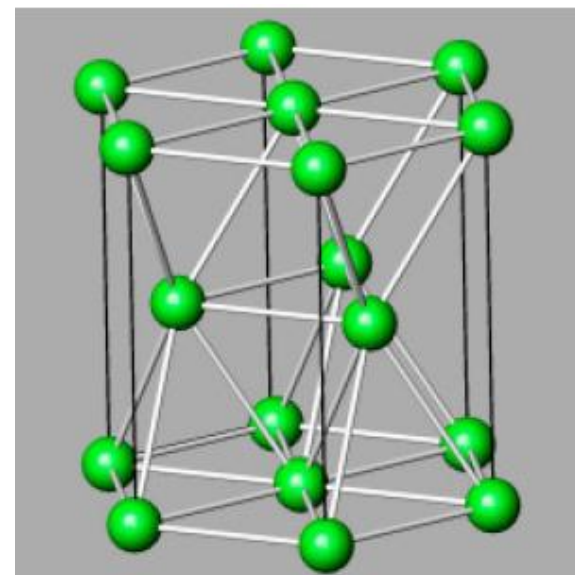
Li, Na, K, V,
Cr, W, Ta,

vas (δ -Fe) 1392 C° és az
olvadáspont (1536 C°)
között, illetve 911 C° (α -
Fe) alatt.

Al, Cu, Au, Ag,
Pb, Ni, Ir, Pt
vas (γ -Fe) 911 C° és
1392 C° között.



szoros illeszkedésű (hdp)
pl. Be, Zn, Mg, Cd és a
Ti egyik módosulata





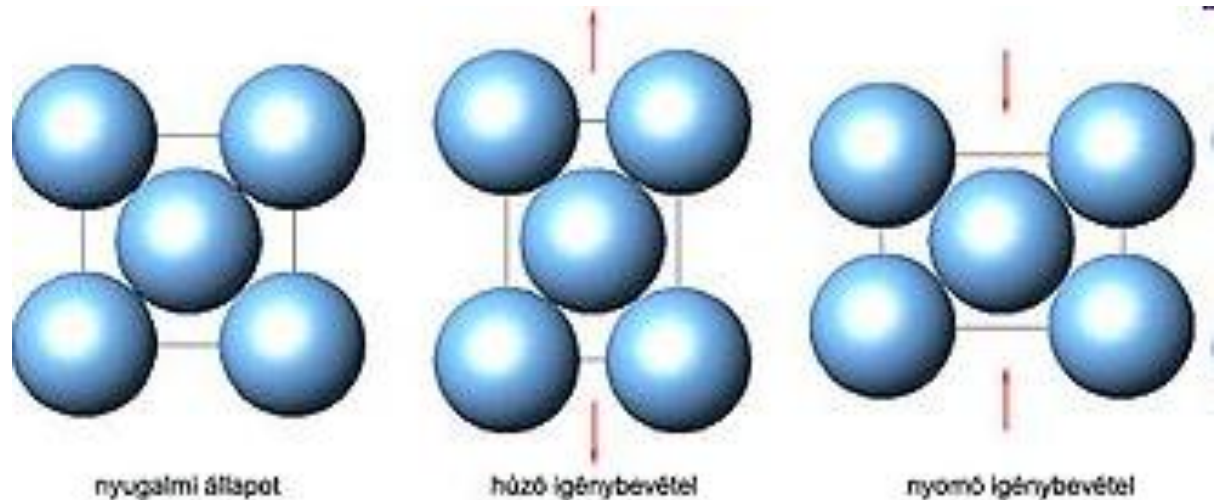
Képlékenységtan, alapok

A fémből készült alkatrészekben és szerkezetekben terhelés hatására

mechanikai feszültségek és **alakváltozások** jönnek létre.

– Rugalmas alakváltozási szakasz

(a feszültség és az alakváltozás között lineáris összefüggés)



- Maradó vagy képlékeny alakváltozás tartománya

terhelés további növekedésekor a képlékeny testekben kialakul egy olyan feszültség, amikor ez a jelleg eltér a lineáristól, az alakváltozás mértéke mintegy „meglódul” a feszültséghez képest.



Képlékenységtan, alapok



- Képlékenységen a fémek és ötvözetek azon tulajdonságát értjük, hogy mechanikai igénybevétel hatására az alakjukat képesek megváltoztatni, az anyag kontinuitásának – folytonosságának megmaradása mellett.
- A jelentős maradó alakváltozásra képes fémeket képlékenynek tekintjük.
- Ezek ellentéte a rideg viselkedés, a rideg anyag, melynek alakváltozási képessége kicsi, gyakorlatilag nem képes alakváltozásra



A kristályszerkezet és az alakíthatóság kapcsolata



A fémek alakíthatósága függ a kristályszerkezetétől.

Külső erők hatására a fémionok a térrácsban egymáshoz képest elcsúsznak.

Alakíthatóság: a jól alakítható anyag külső erők hatására **képlékenyen deformálódik.**

Jól alakíthatók: lapközepes és a térközepes köbös térrácsú fémek, pl. Al, Cu és a kis széntartalmú acélok (a síkok könnyebben elcsúsznak egymáson)

Rosszul alakíthatók: hexagonális rácsú fémek, pl. a horgany (ridegek, könnyen törnek)

Nem alakíthatók (a ridegségük miatt) a vasöntvények, keményfémek.



Állapottényezők és hatásuk a képlékenységre



- A **képlékenység** (alakíthatóság) **nem abszolút tulajdonsága** az anyagnak, hanem az állapot tényezőknek is függvénye.
- **Állapottényezők:**
 - Feszültségi állapot
 - Hőmérséklet
 - Alakváltozási sebesség



Állapottényezők és hatásuk a képlékenységre

- **Feszültségi állapot**
 - A többtengelyű nyomófeszültségi állapot a képlékenységet javítja,
 - a többtengelyű húzófeszültségi állapot rontja.
- **Hőmérséklet**
 - Magasabb hőmérsékleten az alakíthatóság javul.
- **Alakváltozási sebesség**
 - A sebesség növekedésével eleinte romlik, majd javul az alakíthatóság.





Az alakváltozás mechanizmusa



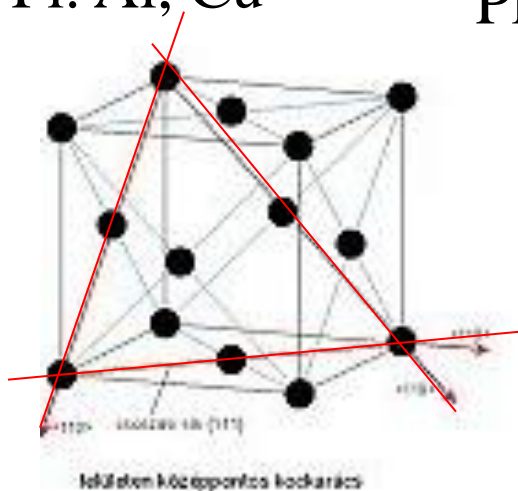
- A fémek **képlékenysége** azon alapul, hogy a fém kristályokon belül egy **határ igénybevétel átlépésekor** az atomsorok elcsúsznak egymáson anélkül, hogy közben a közöttük lévő összetartozás megszűnne.
- Ez a jelenség a csúszás vagy transzláció
- A csúszás mindig jól meghatározott kristály síkokon – a csúszósíkokon megy végbe
- A csúszósíkok a kristályrácsban a legnagyobb atomsűrűségű síkok
- Csúszást csak nyírófeszültség hozhat létre.



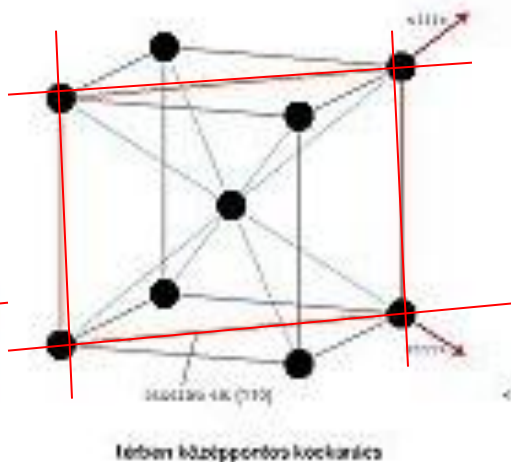
Képlékenységtan, alapok

A csúszás a legtöbb atomot tartalmazó síkon indul meg.

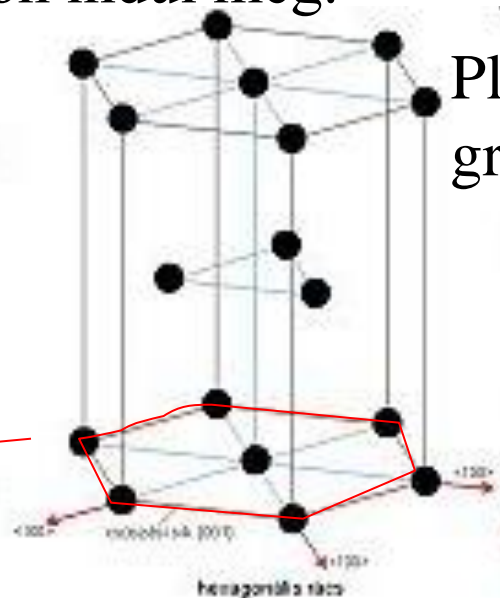
Pl. Al, Cu



Pl. alfa vas



Pl. Ti, Zn,
grafit



A csúszás megindításához és fenntartásához szükséges elméleti feszültség **1000x nagyobb**, mint a valós, mért érték.

????????????????????????????????



Rácsrendezetlenségek, rácshibák

Magyarázat



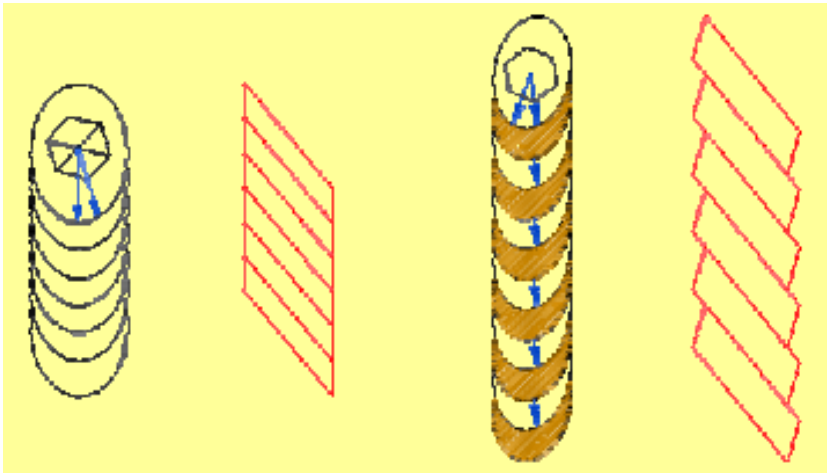
A **kristálysíkok elcsúszása** nem az atomsíkok merev testhez hasonlítható elcsúszásával megy végbe,
hanem **kristályhibák közvetítésével**, az atomsor a **diszlokációk segítségével** mintegy „végiggörög, végigfut” a másik atomsoron.



Rácsrendezetlenségek, rácshibák, magyarázat



A fémkristályokban az elcsúszás a képlékeny alakváltozás nem egyszerre következik be, hanem egy adott síkon és adott irányban „fokozatosan”.

