

Anyagtudomány jegyzet

• Diffúzió

- az a folyamat, mely az anyagban a koncentrációkülönbség csökkenésére vezet.
- pl. fázisátalakuláskor történik
- a folyamat eredménye a diffúzió sebességétől függ
- hely, hőmérséklet és idő függvénye
- Fick-egyenletek
 - az A felületen időegység alatt átáramló anyagmennyiség arányos a koncentrációgradienssel és a felület nagyságával: $dm/dt = -DA dC / dx$, egységnyi felületnél: $J = -D dC / dx$
 - D: diffúziós tényező, J: anyagáramlás sebessége (anyagfluxus)
 - negatív: a diffúzió a koncentrációkülönbség kiegyenlítésére törekszik, az anyagáramlás a koncentrációgradienssel ellentétes irányú
- az egyásban oldódó folyadékokban elég nagy a sebesség ahhoz, hogy a diffúzió szobahőmérsékleten is jól észlelhető legyen
- a gázokban még nagyobb a sebesség, mint a folyadékokban
- a szilárd testekben nagyon lassú a diffúzió, alig lehet kimutatni a mai eszközökkel is
- ez mind az atomok kötöttségétől függ
- a tervezésnél ismerni kell a D tényezőt, az 1. Fick-egyenletből nehéz meghatározni, mert általában nehéz mérni a J anyagfluxust
- a koncentráció azonban mérhető, a koncentrációkülönbségre szolgáló átírt Fick-egyenlet: $dC = dm / dV$ (egységnyi térfogatra eső tömeg mennyisége = koncentráció)
- ha a keresztmetszet állandó, akkor a koncentráció csak x irányban változik, y-ban és z-ben a változás 0
- ha a tér minden irányában van változás a koncentrációban, akkor a 2. Fick-egyenletet kell alkalmazni: $dC / dt = (dD / dx) * (dC / dx) + (dD / dy) * (dC / dy) + (dD / dz) * (dC / dz)$
 - ennek zárt alakú megoldása nincs, ezért feltételezzük, hogy a diffúziós tényező koncentrációfüggetlen
- Fick Fourier-vel kötött megállapodást, aki a hővezetés differenciálegyenleteit már megfogalmazta
- hiányzik a hőmérséklet hatását egyértelműen megmutató változó, de erre a diffúziós tényező, D szolgál, mert exponenciálisan függ a hőmérséklettől
- az öndiffúzió aktiválási energiája a legnagyobb
- B, C, H, N, O sokkal kisebb aktiválási energiával diffundálnak
- kísérlet: rézrúdhoz nikkelt rúd
- a koncentrációeloszlás megállapítható a D-ből
- öndiffúzió: a diffundáló elem azonos az alapanyaggal
- diffúzió: adott egy diffúziós módszer, adott hőmérsékleten el kell érni az adott koncentráció mértékét, kérdés, hogy mennyi ideig kell a munkadarabot izzítani, hogy a feltételek T hőmérsékleten teljesüljenek (Q aktiválási energia is adott)
- a behatolás mélysége, minél nagyobb a hőmérséklet és az időtartam, annál nagyobb a koncentrációváltozás mértéke is
- adva van X1 helyen a koncentráció, kérdés, hogy ugyanaz a koncentráció X2 helyen mennyi idő alatt alakul ki?

- a behatolási mélység növekedésére a hőmérséklet exponenciálisan, az időtől négyzetgyökösen függ
- a diffúzió mechanizmusa
 - minden atom állandóan mozgást végez, melynek során az energiájuk is folyamatosan változik, akkora energiára is szert tehet, hogy helyet is változtathat
 - a szilárd oldat kétkomponensű: A és B fajtájú atomok
 - ha egyszerű köbös a rács, 6 felé mozoghat egy atom, ha kiugrasztjuk
 - az 1. Fick-egyenlettel számolhatóak az adatok
 - diffúziós tényező – ugrási gyakoriság
 - D értéke köbös kristályokban minden irányban azonos
 - az üres rácshelyek teszik lehetővé, hogy a szubsztitúciós atomok helyet változtassanak, az üres rácshelyek száma exponenciálisan függ a hőmérséklettől
 - az aktivitási energia a mozgás és az üres rácshelyek képződésének energiáinak az összege
 - az intersticiós atomok az üres rácshelyektől függetlenül is mozoghatnak az anyagban
 - az öndiffúziónál gyorsabb az idegen szubsztitúciós atomok diffúziója
 - üres rácshely és oldott atom kísérlete: Kirkendall-Smigelskas-kísérlet
 - sárgaréz tömböt Mo huzalokkal áttekeresltek
 - a tekereselt tömböt Cu-réteggel vonták be elektrolitikusan
 - a próbatest izzítása, a Mo huzalok elmozdulását vizsgálják
 - a koncentrációváltozás miatt a Vegard-szabály miatt megváltozik az anyag rácsmérete
 - a Zn atomok gyorsabban diffundálnak kifelé, mint ahogy a Cu atomok befelé
 - a szubsztitúciós atomok diffúziója az üres rácshelyek mentén valósul meg
 - a kétféle anyag eltérő diffúziós sebessége miatt kétféle D-t kell figyelembe venni, ezek belső (intrinsic) diffúziós tényezők
 - ha kicsit az átlagos kristallit méret, akkor a diffúzió gyorsabb, mint a nagyobb kristallit méretű anyagokban, emiatt a kristallit határokon gyorsabb a diffúzió, mint az anyagok belsejében
 - a rácshibáknál eltérő a sebesség

▪ *Fázisátalakulás*

- hőmérséklettől és időtől függő átalakulás, ha a nyomást állandónak feltételezzük: megváltozik az anyag fázisainak száma
- kis fázisú anyagokban indul meg leginkább
- két folyamat: magképződés és növekedés
 - magképződés: a rendszer úgy alakul át, hogy az új fázisnak megfelelő koncentráció alakuljon ki
 - átmeneti fázis alakul ki, a szabadenergiája nagyobb, mint a régi vagy az új fázisé
 - a régi fázison végbemegy a diffúzió, majd az újon is
 - ha a rendszer egykomponensű, akkor csak a határon valósul meg az átalakulás
 - homogén magképződés, ha a rendszer bármely pontján ugyanolyan valószínűséggel alakulhat ki az új fázis

