

1 Anyagok fizikai tulajdonságai

A mérnöki tevékenység összekapcsolódik az anyagokkal és azok tulajdonságaival. Tervezés során dönteni kell, milyen anyag felel meg nemcsak a szilárdsági méretezésnek, hanem a gyártott termék alakváltozásait, az ismétlődő terhelésekkel szembeni ellenállását és a beépítési környezet egyéb szempontjait (hőmérséklet, agresszív közeg stb.) figyelembe véve is. Sok esetben döntő szempont az alkatrészek tömege/sűrűsége; a mágnesezhetőség; a korrózióval szembeni ellenállás; az olvadáspont; a hő- és elektromos vezetőképesség. Mindezeket a fizikai tulajdonságokat összevetve az alapanyag aktuális piaci árával, valamint a vevő esetleges további esztétikai igényeivel lehet meghatározni, melyik alapanyag a legmegfelelőbb egy adott feladatra.

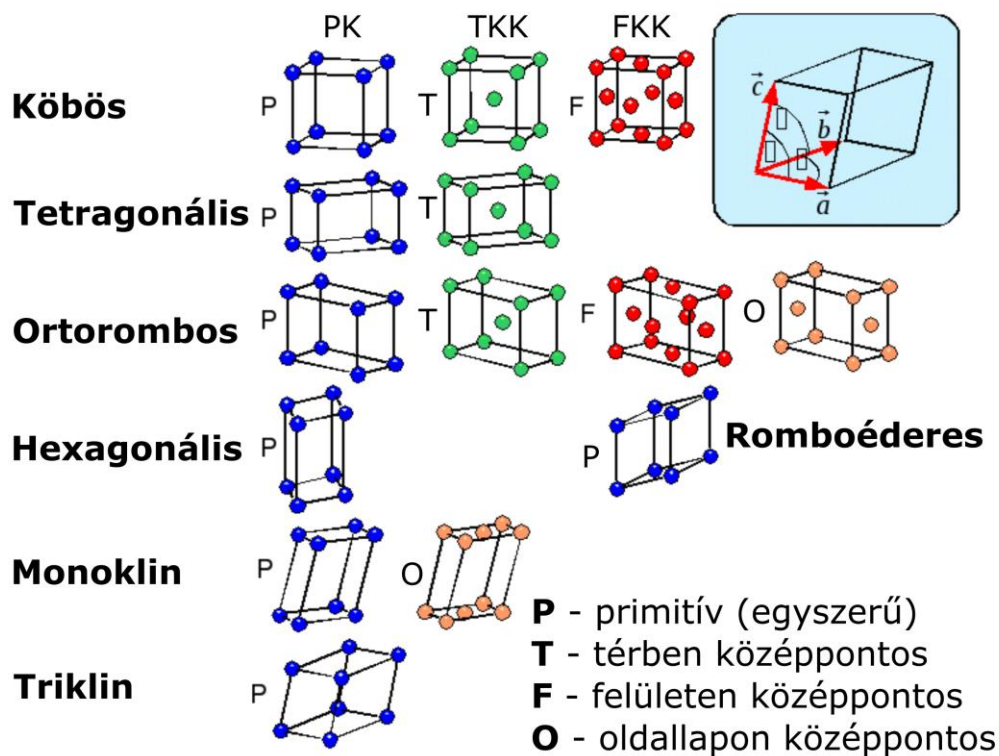
1.1 Atomok elrendeződése a kristályrácsban

Az atomokat leegyszerűsítve gömböknek feltételezve, azokat a közöttük fellépő kötőerők rögzítik a térrácsban. Ez a kötőerő az egymáshoz legközelebbi atomok között fejt ki a hatását. A *koordinációs szám* azt mutatja meg, hogy egy rács egy atomjának hány legközelebbi szomszédja van. Az atomok a rácsszerkezetet nem töltik ki teljesen, hanem a rácsban üres helyek is találhatóak. Az elemi cella atomok által elfoglalt térfogatát viszonyítva a cella térfogathoz kapjuk a *térkitöltési tényezőnek* nevezett paramétert. A fémek képlékeny alakítása során az alakváltozás az atomokkal legsűrűbben rakott síkok mentén történik, ezért a legsűrűbb illeszkedésű irány és sík ismerete alapvető fontosságú.

