



Fémtan

Segédlet az ***Anyagszerkezet***tan I című tárgyhoz



Tartalomjegyzék

1. A fémek általános jellemzői	3
1.1. Kristályos szerkezetek	3
1.2. Halmazállapot változások fémeknél	5
2. Az alakváltozás mechanizmusa kristályos szerkezetekben	6
2.1. Rácsrendezetlenségek	7
2.1.1. Pontszerű rendezetlenségek	8
2.1.2. Egyméretű vonalmenti rendezetlenségek	9
2.1.3. Kétméretű felületszerű rendezetlenségek	10
2.2. A képlékeny alakváltozás polikristallin anyagokban	11
2.3. A szakadás mechanizmusa és a szakítógörbe	12
3. Ötvözetek	15
3.1. Egyensúlyi diagramok	16
3.2. Az egyensúlyi diagramok olvasása	17
4. Vas – szén ötvözetek	19
4.1. Öntészeti vasak	21
4.2. Az acélok ötvözői	21
4.3. Az acélok szennyezői	24
5. Az acélok hőkezelése	24
5.1. A hőkezelések általános szakaszai	26
5.2. Hőkezelések az átkristályosodási hőmérséklet felett	27
5.3. Hőkezelések az átkristályosodási hőmérséklet alatt	27
5.4. Kérgesítő eljárások	29
5.4.1. Kéreg létrehozása a felület edzésével	29
5.4.2. Felületnemesítés	30
6. A Réz és ötvözetek	30
Foszforbronz /Cu-Sn-P/	32
7. Az Alumínium és ötvözetek	32
A duráalumínium	34

1. A fémek általános jellemzői

A természetben található ásványok tanulmányozása során már régen megfigyelték, hogy a szabadon fejlődő ásványok szabályos geometriai formákat mutatnak. Ez a megfigyelés érvényesnek mutatkozott akkor is, ha a fémeket olyan módszerrel kristályosították ki, hogy a kristály szabad fejlődését nem gátolja semmilyen külső hatás. Az ilyen módon létrejött képződményeket nevezik **egykristálynak**.

A szilárd halmazállapotú szerkezeti anyagok alapvetően két nagy csoportba sorolhatók:

- szabályos atomelrendezésű, illetve molekulákból szabályos rácsrendszert alkotó, illetve kristályos anyagokra és
- amorf anyagokra.

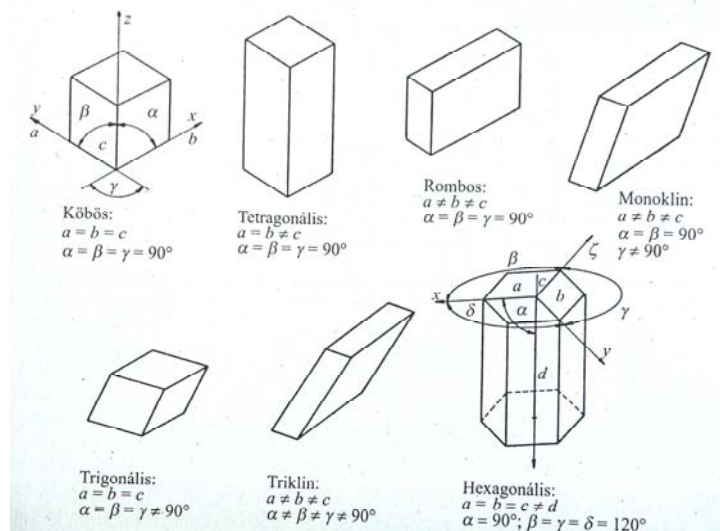
A mai ismereteink szerint tehát a fémek olyan geometriailag szabályos atomelrendezésű anyagok, ahol egyetlen kristályon belül is igen nagyszámú olyan építőelem fordul elő, amelyeken belül az atomok elrendeződése mindig ugyanaz. Azt a legkisebb - több atomból álló - geometriailag szabályos idomot, amelynek ismétlődéséből a kristály (krisztallit) felépül, **rácselemnek** vagy **elemi cellának** nevezik. A legtöbb fém rácseleme 10^{-10} m, tehát Ångström nagyságrendű. Két szomszédos atom atommagjainak, illetve elektronfelhőinek vonzó és taszítóerőinek eredője abban az esetben nulla, ha a két atommag középpontja atomsugárnyi távolságban van egymástól. Így a rácselem egyenlő az atomsugárral. A fémek kristályai általában 10^{-3} mm-től az egész számú milliméter nagyságrendig terjednek.

A legtöbb fém általában jó hővezető, szobahőmérsékleten könnyen alakítható, képlékeny anyag. Olvadáspontjuk $38,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ -tól (Rubídium) $3410\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig (Wolfram) terjedhet, de létezik egy szobahőmérsékleten folyékony fém is a Higanyszél ($-38,4\text{ }^{\circ}\text{C}$). Mivel ionizációs energiájuk kicsi, ezért a színfémek könnyen rendeződnek olyan struktúrákba, ahol a rácspontokban az atommagok találhatók és köztük szabadon mozognak az ezekhez tartozó vegyértékelektronok. Ez az elektron "tenger" nagyon érzékenyen képes reagálni a külső elektromos mező változásaira. Ezzel magyarázható a fémekre alapvetően jellemző elektromos **vezetőképesség**, a mágneses indukcióval kapcsolatos tulajdonságok, mint a mágneses **permeabilitás** vagy a jellegzetes **"fémes fény"**. Ez utóbbinál a fémkristály felülete a látható hullámhosszon érkező elektromágneses hullámok változásaira azonos fázisban reagál. Aszerint, hogy a fémeket azonos erősségű mágneses mezőbe helyezve milyen sűrűn jönnek létre a belsejében mágneses erővonalak, **diamágneses**, **paramágneses** és **ferromágneses** anyagokat különböztetünk meg.

1.1. Kristályos szerkezetek

Ha egy kristály szabadon fejlődhet, úgy mindig síklapokkal határolt szabályos geometriai testté fog kialakulni. Az egyes kristályok geometriai jellemzését tehát egyszerűen a határoló lapok hajlásszögeinek, és oldalél-arányainak megadásával

valósíthatjuk meg úgy, hogy az elemi cellát egy koordináta rendszerbe helyezzük. Az összes lehetséges kristályalak megadására elegendő hét koordináta rendszert definiálnunk. Az alábbi ábrán α , β , γ az egyes határoló síklapok egymáshoz viszonyított hajlásszöge, míg a, b, c az egyes irányokban mért hosszúság arányok.



1. ábra A lehetséges rácsrendszerek

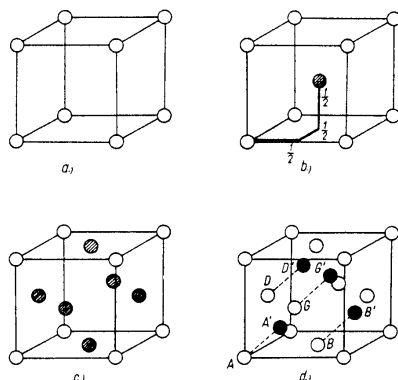
Az elemi térrácsok lehetséges változatait az előzőekből translációs mozgásokkal lehet származtatni.

A 2.a ábra az **egyszerű köbös térrács** (pl.: Po). Az elemi cellához számítható atomok száma 1.

A 2.b ábrán látható **térközepes köbös** fémrácsnál az elemi cellák azonos pontjai minden koordináta irányban $1/2$ -d oldalhosszúsággal vannak eltolva (pl.: Cr, Mo, W, Li, Na, K). Az elemi cellához számítható atomok száma 2.

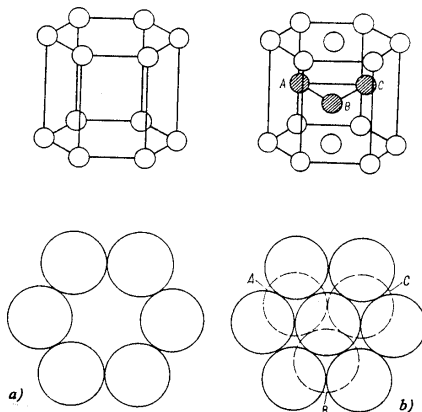
A 2.c ábrán a köbös térrács oldallapjai átlóinak metszéspontjában helyezkedik el a következő elemi cella egy atomja -**lapközepes köbös** térrács (pl.: Cu, Al, Pb, Ni). Az elemi cellához számítható atomok száma 4.

A 2.d ábrán látható **gyémántrács**nál az elemi cellák azonos pontjai a testátló irányában, annak $1/4$ -d részével eltolt helyzetűek (pl.: C).



2. ábra A köbös térrács változatai

Számos fémnek a hőmérséklet függvényében megváltozik a térrácsa. Ezeket nevezik **allotróp fémeknek**. A folyamatot, aminek eredményeképpen az egyes tulajdonságokat is megváltoztató átalakulás végbemegy **allotrópikus átalakulásnak** nevezzük. Az ilyen fémek **átkristályosodási hőmérsékletének** ismerete a hőkezelési eljárások során elengedhetetlen. Allotróp tulajdonságot mutat például a Fe, Co, Mn, Ca, Sn.



3. ábra a) az egyszerű hexagonális

b) a legsűrűbb illeszkedésű hexagonális térrács.

(pl.: Be, Mg, Zn, Cd, Ti, C), melyben az elemi cellához számítható atomok száma 6

1.2. Halmazállapot változások fémeknél

A kristályos szerkezetekben az atomok (molekulák) valójában nem a rácspontokban helyezkednek el. Bár ez a hely biztosítja számukra a legkisebb energiájú pozíciót, a rácspont csak az atom, (molekula) **legnagyobb valószínűségű tartózkodási helyét** mutatja. Az abszolút nulla foktól távolodva az atomok (molekulák) e pont, mint súlypont környezetében egyre nagyobb amplitúdójú rezgőmozgást, - **Braun féle hőmozgást** - végeznek kb. 10^{13} /sec frekvenciával. Adott hőmérsékleten a fémek atommagjai különböző amplitúdóval rezegnek a rácspontok környezetében.

Szobahőmérsékleten Cu-nál ez az érték a rácselem 5,6 %-a, míg α -vas esetén 4,4%-a. Ha a hőmérséklet emelkedése miatt az amplitúdó meghaladja a rácsállandó 12%-át, az atom a rácsból kiszakad és a kristálytól független szabad mozgásba kezd. Olvadási hőmérsékleten, többlet energia befektetése mellett az atomok tömegesen hagyják el a kristályt és ez annak összeomlásához vezet. Létrejön a folyékony halmazállapot, az **ömledék**.

Amennyiben a rendszertől folyamatosan hőt vonunk el az ömledékben a tér minden irányában rendszertelenül mozgó atomoknál fennáll a valószínűsége, hogy bizonyos csoportok egymáshoz képest olyan relatív helyzetbe kerüljenek, mint amilyen a rács felépítéséhez éppen szükséges. Ebben a helyzetben működésbe lépnek a már ismertetett kötőerők, a rezgőmozgás amplitúdója lecsökken, és így létrejönnek az elemi cellák. A megszilárduló kristályok az energiát hő formájában adják le. **Dermedéskor** az ömledékben több helyen is létrejönnek ilyen kristálycsírák, majd további atomok kapcsolódnak a kristályhoz és végül az anyag egész tömegében megdermed.

A szilárd kristályos fázis kialakulásakor a kristálycsírák nem fognak a tér minden irányában egyenletesen növekedni, hanem csak bizonyos kitüntetett irányok mentén. A növekvő kristálycsíra alakja a 4.a ábrához hasonló képet fog mutatni. Az egyes ágakba (dendritágak) bezárt folyadék kitölti a hézagokat. A kristálynak ezt a növekedését **dendrites kristályosodásnak** nevezik. A dendritágak növekedésének csak a szomszédos csírából elindult növekedés fog határt szabni, és így egymást gátolni fogják. A határfelületeken megtörik a szabályos rend és véletlenszerű sokszögek, **krisztallitok**, jönnek létre. Tiszta fém kristályosodásánál a hézagokba zárt ömledék atomjai tökéletesen illeszkednek a dendritekhez, ami a kialakult krisztallit egyöntetű szerkezetét eredményezi. Ötvözeteknél gyakran különválnak az alapfém az ötvözőanyagtól, így a dendritágakba zárt atomok akár eltérő módon kristályosodhatnak. Ilyen inhomogén szerkezet kialakulását nevezik **poliéderes kristályosodásnak**.