- térfogatváltozással járó szabadenergiacsökkenés lenne, ha a két fázist elválasztó határ energiája nem lenne nagyobb, mint a környezeté
- ha az új fázis szabadenergiája kisebb a réginél, akkor csökken az új szabadenergiájával az össz szabadenergia
- az új felület keletkezése mindig szabadenergia-növekedéssel jár
- r a magképződés kritikus sugara, mert az új fázis ennél nagyobb egyenlő sugarú magjai tudnak csak úgy növekedni, hogy a rendszer szabadenergiája csökkenjen
- az r sugarú mag a kritikus méretű csíra, az ennél kisebb méretű magnál a szabadenergiában a felületi energia dominál
- a túlhűtés vagy túlhevítés változásával megváltozik az új fázis magjának kritikus mérete
- az átalakulási folyamat a növekedésre képes magok keletkezésének gyakoriságától függ
- $N = \text{keletkezett magok száma} / \text{térfogat} * \text{idő}$
- magok növekedésének sebessége
- ha a tégelyben egy mag keletkezik, akkor egy darab kristály az eredmény: félvezetők, szilárdtestek, áramkörök: nélkülözhetetlenek
- túlhűtés és lehűtés mértéke befolyásolja döntően
- heterogén magképződés: idegen anyagokkal történő magképződés könnyebb, mert ötvözők vannak
- a túlnyomó többsége a fázisátalakulásoknak heterogén magképződéssel megy végbe
- egykristályok előállítása
 - elektrotechnika, elektronika, műszergyártás
 - egyetlen kristály alakul ki a magképződés során
 - a homogén magképződésnél kicsi a valószínűség erre
 - Chochralsky-módszer: az egykristálygyártás egyik módszere
 - emelőszerkezet és kemence
 - kemence: tégely az anyaggal
 - az emelés sebessége döntő: ha túl lassú, akkor a folyékony-szilárd fázishatáron az anyag polikristályos lesz, ha túl gyors, akkor pedig az ömledék elszakad a kristálytól
 - a hőmérsékletet kell csökkenteni úgy, hogy ne hűljön a rendszer az egyensúly értéke alá
 - nagyobbak kell lennie az olvadáspontnál, de rövid távolságon belül le kell csökkennie az alá
 - a kristály és a tégely állandó forgatásnak van kitéve, hogy ne legyen az anyag szerkezete szimmetrikus, mert később asszimmetrikussá válik, és nehéz lenne megmunkálni
 - főleg félvezetők gyártásánál, alapanyag: szilícium, germánium
 - vákuumban vagy védőgázban kell elhelyezni ezt a két anyagot, mert mindkettő szívesen vegyül az oxigénnel
 - ömledékből készített egykristály előállítása: Bridgman-féle eljárás
 - a megfelelő hőmérsékleti gradienst hűtőlevegővel állítják be
 - óvakodni kell attól, hogy a folyamatok során több kristály nőjön a tégely alatt alá, amelyben egykristályos anyag van

- ha nem elég meredek a hőmérsékleti gradiens, akkor is gond van, mert a túlűtés nem alkalmazható szilárd-folyadék fázishatár esetén
- újrakristályosodással a vasból és hasonló átalakulásokon keresztülmenő anyagokból egyszerűbb egykristályt előállítani
- a diszlokációsűrűség erősen befolyásolja a tulajdonságokat
- nagy tisztaságú anyagok előállítása
 - az alapanyagok mindig tartalmaznak szennyező anyagokat
 - szupertiszta fémek, szennyező koncentrációjuk kisebb, mint 1 tizedes %
 - zónás tisztítás
 - a tisztítandó anyagot olyan tégelybe helyezik, amely nem oldódik benne
 - a rudat áthúzzák v sebességgel izzítón, mindig csak egy l hossza legyen a rúdnak folyékony állapotban
 - módszer: a szilárd fázis oldóképessége kisebb, mint az olvadéké
 - megoszlási tényező: a szennyező milyen értékben oszlik meg az egyensúlyt tartó szilárd és folyadékfázisok között
- fázisátalakulás: régi fázisból új szerkezetű vagy halmazállapotú fázis keletkezik
- kritikus méretű mag: az új fázis legkisebb, növekedésképes térfogata
- homogén magképződés: az új fázis magjai az eredeti fázis bármely pontjain egyforma valószínűséggel keletkezhetnek
- heterogén magképződés: az új fázis magjai az eredeti fázis kitüntetett pontjain keletkezhetnek
- megoszlási tényező: dermedéskor az egyensúlyt tartó szilárd- és folyadékfázis koncentrációinak hányadosa
- zónás tisztítás: nagy tisztaságú anyagok előállítása a szilárd-folyékony fázishatár mozgatásával
- kiválásos keményedés
 - kiválóan keményíthetők azok az ötvözetek, amelyek a hőmérsékletváltozás hatására az oldhatóságnak a hőmérséklet csökkenése miatt fázisátalakulás megy végbe
 - alumínium-réz ötvözet: a réz oldhatósági határa az alumíniumban a hőmérséklet csökkenésével csökken
 - az oldhatósági határ görbéje a szolvusz görbe
 - homogenizálás, gyors hűtés (=edzés)
 - homogenizálási hőmérsékletre felmelegítés
 - Guinier-Preston-zónák: nem látható, nagyon apró részhalmozatok jönnek létre a lehűtés után is, később átalakulhatnak második G-P-zónákká
 - megemelt hőmérséklet - > lehetővé teszi a diffúziós mozgást
 - a második zónák már elektronmikroszkóppal kimutathatók
- diszperziós ötvözet: olyan ötvözet, amelyben idegen fázis nem oldódik
- túlóregített ötvözet: kiválóan nemesített ötvözet, amelyben a kiválások inkohérens (össze nem függő) fázishatárok
- eutoktoidos, bainites, martenzites átalakulások
 - a fázisátalakulás csak 5-15%-án megy végbe az anyagon
 - acél
 - termikus hiszterézis: a hevítési vagy hűtési sebesség növelés vagy csökkentése az átalakulást késlelteti
- eutektoidos

- a lehülés lassú
- a telített ausztenit átalakul perlitté
- bainites
 - ferrittel indul az ausztenit átalakulása, és tűs szerkezetű szövet képződik
- újrakristályosodás
 - \sim i hőm: az a hőmérséklet, amelyen 1 óra alatt végbemegy a teljes \sim
 - kritikus alakítási mérték: a minimum folyamat, amely kell a \sim -hoz

