

BME
Közlekedésmérnöki Kar

Műszaki kémia jegyzet

III. kötet

Szerkezeti anyagok

az irodalom alapján összeállította:
dr. Szabó Mihály

Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék

2020. ősz

Irodalom

Hütte: A mérnöki tudományok kézikönyve.

Berecz: Kémia műszakiaknak. Nemzeti Tankönyvkiadó, 1998.

Vajta-Szebényi-Czencz: Általános kémiai technológia. Nemzeti Tankönyvkiadó, 1999.

Pukánszky: Műanyagok. Műegyetemi Kiadó.

Tartalomjegyzék

3.	SZERKEZETI ANYAGOK.....	3
3.1.	Általános jellemzés	3
3.1.1.	Szilárd testek szerkezete és tulajdonságai.....	3
3.1.2.	A szilárd test oldhatósága folyadékban.....	14
3.1.3.	Szerkezeti anyagok felülete	16
3.1.4.	Szerkezeti anyagcsoportok.....	17
3.2.	Kerámiák.....	18
3.2.1.	A kerámiai iparok nyersanyagai	19
3.2.2.	Kerámiai termékek gyártástechnológiája.....	20
3.2.3.	Kerámiai termékek.....	21
3.2.4.	Kötőanyagok	23
3.2.5.	Üveg.....	27
3.2.6.	Zománc.....	31
3.3.	Fémek.....	33
3.3.1.	A fémek fizikai tulajdonságai	33
3.3.2.	A fémek kémiai tulajdonságai.....	34
3.3.3.	A fémek előállítási módszerei.....	36
3.3.4.	Ötvözetek	40
3.4.	Műanyagok.....	43
3.4.1.	A makromolekulákkal és polimerekkel kapcsolatos fogalmak, definíciók	43
3.4.2.	A polimerek szerkezete	49
3.4.3.	Halmaz, fázis, fizikai állapot.....	53
3.4.4.	A műanyagok felépítése.....	57
3.4.5.	A polimerek és műanyagok csoportosítása és tulajdonságai	58
3.4.6.	Különbségek a polimerek és a kis-móltömegű anyagok között.....	66
3.4.7.	Műanyagok a közlekedésben és a járműiparban. (Olvasmány).....	66

3. SZERKEZETI ANYAGOK

3.1. Általános jellemzés

A szerkezeti anyagok technikailag hasznos tulajdonságú anyagok Megfelelő előállítási eljárás és alakialakítás után „konstrukciós és funkciós” anyagoknak nevezik őket és az egész technika anyagbázisát alkotják.

A szerkezeti anyagok felépítése

Valamely szerkezeti anyag felépítését a következő jellemzők határozzák meg:

Atomos, vagy molekuláris alkotórészeinek kémiai természete.

Az atomok, vagy molekulák közti kapcsolódó erők jellege (kötésjelleg).

Az atomos szerkezet, azaz az atomok, ill. molekulák elhelyezkedése az elemi kristályos, molekuláris, vagy amorf struktúrákhoz viszonyítva, amelyek „elemi cellákként” egy anyag tulajdonképpeni építőköveinek tekinthetők.

A kristályok vagy „szemcsék”, azaz egy polikristályos anyag egységesen felépített részei, amelyeket szemcsehatárok választanak el egymástól.

A szerkezeti anyagok fázisai, azaz egységes atomos szerkezetű és kémiai összetételű részek, amelyek környezetüktől határfelületek (fázishatárok) határolnak el.

Rácshibák, azaz az ideális kristályszerkezethez viszonyított eltérések:

Pontszerű hibák: idegen atomok hiányhelyek, rácsközi atomok

Vonalszerű hibák: diszlokációk

Felületi hibák: halmazhibák, szemcsehatárok, fázishatárok

A mikroszerkezet, vagy szövetszerkezet, azaz a kristályok, fázisok és rácshibák mikroszkópikus kapcsolódása.

3.1.1. Szilárd testek szerkezete és tulajdonságai

A szilárd testek saját alakkal és térfogattal rendelkező makroszkópos anyagrendszerek, amelyeken az alkotórészek között ható erők olyan nagyok, hogy azokat már meghatározott, rögzített egyensúlyi helyzethez kötik, és e kialakult merev testszerkezet mechanikai úton történő megváltoztatása csak viszonylag nagy erőhatással, energiabefektetéssel lehetséges.

A kristályos szilárd testekben az alkotó egyedi részecskéket (atomokat, ionokat, molekulákat) összetartó (külön-külön vagy együttesen fellépő kovalens, ionos, fémes, hidrogén vagy van der Waals-típusú) kötőerők olyanok és akkorák, hogy a részecskéket szabályos rendezettségű, a taszító- és vonzóerők eredője által meghatározott egyensúlyi helyzethez kötik, létrehozván így az *atomrácso*s, *ionrácso*s, *fémes rácsú* vagy *molekularácso*s kristályszerkezetet.

A kristályrács egyes rácspontjaiban sincsenek azonban a részecskék teljes mozdulatlanságban, hanem egyensúlyi helyzetük körül a tér minden irányában *rezgő mozgást* végeznek. E rezgések amplitúdója és frekvenciája a hőmérséklet függvénye. Minél nagyobb a hőmérséklet, annál nagyobb az amplitúdó. Ha a rezgések amplitúdója akkorává válik, hogy a részecske rezgése közben az egyensúlyi helyzetétől már olyan távolságba kerül, ahol a taszító erő már nagyobbá válik, mint a vonzóerő, akkor a részecske egyensúlyi helyzete megváltozik, eltolódik, az egyes rácspontok egymástól messzebb kerülnek, létrejön a kristály hő-okoza tágulása (hőtágulása), illetve az ellenkező irányban, ha a hőmérséklet csökken, létrejön a kristály zsugorodása. Ha a részecskék rezgésének amplitúdója olyan nagyra válik a hőmérséklet emelkedésének hatására, hogy a szomszédos rácselemek már „összeütközhetnek”, akkor a rácselem már nem tér vissza eredeti egyensúlyi helyzetébe, a rács összeomlik, bekövetkezik a kristály *megolvadása*. Ez a megolvadás egy meghatározott hőmérsékleten következik be, *a kristályos szilárd testeknek tehát éles olvadáspontjuk van*, amely olvadásponton a szilárd és folyékony halmazállapotú anyag egymással egyensúlyban van.

Szilárd anyagok az üvegek, illetve az üveges szerkezetű, valamint a nagymolekulájú anyagok is. Ezeknek azonban nincs éles olvadáspontjuk, szerkezetük olyan, hogy a hőmérséklet növelésének a hatására a megolvadás lágyulással kezdődik, és az anyag csak fokozatosan megy át a híg folyós állapotba. Ezen anyagok megolvadása tehát nem egy meghatározott hőmérsékleten, hanem egész hőmérsékleti intervallumban megy végbe. Ezek az anyagok nem kristályos szilárd anyagok, hanem ún. *amorf szilárd anyagrendszerek*, amelyek bizonyos szempontból inkább tekinthetők *túlhűtött folyadékoknak*, amelyben a *viszkózitás olyan nagyra vált, hogy már ez biztosítja az alakállandóságot*.

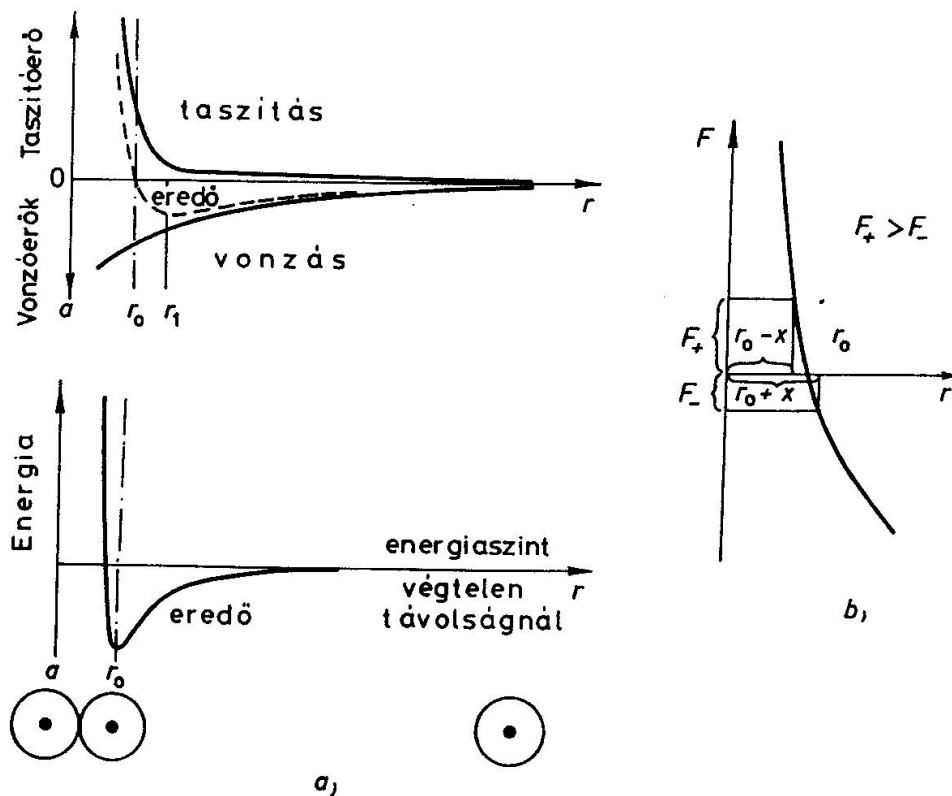
Kristályos szilárd testek szerkezete és tulajdonságai

Általános természeti törvény, hogy minden anyag - tehát a kristályokat alkotó részecskék (ionok, atomok, molekulák stb.) is a kristályban – olyan helyzetet igyekszik önként elfoglalni, ami adott körülmények között a lehető legkisebb potenciális energiájú, ill. odakerülése az adott körülmények között a legnagyobb energiafelszabadulással jár. Az ionkristályos szilárd test erő- és energiadiagramját a sematikus **1.a ábra** mutatja be. A diagram megadja a vonzó és taszítóerők, ill. azok eredőjének, valamint a potenciális energiának a változását, két egymás melletti, különböző távolságban elhelyezkedő rácselemre. Az egyik rácselemre a koordináta-rendszer kezdőpontjául kiszemelt másik rácselemhez $r = \infty$ távolságból való közelítések először a távolsággal kisebb mértékben csökkenő vonzóerők lépnek működésbe, a folyamat önként megy végbe, az energia közben csökken. Ily módon a két ellentétes töltésű részecske közelebb jutva egymáshoz, mindinkább működésbe lépnek a távolsággal sokkal rohamosabban változó taszítóerők is, és r_1 távolságnál kisebb távolság esetén az eredő erőgörbe menete már ellenkező irányú tendenciát mutat. Az ionok közötti r_0 távolságnak megfelelő helyen a vonzó és taszítóerő eredője 0, azaz a vonzás és a taszítás mértéke éppen egyenlő. Ez lesz adott körülmények között az egyensúlyi helyzet, ugyanennek felel meg tehát a potenciális energia eredő görbéjének a minimuma is. Mindez azt vonja maga után, hogy bármely irányba is történjen a rácselem elmozdulása, az adott körülmények között csakis munka befektetése útján lehetséges. Ha tehát például tovább kívánjuk egymáshoz közelíteni a két kiválasztott iont, az az erőgörbének – a taszítóerők ilyen körülmények közötti erős egyensúlyát ábrázoló – meredek menete miatt csak igen nagy erőbefektetéssel érhető el; a kristály kompresszibilitása tehát igen kicsi.

Ha viszont az r_0 távolságot növelni, azaz a kristályt *nyújtani* akarjuk, akkor az erőgörbe egy ideig a vonzás tartományában még növekedik, a kristály ellenáll a húzásnak. Amikor azonban akkora szakítóerőt alkalmazunk, hogy hatására elérjük a két rácselem r_1 távolságát, az *erőgörbe minimumon megy át; a továbbiakban a vonzóerők már rohamosan csökkennek*. Az r_1 távolság tehát a kristály *nyújtási határának* felel meg, ezen túl már két rácselem egymástól elszakad. A potenciális energia görbéjén ennek a pontnak a görbe inflexciós pontja felel meg. A valóságban természetesen a kristály már hamarabb elszakad, miután benne mindig vannak bizonyos rácsszerkezeti tökéletlenségek (*rácshibák*).

Kivetítve a r_0 pont környezetében az erőgörbe menetét, értelmezni tudjuk a kristályok hőtágulását és megolvadását is (**1.b ábra**). Az ábráról látható, hogy az erőgörbének a taszítóerők tartományába eső része jóval meredekebb (gyakorlatilag egyenesnek tekinthető), mint a vonzóerők irányába eső része. A helyhez kötött részecskék a hőmozgás hatására rezgőmozgást végeznek az r_0 stabilis egyensúlyi helyzet körül. Kis hőmérsékleten a rezgőmozgás amplitúdója is kicsi, a rezgés harmonikusnak tekinthető, a kicsi $r_0 - x$ -nek, ill. $r_0 + x$ -nek megfelelő elmozdulások esetén a vonzóerő még akkora, mint a taszítóerő. Nagyobb hőmérsékleten azonban, ahol az amplitúdó – tehát $r_0 - x$ és $r_0 + x$ – már nagy, a rezgés anharmonikussá válik; ugyanakkora amplitúdónak nagyobb taszítóerő felel meg, mint vonzóerő; nagyobb hőmérsékleten tehát az egyensúlyi r_0 távolság megnövekszik, a *rácselemek egymástól bizonyos mértékben eltávolodnak, a kristály kiterjed, kitágul*.

Ha a hőmérséklet növelésének a hatására az amplitúdó olyan nagyra válik, hogy a két szomszédos rácselem már „összeérhet”, akkor a *kristályrács rendezettsége felbomlik, bekövetkezik a megolvadás*.



3.1.1. ábra Az ionkristályos szilárd test erő- és energiadiagramja

A kristály szerkezetét úgy képzelhetjük el, hogy az őket alkotó *atomok, ionok, vagy molekulák szabályszerűen, periódikusan ismétlődő módon elhelyezkedve alkotják a kristályrácsot.*

A kristályok atomos alkotórészei egy térbeli rács (tér rács) csomópontjaiként rendeződnek el, ami olyankor keletkezik, ha három sor planparallel sík (hálósík) egymáson áthatol. A legkisebb térelem, amelynek saját élhosszai mentén mindhárom tengelyirányban történő, ismételt eltolódása révén egy tér rács felépítése elképzelhető, az elemi cella. A lehetséges kristálytér rácsokat 7 koordináta rendszer, ill. 14 Bravais-rács típus jellemez, lásd a későbbi tanulmányokban.

A rács típusok kialakítására és a rácselemek illeszkedésére alapvető befolyást gyakorol egyrészt az alkotó elemek (atomok, ionok, molekulák) mérete, másrészt azok elektron-szerkezete ami a köztük lévő kötés jellegét és erősségét szabja meg. A rácselemek térbeli eloszlását elsősorban a részecskék méretét ábrázoló különböző méretű gömbök tömör vagy kevésbé tömör illeszkedésének lehetőségei határozzák meg. Ennek jellemzője a koordinációs szám, ami megadja, hogy az adott részecske körül közvetlen környezetében hány részecske helyezkedik el. Ez csak igen szematikus ábrázolás, mert sem az atomok, sem az ionok nem szilárd gömbök, hanem egymás által is deformálható, polarizálható képződmények, amelyeknek nincsen élesen lehatárolt felületük, mert az elektronburok töltéssűrűsége nem hirtelen esik nullára. Ilyen értelemben lehet tehát csak az atomok és ionok sugaráról beszélni.

Kristályrács típusok

A rácselemként szereplő alkotó részecskék elektronszerkezetétől függően alakulnak ki kötések az egyes rács típusokban, és jönnek létre a különböző kötésű kristályrács típusok.

Az *ionkristályokban* a rácspontokban helyet foglaló ellentétes töltésű ionok között igen erős elektrosztatikus erők hatnak, a rácselemek igen erősen kötöttek, ezért az ionkristályok elektromos vezetése gyakorlatilag zérus, igen kevésbé illékonyak olvadáspontjuk és forráspontjuk nagy és keménységük is nagy.

Az ionrácson kristályok egy speciális fajtája a természetben igen gyakori és technológiai szempontból is igen fontos szilikátok (csillámok, azbesztek, földpátok, tűzálló anyagok, kvarc, stb.) csoportja. Ezeknek a kristályszerkezete igen változatos: két Si^{4+} -iont egy O^{2-} -ion köt össze sziget-, csoport-, lánc-, réteg- és térhálós szilikátokká, amelyekben az oxigénionok mindig tetraédes szimmetriában veszik körül a szilíciumiont. Más ionok - Al^{3+} stb. – behelyettesítődésével kettős rétegek jöhetnek létre. Ezeket pl. K^+ -ionok köthetik össze, amelyeknél a rétegek egymáson könnyen elmozdulhatnak, és így igen jól hasítható szerkezetek alakulnak ki (pl. a csillámok esetében).

Az **atomrácson** szerkezet általában a nemfémek elemekre jellemző. Az atomrácson rácselemei ionizálatlan atomok, amelyeket igen erős kovalens kötések rögzítenek egymáshoz. Éppen ezért az ilyen rácsonk igen szilárdak, olvadáspontjuk, keménységük nagy, illékonyosságuk kicsi, elektromos vezetőségük gyakorlatilag zérus.

Tipikus példája az atomrácson kristálynak a gyémántszerkezet, ahol minden szénatom egy tetraéder középpontjában helyezkedik el, és négy vegyértékét a tetraéder csúcspontjában elhelyezkedő négy, tőle 0,154 nm távolságban lévő szomszédja felé irányítja. Ugyancsak négy irányba irányított vegyértékei vannak a szén egy másik módosulatának, a grafitnak. Itt azonban a szénatomok síkbeli szabályos hatszögek csúcsain helyezkednek el, ugyanakkor az egyes rácscsúcsok közötti távolság jóval nagyobb (0,335 nm), mint az egyes síkokon belüli atomok közötti távolság (0,143 nm), így rétegrácson alakul ki, és ez az oka annak, hogy a grafit jól hasad.