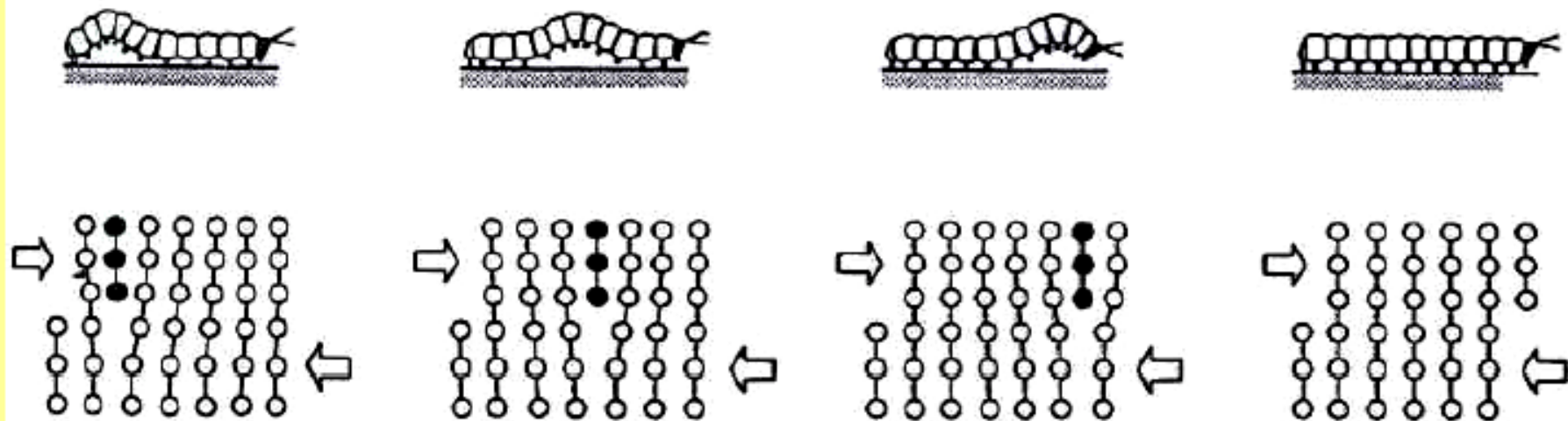




Rácsrendezetlenségek, rácshibák, magyarázat



Az elcsúszás nem egyszerre megy végbe
Ez csak akkor lehetséges, ha a kristály
tartalmaz **egyméretű rácshibákat,**
diszlokációkat.



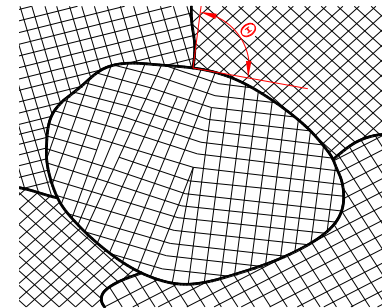
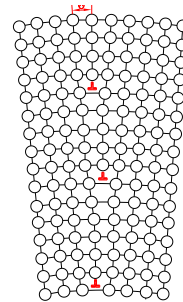
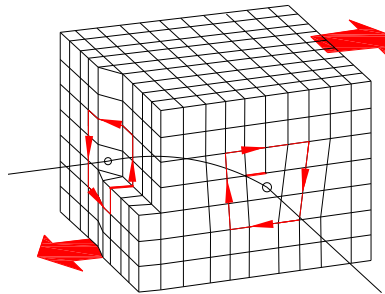
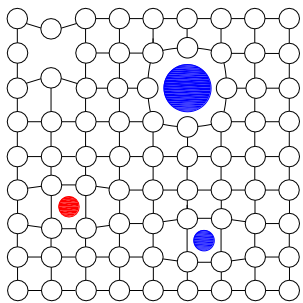


Kristályhiba típusok



A rácsrendezetlenségeket kiterjedésük szerint csoportosíthatjuk:

- Nulladimenziós (pontszerű) rácshibák
- Egydimenziós (vonalszerű) rácshibák, diszlokációk
- Két- és háromdimenziós (sík és térbeli) hibák





Pontszerű rácshibák



Üres rácshely
(Vakancia)

Intersztíciós atom

beékelődő
atom

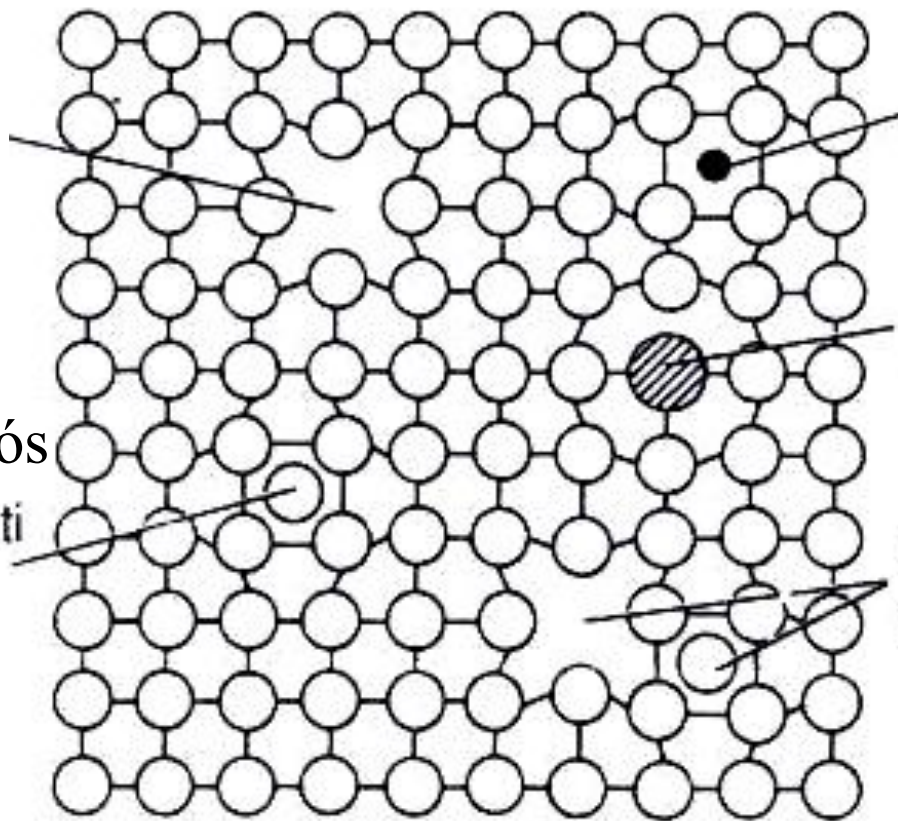
helyettesítő
atom

Szubsztitúciós atom

Saját intersztíciós
atom

rácsközti
atom

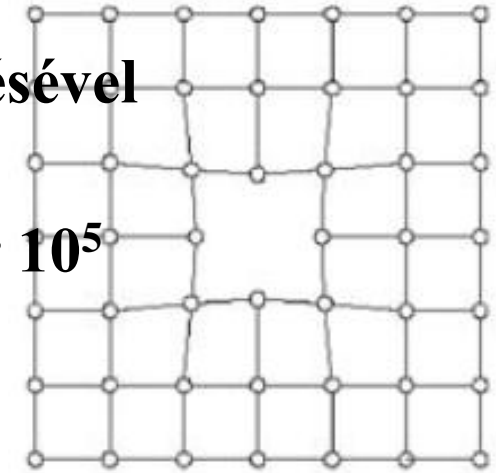
Frenkel-féle
pár





Üres rácshelyek, vakanciák

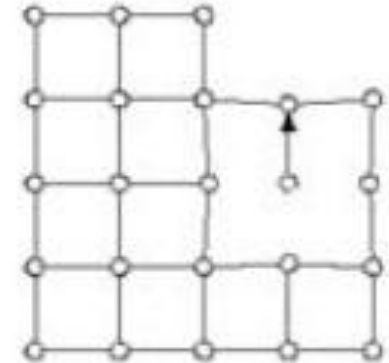
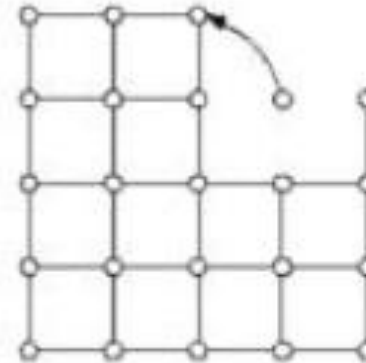
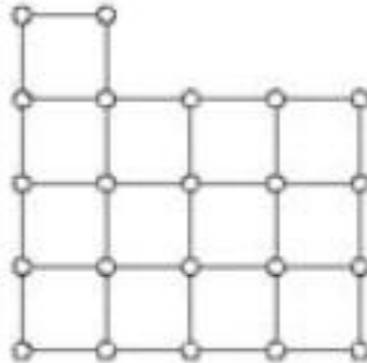
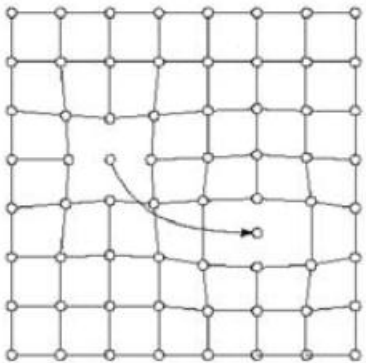
- **Egységnyi térfogatuk a hőmérséklet emelkedésével nő**
- **Szobahőmérsékleten kb. 10^{18} 1000 K-nél már 10^5 atomra jut üres rácshely**
- **Fontos szerepük van a diffúzióban**



Képződési mechanizmusok (pl. nem egyensúlyi hűtés, képlékeny alakváltozás, részecske besugárzás)

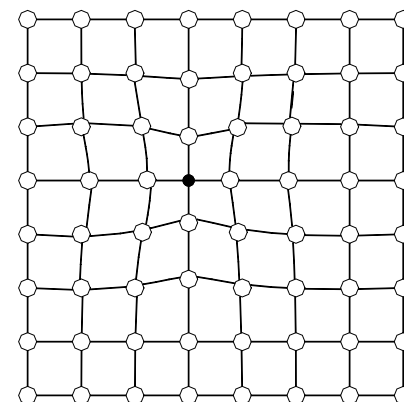
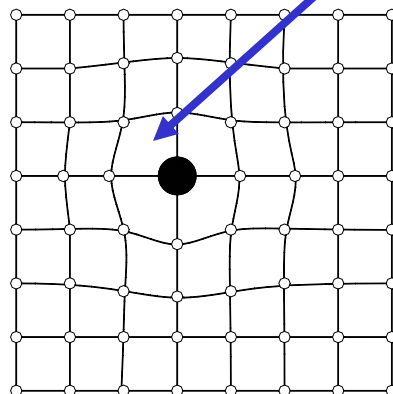
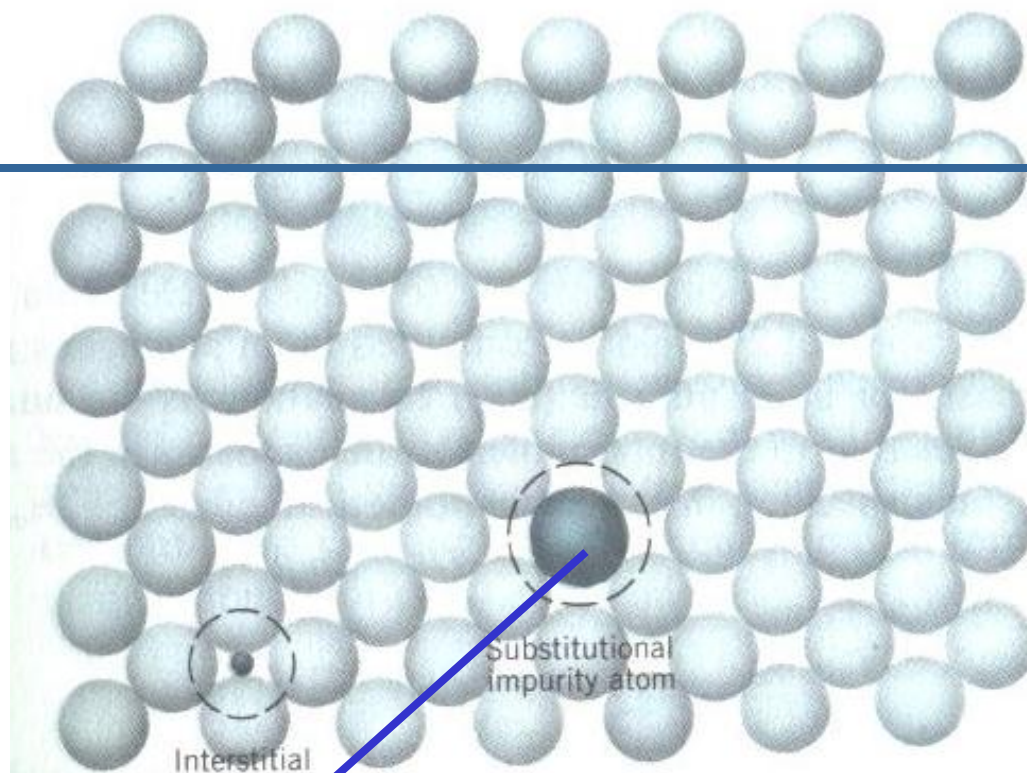
- Frenkel pár