• **Mechanikai tulajdonságok**

- szerkezeti anyagok: terhelés elviselésére hasznosítanak
- főleg a fémek tulajdonságait ismerjük a szerkezeti anyagok közül
- a túl nagy terhelés a fémeken is meglátszik
- képlékeny alakíthatóság: gépgyártás, villamosberendezés-gyártás
- a mechanikai tulajdonságokra jellemző paraméterek
 - külső terhelés: olyan terhelés, amit külső erő okoz
 - alakváltozás: terhelés nagysága és az anyag geometriai méretei
 - geometriai méretektől független paraméterekkel jellemzik az anyagokat
 - névleges vagy valódi nyúlás
 - névleges: az eredeti hosszra vonatkozó nyúlásérték
 - valódi: nem az eredeti, hanem a mindenkori hosszra vonatkoztatott nyúlásérték; ez jellemzőbb az alakított anyag tényleges viszonyaira
 - keresztmetszet-csökkenés van meg adva sokszor: fajlagos és valódi
 - feltételezett, hogy az anyag eredeti térfogata állandó
 - a nyúlás és a keresztmetszet-csökkenés között mindenkori kapcsolat van
 - felületi feszültség
 - névleges és valódi
 - ha az alakváltozás kicsi, akkor gyakorlatilag egyenlőek
 - felületre vonatkozik
 - $\gamma = A / h$ fajlagos alakváltozás
 - a terhelés vagy csak rugalmas, vagy rugalmas és képlékeny alakváltozást okoz
 - a rugalmas alakváltozás tartománya nagyon kicsi
 - ha túllépi a terhelés az anyag rugalmassági határát, akkor már nem nyeri vissza eredeti állapotát az anyag, alakváltozást szenved el
 - nyomás, nyírás
 - kis terhelésnél az alakváltozás azonos a terheléssel
 - Young-modulus (rugalmassági modulus)
 - Poisson-hányados: ν : a rugalmassági állandók közötti teszt kapcsolat
 - az elmondottak a statisztikusan rendezetlen polikristályos anyagokra vonatkoznak
 - az olvadáspont és a rugalmassági állandó között van valami összefüggés: egyenes arányosság (nagyobbhoz nagyobb tartozik)

- szakítószilárdság: határfeszültség: ha nagyobb terhelést kap ennél az anyag, akkor egy területen elvékonyodik, majd elszakad
- törőszilárdság: a szakadás pillanatában mérhető feszültség
- a folyási határ változásának okai
 - folyási határ szerint ítéljük meg a legtöbb fémes anyagot
 - 1500-1800 MPa volt régen a jó, ma már 5000 a szint
 - a folyáshatár a minimális maradó alakváltozás elméleti értéke
 - a gyakorlatik fémek folyási határát a bennük lévő diszlokációk okozzák
 - kis feszültség hatására elmozdulnak a csúszósíkon, és alakváltozás következik be
 - a folyáshatár az a feszültség, melynél a diszlokációk irreverzibilis mozgásba kezdenek
 - folyáshatár-növekedés a polikristályokban
 - a képlékeny alakítás a legegyszerűbb növelő eljárás
 - az alakítás közben megnő a diszlokációk sűrűsége, emiatt mozgásuk egyre több akadályba ütközik, emiatt több energia kell az áthatoláshoz, nő a folyáshatár
 - a krisztallithatárok hatása
 - a polikristályos testekben amikor a szomszédos krisztallitokban a diszlokációk elérik a krisztallithatárt, akkor indul meg az alakváltozás
 - a krisztallit belsejében lévő Frank-Read-forrásból több diszlokáció indul mozgásnak
 - az első megakad a krisztallithatáron, míg a többi mögötte szorítja kifelé egyre jobban
 - minél inkább távolabb van a forrás a határtól, annál több diszlokáció halmozódik fel a határon lévő diszlokáció mögött, emiatt az erő a távolság nagyságával egyenesen arányos
 - minél nagyobb a krisztallitok átlagos mérete, annál nagyobb az esélye az alakváltozásnak
 - a folyási határ a krisztallitok méretének csökkenésével nő
 - az ötvözés hatása
 - a folyáshatárt az oldott atomok is növelik a diszlokációk és az atomok közti vonzás által
 - mindkét feszültség mező növeli a rendszer szabad energiáját
 - ha az idegen atomok a diszlokációk környezetében helyezkednek el, akkor ez csökken
 - nehezebb a diszlokációk elmozdulását megindítani az ötvöző atomok miatt, emiatt nő

- ha az anyagok nagyon kis szakításnál elszakadnak, akkor a szakítóvizsgálat nem alkalmazható, erre találták ki a nyomóvizsgálatot
- főleg keramikus anyagoknál és üvegeknél
- a valódi feszültség nagysága mindig kisebb a névlegesnél
- a terhelés során a próbatest keresztmetszete állandóan nő
- a terhelés a próbatestet kihajlíthatja méretétől függetlenül (kritikus érték)
- a kiindulási hosszúság max. 2,5xese lehet az átmérőnek
- a nyomó próbatestek nem tudnak a nyomólap és a köztük fellépő súrlódási erő miatt szabadon deformálódni, emiatt a nyomó próbatestnek akkorának kell lennie legalább, mint az átmérője, de ez csak az alsó határ, ennek még 1,5-2 a kényelmes értéke a hányadosnak
- a felületek közötti súrlódási erőt csökkenteni kell, módszerek:
 - olajozás
 - finom felületek (teflonfólia): a súrlódási tényező kicsi
 - az összenyomott próbatest méretéből következtethetünk a súrlódás nagyságára
- hajlítóvizsgálat
 - ritkábban használt vizsgálat
 - azonos nagyságú nyomóerő és feszültség
 - rideg anyagok és hegesztett varratok vizsgálatánál előnyös
 - ahol a képlékeny alakváltozás megindul
 - rideg anyagoknál a törési feszültséget szokták megadni
 - hegesztett varratoknál azt a szöveget adják meg, amelynél az első repedés jelentkezik az anyagban
- nyíróvizsgálat
 - a próbatest keresztmetszetét a terhelőerővel párhuzamos feszültségű erővel terhelik
 - a próbatestet elnyíró feszültséget határozzák meg
 - az ilyen mérésnél fellépő hajlítás nem kiküszöbölhető
 - kettős nyírás: két felületre hat a terhelés és két felület is válik el egymástól, ha jó a kivitelezés, akkor hajlítás nem lép fel
 - nyírószilárdság: ha a felületre ható erőt elosztjuk a felülettel, kettős nyírásnál 2x-es az erő, amit osztani kell
- keménységvizsgálat