A **molekularácsonk** rácspontjaiban levő molekulákat csak gyenge intermolekuláris, van der Waals-erők vagy hidrogénhidak kapcsolják egybe. A molekularácsonk vegyületek szilárdsága tehát kicsi, olvadáspontjuk alacsony, illékonyabbak, mint az atom- vagy ionrácsonk vegyületek. Miután bennük szabad ionok nincsenek, vízben kevésbé oldódnak és kicsi az elektromos vezetőségük. Tipikus képviselői az organikus vegyületek.

Molekularácsonkot alkot a jég is, ennek molekuláit hidrogénkötések kapcsolják össze, ahol minden molekulához tetraédes szimmetriában négy másik vízmolekula kapcsolódik. Miután a jégkristályban a molekulák nincsenek a legtömörebb illeszkedésben, megolvadáskor a kristályrácson összeomlik, és tömörebb szerkezet jön létre, ezért az olvadás térfogatcsökkenéssel jár. Ugyanez az oka a bizmut, gallium és germánium azon különleges viselkedésének is, hogy a térfogata megolvadáskor ugyancsak csökken, ill. megfagyáskor nő.

A **fémek rácsonk** tulajdonképpen rokon az ionrácsonnal. Ebben az esetben azonban a rácspontokban azonos töltésű ionok vannak, amelyek között a kötést létrehozó elektronok szabadon el is tudnak mozdulni, így nem lehet megállapítani, hogy melyik elektron melyik ionhoz tartozik. A vegyértékelektronok tehát *megosztottak az összes atom között* (ellentétben az atomrácsonk, kovalens kötésű kristályokkal, ahol a vegyértékelektronok csak két atom között vannak megosztva), ezért a *fémek elemek rácsonkban a kötési energiát az összes elektronsűrűség szabja meg*. Miután a fémek rácsonkban szabad elektronok vannak jelen, ennek megfelelően a fémek elektromos és hővezetése nagy.

A fémek ezen speciális kötési sajátságát. – az ún. fémek kötését – és az ebből következő nagy elektromos és hővezetést ill. ugyancsak az ionos és kovalens kristályok szigetelő és félvezető sajátságát is a szilárd testek ún. sávmélete, ill. szabad elektron elmélete alapján értelmezhetjük, amelynek alapelemei a következők.

Két atom egymáshoz történő közelítésekor ezek egymásra mind nagyobb hatást gyakorolnak, ennek következtében energiaszintjeik, különösen a gyengébben kötött 3spd, 4spd stb. elektronok esetében megváltoznak, felhasadnak, több megengedett energiaszint alakul ki. Jól mutatja az energiaszintek felhasadását az 3.1.2.a ábra egyetlen Na-atom esetében ($r = \infty$), az erősen egymáshoz közelített (0,8 nm) Na-atomok esetében és az Na-fémkristály rácscsúcsjainak megfelelő, 0,367 nm távolságban lévő Na-atomok esetében. Látható, hogy a kölcsönhatás az 1s, 2s és 2p szinteket még nem érinti, a 3s és 3p szinten lévő elektronokét azonban már igen. A lehetséges szintek egy energiasávként

helyezkednek el, amely energiasávok már át is lapolódnak a kristály rácsállandójának megfelelő $r_0 = 0,367$ nm érték esetén. Ez azt jelenti, hogy a 3s és 3p elektronok már nemcsak egy – az eredeti – atomtörzs (atommag + lezárt elektronshéjak) hatása alá kerülnek, hanem a többi Na-atomtörzs hatása alá is; tehát kialakulnak a kollektív elektronok, a kollektív kapcsolat. Az átlapolódott s- és p- sávban már nem s- és p- elektronnívók, hanem hibridizált energianívók vannak. Minden atom átadja erre a közösséggé vált és kiszélesedett energiaszintre – energiasávra – összes vegyértékelektronját, és az ilyen módon létrejövő energianívók az egész kristály mindegyik atomjához (ionjához) tartoznak, és így hozzák létre a kovalens kötéssel rokon, erős fémes kötést. Kétcentrumos kovalens kötéssel szemben tehát sokcentrumos kötés alakul ki (3.1.2. b ábra).

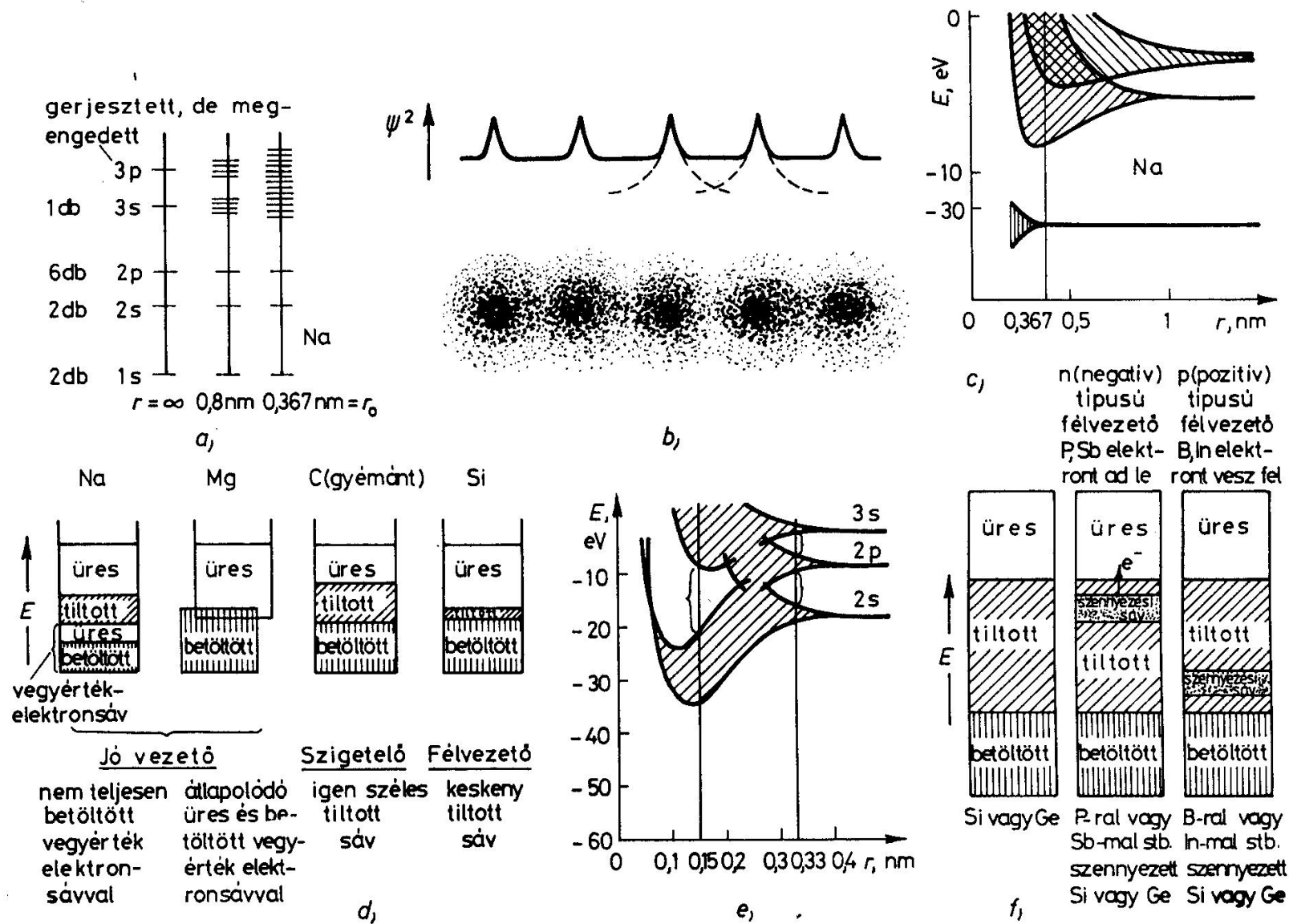
Itt is érvényes lesz a Pauli-féle elv, amelynek értelmében egyidejűleg nem lehetséges két olyan elektron, amelynek energiája ugyanakkora lenne. Ez azt jelenti, hogy adott sávban nem lehet bármennyi elektron. Az egyes sávok feltöltődésére az a szabály, hogy először mindig a legalacsonyabb energiaállapotok töltődnek be, utána a nála nagyobbak, de az egészhez viszonyítva megint a legalacsonyabbak, és így tovább.

A Pauli-féle elv értelmében az egyes energiaszinteken maximálisan két elektron lehet jelen. Az atomok egymáshoz közeledtével az energiaszintek felhasadása nő (ha egy atom esetében két energiaszint volt, két atom esetében már négy lesz stb.) és a szintek közelebb kerülnek egymáshoz (lásd a 3.1.2.a ábrát). Ha az atomok száma igen nagy a felhasadás következtében a szintek száma is igen nagy lesz, rendkívül közel kerülnek egymáshoz úgy, hogy lényegében egy kontinuális energiatartomány – sáv – jön létre. Ez a helyzet a $\approx 10^{23}$ atomot tartalmazó fémkristályban. A $\approx 10^{23}$ elektron mindegyike olyan energiával fog rendelkezni, ami beleesik a sávba; ezek az elektronok a be nem töltött sáv energiahatárai között kis energiabefektetéssel szabadon mozoghatnak. Az izolált szintek diszkrét volta tehát a vegyértékelektronok energiaszintjeit tekintve a vegyértékelektronok delokalizációjával eltűnik. A sáv elektronfelvevő képessége a kiindulási diszkrét szint elektronfelvevő képességének az n -szerese (ahol az n a kristály atomjainak a számát jelenti); a 2p sáv esetén pl. $6n$ elektron lehet a sávban, amelyben ezek az elektronok először mindig a legalacsonyabb energiaállapotokat foglalják el. A fém nátriumban pl. a 3s-p sáv alacsonyabb energiájú része lesz betöltve elektronokkal, a sáv felső, nagyobb energiájú része tehát betöltetlen marad.

A sávok közötti energiantvallumok ún. tiltott energiaértékek, ilyen energiájú elektron a fémekben nem lehet, ugyanúgy, ahogy a szabad atom diszkrét energiaértékei közötti energiákkal rendelkező elektron sem lehet az egyedi atomban.

Kimutatható azonban, hogy az energiasávok átlapolódása nemfémes ionkristályoknál közös körülmények között egyáltalán nem történik meg, kovalens kristályoknál már előfordulhat ilyesmi, de a nagymérvű sávátlapolódás – ami egyenértékű a vegyértékelektronok kollektivizálásával – csak a jól vezető valódi fémeknél lép fel.

Jól szemléltethető a sáv kialakulás és bizonyos atomtávolságtól kezdve a teljes átlapolódás a 3.1.2.c típusú diagramokon. Ezek a diagramok az egyes energiaszintek nagy r esetén még az egyedi atom energiaszintjeinek felelnek meg (mint ahogy a 3.1.2.a ábra első egyenese mutatja). Ha az r csökken, először megkezdődik a nagyobb elektronenergiáknak megfelelő nívók kölcsönhatása, ami először az egymáshoz közelebb fekvő energiaszinteken következik be, majd az a továbbiakban már az energiasávok kialakulásához vezet. Minél alacsonyabb az energiaszint, tehát minél inkább az atommag közvetlen vonzó, azaz stabilizáló hatása alatt van az elektron, annál kisebb atomtávolságoknál következik be a nívók kölcsönhatása és felhasadása; adott energiaszint esetén az atomtávolság csökkenésével a kölcsönhatások lehetőségei – azaz a felhasadások száma – növekszik, a sávok kiszélesednek, sőt esetleg át is lapolódhatnak.



3.1.2. ábra A sávmélet

Ugyancsak a sávmélet alapján érthetjük meg – és ennek alapján befolyásolhatjuk is a fémek, ill. általában a szilárd testek vezető, félvezető ill. szigetelő sajátságait.

A 3.1.2.d ábra bemutatja két jó vezető fém (a Na és a Mg), egy szigetelő (a gyémánt) és egy félvezető (a szilícium) vegyértékelektronjainak sávdiaagramját, feltüntetve a telített, üres, ill. tiltott sávok egymáshoz viszonyított energiaértékeit és kiterjedését. Az ábráról látható, hogy a Na esetében nem az egész vegyérték-elektronsáv betöltött, tehát igen kis energiamennyiség elég a be nem töltött vegyérték-elektronsávban az elektronok magasabb energiaszintre emeléséhez, szabad mozgásuk biztosításához; az elektromos vezetése így nagy lesz. Ugyancsak nagy lesz a vezetés a Mg esetében is, ahol viszont a betöltött és üres zóna átlapolódik, köztük tiltott sáv nincs, ezért szintén igen kis energiamennyiség elég a szabad elektronmozgás biztosításához.

A gyémánt esetében azonban a már teljesen betöltött és a még teljesen üres vezetési sávot igen széles, sok elektronvolt nagyságú tiltott sáv választja el egymástól. Elektromos vezetés csak akkor jöhet létre, ha elektront tudnánk átvinni a betöltött sávból az üresbe. Ehhez azonban olyan nagy energia kell, amit közönséges körülmények között a rákapcsolt feszültség nem tud biztosítani, így a gyémánt szigetelő tulajdonságú. A grafit viszont azért vezet, mert mint az a C sávdiaagramjáról (3.1.2.e ábra) látható, 0,335 nm távolságnál – ami a grafit rétegrácsok közötti távolságának felel meg – a tiltott sáv szélessége nem nagy, jóval kisebb, mint a 0,155 nm rácsállandójú gyémánt esetében, így megvan a lehetősége annak, hogy elektron lépjen át a következő üres sávra, és így létrejöjjön az elektromos vezetés.

A tiszta félvezető anyagok (Si, Ge) esetében a tiltott sáv kiterjedése kicsi, ez lehetőséget nyújt arra, hogy az adott hőmérsékleten legnagyobb energiájú elektronok közül néhány keresztüljusson a tiltott sávon, és az üres sávba kerüljön, így néhány üres hely keletkezik a korábban betöltött alacsonyabb vegyérték elektron sávban, ami lehetővé teszi, a kismértékű elektromos vezetést. Kis hőmérsékleten tehát a félvezetők szigetelők lesznek, mert gyakorlatilag nullára csökken a tiltott sáv legyőzéséhez szükséges energiával rendelkező elektronok száma; a hőmérséklet emelkedésével viszont a félvezető sajátság válik erősebbé.

Ugyancsak befolyásolhatjuk a félvezető sajátságokat megfelelően előidézett elektronhiánnyal. Ez úgy valósítható meg, hogy ha egészen különlegesen tiszta, ún. zónás olvasztással (ld. később) tisztított szilíciumba vagy germániumba meghatározott minőségű és mennyiségű ($\approx 0,001\%$) szennyező atomot – pl. foszfort vagy antimont, ill. bórt vagy indiumot – viszünk be. Ebben az esetben a vezetés létrejöttéhez nemcsak az eredeti Si-nak, ill. Ge-nak a betöltött, ill. üres sávjait kell figyelembe venni, hanem a szennyező atomoknak megfelelő energiasávokat is, amelyek – attól függően, hogy milyen fajta szennyezésről van szó – a tiltott sávban vagy a betöltött eredeti sávhoz, vagy az üres sávhoz vannak közel (lásd a 3.1.2.f ábrát). A P és Sb vegyértékelektronjainak száma eggyel több (5), a B és In vegyértékelektronjainak száma eggyel kevesebb (3), mint a Si-é, ill. Ge-é (4), emiatt a P és Sb elektronleadásra képes, — amely elektron, lévén a szennyező elem sávja közel az üres sávhoz – könnyen át tud menni az üres sávba, és így már szobahőmérsékleten is megfelelő vezetést (negatív, n-vezetés) tud létrehozni (amekkora a tiszta Ge- vagy Si kristály esetén még nem volna lehetséges a széles tiltott sáv miatt). A B és In éppen ellenkezőleg, elektronfelvételre képes, a neki megfelelő szennyezési sáv nincs teljesen betöltve. Ezért a már betöltött eredeti sávból – legyözve a közte és a szennyezési sáv közötti (az eredetinel sokkal kisebb kiterjedésű) tiltott sávnak megfelelő energiaküszöböt – elektron tud átlépni a betöltetlen szennyezési sávba. Az eredetileg betöltött sáv tehát ezzel betöltetlené vált, és létrejött az elektromos vezetés (pozitív, p-vezetés) lehetősége olyan hőmérsékleteken is, amelyen a tiszta anyag még nem vezet.

Az n és p típusú félvezetők sajátságai tehát igen nagymértékben függenek az eredeti anyag (Si, Ge) tisztasági fokától, a szennyezések rácsba levő koncentrációjától és eloszlásától.

A részlegesen betöltött sávrendszerrel a fémeknek számos fizikai és kémiai tulajdonsága meghatározható. Így pl. a fémek különleges fényelnyelő képessége abban rejlik, hogy az elektronok lehetséges energiájára vonatkozóan korlátozás nincs.

Ismeretes, hogy a fémek elektromos vezetőképessége a hőmérséklet növekedésével csökken. Ezt azzal magyarázhatjuk, hogy magasabb hőmérsékleten a fémionok rezgő mozgása egyre inkább növekszik, és így az elektronok a rezgő fémkationba ütköznek. Ez okozza a fémek ellenállását, vagyis az elektronok rendezetlen hőmozgása növekszik, amely az elektromos tér hatására létrejövő rendezett elektronmozgással ellentétes. A fémek ellenállása szennyező (és ötvöző) anyagok hatására is legtöbbször növekszik. Az idegen atomok ugyanis megbontják a fémrács szerkezetét, és akadályt jelentenek a vándorló elektronok útjában.

A fémek jó hővezetése is a vezetési sávban (részlegesen betöltött vegyértéksávban) levő elektronokkal magyarázható. Fémekben a hő szállítását is az elektronok végzik. Ezért a hő és elektromos vezetés között szoros összefüggés áll fenn, amelyet a Wiedemann – Franz – féle szabály is kifejez:

$$\frac{\lambda}{\kappa T} = \text{konst.}$$

ahol λ a fajlagos hővezetés,

κ a fajlagos elektromos vezetés;

vagyis az a fém, amely jó hővezető, egyúttal jó elektromos vezető is.