- Wagner-Schottky mechanizmus





Idegen atom a rácásban



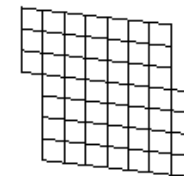
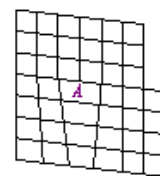
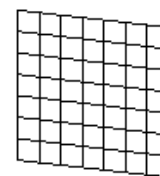
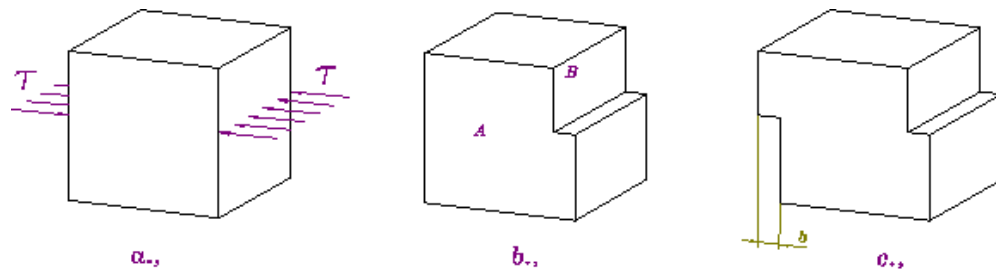


Egydimenziós rácshibák

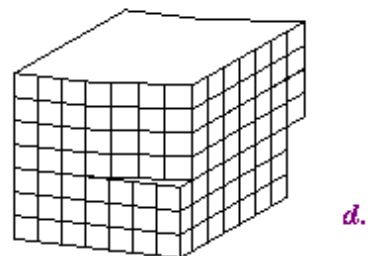
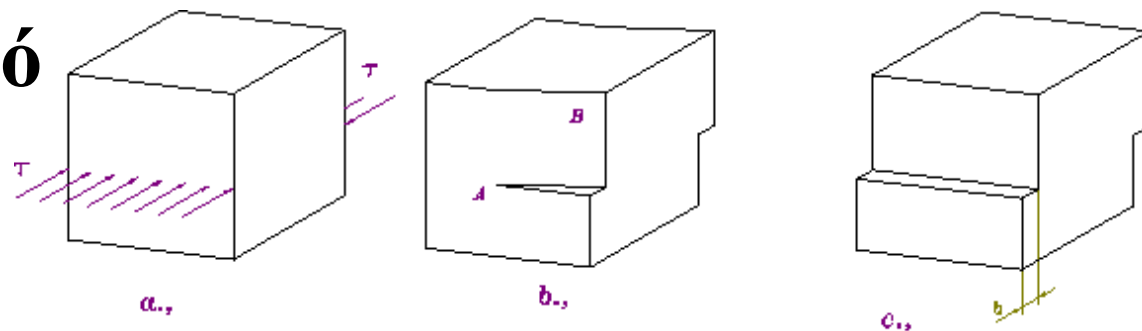
Diszlokáció



- Éldiszlokáció



- csavardiszlokáció



A diszlokáció az elcsúszott és el nem csúszott részek határvonala!

A diszlokációk elmozdulásával jön létre a fémekben a képlékeny alakváltozás!



Diszlokáció sűrűség változása képlékeny alakítás során

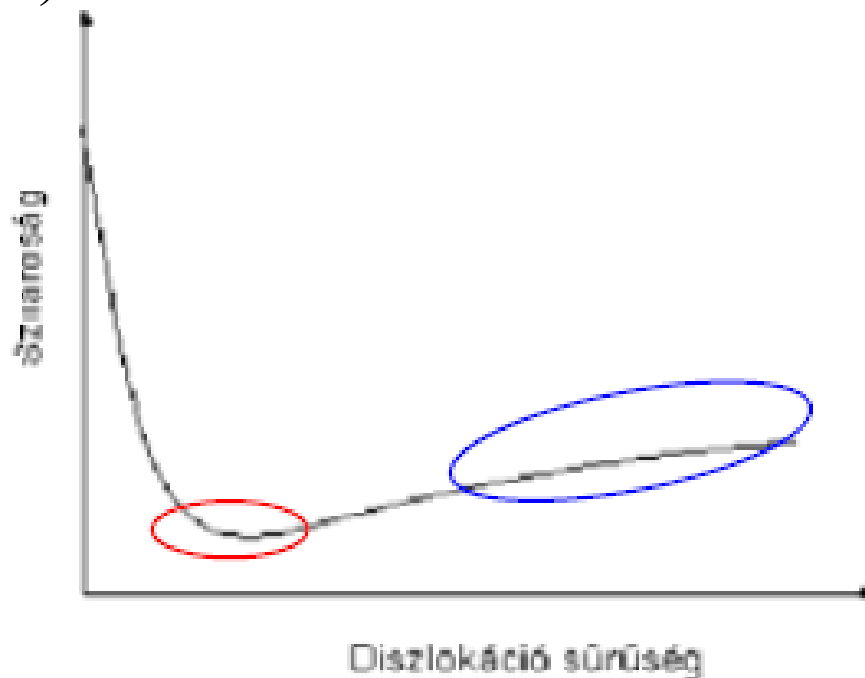
Az öntött fémekben a diszlokációs sűrűség (amelyet általában felületegységre vonatkoztatnak) $10^{10} \dots 10^{12} \text{ cm}^{-2}$.

Definíciók

Lágyított: $10^{10} - 10^{11} \text{ cm}^{-2}$

Alakított: $10^{14} - 10^{16} \text{ cm}^{-2}$

(alakítási keményedés)



Folyáshatár – diszlokáció sűrűség

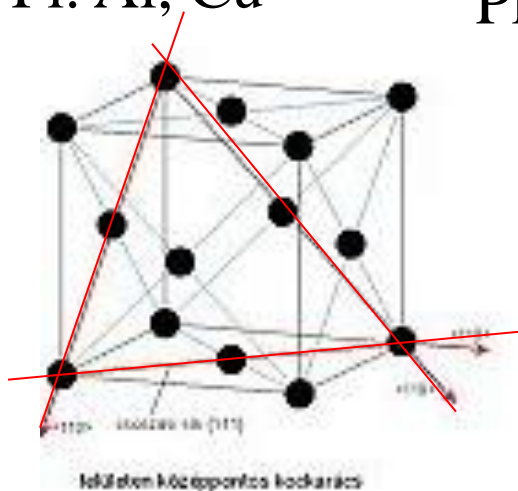
Diszlokáció mozgása mindig a legsűrűbb síkban és a legsűrűbb irányban történik.



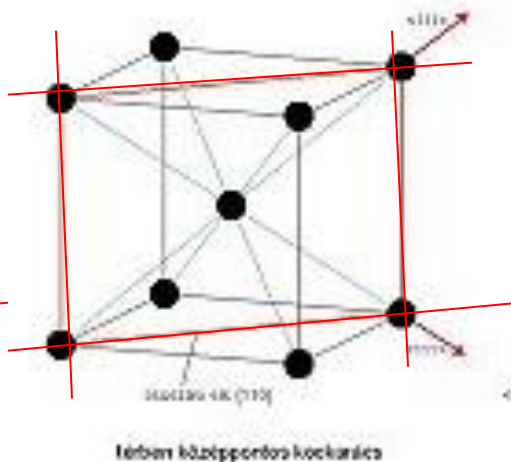
Képlékenységtan

A csúszás a legtöbb atomot tartalmazó síkon indul meg.

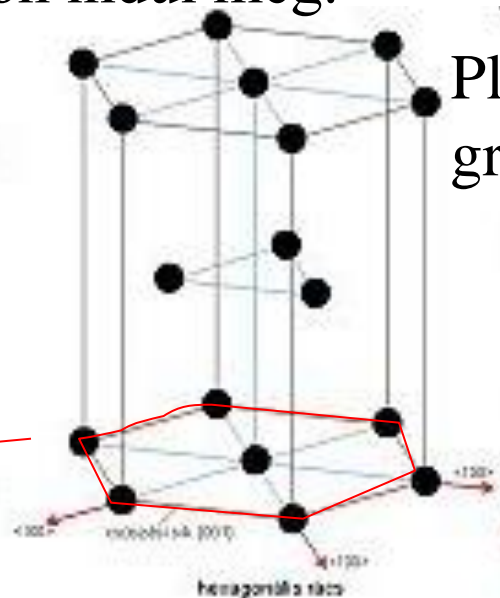
Pl. Al, Cu



Pl. alfa vas



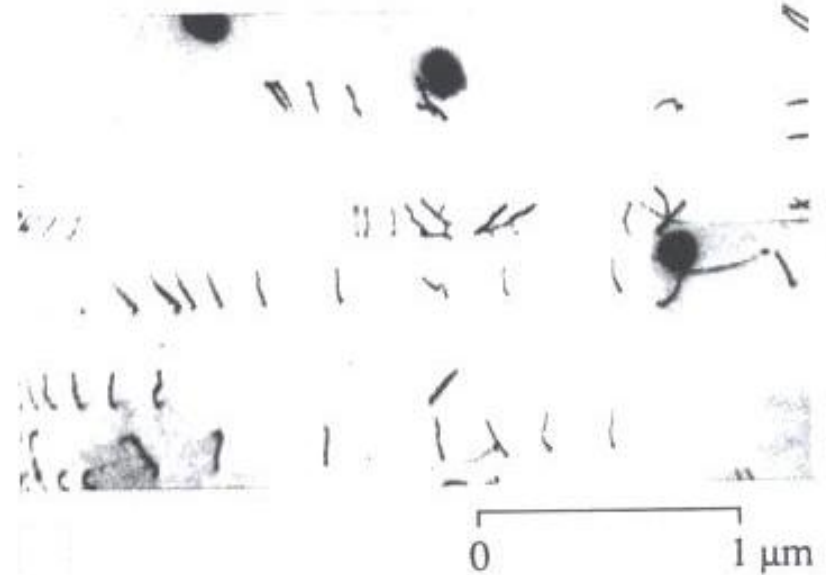
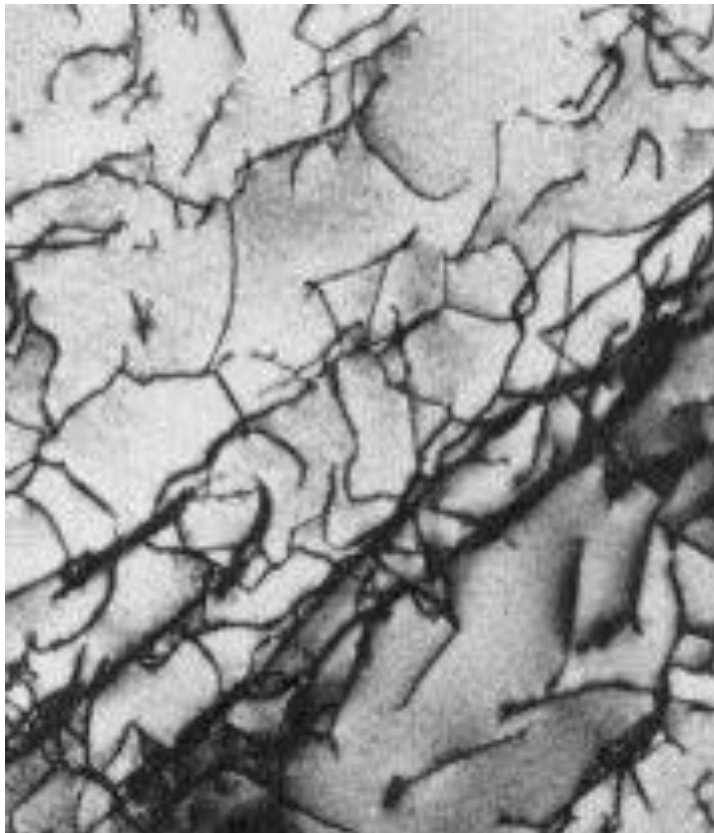
Pl. Ti, Zn,
grafit