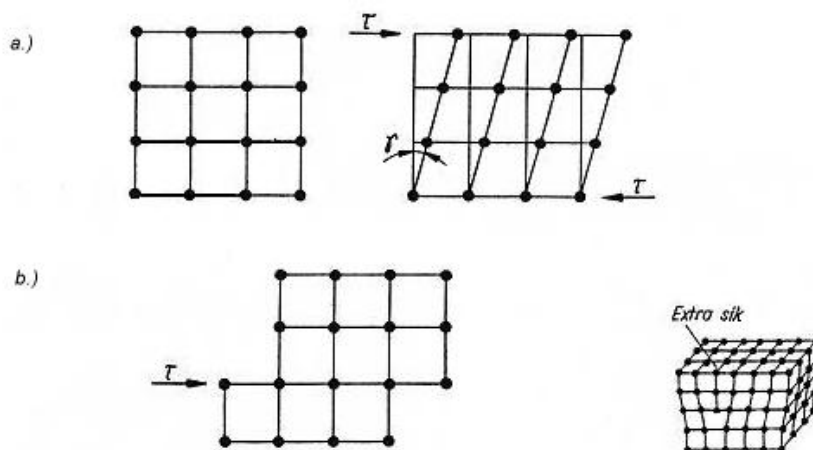
Korunk fejlett technológiáiban egyre nagyobb szerepet kapnak a belső határfelülettel nem rendelkező egykristályok. Ezek növesztésekor a szennyeződések távoltartása mellett, különös gondot fordítanak arra, hogy a növekedés csak egyetlen csírából induljon ki és csak meghatározott irányokban mehessen végbe.

2. Az alakváltozás mechanizmusa kristályos szerkezetekben

Szabályos kristályrácsokban a külső erő hatására megjelenő τ feszültség a rácson belül az atomsíkok elmozdulását idézi elő. Egy kritikus τ feszültség alatt a külső erő megszűnésével a rács visszanyeri eredeti, alacsonyabb energiaszintű alakját, **rugalmas alakváltozást** szenved. Ez a folyamat reverzibilis. A deformáció szöge és a csúsztatófeszültség közt a Hooke törvényhez hasonló összefüggés áll fenn.

A rács ilyen jellegű deformációját a **rugalmassági határ** alatti terhelések okozzák. A kritikus erőt meghaladóan τ feszültség a kristály olyan mértékű torzulását okozza, hogy az erő hatásvonalára merőleges él mentén az atomok egy másik atom vonzása alá fognak kerülni. Ez a deformáció már **maradó alakváltozást** okoz, mert

energetikailag a folyamat irreverzibilis. A kristály külső atomsíkja ezáltal beljebb kerül és a kristályban a csúsztatás síkjára merőlegesen egy plusz fél atomsík /extrafélsík/ jelenik meg. Amennyiben a külső erő tovább hat az így létrejött **díszlokáció** tovább tolódik és végül a kristály túloldalán a külső atomsík eltolódását okozza. (Hiba! A hivatkozási forrás nem található.)



4. ábra A rácson belül létrejövő rugalmas (a) és maradó (b) alakváltozás kialakulása

Csúszások csak az **atomokkal legsűrűbben megrakott síkok** mentén jöhetnek létre akkor, ha az erőnek a csúszás irányába eső komponense meghalad egy kritikus értéket. Ha a csúszósík és az erő hatásvonala által bezárt szög meghalad egy kritikus értéket, akkor nem jön létre elcsúszás, hanem a rács elszakad. Létezik tehát egy olyan anyagra jellemző kritikus szög, melyet a kritikus τ feszültség és a kristályban ébredő σ feszültség aránya határoz meg.

A leírt folyamat igazán csak egykristályoknál, **izotróp** anyagoknál figyelhető meg és számolható pontosan.

Tovább bonyolítják az elméleti számításokat a szintén véletlenszerűen megjelenő **rácshibák**, mivel ezek a díszlokációk elmozdulását és terjedését megnehezítik, vagy megakadályozzák.

2.1. Rácsrendezetlenségek

Kristályos anyagokban akár a legkörültekintőbb gyártási technológia mellett is valószínű rácshibák megjelenése szennyező atomok bekerülése, növekedési hibák, külső erő, nagy energiájú besugárzás stb. hatására.

Képlékeny alakítás akkor lehetséges, ha a kristályban elcsúszások jöhetnek létre. A rácsban a **rendezetlenség** kialakulása megnehezíti, vagy megakadályozza a díszlokációk elmozdulását, ezért az anyag a külső deformálóerővel szemben nagyobb ellenállást fog tanúsítani, tehát szilárdsága megnő. A további alakítás csak a rendezetlenség helyén megakadt extrafélsík elmozdítása után, jóval nagyobb külső erő hatására végezhető. A tapasztalatok azt mutatják, hogy a szilárdság növelésére célszerű a kristályos anyagokban mesterségesen rendezetlenségeket létrehozni.

Ötvözéssel már az ókor embere is ösztönösen alkalmazta ezt a módját szerszámai tökéletesítésének.

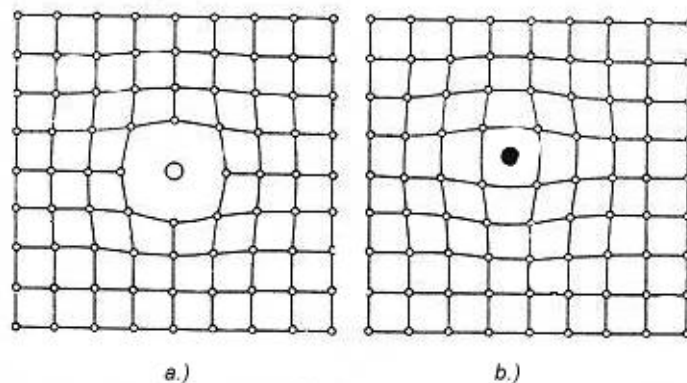
A fémrácsok hibái befolyásolják továbbá az elektromos vezetőképességüket is. Erősen deformált - sok diszlokációt tartalmazó - fémrácsok vezetőképessége jelentősen lecsökken, mert a delokalizált elektronok szabad áramlását a torzulások megnehezítik. A rendezetlenségek teszik továbbá lehetővé elektronikai alkatrészek (pl. félvezetők, tranzisztorok) működését. Más esetekben viszont éppen a legtisztább és legrendezettebb kristályszerkezet előállítása a cél.

A rendezetlenségek tanulmányozása elengedhetetlen a kristályok elektromos, vagy mechanikai viselkedésének mélyebb megismeréséhez és ezen keresztül a magas minőségi követelményeket kielégítő és nagy megbízhatóságot adó elektronikai és mechanikai alkatrészek gyártásához.

2.1.1. Pontszerű rendezetlenségek

A pontszerű rendezetlenségeknél egy rácspontban a szabályos rend megbomlása a környező rácspontok helyzetére is hatással van, a rács torzulásával jár.

Idegen atomok által létrehozott pontszerű rendezetlenségek ötvözkor és diffúzió alkalmával jönnek létre. Az idegen atom az alapkristály atomjához képest biztosan eltérő méretű lesz, ezért mind intersztíciós, mind szubsztitúciós beépülés esetén a rács kisebb-nagyobb mértékű torzulását okozza. Minél nagyobb az atomsugarak különbsége annál nagyobb akadályt jelent a diszlokációk elmozdulásánál a torzult rácsszerkezet. Ezt az elméletet számos gyakorlati példa bizonyítja.



5. ábra Idegen atom által okozott rácsrendezetlenség
szubsztitúciós (a) és intersztíciós (b) beépülés esetén

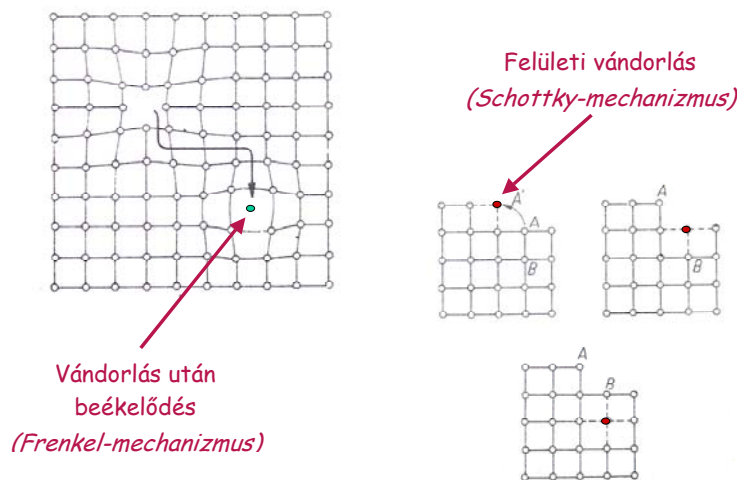
Saját atom által okozott rendezetlenségnél a rácshiba akkor alakul ki, mikor egy atom elhagyva a rácspontot elmozdul régi helyéről. A rácspontok környékén az atomok rezgő mozgást végeznek. A rezgés amplitúdója függvénye a belső energiának. Interferencia vagy külső energiaimpulzus miatt némely atom olyan energia szintre juthat, hogy elszabadul eredeti helyéről.

A **Frenkel féle mechanizmusnál** egy atom valamilyen nagy energiájú besugárzás folytán képes elhagyni a rácspontot és máshol intersztíciósan beékelődni.

A **Schottky mechanizmus** jóval kisebb energiaszinten is be tud következni. A felületen egy atom a megnövekedett hőmozgása folytán is képes elhagyni a rácspontot. A kristály belsejéből -üres helyet hagyva maga mögött- egy atom a felszínre jön és kitölti az üres helyet, mert a felületi rácsponthoz kisebb energiaszint tartozik, mint egy belső rácsponthoz.

A hőmérséklet emelkedésével megnövekvő rezgő mozgás miatt nagyobb valószínűséggel keletkeznek rácshibák. Gyors hűtésnél az így kialakult újabb rendezetlenségek rögzülnek és az anyag szilárdságának növekedését eredményezi.

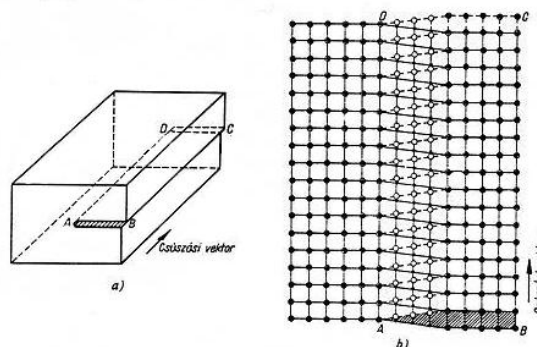
A réz 300 °K- ról 1100°K- re történő hevítésével az üres rácshelyek száma több mint tíz nagyságrenddel megnövekedhet. Gyors hűtéskor ez a szám gyakorlatilag változatlan marad.



6. ábra Üres rácshely keletkezése

2.1.2. Egyméretű vonalmenti rendezetlenségek.

Az **éldiszlokációk** kialakulását már a 19. ábra kapcsán tárgyaltuk. Ezeknél az elcsúszás vektora merőleges a diszlokáció vonalával. A diszlokációk másik típusánál a két irány egymással párhuzamos. A **csavardiszlokációk** kialakulását mutatja az alábbi ábra.

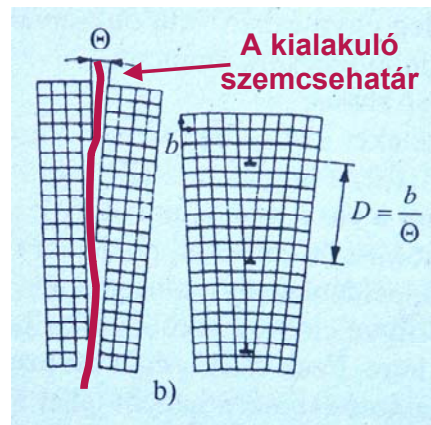
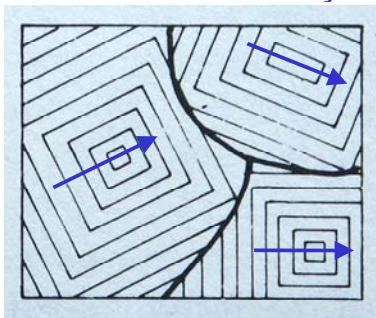


7. ábra Csavardiszlokációk kialakulása és az atomsíkok helyzete

2.1.3. Kétméretű felületszerű rendezetlenségek

Kialakulásuk visszavezethető a polikristallin kristályosodásra. A kristallitok növekedési iránya (**orientációja**) a minimális valószínűséggel egyezik meg, így növekedéskor a határfelületek összeérésekor nagyfokú rendezetlenség alakul ki. Az alábbi ábrán megfigyelhetők a határfelületen kialakuló éldiszlokációk. Minél nagyobb az orientációk által bezárt Θ szög annál több extrafélis jön létre. Tovább növeli a rendezetlenséget, amikor a diszlokáció által kitágított helyekre idegen atom ékelődik be. Ötvözeteknél gyakori eset, amikor az ötvözőelem atomjai a szemcsehatárokon felgyűlnek. Ez a jelenség alumíniumötvözetek nemesítésénél számottevően megnöveli a szilárdságot.