A fémes rácsok sematikusan vázolt elmélete azonban nemcsak az elektromos vezetést és a hővezetést tudja értelmezni, hanem a fémek egyéb tulajdonságait is pl. *a fémek képlékeny alakításának lehetőségeit*. Mivel a töltéseloszlás a fémkristályban gyakorlatilag egyenletes, a pozitív ionok a kristályban egymáson viszonylag könnyen elmozdíthatók, mert ez – ellentétben pl. az ionkristályokkal – nem jár az azonos atomok közötti átlagos távolság és erőhatások nagyobb megváltoztatásával, a fémkristály tehát nem torzul el, hanem a ráccsíkok egymáson elmozdulnak. Ez az oka annak, hogy az összes kristályos test közül a fémek a legképlékenyebbek. Ugyancsak ez magyarázza a nagy rugalmasságot is amennyiben adott – nem túl nagy – erőhatásra az ionok ki tudnak mozdulni kissé eredeti helyzetükből, a kristály tehát meghajlik, ha azonban az erőhatás megszűnik az ion újból visszaugrik eredeti helyére, és a kristály felveszi eredeti alakját. Természetesen, ha az alakváltoztató erő akkora, hogy az ionok már nem tudnak elmozdulásuk után visszatérni eredeti helyzetükbe, maradó alakváltozás jön létre.

A fémek viszonylag nagy sűrűsége is a fémes kristályszerkezettel van összefüggésben, minthogy a rácselemek igen tömör illeszkedésben tudnak elhelyezkedni. A kisebb sűrűségű fémek is tömör illeszkedésben helyezkednek el, ezeknél azonban a kisebb sűrűséget a viszonylag nagy atomsugár és a kis atomtömeg okozza.

Reális kristályok

A kristályokban az atomok, ionok vagy molekulák elhelyezkedése nem mindig szabályos, és a rácspontok nem mindig betöltöttek a megfelelő atommal, ionnal vagy molekulával, a kristályok nem tökéletesek, általában ún. *reális kristályok*, amelyekben eltérések mutatkoznak a tökéletes rendezettségű, ill. szerkezetűtől. A reális kristályoknak hibái vannak, amely hibaszerkezet a makroszkópos tulajdonságok szempontjából különösen fontos, meghatározó szerepű, olyannyira, hogy a megmunkálás célja éppen bizonyos hibaszerkezetű anyagok előállítására szokott lenni, kivéve azt az esetet, amikor meghatározott célokra éppen különlegesen szabályos szerkezetű, tökéletes kristályok (egy kristályok) előállítása a cél.

A Boltzmann-féle energiaeloszlási függvény értelmében a kristályon belül sincsenek az atomok mind pontosan ugyanazon energiaállapotban, hanem a kristálynak is van egy átlagos energiája, aminél nagyobb és kisebb energiájú atomok is léteznek a kristályon belül. A nagyobb energiájú atomok létezését azt vonja maga után, hogy adott körülmények között valamely, a felülethez közel fekvő atom olyan energiára tehet szert, hogy ki tud jutni a felületre, és eredeti helye betöltetlen marad; ún. vakancia (lyuk) jön létre. Ha a kristályban a fenti módokon *vakanciák* jönnek létre, mód van arra, hogy másik atom lépjen be a keletkezett vakanciába, ilyen módon tehát az atomok a kristályokon belül vándorolni tudnak, ugyanakkor ez azt jelenti, hogy a „vakanciák” is vándorolnak. Ez a folyamat különösen fontos a szilárd testek diffúziójánál.

Az ilyen fajta defektusok, kristályhibák ún. „egyensúlyi” stabilis hibák. A kristályban adott hőmérsékleten mindig adott átlagos mennyiségű ilyen vakancia található. A reális szilárd test azonban általában nem egyensúlyi rendszer, mivel benne a folyamatok lényegesen lassabban játszódnak le, mint a folyékony vagy különösen a gázfázisban, ezért mindig maradnak benne keletkezésükkor hibás nem tökéletes rendezettségű szakaszok, nem egyensúlyi fázisok. A szilárd kristályos anyagoknak sem minden részecskéje van tehát az adott körülmények között lehetséges minimális energiájú állapotban.

A makroszkópos kristályos szilárd testek, beleértve a fémeket is, általában nem *egy kristályok*, hanem egymás mellett mozaikszerűen elhelyezkedő kis méretű kristályszemcsékből, kristallitokból épülnek fel, úgy hogy az ún. *csírák* (kristályosodási centrumok) körül eleinte egymástól függetlenül növekedni kezdő és különbözőképpen orientált belső kristályszerkezetű szemcsék a megszilárdulás során egymással érintkezésbe jutnak. Ezeknek a kristályszemcséknek, kristallitoknak az egymáshoz viszonyított elhelyezkedése szabja meg a fémes anyag textúráját, szövetszerkezetét. A textúra ismerete igen fontos, mert ennek sajátosságai szabják meg a kristályos anyagok egyes mechanikai sajátosságait, és pl. az elektrokémiai viselkedésüket is, ami különösen a fémek korróziójával kapcsolatosan fontos.

Az egymással érintkezésbe jutott kristályszemcsék, kristallitok között ugyanekkor kialakul egy, a kristály anyagi minőségétől stb. függő olyan határoló tér, – szemcsehatár – amelyen keresztül történik meg az átmenet az egyik és a másik orientáció között. Attól függően, hogy milyen és mekkora az irányítottságok közötti eltérés és szög, a kis kristályszemcséket, kristallitokat határoló terek vastagsága az atomközéppontok közötti távolságnak tízszeresétől néhány százszorosáig terjedhet. Ezen határoló terek szerkezete tehát gyökeresen különbözik mind a szilárd állapotban tökéletes kristálytól, mind pedig az egyes kristályszemcsék belső kristályos szerkezetétől.

Ezek a terek természetesen rendkívül alkalmasak arra is, hogy ott gyűljenek össze mindazon a szennyezések, amelyek a kristályos szemcsében nem oldódnak, vagy ha esetleg bizonyos mértékben oldódnak is bennük, mennyiségük a határrétegben jóval nagyobb, mert sokkal jobban tud a szennyezés oldódni az amorf állapothoz közel álló, határrétegben, mint a kristályos szemcsében.

Szilárd kristályos testben fellépő hibák egy másik típusú csoportjába tartoznak az ún. *diszlokációk* (vonalszerű hibák). A tökéletes kristályban az atomok, ionok, molekulák olyan rácsot alkotnak, amelyben az elemi cella változatlan méretekkel ismétlődik. A reális kristályban azonban az elemi cella méreteinek különböző *torzulásai* állnak elő. Pl. olyanok, amikor ugyanazon távolságon belül az egyik rácscíkon kevesebb atom helyezkedik el, mint a másikon. Az ilyen torzult elhelyezkedések, diszlokációk, egyrészt csökkentik a két rácscík egymáson való elmozdításához szükséges erőt – vagyis a képlékenyalakítás, ill. a mechanikai sajátosságok szempontjából fontosak, – másrészt viszont az ilyen diszlokációk körül rugalmas feszültségek keletkeznek, amelyek pl. a korrózió szempontjából sem közömbösek. Ugyanakkor az ilyen jellegű kristályhibák eloszlásának, sűrűségének és erősségének nagy a befolyása mind a mechanikai, mind az elektromos tulajdonságokra (félvezetők).

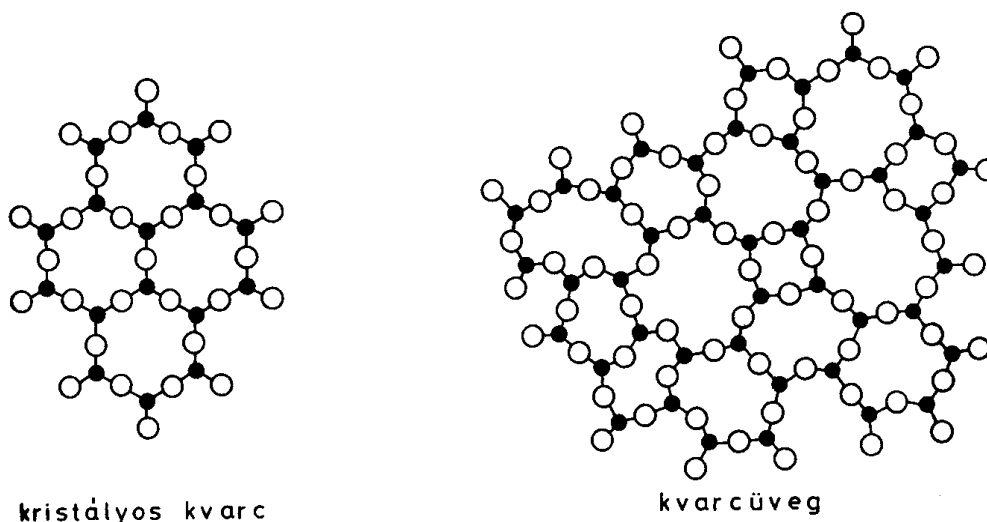
A szilárd testek vázolt szerkezetéből látható, hogy *minden tulajdonságuk és megmunkálással szembeni viselkedésük nemcsak a szigorúan vett belső kristályszerkezeteknek, a hibaszerkezeteknek is függvénye*. Lágylás és megdermedés, diffúzió és belső súrlódás, hőtágulás és zsugorodás, olvadás és kristályosodás mechanizmusa, mechanikai megmunkálás, hőkezelés, idegen adalékok

hozzáadásának hatása stb. *csakis az elsődleges és másodlagos szerkezet* együttes ismerete alapján érhető meg és szabályozható tervszerűen.

Amorf szilárd testek tulajdonságai

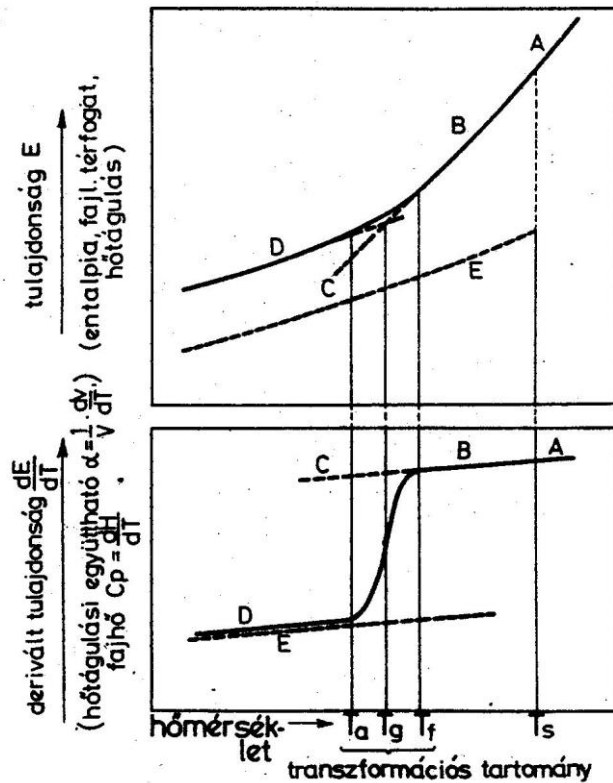
Az amorf anyagok megolvadása nem egyetlen, meghatározott hőmérsékleten, hanem széles hőmérsékleti tartományban következik be. Ennek oka vagy a kristályszerkezet teljes eltorzulása (üvegszerű anyagok), vagy pedig a kristályszerkezetek gyakorlatilag teljes hiánya (nagy-molekulájú anyagok).

Az *üvegszerű* anyagok esetében, bár a rácselemek többé-kevésbé szabályos elrendezésben vannak, az elrendeződés olyan, hogy pl. szilikáthálózatok eltorzulnak a kvarc kristályos hálózatához képest. A kristályos tiszta kvarc esetében minden egyes rácselem rezgésének amplitúdója egyetlen hőmérsékleten éri el a kritikus értéket, tehát a kristály egy meghatározott hőmérsékleten megolvad. A kvarcüveg esetében viszont a hálózat eltorzulása következtében (3.1.3. ábra) az egyes rácselemek környezete nem azonos, ennek következtében az egyes rácselemek nem egyszerre érik el a kritikus amplitúdót, a megolvadás tehát nem egyszerre, hanem fokozatosan egy széles hőmérsékleti tartományban fog bekövetkezni.



3.1.3. ábra Rácsszerkezetek

Az amorf és a kristályos szilárd testek valamely tulajdonságának hőmérsékletfüggését mutatja be a 3.1.4. ábra. Látható, hogy kristályosodás esetén a folyékony állapotból (A szakasz) a T_s olvadásponton a tulajdonság ugrásszerűen változik meg, a függvényben szakadás következik be, a kristályos anyag tulajdonságváltozását az E szakasz jellemzi. Amennyiben amorf szerkezet alakul ki, a túlhűtött folyadék (B szakasz) és az üveges állapot (D szakasz) között a tulajdonságok változása folytonos. A két szakasz közötti átmenet a T_a alsó és a T_f felső hőmérsékleti határral jellemzett ún. transzformációs tartományban következik be. Az ábra alsó felében a tulajdonság gradienseinek hőmérsékletfüggése látható mindkét esetben.



3.1.4. ábra Kristályos és amorf anyagok tulajdonságai a hőmérséklet függvényében

3.1.2. A szilárd test oldhatósága folyadékokban

Szilárd test oldhatósága folyadékokban, ill. olvadékokban adott hőmérsékleten általában korlátozott: teljes elegyedés szilárd anyag és folyékony oldószere között nem jön létre.

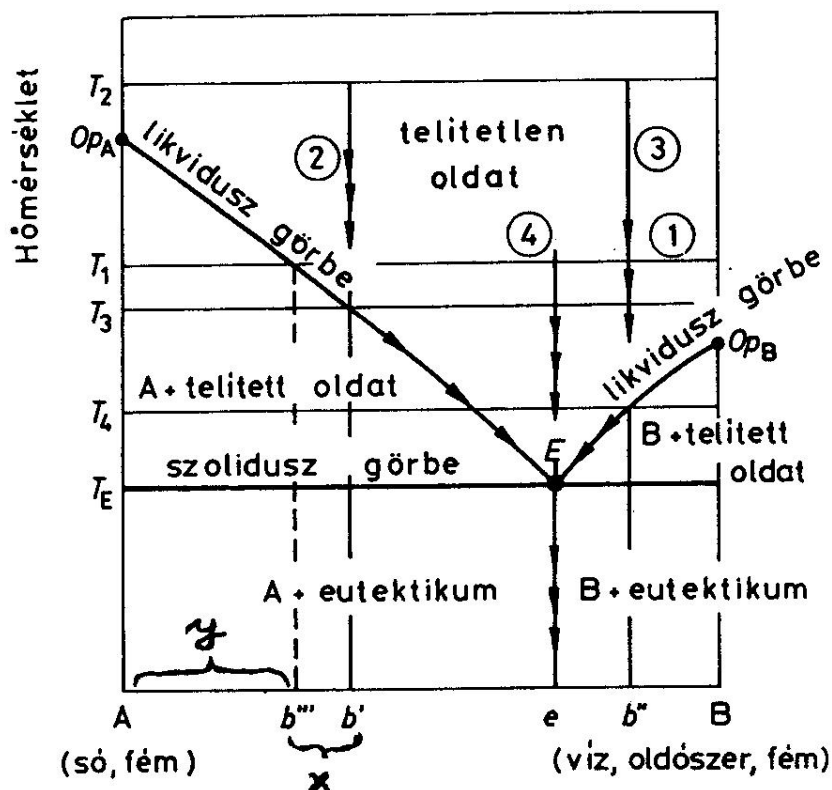
Ha szilárd állapotban a két komponens elegyedése egyáltalán nem következik be, az egyes komponensek olvadáspontjának a másik komponens koncentrációjától való függését a 3.1.5. ábrán látható olvadáspont-diagram (fázisdiagram) ábrázolja. A fázisdiagram x tengelyén a koncentráció szerepel tömegtörtben, azaz a diagram bal oldalán a tiszta A anyag, míg a jobb oldalon a tiszta B anyag van jelen, balról jobbra haladva az A komponens aránya az elegyben egyre csökken. Az y tengelyen a hőmérséklet, Op_A az A anyag, Op_B a B anyag olvadáspontja.

A diagramról szemléletesen leolvasható, hogy mi történik, ha pl. T_1 hőmérsékleten a B oldószerhez A szilárd anyagot adagolunk [az (1) egyenesen jobbról balra haladunk]. Az A anyag csak addig fog oldódni, amíg el nem értük a b''' összetételt, ami az adott T_1 hőmérsékleten az A anyag oldhatósága a B anyagban. Az $Op_A - E$ görbéből leolvasható, hogy az A szilárd anyag oldhatósága a B folyadékokban a hőmérséklettel nő.

A telítés azonban nemcsak az A szilárd komponensnek a B folyadékhoz történő adagolásakor érhető el, hanem úgy is elérhető, hogy kiindulva T_2 hőmérsékletből a telítetlen kétkomponensű (pl. b' összetételű) oldatot lehűtjük [(2) egyenes]. A b' összetételű anyagot hűtve T_3 hőmérsékleten elérjük az A szilárd anyag B-ben való oldhatóságát, az oldat A-ra telítetté válik. Ha a hűtést a (2) egyenes mentén tovább folytatjuk – miután a B anyag ezen a hőmérsékleten nem tud több A anyagot oldani, sőt a hőmérséklet csökkenésével az A anyag B-ben való oldhatósága csökken, – az oldat A-ra túltelítetté válik, és további hűtésnél folyamatosan válik ki belőle a tiszta A komponens, miközben a telített oldat mind kevesebbet tartalmaz A-ból. Az olvadáspont függését a telített oldat összetételétől

ábrázoló görbe a *likvidusz* görbe. Az oldat összetétele tehát az e összetétel felé tolódik el. Elérve T_E hőmérsékleten a telített oldat e összetételét, már nemcsak a szilárd A anyag, hanem a szilárd B anyag is ki fog válni, és az egész rendszer e összetétellel megdermed. Az e összetételnek megfelelő elegyet *eutektikus elegy*nek, a T_E hőmérsékletet *eutektikus hőmérséklet*nek, az E ponttal jellemzett rendszert *eutektikum*nak nevezzük.