- ha a szakítóvizsgálatra valamilyen ok miatt nincs lehetőség
 - pl. egy anyag mechanikai terhelhetőségének vizsgálatánál nem alkalmazható a szakítóvizsgálat
 - Brinell- és Vickers-módszer: keménységi mérőszám, Brinell- vagy Vickers-keménység
 - Mindkét eljárás alapelve, hogy valamilyen szerszámot belenyomnak a mérendő felületbe a legvégső alakváltozásig
 - Brinellnél golyó, Vickersnél gyémántgúla
 - Rockwell-keménységmérés: a vizsgálandó felületeket előkészíteni költséges, emiatt találták ki ezt a módszert
 - előterhelés: a főterhelésnél sokkal kisebb, egy adott szinthez képest mérjük a szerszám anyagba behatolását (gyémántkúp vagy acélgolyó)
 - főterhelés - > ebből már számolni tudunk
 - egyéb módszerek: gyémánt vagy acél a szerszámok anyag
 - a mechanikai tulajdonságok dinamikus vizsgálata
 - Charpy-féle ütő: hajlító vizsgálat
 - Próbatest hátlapjához lendítenek egy ingát, amely elhajlítja vagy eltöri
 - Az inga kinetikus energiáját emészt fel a próbatest, ezért törik el, a maradék energiával csak kisebb magasságra emelkedik már újra fel
 - Nemcsak a tört felülettől, hanem a próbatest geometriájától is függnnek a paraméterei a próbatestnek
 - Minél bonyolultabb a terhelés, annál kisebb az energia, amelyet a törés felemészt
 - Minél nagyobb az inga sebessége, annál kisebb fajlagos ütőmunkát mérünk
 - Az ütőmunka a hőmérséklettől is függ nagy mértékben,
 - átmeneti hőmérséklet
 - mérési hőmérséklet
 - ütve szakítás: kevésbé elterjedt vizsgálat, inkább a Charpy-t használják
 - fárasztóvizsgálat
 - az ismételt terhelhetőségre adnak útmutatást
 - az ismételt igénybevétel még akkor is törést okozhat, ha nem érik el az igénybevételek egyenként a folyáshatárt
 - csak akkor ad helyes választ, ha az anyagot állandó terhelésnek tesszük ki
 - egy idő után bekövetkezik a képlékeny alakváltozás

- lengő igénybevétel: a feszültség előjelet vált
 - ha a feszültség maximális és minimális értéke ugyanolyan mértékű feszültségeket jelent, akkor lüktető feszültségről beszélünk
 - Wöhler-görbe: a maximális terhelő függvény az ütésszámmal ábrázolva
 - feszültségamplitúdó
 - az acéloknak kifejezett kifáradási határuk van: ha egy bizonyos terhelést elbír, akkor utána bárhányszor ugyanazt a terhelést kapja, nem fog eltörni (kicsi a törés valószínűsége)
 - a színes fémeknél ritka a kifáradási határa, egyre csökkenő terhelésnél lesz csak kisebb valószínűsége a törésnek
 - teljes kifáradási diagram
 - igénybevétel középesszültsége
- tartós terhelések nagyobb hőmérsékleten
 - a nagyobb hőmérséklet esetén az anyagokban olyan változások mennek végbe, amelyek a szerkezetüket kisebb stabil helyzetbe tolják el
 - az anyagok tulajdonságai megváltoznak
 - kúszás, tartósfolyás: ha az anyagra mért terhelés soha nem éri el a folyáshatárt, de mégis képlékeny alakváltozást szenved
 - elsődleges/primer kúszás: csökkenő alakváltozási sebességgel nyúlik a test folyamatosan
 - állandó állapotú / másodlagos kúszás: ha a próbatest elérte a minimális alakváltozáshoz szükséges sebességet; addig tart, amíg a próbatest keresztmetszete oly mértékben nem csökken le, hogy felgyorsuljon az alakváltozás, majd végül elszakadjon: harmadlagos / terciér kúszás
 - kúszáshatár: a terhelés azon mértéke, amelynél az anyag végtelen hosszú idő alatti terhelés során sem megy tönkre (1-11 évig tartó vizsgálattal határozhatók meg ezek az értékek)
 - költség- és időcsökkentő eljárások
 - a másodlagos kúszási szakasz a leglényegesebb a tervezéshez, ebben a szakaszban képlékeny alakváltozás okozta keményedés, és a nagy hőmérséklet miatt bekövetkező lágulás valósul meg
 - a második szakaszban ez a két tényező egyensúlyban van, míg az elsőben a keményedés dominál, emiatt csökken le az alakítási sebesség (exponenciális függvénye a hőmérsékletnek)
 - Larson-Miller parametrikus összefüggés: a hőmérséklet és a sebesség közti kapcsolatot írja le, ebből következtetnek az anyag tulajdonságaira
 - tartamszilárdság: az a feszültség, amelyet a megadott élettartamig az anyag elvisel törés nélkül

- a leggyakoribb szerkezeti anyagok
 - acél
 - a vastartalom meghaladja az 50 súlyszázalékot, és emellett kovácsolható
 - szerkezeti-, szerszám- és különleges acélok
 - szerszámacélok
 - alakváltozásmentes működés
 - nagy a széntartalmuk
 - 0.6-1.2% korbontartalom
 - különleges acélok
 - nagyon kis hőtágulású
 - hőálló
 - saválló
 - nem rozsdásodó
 - nem ferromágneses, lágy- és keménymágneses acélok
 - ötvözött acélok
 - ausztenitképző
 - ferritképző: szilárdság növelése (kiválásos keményedés)
 - vas- és acélöntvények
 - réz
 - rossz öntési tulajdonságok
 - könnyen nyeli el a gázokat: nem készítenek belőle öntvényeket
 - jó alakíthatóság
 - a tiszta víz nem korrodálja, de ammónium- vagy ciánsókkal képzett savakkal igen
 - sárgarézt: réz és cink ötvözete
 - bronz: réz + ón
 - karbid: szén+fémek

• ***Elektromos vezetés***

- minden anyag vezeti vmennyire az áramot, ha elektromos erőterbe kerül, általában a szilárd testek vezetőképességére gondolunk: az elektromos térrel ellenkező irányba mozognak a részecskék
- vezetők, félvezetők, szigetelők
- vezetők: fémek és ötvözetek: elektrolitok, nagyhőmérsékletű plazmaállapotú gázok
 - szilárd és folyékony fémekben a töltést hordozó elektronok vezetik az áramot
 - folyékony elektrolitok: pozitív és negatív ionok: az elektronoknál többszörös tömeggel rendelkeznek, lassabban mozognak, kisebb a vezetőképességük is
 - a plazma állapotú gázok vezetőképessége a fémek és az elektrolitok között van
- félvezetők
 - elektronok a töltéshordozók: elektrontöbblet (n) és elektronhiány (p)
 - negatív töltéstöbbletű elektronok: vezetőelektronok
 - kb 10¹⁰-10¹⁸ xese a vezetőképességük a vezetőkéhez képest

