

FÉMEK KÉZI, ÉS KÉZI KISGÉPES ALAKÍTÁSA: ANYAGISMERET / FÉMTANI ALAPISMERETEK: ACÉLOK

ESETFELVETÉS – MUNKAHELYZET

Önnek gyakran kell olyan feladatot megoldania a munkahelyén, amikor a terveken nem írják egyértelműen elő, hogy milyen anyagból kell az alkatrészt elkészíteni, csak bizonyos műszaki jellemzőkre vonatkozó előírásokat tartalmaz a dokumentáció. Ahhoz, hogy ön és munkatársai a gyártmányt megfelelő minőségben állítsák elő, ismerni kell a fémek belső szerkezetét is, továbbá a belső szerkezet és a szilárdsági, mechanikai tulajdonságok közötti összefüggéseket, gyakran a korróziós, mágneses viselkedésre vonatkozó jellemzőket.

A következőkben az alábbi kérdésekre kapunk választ:

1. Milyen, és hogyan alakul ki a fémek és ötvözeteik kristályszerkezete?
2. Hogyan alakul ki a szemcseszerkezet, és mitől függ a szemcsenagyság?
3. Milyen mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek a fémek és hogyan határozzuk meg ezeket a tulajdonságokat mérésekkel?
4. Mit tudhatunk meg a szakítóvizsgálat eredményeiből?
5. Mely tulajdonságait, és milyen módon változtatják meg az ötvözők az acéloknak?

SZAKMAI INFORMÁCIÓTARTALOM

A gépipar legszélesebb körben felhasznált alapanyagai a fémek és ötvözeteik, ezek között is a legszélesebb körben a különböző tulajdonságú acélok. Azt, hogy egy-egy műszaki feladatra milyen alapanyagot választanak, többféle tényező határozza meg. Számít a mechanikai szilárdság, a rugalmasság, vagy éppen a képlékenység, az ellenállás a korróziós hatásokkal, a magas, vagy az alacsony hőmérséklettel szemben, és így tovább. A napi munkafolyamatok során mindenki tapasztalja, hogy milyen sokféle tulajdonsággal rendelkezhetnek az acélok: Az egyiket könnyen meghajlíthatjuk, a másikat rugóként használjuk, a harmadik olyan kemény, hogy el tudjuk vele vágni az előzőket, és nyoma sem látszik, van amelyik rozsdásodik, van amelyik ellenáll a legerősebb savnak-lúgnak is.

Mivel a gépipar a legnagyobb mennyiségben különböző acélokból állítja elő a gyártmányait meg kell ismernünk az acélokat nem csak külső tulajdonságaik, hanem belső mikroszerkezetük alapján is.

A fémekre és különösen az acélokra vonatkozó fémtani ismeretekkel foglalkozunk ebben a fejezetben.



1. ábra. Vajon mitől van ez az érdekes mintázata a damaszkuszi pengének?

1. Fémek előállítása

A fémek a természetben általában csak vegyületeként találhatók meg. Ezek a vegyületek többnyire az adott fém különböző oxidjai, szulfidok (kéntartalmú vegyületek), és karbonátok (széntartalmú vegyületek). Ezeket a vegyületeket ásványoknak nevezzük. Csak kevés fém található meg tisztán a természetben, ilyen az arany, az ezüst, a réz, a higany és a platina.

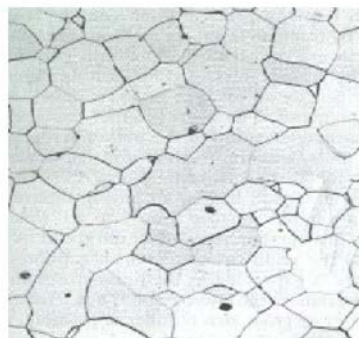
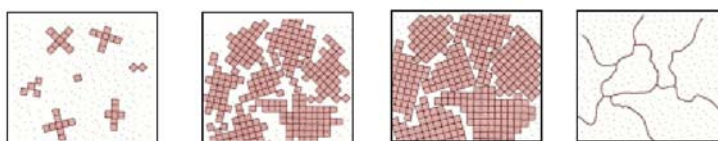
A sok-sok ásvány közül csak néhányból lehet gazdaságosan kinyerni a számunkra fontos fémeket, ezeket az ásványokat nevezzük ércnek. A fémek előállítása az ércbányákban kezdődik, ezután különböző osztályozási eljárásokkal szétválasztják a fémekben gazdag ércet az értéktelen (meddő) ásványi összetevőktől. Ennek a folyamatnak az elnevezése a dúsítás.

A dúsítást követően szállítják az ércet a kohókba, ahol a legtöbb fém esetében olvasztással, és az oxidok redukálásával, valamint a kén elégetésével történik. Az oxidok redukálása azt jelenti, hogy a kohóban uralkodó magas hőmérsékleten a fématomokhoz kötődő oxigén atomokat elvonjuk, és más, az oxigénnel könnyebben vegyületet alkotó atomokhoz kötjük. A leggyakrabban a szén (C=karbon) alkalmas ilyen célú felhasználásra. A szén képes elvonni a fématomhoz tartozó oxigénatomokat és széndioxid (CO₂) formájában mint gáz felszáll az olvadék tetejére, és eltávozik. A fémek előállításának ezt a folyamatát nevezzük fémkohászatnak.

A fémkohászat során előállított fémek csak nagyon ritkán tiszta színfémek, mert vagy azokból a segédanyagokból, melyeket az oxidok redukálásához, vagy a kéntartalom elégetéséhez használnak, némi maradék az alapfémekben marad. Amennyiben ezek a maradékok az alapfém tulajdonságait valamilyen szempontból javítják ezeket az anyagokat ötvözőknek, amennyiben kedvezőtlen hatásuk van szennyezőknek nevezzük.

Az olvadt fémfürdő tetején többnyire olyan kohászati segédanyagok úsznak, amelyek védik a fémet az újbóli oxidációtól, és képesek magukba fogadni a felúszó szennyezőket. Amikor a kohóban elegendő mennyiségű olvadt fém keletkezik, a salak alól a fémet, úgynevezett kokillákba lecsapolják.

A csapolást követően a kokillában lévő fém elkezd hűlni, és amikor a hőmérséklete az olvadáspontjára csökken az olvadékon belül elkezdődnek a fématomok szabályos kristályokba rendeződni. Először csak néhány atomból álló, úgynevezett kristálycsírák alakulnak ki, melyekhez folyamatosan további atomok csatlakoznak. A kristályok egyre nagyobbak lesznek, végül összeérnek, mint ahogy azt a 2. ábra szemlélteti:



2. ábra. Kristálycsírák kialakulása és növekedése, alul a kialakult szemcseszerkezet mikroszkópi képe

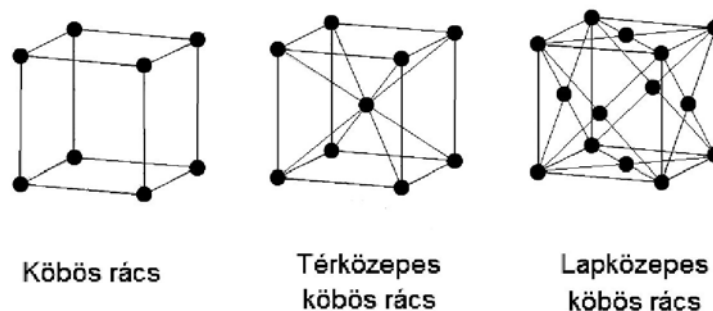
Az ábra alapján könnyebben válik érthetővé, hogy amennyiben a fém gyorsabban hűl, vagy a fémet gyorsabban hűtjük, miért lesznek kisebbek a kialakuló szemcsék. Ha a hőelvonás gyors, egy időben több helyen alakulnak ki a kristálycsírák, és ennek az lesz az eredménye, hogy hamarabb összeérnek a mellettük növekedő kristálycsírával. A kristálycsírák többnyire csak az alapfém atomjait fogadják maguk mellé, az ötvözők, szennyezők nem épülnek be a rácsba. Így ezek az atomok feldúsulnak a csírák közötti olvadt térben, majd beszorulnak a növekedésük közben összeérő kristályok közé. Ez látható a 2. ábra alsó képén, ahol a ferrit (tulajdonképpen színvas) kristályok határait szorulva vékony kéregként vaskarbid (Fe_3C) rétegek látszanak vékony sötét vonalként.

Persze a teljesen tiszta fémek megszilárdulásakor is több kristálycsíra kezdi meg a növekedését, ezeknek a találkozási felületein rácsrendezetlenségek, úgynevezett diszlokációk alakulnak ki. A diszlokációk szerepét és a fém tulajdonságait befolyásoló hatásait kicsit később tárgyaljuk.