Ugyan ezt tapasztaljuk, ha a b'' összetételű kétkomponensű oldatot hűtjük T_2 -ről [(3) egyenes], csak ebben az esetben az oldat T_4 hőmérsékleten B-re válik telítetté. Tovább hűtve a tiszta B anyag válik ki, miközben a telített oldat koncentrációja az $Op_B - E$ görbe mentén változik.



3.1.5. ábra. Olvadás-pont-diagram (fázisdiagram).

Az eutektikum tulajdonsága az, hogyha bármely, T_E -nél magasabb hőmérsékleten e összetételű folyadékkeletet készítünk, és azt hűtjük [(4) egyenes], T_E hőmérsékleten *éles olvadásponttal* úgy fagy meg, mintha tiszta anyag vagy sztöchiometrikus összetételű vegyület lenne, és közben nem változtatja összetételét annak ellenére, hogy az *eutektikum nem sztöchiometrikus összetételű vegyület*. Ezt egyértelműen bizonyítja, hogy az eutektikum összetétele a nyomással változik, amit sztöchiometrikus összetételű vegyületek nem tesznek.

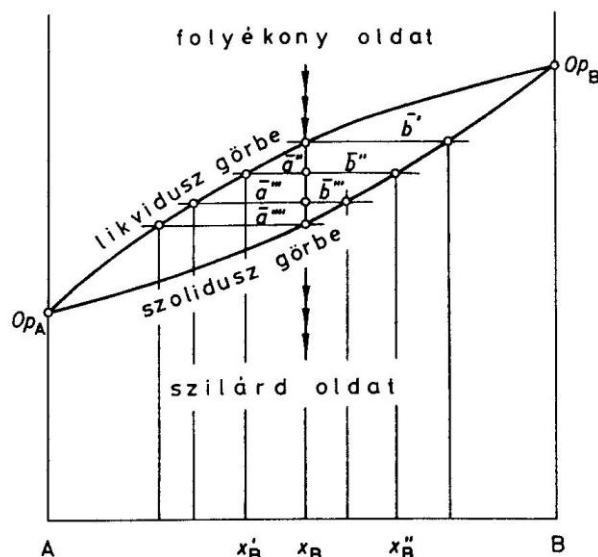
A 3.1.5. típusú diagramokon a görbék két fázis (a tiszta szilárd komponens és a telített oldat) egyensúlyának hőmérséklettől való függését ábrázolják, az *eutektikus pont pedig három fázis egyensúlyának* (tiszta szilárd A komponens, tiszta szilárd B komponens és e összetételű telített oldat) felel meg.

A *likvidusz* és a *szolidusz görbe* – (az utóbbi esetünkben egyenes) – közötti területek heterogén rendszereknek felelnek meg, ilyen összetétellel nem lehet sem folyadék, sem szilárd anyag. Ha erre a területre eső ponttal van dolgunk, egymás mellett van jelen a tiszta anyag és a telített oldat, amelyek aránya az *emelőszabály* alapján kiszámítható. Ha a b''' összetételű oldatot T_3 -ra hűtjük a tiszta A komponens és a b' összetételű telített oldat tömegaránya:

$$\frac{m_A}{m_{b'}} = \frac{x}{y}$$

A szilárd oldhatósága az anyagi minőségnek is függvénye, ennek megfelelően minden A–B anyagpárra, szerkezetétől függően más és más lesz a 3.1.5. típusú görberendszer – olvadáspont-diagram – jellege.

Abban az esetben, ha az elegyedés a szilárd fázisban is teljes (ún. *szilárd oldat* képződik), az oldhatósági viszonyokat a 3.1.6 ábra mutatja be.



3.1.6. ábra. Oldhatósági viszonyok szilárd oldat képződésekor

Az ábra értelmében bármelyik összetételű folyékony elegy, ill. olvadék lehűtésekor, elérve a hőmérséklettel a likvidusz görbét, megindul az elegy fagyása, kikristályosodása, a kiváló szilárd fázis azonban – a 3.1.5. ábrán tapasztaltakkal ellentétben – nem a tiszta alkotó, hanem ún. *szilárd oldat* lesz. Ennek összetétele nem egyezik meg a vele egyensúlyban levő telített folyékony oldatfázis összetételével, hanem a szilárd oldatban több lesz abból az alkotóból, amelynek az olvadáspontja nagyobb. Tovább hűtve a rendszert az eredeti összetételnek megfelelő vonal mentén, elérjük a szolidusz görbét, és az ennek megfelelő hőmérsékleten már az egész folyadékkelegy szilárd állapotba kerül. Az egész folyamat közben a telített folyékony oldat és a szilárd oldat összetétele a kisebb olvadáspontú A komponens irányába tolódik el. Miután az ábra szerint a két egymással egyensúlyban lévő szilárd és folyadékkelegy fázisösszetétele egymástól minden körülmények között eltér, az olvadékból történő megfelelő számú átkristályosítás esetén a szilárd oldat mind gazdagabb lesz a nagyobb olvadáspontú alkotóban (B); így megfelelő számú átkristályosítás segítségével a 3.1.6 ábrán látható típusú esetekben a tiszta komponensek kinyerhetők lesznek.

3.1.3. Szerkezeti anyagok felülete

A szerkezeti anyagok belsejével szemben felületükre a következő különbségek jellemzőek:

- elváltozott szövetszerkezet;

- a szerkezeti anyag és a környezeti közegek közötti kölcsönhatások és felületi összetétel elváltozása a környezeti közeg alkotórészeinek beépülése következtében (fiziszorpció, kemiszorpció, oxidáció, felületi filmképződés);
- a szerkezeti anyag tulajdonságainak megváltozása.

Technikai felületek esetében ezenkívül a gyártás befolyására is tekintettel kell lenni. Forgácsolással megmunkált és alakított felületek felületi zónáiban a következő elváltozások észlelhetők:

- különböző mértékű keményedés,
- belső feszültségek kialakulása a határretegben képződő belső feszültségforrások következtében,
- textura-inhomogenitás a felületi réteg és a szerkezeti anyag belseje között.

3.1.4. Szerkezeti anyagcsoportok

Az uralkodó kötésmód és a mikroszövet alapján a következő fő szerkezeti anyagcsoportok különböztethetők meg, lásd 3.1.7. ábra.

Fémek

Az atomtörzseket az elektrongáz tartja össze. A szabad vegyérték (valencia-) elektronok az elektrongázban okozzák a fémek nagy elektromos és termikus vezetőképességét, valamint azok fémes jellegét. A fémes kötést – vagyis az atomtörzsek összessége és az elektrongáz közötti kölcsönhatást – az atomtörzsek eltolódása nem befolyásolja lényegesen. Ezen alapul a fémek jó alakíthatósága. A fémek képezik a konstrukciós és tulajdonképpen szerkezeti anyagok legfontosabb csoportját, amelyek esetében mechanikai tulajdonságok a leglényegesebbek.

Félvezetők

A fémek és szerves-nemfémes anyagok közötti átmenetet a félvezetők képezik. Legfontosabb képviselőik a kovalens kötésű és gyémánt szerkezetű szilícium és germánium elem, valamint a hasonló felépítésű ún. III–V-vegyületek, amilyen pl. a galliumarzenid (GaAs) és indiumantimonid (InSb). Az abszolút nulla fokon a nemvezető félvezetőkben termikus energia, vagyis idegen atomok hozzáadódása következtében egyes kötési elektronok felszabadulhatnak, és vezető elektronokként növelhetik az elektromos vezetőképességet. A félvezetők az elektronikának fontos funkcionális szerkezeti anyagai.

Szerves-nemfémes anyagok

Az atomokat kovalens kötések és ionkötések tartják össze. Szabad vegyérték elektronok hiánya miatt rossz az elektromos és hővezető képességük. Tekintettel arra, hogy kötési energiájuk jóval nagyobb, mint fémes kötés esetében, ezért a szerves-nemfémes elemekre jellemző a nagy keménység és a nagy olvadáspont. Elméletileg nem alkalmasak képlékeny alakításra, mivel már az atomos alkotórészeknek egy rácstávolsággal történő eltolása esetén a kation-anion, vagy anion-anion taszítássá alakul át, vagy egy irányított, kovalens kötés feltörésére kerül sor.

Szerves anyagok

A szerves anyagok, amelyek között legfontosabbak a polimer szerkezeti anyagok, láncos molekulákból állnak, amelyek általában saját magával vagy egyes más kisebb rendszámú

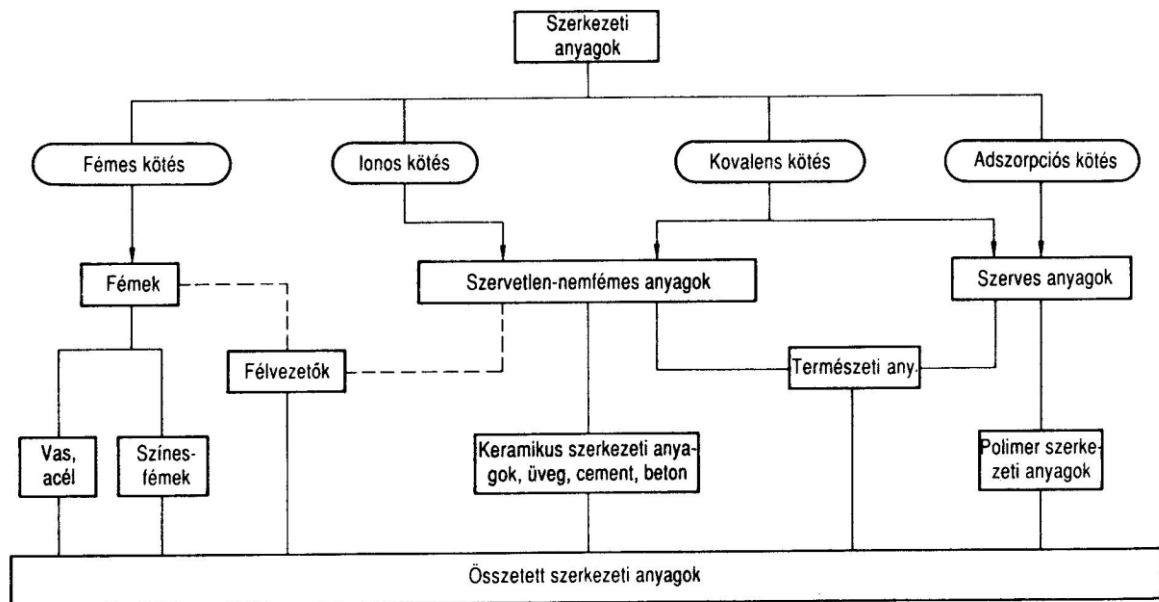
elemekkel fennálló, kovalens kötésben tartalmaznak. A láncmolekulák (gyenge) molekulaközi kötéssel kapcsolódnak egymáshoz, ami alacsony olvadási hőmérsékletet eredményez.

Természetes anyagok

A szerkezeti célra felhasznált természetes anyagok között megkülönböztetünk ásványi, természetes anyagokat (pl. márvány, homokkő, gránit, csillám, zafir, gyémánt) és szerves természetes anyagokat (pl. fa, gumi, természetes rostok). Az ásványi nyersanyagok tulajdonságait, pl. a nagy keménységet és állandó vegyi jelleget az erős fővegyérték-kötés és stabil kristályszerkezetek alapozzák meg. A szerves természetes anyagok többnyire komplex struktúrájúak és tulajdonságaik az irányítottságuktól függenek.

Összetett szerkezeti anyagok (kompozitok)

Az összetett szerkezeti anyagokat azzal a céllal alakítják ki, hogy több fázis, vagy szerkezeti anyagkomponens kombinációjával különleges tulajdonságú szerkezeti, vagy funkciós anyagokat nyerjenek bizonyos geometriailag körülhatárolt alakban, pl. diszperziók, rostos összetett szerkezeti anyagok, vagy felületi bevonatok alakjában.



3.1.7. ábra A szerkezeti anyagok csoportjai

3.2. Kerámiák

A kerámia szó a görög „keramos”-ból származik, ivóedényt, fazekasárut jelentett. Athénban a fazekasok városrészének neve „Kerameikos” volt. „Kerámiai anyag” elnevezésen régebben olyan termékeket értettek, melyeket többé-kevésbé tisztán agyagból (kaloinból) plasztikus formázás és ezt követő égetés útján állítottak elő. Ez jellemző az összes, régebbi megfogalmazás szerinti kerámiái termékre.

A természetes szilikátok a földkéreg jelentős részét alkotják, s maga a szilícium 25%-kal vesz részt a Föld ismert anyagainak felépítésében. Szerkezetük miatt igen stabil, kémiaiag nehezen bontható vegyületek, s ezért ércnek, tehát fémek kinyerésére általában nem alkalmasak. Annál fontosabb a megfelelő átalakításuk után kapott termékek felhasználása elsősorban az építőiparban, de

fontos szerepük van a gépiparban, kohászatban és az elektronikában is. Jelentőségük lényeges a hagyományos és az új típusú szerkezeti anyagok terén.

A szilikátiparban a szilikáttartalmú nyersanyagokat *nagy hőmérsékleteken* alakítják át a kívánt terméké. Az ipari szilikátokat a hőkezelés hatására végbemenő reakciókkal állítják elő. Ezek a folyamatok egyes technológiáknál hasonlítanak a természetes kőzetek keletkezéséhez, ahol a kémiai reakciók a föld magmájában uralkodó nagy hőmérséklet hatására játszódnak le. Így az ipari szilikátok egy része „szintetikus kőzetként” fogható fel. A szilikátok kémiai technológiájának fontos sajátossága, hogy a kémiai összetételen kívül számos terméknel jelentős szerepe van a kristályszerkezetnek, a kristály módosulatoknak is, hasonlóan a természetes kőzetekéhez.

A kerámiai anyagok alkalmazási területének bővülésével növekedtek a kerámiai anyagokkal szemben fellépő igények. A híradástechnika olyan szigetelőket követelt, melyekben a dielektromos veszteségek kisebbek, a dielektromos állandó és az átütési szilárdságértékek nagyobbak mint a porcelánnál. A vákuumtechnika olyan elektroncső alkatrészek alkalmazását kívánta meg, melyekben az elektromos vezetés nagy üzemi hőmérsékleten sem következik be. A kohászat, az üvegyipar nagy hőmérsékleten sem lágyuló, a salak és az olvadék kémiai hatásának ellenálló, hirtelen melegekedést és lehülést álló kemencebélés-anyagokat igényelt. A kemenceépítéshez a forró gázok eróziós hatását és nagy hőmérsékletét egyaránt álló anyagokra volt szükség. A gyújtógyertyaipar jó hővezető képességű, nagy hőmérséklet-különbségeket álló, elektromosan jól szigetelő kerámiai testeket kívánt. A forgácsolóipar szívós, nagy élettartósságú, jó hővezető képességű kerámiai anyagokra és csiszolókorongokra támasztott igényt.

A felsorolt sokirányú követelményt egy anyagcsoporton felépülő rendszerek nem elégíthették ki. Ily módon a fejlődés során a kerámiai ipar letért a csupán agyagalapú rendszerek egyedüli gyártásától, és az $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ rendszeren felépülő termékek mellett SiO_2 , TiO_2 , ZrO_2 , Al_2O_3 , Cr_2O_3 , MgO , BaO , CaO , SrO , Na_2O , K_2O , Li_2O -ból és egyéb anyagokból álló egy-, két-, három- és többkomponensű rendszerekbe tartozó termékek előállításával is foglalkozik. Az újabb definíció szerint *a kerámiai termékek a természetben előforduló vagy mesterségesen előállított szervesetlen alapanyagokból formázott és nagy, de olvadáspontjuknál kisebb hőmérsékleten kiégett anyagok.*

A kerámiai ipar egyes ágai:

durvakerámia	általában az építőanyagok (tégla, cserép, tűzálló anyagok) gyártástechnológiájával foglalkozik
finomkerámia	a porcelán, szteatit, kőedényárak gyártását tárgyalja. Ide sorolják a köszörűszerszám- (csiszolókorong) gyártást is
oxidkerámia	főleg a híradástechnikában használt, oxidrendszerekből felépülő termékek előállításával foglalkozik. Ide tartoznak tágabb értelemben a félvezetők és mágneses tulajdonságú kerámiai anyagok is
fémkerámia	az ún. cermetek. Ezek fémporokból és kerámiai alapanyagokból készített különleges tulajdonságú termékek (pl. rakéták szerkezeti anyaga). Egyesítik a kerámiai termékek kiváló hőállóságát a fémek rugalmasságával

3.2.1. A kerámiai iparok nyersanyagai

A kerámiai ipar számos különböző sajátosságú nyersanyagot használ fel, amelyek a képlékeny és nem képlékeny anyagok csoportjába sorolhatók. A fentiekén kívül megemlíthetjük még a soványító, ömlesztő, plasztikusságot adó adalékokat és szándékosan (pl. rácshiba céljából) bevitt szennyeződések is, amelyek szintén a kerámiai ipar nyersanyagai közé sorolhatók.

Agyag: Az agyag agyagásványokat tartalmazó laza, törmelékes kőzet, rendszerint 2 μm nél kisebb szemcsemérettel. Az agyagásványok főleg földpátokat tartalmazó anyagkőzetekből

származnak, a kőzeteknek a légköri hatásokra bekövetkező szétmállásakor. Az agyagásványok víztartalmú alumínium-szilikátok, átlagos kémiai összetételük $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (0,3-8)\text{SiO}_2 \cdot (0,5-19)\text{H}_2\text{O}$, de más elemek is előfordulnak (pl. magnézium, vas(III), kálium). Kémiai összetételük és kristályszerkezetük alapján az agyagásványok három csoportba sorolhatók: kaolinit, montmorillonit és alkáli-tartalmú csillámok.