- szigetelők
 - csak szerkezeti hiba okoz vezetést: diszlokációk és ponthibák
 - kovalens kristályok, alacsony hőmérsékletű gázok és ezek folyadécai
- a tiszta fémek a leggyakoribb villamos vezetőanyagok: Cu, Al, ötvözetek: Cu-Zn
- fajlagos villamos vezetőképesség és fajlagos villamos ellenállás
- a vezetés mechanizmusai
 - szabadelektron-mozgás
 - sodródási sebesség: drift: ez okozza az elektromos áramot
 - Pauli-féle kizárási feltétel: egy rendszerben nem lehet két elektron azonos állapotú
 - Heisenberg-féle határozatlansági elv: a mozgó részecske impulzusának és helyének értéke egyszerre csak pontatlansággal határozható meg
 - minden elektronnak van impulzusa
 - az elektronok külső tér nélkül nem mozognak
 - impulzusbizonytalansági tér: az elektronok külső tér nélküli, 0K-re meghatározott maximális energiája meghatározható: Fermi-energia / Fermi-szint
 - Fermi-Dirac-statisztika
 - csak azok az elektronok mozognak, amelyek üres állapotokat be tudnak tölteni
 - energiasávok jönnek létre
 - hullámhossz alapján mozognak az elektronok (periodikus)
 - Bragg-egyenlet
 - Brillouin-zónák
- fajlagos ellenállás
 - az elektronok mozgásának periodicitását zavarja
 - a hőmérséklet okozta rezgések amplitúdójának növekedése
 - geometriai hibák: üres rácshelyek, diszlokációk stb.
 - felületi hatások
 - platinahuzal: hőmérséklet mérése: a hőmérsékletkülönbséggel könnyen számolható a fajlagos ellenállás
 - Curie-pont
- az ötvözés hatása az ellenállás változására
 - az idegen atomok befolyásolják a vezetést, mert az elektronok mozgásának periodicitásra hatnak, növeli minden egyes ilyen atom az elektromos ellenállást
 - az ötvöző atomok az alapfémmel fázist képeznek, és az ellenállás változása a koncentrációeloszlás függvénye lesz
 - intermetallikus vegyületek
- a képlékeny alakítás hatása az ellenállás változására
 - nagymértékben nő alakítás közben a kristályhibák száma
 - a maradó ellenállást növeli
 - a képlékeny alakítás hatása hőkezeléssel megszüntethető
- villamos vezeték- és ellenállásanyagok
 - minél kisebb az ellenállásuk, annál kevesebb szállított energia alakul át hővé
 - a legjobb vezetők az egyvegyértékű tiszta fémek: Ag, Cu, Au, Al: alumínium és réz van a gyakorlatban előnyben részesítve, mert az ezüst drága

- a mechanikai vezető- és terhelhető képességet egyidejűleg javítani nem lehet
- az ötvözetek a leggyakoribb vezetők, mert ugyan rosszabbul vezetnek a tiszta fémeknél, de mechanikai tulajdonságaik jobbak
- a réz és ötvözetei
 - az oxigén a legkellemetlenebb szennyezője
 - oxigénoldó képessége a hőmérséklettel csökken
 - ha az oxigéntartalom az oldhatósági határnál nagyobb
 - ha 0.1%-nál több a szennyező anyag, akkor már nagyon rosszul vezet
 - a rézből készült vezetőanyagokat gumiszigeteléssel látják el, de a gumiból felveszi a szennyező anyagokat, és ez a gumit elridegítheti, és a ként, amelyből réz-szulfid keletkezik, és emiatt rozsdásodás léphet fel
- alumínium és ötvözetei
 - távvezetékek
 - 1200*osa a réz mennyiségének
 - csak 63%-a a vezetőképessége a rézhez képest, de a fajsúlya is kisebb, emiatt ugyanolyan hosszú távvezeték szakasz súlya könnyebb, ha ~ből van
 - normál légköri atmoszférában nem korrodál
 - mechanikai tulajdonságai nem annyira kedvezőek, mint a rézé
 - alacsonyabb ára van, mint a rézé
- Sn, Zn segíti az alumínium és a réz felhasználását
- ellenállásanyagok
 - mérő-, szabályozó- és fűtőellenállások
 - fajlagos ellenállásuk legyen nagy, és ne változzon az idővel és a hőmérséklettel
 - az ellenállásanyag kis termofeszültséget adjon
 - a hőhatásokra bekövetkező változásokat ki kell küszöbölni
 - réz alapú ellenállások: jó alakíthatóság, korrózióállóak kis hőmérsékleten
 - vasalapú: Si, Cr, Al, hőállóság növelése, oxidréteg képződik a felületen
 - fűtőellenállások
- szupravezetők
 - azok a szilárd testek, amelyek elektromos ellenállása egy bizonyos T hőmérsékleten hirtelen megszűnik
 - Omnes: higanyal kísérletezett
 - Si és Ge is szupravezető
 - minden szupravezetőhöz tartozik egy H mágneses térerősség, amely megmondja, hogy OK-en a szupravezetés megszűnik (maximális érték), a hőmérséklettől függ
 - Meisner-effektus: az első típusú szupravezetőkre jellemző, kisebb a hőmérséklet a kritikuskál, a mágneses térerősség 0
 - második típus: kritikus térerősség
 - a kristályhibák ellenkezőleg hatnak a vezetésre, mint a normális elektromos vezetőkben
 - huzalok előállítás

- a legjobb szupravezetők a Béta-folfráméhoz hasonlítanak
- óncsöves kísérlet: Nb és Sn port töltenek egyik oldalon lezárt óncsőbe, amit összekevertek előtte, leszivattyúzzák a levegőt, a csövet huzallá húzzák, kialakul a Béta-volfrám szerkezetű intermetallikus vegyület
- a szupravezetőkből készített mágnesek olcsóbbak minden szempontból a normális vezetőkben előállításánál
- félvezetők
 - a vezetők és a szigetelők közötti vezetőképességgel bírnak
 - a bennük lévő idegen atomok nagymértékben befolyásolják a vezetőképességet
 - 2eV-nál kisebb tiltott sáv
 - az elektronállapot megürülése a lyukak
 - az ötvözőket nem tartalmazó félvezetők a szerkezeti félvezetők
 - n vagy p típusú félvezetők: negatív vagy pozitív töltésű szennyezők szerint
 - a félvezetők 0K-en szigetelőként viselkednek ideálisan
 - a tiltott sáv szélességétől függ a vezetőképesség, ettől függ ugyanis az általa létrehozott mágneses térerősség mértéke, amely a vezetést meghatározza
 - a szennyező anyagok a tiltott sávban új szinteket hoznak létre, amely miatt szobahőmérsékleten is elektronok jutnak a termikus energia miatt a vezetősávba
 - a félvezetők sávmodellje
 - szerkezeti félvezetők: ideálisan tiszta szilícium és germánium pl, a gyémántéhoz hasonló kristályszerkezettel bírnak
 - ötvözött félvezetők
 - az 5. elektron felesleges, közte és a pozitív töltéstöbblet között gyenge a kölcsönhatás, a szennyező anyagok a magtöltést semlegesítik
 - a szerkezeti félvezetőkben az ötvözők koncentrációja 1 ppmnél jóval kisebb
 - az ötvözött félvezetőkben az idegen atomok koncentrációja 10-100 ppm között
 - a ráchibák új szinteket keltenek a sáv szerkezetben
 - Frenkel-hibapár: interstíciós atom és egy üres rácshely
 - a félvezetőkben a diszlokációsűrűséget szorítják le
 - a vezetőelektronok mozgékonyabbak, mint a lyukak
 - a mozgékonyaság a hőmérséklet függvényében változik
 - a hőmérséklettől és az ötvözőkoncentráció mértékétől függ a mozgás
 - a szerkezeti félvezetők tartalmaznak szennyezőanyagokat, ezek miatt sem lehet nulla a vezetőképesség
 - szennyezőtartomány
 - 0K-en a vezetősáv teljesen üres, a vegyértéksáv teljesen be van töltve
 - Fermi-szint: a vezértéksávból a vezetősávba kerül egy elektron, és a helyén lyuk keletkezik, ezt számolják vele
 - A félvezetők felhasználása
 - félvezető dióda vagy egyenirányító a kísérleti tárgy