2. A fémek kristályos szerkezete

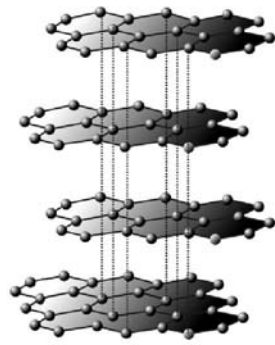
A fémek szabályos geometriai formákban, úgynevezett kristályokban szilárdulnak meg. Ez azt jelenti, hogy a szilárd fém atommagjai egy szabályos rácsszerkezet pontjaiban helyezkednek el, és a köztük lévő térben keringenek az atommagok körül az elektronok. Az atomoktól legtávolabb (az úgynevezett külső elektronhéjon) keringő elektronok elektromos áram hatására képesek elhagyni atommagjukat, és áramlanak a pozitív töltés felé. Ez okozza a fémek elektromos vezetőképességét.

A legtöbb fém kristályszerkezete szabályos kockák sarkaiban elhelyezkedő atomokból áll, de a kockán belül, vagy a kocka lapjain is helyezkednek el atomok. Az ilyen kristályrácsokat **köbös** szerkezetűnek nevezzük. Amikor a kocka közepén helyezkedik el még egy atom a szerkezet neve **térközepes köbös**, amikor a kocka mind a 6 lapjának közepén találunk még egy atomot, akkor ezt **lapközepes köbös** kristályszerkezetnek nevezzük. A 3. ábrán bemutatjuk ezeknek a kristályszerkezeteknek a felépítését.

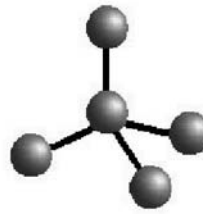


3. ábra. Köbös kristályszerkezet felépítése

Különleges rácsszerkezetben kristályosodik a szén. Azt a formáját amikor egymással párhuzamos síkokban lévő hatszögek sarokpontjaiban helyezkednek el a szénatomok grafitnak nevezzük, amikor a szénatomok tetraéderek csúcsain és középpontjában vannak a szénkristály elnevezése gyémánt. És micsoda különbséget jelent ez ugyanannak az anyagnak a tulajdonságaira nézve! A grafit jól vezeti az áramot, puha jól kenődő anyag, míg a gyémánt a természet legkeményebb anyaga és nem vezeti az elektromosságot. Az, hogy a szénatomokból grafit, vagy gyémánt lesz a külső nyomás és hőmérséklet határozza meg. A 4. ábra a grafit hexagonális, és a gyémánt tetraéderes kristályrácst mutatja.



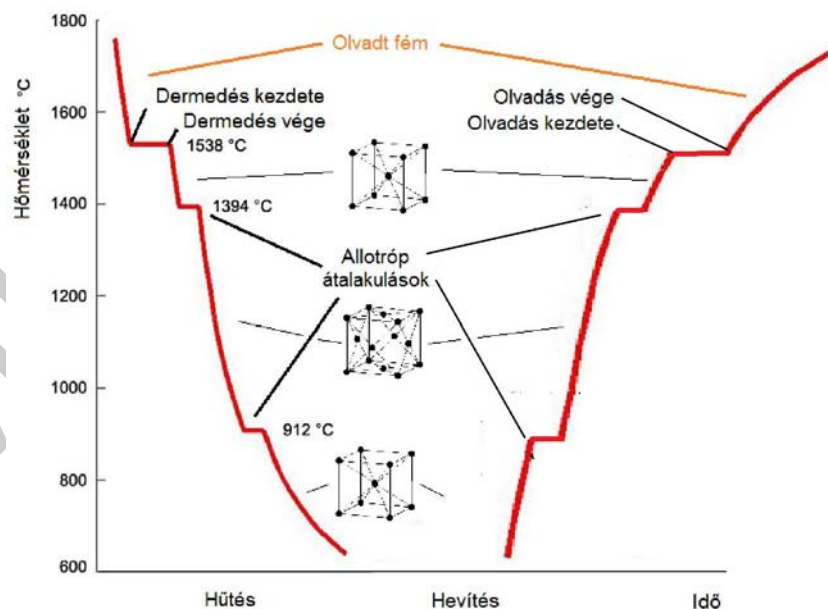
Grafit



Gyémánt

4. ábra. A grafit hexagonális, és a gyémánt tetraédes kristályrácsa

Ahogy a szén, úgy más anyagok is kristályosodhatnak más-más szerkezetben, sőt gyakran előfordul az is, hogy szilárd állapotban az atomok átrendeződésével más típusú kristályrác-szerkezet alakul ki. Ezeket az átalakulásokat **allotróp átalakulásnak**, a más-más kristályszerkezetű változatokat **allotróp változatnak** nevezzük. Amikor a hűlés, vagy a hevítés során a fémbe megy az allotróp átalakulás, az átrendeződés befejeződéséig az anyag hőmérséklete nem változik. A hűtési- és hevítési diagramokon ez az 5. ábrán látható módon jelentkezik.



5. ábra. 100% tisztaságú vas hűtési- és hevítési diagramja

Az ábrán a legszélesebb körben felhasznált alapfém a vas diagramján észrevehetjük, hogy szilárd állapotban 1394 °C-on és 912 °C-on is allotróp átalakulás zajlik le. A szimbolikus kis kockák megmutatják nekünk, hogy szobahőmérséklettől egészen 912 °C-ig, majd 1394 °C és a már az olvadást jelentő 1538 °C között a vasatomok térközepes köbös kristályrácsba rendeződnek. A 912 °C és az 1394 °C közötti hőmérséklettartományban a vasatomok lapközepes köbös kristályrácsban rendeződnek el. A vasnak ezt a lapközepes köbös kristályrácsú változatát **ausztenitnek** nevezzük.

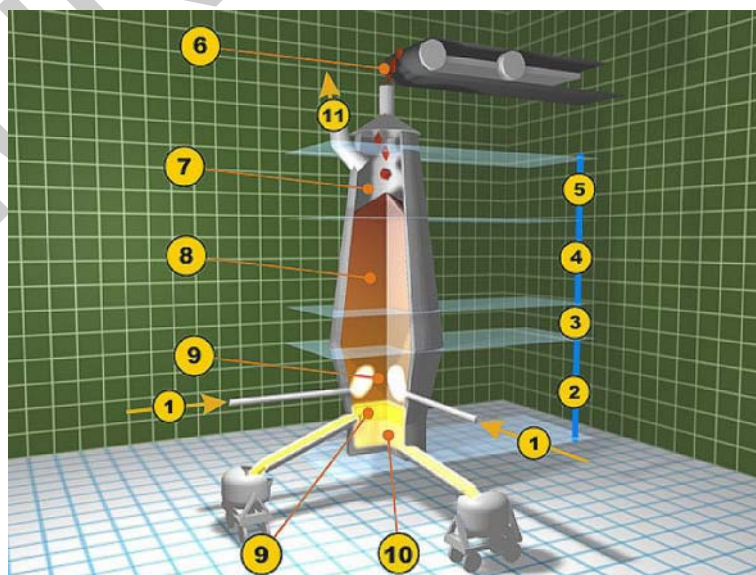
3. A vas előállítása

A vasat a természetben található vastartalmú ásványok kohászati feldolgozásával állítják elő. A vas leggyakrabban fellelhető ásványai a vas valamilyen oxidja formájában található, és ehhez olykor még vízmolekulák kötődnek. A sziderit esetében vas, szén és oxigén alkotta vegyületről van szó.

- hematit, Fe_2O_3 , vastartalma 70%,
- magnetit, Fe_3O_4 ill. $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, vastartalma 72,41%,
- hidrohematit, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$, vastartalma 66,27%,
- goethit, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, vastartalma 62,92%,
- limonit, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 1,5 \text{H}_2\text{O}$, vastartalma 59,89%,
- sziderit, FeCO_3 , vastartalma 48,28%.

Ahogy már korábban láttuk, a kohászat során ezeket a vegyületeket fel kell bontani, hogy olvadt formában vashoz jussunk. Ez a művelet a nagyolvasztókban történik, ahol a nagyolvasztó legfelső nyílásán keresztül adagolják be az előkészített vasércet, a hevítéshez szükséges tüzelőanyagot, és a kémiai folyamatokhoz szükséges egyéb segédanyagokat.

A 6. ábrán látható a nagyolvasztó metszete, az ábrán látható számozás alapján letről felfelé haladva végigkövetjük a lejátszódó folyamatokat.