Az összes térrács besorolható a hét primitív rácsstípus egyikébe, melyeket Bravais-rácsnak nevezünk.

A fémek rácsstípusa sok fizikai tulajdonságot meghatároz. A térben középpontos köbös (TKK) rácsú fémek oxidációs hajlama nagyobb, mint a felületen középpontos köbös (FKK) rácsúaké és gyengébb vezetőképességgel rendelkeznek. Kevésbé alakíthatók, mint az FKK rácsúak, valamint rendelkeznek kifejezett rideg-képlékeny átmenettel.

Az FKK anyagok kémiaiilag stabilabbak, oxidációs hajlamuk kisebb, tehát jobb a korrózióállóságuk, továbbá jobb a hő- és elektromos vezető képességük, könnyebben és nagyobb mértékben alakíthatók.



1. ábra - Bravais-rácsok

1. táblázat - A Bravais-rácsokból leggyakrabban előforduló négy rács típus jellemző adatai

Rács típus	Fémek	Koord. szám	Atomát-mérő	Ato-mok száma	Térkitöltési tényező (%) $T = \frac{V_{\text{atomok}}}{V_{\text{rács}}}$	Legszorosabb ill. {síksereg} <iránysereg>
primitív köbös (PK)	Po	6	$a (= 2r)$	1	0,52	{100} <100>
térben középpontos köbös (TKK)	Na, K, Cr, Mo, W, α Fe, β Ti	8	$\frac{\sqrt{3}}{2} a$	2	0,68	{110} <111>
felületen középpontos köbös (FKK)	Cu, Au, Ag, Pb, Ni, Pt, γ Fe	12	$\frac{\sqrt{2}}{2} a$	4	max. 0,74	{111} <110>
legszorosabb illeszkedésű hexagonális (LH)	Be, Mg, Zn, Cd, α Ti	12	$\frac{c}{a}$	6	max. 0,74	{0001} <1120>

1.2 Tömbi anyag sűrűsége

Sűrűségnek (ρ) az egységnyi térfogatba (V) foglalt tömeget (m) nevezzük.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Mértékegysége: g/cm^3 ($= 1000 \text{ kg/m}^3$)

1.2.1 Sűrűségszámítási módszerek

Egyszerű geometriájú testek (lemez, téglatest, henger), melyek térfogata könnyen meghatározható, sűrűségét az (1) képlettel számítjuk. A sűrűség meghatározásához mérlegre és hosszúságmérésre alkalmas eszközre (vonalzó, tolómérő) van csupán szükség.

Bonyolultabb geometriájú testek térfogatának meghatározásához alkalmazhatjuk Arkhimédész törvényét vagy a vízkiszorítás elvét.

Arkhimédész törvénye: Minden folyadékba (gázba) merülő testre felhajtóerő hat, aminek nagysága megegyezik a test által kiszorított folyadék (gáz) súlyával. Így tehát ha egy test súlyát megmérjük levegőben és ρ_{foly} ismert sűrűségű folyadékban is például egy rugós erőmérő segítségével, akkor a két erő különbsége éppen a felhajtóerő, $V_{\text{test}} \cdot \rho_{\text{foly}} \cdot g$ lesz, ahol V_{test} a test térfogata és g a nehézségi gyorsulás. Ebből tetszőleges alakú test térfogata számolható.