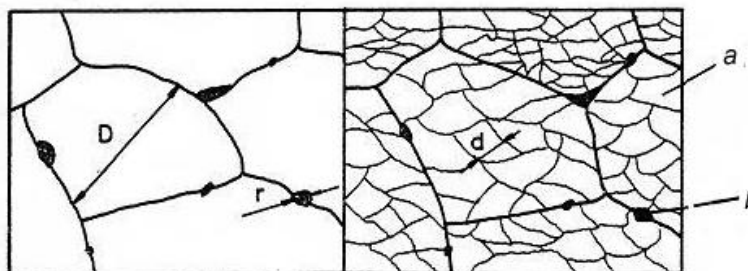
Az orientáció irányai



8. ábra Kristályhatárokon kialakuló diszlokációk és a kristallit

A kristalliton belül is létrejöhet orientációkülönbség és így extrafélis is. Ezek a szubkristályhatárok.

Egyes fémeknél mint például az alumínium igen mozgékonyak a diszlokációk. Képlékeny alakítás alkalmával az extrafélisok az elmozdulás során falakba rendeződnek és ugyancsak létrehozhatják a szubkristályhatárokat.



9. ábra Szubkristályok az alumínium kristályokban (a)
és idegen fázisok a szemcsehatárokon (b)

2.2. A képlékeny alakváltozás polikristallin anyagokban

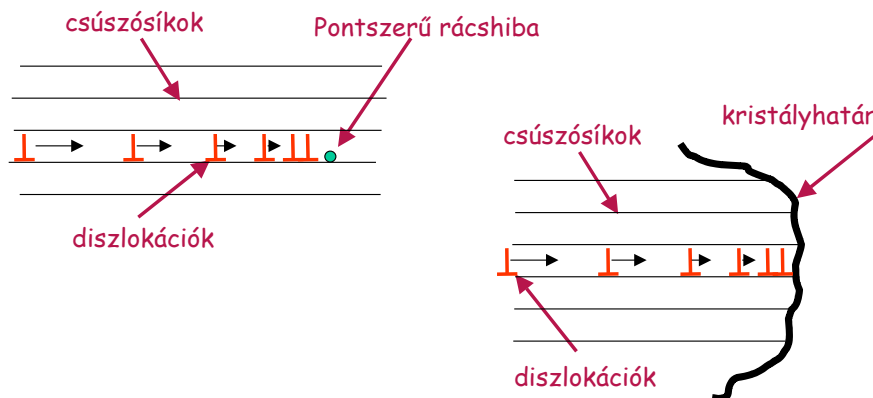
A polikristallin testek deformációja lényegesen bonyolultabb módon megy végbe az egykristályok alakváltozásánál, de az egyes folyamatok könnyen visszavezethetők.

Kristályokban a diszlokációk környezetében a rács feszültségi állapota szükségképpen megváltozik, mert a csúszás síkja alatt kitágul, míg felette, az extrasík környezetében komprimálódik. Ennek következtében az extrafelsíkok végén levő atomsort jóval kisebb erők kötik a rácshoz. A diszlokációk megjelenése tehát a további csúsztatást megkönnyíti. Ilyenkor a kristály könnyen alakítható, képlékeny.

Ha az elcsúszás síkjába valamilyen rácshiba kerül, az a diszlokáció elmozdulását a továbbiakban megnehezíti, vagy megakadályozza. Ilyen, az elmozdulást nehezítő rácshibák az alábbiak lehetnek:

- valamilyen saját atom által okozott rácshiba
- idegen atomok, melyek a rácsot eltorzították
- két egy síkban fekvő ellentétes irányú diszlokáció kereszteződése
- két egymás csúszási vektorát metsző diszlokáció találkozása
- a szemcsehatár.

Krisztallitokból felépülő anyagok esetén a szemcsehatár okozta akadály és az előtte kialakuló nagy diszlokációsűrűség különös jelentőséggel bír. Ennek köszönhetően a polikristallin testek képlékeny alakváltozása lényegesen nagyobb erő hatására indul meg, mint az egykristályé.

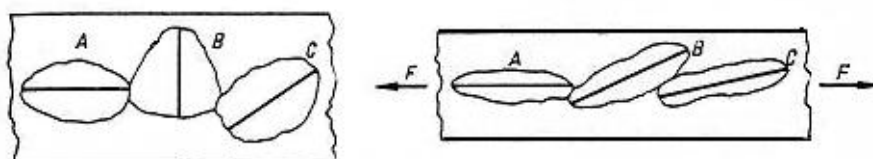


10. ábra A diszlokációk sűrűsödése a szemcsehatár előtt

A polikristallin testet felépítő nagyszámú kristály orientáltsága teljesen véletlenszerű, ezért szerkezete homogénnek és izotrópnak tekinthető. Deformáció alkalmával csak bizonyos krisztallitok orientáltsága egyezik a külső erő irányával, így ezekben megindulhatnak az elcsúszások. Az elmozdulást viszont a környező, más irányban álló krisztallitok gátolják.

Sok közülük olyan orientáltságú, hogy az erő hatásvonalával bezárt szöge nagyobb, mint az a kritikus α szög, aminél még létrejöhet elcsúszás. Ha a külső erő annyira

megnövekedett, akkor a "nem jó irányban" álló krisztallitokra a belső feszültség olyan nyomatókat fejt ki, hogy azok az erőhatás irányába lassan befordulni kényszerülnek. Csak ez után fog megindulni az elcsúszás. Az alakítás közben tehát növekszik a megközelítően "jó irányba" orientált és megnyúlt krisztallitok száma. Ha ez nem így menne végbe, akkor a krisztallitok közt parányi lyukak keletkeznének. Mivel ilyen lyukak létezését megbízható mikroszkópos vizsgálatok sem mutatták ki a fenti elméletet igazoltnak vehetjük. A kezdeti szerkezet tehát anizotróppá fejlődik és az egykristályokra emlékeztető, kevésbé képlékeny tulajdonságokat fog mutatni a további alakítás folyamán.



11. ábra Alakítás hatására bekövetkező krisztallitmozgások

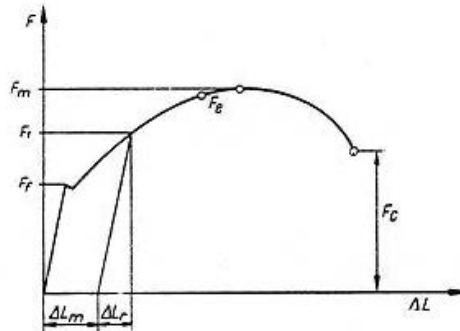
Ötvözeteknél az anyag több olyan fázist tartalmazhat, ahol a csúszás megindításához szükséges kritikus érték eltérő. Ilyen anyagokban először a kisebb ellenállású krisztallitokban indul meg a deformáció. Amikor a külső erő meghaladja a második fázisra jellemző kritikus értéket, ott is elkezdődik az alakváltozás. Jelentős szilárdságnövekedés jellemzi az olyan ötvözeteket, ahol a lágy alapfém mellett annak fémes vegyületei vagy más anyagok képezik a keményebb, ellenállóbb fázist. Az említett jelenségre számos példa hozható.

Példa: Durálötvözetnél az alumínium mellett kiváló CuAl_2 fázis. Acélnál a vas mellett megjelenő Cementit, vagy például a szénnek a W-mal mint karbidképző ötvözővel alkotott fémes vegyülete a Wolfram-karbid fázis.

2.3. A szakadás mechanizmusa és a szakítógörbe

A fémekben a külső erők hatására bekövetkező folyamatok vizsgálatának egyik legegyszerűbb és legmegbízhatóbb módja a szakítóvizsgálat. A szakítóvizsgálat során a húzóerő értékeket a **hosszváltozás** függvényében ábrázolva kapjuk a szakítógörbéket. A szakítógépek által rajzolt diagramok tengelyein általában ezen értékek vannak megjelenítve. Különböző anyagú és méretű próbadarabok összehasonlításánál szerencsésebb a fajlagosított mennyiségek használata, mint a **feszültség**, vagy **nyúlás**.

Fémek szakítóvizsgálatára jellemző a látható általános szakítógörbe. Alakjának elemzéséből az alábbi következtetéseket vonhatjuk le a fémek, mint polikristallin testek szakadási mechanizmusára.



12. ábra Fémek szakítódíagramjának általános alakja

Arányos, vagy rugalmas alakváltozás szakasza

A görbe első szakaszára a kristallitok rugalmas deformációja jellemző. Az elemi kristályok rácsai rugalmasan deformálódnak és a terhelés megszűnésekor tökéletesen vissza tudnak alakulni. Végét az **arányossági**-, vagy **rugalmassági határ** jelzi.

- Reverzibilis folyamat, ahol a **terheléskor** befektetett rugalmas energia a **leterheléskor** teljesen visszanyerhető. A szakítógörbén ez egyenesként jelenik meg, nem mutat hiszterézist.
- Valójában alig megjeleníthetően rövid, mert egyes kristallitokban már rendkívül hamar kialakulnak az elcsúszások.
- A gyakorlatban a 0,02-0,002% maradó alakváltozás alatti rész tekinthető rugalmasnak.
- Rideg anyagok szakítógörbéjének nagy részét ez a szakasz teszi ki.
- Az anyag viselkedését **Hooke törvény** pontosan leírja.

Az arányossági határ és a folyáshatár közötti részre

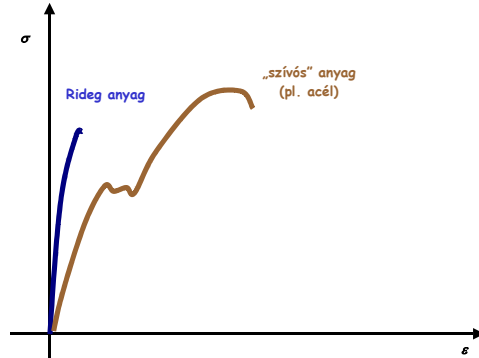
bár a Hooke törvény már nem érvényes, a gyakorlatban mégis jó közelítést ad. Bizonyos kristallitokban megkezdődnek az elcsúszások, míg mások orientációjukkal a terhelés irányába fordulnak.

A folyáshatár

A folyáshatár a nagymértékű alakváltozások kezdetét jelzi. A kristallitokban a rendezetlenségek előtt a diszlokációk megakadnak. Az egyre növekvő erő hatására csak további extrasíkok gyűlnek fel a rendezetlenségek környékén. Ha a feszültség meghalad egy kritikus értéket, a legnagyobb feszültségű helyen az első extrasík túlhalad a rácshiba helyén és ez további, eddig gátolt elcsúszásokat indít meg.

- A folyáshatárt a szakítógörbe nagyfokú görbülése, vagy az erő visszaesése jelzi.
- Rideg fémek szakítódíagramja ennél a pontnál általában véget ér. (28. Ábra)
- Lágy fémek szakítógörbéjén gyakran nincs észlelhető folyáspont, mert a terhelés során a diszlokációk folyamatosan el tudnak mozdulni.

- Szívós fémeknél a folyáshatáron az egyes rácshibák túllépését lavinaszerű elcsúszások követik. Ilyenkor a folyamatos nyúlás mellett a húzóerő értéke visszaesik.