6. ábra. Nagyolvasztó metszete

- A 10-el jelölt legalsó részen az olvadt vas helyezkedik el. Időnként, ahogy az égési és vegyi folyamatok zajlanak, egyre több olvadt vas gyűlik össze a nagyolvasztó alján. Ennek felső szintje nem kerülhet a salakcsapoló nyílás fölé, ezért rendszeresen végeznek csapolásokat.
- A 9-el jelölt részen az olvadt vasat az újbóli oxidációtól védő olvadt állapotú salak úszik a vASFürdő tetején. időnként ebből is lecsapolják a felesleges mennyiséget.



7. ábra. Nagyolvasztó csapolása

- A 1-el jelölt nyílásokon keresztül nagy nyomással előhevített levegőt fújnak a salak feletti térbe. Az előhevítést a távozó füstgázzal végzik el, a befűvott levegő hőmérséklete 1100–1300 °C. Az előmelegítés feltétlenül szükséges, mert a hideg levegő lehűtené az olvadt állapotú salakot és vasat. A befűvott levegővel égetjük el a kokszot, mely a nagyolvasztó tüzelőanyaga, ezzel termeljük a vas megolvasztásához szükséges hőt.
- A nagyolvasztó aljától a koksz elégetéséig tart a 2-el jelölt zóna, ahol a vas megolvasztása történik, ezért nevezik ezt olvasztó zónának.
- Az olvasztó zóna feletti részen található az úgynevezett elsődleges redukáló zóna, ezt jelöli az ábra 3-al. Itt játszódnak le a következő vegyi reakciók, mely során az oxigéntől megszabadított vas megolvad, és saját súlyánál fogva lefolyik a nagyolvasztó aljára:
 - ◆ $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{C} = 2\text{Fe} + 3\text{CO}$
 - ◆ $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{C} = 3\text{Fe} + 4\text{CO}$
 - ◆ $\text{FeO} + \text{C} = \text{Fe} + \text{CO}$
- Az elsődleges redukció során keletkezett szénmonoxid (CO) gáz állapotú és felfelé száll a nagyolvasztóban. A szénmonoxid gáz mindig törekszik arra, hogy lekössön még egy oxigént és széndioxiddá (CO₂) alakuljon át. Miáltal a befűvott levegő mennyiségét úgy szabályozzák, hogy a koksz elégetése után szabad oxigén ne maradjon, a keletkezett szénmonoxid a vasoxidban lévő oxigénnel igyekszik reagálni, a következő egyenletek szerint:
 - ◆ $3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} = 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2$ majd,
 - ◆ $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO} = 3\text{FeO} + \text{CO}_2$, vagy $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{CO} = 3\text{Fe} + 4\text{CO}_2$



- A szénmonoxid széndioxiddá válása hőtermelő folyamat, melyet kihasználnak a fentről lefelé haladó anyagok előmelegítésére. Ezek a folyamatok zajlanak a 4-el jelölt másodlagos redukáló zónában.
- A másodlagos redukáló zóna felett a felfelé áramló gázok (most már szinte teljes egészében széndioxid, mert az összes szénmonoxid felvett még egy oxigénatomot valamelyik vasoxidtól) elkezdik felmelegíteni a beadagolt vasérc, kokszt és segédanyag keveréket. Ezt a zónát előmelegítő zónának nevezzük.
- A vasérc, a kokszt és a segédanyagok keverékét elegynek nevezik, az ábrán 6-al jelölt szalagon előre összekevert állapotban szállítják a nagyolvasztó beadó nyílásához. Ahogy a csapolásokat követően a 8-al jelölt elegyoszlop lejjebb csúszik az elegyadagoló szalag megfelelő idejű üzemeltetésével utántöltik az elegyoszlopot.
- Az ábrán 7-el jelölt nyíláson keresztül vezetik el a keletkezett gázokat a levegő előhevítőbe. Az itt távozó gázt szaknyelven torokgáznak nevezik.

4. A nyersvas további feldolgozása, az acélgártás

A nagyolvasztóban keletkezett vas nem tiszta színvas, mert a redukció során a kokszból szénatomokat, a vasérből és a segédanyagokból kén (S), foszfor (P), szilícium (Si), mangán (Mn) és egyéb ötvözőket tartalmaz. Ilyen állapotában a nyersvas szinte használhatatlan fém, mert nagyon törékeny. Mechanikai tulajdonságaira nézve leginkább a magas kén-, a foszfor-, és a széntartalom fejt ki kedvezőtlen hatást. Attól függően, hogy milyen segédanyagokat adagoltak a nagyolvasztóba kerülő elegyhez szürke vagy fehér nyersvas keletkezik

A szürke nyersvas jellemzői

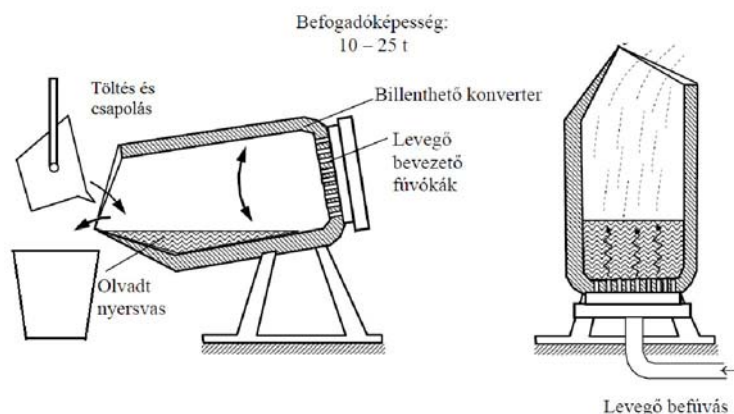
- 2-4% Si tartalom
- 3,5-4% C
- 0,5-1% Mn, valamint P és S
- Sűrűség: 7-7,3 t/m³
- Olvadási hőmérséklet: 1200-1250 °C
- Tulajdonságai: lágy, jól megmunkálható, forgácsolható, önthető
- Törésfelülete durva szemcsés, szürke
- Lassú hűtéssel állítható elő
- A szén döntően grafitrendszerben van jelen.
- Felhasználása: szürkeöntvények kiinduló anyaga

A fehér nyersvas jellemzői:

- 2-3% Mn tartalom
- 3-4% C
- 0,3-0,5% Si, valamint P és S
- Sűrűség: 7,5-7,8 t/m³
- Olvadási hőmérséklet: 1100-1130 °C
- Tulajdonságai: kemény, rideg, melegen sem munkálható meg.

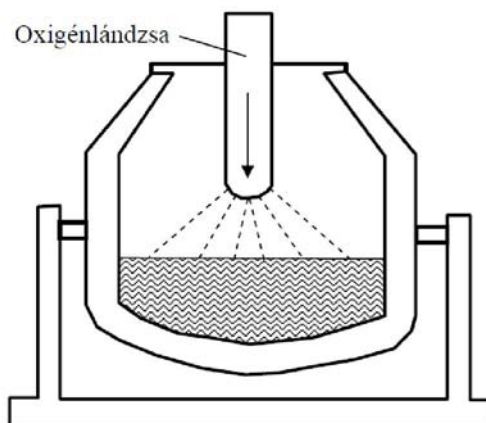
- Törésfelülete finom szemcsés, fehér
- Gyors hűtéssel állítható elő
- Szerkezetében a szén vas-karbid formájában van jelen, mivel a magnézium elősegíti a Fe_3C (vas-karbid) képződést.
- Felhasználása: acélgártás és az acélöntvények kiinduló anyaga

Az acélgártás **célja a nyersvas megtisztítása** a szennyező anyagoktól, valamint igény szerinti ötvözése mely folyamatok eredményeként jóval kedvezőbb tulajdonságú nyersanyaghoz jutunk. A nyersvas tisztítása tulajdonképpen a káros anyagok oxidációja útján történik. A legelterjedtebb úgynevezett Bessemer eljárás során a megolvasztott nyersvason levegőt áramoltatnak át. Az olvadt vasban lévő szilícium és szén a levegő oxigénjében elég és mint széndioxid gáz, valamint szilíciumdioxid gáz felúszik a fürdő tetejére, és onnan elszáll. Ennek hatására a kérdéses elemek koncentrációja néhány perc alatt a kívánt mértékre csökken, miközben az oxidáció során keletkező hő fűti is az olvadékot. Az eljárás hátránya, hogy a kén és foszfor csak mész (kalcium= Ca) hozzáadásával távolítható el, viszont ez az eljárás kifejlesztésének korában, a kemencékben használt szilikát anyagú téglafalazat miatt nem volt alkalmazható, mivel kémiai reakcióba léptek volna egymással. A kohók hőálló bélésének magnezit téglákra való cserélése tette lehetővé az egyidejű kén és foszformentesítést is. Ez az úgynevezett Thomas eljárás.