„Hieron király arra kérte a tudós-feltalálót, hogy állapítsa meg egy koronáról tiszta aranyból készült-e annak tönkretétele nélkül. Arkhimédész (2. ábra) rájött, hogy ha vízbe mártja a koronát, akkor a vízszint emelkedése okozta térfogatváltozás megegyezik a korona térfogatával, a korona súlycsökkenése pedig úgy aránylik a korona súlyához, mint a víz sűrűsége a korona sűrűségéhez. Ebből meg tudta állapítani, milyen arányban keverték ezüstöt a korona aranyához, azaz mennyi aranyat loptak el belőle.

forrás: www.bercsenyi.eu/www/kepek/matematika/Segedanyagok_fizikabol/fizeletraiz_012513.pdf (2017)



2. ábra. Arkhimédész
(i.e. 287 - i.e. 212)

Tetszőleges geometriájú test térfogatát a vízkiszorítás elvének segítségével is meghatározhatjuk. Ekkor a testet vízzel teli edénybe mártjuk és a test által kiszorított víz térfogatát mérjük meg. Mivel a víz sűrűsége ismert, elegendő a kiszorított víz tömegének mérése, melyből a test térfogata az alábbi módon számítható:

- 1.) Lemérjük az ismeretlen térfogatú test „száraz” tömegét: m_{test}
- 2.) Lemérjük a vízzel színig töltött edény tömegét: $m_{\text{víz}}$
- 3.) Lemérjük a vízzel színig töltött edény tömegét, melyben benne van a bemelegített ismeretlen térfogatú test: $m_{\text{bemelegített}}$
- 4.) A test térfogata: $V_{\text{test}} = [m_{\text{víz}} - (m_{\text{bemelegített}} - m_{\text{test}})] / \rho_{\text{víz}}$

2. táblázat. Fémek sűrűsége (g/cm^3)

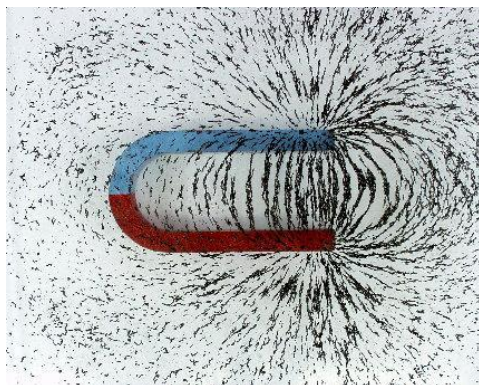
Mg	Al	Ti	Sn	Fe	Cu	Ag	Pb	Hg	Au
1,7	2,7	4,5	7,3	7,8	8,9	10,5	11,3	13,5	19,3

1.3 Mágnesesség

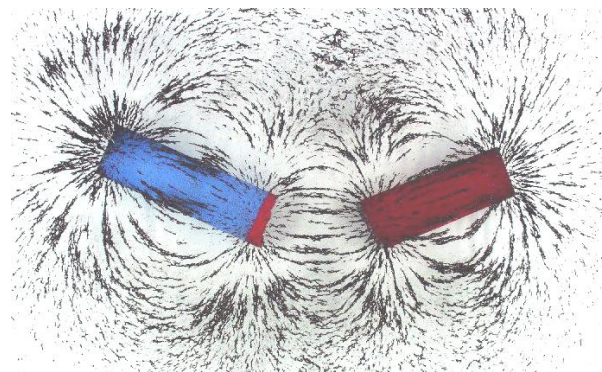
Egyes vasérc, például a magnetit (Fe_3O_4), képesek apró vasdarabokat magukhoz vonzani. A mágneses test és a vasdarab között mindig vonzó a kölcsönhatás. Az ilyen mágneseket perma-nens vagy állandó mágneseknek nevezzük. Tapasztalat szerint az acél felmágnesezhető egy mágneses érc segítségével. A mágnesek mind dipólusok, a két pólusuk az északi és a déli nevet viseli. A Föld mágneses mezejének valószínű oka a Föld belső szerkezetében működő dinamo-mechanizmus. A mechanizmus lényege, hogy a Föld belsejében lévő, szilárd vasmagot (ez egy 1250 km sugarú, igen nagy hőmérsékletű vasgömb) egy olvadt vasból (Fe) és nikkeltől (Ni) álló külső réteg veszi körül, amelyben a magból áramló hő hatására örvényáramok keletkeznek, az örvényáramok pedig kiterjedt mágneses teret gerjesztenek.