Az agyag jellemző sajátossága, hogy vízzel összegyúrva jól formázható, képlékennyé válik a kiformázott test alakját száradás után is megtartja, kiégetése folyamán képlékenységet elveszti, és kemény, kőszerű kerámiai anyaggá alakul át.

A kalcium-karbonátot nagyobb mennyiségben tartalmazó agyagot márgának nevezik.

Szilícium-dioxid: Az agyag mellett a SiO_2 a kerámiai ipar legfontosabb alapanyaga. A kristályos kvarchomok, a kvarcit, homokkő, tűzkő, az amorf SiO_2 a legismertebb előfordulási formái. Főképpen az agyag ún. soványítására használják finomszemcséjű vagy őrlött állapotban, de egymagában is szerepelhet kerámiai alapanyagként. A tűzálló szilikátgyártmányok fő tömegükben kristályos szilícium-dioxidból készülnek.

Földpátok: Sok kőzetben (gránit, trachit) és a legtöbb agyagban megtaláljuk, mint kísérő alkotórészt. Önállóan, tömeges kőzet alakjában is előfordul. Különböző összetételű fajtái közül a kerámiában főleg a káliumföldpátot alkalmazzák (pl. ortoklász: $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$). A földpát sovány, nem képlékeny anyag. Alkalmazásának jelentősége azonban nem soványító hatásában van, hanem abban, hogy kerámiai anyag tömörre égetését elősegíti és egyidejűleg keménnyé, szilárdá és szívóssá teszi azt.

A földpát 1000°C felett a kristályos állapotból fokozatosan az üveges állapotba megy át, 1200 – 1300°C között megolvad. Olvadt állapotban kis mértékben oldja az agyagásványokat és a kvarcot, földpátüveg képződik, amely a kerámiai anyag alkotórészeit összeragasztja és az agyagrészecskék közötti pórusokat többé-kevésbé kitölti.

Mésző, márga-, magnezit-, dolomit- és egyéb alkáliföldfém-tartalmú anyagok: A mészkő, a márga, a magnezit és a dolomit az agyaghoz hasonlóan tömegesen, üledékes kőzetek alakjában fordul elő a természetben. A földkéregnek jelentős alkotórészt képezik Alkáliföldfém-karbonátokból állnak, de felépítésükben szilikátok és más ásványok is részt vehetnek.

Kalcium-karbonát-tartalmú kőzet a mészkő, a márvány, a kréta és a márga. A magnezit anyaga magnézium karbonát. A dolomit kalcium-magnézium-karbonát.

A fenti anyagok hatása kerámiai adalékként többirányú. Mint soványító-anyagok csökkentik az agyag képlékenységet, továbbá száradási és égetési zsugorodását, ha a kerámiai terméket nem égetik tömörre, annak porozitását, lyukacsosságát növelik.

3.2.2. Kerámiai termékek gyártástechnológiája

A kerámiai anyagok gyártástechnológiája az alábbi négy fő műveletre tagozódik:

1. anyagelőkészítés, aprítás, őrlés
2. formázás,
3. szárítás,
4. égetés, amit esetleg további megmunkálás is követ.

Az égetés során mennek végbe azok a kémiai reakciók, amelyek hatására a kiformált nyersmassza kerámiai anyaggá válik. Az égetés alatt a masszában különböző folyamatok játszódnak le. Ezek lehetnek szilárd állapotban végbemenő reakciók, kristályos anyagok szétesése, új kristályos vegyületek képződése, olvadékképződés, zsugorodás, nagy hőmérsékleten végbemenő oldás, ugyanazon anyag modifikációs változásai. E változások mértéke függ az égetés vezetésétől, a felfűtés sebességétől, az égetés hőmérsékletétől, a legnagyobb hőmérsékleten való égetés időtartamától és a lehűtés sebességétől. Ezekon kívül a kemence redukáló vagy oxidáló atmoszférájának is fontos

szerepe van. Az égetés folyamán az anyagszerkezet megváltozik, az égetési hőmérséklettől függően lyukacsossá vagy tömörre válik, elveszti alakíthatóságát, kemény és szilárd, továbbá légköri hatásokkal, faggyal stb. szemben ellenálló lesz. E folyamatokat többnyire térfogatváltozások kísérik, melyek zsugorodás, néha duzzadás alakjában jelentkeznek.

Az égetési hőmérsékletet a kiégetendő anyag összetétele és a kívánt termék minősége szerint kell megválasztani. A fontosabb kerámiai anyagok égetési hőmérséklete a következő:

Tégla, fazekasáru, kályhacsempe	920–1000°C
Meszes és földpátos kőedény	1100–1250°C
Kőagyagáruk, keramit saválló anyagok	1200–1350°C
Porcelán különböző fajtái	1250–1450°C
Tűzálló anyagok	1300–1700°C

Az égető kemencék működési elvük, alakjuk és méreteik szerint sokfélék. Lehetnek szakaszos és folytonos üzeműek, a tüzelőanyag szerint fa-, szén-, olaj-, gáz- és villamos fűtésűek. A kerámiai anyagokat szabad tűzben vagy (hogy az anyag ne érintkezzen közvetlenül a lánggal) tűzálló tokokban égetik. A közönséges kerámiai árukat, téglákat, fazekasárut, kályhacsempét és kőagyagárut csak egyszer égetik. A kőedényt és részben a porcelánt is kétszer, először máz nélkül, másodszor mázzal. Máz felett díszített tárgyakon esetleg harmadszori égetéssel a díszítésre használt festést égetik be.

3.2.3. Kerámiai termékek

Agyagból égetett közönséges téglák és cseréptermekek

Ebbe a csoportba a tömör és üreges téglák és tetőcserepek tartoznak. A nedves vagy félszáraz úton formázott és 920–1000°C-on kiégetett téglák és cserepek nélkülözhetetlen anyagai az építőiparnak. Előállításukhoz kis olvadáspontú, nem tűzálló, vas-oxidot, márgát és homokot tartalmazó agyagokat használnak. A sok agyagásványt tartalmazó túl zsíros agyagok önmagukban építőanyagok előállítására nem alkalmasak, mert a formázott testek száradáskor és égetéskor deformálódnak és repednek. A zsíros agyagot homokkal vagy homokos agyaggal kell soványítani.

Színük az összetételüktől, elsősorban vas-oxid- és mésztartamuktól, valamint az égetés hőmérsékletétől függően: rózsaszín, piros vagy sárga. A hagyományosan tömör termékeket az üreges, majd egyre inkább a nagy üregtartalmú vázkerámiák váltották fel.

A téгла- és cserépgyártmányok fontosabb műszaki tulajdonságai:

Anyagi összetétel. A zárványok és az oldható sók befolyásolják. Káros hatásuk annál nagyobb, minél nagyobb az oldhatóságuk és térfogat-növekedésük a kristályosodás folyamán.

Szilárdság. A minősítésük alapja. A téгла és cserép főképpen nyomásra és hajlításra van igénybe véve, ezért ezeket vizsgálják.

Porozitás, vízfelvevő-képesség. A téгла és cserép kapilláris pórusos szerkezetű anyag. A pórusrendszer részben mikropórusos (a pórusok kisebbek, mint 0,5 μm), részben makropórusokból áll.

Fagyállóság. A víz fagyásakor bekövetkező térfogat-növekedése miatt, ha a pórusokban nincs elegendő hely, vagy a víz a pórusokból nem tud távozni és nincs az anyagnak kellő mechanikai ellenálló képessége, a termék nem fagyálló.

Víztartó- és vízáteresztő képesség. A víztartó képesség a tetőcserepektől megkívánt tulajdonság. A tetőcserepeknek a vizet még hosszú ideig tartó eső és nagy szélnyomás mellett sem szabad át bocsátaniuk.

Hőtechnikai, hangtechnikai tulajdonságok (hőszigetelés, hőtároló képesség, hanggátolás).

Tűzálló anyagok

A tűzálló építőanyagok a kazánok, égető- vagy olvasztókemencék, kohók belső falazatának építőelemei, amelyek a nagy hőmérsékletnek tartósan ellenállnak. A kerámiai és kohóiparban tűzállónak nevezik azt az anyagot, amely a szabványban előírt felfűtési sebesség mellett 1580°C -nál nagyobb hőmérsékleten olvad.

Masszájuk általában két alkatrészből áll. Fő tömege egy nem plasztikus őrlemény, rendszerint kisebb mennyiségű másik része képlékeny kötőanyag, amely az őrlemény szemcséit körülveszi és összetapasztja. A legfontosabb tűzálló anyagok: samott, szillimanit, szilika, magnezit, kromit, dolomit, alumínium-oxid, szilícium-karbid és grafit.

A tűzálló építőanyagok műszaki jellemzői *a tűzállóság, a terhelés alatti lágyulás, a térfogatállandóság, a porozitás, a pontos méret, a hővezetési tényező, az ellenálló képesség hirtelen hőmérsékletváltozásokkal, kémiai hatásokkal és elsalakosodással szemben.*

Porcelán

A porcelán tömörre égetett fehér kerámiai termék, cserepe áttetsző. Kínában már évezredekkel ezelőtt készítették porcelánárukat. Európában a porcelángyártás titkát az alkimista BÖTTGER fejtette meg (1709-ben). A finomkerámiai termékek mindegyikének kiinduló összetétele az alábbi tulajdonságú anyagokat tartalmazza : a) plasztikus anyag, b) soványító, nem plasztikus anyag, c) ömlesztő anyag. A klasszikus német porcelán átlagos összetétele 50% kaolin, 25% kvarc, 25% földpát. A porcelánmáz ugyanezekből az anyagokból áll, de a nehezen olvadó kaolinból kevesebb, a könnyen olvadó földpátból pedig valamivel több van benne.

A porcelán nagy szilárdságú (200–400 MPa), máza saválló, nem repedezik és elektromos árammal szemben szigetel. Jó tulajdonságai miatt nagyon alkalmas étkezőkészletek, háztartási edények, egészségügyi berendezések, elektrotechnikai cikkek stb. készítésére. Minél több a masszában az Al_2O_3 annál nagyobb hőmérsékleten kell égetni a porcelánt, de az ilyen porcelán ellenállóbb (szigetelők, technikai porcelánok), míg a SiO_2 -ban viszonylagosan dúsabb porcelánok kisebb hőmérsékleten égethetők, áttetszőbbek, de nem olyan ellenállók (dísztárgyak).

A porcelánmasszából a tárgyakat gipszformák és sablonok segítségével fazekas korongokon vagy öntéssel és sajtolással formálják. A finomabb árakat szabadkézzel alakítják. Formálás után az árakat pormentes helyen megszáritják, majd az égetőkemencében kb. 900°C-on kiégetik. A porcelán anyaga az első égetés után még lyukacsos, vízszívó és eléggé törékeny. Az első égetés után a porcelánt mázzal látják el, majd másodszor is égetve, kezdődő olvadásig (kb. 1400°C-ig) hevítik. Ekkor a benne levő földpát megolvad, kitölti a hézagokat úgy, hogy az alapanyag tömörre, üvegszerűvé és áttetszővé válik. A könnyebben olvadó máz tökéletesen összeolvad az alapanyaggal, sima bevonatot alkot. A porcelán (máz alatti és máz feletti) festésére fém-oxidokat vagy fém-oxidokkal megfestett színes üvegek porát használják.

Köszörűszerszámok (csiszolókorongok)

A gépipar és elsősorban a gépgyártás-technológia számára fontos köszörűszerszámok túlnyomó része is a szilikátipar terméke, mivel kerámiai kötéssel készül. A kerámiai kötésű köszörűszerszámok csiszolószemcsékből és az ezeket összetartó kötőanyagból állnak. A legáltalánosabb szemcséfeleségek a különböző tisztaságú $\alpha-Al_2O_3$ (korund), a fekete (szénnel szennyezett) és a zöld SiC (szilícium-karbid).

A korundszemcse kötése üvegszerűen megolvadó, a szilícium-karbid kötése porcelánszerű kerámiai kötést alkalmaznak. A kötőanyag mennyisége a megkívánt kötésesterősségtől függően 12–25% között változik. A kötésesterősség (-keménység) fokozatait az A–B–C betűvel jelölik. A kötésesterősség tulajdonképpen a kötés tartósságát jelöli. A csiszolószemcse munkaélei és sarkai forgácsolás közben elkopnak, a felület növekedése miatt egyre nagyobb erő hat rájuk, aminek következtében előbb-utóbb a szemcséket összetartó kötőanyag-hidak eltörnek, az elhasználódott

szemcse a szerszámból kifordul, helyet adva a következő, friss, éles szemcsének (*önélező képesség*). A kötés erősségének így összhangban kell lennie a forgácsolás közbeni igénybevétellel.

Nagyobb kerületi sebességgel végzett megmunkálásra a kerámiai kötés nem alkalmas, ekkor a rugalmasabb bakelit vagy gumikötést alkalmazzák. Bakelit kötésűek a vékony vágókorongok is, amelyek 120 m/s kerületi sebességig használhatók. Még vékonyabb, még rugalmasabb vágókorongok készítésére keménygumi-kötést alkalmaznak. Éghető szemcsék sem köthetők kerámiai kötéssel, ezért pl. ha gyémántból kell csiszolókorongot készíteni, azt vagy bakelittel, vagy ha a bakelit hőérzékenysége zavar, fémkötéssel készítik.

Kerámiai burkolóanyagok

A különböző anyagokból készülő mázas vagy máztalan kerámia lapok dekoratív és higiénikus tulajdonságai, hosszú élettartama, tűzállósága alapján alkalmasak a lakó-, köz-, és ipari épületek falainak, padlóinak burkolására. A széleskörű felhasználás figyelembevételével megkülönböztetnek fagyálló és nem fagyálló fal-, vagy padlóburkoló lapokat, mázast vagy máz nélkülit. A formázás módja szerint sajtoltat, extrudáltat vagy öntöttet.

Új típusú kerámiák

Oxidkerámiák

Az oxidkerámiai szerkezeti anyagok oxidokból, vagy oxidvegyületekből álló, üveges fázist nem tartalmazó polikristályos anyagok. Az oxidok nagy kötési energiája miatt e vegyületek igen stabilak (nagy a keménységük és a nyomószilárdságuk), villamos szigetelők és vegyileg ellenállók.

Fontos képviselőik a következők:

- Oxidok (aluminium-oxidok: Al_2O_3 , cirkónium-oxid: ZrO_2 , titándioxid: TiO_2 , berrilium-oxid: BeO , magnézium-oxid: MgO)
- titanátok
- ferritek ($\text{MO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ pl. $\text{BaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, $\text{SrO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$)

Oxidmentes kerámiák

Az oxidmentes keramikai anyagok, ún. kemény tulajdonságú anyagok: karbidok, nitridek, boridok és szilicidok. Általában nagyrészt kovalens kötésűek ezért nagy az olvadáspontjuk, a rugalmassági moduluszuk, szilárdságuk és keménységük. Emellett a kemény anyagféleségek nagy részének nagy villamos és hővezetőképessége és jó az ellenállóképessége agresszív közegekben.

3.2.4. Kötőanyagok

Kötőanyagok fogalma és osztályozása

Kötőanyagoknak nevezzük azokat az anyagokat, amelyek – kémiai és fizikai folyamatok hatására – képesek folyékony vagy pépszerű állapotukból szilárd állapotúvá átalakulni, szilárd állapotukat (szilárdságukat) időnként folyamán általában fokozni, s ezáltal a hozzájuk kevert szilárd anyagokat (adalékanyagokat) is összeragasztani. A kötőanyagoknak ez az értékes tulajdonsága teszi lehetővé széleskörű alkalmazásukat az építőiparban.

A kötőanyagok csoportosíthatók természetes (agyag bitumen) és mesterséges (mész, gipsz, cement) kötőanyagokra. Megkülönböztetünk ásványi eredetű, ún. szervesen kötőanyagokat (agyag, mész, gipsz, cement) és szerves kötőanyagokat (bitumen, enyv, gyanta). A kötőanyagok nagyobb része szervesen, és jelen fejezetben csak a szervesen kötőanyagokat tárgyaljuk. Halmazállapotuk illetve előállításuk szerint a kötőanyagok lehetnek folyékonyak (vízüveg) vagy szilárd halmazállapotúak (klinker, égetett darabos mész). Ez utóbbiakat rendszerint por alakban használják fel (gipsz, cement, méshidrátt).

A kötőanyag kötőképesség egyes esetekben fizikai folyamat révén jön létre: kiszáradás (a főlös folyadék elpárolgása), megdermedés, kocsonyásodás stb. folytán (agyag, vízüveg stb.), más esetekben kémiai folyamatok során (mész, gipsz cement). A fizikai folyamatok, amelyekben a kötőképesség előáll, megfordíthatók, így a kötőképesség csak az általa kialakított fizikai állapotban meg. Így pl. a legősibb kötőanyagnak, az agyagnak a kötőképessége a kiszáradáson alapszik, ha viszont vízzel érintkezik, szétmállik.

A ma használt kötőanyagok legnagyobb része por alakban előállított szervesetlen anyag, amelyhez vizet keverve a kötőképesség kémiai folyamatok után áll elő. Ezen anyagok kötőképességének kialakulása rendszerint két szakaszra osztható. Az első szakaszban a vízzel összekevert kötőanyagok pépszerű halmazállapotból szilárd halmazállapotba jutnak. Ez a halmazállapot-változás mellett a vegyi folyamat megindulását is jelenti. A második szakaszban a már szilárd halmazállapotúvá vált anyag szilárdsága, kötőereje a kémiai folyamat mind erőteljesebb előrehaladása miatt növekszik. Az első szakaszt kötési, a másodikat szilárdulási folyamatnak is nevezik.

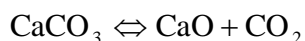
A kötőanyagok három csoportra oszthatók: nem hidraulikus, hidraulikus és gyengén hidraulikus kötőanyagok, hidraulitok csoportja.

Nem hidraulikus, levegőn szilárduló kötőanyagok

Ezek a kötőanyagok csak levegőn tudnak megkötni, megszilárdulni, szilárdságukat megőrizni vagy növelni. Víz alatt nem képesek megkötni, és a víz hatásának huzamosabb ideig nem tudnak ellenállni.