8. ábra. Bessemer-Thomas eljárás vázlata

A Linz-Donawitz eljárásnál (nevezik LD-eljárásnak is) ugyancsak billenthető konverterben égetik ki a felesleges szenet a nyersvasból, de egy tiszta oxigént fűvő lándzsát merítenek a fürdőbe. Az eljárás előnye, hogy nem marad az acélban a levegőből oldott nitrogén, ami egyébként hűtené is a folyamatot. A kezelés rövidebb ideig tart és hatékonyabban csökkenti a széntartalmat.



9. ábra. Linz-Donawitz eljárás vázlata

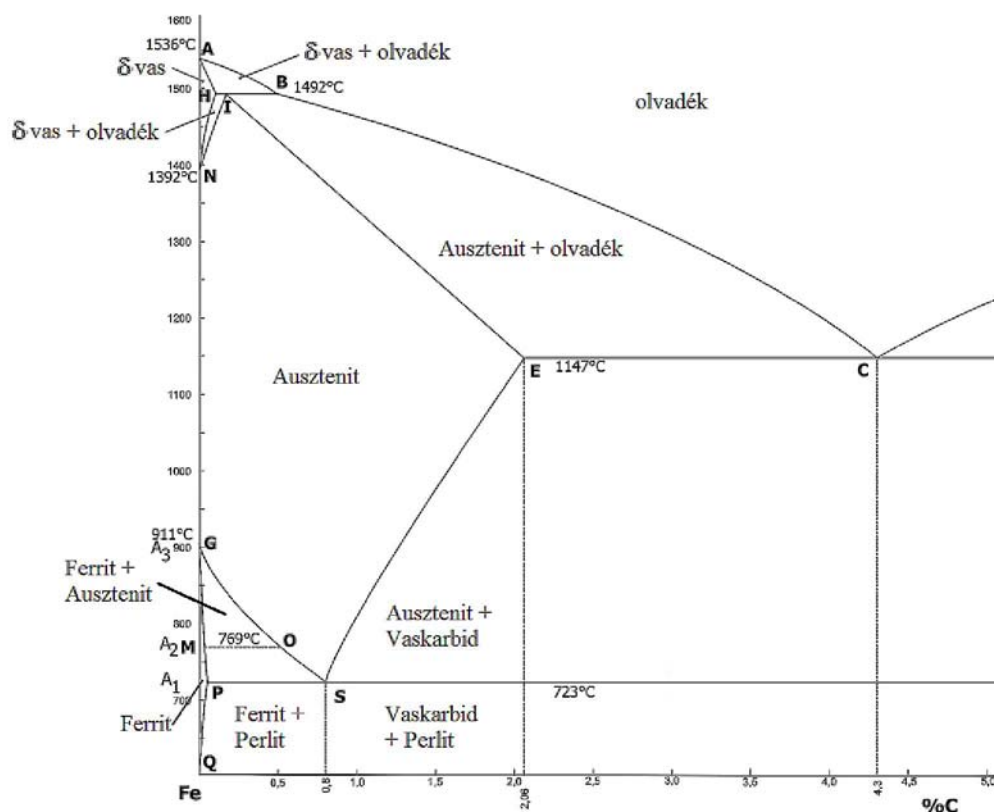
A ócskavas nagy tömegű megjelenése után vált a Siemens-Martin eljárás a legelterjedtebb acélgártási móddá. A folyamat során a nyersvasat ócskavassal keverve olvasztják, ahol a vas-oxid (rozsdá) leadja oxigéntartalmát és oxidálja a fürdőben lévő szennyező anyagokat. A folyamat tiszta oxigén befúvásával segíthető még jobban elő. Ez az eljárás az ötvenes évek elejéig általános volt a világon, e módszerrel lehetett a legjobb minőségű acélokat előállítani.

Az ipar fejlődésével megjelentek az elektromos ívvel, és az indukciósan fűtött acélgártó berendezések is, ezekben levegőt, vagy oxigént nem alkalmaznak, hanem salakképző anyagokkal kötik meg a felesleges szénatomokat. Ezekkel az eljárásokkal különleges tisztaságú, és magasan ötvözött acélokat lehet előállítani.

Az acélgártás során tehát többnyire kiegészítjük a felesleges anyagokat a nyersvasból, ennek ellenére nem jutunk hozzá a tökéletes tisztaságú színvashoz. Ez persze nem is baj, mert a szén alacsony mennyiségben az acélok legfontosabb ötvöző eleme, mennyiségének változtatásával, valamint a hűtési sebesség szabályozásával szerteágazó tulajdonságokkal rendelkező alapanyagokat állíthatunk elő.

5. Az acélok jellemzői a széntartalom függvényében

Már korábban beszéltünk az allotróp átalakulásokról, melyeket akkor még csak színelemek esetében tárgyaltunk. Az ötvözők megváltoztatják az allotróp átalakulások hőmérsékletét, a legtöbb esetben nem egy állandó hőfokon mennek végbe az átalakulások, hanem egy hőmérsékletközben történik meg az atomok átrendeződése. A különböző széntartalmú vas-szén ötvözetek hűtési diagramjai alapján lehet meghatározni ezeket a hőmérsékletközöket. Ezeknek az adatoknak az alapján alkották meg a vas-szén állapotábrát, melyet a 10. ábra mutat.



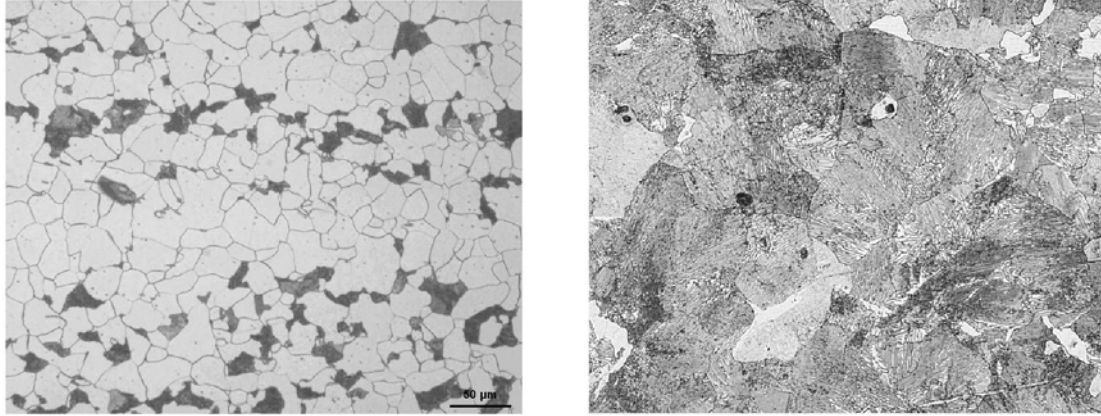
10. ábra. Vas-szén állapotábra

Ismerjük meg most, hogy hogyan kell értelmezni a vas-szén állapotábrát. Munkánk során nekünk mindig egy konkrét ötvözetet kell vizsgálnunk, és annak tulajdonságaira következtethetünk az állapotábrából. Későbbi tanulmányaink során a fémek hőkezelése során látjuk majd miért olyan fontosak számunkra azok az adatok, melyeket a vas-szén állapotábrából kiolvashatunk. Annyit már most elárulhatunk, hogy a szobahőmérsékleten térközepes köbös kristályszerkezet átalakulása lapközepes köbössé jelentős szerepet játszik majd a tulajdonságok kialakításában. Azért írtunk kialakítást, mert a hevítés és a hűtés sebességét lehetőségünk van szabályozni, és ezáltal a hőkezelt acél tulajdonságait – természetesen bizonyos határok között – beállítani.

Szobahőmérsékleten tehát az alábbi szövettípusokat tartalmazó acélok léteznek

- **0,0%–0,8%** széntartalom között az acél szövetszerkezete ferritből és perlitből áll. A ferrit szemcsék színvas kristályokból állnak, a szemcséken belül lehetnek rácsrendezetlenségek melyet később tárgyalunk. A perlit úgy alakul ki, hogy egymást váltva vékony lapokként színvas kristályok és vaskarbid (Fe_3C) kristályok épülnek fel. A szemcsehatárokat vaskarbid alkotja. Minél nagyobb az acélban a széntartalom, annál több a perlit kristály, egészen kis széntartalom esetén szinte nincsenek is perlit szemcsék, csak a szemcsehatárokon jelenik meg a vaskarbid. 0,8% széntartalomnál minden szemcse perlitből áll.