Diszlokáció

- Diszlokáció rozsdamentes acélban (Cr-Ni ötvözés)



- diszlokáció Ti ötvözetben

N 51 450x



Kétdimenziós rácshibák



Makrofelület

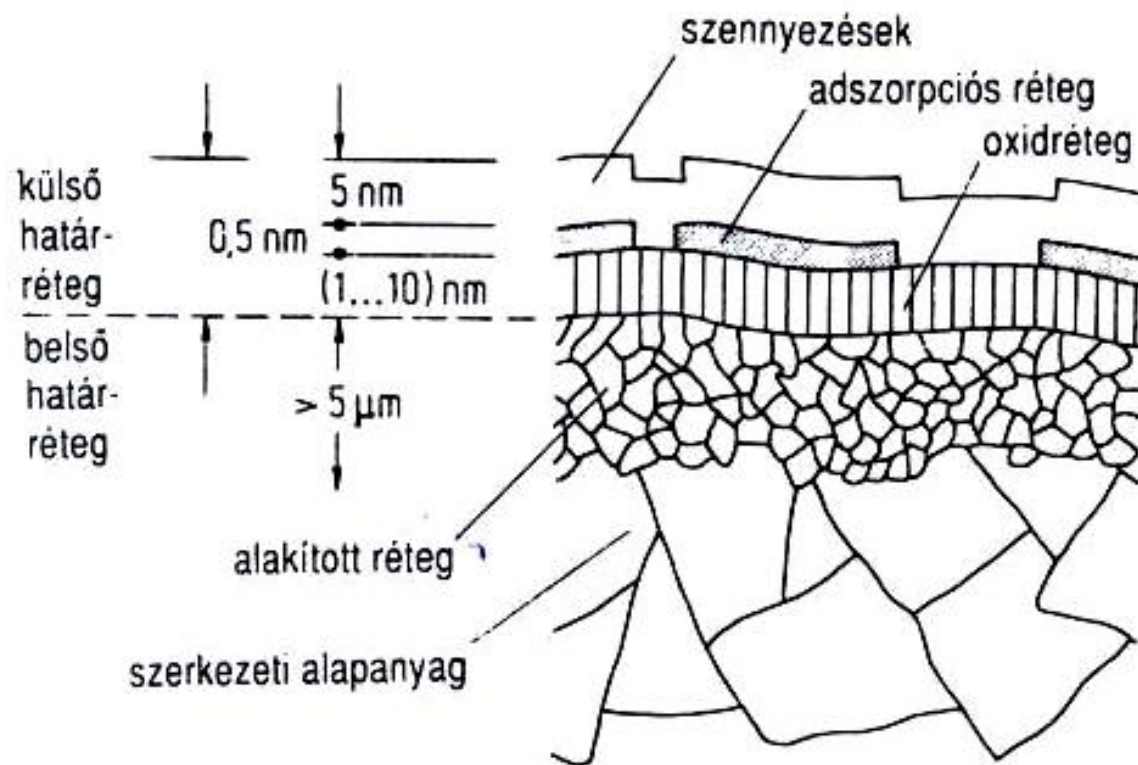
Szemcsehatár (nagyszögű, kisszögű)

Fázishatár (inkoherens, szemikoherens, koherens)

Ikersík

Rétegződési hiba

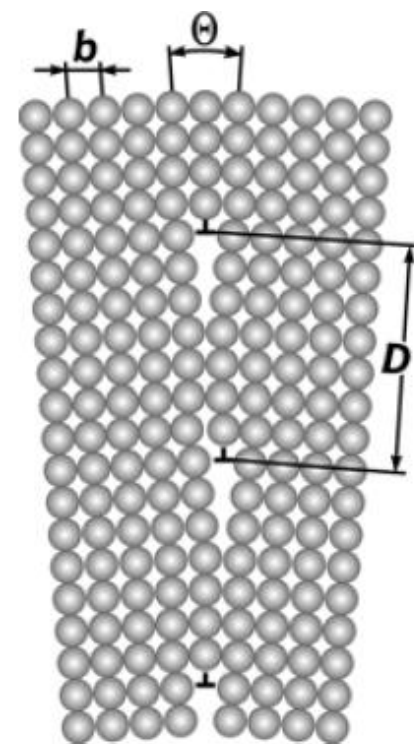
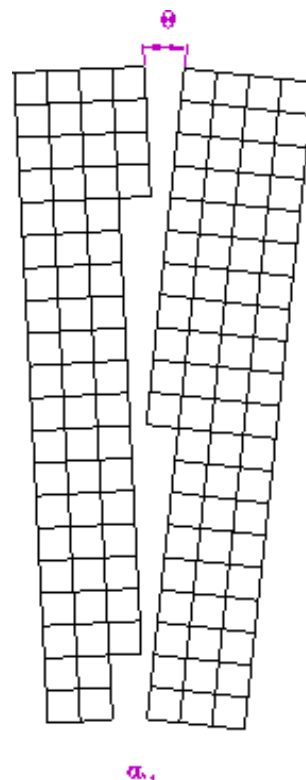
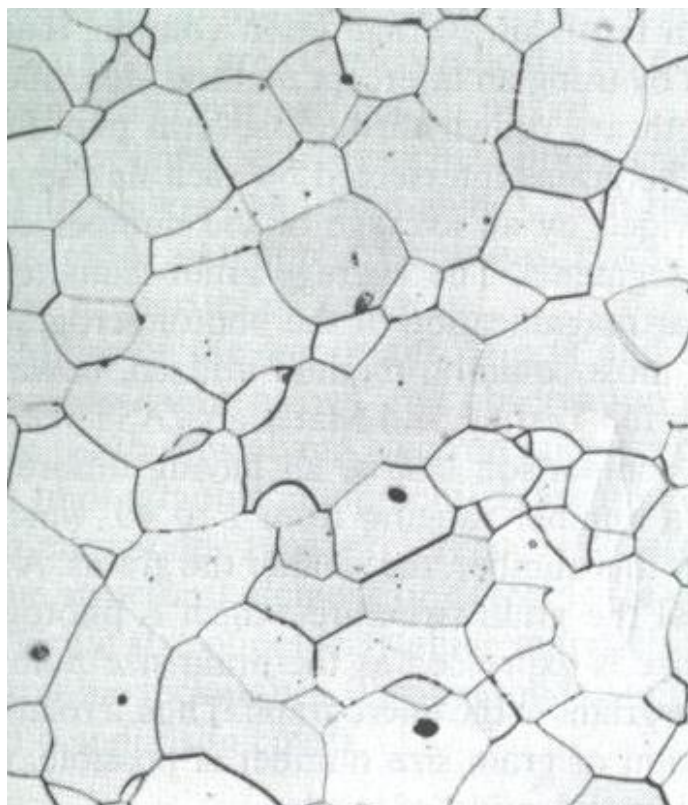
- **Felület**





Kétdimenziós rácshibák

kristályhatár



$$\Theta \approx \text{tg}\Theta = \frac{b}{D}$$

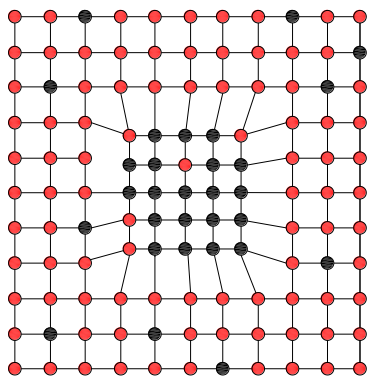


Kétdimenziós rácshibák: Fázishatár

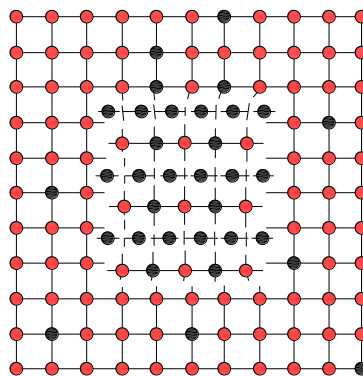


- a fázisok határfelületei

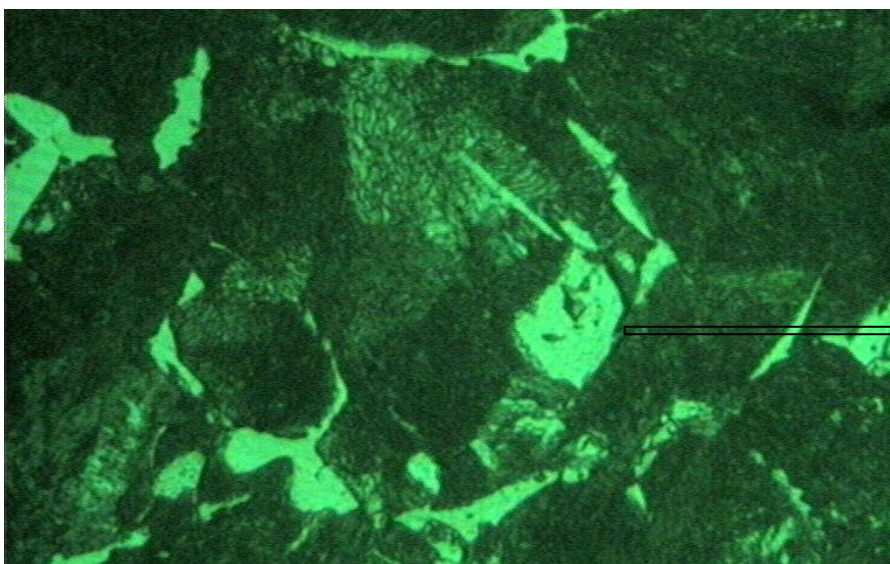
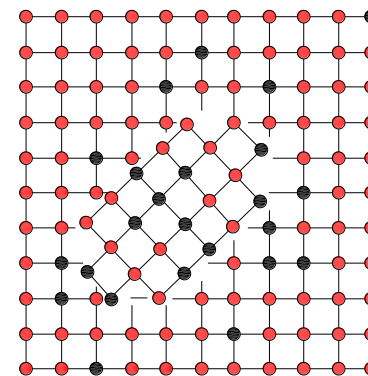
koherens



semikoherens



inkoherens



Ferrit perlit



Alakítási keményedés



A diszlokációk környékén a rácstorzulás miatt jelentős nagyságú feszültségi energia halmozódik fel.