- ideális dióda: a tér egyik irányában tökéletesen vezet, míg a másikon tökéletesen zár
- a normális egyenirányítónak az egyik végén végtelen nagyságú ellenállása van, itt nem vezet, míg a másik végén nincs ellenállása, itt vezet
- a félvezetősnek mindkét oldalán van vezetése, minél nagyobb feszültséget kapcsolunk a záró oldalra, annál nagyobb az esélye annak, hogy elérje a határt
 - exponenciális összefüggés van az áramerősség és a feszültség között
- n és p darabok megfelelő érintkezésű összeállítása
 - ideális: az ötvözött p és n típusú félvezetők kapcsolódnak egymással
 - a két jelleg fokozatosan megy át egymásba a diffúzióhoz hasonló módon
 - minden félvezetőeszközt azonos ötvözetből és azonos koncentrációjú anyagból kell készíteni az ideális vezetéshez
 - elektronok a protonokhoz és fordítva helyezkednek el
- kritikus szint: az anyag szerkezeti félvezetővé válik
- félvezető vegyületek
 - wurtzit: hexagonális SiC
 - szfalerit
 - a tetraéderek középpontjában kationok, a többi helyen anionok foglalnak helyet
 - minél szélesebb a tiltott sáv, annál magasabb az a hőmérséklet, amelyen még használható a vegyület
 - germánium: 100fok, szilícium: 200fok
- félvezetők előállításának
 - egykristályokból készítik őket, mert nagyon tiszta anyagokból kell készülniük
 - a szemcsehatárokon a rácshibák átlagosnál nagyobb koncentrációja extra szinteket hoz létre
 - zónás tisztítást használnak a legjobb tisztítás érdekében
 - Chochralski- vagy Bridgmann-módszerekkel egykristályt állítanak elő az anyagokból
 - dópolás: szándékosan bevitt szennyezők adagolása
 - egy p-típusú anyagot n-té lehet alakítani, ha elegendő donort adagolunk be ahhoz, hogy az akceptorokat semlegesítse
 - a Fermi-szintet a donorok növelik, az akceptorok csökkentik; ha a tiltott sáv felénél nagyobb, akkor n-típusú, ha kisebb, akkor p-típusú
 - p-n-p-átmenet előállításának
 - Sb-vel ötvözött Ge az ötvözési eljárás kísérlete
 - tranzisztorok előállításának diffúziós technikával
 - a felületre érkező atomok hozzákristályosodjanak az alapkristályhoz
 - ionimplantáció: ionok bejuttatása

- az interstíciós atomok száma közel egyenlő kell legyen a bevitt atomok számával
- szigetelők
 - nem vagy csak elhanyagolható mennyiségben folyik rajtuk áram
 - dielektrikum: egyáltalán nem vezet áramot
 - a térfogategységre eső szabadelektronok száma kisebb, mint a fémekben
 - széles (5eV) tiltott sáv (félvezetőknek 1eV)
 - a szennyezők ronthatják a jó szigetelő tulajdonságot: a tiltott sávban extra szinteket hoznak létre, ezzel megnövelik a mozgékony töltéshordozók számát, amely az ellenállást csökkenti
 - polarizáció: elektromos dipólusok képződése, igen fontos
 - a töltésközéppontok egymáshoz elmozdulnak
 - a könnyen polarizálható anyagok a jó elektromos szigetelők
 - ferroelektromos anyagok: ferromágneses anyagokhoz hasonló mágneses tulajdonságokkal bírnak
 - átütés: megszűnik az Ohm-törvény, rohamosan nő az áramerősség, az ellenállás ezzel párhuzamosan csökken, átütési szilárdság az ezt előidéző elektromos tér
 - polarizáció
 - belső elektromos tér jön létre az anyagban, ha az elektromos térbe kerül
 - dipólusmomentum: a molekula polarizálhatósága
 - típusai
 - négyféle
 - az elektromos polarizáció minden frekvencián megjelenik
 - a pozitív töltésű mag és a negatív töltésű elektronfelhő töltésközéppontja megváltozik, létrejön a dipólusmomentum
 - ionos polarizáció: ionos kötésű anyagokban, NaCl
 - orientációs polarizáció: szilárd testekben és folyadékokban lép fel: H₂O, CO₂; a rendezetlen irányú dipólusok a tér irányába fordulnak (alacsony hőmérsékleten a sűrűlódás akadályozó tényező lehet)
 - tértöltési polarizáció: többfázisú szigetelőkben, ferritekben, félvezetőkben
 - a töltések elmozdulását különböző hatásokkal érik el
 - a határfelületeken ellentétes töltések jelennek meg
 - a szigetelőanyagokat jellemző paraméterek
 - dielektromos állandók, veszteségi tényezők, átütési szilárdság
 - polarizáció, sáv szerkezet, vezetési tulajdonságok
 - relatív permittivitás: a kondenzátor kapacitása hányszorosára nő, ha szigetelőanyag van a kondenzátor lemezei között
 - energiaveszteség: a folyamat gyorsaságától függ: veszteségi tényező

- átütési szilárdság: az a térerősség, amelyre a szigetelő vezetőképessége megnő, ez tönkre is teheti az anyagot; az elektronok a vezetősávba juthatnak, emiatt lehetséges a vezetőképesség növekedése
- ferroelektromos anyagok: azok a szilárd szigetelőanyagok, amelyek elektromos tér nélkül is rendelkeznek elektromos dipólusmomentummal