13. ábra Rideg és lágy fémek szakítódiagramjai

A Képlékeny alakváltozás szakasza

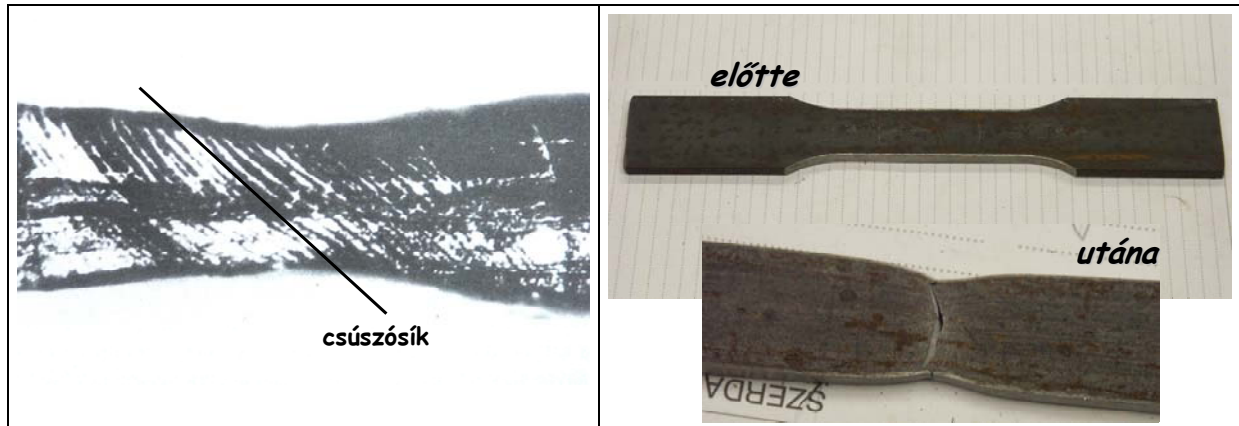
A szakítás közben a folyáshatárt meghaladó erőértékeknél alakul ki. A deformáció során bizonyos kristallitok már nagyfokú alakváltozást szenvedtek és az anyag lokális felkeményedését okozzák. Más kristallitokban még képesek újabb diszlokációk létrejönni és így csúszókötegek alakulnak ki.

A maximális feszültséget

Megközelítve már a csúszó kötegekben is létrejön a felkeményedés. A test alakváltozó képessége kimerül, a külső húzóerő ellen már a rácsookban működő kötőerők hatnak.

Szakadás

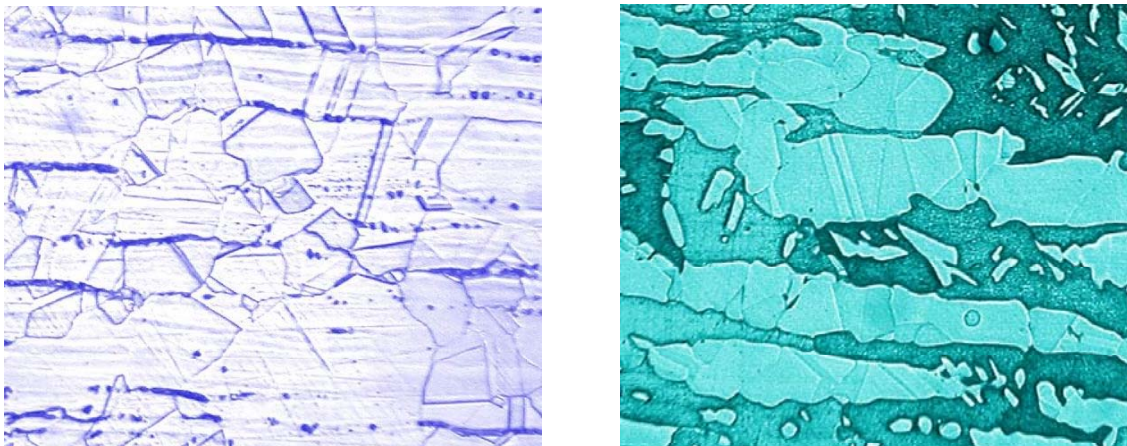
A próbadarab valamely kritikus keresztmetszetében kontrakció (a keresztmetszet helyi csökkenése) alakul ki és az alakváltozás erre a keresztmetszetre korlátozódik. Néhány csúszósíkban hatalmas alakváltozás kezdődik és ennek következtében egymáshoz képest el is fordulnak. Mivel a már felkeményedett szerkezet ilyen deformációkat nem képes követni, az egymást metsző csúszósíkok mentén repedések keletkeznek és összefüggő törésfelületté fejlődnek.



14. ábra A csúszósíkok kialakulása hengeres próbatesten és a szakadási felület kialakulása egy hengerelt „laposacél” próbatestjén

3. Ötvözetek

Színfémek ömledékébe idegen anyagokat - más fémeket, vagy nemfémeket - keverve **ötvözetekről** beszélünk. Az ilyen kémiai értelemben vett keverékek dermedésekor szilárd oldat jön létre. Az ötvözet tehát két, vagy több atomfajtából, az **alapfémből** és az **ötvöző(k)ből** létrejövő szabályos szerkezetű, szilárd test. Ötvözéskor óhatatlanul belekerülnek **szennyezőanyagok** is az ötvözetbe. Amennyiben két atomfajtából hozzák létre: **kétalkotós**, **binér** ötvözetnek nevezik. Több atomfajta keverésekor **többalkotós ötvözet** jön létre.



15. ábra Ötvözetek mikroszkópi képei

Általánosan kimondható, hogy a szilárd oldat létrejöttének az alábbi feltételei vannak: az alapfém és az ötvöző

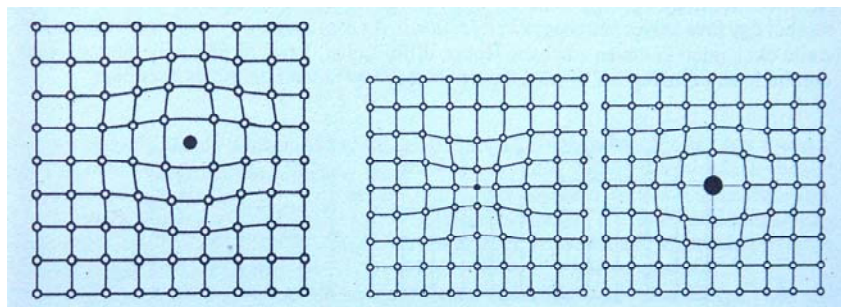
- azonos rácsrendszerbe tartozzon,
- atomsugarának méretbeli eltérése ne haladja meg a 14 %-ot, mert ez a kristályosodáskor rendkívüli torzulásokat okozhat,

- a periódusos rendszer elektronegativitási sorában ne álljon egymástól távol, mert különben köztük ionos kötés, és így **fémes vegyület** alakulhat ki,
- atomjainak és vegyértékelektronjainak aránya egy bizonyos értéket ne haladjon meg.

Az elmélet és a gyakorlat is igazolja, hogy egy egyvegyértékű fém egy kétvegyértékűt addig tud oldani, amíg a vegyértékelektron/atom viszonyszám 1,4-et el nem éri. Például korlátlanul oldja egymást az arany és az ezüst, vagy az ón és az ólom, de az alumínium és a réz már csak bizonyos koncentrációig.

A gyakorlatban azonban elterjedten állítanak elő olyan ötvözeteket, melyben az anyagok párosítása nem teljesíti a négy feltétel mindegyikét és a tisztán szilárd oldat mellett **fémes vegyület** is létrejön. Bizonyos koncentrációnál az egyes összetevők kristallitjai finom eloszlásban egymástól elkülönülten kiválhatnak. Az ilyen ötvözetet nevezik **eutektikumnak**. Ilyen kivételt képez például a vas - szén ötvözete az acél, vagy számos alumínium - réz ötvözet.

Az ötvöző anyag atomjai kétféle módon ágyazódhatnak az alapfém rácsszerkezetébe. Ha az atomsugár közel azonos **szubsztitúciós** /helyettesítéses/ kapcsolat, ha az ötvöző mérete kisebb, **interszticiós** /beékelődéses/ kapcsolat jön létre.(6. ábra)

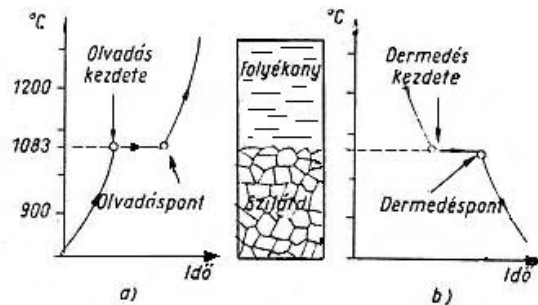


16. ábra Interszticiós (a) és szubsztitúciós (b) szilárd oldatok kialakulása

3.1. Egyensúlyi diagramok

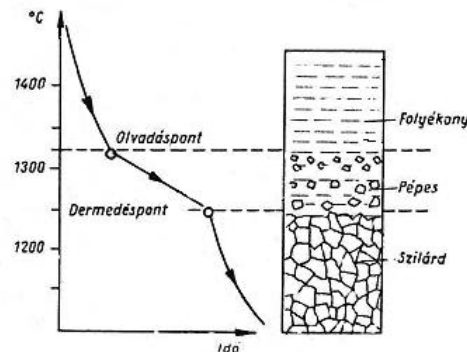
A fémötvözetek előállításakor, hőkezelések, melegen történő képlékeny alakítások során szükséges ismerni az adott összetételre jellemző kritikus hőmérsékleteket, amin átalakulások következhetnek be a szövetszerkezetekben, vagy a halmazállapotban. Az ötvözőanyag koncentrációja függvényében ábrázolva a jellegzetes hőmérsékleti értékeket az úgynevezett **egyensúlyi diagramot**, más néven **állapotábrát** kapjuk.

Egyszerű kristályos anyagoknak, színfémeknek meg van az a tulajdonságuk, hogy dermedésükhöz, illetve olvadásukhoz egyetlen diszkrét hőmérsékleti érték rendelhető. Ezt **dermedési /szolidusz/**, vagy **olvadáspontnak /likvidusz/** nevezik. Ilyen anyagok fázisváltását mutatja lehűlési görbéken az alábbi ábra.



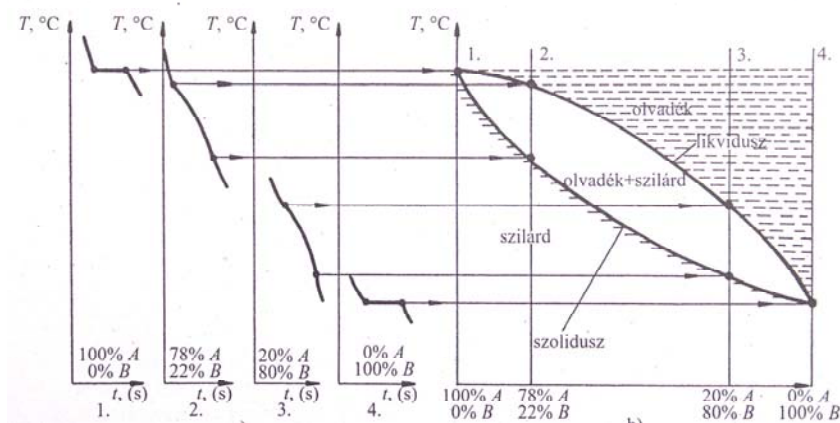
17. ábra Színfémek olvadási-dermedési diagramja

Szilárd oldatok esetén a szolidusz- és likviduszpont nem esik egybe, hanem egy hőköz fogja jellemezni a dermedést. A szolidusz alatti rész szilárd – egyfázisú -, a likvidusz feletti rész folyékony – egyfázisú - halmazállapotú. A két vonal közötti hőmérsékleteken "pépes" kétfázisú állapotú az ötvözet.



18. ábra Ötvözetekre jellemző lehülési diagram

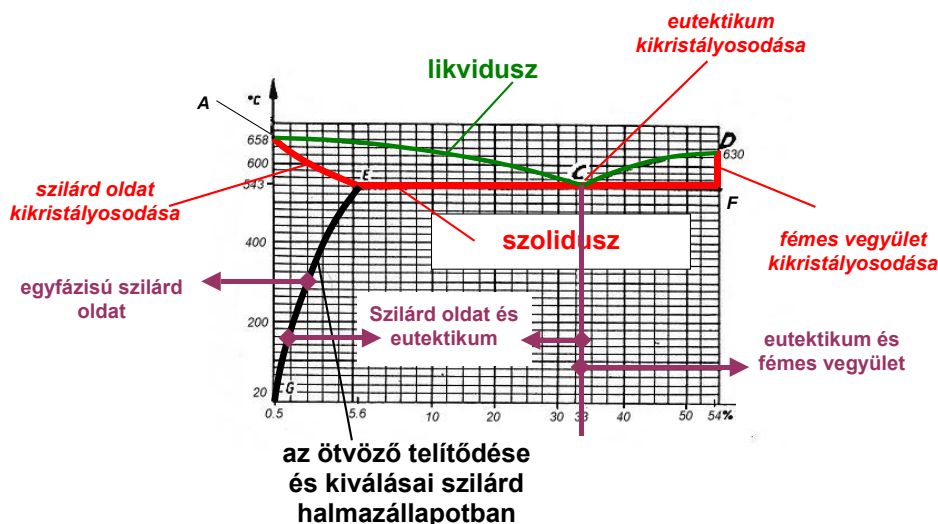
A lehülési görbék alapján az állapotábra szerkesztési menetét mutatja az alábbi ábra.