A képlékeny alakváltozás az atomokat összetartó belső erők legyőzésével valósítható meg.

Amennyiben a csúszás (*transzláció*) síkjában diszlokáció található, akkor ez az aktivizálódott térrész eléri azt az energiaszintet, amely az elcsúszáshoz szükséges.

A képlékeny alakváltozás folyamán a diszlokációk megsokszorozódnak (akár 10^{15} m^{-2} nagyságrendig), emiatt gátolják egymás mozgását.

A felhalmozódott feszültségi energia az alakított fémekben *alakítási keményedést* okoz, megváltoznak a fém mechanikai tulajdonságai és szemcseszerkezete.



Diffúzió, újrakristályosodás



Amennyiben a fémnek lehetősége lenne, ezt a bevitt fölös energiát leadná.

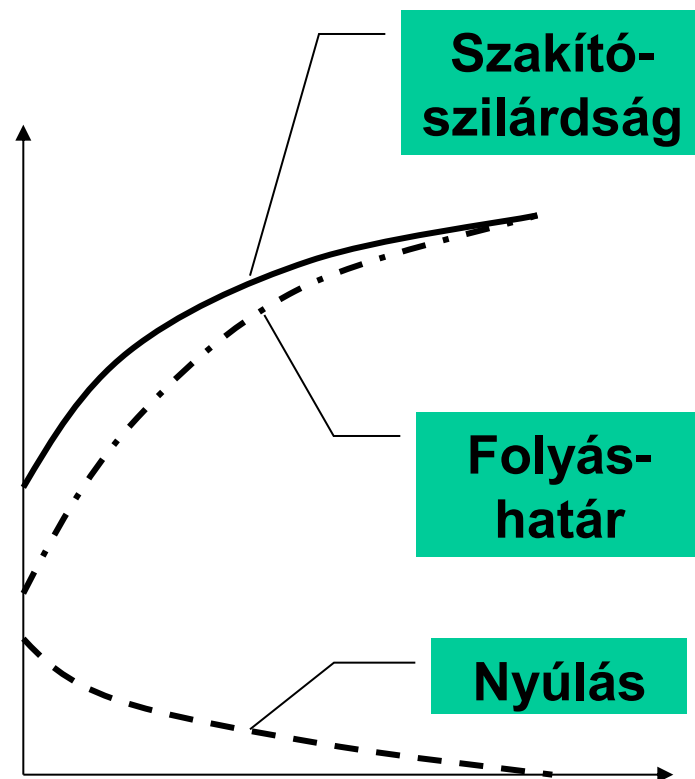
A fém **hőmérsékletének növelésével** lehetőséget adunk a diffúziós folyamatok megindulására. **A diffúzió** tehát olyan termikusan aktivált folyamat, amely az **atomok vándorlását jelenti**, **hajtóereje** pedig a kiinduló- és végállapot közötti **energia különbség**.

Ha tehát hőt közlünk az alakított darabbal, szerkezete úgy változik, hogy a **legkisebb energiájú, egyensúlyi állapotot** vegye fel. A belső feszültség, a keménység és a szilárdság értékei visszatérnek az alakítás előtti állapotba, a diszlokációk száma visszaáll az egyensúlyi értékre. Ekkor az alakított szemcsék helyett új, alakítatlan szemcsék jelennek meg. **A fémekben szilárd állapotú csíráképződés és kristályosodás történik. Ez a folyamat az újrakristályosodás.**

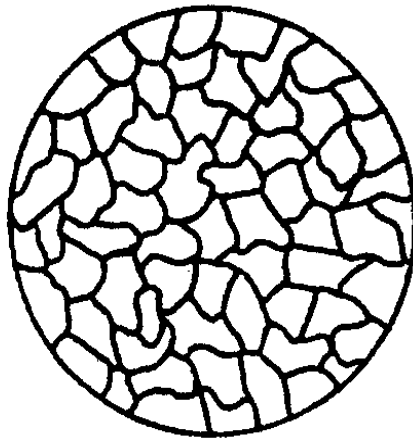


A hidegalakítás hatása az anyag tulajdonságaira

- Alakítás hatására nő a diszlokáció sűrűség
- Emiatt nő a szilárdság és romlik az alakíthatóság
- Összefoglalóan: az anyag felkeményedik

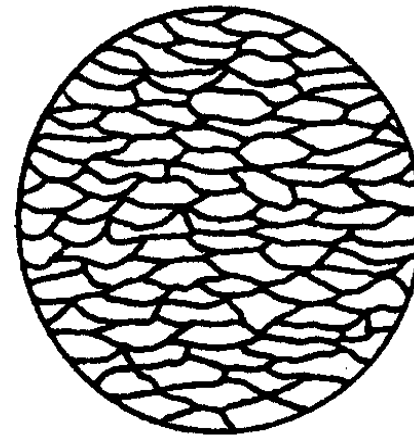


Alakítás mértéke



$$V_0$$

a./ alakítás előtt



$$V_1 = V_0$$

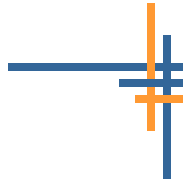
b./ hidegalakítás után

V_0 = átlagos szemcsetérfogat alakítás előtt

V_1 = átlagos szemcsetérfogat hidegalakítás után

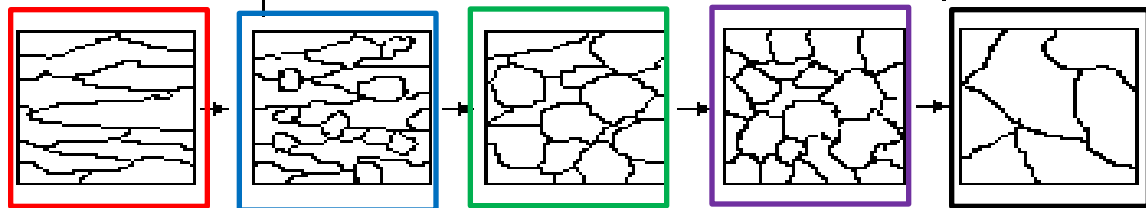
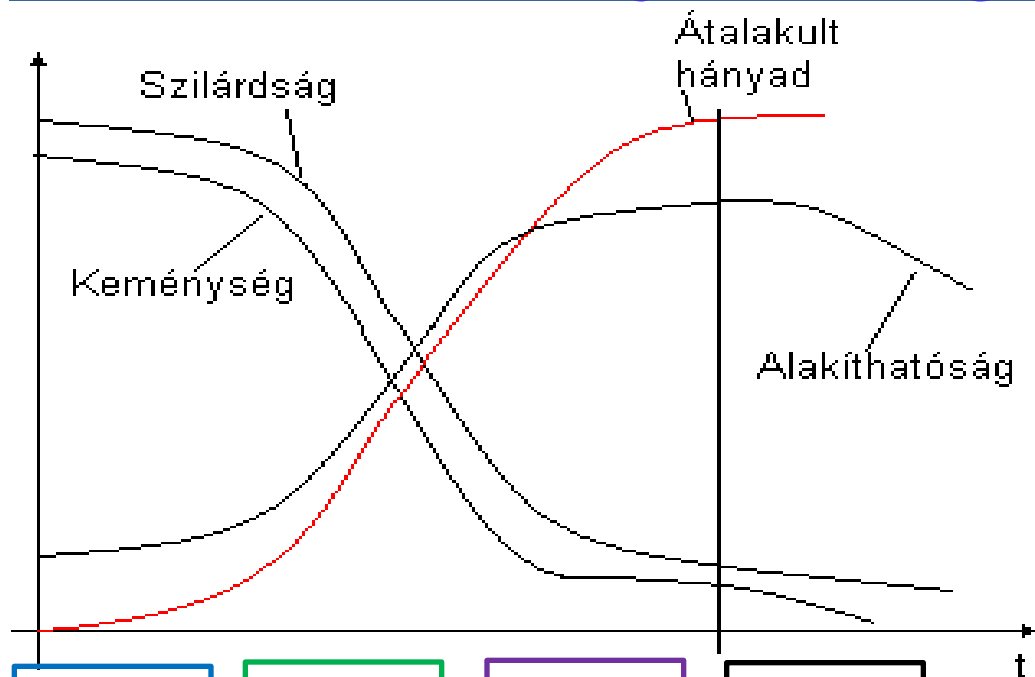
Jelentős hidegalakítás hatására a diszlokáció sűrűség nő, az alakváltozó képesség romlik – az eredeti állapotot hőkezeléssel állítják helyre.

A kilágyított fém átlagos diszlokáció-sűrűsége 10^6 - 10^7 $1/\text{cm}^2$, az erősen hidegalakított fémé pedig 10^{12} - 10^{13} $1/\text{cm}^2$.





Hidegalakítás utáni hőkezelés hatása a tulajdonságokra



- a) elnyúlt, alakított szemcsék, b) új kristálycsírák megjelenése,
c) új szemcsék növekedése, d) a primer újrakristályosodás vége,
e) szekunder rekrisztallizáció miatti szemcsedurvulás



Újrakristályosodás hatása



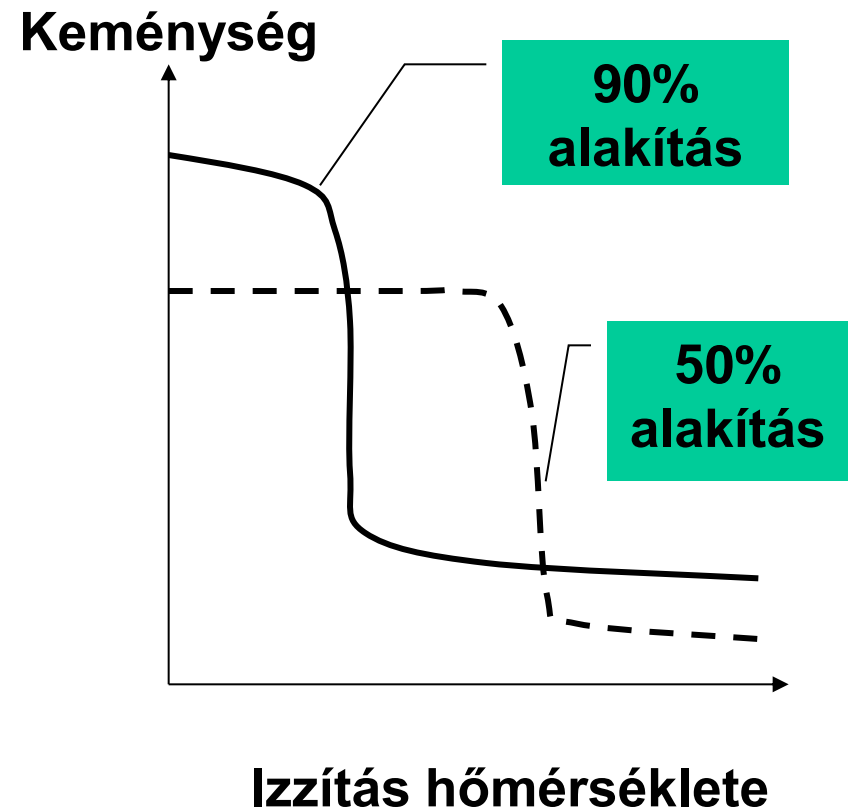
Az újrakristályosodás során kialakuló **szemcseméret** azért fontos majdnem minden technológia szempontjából, mert az **megszabja a legfontosabb mechanikai tulajdonságokat**. Minél kisebb a szemcsék mérete, annál nagyobb az anyag szakítószilárdsága, és annál nagyobb a szívóssága.