Mész

Nyersanyaga a mészkő (CaCO_3), amely hegységeket alkot. Előállítására az olyan mészkő alkalmas, amelynek kovásv-, ill. agyagtartalma 10%-nál kisebb. Az égetett mész előállítása egyensúlyi folyamat a következő reakció szerint:

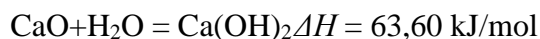


Egy kg égetett mész előállításához elméletileg 3,18 MJ hőmennyiség szükséges.

Gazdasági szempontból a kisebb darabnagyság és 900°C-nál nagyobb hőmérséklet alkalmazása látszik indokoltnak. Az égetés hőmérsékletét azonban nem szabad 1200 °C fölé növelni, mert nagyobb hőmérsékleten a részben összeomlott CaCO_3 kristályrács helyett kialakul a CaO állapotának megfelelő tömör rácsszerkezet, az ún. agyonégetett mész, ami vízzel csak igen lassan reagál. Az agyonégetett mész iparilag használhatatlan, sőt jól égetett mészbe keverve az utólagos oltódás révén a vakolat lepattogzását eredményezi, tehát képződését el kell kerülni.

Az égetett mész előállítására szolgáló akna-, kör- vagy ritkábban forgó csökemencékben három folyamat játszódik le: az anyag szárítása, a termikus bomlás (dekarbonizáció) és a hűlés.

Az égetett mész vízzel hőfelszabadulás közben reagál, oltott mész keletkezik:



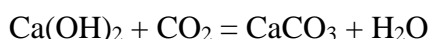
A felszabaduló hő 1 kg CaO-ra számítva 1,13 MJ.

Oltás után a mézpép leülepszik, térfogata az égetett mészének mintegy háromszorosa. A kolloidális állapotú kalcium-hidroxid ugyanis a hidroxidképződésen felül további vízmolekulát tud felvenni, duzzad. A telített $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -oldatot mésvíznek, az ennél több meszet tartalmazó tejszerű oldatot – amelyben a pép szilárd szemcséi lebegnek – mésztejnek, a lapátolható üledéket mézpépnek nevezik.

Az égetett meszet kevesebb oltóvízzel (32-35%-kal) porrá is lehet oltani -mészhidrát-, amelynek előnye, hogy előállítását gyárban üzemszerűen végezhető, zsákolva szállítása egyszerű, hátránya azonban, hogy nedvességre érzékeny és feldolgozás közben porképződésre hajlamos.

Mészhabarcs. A habarcsot kötőanyag, adalékanyag és víz összekeverésével, esetleg különböző javítóanyagok (fagyálló, víztaszító stb. szerek) adagolásával állítják elő. A mészpép és homok keverékéből készül a téglafalak kötőanyaga és vakolata, a mészhabarcs. A homok a töltőanyag, ami a zsugorodást és a szüksége mész mennyiségét csökkenti.

A kötés folyamata:



A folyamatban tehát az égetés során elveszített CO_2 -ot a levegőből visszaadva, valamint az oltás során hozzáadott vizet visszanyerve újra CaCO_3 képződik, de most már az általunk megkívánt formában. A kötetést a CO_2 koncentráció növelésével, az oltott mész eredeti víztartalmának és a reakció folyamán képződő víznek az eltávolításával (szárítás) lehet gyorsítani. Mindkét célt szolgálhatja új épületekben kokszt elégetése vaskosarakban. A mészke vízben kevésbé oldódik, a szénsavtartalmú víznek azonban nem áll ellen [ld. a víz fejezetben is felírt fontos egyenletet: $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{Ca(HCO}_3)_2$], ami az égetett mész felhasználását építőipari kötőanyagként bizonyos mértékig korlátozza.

Gipsz

A kalcium-szulfát természetben előforduló fajtái a gipsz ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) és az anhidrit (CaSO_4). Építési célra mindkettőből lehet kötőanyagot előállítani.

A kalcium-szulfát 30°C -nál kisebb hőmérsékleten 2 molekula kristályvízzel kristályosodik, ennél nagyobb hőmérsékleten anhidrit képződik. A gipsz kristályvizének $\frac{3}{4}$ részét melegítés hatására elveszti. A porrá őrölt anyag vízleadása 120°C -on hevesen indul meg. A képződő hemihidrát ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) vízzel keverve a leadott vizet ismét felveszi, és mintegy 1%-os térfogat-növekedés közben kemény tömeggé szilárdul.

Magasabb hőmérsékleten, $180\text{-}200^\circ\text{C}$ -on a gipsz mindkét molekula vizét leadja és oldható anhidritté alakul. Ez a kis víztartalmú anyag igen jó kötési tulajdonságokkal rendelkezik.

$400\text{-}750^\circ\text{C}$ között égetve a gipszből nem jól oldódó anhidrit képződik (agyonégetett gipsz), ami az igen lassú vízfelvétel miatt építőipari célokra egyáltalán nem alkalmas, $800\text{-}1300^\circ\text{C}$ -on égetve, a CaSO_4 kis mértékben (néhány %-ig terjedő mennyiségben) disszociál:



E disszociáció és a kristályszerkezet változása következtében az anhidrit ismét aktív és vízfelvételre hajlamosá válik.

A gipszet többféle formában hozzák forgalomba: *formagipsz*, *alabástrom- és modellgipsz*, *vakológipsz*. Ezek a tisztaságban, az őrlési finomságban és az égetési technológia miatt eltérő módosulatokban különböznek.

Hidraulikus kötőanyagok (cementek)

A hidraulikus kötőanyagok jellemzői

Hidraulikus kötőanyagoknak nevezzük az olyan finomra őrölt anyagokat, melyek vízzel péppé keverve levegőn is és víz alatt is megszilárdulnak és a keverés közben hozzáadott adalékanyagokat (homok, kavics, zúzalék) vízzel oldhatatlanul összeragasztják.

A legnagyobb mennyiségben felhasznált mesterséges hidraulikus kötőanyag a portlandcement. A cementek alapanyaguk, illetve vegyi összetételük szerint lehetnek szilikátcementek, ill. aluminátcementek. Szilárdságuk tulajdonképpen hordozói, a szilikátok ill. aluminátok. Az előbbiek közé tartozik maga a portlandcement. Megkülönböztetünk még, homogén cementeket, amelyek az alapanyagon kívül legfeljebb a kötést szabályozó néhány százalék gipszet; heterogén cementeket, amelyek jelentékeny százalékban hidraulikus kiegészítő anyagot (kohósalak, trasz, pernye) tartalmaznak, valamint különleges cementeket, amelyek speciális célokat szolgálnak.

Az építőipari csoportosítás alapja a cement szilárdsága. Eszerint megkülönböztetünk 600-as, 500-as, 400-as, és 300-as cementet. Ez a minősítés annyit jelent, hogy a szóban forgó cementből készült földnedves habarcsnak a 28 napos szabványos nyomószilárdsága legalább 60, 50 stb. MPa.

A cement előállítása

Nyersanyaga agyag és mész vagy különféle márgák. Az összetételét úgy állítják be, hogy kalcium-karbonát-tartalma kb. 76-78% legyen. A kitermelt anyagokat több fokozatban aprítják, majd a kívánt vegyi összetételnek megfelelően mesterségesen állítják össze a keveréket, és száraz nedves őrléssel készítik elő. Az égetés akna-vagy forgókemencében történik.

A forgókemence 3-4% lejtésű, alátámasztott, tűzálló béléssel kifelé fordított, forgó acélhenger, amelyben az égetendő anyag a forró füstgázokkal ellenáramban lassan végiggördül és közben klinkerré kiég. Hossza meghaladja a 200 métert és átmérője a 6-7 m-t. A magasabban fekvő végén juttatják be az ún. nyerslisztet vagy a nyersanyagból előállított iszapot, az alacsonyabb végén fűjják be a tüzelőanyagot (porszenet, gázt, olajat). A korszerű forgókemencékhez hőcserélő csatlakozik, amely a kemence szárító és előmelegítő részét helyettesíti. A füstgázok hőjének jobb kihasználásával az égetést gazdaságosabbá is teszi. A belépő nyersanyag előbb kiszárad, majd 500-700°C körül elveszti hidratvizét. 800-1100°C körül a kalcium-karbonát elbomlik, e felett (1100-1450°C) a kalcium-oxid egyesül az agyag alkotórészeivel (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3), közben az anyag zsugorodik, s egy része megolvad.

Az átmenetileg kialakuló olvadékból nagy kalcium-oxid-tartalmú ásványok kristályosodnak ki: ez a folyamat a klinkerképződés. Az égetés közben összeolvadt szemcsés anyag a klinker. A forró klinkert hűtődobban gyorsan lehűtik, hogy a nagy hőmérsékleten keletkező klinkervegyületek stabilak maradjanak. A kemencéből kikerülő klinker sötétszürke színű és az alkalmazott égetési módtól függően különböző nagyságú (5-25mm) gömb alakú kemény szemcse. A lehűtött klinkert általában 1-2 hétig tárolják. A klinkerhez – finomra őrlés előtt – a kötési idő szabályozása céljából néhány százalék gipszkövet ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) adnak.

A cementek vegyi összetétele és kötése

A portlandklinker elsősorban kalcium-szilikátokat [trikalcium-szilikát, $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$; dikalcium-szilikát, $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$; trikalcium-aluminát, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$; tetraalkalcium-aluminát-ferrit, $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$] tartalmazó, ún. klinkerásványokból álló termék, MgO-tartalma nem lehet nagyobb 5%-nál.

A klinkerásványok 1250 °C fölötti hőmérsékleten stabilak, amelyek gyors hűtéskor megmaradnak metastabil állapotban.

A portlandcement portlandklinker és kötésszabályozó gipszkő finom őrlménye. Tartalmazhat esetleg különleges célokat szolgáló cementgyártási segédanyagokat (légpórus-képző, plasztifikátor, szilárdulás gyorsító stb.) is a szabvány előírásainak megfelelő kis mennyiségben.

A por alakú cement, vízzel összekeverve képlékeny, önthető, formálható masszává alakul, amely rátapad az adalékanyagok (homok, kavics) felületére. Ez a massa egy idő után elveszti képlékenységet, viszkozitása megnövekszik, majd egész tömegében megszilárdul. A víz hatására a cement-víz rendszerben kémiai változások mennek végbe. Ebben a változásban valamennyi klinkerásvány részt vesz. E változások kétféleképpen lehetnek: hidrolízis és hidratáció. A hidrolízis során a klinkerásványok a víz H^+ és OH^- ionjai hatására átalakulnak stabil kalcium-hidroszilikátokká és kalcium-hidroaluminátokká.

Beton

A beton kötőanyag (cement), adalékanyagok (kavics, homokos kavics, kőzúzalék, salak, kohósalak stb.) és víz felhasználásával készült építőanyag, amely keverés és zsaluzatba helyezés után megszilárdul. A víz egyrészt a kötés megindítása miatt, másrészt technológiai szempontból, a beton bedolgozhatósága miatt szükséges. A beton nyomószilárdsága nagy, húzószilárdsága kicsi.

Szilárdságra jellemző szám a beton 28 napos előírt kezelés után elért nyomószilárdsága MPa-ban. Például a B 140 jelzésű beton 28 nap utáni nyomószilárdsága legalább 14 MPa.

A beton előírt szilárdságának elérése a cement minőségén és mennyiségén kívül az adalékanyag helyes megválasztásától, annak szemszerkezetétől és a minőségétől, a keveréshez felhasznált víz mennyiségétől, a beton bedolgozásának módjától és utókezelésétől is függ. A víz és cement mennyiségének arányát víz-cement tényezőnek (W) hívják. $W=vl/c$, ahol „ v ” az 1 m³ beton készítéséhez használt víz és „ c ” a cement tömegét jelenti, értéke általában 0,4–1,0. A vízadagolás növelésével a beton szilárdsága csökken, ezért a képlékenység fokának megváltoztatása esetén az adagolandó cementmennyiséget is növelni kell. A bedolgozandó cement lehet: földnedves, képlékeny (plasztikus) és erősen képlékeny (önthető beton).

A vasbeton szerkezetek betonból és betonba ágyazott acélszálakból állnak. A terhelés hatására keletkezett nyomó igénybevételt általában a beton, a húzó-, ill. hajlító igénybevételt az acél veszi fel. A beton és a vas a két anyag érintkező felületének tapadása útján szerkezetileg együttműködik. A beton és az acél együttműködése a két anyag jó tapadásán, továbbá azon alapszik, hogy hő hatására közel egyenlő mértékben tágulnak.

A betonra károsan hat minden sav, még a gyenge szerves savak, szénsav, humuszsav is, mert a kalcium-oxidot kioldják. Cukrok, gyümölcslevek a betontesteket meglágyítják, mivel kalciumszaharátok képződnek. A talajvíz szulfát tartalma a betont kalcium-szulfó-aluminát ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 30-32H_2O$, cenentbacilus) képződése mellett szétmorzsolja. Ezért különösen fontos az építkezések előtti talajvizsgálat során a talajvíz szulfáttartalmának meghatározása.

A beton lúgokkal szemben általában ellenálló, a petróleum, benzol, benzol szintén veszélytelen, a lenolaj, ricinusolaj, vaj, zsírok hatása káros. A betonkorrozio mértéke annál nagyobb, minél töményebb az érintkező oldat, minél több oldat éri, minél nagyobb a hőmérséklet, és minél könnyebben tud a folyadék behatolni a betonba. Annál ellenállóbb viszont a beton, minél nagyobb a vízzárósága, minél kedvezőbb a hézagok összefüggése, minél több cementet tartalmaz és minél kevesebb a kötéskor keletkezett szabad mész.

A betonkorrozio ellen védekezhetünk megfelelő cementfajta megválasztásával (S 54-es szulfátálló cement, kohósalakkal, trasszal készült cementek), vízzáró beton készítésével és megfelelő felületi védőrétegek között az okratálással, amelynél szilícium-tetrafluorid gáz a beton felületén lévő kalcium-hidroxidot vízben oldhatatlan kalcium-fluoriddá és szilícium-hidroxiddá alakítja. Megóvhatjuk a betont a korroziotól az agresszív vizek elvezetésével, agresszivitásuk kémiai vagy biokémiai úton történő megszüntetésével is.

3.2.5. Üveg

Az üveg fogalma és összetétele

Az „üveg” szó két fogalmat képvisel, jelenti egyrészt magát a kereskedelmi terméket, másrészt azt az állapotot, amelynek energiatartalma folyékony és a kristályos állapot közé esik. Ahogyan a 3.1.4. ábrán már bemutattuk, valamely anyag akkor kerülhet üveges állapotba, ha azt folyékony állapotból elég gyorsan hűtik le, hogy kristályosodás nélkül dermedjen meg. Az üveg átmeneti jellege abban jelentkezik, hogy egyesíti magában a szilárd halmazállapot ridegségét a folyadékok szerkezeti rendezetlenségével. Az üveges állapot kialakulásának kedvez, ha az olvadék

viszkózitása nagy a likvidusz hőmérséklet közelében, ahol a kristályos fázis az olvadékkal egyensúlyban van.

Az üvegalkotó oxidokat három csoportba osztják:

egymagukban üveget képezhetnek a hálózatképzők, vagyis a Si^{4+} Ge^{3+} P^{5+} As^{3+} Sb^{3+} oxidjai, részt vehetnek a hálózatképzésben, azaz helyettesítők az Al^{3+} Sn^{4+} Ti^{4+} Zr^{4+} oxidjai és Be^{2+} Mg^{2+} Zn^{2+} Fe^{2+} Fe^{3+} Ni^{2+} stb. oxidjai, változtatják a poliéderek csatlakozását, ezért módosítók a Li^+ Na^+ K^+ Rb^+ Cs^+ Ca^{2+} Sr^{2+} Ba^{2+} Pb^{2+} oxidjai.

A helyettesítő oxidok második sora, koncentráció függvényében, módosító is lehet.

Az üveg szerkezetét elsősorban a rácsképző ionok mennyisége jellemzi. A rácsképző ionokból alakul ki a szerkezeti váz. Az üveg szerkezetét ugyanis $[\text{SiO}_4]^{4-}$ tetraéderek kapcsolódása alakítja ki. A tetraéder középpontjában rácsképző kation helyezkedik el, amelyet négyes koordinációban oxigénionok vesznek körül. A rácsképző kation-oxigénion sugáráránya 0,2 és 0,4 között változik.

Csaknem minden iparilag előállított üvegnek szilícium-dioxid az alapja, tehát a rácsképző kation a szilíciumion. Az üvegek különböző oxidok összeolvasztásának eredményei. Összetételüket az alkotó oxidok tömegszázalékában adják meg, ami azonban nem jelenti azt, hogy az üvegben önálló oxidmolekulák szerepelnek.

A kvarcüveg egymagában is kitűnő tulajdonsággal rendelkező üveg, de előállításához nagy hőmérséklet szükséges s ez közhasználati cikkek előállítását gazdasági és termelékenységi szempontból nem teszi lehetővé. Az olvadékba bezárt levegő eltávozásához 1800 °C-ot jóval meghaladó hőmérséklet szükséges, a formázás pedig még ilyen körülmények között is igen nehéz.

Az alkáli-oxidok a szilícium-dioxid olvaszthatóságát segítik elő. Gyakorlati célokra elsősorban a nátrium-, továbbá a kálium-oxid jön számításba. A szilícium-dioxidból és nátrium-oxidból álló üveget a gyakorlatban vízüveg néven ismerik. Ez az üveg vízzeloldható és e tulajdonsága miatt nem alkalmazható az üvegtől egyébként megkívánt célokra. Ilyen üvegből gyártott palackban nem tárolható folyadék, mert az az üveget oldaná. A vízüveg ezen tulajdonságán segítenek az úgynevezett stabilizáló oxidok, az üveg szerkezetébe beépülő módosító ionok pedig ellenállóvá teszik az üveget kémiai és mechanikai hatásokkal szemben. Az említett stabilizáló oxidok valamelyikének a jelenléte ugyanis a vízüveghez képest növeli az üveg keménységét, nyomó- és szakítószilárdságát.