• **Mágneses anyagok**

- dia-, para- és ferromágneses anyagok; ferri- és antiferrimágneses anyagok (utóbbi néhány évtized óta)
- néhány szerző: gyengén mágneses (para- és diamágneses) és rendezett mágneses anyagok (többi anyag)
- ma a műszaki anyagok között a mágnesek a rendezett mágneses anyagok
- az anyagok mágneses tulajdonságai
 - a spinhez tartozó mágneses momentumból és a részecskék mozgásához tartozó momentumokból erednek az anyagok mágneses momentumai
 - a mozgásokból eredő momentumok eredője kicsi, nehezen mérhető: diamágneses anyagokat ez szabja meg
 - a jól mérhető mágneses hatások az elektronok perdületéből erednek
 - ha a mágneses momentumokat erős kvantummechanikai tényezők párhuzamosra állítják, akkor sokkal erősebb mágneses hatások lépnek fel (ferro-, ferri- és antiferrimágneses anyagok, legutóbbinak elég kicsik a mágneses hatásai)
 - olyan kisméretű tartományok, amelyek telítettséig mágnesezettek, ezek a mágneses domének: mágneses energiák szabják meg a szerkezetüket
 - magnetosztatisztikus energia
 - kicserélődési energia
 - magnetostrikciós energia
 - anizotrópia energia
 - minden rendezett mágnes egy bizonyos hevítés után paramágnessé válik (ferro: Curie-, antiferro: Noel-hő)
 - mágneses indukció: $B = \mu_0$ vákuumban, amúgy μ : permeabilitás * H (térerősség)
 - az anyag mágnesezettsége a térfogategységre eső eredő mágneses momentum
 - mágneses szuszceptibilitás: $M = \chi * H$ (χ : szuszpc.)
 - ha a szuszceptibilitás 0-nál vagy a relatív permeabilitás 1-nél kisebb, akkor diamágneses anyagok, ha 0-nál vagy 1-nél nagyobb, akkor paramágneses, ha ezeknél sokkal nagyobb, akkor ferro- vagy ferrimágneses az anyag
 - minden rúd-mágneshez és köráramhoz mágneses dipólusmomentum tartozik (= mágneses momentum): $p = I * A$: körvezető, rúd-mágnes: $p = m * L$ (m a rúd végén feltételezett mágneses töltésmennyiség, L a hossza a rúd-nak)
 - mágneses töltések nem léteznek, csak régi fogalom (nem tudták elkülöníteni őket)
 - a mágneses momentumokra forgatónyomaték hat

- mágneses energia
- minden atommagnak és elektronnak van mágneses momentuma
 - elektroné: mag körüli mozgás
 - spinhez tartozó perdülete
- Bohr-magneton: az elektron impulzusnyomatéka, az eredő nyomaték az atomok és elektronokban a nyomatékok vektoriális összege
- a diamágneses anyagokban nagyon kicsi a szuszceptibilitás, -10^{-6} körül
- egy páratlan elektronhéjjal rendelkező anyagokban mérhető
- Curie-törvény, Curie-állandó: szuszceptibilitás megadására
 - vezetési elektronokra nem használható, mert azokra a Fermi-Dirac-eloszlás érvényes
- az olyan anyagok, amelyeknek a szuszceptibilitása 0, azok az antimágnesek: dia- és paramágnesek ötvözetével; olyan anyag van elvileg, amelyben a dia- és paramágneses hatások kiegyenlítik egymást, de egy hőmérsékleten valósul meg, mert a szuszceptibilitás a hőmérséklettől is függ
- vas, kobalt, nikkelt: átmeneti fémek
- vas-oxid, cróm-oxid erősen mágnesezhető szobahőmérsékleten, akkor is mágnesezettek maradnak, ha megszűnik a külső mágneses tér
- mágnesezési görbe
- koercitív erő: az indukció teljesen eltűnik
- fel- és lemágnesezés: hiszterézis, hő formájában szabadul fel
- Heisenberg és Weiss: az elektronok között fellép egy kicserélődési kölcsönhatás, az elektronok spinjeinek párhuzamos beállása emiatt van
- Heussler-ötvözetek: ferromágnesek, de nem tartalmaznak ferromágneses alkotót: Mn, Cr, MnAlC
- a ferromágneses anyagoknak nincs nagy mágneses momentumuk, ha azokat nagy hőmérsékletre hűtik le: domének, melyek a telítésig mágnesezettek
- magnetosztatisztikus energia: az M mágnesezettségű anyag körül kialakuló H térerősség energiája
- a domének mérete nagyon kicsi
- magnetrostrikciós energia: három ferromágneses elem és egy permalloy-ötvözet kísérlete: a vas mágnesezettsége csak egy bizonyos térerősséggig nő
- doménhatárok - > olyan rétegek, amelyekben eltérő a mágnesezettség iránya
 - minden anyagnál van egy irány, amelynél elveszti a telítettségi értékét
 - azok az irányok, ahol a mágnesezettség a legkisebb térerősségnél bekövetkezik, azokat könnyű mágnesezési irányoknak nevezik
- mágneses kristályenergia: a domének irányváltozásához szükséges energia
- Bloch-falak: mágnesezettségi határok
- lágymágneses anyagok
 - azok a ferro- és ferrimágneses anyagok, amelyeknek telítési indukciója és permeabilitása nagy, hiszterézisterületük és koercitív erejük pedig kicsi