Ha egy mágneset kettévágunk, a két vég pólusai ismét különválnak, nem lehet csak déli illetve csak északi pólust előállítani (3/b. ábra).

Egy mágnes körül, vagy akár egy áram által átjárt vezető körül mágneses körmező létesül. A körmezőt láthatóvá tehetjük oly módon, hogy a mágnes, vagy a vezető huzalt egy papírlapra szórt vasreszelékbe fektetjük. Ekkor a vasreszelékek a mágneses mezőnek megfelelően a mágnes körül zárt vonalak mentén helyezkednek el (3/a. ábra). Ezeket a képzeletbeli vonalakat nevezzük mágneses erővonalaknak.



a. Patkómágnes



b. Törött mágnes

3. ábra. Mágneses erővonalak szemléltetése vasreszelékkel

Az anyagok mágnesességét az atomok 'spinje' azaz egyfajta 'forgása' okozza: minden spinnel rendelkező atom kis dipólusként képzelhető el. Ezek alapesetben véletlenszerűen rendezettek, mágneses tér hatására azonban egy irányba forgathatók. Ez a paramágnesesség jelensége. Amennyiben a rendezettség a mágneses tér hiányában is megmarad, az anyag mágnessé válik, ez a ferromágnesesség. Ez az ún. Curie-hőmérséklet fölött (a hőmozgás miatt) megszűnik. A hétköznapi mágnesek esetén ez jóval magasabb, mint a szobahőmérséklet.

3. táblázat. Anyagok Curie-hőmérséklete

Anyagok	Curie-hőmérséklet (°C)
Fe	770
Co	1130
Ni	358
Gd	19,3
Cu ₂ MnAl	357
Fe ₂ O ₃	622
Fe ₃ O ₄	578

Nem csak az anyagok kémiai összetétele határozza meg a mágnesezettséget, hanem a fémek rácsterkezete is. A ferromágnesességet az ún. kicserélődési kölcsönhatás okozza. Ha ennek értéke pozitív, akkor az anyag ferromágneses, ha negatív, akkor paramágneses. A kicserélődési kölcsönhatás értéke erősen függ a kristály elemi cellájában az atomok átlagos távolságától. Jó példa erre az acél két allotróp módosulata, az ausztenit és a ferrit. Előbbi FKK rácsú, amelynek atomsűrűsége jóval nagyobb, mint a ferrité, amely TKK-rácsú, így az ausztenitben kisebb, a ferritben nagyobb az atomok közötti átlagos távolság. Emiatt az ausztenit paramágneses, a ferrit viszont ferromágneses.

1.4 Elektromos vezetési tulajdonságok

A fémek és ötvözetek közismerten jó elektromos és hővezető anyagok. E két tulajdonság gyakori egybeesése az elmozdulni képes ún. szabad elektronoknak az elektromos és hővezetési folyamatban betöltött szerepével függ össze. A vezetési elektronok mozgásállapotát több hatás befolyásolja, a legismertebbek a következők: külső elektromos tér, mágneses tér, anyagi minőségben (összetételben) történő változás, hőmérsékletkülönbség stb.

A fémek vezetési mechanizmusainak leírására alkalmazott legegyszerűbb modell a klasszikus elektronelmélet. Eszerint a vezetésben részt vevő elektronok egymással kölcsönhatásban nem álló, saját térfogattal nem rendelkező részecskék, amelyek rendezetlen hőmozgást végeznek a vezető anyagban. Ha a vezető belsejében elektromos teret hozunk létre, az elektronok a térerősséggel ellentétes irányban gyorsuló mozgást végeznek egészen addig, amíg egy ionnal ütközve annak az összes többletenergijukat átadják. Ennek eredményeként egy rendezetlen mozgásra szuperponált, a térerősség irányával ellentétes, azzal arányos transzlációs mozgást, tehát elektromos áramot kapunk.

A tökéletesen szabályos kristályban, a vezetésben részt vevő elektronok akadálytalanul, impulzus- és energiaveszteség nélkül mozoghatnak. Az ellenállás okozói a kristályrácsban jelen lévő szabálytalanságok, kristályhibák, ezeken az elektronok impulzus- és energiaveszteséggel járó szóródást szenvednek, tehát növelik az elektromos ellenállást.