A kereskedelmi és műszaki üvegekben anionként oxigén szerepel és a szerkezet felépítésében 11 féle kation vehet részt:

SI, P, Al, Mg, Ca, Ba, Zn, Pb, Na, K.

A többi kation és anion csak kísérő vagy színező anyagként szerepel kis mennyiségben. Az üveg közelítő összetétele:



amelyben az R egyértékű az R' pedig kétértékű fémjelöl. Így például a nátronüveg összetétele. $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2$.

Az üveg a természetben nem található. Leginkább a fekete színű obszidián közelíti meg az üveget, amelyet már az őskorban is mint követ faragtak, a rómaiak pedig tükörként használták. Az üveg bár mesterséges termék, mégis 5500 esztendővel ezelőtt már készíteni tudták homokból, mészkőből és szódából.

Az üvegyártás nyersanyagai

A nyersanyagok két csoportra oszthatók: *alapanyagok és segédanyagok*.

Az alapanyagok nem minden esetben állnak oxid alakban rendelkezésre. Nem kémiailag tiszta anyagok, több-kevesebb szennyezést tartalmaznak. Egy-egy nyersanyag rendszerint egy, néha két vagy több üvegalkotót is tartalmaz.

Szilícium-dioxid. Az oxid alapú üvegek legfontosabb alkotórésze. Az üvegipar nyersanyaga a tiszta kvarchomok. Felhasználhatóságát szemcsenagyság megoszlása és vas-oxid, ill. egyéb színező-oxid tartalma határozza meg. Jobb üvegáruk előállítására olyan homok használható, amelynek SiO_2 tartalma 99% felett van, Fe_2O_3 tartalma 0,02%–0,05%. Síküveg előállítására 0, 15%–0, 20% Fe_2O_3 tartalmú homok is felhasználható, míg a zöldüveg gyártására 0, 5% feletti vas-oxid tartalmú homok is alkalmas. (Magyarországon német import kvarchomokot és fehérváracsurgói flotált homokot használnak.)

Szóda vagy nátrium-szulfát szolgáltatja az üveg Na_2O tartalmát, amely a legfontosabb olvasztóhatású oxid. (az NaCl bár olcsó lenne, nem megfelelő, mert nehezen képez olvadékat.)

Kálium-karbonátot különleges üvegek készítésekor az Na_2O egy részének helyettesítésére használnak, kalcinált (vízmentes) hamuszír alakban.

Mészköliszt az üveg CaO tartalmának forrása. Nagytisztaságú kréta vagy márvány, ill. egészen olcsó üvegfélesekhez mészke is felhasználható.

Ólom-oxidot a kristályüvegekhez vagy az optikai célra szolgáló üvegfajtákhoz adagolnak. Fontos az ólom-oxid tisztasága: vastartalma nem haladhatja meg a 0,005-0,008 %-ot. A leggyakrabban használt miniumon (Pb_3O_4) kívül ritkábban PbO -t is használnak. Az ólom-oxid fémólom tartalma az üveget feketére színezi.

Brómvegyületek közül üvegeképző anyagként a bórsavat, rendszerint, mint anhidridet (B_2O_3) és bóraxot ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) használják.

Dolomitból vagy *magnézium-karbonátból* származik az üveg MgO tartalma.

Timföld-hidrát adagolása biztosítja az üveg Al_2O_3 tartalmát.

Az alapanyagokon kívül alárendelt mennyiségben *segédanyagokat* is használnak az üvegolvasztáshoz. Ezek az üveg olvadását, ill. tisztulását segítik elő, elfedik az üvegben levő vas-oxid színét vagy meghatározott színárnyalatot hoznak létre. Az olvasztáskor az üvegben képződő buborékok eltávolítására As_2O_3 -ot vagy nitrátokat juttatnak az üvegbe. Régen burgonyát, répát dobtak a nagyhőmérsékletű olvadékbába, s így a hirtelen képződött gőz a buborékok távozását megkönnyítette.

Az üveggyártás nyersanyagainak ismertetésekor meg kell említeni az üvegcserepet is, amelyet újraolvasztás céljából adagolnak az üveghez. Csak azonos vagy hasonló összetételű üvegcserepet lehet az olvasztáshoz adalékként felhasználni. (Saját cserepnek azt az üvegcserepet nevezik, amely a gyárban a gyártás folyamán keletkezett.) A begyűjtőből vásárolt idegen cserepet felhasználás előtt gondosan analizálni és tisztítani kell. A cserep mennyisége az adagban 10–40 százalék között változhat.

Az üveggyártás technológiája

A gyártás első fázisa a nyersanyagok előkészítése (őrlése és az üveg összetételének megfelelő arány szerinti összekeverése). Ezután az elegy az olvasztókemencébe jut. Ez egy oldalt nyitott, folyamatos üzemű tank, melybe az anyagot a tetején keresztül adagolják be. Az olvasztótér $1500\text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletéről a masszát $1300\text{ }^\circ\text{C}$ -ra hűtik, majd a kemencéből kikerülve a forró, viszkózus üveg megmunkálása (öntés, fúvás, formálás, húzás) a nagyobb viszkozitás elérése érdekében $800\text{--}1000\text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékleten történik. A késztermék végső formáját kikészítés után nyeri el. Lágýtásnál az áru, 60-90 percig alagútkemencében halad, ahol a forró zóna hőmérséklete $500\text{ }^\circ\text{C}$ körüli. Ekkor a gyártásnál a gyors hűlés miatt létrejött lokális anyagfeszültségeket szüntetik meg.

Ellenőrzés után csomagolják, és a felhasználóhoz szállítják. A hulladék-üvegőrlés után újra a keverőkádba és a kemencébe kerül.

Az üvegelosztó kemencében lejátszódó folyamatok öt részfolyamatra bonthatók, amelyek egy időben, egymás mellett mennek végbe. Ezek: Szilikátképződés, üvegesedés, tisztulás, homogenizálás, kidolgozási viszkozitás beállítása.

Az olvasztás első lépését az alapanyagok felmelegedése, a maradék nedvesség eltávozása, bizonyos módosulat változások, az anyag bomlása és szilikátképződési reakciók jellemzik. A keletkezett alkáli- és alkáli-földfém-szilikátok a jelenlevő szénvegyületekkel bonyolult összetételű szilikátvegyületeket képeznek.

Az üvegesedéskor az előző folyamatban képződött szilikátok megolvadnak, és 800-1400 °C között oldó hatást fejtenek ki a kvarcsemcsékre.

Az üvegesedés során légzárványok, buborékok jönnek létre az üvegben, amelyek a keverékekkel bejuttatott levegőből, az alapanyagok bomlásakor felszabaduló gázból, illő keverékalkotórészekből származhatnak.

A tisztulási folyamatban ezeknek a légzárványoknak eltávolítása a cél. Tekintve, hogy ez a folyamat 1400-1500 °C között megy végbe, a kialakuló kis viszkozitás miatt a nagyobb zárványok könnyen a felszínre jutnak és megszűnnek. Akisebb buborékok felszínre juttatása keveréssel, tisztulást elősegítő anyagok (nedves fa, As_2O_3 , $NaNO_3$, KNO_3 stb.) felhasználásával gyorsabbá tehető. Újabban vákuumolvasztással állítanak elő tiszta üveget.

A homogenizálás célja az üveg egyenletes összetételének kialakítása. A homogenizálódás diffúzió útján megy végbe, amit az olvadék termikus áramlása is elősegít. A legkisebb mértékű inhomogenitás is üveghibaként jelentkezik.

A kidolgozási viszkozitás beállítására lassú hűtéssel kell biztosítani azt a plasztikus állapotot, amelynél a kidolgozó gépek jó hatásfokkal működnek.

Az üvegelosztó kemencék fűtésére régebben generátorgázt, ma földgázt és fűtőolajat illetve elektromos áramot használnak. A nagy hőmérsékleten eltávozó füstgázok hőtartalmát regenerátorokban vagy rekuperátorokban nyerik vissza.

Az üvegek formázása

Az üreges és préselt üvegtermékek végső geometriai formájukat mesterségesen előállított formadarabban nyerik el. Az elő és készformák fémből vagy fából stb. készülnek. A formákkal szemben alapvető követelmény, hogy hővezető képességük, hőkapacitásuk és tartósságuk megfelelő legyen.

A formázó erő lehet húzó, nyomó vagy fúvó, és ennek alapján a formázási módszerek: húzás, fúvás, préselés, öntés és centrifugálás.

Siküveg gyártása. Az ablak- és táblaüvegyártás 1920-ig csaknem kizárólag nagyméretű hengerek fúvása útján történt. Manapság a legkorszerűbb táblaüveg-előállítási módszer a Pittsburg-eljárás. A többrétegű biztonsági üveg poli(akrilsav-észter), poli(vinil-acetát) vagy cellulóz-észter ragasztóanyaggal összeillesztett két-három rétegű üveg. Többrétegű (5-7) ilyen üveg már golyóálló. Az edzett biztonsági üveg („Ichor”, „Sekurit” stb.) a kémiai összetételét illetően normál tükörüveg. A kész üveglapot újra felhevítik és levegőáramban egyenletesen, de hirtelen lehűtik. Ennek következtében mindkét felületén jelentős nyomási feszültség keletkezik, aminek következtében sérülés esetén szilánkmentesen, morzsalékosan törik (bolognai üvegcsépp jelensége).

Kirakatüveg. Üvegöntés. Hengerlés. Önteni csak vastag táblákat, pl. kirakatüvegeket szoktak. Ezek készítésekor az üvegolvadékot nagy tömegű hengerek terítik széjjel. Az üvegolvadékot az öntőasztalon szétterítő henger mintázott is lehet, ha áttetsző üveget akarnak készíteni („bordázott”, „ornamens”, „katedrál” üvegek). Tetőfedésre huzalbetétes üveglapot készítenek úgy, hogy az asztallapra hengerelt üvegre hálót feszítenek, majd újabb üvegréteget hengerelnek rá. Az üvegolvadékot két forgó henger közé adagolják, amelyek szalagot formálnak. A szalag mozgó kocsira

fekszik, amelynek haladási sebessége akkora, mint a forgó hengerek kerületi sebessége. Ebből kiindulva megoldották a teljesen folyamatos kirakatüveg gyártását is.

Öblösüveg gyártása. Az öblösüveg megjelölés sokféle árura vonatkozik. Kézi gyártással, félautomata- és automata géppel állítható elő. Kézi gyártásnál az üvegfúvó pipával, – amely kb. 2-3 m hosszú és 1,5-3 cm átmérőjű vastag vascső – üveget vesznek ki a kemencéből. Lóbálással, forgatással egyenletes falvastagságú üreges testté fűjják, majd formába helyezve további fúvással nyeri el végleges alakját. A formából kiemelve a tárgyat a pipáról leütik, hűtökemencében a feszültségeket megszüntetik. A nyíláson maradt fölösleges darabot lepattintják, és az éles széleket leolvasztják. A félautomata eljárásnál a gép a gyártandó üvegáru előformájának nyílására helyezett olvadékból vákuummal zsákot formál, azt helyezik a végleges formába, amelyben levegő befúvással alakítják ki a tárgy kész alakját. A legkorszerűbb öblösüveggyártó gépek az automaták. Ezek teljesen önműködően végzik az üvegnek a kemencéből az előformába való kiemelését, majd a kész formába helyezését és a hűtőszalagra juttatását. Közepes teljesítőképességű automata gépek 8 óra alatt 20-30000 db palackot vagy konzervüveget állítanak elő.

Az üvegszínezés leggyakoribb módja az ionos (kationos) színezés, mely különféle, kismennyiségű színező fémvegyületekkel történik. A színezés másik, kevésbé használt módjában kolloid eloszlású fémekkel színeznek.

Műszaki üvegtermékek Üvegszál, ill. belőle készülő fonatok és üvegyapot gyártását kedvező mechanikai és elektromos tulajdonságok, és jó hőszigetelő képessége teszi indokolttá. Üvegszálakat pálcahúzási, centrifugális és olvadékból húzási eljárással állítottak elő régebben. Ma főleg a homogén, csomómentes 4-6 μ m vastag szálak előállítására alkalmas szabályos üveggolyókból történő szálhúzási eljárást alkalmazzák. Az üvegszálakat fonal, szalag, zsinór, kötél, szövet és üvegyapot formában hozzák forgalomba. Hőszigetelési célra gyártják a habüveget. Az üvegszál-paplanok ill. vágott szálak igen fontosak az erősített műanyagok gyártása terén.

Vákuumtechnikai üvegek alatt elsősorban a fényforrás- és rádiócső-gyártásban használt bűrák értendők. Alapanyaguk fémekhez jól forrasztható üvegek. Izzólámpa-bura gyártására automatizált technológia alakult ki, legnagyobb teljesítményt a karusszel-rendszerű fűvógép ér el (400 000–1 000 000 db bura/nap).

Az *optikai üvegeket* a törésmutatóval ($n < 1,6$: kis törésű, $n > 1,6$: nagy törésű) és színszórásukkal (diszperzió), az Abbe-féle számmal ν jellemzik. Optikai készülékekben történő felhasználás szempontjából főleg a következő üvegeket különböztetjük meg: flintüvegek ($\nu < 50$, nagy diszperzió) és koronaüvegek ($\nu > 50$, kis diszperzió). A különböző éteresztő-, abszorpció és visszaverő képességű optikai szűrőket különböző hullámhossz-tartományokban olyan elemek vegyületeinek beépítésével állítanak elő, amilyenek a Cu, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni. Nagy fénytörésű magú és kis fénytörési felületű optikai szálak a fényt totalreflexióval tudják vezetni és a szélessávú információátvitel keretében nyernek felhasználást (kb. 6000 párhuzamos telefonvezeték fényvezető szálanként, a csillapítás $< 0,2$ dB/km).

3.2.6. Zománc

Zománcnak a fémek felületére felvitt üvegszerű réteget nevezik, amelynek feladata a fémek (vastárgyak) korrózió elleni védelme (ld. 4. fejezet) vagy meghatározott célra való alkalmassá tétele ill. díszítése.

A zománccal szemben támasztott követelmények: a) hőváltozásokkal szembeni ellenállóképesség, b) különböző mechanikai igénybevételekkel (koptatás, karcolás, stb.) szembeni ellenállóképesség, c) vegyi hatásokkal szembeni ellenállóképesség.

A zománccok nyersanyagait tűzálló, folyósító, fehérítő és színező anyagok képezik. A zománcképző anyag a nyersanyagok nagyobb részének összeolvasztásával készül. A megolvadt

anyagot a kemencéből vízmedencébe folytatják, hogy az a hirtelen lehűtés folytán apró részekre repedezzék szét, és így könnyebben őrlhető legyen. Az így kapott zománcüveghez, az ún. fritthez, az őrlőmalomban adják hozzá a többi zománcképző anyagot, az ún. malomadalékokat.

A vastárgyak zománcozásakor először általában alapzománcot alkalmaznak, és erre kerül a fedőzománc. Alapzománcre azért van szükség, mert a fedőzománcoktól megkívánt fedőtulajdonságok olyanok, amelyek nem teszik alkalmassá arra, hogy a vason megkössenek. Az alapzománc tehát egy átmeneti réteg, a vas és a fedőzománc között.

A kész vasárut a zománcozás előtt homokfúvással vagy savas pácolással revétlenítik. A pácfürdőből kikerülő árut előbb hideg, vagy meleg vízzel leöblítik, ezután 70°C hőmérsékletű 1%-os szódaoldatba merítik a peremek hajlataiban visszamaradt savréteg semlegesítése céljából. A megtisztított és kiszáritott árura a zománcot vagy zománciszapba való bemártással, vagy szórópisztollyal viszik fel. A megszáradt zománc könnyen ledörzsölhető bevonatot képez, ezért rá kell égetni a tárgyra. Könnyen olvadó zománccok égetési hőmérséklete 700-850 °C, a legtöbb ipari zománcé 800-900°C, nehezen olvadó zománccoké pedig 900-1000°C. Égetés után viszik fel a fedőzománcot, amelyet ismét égetéssel kell rögzíteni.

A száraz zománcozáskor a zománcot száraz porrá őrlve alkalmazzák. A zománcport a legtöbb esetben nedvesen alapzománcozott tárgyra az alapzománc beégetése után, a kemencéből való kivételkor még izzó állapotban szórják rá, vagy kisebb tárgyaknál az izzó tárgyat mártják be a zománcporba. Az első a szóró-, a második a mártóporozó eljárás. A zománcot tokos vagy alagútkemencében égetik be.

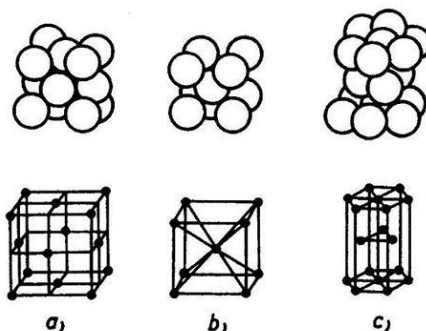
3.3. Fémek

3.3.1. A fémek fizikai tulajdonságai

Külső megjelenés. A fémek már vékony rétegben is átlátszatlanok, jellegzetes fémes fényük abból ered, hogy a rájuk eső fény nagy részét visszaverik. Színük a sárga színű arany és a vörös színű réz kivételével általában szürkésfehér, finom eloszlásban azonban valamennyi fém sötét színű. A szobahőmérsékleten egyetlen folyékony fémnek, a higanynak kivételével szilárd halmazállapotúak.

Szerkezet. A fémek valamennyien kristályosak, kristályrácsukban a pozitív fémionok között a kötést a nem lokalizált elektronok felhője, az ún. elektrongáz hozza létre. Ezért a fémes kötés nem irányított jellegű, aminek következtében a fémek rácsszerkezete egyszerű.

A legtöbb fém szabályos rendszerben kristályosodik. 12-es koordinációs számú lapon középpontos (3.3.1.a ábra), vagy 8-as koordinációs számú térben középpontos kockarácsban (3.3.1.b ábra), de jelentős a hexagonális rendszerben (3.3.1.c ábra) kristályosodó fémek száma is.