Minél **nagyobb az alakítás mértéke**, annál **kisebb újrakristályosodott átlagos szemcseméretre** számíthatunk, azaz a **mechanikai tulajdonságok (szilárdság, szívósság) annál kedvezőbbek** lesznek.



A hidegen alakított termékek hőkezelése - lágyítás

- Hőkezelés hatására az alakított fém kilágyul, és visszanyeri az alakíthatóságát
- Minél nagyobb az előzetes alakítás, annál kisebb hőmérsékleten lágyul ki a fém





Ötvözetek



- **Színfémek** nem tudják az ipar igényeit kielégíteni
- **ötvözet**= olyan , legalább látszatra egynemű, fémes természetű elegy, amelyet két vagy több fém összeolvasztása, vagy egymásban való oldása útján nyerünk.

☞ **Alapfém**

☞ **ötvöző**

☞ **szennyező**



Az ötvözetek szerkezete, fázisai



- színfém,
- szilárdoldat
- vegyület

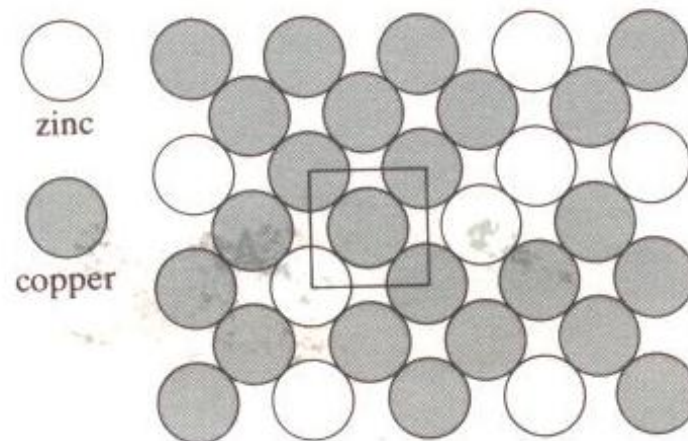
Ezek a kristályos fázisok előfordulhatnak önállóan, mint egy fázisú szövetelemek, de alkothatnak egymással kétfázisú heterogén szövetelemeket is (eutektikum, eutektoid)



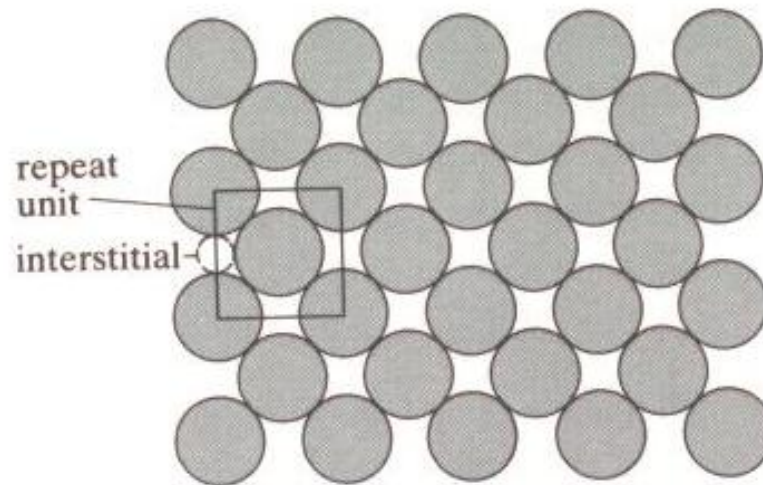
Szilárd oldat



⇒ **szubsztitúciós** az
alulfém atomját
helyettesíti



⇒ **interszticiós** az
alulfém atomjai közé
beékelődik





Az oldódás lehet:



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



- **Korlátozott**



Fémvegyület



- **Ionvegyületek** pl. NaCl , CaF_2 , ZnS
- **elektronvegyület** pl. CuZn , Cu_5Zn_8 , CuZn_3 vagy AgZn , Cu_5Si
- **intersztíciós vegyület** pl. A_4B , A_2B , AB vagy AB_2 lehet vagy ilyen pl. a Fe_3C , Mn_7C_3



Az ötvözet alkotó nem oldják egymást



Ha az ötvözet alkotói nem oldják egymást szilárd állapotban 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



Vizsgálatainkat az anyagnak a külvilágtól elkülönített részén az un. **rendszerben** végezzük.

(**Rendszer:** a térnek a vizsgálat számára elkülönített része.)

- A rendszer homogén, önálló határoló felületekkel elkülöníthető része a **fázis. Jele: F**

A rendszer lehet:

- **Homogén** vagy egyfázisú
- **heterogén** vagy többfázisú (pl. víz+jég)

A rendszert az alkotók vagy komponensek építik fel. Jele: K

Alkotó vagy komponens: a rendszert alkotó atom vagy molekula fajták.

Fázis: a rendszer olyan része, amelynek fizikai és kémiai tulajdonságai minden pontjában azonosak, és amelyet a rendszer többi részétől fázishatár választ el.

- A rendszer állapotát az **állapottényezők** határozzák meg.

Ezek:

- a hőmérséklet T
- a nyomás p
- a koncentráció c

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

Ezt fejezi ki a Gibbs féle fázisszabály.



A Gibbs féle fázisszabály általános alakja

- A Gibbs - féle fázisszabály általános alakja szerint a fázisok (F) és a szabadsági fokok (S_z) számának összege kettővel több, mint a komponensek (K) száma

$$F + S_z = K + 2$$

- A képletben szereplő 2-es szám, a **nyomást** és a **hőmérsékletet**, mint független változókat jelenti.
- **Szabadsági fok:** azon állapototényezők száma, amelyeket szabadon megválaszthatunk anélkül, hogy a termodinamikai egyensúly állapota megváltozna.



A Gibbs féle fázisszabály fémekre érvényes alakja



A **fémek esetében** a nyomásnak alig van hatása, ezért állandónak tekintjük. Ezért a **fázisszabály fémekre vonatkozó alakja:**

$$F + S_z = K + 1$$



A rendszer állapotának termodinamikai vizsgálata



A rendszer, adott körülmények között akkor van termodinamikai egyensúlyban ha a szabadenergiája minimális. A rendszer mindig a legalacsonyabb energiaszintre törekszik.

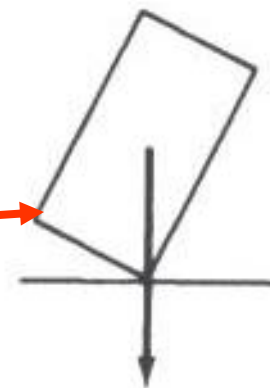
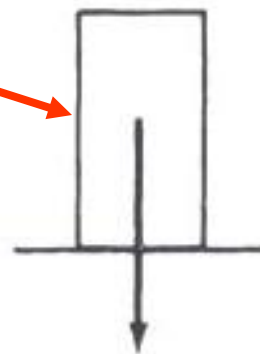
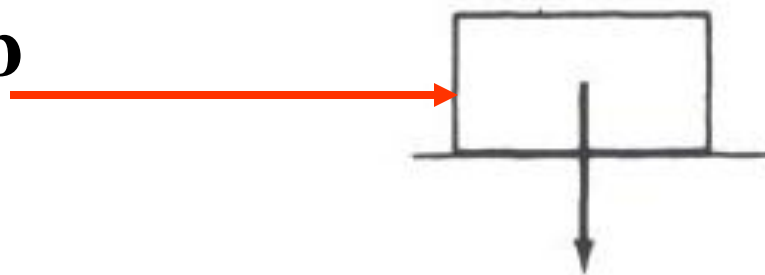
A spontán, külső beavatkozás nélkül létrejövő folyamatok, minden esetben csökkentik a rendszer szabadenergiáját



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



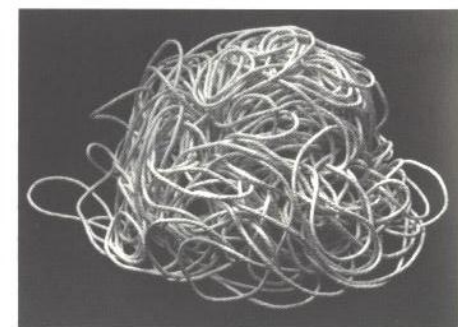
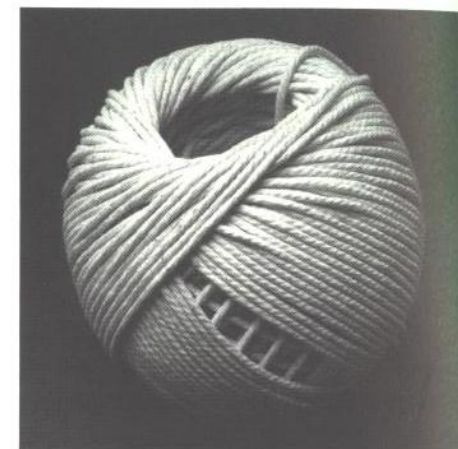
A rendszer adott
körülmények között akkor
van egyensúlyban, ha a
szabadenergiája
minimális!

A szabadenergia felírható :

$$F = U - T.S$$

U: belső energia,

T: hőmérséklet, S: entrópia, rendezetlenség





Az esetek túlnyomó többségében nem az energia abszolút értéke, hanem az **energiakülönbség nagysága fontos.**

$$\Delta F$$

Azok a folyamatok mennek végbe spontán, amelyeknél a szabadenergia csökken. A különbség a folyamat „hajtóereje”.