Vezető anyagok: Ha a rendszerben vannak szabad töltéshordozók, ezek rendezett mozgása villamos áramot hoz létre. Ez jellemzően a fémes kötések esetén valósul meg.

- vezeték anyagok: Cu, Al, Ag, Cu-Ag, Cu-Zn, Cu-Sn, Al-Mg-Si
- hőelemek aktív anyagai
- nyúlásmérő bélyegek
- olvadóbiztosító betétanyag
- ellenálláshegesztés elektróda anyagai

Félvezetők: Ha az anyagban 0 Kelvin hőmérsékleten nincsenek szabad töltéshordozók, azonban a hőmérséklet emelésével szabad – azaz elmozdulni képes – elektron-lyuk párok jönnek létre.

- Si
- Ge

Szigetelő: Ha a rendszerben nincsenek szabad töltéshordozók, villamos áram nem alakul ki. Funkciója a különböző villamos potenciálon lévő vezetőelemek egymástól történő elválasztása, elszigetelése.

- üveg
- porcelán
- kerámia
- műanyag
- levegő

4. táblázat - Néhány fém fajlagos ellenállása 20°C-on

Anyag	Fajlagos ellenállás (Ωm)	Fajlagos ellenállás ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$)
Ezüst (Ag)	$1,6 \cdot 10^{-8}$	0,016
Réz (Cu)	$1,7 \cdot 10^{-8}$	0,017
Alumínium (Al)	$2,8 \cdot 10^{-8}$	0,028
Volfrám (W)	$5,5 \cdot 10^{-8}$	0,055
Vas (Fe)	$9,7 \cdot 10^{-8}$	0,1
Platina (Pt)	$10 \cdot 10^{-8}$	0,1
Nikkel (Ni)	$42 \cdot 10^{-8}$	0,42
Mangán (Mn)	$45 \cdot 10^{-8}$	0,45

1.4.1 Alkalmazási példák



4. ábra – Távvezeték tartó oszlop

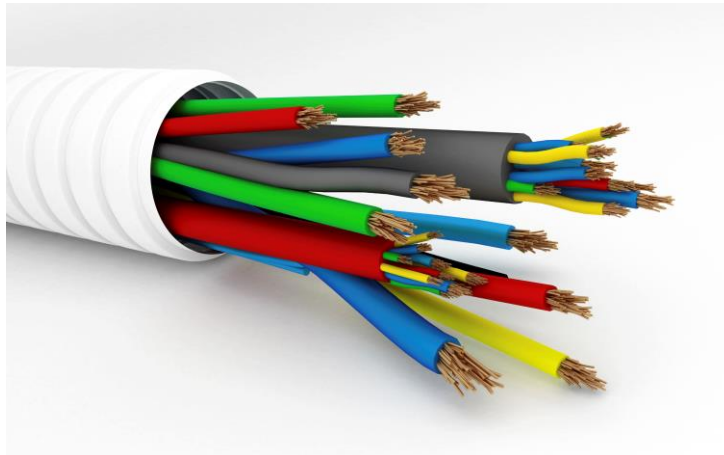


5. ábra - Szabadvezeték

A nagyfeszültségű szabadvezetékek anyaga szokásosan acél-alumínium sodrony. Ez a kompozit szerkezet az anyagköltség, a szilárdság/tömegét arány és az elektromos vezetőképesség tekintetében a legjobb kompromisszum. Közép- és kisfeszültségű szabadvezetékeknél az egynemű Al-Mg-Si anyagú sodronyok használata az elterjedt megoldás. Csupán a vezetőképesség szempontjából a réz ugyan alkalmasabb szabadvezetékanyag lenne, de ára és jelentősen nagyobb hosszegységre eső súlya miatt mégis az alumínium terjedt el.

Mivel az alumíniumvezetékek szilárdsága nem elegendő ahhoz, hogy megbízhatóan hordozzák a tartóoszlopok között a saját súlyukat és az egyéb esetleges terheket (szél- és jégteher), a vezetékek belsejében acél mag van, amely biztosítja a vezeték kellő teherviselő képességét.