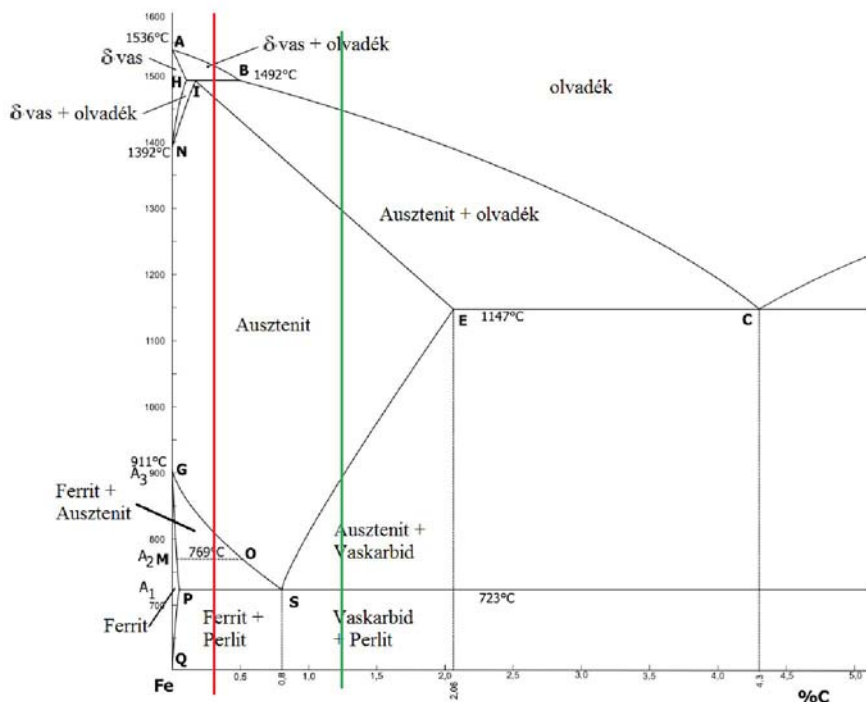
- **0,8%–2,1%** széntartalom között az acél vaskarbidból és perlitből áll. A vaskarbid szemcsék körül lecsökken a szénatomok koncentrációja, és ez csak perlit képződésére elegendő. Minél nagyobb a széntartalom, annál több a vaskarbid szemcse, míg 2,1%-nál már csak vaskarbidból állnak a szemcsék.



11. ábra. Ferrit–perlites és Perlit–vaskarbidos szövetszerkezet mikroszkópi képe

Ha az állapotábrában az adott acél széntartalmának megfelelő helyen egy függőleges vonalat húzunk akkor a vonal és a fázishatárok görbéinek metszéspontjai megadják nekünk az allotróp átalakulások kezdő és befejező hőmérsékleteinek értékét. azt is megmutatja a vonal, hogy egy adott hőmérsékleten milyen szövetszerkezete van az acélnek. Az átmeneti zónákban a kristályok szerkezete oda–vissza alakul, tehát ha az átalakulást száz százalékosan végre akarjuk hajtani, mindenképpen a vegyes fázis hőmérséklet tartománya fölé kell hevítenünk, vagy alá kell hűtenünk az acélt.

A könnyebb érthetőség kedvéért vizsgáljuk meg 0,35% és 1,25% széntartalmú acélok átalakulásának folyamatát az állapotábra alapján.



12. ábra. 0,35% és 1,25% széntartalmú acélokat jelző vonalak a vas–szén állapotábrában

A 0,35% C-tartalmú acél hevítésekor 723 °C-nál elkezdődik a ferrit térközepes rácsszerkezetének átalakulása ausztenitté. Ez az átalakulás addig a hőmérsékletig tart ahol a piros vonal nem metszi az állapotábrában G–O–S betűkkel jelzett vonalat. Ez kb. 810 °C, és amíg az átalakulás be nem fejeződik az anyag nem melegszik tovább. E felett a hőmérséklet felett a teljes anyagmennyiség ausztenitté változott át. Ha tovább hevítjük az acélt piros vonalunk kb. 1470 °C-nál metszi az I–E vonalat, és ekkor elkezdődik az anyag egy részének olvadása, az acél úgynevezett pépes állapotba kerül. Nem sokkal később 1492 °C-nál a szilárd állapotú atomok lapközepes rácsból térközepes rácsba rendeződnek át, de közben az anyag egy része már olvadt állapotban van. további hevítés esetén az acél teljes mennyiségben olvadt állapotba kerül kb. 1515 °C-nál. A hűtés során minden fordítva játszódik le, ugyanazon a hőmérséklet határok között.

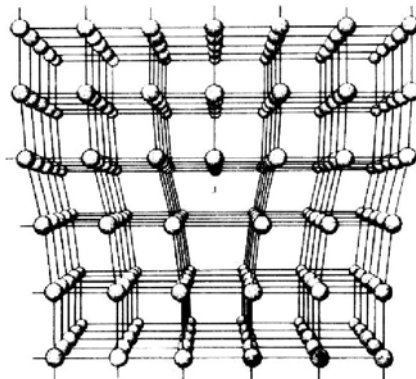
Az 1,25% C-tartalmú acélt az ábrán a függőleges zöld vonal jelöli. Az első átalakulás ugyanazon a 723 °C-on kezdődik meg, amikor a Perlit vasatomjai elkezdnek az ausztenitnek megfelelő lapközepes rácsba rendeződni. Ez az átalakulás kb. 890 °C-ig tart, ekkorra a teljes anyagmennyiség ausztenitessé válik. Az acél olvadása kb. 1300 °C-on kezdődik meg, és 1450 °C-ig tart.

Mindkét acélnál felmerül a kérdés, hogy hová tűnik a perlit a hevítés során? A válasz egyszerű: Az ausztenit sokkal jobban képes befogadni a rácsszerkezetébe a szénatomokat, mint a térközepes ferrit. Tulajdonképpen olyan ez mintha feloldódnának benne a szénatomok. Szokták is ezt az állapotot szilárd oldatnak nevezni. Fordított esetben a hűlés során azonban kiszorulnak a szénatomok a rácsszerkezetből, és 1 szén atom 3 vas atommal megalkotja az Fe_3C képletű vaskarbidot. Ezek a vaskarbidok alkotják a szemcsehatárokat a szén oldására csak nagyon kismértékben (legfeljebb 0,02%) képes ferrit szemcsék körül. A vaskarbid a hűlési sebességtől függően alakul ki a szemcsehatárokon.

Fontos tudni azt is, hogy ha a szobahőmérsékletű acélt felhevítjük olyan magas hőmérsékletre, hogy ausztenitté alakuljon, az ausztenitben a szénatomok újból fel fognak oldódni, és hűtésekor új helyen feldúsulva, új szemcsehatárokat alakítanak ki.

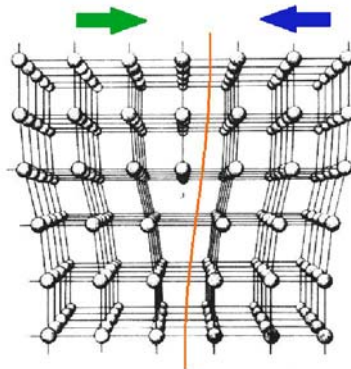
6. A rácsszerkezet hibái, a diszlokációk

Ahogy már korábban említettük ahol a kristálycsírák a dermedés befejeződésekor találkoznak rácsrendezetlenségek, úgynevezett **diszlokációk** alakulnak ki. A diszlokációk jellegzetes típusára mutat példát a 12. ábra.



13. ábra. Éldiszlokáció 3 dimenziós modellje

Az ábrán látható diszlokáció kialakulásának megértéséhez tekintsünk a 13. ábrára.

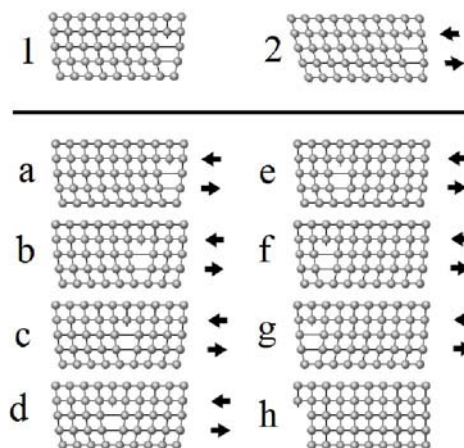


14. ábra. A diszlokáció kialakulása

A diszlokáció két kristálycsíra fejlődésekor úgy alakult ki, hogy az egyik csíra balról növekedett a zöld nyíl irányába. Befogadta a rácsszerkezetébe a piros vonaltól balra elhelyezkedő atomokat. Ezzel egy időben jobbról balra a kék nyíllal jelzett irányba egy másik kristálycsíra is növekedett, és a piros vonaltól jobbra lévő atomok épültek be a rácsába. Amikor a csírák közötti távolság olyan kicsivé vált, hogy újabb atomok nem fértek be közéjük, és az egymáshoz legközelebb lévő atomok között kialakult a fémes kötés. A bal oldali kristály felső 3 sorában lévő atomok miatt az alsó sorokban lévő atomok közötti távolság nagyobb, ez azt eredményezi, hogy a közöttük lévő fémes kötés ereje kisebb.