19. ábra Ötvözetekre jellemző dermedési diagram

3.2. Az egyensúlyi diagramok olvasása

Az állapotábrák és az azokon alkalmazott betűk nemzetközileg elfogadott jelölések. Az alábbi példán egy kétalkotós ötvözet (Al-Cu) állapotábrája látható, melyek nem oldják egymást korlátlanul. Ilyenkor a vízszintes tengelyen csak azt a koncentráció tartományt ábrázolják, ahol szilárd oldat létrejötte lehetséges. Egymásban korlátlanul oldódó ötvözeteknél ez természetesen 0-100%-ig ábrázolandó (pl.: Cu-Zn, Au-Ag).



20. ábra Al-Cu Kétalkotós ötvözetének egyensúlyi diagramja (állapotábrája)

- Ahol az állapotábrán az olvadási és dermedési vonal egyaránt görbült, ott tisztán szilárd oldat válik ki. Nincs két olyan fém melynek olvadás és dermedéspontjai megegyeznének, ezért ez a két vonal szilárd oldatoknál nem érintheti egymást (AE; AC; CD szakasz).
- Ha az ötvöző szilárd állapotban nem oldódik, csak a likvidusz görbült a szolidusz egyenes lesz (EC szakasz).
- Amennyiben a szolidusz és a likvidusz érinti egymást az alkotók speciális keveréke, eutektikum válik ki. Erre az összetételre jellemző, hogy olvadáspontja a legalacsonyabb, megszilárdulása egyetlen hőmérsékleti értéknél megy végbe, ezért jól önthető lesz (C pont).
- Korlátolt oldódás esetén a maximális koncentrációnál függőleges vonal szokta jelezni a fémes vegyület kialakulását (FD szakasz). Az alapfém és az ötvöző(k) állapotábráját rendszerint eddig a vonalig terjedő ötvöző-koncentrációig rajzolják meg.

Ötvözetek állapotábráinak szolidusz alatti részén ábrázolt vonalak a szilárd állapotban végbemenő változásokat jelzik. Ezek azokat az eseteket mutatják, amikor

- szilárd állapotban az alapfém ötvözőt oldó képessége a hőmérséklet függvényében megváltozik, (GE szakasz). Ezen vonaltól jobbra a szilárd oldat kristályaiból az ötvöző atomjai kiválnak és külön kristályosodva egy másik

szövetelemet hoz létre. Ilyen ívelt vonaltól jobbra a szolidusz egyenesként folytatódik.

- Allotróp fémeknél átkristályosodás játszódik le. Ez befolyásolja az ötvözőoldó-képességet.

4. Vas – szén ötvözetek

A **vas** ezüstfehér színű fém, rendszáma 26. legfontosabb tulajdonságai:

olvadáspontja	1539 °C
forráspontja	3000 °C
sűrűsége	7800 kg/m ³
oxidációs száma	2; vagy 3
Nedves levegőn, vagy vízben könnyen oxidálódik és mivel a keletkező oxidréteg porózus, nem védi meg a vasat a további korróziótól	
A szinvas kis szilárdságú lágy, képlékeny, legtisztább állapotában is kb. 0,008% szennyezőanyagot tartalmazó fém.	
Allotrópikus tulajdonságot mutat. Lehűlése során két átkristályosodás is lejátszódik. A kezdetben térközepes köbös térrácsú „ δ ” vas 1492 °C-on lapközepes köbös „ γ ” vassá, majd 723 °C-on ismét térközepes köbös „ α ” vassá alakul.	

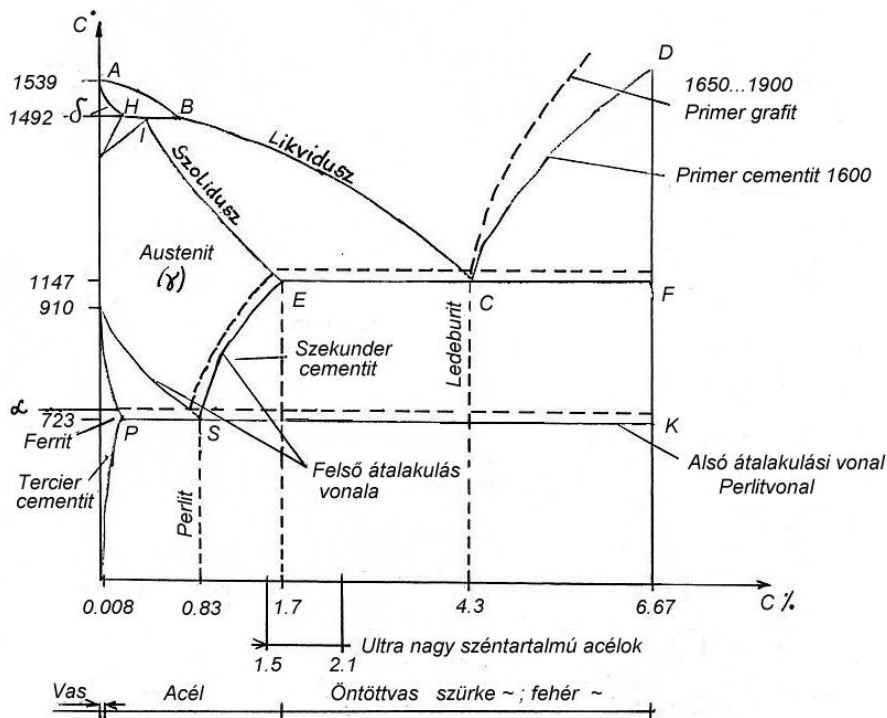
Legjelentősebb ötvöző anyaga a szén. A szén a vasnak jóval keményebb szívósabb kopásállóbb, de kevésbé képlékeny tulajdonságokat kölcsönöz. A szenet csak kis mennyiségben képes oldani. Míg Fe-C ötvözet egyik allotróp módosulata az **Austenit** 1147 °C-on maximum 1,7%-ot, a másik módosulat, a **Ferrit** 723 °C-on csak maximum 0,02% szenet tud oldani, vagyis vele szilárd oldatot létrehozni.

Az ezeket meghaladó szénkoncentrációknál megjelenik a vas és szén fémes vegyülete a **Vas-karbid** /**Fe₃C**, metallurgiai nevén **Cementit**, amely igen kemény, rideg kristály. Olvadáspontja 1600 °C. A Vas-karbid csak gyors hűtés esetén stabil. Lassú hűtésnél a szilárd oldatból a Vas-karbid helyett elemi szén, grafit kiválása figyelhető meg (Az állapotábra szaggatott vonala mentén).

Az Fe-Fe₃C ötvözetek állapotábrája a szén – mint az ideálistól messze eltérő ötvözőanyag hatása miatt maximálisan 6, látható. Az említett ötvözetek megszilárdulási hőmérséklete 1539°C és 1147°C között változik az **AECF** szoliduszvonal mentén. Az allotrópikus átalakulás csak lassú hűtés esetén történik 723°C-on. Gyors hűtéskor az átkristályosodás hőmérséklete alacsonyabb lesz. Az előző fejezet szabályai szerint az állapotábrából az alábbi jellegzetes tulajdonságok olvashatók ki.

- AE vonalon 1,7%-ig tisztán szilárd oldat / γ vas/ **Austenit** szilárdul meg.

- C pontban Fe_3C -ben és Fe-ben egyaránt túltelített ötvözet, eutektikum jön létre, amelynek neve **Ledeburit**.
- F pontban 6,67%- os széntartalomnál Cementit, válik ki. Mivel a lehűlés során először jön létre ez a szövetelem, ezért **Primer cementitnek** nevezik.
- S pontban ismét eutektikus jellegzetességet mutató szövetelem **Perlit** jelenik meg, de most szilárd állapotban. Ezt **eutektoid** pontnak nevezik. A Szén a telítődés miatt a térrácsból kidiffundál és a vassal reakcióba lépve immár szilárd állapotban Vas-karbidot, úgynevezett **Szekunder cementitet** képez. A Perlit az **Austenitből** és másodlagosan kialakult **Szekunder cementitből** tevődik össze.
- a **GS** vonalon a növekvő széntartalom mellett csökken az **Austenit** szénoldó képessége, így egyre több **Perlit** válik ki, míg az Austenit átalakul Ferritté.
- Az **SE** vonal mentén növekedni fog az Austenit szénoldó képessége.
- A **PSK** vonal, mint alsó átalakulási vonal alatt nem fordul elő Austenit
- Az Origótól a P pontig húzódó **OP** vonal mentén a lehűlés következtében egyre több szén diffundál ki a Ferritből és a vassal reagálva **Tercier cementitet** alkot.
- Bármely koncentrációnál meghatározható a várható szövet szerkezet ,ha figyelembe vesszük a tőle jobbra és balra eső jellegzetes szövetszerkezethez tartozó koncentráció-jelzővonalat. Az ábrán ezeket függőleges, szaggatott vonalaknak ábrázoltuk, amelyekhez a széntartalom konkrét %- os értéke tartozik.



21. ábra Vas-szén ötvözetek egyensúlyi iker diagramja

Példa: A 1,35% szénttartalomhoz tartozó szövetszerkezet a Perlit és a Szekunder cementit keverékét fogja mutatni, míg a 3,4%- nál a Perlit, a Szekunder cementit és a Ledeburit keverékét. A szövetszerkezet 5,2%- nál Ledeburit és Primer cementit keverékét tartalmazza.

- A **0,02% szénttartalom alatti** tartomány a **lágvas**.
- A **0,008 - 1,7%-** ig terjedő szénttartalomnál a Vas-szén ötvözeteket **acélnak** nevezik.
- Az **1,5 - 2,1%/-**os szénttartalmú úgynevezett **ultra nagy szénttartalmú acélokat** a modern technológiáknak köszönhetően lehet az acéloknak megfelelő felhasználási területeken alkalmazni. Hagyományos feldolgozás mellett rideg, törékeny, de nagyon kemény anyagnak mutatkozik.
- **1,7% szénttartalom fölött öntöttvas** alakul ki. Gyors hűtés esetén a vas mellett Fe_3C kristályosodik ki. Az ilyen öntöttvas törési felülete fehér színű lesz. Ez a **Fehérvas**. Lassú hűtésnél grafit válik ki. Ilyenkor a töret szürke színt mutat. Ez a **Szürkevas**.

4.1. Öntészeti vasak

Ipari alkalmazásuk az öntészeti vasak közül a **szürkevasnak** jelentős, ahol lehűlt állapotukban szerkezetük **Grafit** krisztallitokat tartalmaz. Az eutektikus szerkezetben a Grafit elkülönülten, törékeny, kis szilárdságú lemezek formájában kristályosodik ki. Már viszonylag kis húzó, vagy csúsztatófeszültség hatására a grafitlemezek határán repedések indulnak el. Ennek következtében az öntöttvas rideg, törékeny, kis szakítószilárdságú, kis ütőmunkájú, jól forgácsolható öntvény lesz. Nyomás hatására a grafitlemezek összepréselődnek, de nem törnek, így a nyomó igénybevételt, jól bírják. Ez a hatás a mechanikai rezgések terjedését megnehezíti, így gépvázaknak, műszerállványoknak megmunkálva jó rezgéscsillapító tulajdonságuk lesz. Szintén az eutektikus összetétel eredményeképpen jól önthetőek, alacsony olvadáspontúak és vetemedésre kevésbé hajlamosak. Átkristályosodási hőmérsékletük az acéloknál magasabb (738 °C).

Amennyiben a grafit eloszlását finomítják a szakítószilárdság növekszik. Szilíciummal való ötvözkor a grafit könnyebben kristályosodik, így eloszlása olyan finommá válik, hogy megközelítőleg gömbölyű szemcsék alakulnak ki. Az ilyen modifikált, gömbgrafitos **szürkevasaknak** amellet, hogy nagyobb a szakítószilárdságuk, számításba vehető nyúlásuk is van, ezért hajlításra, csavarásra igénybevett öntvények készíthetők belőlük.