A szigetelés nélküli szabadvezetékeket oszlopok közbeiktatásával vezetik a felhasználás helyszínére. A vezetékeket az oszlopszerkezettől szigetelőláncok, egymástól a levegő szigeteli el.



6. ábra - Kábelek

A háztartásokban a rézkábelek terjedtek el köszönhetően a réz jó vezetőképességének és képlékeny alakíthatóságának. Az alumíniumkábeleket a felületen kialakuló és elektromosan szigetelő passzíválóréteg, valamint az anyag kúszási hajlama szorítja a háztartásokban háttérbe.

1.5 Hővezetés

Hővezetés az a folyamat, amelynek révén a hő egy adott közegben a nagyobb hőmérsékletű helyről a kisebbre eljut. A hővezetés lényegében a mozgási energia továbbadása, melynek lehetséges közvetítő részecskéi a fononok és elektronok. Fononoknak nevezzük a szilárdtestfizikában a szilárdtesteket felépítő atomok kollektív rezgéseit leíró kvázirészecskéket. A fononokat rugalmas közegek rezgési módusainak kvantummechanikai jellemzésére alkalmazzuk.

A szilárd anyagokban mind a rácsrezgések, mind pedig a szabad elektronok részt vesznek a hőszállításban.

Fémekben az elektron-hővezetés mechanizmusa sokkal hatékonyabb, emellett a fononok hozzájárulása a legtöbbször elhanyagolható. Ezzel magyarázható a fémek jó hővezető képessége, köszönhetően a szabad elektronok nagy számának.

A nemfémes anyagok többnyire hőszigetelők, minthogy hiányzik belőlük a nagyszámú szabad elektron. Itt a hővezetést lényegében csak a fononok hozzák létre.

A keramikus anyagok porozitása a hővezető képesség csökkenését eredményezi, emiatt a gyakorlatban a legtöbb hőszigetelésre használt kerámiaanyag pórusos. A hőáramlás a pórusokon keresztül rendszerint lassú és alacsony hatásfokú, a belső pórusok általában levegőt tartalmaznak, melynek különösen kicsi a hővezető képessége.

1.6 Felhasznált források

Dr. Gillemot László – Anyagszerkezettan és anyagvizsgálat, Tankönyvkiadó, Budapest, 1979

Dr. Réti Pál: Korszerű fémipari anyagvizsgálat. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1983.

Ginsztler – Hidasi – Dévényi: Alkalmazott anyagtudomány. Egyetemi tankönyvkiadó, Budapest 2000.

www.bercsenyi.eu/www/kepek/matematika/Segedanyagok_fizikabol/fizeletrajz_012513.pdf (2017)

http://web.uni-miskolc.hu/~www_fiz/KovacsE/EAeldin.pdf (2020)

http://www.mozaweb.hu/Lecke-FIZ-Fizika_7-5_A_felhajtoero_Arkhimedesz_torvenye-105276 (2017)

<http://atomfizika.elte.hu/bevfiz2/files/bevfiz2.pdf> (2020)

<http://egeszsegsuli.ewk.hu/magneses-technologiak/> (2020)

http://centroszet.hu/tananyag/elektro_bovített2/11_mgneses_tr_ltrehozsa.html (2020)

<https://www.nhn.ou.edu/~johnson/Education/Juniorlab/Magnetism/2013F-CuriePoint.pdf> (2020)

Felkészülést segítő kérdések

- Sorolja fel a Bravais-rácsokat!
- Mi az Arkhimédész törvénye?
- Mi a mágnes?
- Mit jelent a paramágnesesség?
- Mit jelent a ferromágnesesség?
- Mit nevezünk elektromosan vezető anyagoknak? Mondjon rá példát is!
- Mit nevezünk elektromosan félvezető anyagoknak? Mondjon rá példát is!
- Mit nevezünk elektromosan szigetelő anyagoknak? Mondjon rá példát is!
- Mi a hővezetés?