A diszlokációk teszik lehetővé a fém képlékeny alakváltozását, azáltal, hogy a külső erők által igénybe vett kristályokban a rácshibák tovább vándorolnak és a kristályok átalakulása maradó alakváltozássá válik. Ezt természetesen úgy kell elképzelni, hogy milliárdnyi kicsiny, atomi méretű kristályrác átalakulása összeadódik, és ez eredményezi a szemmel is érzékelhető alakváltozást.

A következő ábrán bemutatjuk a diszlokációk vándorlásának elméletét. Az ábrán 1-el jelölt állapotban a kristály terhelésmentes állapotban van, a 2-el állapotban a terhelő erő rugalmas alakváltozást idéznek elő, a kristályrác szöge torzul. Ha a terhelést megszüntetjük, a kristály felveszi eredeti alakját, és visszaáll az 1-el jelölt állapotba.



15. ábra. Diszlokáció vándorlása és a maradó alakváltozás kialakulása

A vízszintes vonal alatti ábrák sorozata azt mutatja, hogy az erők hatására a felülről második sor atomjai sorban egymás után az erő kényszerítő hatására egy másik atommal létesít fémes kötést a harmadik sorból. Amíg az erőhatások meg nem szűnnek, a rácrendezetlenség fokozatosan bal felé vándorol el. Végül a rácrendezetlenség teljes mértékben elhagyja a kristályt, de ennek eredményeként a kristály külső mérete, alakja megváltozott. Vegyük észre azt is, hogy addig amíg a diszlokáció el nem hagyja a kristályt, annak külső alakja nem változik meg. Ne gondoljon senki arra, hogy akkor félúton abba lehet hagyni az alakítást, mert ez a folyamat az anyagon belül nagyon gyorsan, hangsebességgel megy végbe.

Amíg vannak az anyagon belül diszlokációk, addig van lehetőségünk az anyag képlékeny alakítására. Amikor a diszlokációk vándorlásának lehetősége megszűnik, a fém alakíthatósága lecsökken, vagy teljesen megszűnik, ekkor következhet be a törés, szakadás. Ennek a folyamatnak az eredménye az úgynevezett alakítási felkeményedés is.

A bevezetőben azt írtuk, hogy a diszlokációk a fém dermedésekor keletkeznek, mert így egyszerűbb volt elmagyarázni az elméletet, de azt is tudni kell, hogy a fém megolvasztásával nem járó, de az atomok átrendeződését okozó allotróp átalakulások közben is sorra alakulnak ki a rácsrendezetlenségek. Ez teszi lehetővé azt, hogy már nagymértékben alakított anyagokat megfelelő hőmérsékletű hőkezeléssel újra lággyá, tovább alakíthatóvá tehetünk.

7. A fémek tulajdonságainak vizsgálata

Miután megismertük a fémek belső szerkezetét, és tudjuk milyen sokféle szerkezet képes kialakulni, fontos azt is tudni, hogyan hasznosíthatjuk ezeket az ismereteket. A fémeket, és ezen belül is az acélokat legtöbbször teherviselő szerkezetek elemeiként, alkatrészeként használjuk fel. Tudnunk kell tehát, hogy egy-egy fém, ötvözet mekkora terhelést képes elviselni. A fémek különböző mechanikai tulajdonságait többféle módszerrel vizsgálják, azonban egy vizsgálatfajtát a **szakítóvizsgálatot** kell a legfontosabbnak tekinteni, mert az ezzel meghatározott értékek tekinthetők minden méretezési eljárás alapjának.

A vizsgálat elve:

A szakítóvizsgálat során a szabványos előírások szerint kialakított próbatestet kis sebességgel **húzó igénybevétellel** terheljük egészen a szakadásig, és a mért adatokból (erő, megnyúlás, próbatest adatai) megállapítjuk az anyag szilárdsági és alakváltozási jellemezőit.

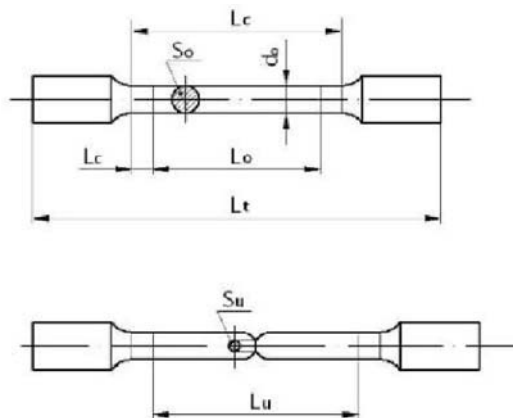
A próbatest:

A szakítópróbatest egy a vizsgált termékből kialakított darab lehet. A próbatestek keresztmetszete lehet kör, négyzet, négyszög, körgyűrű vagy esetleg más alakú is. Készülhetnek fejrészrel vagy fejrész nélkül a befogószerkezet alakjának és méretének megfelelően.



16. ábra. Szakító próbatestek, hengeres–fejű, menetes és lapos befogáshoz

A vizsgálat előtt és után a próbatestet megmérjük, ez alapján végezhetjük a számításainkat. A 17. ábrán látható vázlat szerint végezhetők el a mérések.



17. ábra. Szakító próbatest szakadás előtti (fent) és szakadás utáni (lent) méretei

Szakadás előtt:

- Jeltávolság L_0 (mm);

A jeltávolság a próbatest vizsgálati hosszán kijelölt szakasz, melyet az alakváltozási jellemzők számításánál kiindulási hosszúnak tekintünk. A jeltávolság két végét finom karcokkal vagy jelekkel kell megjelölni

- Rövid próbatesteknél $L_0 \sim 5 \cdot d_0$;
- Hosszú próbatesteknél $L_0 \sim 10 \cdot d_0$
- Teljes hosszúság L_t (mm)
- Szakadás előtti átmérő d_0 (mm)
- Szakadás előtti keresztmetszet S_0 (mm²)
- Keresztmetszet kiszámítása kör esetén

$$S_0 = \frac{d_0^2 \cdot \pi}{4}$$

- Keresztmetszet kiszámítása téglalap esetén

$$S_0 = a_0 \cdot b_0$$

Szakadás után:

- Szakadás utáni jeltávolság L_u (mm) (a két darab egymáshoz illesztése úgy, hogy tengelyeik egy egyenesbe essenek)
- Szakadás után mért átmérő d_u (mm)
- Szakadás utáni keresztmetszet S_u (mm²)
- Kör keresztmetszet esetén

$$S_u = \frac{d_u^2 \cdot \pi}{4}$$

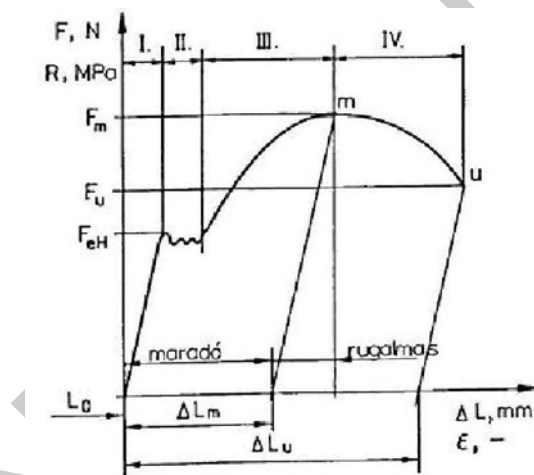
- Téglalap keresztmetszet esetén

$$S_u = a_u \cdot b$$

A szakítódigrammok

A szakítóvizsgálat eredménye az erő - megnyúlás (F- ΔL) diagram, amit röviden **szakítódigrammnak** nevezünk.

Ezt a diagramot a szakítógép készíti el a gép típusától, korszerűségétől függően. A lágyacélok szakítódigramjáról leolvasható a próbatest megnyúlása a húzóerőtől függően és követhető a szakítás folyamata. A diagram szakaszai jól szemléltetik a próbatest rugalmas és maradó alakváltozásait a vizsgálat folyamán.



18. ábra. Lágyacélra jellemző szakítódigram

A diagramot elemezve a következő szakaszok figyelhetők meg:

I szakasz: **Rugalmas alakváltozás** szakasza. Az anyagok rugalmassági határán belül a feszültség egyenesen arányos a megnyúlással, a terhelés megszüntetése után a próbatest az eredeti méretére változik vissza.