4.2. Az acélok ötvözői

Amennyiben a szénnel való ötvözés nem javítja kielégítően a vas tulajdonságait célszerű egyéb nemesebb fémeket ötvözőként alkalmazni. Némely fémek az acél szénttartalmával kémiai kapcsolatot létesítve karbidokat hoznak létre. Ezek a **Karbidképző ötvözők** (Ti; Si; Cr; Ni; Mn). A fém-karbidok az acélnál jóval keményebb magasabb olvadáspontúak. Általánosan kimondható, hogy a Ferritben oldódó ötvözők növelik, míg az Austenitben oldódódók csökkentik az

átkristályosodási hőmérsékletet. A kifejtett hatásaik alapján az ötvözőket az alábbi jellemző csoportokba lehet sorolni :

- a kritikus lehűlés sebességét befolyásoló,
- szilárdsági és alakváltozási tulajdonságokat befolyásoló,
- korróziós hajlamot befolyásoló,
- karbidképző,
- mágneses tulajdonságokat befolyásoló,
- Hőtágulási jellemzőket befolyásoló
- Feldolgozás közben (pl. öntéskor keletkező gázok megkötése), valamint a felhasználáskor (pl. vegyipari vagy élelmiszeripari alkalmazások) jellemző vegyi környezettel való kapcsolatát befolyásoló.

A szilícium (Si)

A szilíciumnak nagy az affinitása az oxigénhez, ezért az acélból – a későbbi ridegséget, törékenységet, tehát az „öregedést” okozó szabad oxigén – elvonására használják. Célszerű minden acélnál alkalmazni 0,4%- ig, hogy a mechanikai igénybevételkor a folyáshatár, ezzel a szívósság növekedjen, és a nagyobb deformáló erőknél is jól ellenálljon.

A mangán (Mn)

A szilíciumhoz hasonlóan az oxigénhez, továbbá a kénhez is nagy az affinitása. Az egyik legolcsóbb ötvöző, 0,8%- ig minden acélban hasznos kísérő. Edzés során a kritikus hűtési sebességet csökkenti, ezért a mangánnal ötvözött, edzett acélok a repedésekre és vetemedésre kevésbé hajlamosak. Növeli a ferit szilárdságát, javítja a hegeszthetőséget.

A króm (Cr)

Széleskörűen alkalmazott ötvözője a szerkezeti és szerszámacéloknak egyaránt. A legnagyobb mértékben csökkenti a kritikus hűtési sebességet, így a krómmal erősen ötvözött acél a levegőn is (tehát nagyon lassan, a belső feszültségeket feloldódásával) tökéletesen beedződik. Az átkristályosodási hőmérsékletet szintén csökkenti, ezért a hőkezeléskori lényegesen kisebb mértékű vetemedés kevésbé jelent veszélyt a pontos méret és alaktűréssel gyártott alkatrészekre. Karbidképző, ezért kemény kopásálló szövetelemek jelennek meg, amelyek magas hőmérsékleten használt forgácsolószerszámoknak is tartós keménységet (éltartósságot) biztosít. Nagymértékben javítja a korrózióval szembeni ellenálló képességet.

A volfrám W

A legmagasabb olvadáspontú fém (3380°C). Karbidképző, szénnel igen kemény, magas hőmérsékleten lágyuló vegyületet képez, így a belőle készülő forgácsolószerszámok éltartósságukat közel 600°C-ig megőrzik. A képződött karbidok hevítéskor akadályozzák az Austenit kristályok növekedését, a martenzites szövetszerkezet bomlását és a szemcseszerkezet durvulását.

A nikkel Ni

A különleges acélok fő ötvözője, amely nagymértékben javítja a fizikai és kémiai tulajdonságukat. Az átkristályosodási hőmérsékletet csökkenti, ami a kíméletesebb és vetemedést, káros feszültségnövekedést gátló edzést tesz lehetővé. A korrózióállóságot annyira képes megnövelni, hogy saválló acélok állíthatók elő, különösen vegyipari alkalmazásokra. Növeli az acél mágneses permeabilitását. Ilyen nikkellel ötvözött nagy permeabilitású lágmágneses anyag a (Permalloy). Erősen csökkenti az acél hőtágulási együtthatóját, ezért nagy pontosságú –különösen hossz mérő – eszközök, műszerelemek gyártására használják. 36% Ni- nél 0-50°C- ig lényegében változatlan méretűek. Pont 40% nikkelnél az üvegbe forrasztható, mivel gyakorlatilag megegyezik a hőtágulási tényezőjük, így a dilatáció nem okozza a kötés szétválását. Szintén szemcsefinomító hatású, ezért szívós, jó rugalmasságú ötvözet jön létre.

Az alumínium (Al)

Az alítálaskor (Id:) a felületen létrejövő Al_2O_3 kemény, korrózióálló oxidhárttyát hoz létre, növelve a kopásállóságot akár korrozív közegben is. A felület sérülésekor azonban az ilyen kérgesítő eljárás során létrejövő „bevonat” folytonossága is sérül így a repedések mentén elkezdődik a korrózió. Az alumíniummal ötvözött – egyébként kis széntartalmú acélok – jól nitrálhatók, mert az alumíniumnak nagy az affinitása az oxigénhez és a nitrogénhez. A nitrogén egyébként kis mennyiségben szintén egy kérgesítéshez használt kísérő ötvöző. Mindkét anyag úgy juttatható a felületi rétegbe, hogy nagy hőmérsékleten, a kérgesítő anyagot – általában gáz formájában – tartalmazó közegben izzítják a kezelendő munkadarabot annyi ideig, amíg az a diffúzió során a kívánt mélységbe el nem jut.

A kobalt (Co)

A kobalttal ötvözött szerszám éle kevésbé melegszik, mert az javítja a hővezető képességet, tehát a forgácsolószerszámon létrejövő nagymértékű súrlódás okozta hő könnyebben elvezethető. A szerszám tehát lassabban vagy alig melegszik fel arra a kritikus hőmérsékletre, ahol már az acél keménységét biztosító martenzit bomlana (a szénatomok kidiffundálása következtében), így javítva a hőállóságot.

A titán (Ti)

Karbidképző és szemcsefinomító hatású, így főleg alacsony széntartalmú, betétben edzhető acéloknál előnyös alkalmazni. A szemcsefinomító hatása javítja a hegeszthetőséget, mert finomabb kristályszerkezetet kölcsönöz a létrejövő hegesztési varratnak.

A vanádium (V)

Karbidképző. Alkalmazásakor az acél rendkívül keménnyé, ugyanakkor rideggé válik, így legtöbbször forgácsolószerszámoknál alkalmazzák a minél nagyobb fokú éltartósság elérése érdekében.

4.3. Az acélok szennyezői

A vas természetes állapotában vasércként, majd később a technológia előkészítési, öntési fázisaiban egyaránt a tulajdonságait rontó anyagokkal szennyeződhet. Ezek megengedett maximális koncentrációját szabványok írják elő.

A foszfor (P)

Az szabványos acélokban megengedett maximum 0,05%. A foszfor az egyetlen szennyező, aminek előnyös hatásai is vannak az acélötvözetekre, de csak a megengedett mennyiségig. A szürkevasat kis viszkozitású ömledékké, híg folyóssá teszi, ezért vékonyfalú öntvények (pl. csövek) öntésére jótékony hatása van. Az alacsony széntartalmú acélokat forgácsoló automatákon esztergálva – ahol a nagymennyiségű forgács gyors elvezetése fontos – ezzel a kisegítő ötvözővel könnyen töredező forgács keletkezik, így nem a szerszám körül tekeredő, akadályt jelentő forgács jön létre, így a forgácsleválasztás helye tisztán marad. (Ún. automata acélok).

Az acélban a szénnel reagálva rendkívül kemény karbidot hoz létre, amitől az acél különösen rideg, törékeny lesz, lehetetlenné téve a képlékeny alakítást. A fenti alkalmazáson kívül inkább szennyezőanyagnak tekinthető.

A kén (S)

A kén a vassal alacsony olvadáspontú, puha vasszulfidot FeS -t képez, mely az acélban a kristallitok között hálószerűen kristályosodik ki. Kovácsoláskor ez a háló már alacsonyabb hőmérsékleten is megolvad és a kristallitok deformációjakor és elcsúszásakor repedések kiindulásának a helye. Ez a jelenség a **vöröstörés**. A szabványos acélok maximális kéntartalma 0,05% lehet.

A nitrogén (N) és az oxigén (O)

A kristályokban könnyen elnyelődnek, atomjaik összegyűlnek a kristályhatárokon és képlékeny alakításkor az elcsúszásokat megakadályozzák. Az így kialakuló ridegség csak egy bizonyos idő eltelte után jelentkezik. A jelenséget **öregedésnek** nevezik.

A hidrogén (H)

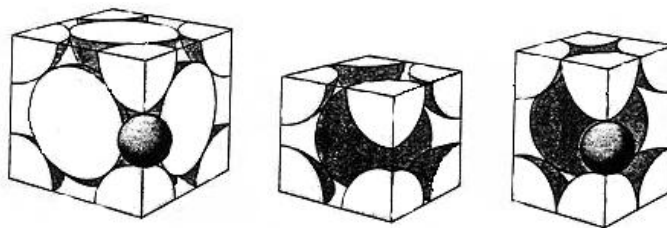
Az acélban öntéskor elnyelődő, vagy savmaratáskor, pácoláskor a felületi rétegbe diffundáló gáz. A nitrogénhez és az oxigénhez hasonlóan ridegséget okoz. A kristallitok között a zárványokban esetenként létrejövő jelentős gáznyomás növekedés apró repedéseket, úgynevezett **pelyhesedést** okoz. A hidrogént 200°C-on való izzítással a diffúziót elősegítve lehet eltávolítani.

5. Az acélok hőkezelése

Az acéloknál ötvözők alkalmazása helyett néha elegendő csupán hőkezeléssel elérni a kívánt műszaki paramétereket. Ötvözött, sőt erősen ötvözött acéloknak sokszor a **hőkezelés** során alakulnak ki az elvárt anyagjellemzők.

Az átkristályosodási hőmérsékletet átlépő hőkezelési eljárások alapja, hogy egy **kritikus hűtési sebességet** meghaladó, gyors hűtésnél az Austenit rácsban 300 -

400°C- on a vas atomjai közé ékelődnek a szénatomok és létrejön a **Martenzit**. A kezdetben lapközepes- köbös térrács a viszonylag nagy méretű szénatom beépülése miatt tetragonálissá torzul. (11. Ábra) A szénatomok az átkristályosodás után is a rácsban maradnak. Az így létrejött torzult krisztallitokban csak nagyobb feszültség hatására alakul ki rácscsúszás, ami a deformáció feltétele. Az ilyen hőkezelések során az acél keményebb, kopásállóbb, de ridegebb lesz. Későbbi hevítéssel a szén a rácsból ki tud diffundálni, így lassú hűtés mellett a folyamat visszafordítható lesz.



22. ábra A szénatomok beépülésével a vas köbös rácsa tetragonálissá torzul

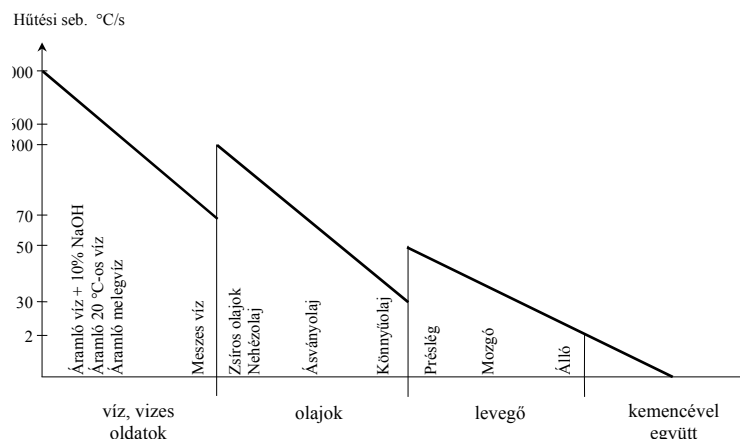
Az öntést, vagy a későbbi hőkezelést követő lassú hűtés, vagy hosszú ideig tartó hőntartás esetén a krisztallitoknak elegendő idejük van nagyra nőni, ami egy durva szemcseszerkezet kialakulását okozza. A gyors hűtés mindig a szemcseméret finomodását vonja maga után. A **szemcsefinomító hőkezelésekkel** szívósabb, jobban alakítható fémeket kapunk.