- jobb, mint a tiszta fémek mágnesezési szempontból
- az ötvözetlen acél csak nagyon olcsó berendezés lehet: C, N, O-atomok vannak benne, a doménfalmozgást nehezítik, mert ötvöződnek vassal
- Fe-Si a legnagyobb mennyiségben használt lágymágnes-ötvözet: transzformátor- és dinamólemezek készítése
- a Si-ötvözés csökkenti az anizotrópia energiáját
- az interszticiós szennyezők ugyanúgy rontják a mágneseességét
- öntéssel állítják elő a közönséges Fe-Si anyagokat (metallurgiai eljárás)
- - a szénatomok csökkenése nem mindig gazdaságos, csak egy bizonyos mennyiségig
 - 0.04% széntartalom maradhat az anyagban
 - hengerlés az örvényáramok csökkentésére
- anizotróp- vagy textúrás lemezek: a kristallitok nem reguláris irányúak, hanem valamelyik a H-tér és a könnyű mágnesezési irányok valamelyikével párhuzamosak
- Goss-textúrájú lemezek: leggazdaságosabban tekercselt vasmagok; kockatextúra még jobb mágnesezhetőséget biztosít
- Fe-Ni-ötvözőrendszer
- lágymágneses ferritek: a mágneset alkotó kétvegyértékű iont lehet M alkotóként ötvözni
- nem érik el a kerámikus ferritek a fémes ferromágneses anyagok tulajdonságait
- a ritka földfémeket használják ötvözőként a nagy mágnesezes momentumuk miatt
- gránátok: bármilyen ritkaföldfém az alkotója, pl: Sm, Eu, Gd. Stb
- a ritka földfémek nagyon magas árúak, ezért nem nagyon használják még őket
- keménymágneses anyagok
 - nagy koercitív erő (H), nagy remanens reakció (B), nagy maximális energiaszorzat (BH) jellemzi őket
 - lemágnesezési görbe
 - a doménszerkezet csak a nagy külső térerő hatására változik meg, emiatt nagy az anizotrópia energiájuk, és nagy a magnetostrikciójuk
 - különösen jók azok a keménymágneses anyagok, amelyekben ezek a feltételek teljesülnek, és a doménfal nem tud kialakulni a fázisbeli kristallitok méretének kicsinsége miatt
 - martenzites mozgással a falak mozgása még jobban nehezíthető
 - martenzites szerkezetű keménymágnesek
 - a martenzites szerkezetű acélban a hiszterézisveszteség jelentősen megnő
 - ötvözéssel még jobban javíthatók a mágneses tulajdonságok: karbidképző elemekkel főleg, emiatt wolfrám, molibidén és króm jelen van ezekben
 - Fe-Ni-Co-keménymágnesek
 - a legelterjedtebb keménymágnes típus a Fe-Ni-Co-ötvözet
 - Alnico- és Ticonal-csoportok
 - kétfázisúak: egyik ferromágneses, másik paramágneses
 - ideális: a ferromágneses része apró (egy doménből áll)
 - Alnico:

- ridegek, képlékenyen nem alakíthatóak
 - öntéssel vagy porkohászati úton állítják őket elő
 - alfa- és lamdba-fázisok
 - homogenizálni kell, hogy a kémiai koncentrációkülönbségek eltűnjenek
 - a kristallitokat úgy alakítják ki, hogy a tengelye párhuzamos legyen a tériránnyal
 - vékony polikristályos, apró kristallitokból álló réteg alakul ki
 - nem mindig valósíthatók meg gazdaságos feltételekkel
 - ESD keménymágnesek
 - egy domén méretére vonatkozó követelményeknek felelnek meg a ferromágneses fázisának méretei: porszemcsékből állítják ezt elő
 - a ferromágneses kristallitok méretétől függenek a tulajdonságaik, a koercitív erejük emiatt változhat meg leginkább
 - a technológiai nehézségek miatt az ideális méretet nem érik el
 - Heussler-ötvözet: MnBi: ferromágneses komponens nélkül
 - alakítható keménymágnesek
 - Cu-Ni-Fe keménymágnesek
 - Cu-Ni-Co keménymágnesek
 - Fe-Co-V keménymágnesek
- **Korrózió és oxidáció**
- korrózió: az anyagok azon károsodása, amely a környezet miatt kémiai reakcióval megy végbe
 - oxidáció: a korrózió egy típusa, a szabadenergia csökkenésével jár
 - az érintkezés határán megy végbe, ezért a korrózió felületi jelenség
 - jellemzésére azt az anyagmennyiséget adják meg, ami az elvesztett anyagra utal
 - súlynövekedés, súlycsökkenés, rétegvastagság-növekedés
 - fémek korróziója: lúgok, savak vizes oldatával érintkeznek
 - a nemfémes anyagok alkálifémek vizes oldata után korrodálódnak, majd elrepednek
 - elektrokémiai korrózió
 - galván cellában végbemenő folyamathoz hasonlít
 - CuSO₄ és ZnSO₄ egy edény része, réz és cinkrudat merítenek az elektrolitba, fémionok lépnek az elektrolitba, bekövetkezik az oxidáció, ha a réz és a cink nem érintkeznek egymással
 - elektromotoros erő: ha vezető van a réz és a cink között, áram folyhat
 - normálpotenciál: az elektródából ionok lépnek az elektrolitba, voltban mérik
 - sóoldat: legáltalánosabb korróziós közeg
 - a korrózió gyakori típusai
 - a fémek egyenletes korróziója akkor történik, ha azok valamilyen folyékony reagensbe kerülnek (vas a higany kénsavas oldatában)
 - galvanikus korrózió (lásd előbb)
 - réskorrózió: ionkoncentrációban vagy a korróziós közeg és oldott gáz koncentrációjában van különbség

- hidroxilgyökök keletkeznek: katódreakció
 - anódreakció
- lyukkorrózió: a fémek felületén pontszerű károsodások jelennek meg, ha alkálifém-koncentrációja van
- interkrisztallin korrózió: krisztallithatárokon: ha a határokon valamely alkotó koncentrációja nagy
- feszültségkorrózió: a mechanikai feszültség külső erő nélkül terheli az anyagot, feszültségoldó izzítással kerülhető el
- rozsdásodás: vasnak és vasötvözeteknek leggyakoribb korróziója; a rozsdá hidratált vasoxidok keveréke
- korrózióvédelem
 - fizikai, kémiai és elektromos úton valósítható meg
 - nem vagy nehezen korrodáló fémvegyületet tesznek a felületre: védőrétegek
 - a hatásosságuk a bevonat sértetlenségétől függ
 - katódos és anódos védelem: a korrodáló közeggel szemben a védendő fémet katódossá vagy anódossá teszik
 - oxidáció: oxigénfelvétel vagy hidrogénleadás, elektronok leadásával járó folyamat a korszerű felfogásban
 - redoxi-reakció: a negatív töltések számának növekedésével járó oxidáció
- passzivitás: oxidréteg kialakul a fémeken, amely megakadályozza a további oxidációt
- ***A sugárzás és az anyag***
 - kedvező vagy káros lehet
 - röntgensugarak hasznosak
 - élő szervezetre káros a nagy sugárzásmennyiség
 - ionimplantáció: ionok behatolása az anyagba, amelyek megváltoztatják a koncentrációt
 - mechanikai, elektromágneses és korpuszkuláris
 - elektromágneses hullámok: rádiótechnika
 - lézersugárzás: a legstabilabb vegyületek megolvasztására is képes
 - korpuszkuláris: nagy áramsűrűségű elektronnyaláb
 - neutronsugárzás
 - gamma-sugárzás
 - olyan részecskesugárzás, melyben a részecskék nyugalmi tömege 0-nál nagyobb
 - deuteronsugárzás: a deutérium: az egy neutronot tartalmazó hidrogént sugárzása