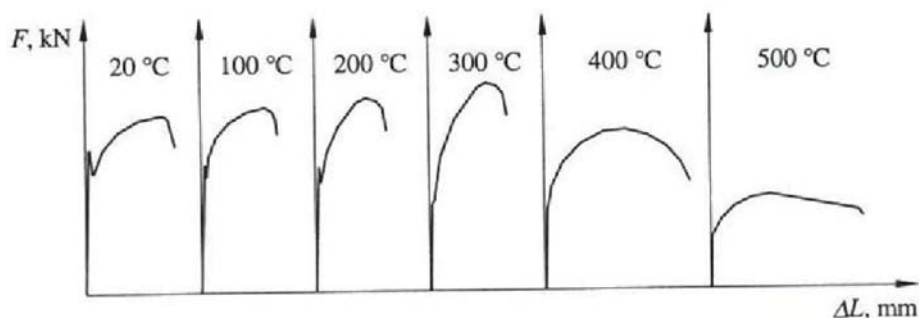
II. szakasz: A **folyás** szakaszán belül F_{eH} (felső folyáshatárhoz tartozó erő) erőnél megindul az anyagban maradó alakváltozás, amely a szakaszon belül egy kisebb erőhatással (F_{eL}) is folytatódik. Ez az a szakasz ahol a diszlokációk vándorlása elindul, és addig tart, amíg a diszlokációs rácshibák száma jelentősen le nem csökken.

III. szakasz: **Egyenletes alakváltozás** szakasza. Ezen a húzási szakaszon a próbatest keresztmetszete egyenletesen csökken, alakváltozási keményedés jön létre. Ebben a szakaszban már egyre kisebb jelentőségű a diszlokációk vándorlása, míg a csúcsponton, a legnagyobb erőnél ez meg is szűnik.

IV. szakasz A **kontrakció** szakasza, amelyen belül a próbatest egy ponton elvékonyodik, majd ott el is szakad. Ekkora terhelésnél már egyes atomok annyira eltávolodnak egymástól, hogy megszűnik a fémes kötés közöttük, és elindulnak a repedések. Ezért is kezd csökkenni a szakítás folytatásához szükséges erő

A hőmérséklet növekedésének hatása

A szakítóvizsgálatok megmutatják, hogy amikor növekedik a hőmérséklet, ugyanannak az anyagnak a szakításához kisebb erőre van szükség. Ezt az okozza, hogy a magasabb hőmérsékletű atomok a hőtágulásnak megfelelően kicsit távolabb helyezkednek el egymástól, a közöttük lévő vonzóerő így valamelyest csökken. Magas hőmérsékleten üzemelő munkadaraboknál a szilárdság ilyenfajta csökkenését a méretezéskor figyelembe kell venni. Az alábbi ábra ugyanazon acél szakítódigramjait mutatja, más-más hőmérsékleten végezve.



19. ábra. Lágyacél szakítódigramjai egyre magasabb hőmérsékleten

A vizsgálattal meghatározható anyagjellemzők

Szilárdsági jellemzők:

Szakítószilárdság: R_m [MPa vagy N/mm²] a vizsgálat során mért legnagyobb húzóerő és az vizsgálat előtti keresztmetszet hányadosa

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} [MPa]$$

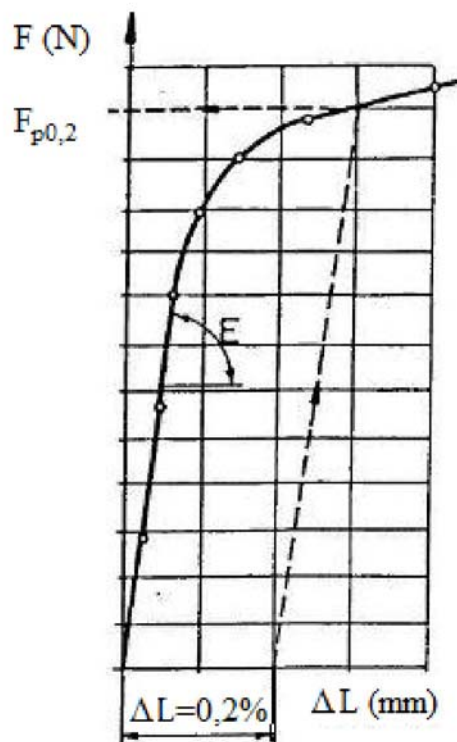
Természetesen a valódi feszültséget akkor kapnánk meg, ha a legnagyobb húzóerőnél mért átmérőből számított keresztmetszettel (valódi keresztmetszettel) végeznénk a számítást. A gyakorlatban azonban az anyagokat a vizsgálat előtti keresztmetszettel számított szakítószilárdsággal jellemezzük

Folyáshatár: R_{eH} [MPa] a maradó alakváltozás kezdetét jelentő feszültség, amelyet a folyáshatárhoz tartozó erő és a vizsgálat előtti keresztmetszet hányadosával határozzunk meg.

$$R_{eH} = \frac{F_{eH}}{S_0} [\text{MPa}] ;$$

Előfordul, különösen nagyszilárdságú edzett, nemesített acéloknál, hogy nincs látható folyáshatára az anyagnak a szakítódiagramon. Ekkor adják meg a terhelt állapotban mért egyezményes folyáshatárt, többnyire 0,2 %-os nyúlásnál. Jele: $R_{p0,2}$ [MPa]. Az **egyezményes folyáshatár** a 0,2%-os maradó alakváltozáshoz tartozó erő és a vizsgálat előtti keresztmetszet hányadosa. Azt, hogy maradó alakváltozásról van szó, a rugalmas alakváltozás egyenesével, 0,2% alakváltozásnál húzott párhuzamos jelenti, és ez metszi a szakítógörbét $F_{p0,2}$ -nél. Ezt mutatja a 20. ábra.

$$R_{p0,2} = \frac{F_{p0,2}}{S_0} [\text{MPa}]$$



20. ábra. Egyezményes folyáshatár értelmezése

Alakváltozási jellemzők meghatározása

A próbatest a szakító vizsgálat során megnyúlik, keresztmetszete lecsökken. A vizsgálat előtti és a szakadás utáni adatok ismeretében kiszámítható a szakadási nyúlás és a legnagyobb keresztmetszet – csökkenés értéke, amelyek fontos információkat jelentenek a vizsgált anyag alakíthatóságáról

Szakadási nyúlás: Jele: A [%]. Az eredeti jeltávolságnak a próbatest elszakadásáig bekövetkezett maradó megnövekedése ($L_u - L_0$) az eredeti jeltávolság (L_0) százalékában kifejezve

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100[\%]$$

Keresztmetszet-csökkenés (Kontrakció): Jele Z [%]. A próbatest keresztmetszetének legnagyobb változása a szakítóvizsgálat során ($S_0 - S_u$) az eredeti keresztmetszet (S_0) százalékában kifejezve.

$$A = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100[\%]$$

A szakítóvizsgálat eredményét befolyásolják az alábbi tényezők:

- a próbatest alakja, mérete, felületi minősége
- a szakítás sebessége
- a vizsgálati körülmények pl. a hőmérséklet

8. Az acélok legfontosabb ötvözői

Ahogy a szén, mint az acélok legfontosabb ötvözője, kis mennyiségváltozással is nagymértékű tulajdonságváltozást idéz elő, úgy sok más anyagot is használnak az acélok jellemzőinek megváltoztatására. Hogy melyik anyag milyen hatással van az acél tulajdonságaira, azt az alábbiakban foglaljuk össze:

A szilícium (Si)

A szilíciumnak nagy az affinitása az oxigénhez, ezért az acélból a 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 erőknek 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 kisérték. Edzés során a kritikus hűtési sebességet csökkenti, ezért a mangánnal ötvözött, edzett acélok a repedésekre és vetemedésre kevésbé hajlamosak. Növeli a ferrit 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 tökéletesen beedződik. Az átkristályosodási hőmérsékletet szintén csökkenti, ezért a hőkezeléskori lényegesen kisebb mértékű a vetemedés. Alkalmazásával kemény kopásálló szövetelemek jelennek meg, amelyek a magas hőmérsékleten használt forgácsolószerszámoknak is tartós keménységet (éltartósságot) biztosítanak. Nagymértékben javítja a légköri korrózióval szembeni ellenálló képességet.

A volfrám (W)

A legmagasabb olvadáspontú fém (3380°C), a 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 ausztenit kristályok túlzott növekedését, az edzett szövetszerkezet bomlását és a szemcseszerkezet durvulását.

A nikkel (Ni)

A különleges acélok fő ötvözője, amely nagymértékben javítja a fizikai és kémiai tulajdonságukat. A korrózióállóságot annyira képes megnövelni, hogy saválló acélok állíthatók elő, különösen vegyipari alkalmazásokra. Erősen csökkenti az acél hőtágulási együtthatóját, ezért nagypontosságú –különösen hossz mérő – eszközök, műszerelemek gyártására használják. Szemcsefinomító hatású, ezért szívós, jó rugalmasságú ötvözet jön létre.