Olyan technológiáknál, ahol az anyagot egyenlőtlenül, nagy hőterhelés éri belső feszültség keletkezik és ez akár repedésekhez, esetleg töréshez vezethet. A **feszültséget csökkentő hőkezelésekkel** ez megelőzhető.

Az acélnál **hevítéssel** elérhető, hogy az őt körülvevő közegből **bizonyos elemek**, pl.: szén, vagy nitrogén **diffundáljanak** a felületi rétegbe. Máskor az izzítással például a hidrogén távozása érhető el.

Hőkezelési eljárásoknál tehát rendkívüli szerepe van az anyag **hűtési sebességének**. A **hűtőközegek** helyes megválasztásával finoman lehet szabályozni az időegység alatt bekövetkező hőmérsékletcsökkenést (12. Ábra). Az eltérő **hőkapacitású** fürdők, légnemű anyagok 1000°C/sec-től 1-2°C/sec-ig biztosítják a hűtés sebességét. A gyakorlatban a következő hűtőközegeket szoktak alkalmazni:

- víz, vagy vizes oldatok
- alacsonyabb olvadáspontú sóoldadékok
- olajok
- különböző mozgásállapotú levegő
- zárt kívülről hőszigetelt légtér, vagy homok



23. ábra Hűtő közegek hűtő hatása

Modern porkohászati eljárásoknál rendkívüli tulajdonságok érhetők el, ha a megolvadt fém, vagy fémvegyületet hűtött, szilárd felületekre porlasztva esetenként 1.000.000 °C/sec hűtési sebességet alkalmaznak.

A hőkezelések általánosan három szakaszra bonthatók, melyek mindegyikénél különös gondot kell fordítani a munkadarab sajátosságaira és a technológiai előírásokra, mert könnyen az anyag repedéséhez, vezethet.

5.1. A hőkezelések általános szakaszai

Melegítés

Melegítés során lassan kell a hőmérsékletet növelni, hogy az anyag egyenletesen hevüljön át. Különösen olyan tárgyaknál, ahol nagy átmérőkülönbségek vannak, könnyen olyan nagy belső feszültségek ébrednek, ami repedéshez vezethet, illetve a kiálló vékonyabb részek túlhevülhetnek. Az ilyen részeket védőborításokkal kell ellátni. A túl lassú hevítés a krisztallitok megnövekedéséhez, a szemcseszerkezet durvulásához vezethet.

Hőntartás

Megfelelő időre van szükség, míg a tárgy teljes keresztmetszetében átveszi a kívánt hőfokot, vagy ha kell megtörténik az allotrópikus átalakulás. Bizonyos eljárásoknál viszont csak a kívánt rétegvastagságig bekövetkező átalakulás a cél. A túlzottan hosszú ideig tartó hőntartás szintén a szemcseszerkezet durvulásához vezethet.

Hűtés

Hűtésnél figyelembe kell venni a tárgy méretét, alakját a rajta levő méretváltozásokat. Éles bemetszéseknel is repedések keletkezhetnek, ezért ezeket védeni kell. A hűtőfürdőbe mártáskor a tárgy a legkisebb felületen érintkezzen a közeggel, mert ilyenkor az elvetemedés lehetősége a legkisebb. Vízzel való hűtéskor a tárgyat mozgatni kell, mert a víz forrásakor helyileg kialakuló gőznek rossz a hűtőhatása, és ez egyenlőtlen szövetszerkezetet eredményez.

5.2. Hőkezelések az átkristályosodási hőmérséklet felett

Edzés

A minimálisan 0,25% szenet tartalmazó, hőkezelendő munkadarabot lassan felmelegítik az α - γ átalakulási hőmérséklet vonala fölé (kis szénttartalomnál /0,25--0,8%/ GS, nagy szénttartalomnál PSK /0,8-1,7%/ 20 - 40°C- kal). Néhány órás hőntartás után nagy, a kritikus hűtési sebességet meghaladó sebességgel lehűtik, így teljes keresztmetszetében Martenzites szövetszerkezet alakul ki (**Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**). Az ötvözők jelenléte csökkentheti a kritikus hűtési sebességet, így

- ötvözetlen szénacéloknál a hűtést vízben,
- gyengén ötvözött acéloknál olajban,
- erősen ötvözött acéloknál levegőn végzik.

Megszakított edzés

Az előzőtől a hűtés módjában különbözik, A hűtést nagy sebességgel vízben kezdik, az acél teljes elfeketedéséig kb.: 300 - 400°C- ig, majd olajba mártják, ahol a Martenzit kialakul. A lassabb hűtés során kevésbé kell számolni feszültségek kialakulásával.

Lépcsős edzés

A rövid ideig tartó hőntartás után nagy sebességgel vízben 250 - 400°C-os olvadáspontú sóolvadékba mártják. Itt a rövid hőntartási szakaszt követően olajban vagy szabad levegőn folytatva a hűtést kialakul a Martenzit. A sóolvadéknak az olajokéhoz hasonló hűtő hatása van, ezért lépcsős edzéssel csak az ötvözött, olajban is edződő ötvözetek edzhetők.

Izotermikus edzés

Ennél az ugyancsak különleges edzési eljárásnál a hűtés módja eltérő. A gyors, vízben való kezdeti hűtést egy 300 - 400°C-on sóolvadékban történő hosszabb hőntartási szakasz követi. Az átkristályosodás ezen a hőfokon következik be úgy, hogy a szén egy része kidiffundálhat az Austenitből. A kialakuló szövetelem a Bainit.

Normalizálás

A munkadarab nagyfokú felhevülésével járó (pl. hegesztés) megmunkálásoknál a szemcseszerkezet inhomogén lesz, vagyis az anyag helyileg rendkívül rideggé válik. Normalizáláskor az átkristályosodási hőmérsékletet túllépő hevítést és hőntartást lassú, a kritikusnál kisebb sebességű hűtés követi álló levegőn, vagy a kemencével együtt. A kezelés során a szemcseszerkezet homogénné alakul.

5.3. Hőkezelések az átkristályosodási hőmérséklet alatt

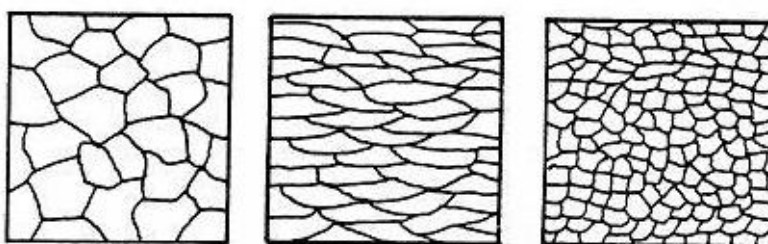
Feszültségcsökkentés

Edzést követő gyors hűtésekor -különösen a nagy keresztmetszet-különbségekkel gyártott alkatrészeknél-, illetve nagysebességű forgácsolás,

hegesztés, hidegalakítás alkalmával az anyagban káros feszültségek ébredhetnek, ami későbbi vetemedéshez, illesztett méretek pontatlanná válásához vezethet. A melegítést az α - γ átalakulási hőmérséklet alá hűntartás, majd lassú hűtés követi. A hűtést kemencével együtt, vagy homokba ágyazva végzik. **(Hiba! A hivatkozási forrás nem található.)**

Újrakristályosítás

Képlékeny alakítás alkalmával a krisztallitok oly mértékben eldeformálódnak, hogy további külső deformáló erő hatására szerkezetük nem képes újabb elcsúszásokra. Amennyiben az anyagot felhevítjük közvetlen az α - γ átalakulási hőmérséklet alá, megindul az újrakristályosodás. A **rekrisztallizáció** a krisztallitok legnagyobb feszültségű helyein kezdődik.



24. ábra Egy durvább szövetszerkezetből az eljárás után esetenként a kiindulási állapothoz képest finomabb szemcseszerkezetet is kaphatnak.

Lágyítás

Az acél - különösen az eutektoidos összetétel körüli szénttartalomnál - alakíthatóságát a Perlit lemezekben kikristályosodó karbidjai nehezítik. Lágyítás során ezeket a lemezeket fokozatosan feldarabolják, így később elcsúszások jöhetnek létre. A hőkezelés lényege a hőmérséklet átkristályosodási hőmérséklet környékén való ingadoztatása, majd a lassú hűtés a kemencével együtt. Az ingadozás során a hőmérséklet időnként eléri a kritikus értéket és ennek hatására a szekunder cementit lemezei apróbbak, finomabb eloszlásúak lesznek.

Mélyhűtés

Az α - γ átalakulási hőmérséklet növekvő hűtési sebesség mellett 723°C- nál alacsonyabb értéket vehet fel. Különösen gyors hűtésnél előfordulhat, hogy a műhelyhőmérsékletű munkadarab még mindig tartalmaz Austenitet. Bizonyos idő elteltével az Austenit átalakul a koncentrációnak megfelelő szövetelemekké, azonban ez vetemedésekhez vezethet. Az edzést követően az acélt -100°C körüli hőmérsékletre hűtve a folyamat lejátsszódik.

Megeresztés

A lényegében feszültségcsökkentő hőkezelés során az edzést, vagy nagyobb hőmérsékletű megmunkálást követően kialakuló feszültségeket, vagy a káros ridegséget szüntetik meg.

Kishőmérsékletű megeresztés

Ekkor az anyagot 150-200°C-ra hevítik, hőntartják és lassan lehűtik. A szén a Martenzitből még nem tud ki diffundálni, de a feszültségek már oldódnak, ezért főleg forgácsolószerszámoknál, valamint vetemedésre érzékeny alkatrészeknél alkalmazzák, hogy a keménység megmaradása mellett csökkenjen a belső feszültség.

Nagy hőmérsékletű megeresztés

Ennek során az anyagot 220-320°C-ra hevítik, hőntartják és lassan lehűtik. A szén kis része a Martenzitből ki tud diffundálni. Ott alkalmazzák, ahol a keménység kismértékű csökkenése megengedhető. Ezt ellensúlyozza a szívósság nagymértékű növekedése, így a szerszámok és alkatrészek dinamikus húzó-, hajlító-, csavaró- igénybevételének jobb elviselése.

Maximális folyáshatár érhető el az úgynevezett nemesítéssel. Nemesítés során az edzést nagy hőmérsékletű megeresztés követi.

5.4. Kérgesítő eljárások

Kérgesítő eljárásokat alkalmaznak, amikor az alkatrész, vagy szerszám szívós, rugalmas belső részét kemény, kopásálló réteg kell, hogy körülvegye. Míg belül nem szabad a ridegségnek jelen lenni, addig a felületi rétegtől elvárt tulajdonságok rendszerint ridegséggel járnak együtt. Ezt az ellentmondást egy inhomogén, eltérő tulajdonságot mutató – akár kompozitnak is nevezhető – szerkezettel érhetjük el.

5.4.1. Kéreg létrehozása a felület edzésével

Felületi edzéskor /kéregedés/ a hőntartási idő pontos megválasztásával a munkadarabnak csak a felületi rétege kristályosodik át és edzhető be hűtésekor a kívánt mélységben. Az eljárások közti különbségek a hevítés és hőntartás technikai kivitelezésében, a hőtároló közegekben van. Fontos szempont a pontosan szabályozható hőmérséklet és idő, hiszen ezekkel a kezelt réteg egyenletességét és mélységét határozzák meg.

Mártó edzés

A munkadarabot magas hőmérsékletű sóoldadékba, vagy folyékony öntöttvasba (kb. 1200°C-on) mártják, és nagy sebességgel lehűtik. Utána javasolt valamilyen feszültség mentesítés alkalmazása, mivel nagy hőmérsékletkülönbségek jönnek létre a felület és a belső rész között.

Lángedzés

A jól gépesíthető eljárásban a hőkezelendő felületet acetiléngáz (C_2H_2) lángja hevíti fel (a láng hőmérséklete kb. 3000°C).

Indukciós edzés

A munkadarab felülete nagyfrekvenciás váltóáramú erőterbe helyezve az állandó, nagysebességű átmágneseződés miatti hőfejlődés hatására melegszik fel. A hőhatás kívülről befelé csökken, így a szükséges hőmérséklet

elsőként a külső rétegekben alakul ki. A kezelés paramétereit a létrehozott mágneses térerősség mértéke befolyásolja.