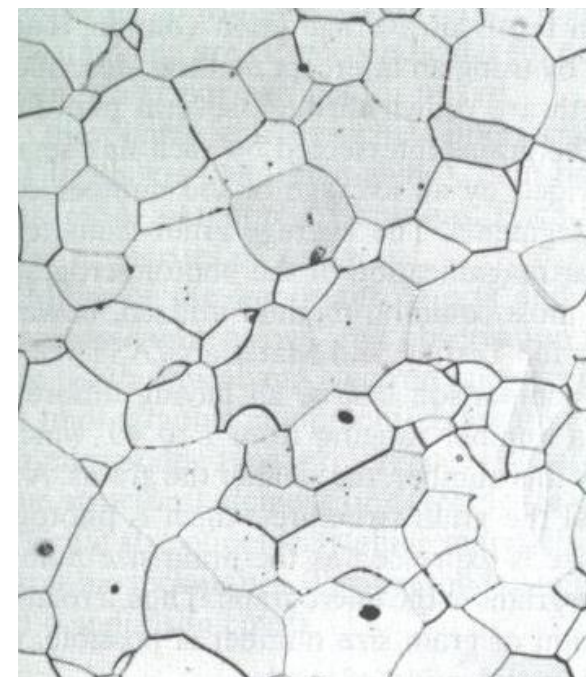
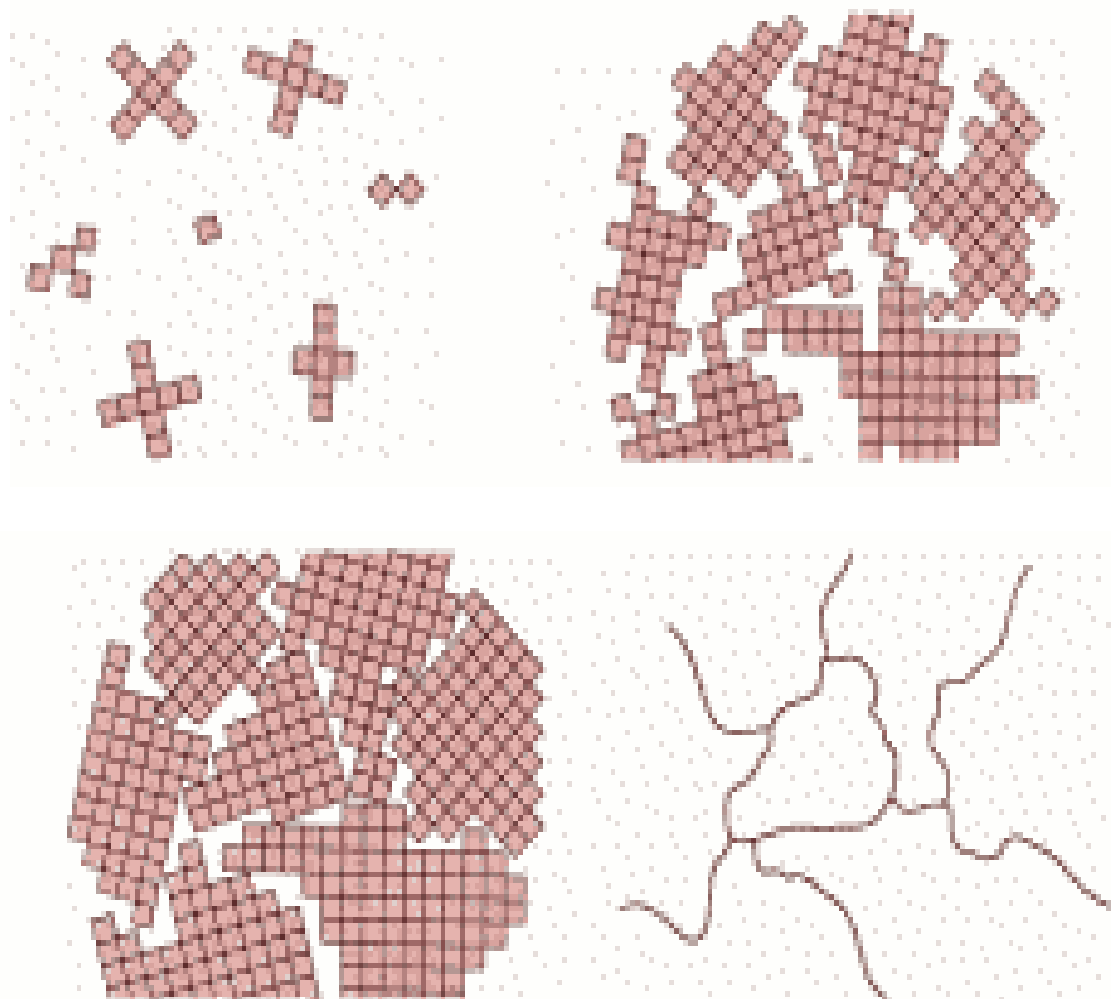
Kristályosodás

A kristályos szerkezet rácselemekből épül fel, melynek alakja változatos és jellegzetes. **Az ionos és kovalens kötéssel rendelkező anyagok, az ásványok, kerámiák kristályainak külső alakja formatartó, magán viseli a rácstípus jellegzetességeit.** Ezek az egyedülálló kristályok az **egykristályok.**





Olvadék (fémek) dermedése

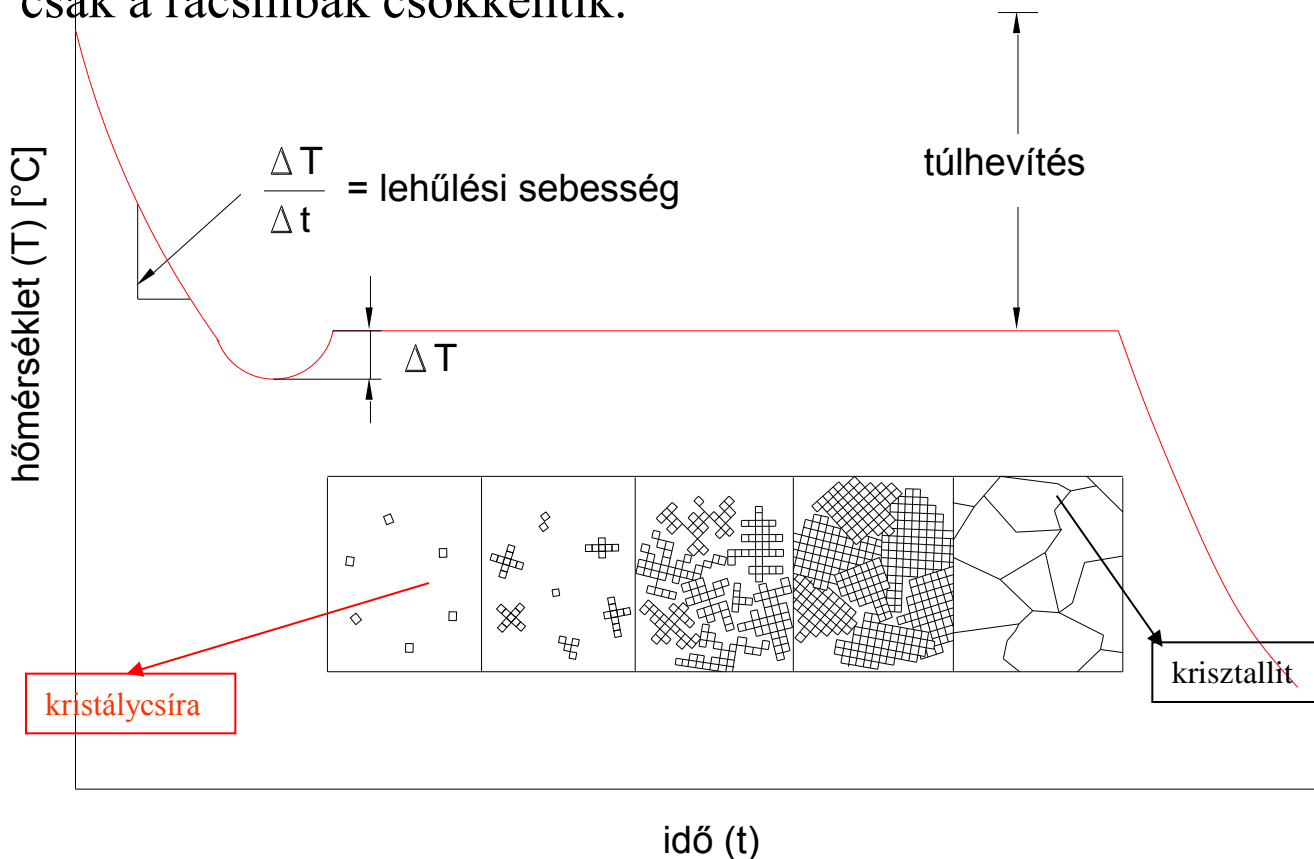


A színfémek kristályos szerkezetének kialakulása

➔ **Dermedéskor** szubmikriszkópos méretű **kristálycsírák** jönnek létre, a csírák növekedésnek indulnak. Az irányítottságuk különböző. Így szabálytalan határfelületi krisztallitok keletkeznek.

➔ A kristályos anyag atomjai (ionjai) dermedés után a rácspontokon végzik rezgő mozgásukat.

➔ A rácspontokon 100%-os valószínűséggel található egy-egy atom. A valószínűséget csak a rácshibák csökkentik.

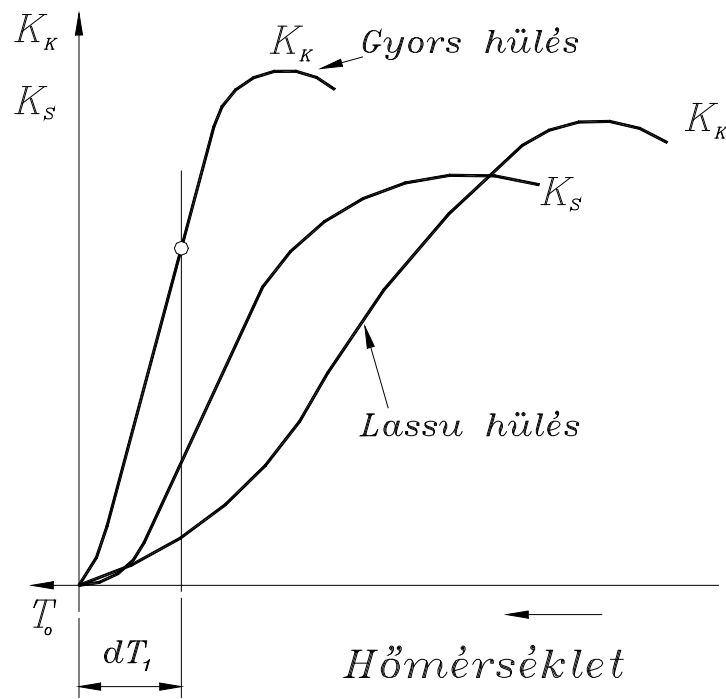




Kristályosodás



A kristályosodás, a kristallitok jellege és mérete a **kristályosodási képességtől**, vagy csiraképződéstől, és a **kristályok növekedésének sebességétől** függ. Mindkét tényezőt befolyásolja az olvadásponthoz képesti túlhűtés mértéke.



- A kristályosodási képesség Jele: K_K .
- A kristályosodási sebesség . Jele: K_S , 52



Milyen szemcseméret alakul ki dermedéskor?

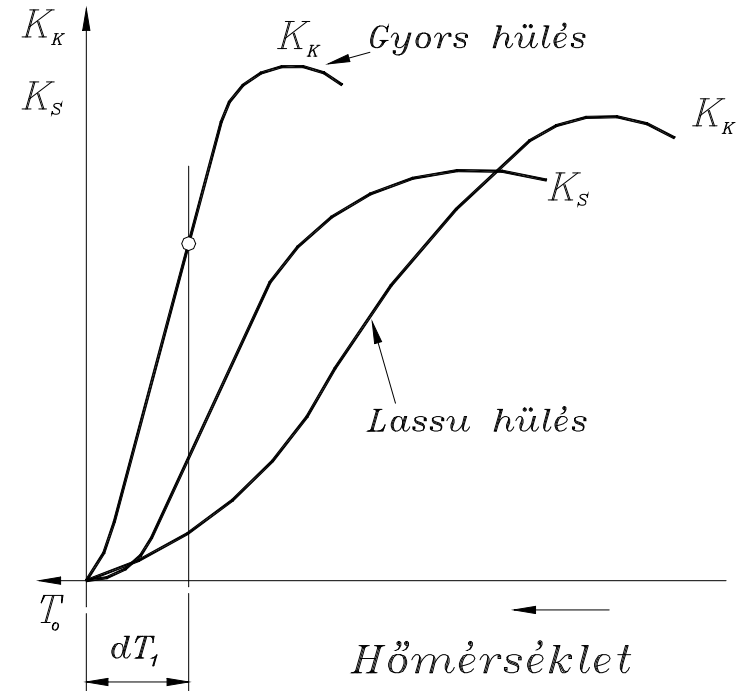


Lassú hűtés

- (pl. homokforma) a csiraképződés kicsi, a növekedés sebessége nagy.
- Az eredmény **durva szemcseszerkezet**