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 keménysége csökkenne, így javítja a hőállóságot.

A titán (Ti)

A szemcsefinomító hatása javítja a hegeszthetőséget, mert finomabb kristályszerkezetet kölcsönöz a létrejövő hegesztési varratnak.

A vanádium (V)

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



21. ábra. Króm, titán és vanádium ötvözetből készült csípőprotézis

És természetesen az ötvözők mennyiségének és számának szinte végtelen kombinációjával napjainkban is folynak a kísérletek, hogy még jobb, vagy még gazdaságosabban előállítható és felhasználható acélok álljanak a gyártók rendelkezésére.

TANULÁSIRÁNYÍTÓ

1. Elsőként a „Szakmai információtartalom” áttanulmányozásával foglalkozzon!
2. Válaszolja meg az „Esetfelvetés–munkahelyzet” részben található kérdéseket! Ha a kérdéseket nem tudja megválaszolni, használja újból a „Szakmai információtartalmat”!
3. Ezután a szakmai ismereteinek ellenőrzéséhez oldja meg az „Önellenőrző feladatok” fejezetben található elméleti feladatsort! Hasonlítsa össze a megoldásait a „Megoldások” fejezetben megadottakkal! Ha szükséges, használja újból a „Szakmai információtartalmat”!
4. A gyakorlati munkahelyén ismerkedjen a használt alapanyagokkal, próbálja őket beazonosítani a „Szakmai információtartalomban” megismertek szerint, és gondolja végig miért ilyen anyagot használnak fel az adott feladathoz.

ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK

1. feladat

Egészítse ki az alábbi szöveget!

A legtöbb fém kristályszerkezete szabályos kockák sarkaiban elhelyezkedő atomokból áll, de a kockán belül, vagy a kocka lapjain is helyezkednek el atomok. Az ilyen kristályrácsot szerkezetűnek nevezzük. Amikor a kocka közepén helyezkedik el még egy atom a szerkezet neve, amikor a kocka mind a 6 lapjának közepén találunk még egy atomot, akkor ezt kristályszerkezetnek nevezzük. A 3. ábrán bemutatjuk ezeknek a kristályszerkezeteknek a felépítését.

2. feladat

Egészítse ki az alábbi szöveget!

Ahogy a szén, úgy más anyagok is kristályosodhatnak más-más szerkezetben, sőt gyakran előfordul az is, hogy szilárd állapotban az atomok átrendeződésével más típusú kristályrács-szerkezet alakul ki. Ezeket az átalakulásokat, a más-más kristályszerkezetű változatokat nevezzük.

3. feladat

Egészítse ki az alábbi szöveget!

Az acélgyártás célja a nyersvas a szennyező anyagoktól, valamint igény szerinti mely folyamatok eredményeként jóval kedvezőbb tulajdonságú nyersanyaghoz jutunk. A nyersvas tisztítása tulajdonképpen a káros anyagok útján történik.

MEGOLDÁSOK

1. feladat

A legtöbb fém kristályszerkezete szabályos kockák sarkaiban elhelyezkedő atomokból áll, de a kockán belül, vagy a kocka lapjain is helyezkednek el atomok. Az ilyen kristályrácsokat **köbös** szerkezetűnek nevezzük. Amikor a kocka közepén helyezkedik el még egy atom a szerkezet neve **térközepes köbös**, amikor a kocka mind a 6 lapjának közepén találunk még egy atomot, akkor ezt **lapközepes köbös** kristályszerkezetnek nevezzük. A 3. ábrán bemutatjuk ezeknek a kristályszerkezeteknek a felépítését.

2. feladat

Ahogy a szén, úgy más anyagok is kristályosodhatnak más-más szerkezetben, sőt gyakran előfordul az is, hogy szilárd állapotban az atomok átrendeződésével más típusú kristályrács-szerkezet alakul ki. Ezeket az átalakulásokat **allotróp átalakulásnak**, a más-más kristályszerkezetű változatokat **allotróp változatnak** nevezzük.

3. feladat

Az acélgégyártás célja a nyersvas **megtisztítása** a szennyező anyagoktól, valamint igény szerinti **ötvözése** mely folyamatok eredményeként jóval kedvezőbb tulajdonságú nyersanyaghoz jutunk. A nyersvas tisztítása tulajdonképpen a káros anyagok **oxidációja** útján történik.

IRODALOMJEGYZÉK

FELHASZNÁLT IRODALOM

Jártás – Koncz – Róka: Fémipari anyag és gyártásismeret I. /Műszaki Könyvkiadó 1982

Dr. Gillemot László: Anyagszerkezettan és anyagvizsgálat / Műszaki Könyvkiadó 2000

AJÁNLOTT IRODALOM

Dr. Bárczy Pál: Fémötvözetek fémtana /Tankönyvkiadó 1987, NME jegyzet

Beer – Kiss – Párkányiné: Fémismeret és Gépgyártás technológia /Mezőgazdasági kiadó 1968

Jártás – Koncz – Róka: Fémipari anyag és gyártásismeret I. /Műszaki Könyvkiadó 1982

Dr. Gillemot László: Anyagszerkezettan és anyagvizsgálat / Műszaki Könyvkiadó 2000

Pék Lajos: Anyagszerkezettan és anyagismeret /Dinasztia 2000

A(z) 0111-06 modul 013-as szakmai tankönyvi tartalomeleme felhasználható az alábbi szakképesítésekhez:

A szakképesítés OKJ azonosító száma:	A szakképesítés megnevezése
54 582 01 0000 00 00	Épületgépész technikus
31 582 09 0010 31 01	Energiahasznosító berendezés szerelője
31 582 09 0010 31 02	Gázfogyasztóberendezés- és csőhálózat-szerelő
31 582 09 0010 31 03	Központifűtés- és csőhálózat-szerelő
31 582 09 0010 31 04	Vízvezeték- és vízkészülék-szerelő
31 521 06 0000 00 00	Finommechanikai gépkarbantartó, gépbeállító
52 522 09 0000 00 00	Gáz- és tüzeléstechnikai műszerész
31 521 10 1000 00 00	Géplakatos
31 521 10 0100 31 01	Gépbeállító
31 521 15 0000 00 00	Késes, köszörűs, kulcsmásoló
31 521 15 0100 31 01	Gépi gravírozó
31 521 15 0100 31 02	Kulcsmásoló
31 522 03 0000 00 00	Légtechnikai rendszerszerelő
54 525 02 0010 54 01	Erdőgazdasági gépésztechnikus
54 525 02 0010 54 02	Mezőgazdasági gépésztechnikus
54 525 01 0000 00 00	Építő- és anyagmozgató-gépész technikus
31 521 03 0000 00 00	Építő- és szállítógép-szerelő
31 582 10 0000 00 00	Épületlakatos
31 582 10 0100 31 01	Épületmechanikai szerelő
31 863 01 0000 00 00	Fegyverműszerész
33 521 03 0000 00 00	Felvonószerelő
31 521 07 1000 00 00	Finommechanikai műszerész
31 521 07 0100 31 01	Mérlegműszerész
31 521 07 0100 31 02	Orvosi műszerész
31 521 11 0000 00 00	Hegesztő
31 521 11 0100 31 01	Bevont elektródás hegesztő
31 521 11 0100 31 02	Egyéb eljárás szerinti hegesztő
31 521 11 0100 31 03	Fogyóelektródás hegesztő
31 521 11 0100 31 04	Gázhegesztő
31 521 11 0100 31 05	Hegesztő-vágó gép kezelője
31 521 11 0100 31 06	Volframelektródás hegesztő
52 725 03 0000 00 00	Optikai műszerész
31 521 24 1000 00 00	Szerkezetlakatos
31 521 24 0100 31 01	Lemezlakatos
33 524 01 1000 00 00	Vegy- és kalorikusgép szerelő és karbantartó
31 525 03 1000 00 00	Karosszerialakatos
31 861 02 1000 00 00	Biztonságtechnikai szerelő, kezelő
31 861 02 0100 31 02	Mechanikus vagyonvédelmi rendszerszerelő
33 522 02 0000 00 00	Hűtő- és klímaberendezés-szerelő, karbantartó

A szakmai tankönyvi tartalomelem feldolgozásához ajánlott óraszám:

24 óra

MUNKANYAG

A kiadvány az Új Magyarország Fejlesztési Terv
TÁMOP 2.2.1 08/1-2008-0002 „A képzés minőségének és tartalmának
fejlesztése” keretében készült.

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap
társfinanszírozásával valósul meg.

Kiadja a Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet
1085 Budapest, Baross u. 52.

Telefon: (1) 210-1065, Fax: (1) 210-1063

Felelős kiadó:
Nagy László főigazgató