5.4.2. Felületnemesítés

Felületnemesítésnél (Fermentálás) az általában kis széntartalmú acélok felületi rétegébe a keménységet, kopásállóságot, tűzállóságot növelő elemeket, mint kísérő ötvözt juttatnak. Ilyen **kéregötvöző** eljárásoknál a hosszú hőntartási idő miatt nagyon megnövekednek a krisztallitok. Ez ridegséget okoz az anyag belsejében is, ami újrakristályosítással csökkentendő. A kéreg vastagságát a diffúzió mélységével, amit a hőmérséklettel és a kezelés idejével tudnak szabályozni.

Cementálás

A munkadarabot 8-24 órát szén leadó közegben (például koks, vagy faszén) 850-950°C-on hevítik. A hőntartási idő a kívánt rétegvastagságtól függ. A felületi rétegekben az Austenitben a bevitt szén oldódik, majd gyors hűtéskor Martenzit jön létre. /**Betétedzés**/

Nitridálás

A munkadarabot nitrogént leadó ammóniagázban 500-600°C-on 30-60 órát hevítik. A diffúzió során igen kemény (Fe_2N) fémes vegyület keletkezik, amely kb. 400°C-ig hőálló acélt eredményez.

Alitálás

Az alitálást alumínium leadó közegben (Al_2O_3 por) 850-1100°C-on végzik. Az alitált acél tűzállóvá válik kb. 1000°C-ig.

Kromálás

Krómot leadó porszerű környezetben, vagy gázban 900-1100°C-on hevített acél felületébe diffundál ez a kísérő ötvöző, így annak tűzállósága, korrózióállósága és keménysége nagymértékben javítható.

Szilikálás

Szilíciumot leadó közegben 950-1200°C-on való hevítéssel erősen saválló acél gyártható.

6. A Réz és ötvözetek

A réz a periodusos rendszer 29-es rendszámú eleme, szín állapotában vörössárga fém, köznapi nevén **vörösréz**.

olvadáspontja	1083 °C
forráspontja	2595 °C
sűrűsége (a technológiákban gyakran használatos fémek közül a legnagyobb)	8900 kg/m ³



oxidációs száma	2
korrózióálló	
rendkívül jó elektromos- és hővezető	
tiszta állapotában rosszul önthető, mert sűrűn folyó és olvadéka sok gázt abszorbeál	
lapközepes köbös térrácsú, allotrópikus tulajdonságot nem mutat	
képlékenyen jól alakítható fém	

A fentiekből következően a vörösrezet dísz tárgyak, elektromos szerelvények, vezetékek, víz- és gázszerelvények készítésére használják.

Hidegalakításkor az egyre jobban eltorzuló szemcseszerkezet fokozatosan egyre nagyobb ellenállást mutat a külső deformálóerő ellenében. A **felkeményedést** a krisztallitokon belül lejátszódó folyamatok okozzák. Egy bizonyos határ elérése után a további képlékeny alakításnál elkerülhetetlen a repedések kialakulása és az anyag törése.

Újrakristályosító lágyítással az eltorzult szemcseszerkezet ismét rendezetté alakítható. A mechanizmus megegyezik az acélnál tárgyalttal. Mivel allotrópikus átalakulással nem kell számolni, ezért gyors hűtést alkalmazva a szemcseszerkezet a kiindulási állapotnál még finomabbá válhat. A jelenséget az magyarázza, hogy magasabb hőmérsékleten a legnagyobb feszültségű helyeken új, normál feszültségi állapotú krisztallitok keletkeznek. Egyetlen deformálódott krisztallit határfelületén több ilyen feszültséggyűjtő góc is kialakulhat.

Gyors hűtéskor a nagy keresztmetszet változások helyén káros feszültségek megjelenésére számíthatunk. Ez további **feszültségmentesítő hőkezeléssel** megszüntethető. A két hőkezelési eljárás együttes alkalmazása után a munkadarab újabb képlékeny alakításra válik alkalmassá. (

A réz szilárdsági keménységi forgácsolhatósági tulajdonságai ötvözással nagymértékben javítható. A sárgarezet az elektromos órák, optikai és ékszeripar használja fel, továbbá víz- és gázszerelvények, csövek, csatlakozók gyártására használják. Járulékos ötvözők hozzáadásával olvadáspontja tág határok közt változtatható, így egyaránt használható lágy forrasztanyagként (op. < 650°C) és kemény forrasztanyagként (op. > 650°C).

Az alpakka Cu-Zn-Ni ötvözetből hidegen jól alakítható, rendkívül korrózióálló evőeszközök és rajzeszközök készíthetők.

Más ötvöző anyagok hozzáadásával előállított rézötvözet a Bronz. A bronzok nagy részénél az ötvöző anyag nem oldódik korlátlanul, ezért adott koncentráción túl fémes vegyület kiválása várható.



RÉZÖTVÖZETEK				
<i>Fő ötvöző a cink</i> Zn további kísérő ötvözők: Ni, Fe, Mn, Si, Al, Pb, Ag Cu-	<i>Fő ötvöző az ón</i> Sn	<i>Fő ötvöző az alumínium</i> Al	<i>Fő ötvöző az ólom</i> Pb	<i>Egyéb fő ötvözők</i> Cd, Ni, Mg, Be
	<i>Ónbronz</i>	<i>Alumíniumbronz</i>	<i>különleges bronzok</i>	
<i>sárgarézek</i>	<i>bronzok</i>			

Ónbronz /Cu-Sn/

Kis óntartalomnál nagy szilárdság (pl. gépalkatrésznek), míg nagyobb mennyiségű ón ötvözésével csak jó önthetőség és nagy ridegség (pl. harangok anyaga) jellemzi.

Foszforbronz /Cu-Sn-P/

Nagy szilárdsága miatt gépalkatrészek gyártására használják.

Vörösfém /Cu-Sn-Zn/

Nagy szilárdságú, jó kopási tulajdonságú anyagok (pl. siklócsapágó, vezetőhüvely, vezetőlécek). Öntöttvassal és más bronzokkal kedvezően kis súrlódási tényezőjű anyagpárt alkotnak.

Alumíniumbronz /Cu-Al/

Az acélokét megközelítő szilárdság mellett jól alakítható, valamint rendkívül jól ellenáll savaknak és a tengervíznek. Az acél kiváltására vegyipari, élelmiszeripari gépek számos alkatrészét készítik belőle.

Ólombronz /Cu-Pb/

Egy- két- és háromalkotós ötvözetekben egyaránt az ólom azon tulajdonságát használják fel, hogy a megszilárdult rézben egyáltalán nem oldódik és fémes vegyületet sem képez. Az egyébként lágy ólom nagy sebességű hűtés mellett igen finom eloszlásban képes kiválni és kikristályosodni, ezzel a belőle készült siklócsapágynak különlegesen jó siklási tulajdonságokat kölcsönözve.

7. Az Alumínium és ötvözetei

Az alumínium szín állapotában ezüstfehér, képlékenyen jól alakítható könnyűfém:

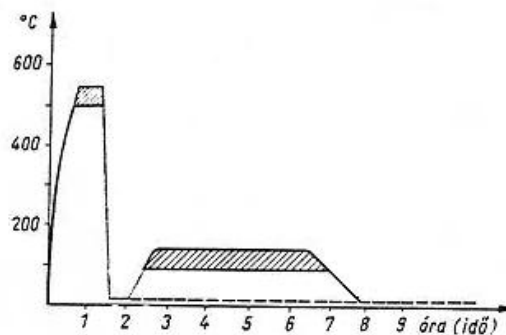
olvadáspontja	660 °C
forráspontja	2450 °C
sűrűsége	2700 kg/m ³
oxidációs száma	3

korrózióálló	
jó elektromos- és hővezető	
Infravörös tartományban az arany mögötti legjobb visszaverő (hőtükör)	
rosszul önthető, mert sűrűn folyó és olvadáka sok gázt abszorbeál	
lapközepes köbös térrácsú, allotrópikus tulajdonságot nem mutat	

A színalumíniumot fóliák, vezetékek előállítására használják. Képlékeny alakításkor a kristallitokban - a rézhez hasonlóan - nagy mértékű elcsúszások játszódhatnak le, ezért jól alakíthatók hengerléssel, illetve mélyhúzással. Forgácsoláskor a szerszám élén szinte azonnal kialakuló élsisak (az élre „felkenődő” fém) lehetetlenné teszi a további feldolgozást.

Az alumínium legjelentősebb ötvözői a réz a magnézium és a szilícium.

Az alumínium ötvözetek hőkezelésével – és különösen a **nemesítés** során – a szilárdsági és keménységi tulajdonságok további javulása érhető el.



25. ábra Az alumínium ötvözetek nemesítése

A nemesítés első fázisában (**oldó izzítás**) felmelegített ötvözet gyors hűtésekor az említett elemek az alapfém kristályában maradnak és ott túltelített szilárd oldatot hoznak létre.

A **kikeményítő megeresztés** folyamán az ötvöző atomjainak egy része a rácsból kidiffundál és apró szemcséket képezve kiválik.

Bizonyos **önnemesedő** ötvözeteknél az oldó izzítást követő néhány napos pihentetés alatt az ötvöző kiválása spontán megtörténik.

Az ötvözetekben a nemesítést követő hevítés során az apró szemcsék megnövekedhetnek ezzel erősen lerontva a nemesítéssel kialakított előnyös tulajdonságokat. A nemesített anyagoknál ezért kerülni kell a nagy hőterheléssel járó igénybevételeket és megmunkálásokat (pl. hegesztés).



A durálalumínium

A **durál**ötvözetekben az alumíniummal a fő ötvözőként adagolt réz részben szilárd oldatot képez, ezért képlékenyen jól alakítható szívós ötvözet alakul ki.

- A durálötvözetek közös hátránya, hogy igen könnyen korrodálnak, mert az Al és a CuAl_2 az anyagon belül mint galvánelem lép reakcióba, amit a környezeti hatások még katalizálhatnak.
- A réztartalom emelésével, vagy további járulékos ötvözőkkel a szilárdság az acélét is elérheti és ez különösen előnyös olyan helyen, ahol követelmény a kis súly.
- Rosszul önthető, öntvények készítésére nem alkalmas ötvözetek.
- **Al-Cu-Ni (Y fém).** Ni hozzáadásával már képessé válik egyszerűbb öntőformák kitöltésére, valamint növekszik a melegsilárdsága. Nagyobb hőmérsékletnek és mechanikai igénybevétel mellett üzemelő alkatrészek (pl. dugattyúk hengerfejek) készíthetők belőle.

A hidronálium

A **hidronálium** ötvözetekben az alumíniummal a magnézium részben szilárd oldatot képez, ezért képlékenyen jól alakítható szívós ötvözet alakul ki.

- A viszonylag nagy szilárdság mellett kiemelkedően jó korrózióállóság jellemzi a Hidronálium ötvözeteket, ezért a hajóépítésben, a járműiparban és az élelmiszeriparban alkalmazzák.
- A korrózióállóság tovább fokozható mangán hozzáadásával.

A szilumin

A **szilumin** ötvözetek jellemzője hogy a szilícium csak néhány százalékban oldódik. (Magasabb Szilícium tartalomnál egyáltalán nem lehet képlékenyen alakítani.

- Eutektikus összetételük közelében bonyolult alakú és vékony falú alkatrészek is jól önthetők.
- Jól hegeszthetők.
- A Mg /**Al-Si-Mg**/ hozzáadásával a fémes vegyület megjelenése miatt nemesíthető lesz. Ez javítja a nagyobb igénybevételű öntvények szilárdsági tulajdonságait.

Felhasznált irodalom:

· Dr. Bárczy Pál:

Fémötvözetek fémtana /Tankönyvkiadó 1987, NME jegyzet/



• **Beer - Kiss - Párkányné:**

Fémismeret és Gépgyártás technológia /Mezőgazdasági kiadó 1968/

• **Jártás - Koncz - Róka:**

Fémipari anyag és gyártásismeret I. /Műszaki Könyvkiadó 1982/

• **Dr. Gillemot László:**

Anyagszerkezetten és anyagvizsgálat / Műszaki Könyvkiadó 2000

• **Pék Lajos:**

Anyagszerkezetten és anyagismeret (*Mezőgazdasági és élelmiszeripari gépek anyagai*) /Dinasztia 2000/

• **Juhász - Tasnádi:**

Érdekes anyagok anyagi érdekességek
/Akadémiai kiadó 1992/

• **A Tudomány Világa:**

1986/12