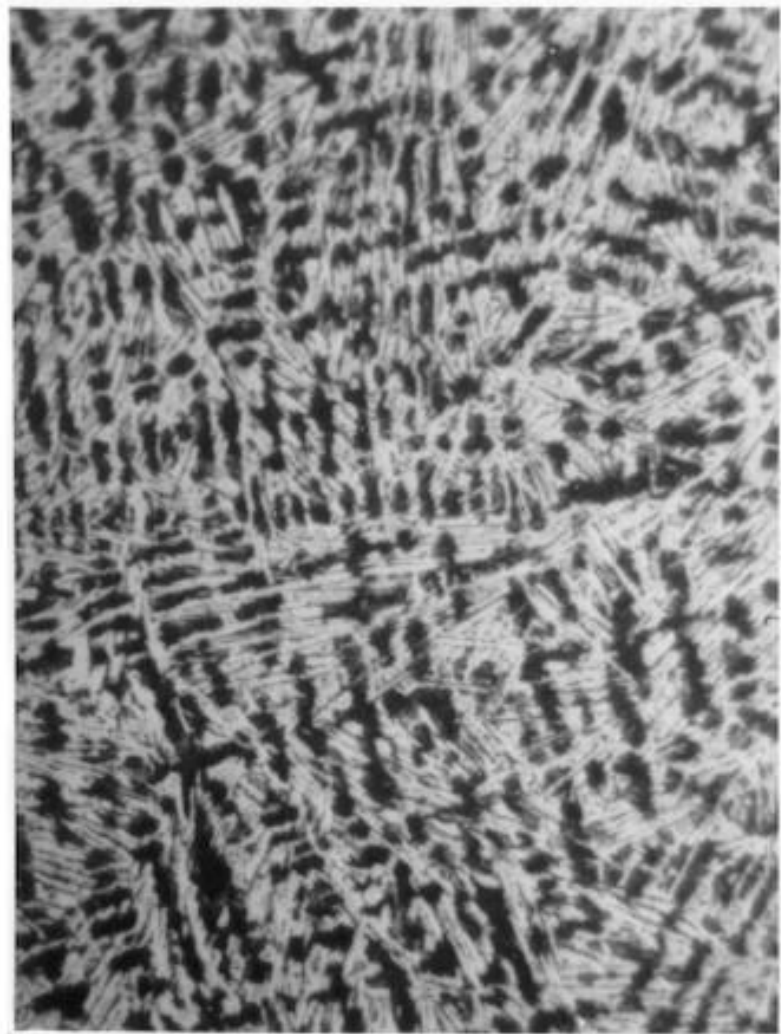
Gyors hűtés

- (pl. fémforma, kokilla) a csiraképződés nagy, a növekedés sebessége nagy.
- Az eredmény **finom szemcseszerkezet**





Fém forma



igen kis térfogatban átolvasztott
és gyorsan lehült

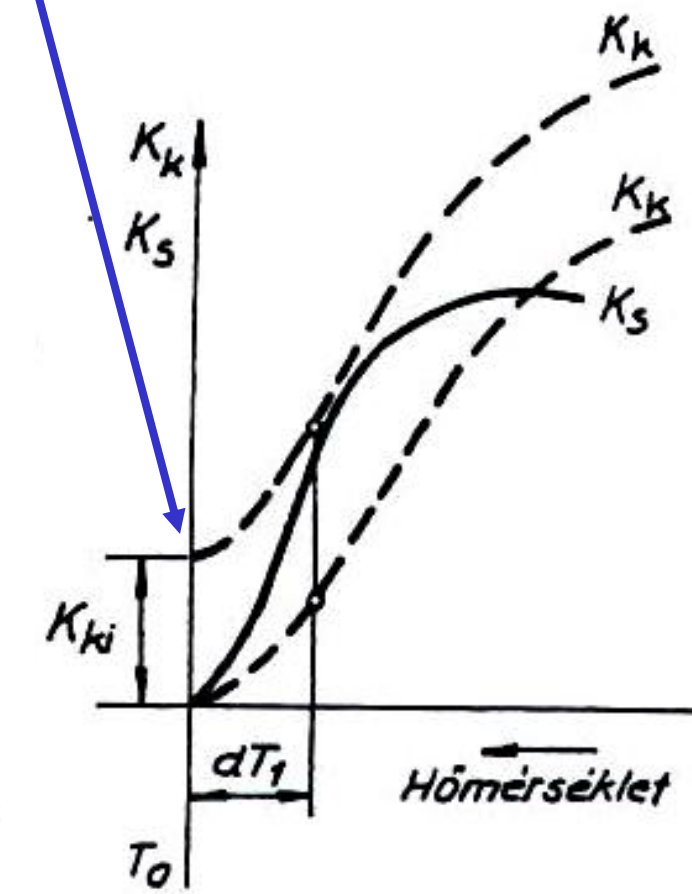
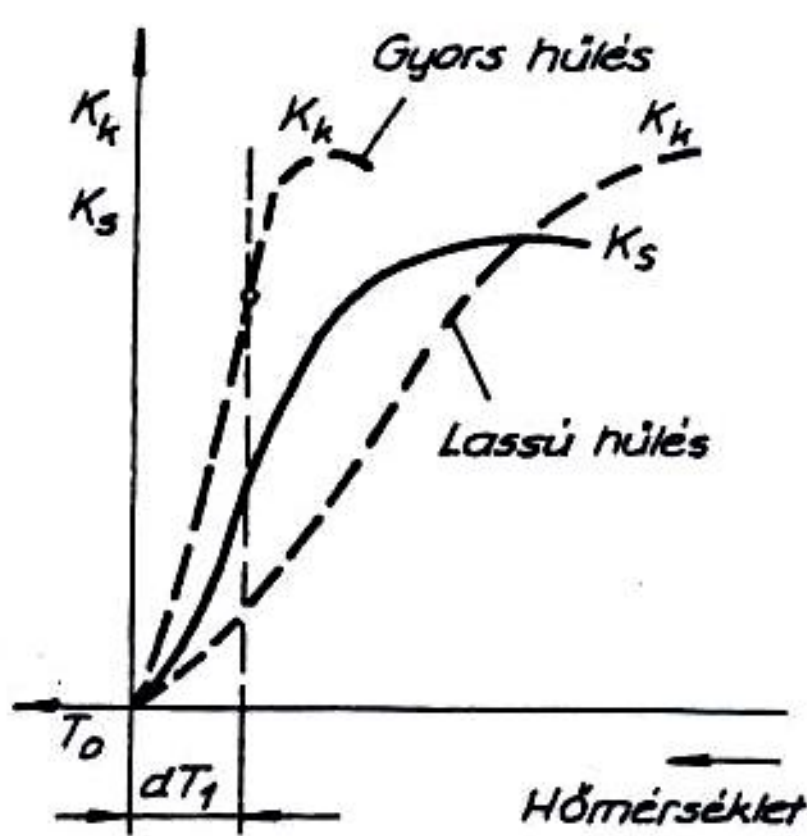
A nagyítás azonos!



A kristályosodást befolyásoló tényezők



Idegen fajtájú csira

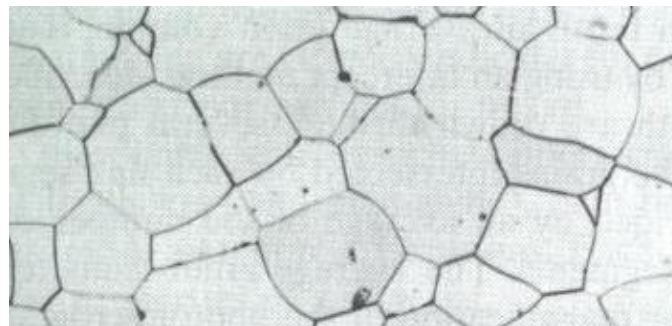




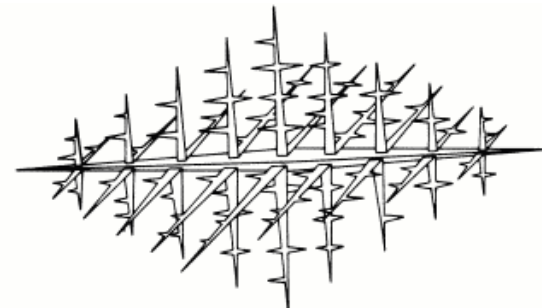
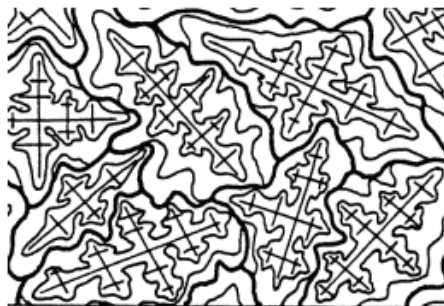
Kristályosodási formák



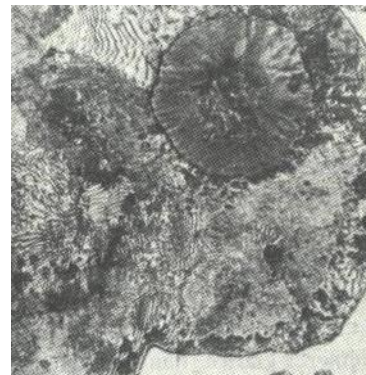
- Poliederes



- dendrites



- szferolitos

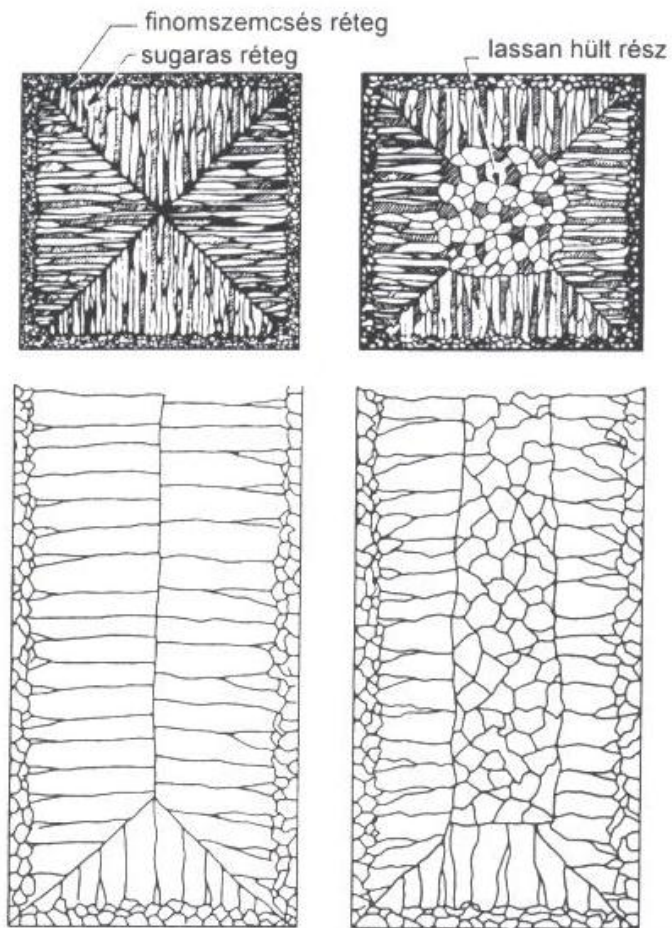




A kristályosodást befolyásoló tényezők



**Intenzív, irányított
hőelvonás
Fém formák**





Fázisátalakulás



Egy termodinamikai rendszer átalakulása egyik fázisból a másikba, ezalatt a rendszer **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 **fázisátalakulás** kifejezést leggyakrabban a **szilárd**, a **folyadék** és a **gáz** állapot, átalakulásainál használjuk, ritkábban a plazma állapot esetében.

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



Allotrópia gyakorlati jelentősége



A legnagyobb gyakorlati jelentősége a **színvas** allotrópiájának, nevezetesen a **ferrit-ausztenit** átalakulásnak van, mert ez határozza meg az **acél** tulajdonságait. **Ezen alapul az acélok edzhetősége.**

Az **ónpestis** az **ón** allotrópiájának következménye; ha a tetragonális rácsú ónt kb. **13 °C alá hűtjük**, rácsszerkezete (nagyon lassan) a gyémántéhoz hasonlóvá válik, ez az ún. szürkeón. A fajtérfogat változása feszültségeket kelt, és a tárgy **szétporlik** (mint például a középkori templomok ón orgonasípjai). A pestis elnevezés arra utal, hogy az egyik tárgyon megindult folyamat átvihető a másokra. Az ónpestis ötvözással küszöbölhető ki.