3.3.1. ábra **Kristályosodási formák.**

Egyes fémeknek több allotróp módosulata is van (pl. vas, mangán), közöttük nemfémes jellegű is előfordul (pl. a szürkeón).

Sűrűség. A fémeket sűrűségük alapján könnyűfémekre és nehézfémekre osztjuk.

$$\rho \text{ könnyűfémek} < 5 \text{ g/cm}^3 < \rho \text{ nehézfémek}$$

A könnyűfémek az alkálifémek,
alkáliföldfémek,

Al, Sc; Y, Ti

A legkisebb sűrűségűek

($\rho < 1 \text{ g/cm}^3$):

a lítium, nátrium, kálium.

Nehézfém az összes többi fém

A legnagyobb sűrűségű:

az ozmium ($\rho = 22,48 \text{ g/cm}^3$)

Mechanikai tulajdonságok. A fémes rácsból következő jellegzetes tulajdonság a rugalmasság és a képlékeny alakíthatóság: A rugalmassági határ alatt a deformáló erő megszűnte után a fémek visszanyerik eredeti alakjukat, a rugalmassági határt meghaladó erő hatására képlékenyen alakíthatók: maradó alakváltozást szenvednek. Ezért a fémek húzással, hengerléssel, kovácsolással megmunkálhatók. Mohs-keménységük (karcolási keménységük) a 0,2 (cézium) és a 9 (króm; irídium) között változik. A főcsoportok fémiei néhány kivételtől eltekintve (pl. berillium) lágyak, kevésbé szilárdak, könnyen alakíthatók, a keménység a relatív atomtömeggel általában csökken. A mellékcsoportok fémiei (főként a IV.B - VIII.B csoport) nagyobb szilárdságúak, keményebbek. Van közöttük néhány igen kemény és rideg is, magasabb hőmérsékleten azonban ezek is alakíthatók.

Általánosan jellemző a fémekre, hogy már elenyészően csekély mennyiségű idegen anyag is erősen befolyásolja mechanikai tulajdonságaikat, általában növelik a szilárdságot és a keménységet, bár a keménység növekedése olykor rideggé és nehezebben megmunkálhatóvá teszi a fémet. A gyakorlatban általában nem tiszta fémeket, hanem ötvözeteket használnak.

Halmazállapot-változások. A fémek *olvadáspontja* elég széles határok között változik.

A *főcsoportok* fémeknek olvadáspontja a berillium kivételével 1000 °C alatt van, az alkálifémek (kivétel a lítium) és a gallium már 100 °C alatt megolvadnak. A *mellékcsoportok* fémek közül a legalacsonyabb olvadáspontúak a cinkcsoport elemei, ide tartozik a cseppfolyós higany is (op. = -39,5 °C). A IV.B - VIII.B mellékcsoportok fémeknek olvadáspontja magas (1500-3000 °C), az egyes oszlopokban nő a relatív atomtömeggel. Legmagasabb olvadáspontú fém a volfrám (3410 °C).

A fémek *forráspontja* általában 1500-6000 °C közé esik, legmagasabb a volfrámé (5930 °C). Kivételek az alkálifémek és a cinkcsoport elemei; ezek forráspontja 1000 °C alatt van, legalacsonyabb a higanyé (357 °C). A fémek gőz állapotban egyatomos molekulákat alkotnak, a fémgőzök átlátszók és többnyire színtelenek.

Hővezetés, elektromos vezetés. A fémes rácsra jellemző delokalizált és könnyen elmozduló elektronok miatt a fémek jól vezetik a hőt és az elektromos áramot, *elsőrendű vezetők*. Bennük az elektronok vezetik az áramot, maguk a fémionok nem mozdulnak el, ezért az áram áthaladása közben nem történik kémiai változás. Legjobb elektromos vezető az ezüst, utána következik a réz, az arany és az alumínium. A fémek elektromos vezetését már elenyészően csekély szennyezések is erősen csökkentik. Az elektromos vezetés a hőmérséklet növelésével csökken, ami azzal magyarázható, hogy a rácspontokban levő fémionok erősebb rezgései gátolják az elektronok szabad mozgását, vagyis növelik az ellenállást. Igen kis hőmérsékleten a fémek elektromos vezetése ugrásszerűen megnő (*szupravezetés*). Megolvasztott állapotban a fémek kevésbé vezetnek az áramot, a fémgőzök pedig már szigetelők (ez is jól mutatja, hogy az elektromos vezetés a fémes kristályrácsnak a tulajdonsága; nem pedig a fématomoké).

Oldhatóság. A fémek oldószerekben fizikailag nem oldódnak, csak kémiai úton, vegyületekké alakítva vihetők oldatba (pl. savban való oldás): Kivételes oldószert a cseppfolyós ammónia, ami néhány fém (alkálifémeket, alkáliföldfémeket) kémiai változás nélkül felold.

Megolvasztott fémek egymásban azonban fizikailag is oldódnak és ötvözeteket képeznek (ld. 3.3.4. fejezet). A fémek higanyal képezett ötvözeit (a fémek higanyos oldatait) amalgámoknak nevezzük.

3.3.2. A fémek kémiai tulajdonságai

A fémek csoportosítása atomszerkezetük, ill. a periódusos rendszerben elfoglalt helyük alapján a következőképpen történik:

- Az s-mező fémek, vagyis a kémiai értelemben vett tulajdonképpeni fémek: I.A oszlop (alkálifémek) és II.A oszlop (alkáliföldfémek).
- A p-mező fémek (másodfajú fémek): a III.A oszlop fémek (alumíniumcsoport), a IV.A oszlop fémek (ón és ólom).
- A d-mező elemei, azaz átmeneti fémek: a III.B; IV.B; V.B; VI.B; VII.B; VIII.B és az I.B; II.B oszlopok elemei (az utóbbi kettőt tulajdonságaik alapján gyakran a másodfajú fémekhez sorolják).
- Az f-mező elemei: lantanoidák és aktinoidák.

A fémek elektronleadással pozitív ionokat képeznek, így vegyületeikre jellemző az ionkötés, de kovalens kötésű vegyületeikben is *mindig pozitív* oxidációs számmal szerepelnek. Ebből következik, hogy reakcióképességük az elektronegativitás csökkenésével nő, hiszen ilyenkor könnyebben adhatnak le elektront.

Az elektronegativitás a főcsoportokban az elektronszerkezet miatt egy perióduson belül balról jobbra haladva nő, egy oszlopon belül pedig felülről lefelé csökken. A mellékcsoportokban a bonyolultabb elektronszerkezet miatt (d-alhéj) fordított is lehet a változás (pl. a cinkcsoportnál).

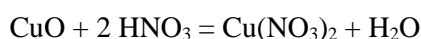
A 3.3.1. táblázat jól mutatja az összefüggést a fémek standardpotenciálja, elektronegativitása és három igen fontos reakciójuk között. Látható, hogy minél negatívabb egy fém standardpotenciálja (lásd a 4. fejezetet), annál kisebb az elektronegativitása, annál könnyebben képez pozitív ionokat (régébbi kifejezéssel: annál pozitívabb jellemű), míg a pozitív standardpotenciálú nemesfémeknek nagy az elektronegativitása, nehezen adnak le elektront.

	nem nemes fémek						nemesfémek			
	Ca	Mg	Mn	Cr	Co	Sn	H	Hg	Pt	
	K	Na	Al	Zn	Fe	Ni	Pb	Cu	Ag	Au
	0									
	- 2,93 ⊖ ←———— elektrokémiai standardpotenciál —————→ ⊕ + 1,50									
	0,8 ←———— elektronegativitás —————→ 2,4									
Oxidáció a levegőn	gyorsan			lassan				nem reagálnak		
Reakció vízzel	hevesen $2\text{Na} + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{NaOH} + \text{H}_2$			lassan			Csak vízgőzzel, a vörös izzás hőmérsékletén			nem reagálnak
Reakció savakkal	hevesen $\text{Mg} + 2\text{HCl} = \text{MgCl}_2 + \text{H}_2$			híg savakkal is élénken			lassan $\text{Fe} + 2\text{HCl} = \text{FeCl}_2 + \text{H}_2$			Hidrogénfejlődés közben nem reagálnak (az oxidáló tulajdonságú savak hatását lásd később)

3.3.1. táblázat. Összefüggés az elektrokémiai standardpotenciál és a fémek reakcióképessége között

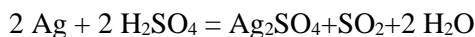
A 3.3.1. táblázathoz a következőket kell megjegyzésként hozzátennünk:

1. Az oxidáció hatására a felületen sokszor tömör oxidréteg keletkezik, megvédve a fémeket a további kémiai behatásoktól (pl. a cinknél, az alumíniumnál, stb.), ami lehetővé teszi sok fém célszerű felhasználását.
2. A kevésbé nemes fémek, a réz, az ezüst és a higany salétromsavban oldhatók. A réz esetén például az alábbi úton:



amelynek során réz(II)-nitrát, az ezüst esetében ezüst-nitrát (AgNO_3), a higany esetében pedig higany(II)-nitrát [$\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$] keletkezik.

Tömény, forró kénsavoldat oxidáló hatása révén oldja a rezet, az ezüstöt és a higanyt, pl. az ezüst esetén:

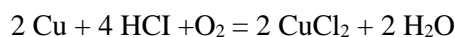


A legnemesebb fémek (Au, Pt) sem salétromsavban, sem tömény kénsavban nem oldhatók, csak királyvízben, amelynek hatóanyagai (az atomos klór és a nitrozil-klorid) kloridokká alakítják őket.

3. A standardpotenciálon kívül egyéb tényezők is befolyásolják a fémek oldódását savakban. Egyes nem-nemes fémek (pl. Cr, Al) salétromsavban nem oldhatók, mert ennek hatására a felületen összefüggő oxidréteg alakul ki, ami megvédi a felületet a további behatástól. Az így passzívvá vált fém ezután már más savakban sem oldódik (króm, vas). Fémeket elektrolitikus úton anódnak kapcsolva a fejlődő naszcensz oxigén hatására ugyancsak bekövetkezik a passzív állapot, aminek igen nagy szerepe van a korrózió elleni védelemben.

Más esetekben a fém oldódása azért nem következik be, mert a keletkező só (pl. az ólom-szulfát) oldódik rosszul, és megvédi a fémeket a sav további hatásától.

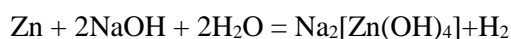
A levegő oxigénjének hatására a kevésbé nemes fémek *lassan* oldódhatnak nem oxidáló savakban is. Például a réz esetén:



Oxidációs szám. Az alkálifémek oxidációs száma vegyületeikben mindig +1, az alkáliföldfémeké mindig +2 (állandó oxidációs számú elemek), a III. oszlop féméi általában +3, igen változatos lehet viszont a IV.B-VII.B oszlop féméinek az oxidációs száma, legtöbbjük bármilyen értéket felvehet 2-től a lehetséges maximális oxidációs számig, ami az oszlopszámmal egyenlő.

Az oxidációs szám és a sav-bázis jelleg között egyértelmű kapcsolatok állnak fenn. Ezek:

— *kis oxidációs számú vegyületeikben* (1-3) a fémek egyszerű kationokat képeznek (V^{2+} , Cr^{3+} , Mn^{2+} stb.), oxidjaik bázisanhidridek, *hidroxidjaik bázisok*. Kivételképpen amfoter tulajdonságúak viszont az SnO , PbO , ZnO , Al_2O_3 , Cr_2O_3 és a nekik megfelelő hidroxidok, ezek a vegyületek tehát nemcsak savakban oldódnak [amikor egyszerű kationokat (pl. Zn^{2+}) tartalmazó sók keletkeznek belőlük], hanem erős bázisokban is, hidroxokomplex keletkezése közben, ekkor a bennük levő fém a komplex anionba kerül (pl. $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$). A fenti oxidok féméi közül a cink, ón és alumínium elemi állapotban is amfoter tulajdonságú, nátrium-hidroxid tömény oldatában feloldható, például a Zn esetén:



— *A +4 oxidációs számú fémek oxidjai és hidroxidjai mind amfoterek.*

— *A +5 oxidációs számtól kezdve* a fémek már nem képeznek egyszerű kationokat (tehát *nincs* V^{5+} , Cr^{6+} , Mn^{7+} -ion), hanem csak *összetett anionokat* (VO_3^- , CrO_4^{2-} , MnO_4^-), *savképzők*, oxidjaik savanhidridek, erős bázissal reagálva pedig sókat képeznek (NaVO_3 , K_2CrO_4 , KMnO_4).

Egyes fémek az egyszerű kationokon kívül ritkábban összetett kationt is alkothatnak: pl. van Ti^{4+} -ion és van TiO^{2+} , titanilion, a titán oxidációs száma mindegyikben +4. Összetett kationokat alkothatnak egyes fémek olykor erősen savas közegben az egyébként savképző legmagasabb oxidációs számú alakjukban is; például: van UO_4^{2-} uránátanion, ill. UO_2^{2+} uranilkation, mindegyikben +6 az urán oxidációs száma.

3.3.3. A fémek előállításai módszerei

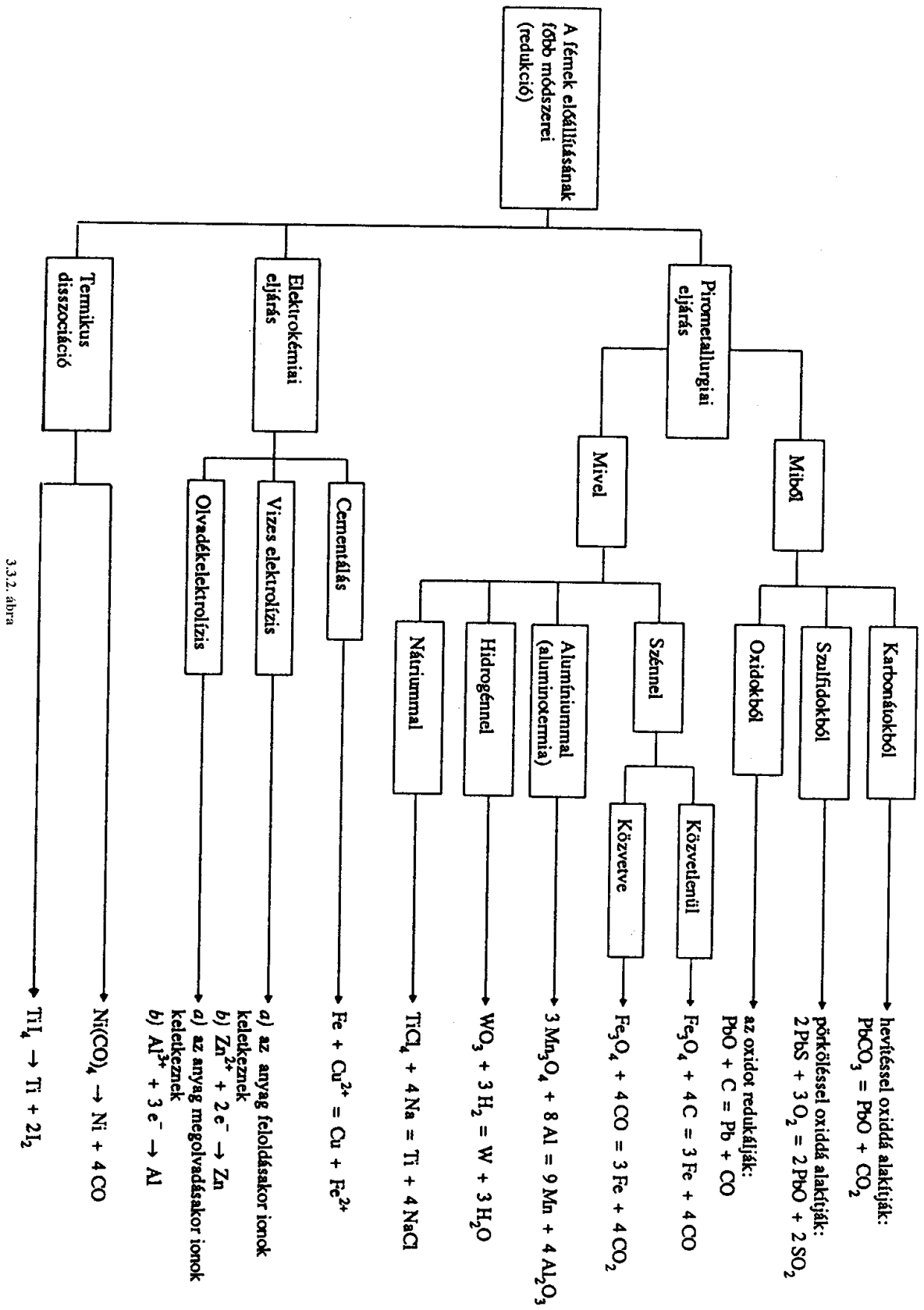
A fémek közül elemi állapotban a természetben csak a nemesfémek (platinafémek, arany, ezüst, réz, higany) fordulnak elő, a többiek, és az előzőek közül a kevésbé nemesek inkább csak vegyületeikben találhatók meg [eltekintve a meteoritoktól (vas, nikkelt)].

Azokat az ásványokat és kőzeteket (ásványtársulásokat), amelyekből a fém megfelelő eljárásokkal kinyerhető, *érceknek* nevezzük. A legfontosabb ércek: oxidok (alumínium, vas, ón, króm, mangán, stb.); szulfidok (ólom, molibdén, réz, ezüst, cink, stb.); karbonátok (főként alkáliföldfémek); halogenidok (főként alkálifémek); szilikátok (szilikátok formájában szinte minden fém előfordul, de előállításuk ezekből általában nem gazdaságos).

Az elemi állapotban előforduló fémek előállítása a meddőtől való elkülönítésben áll. Ez rendszerint fizikai módszerekkel (mosás, ülepítés, kiolvasztás, higanyban való oldás) történik, de használhatók kémiai módszerek is (pl. ciános lúgzás az aranyból és ezüstből).

Vegyületeikből a fémeket a következő három fő módszerrel állítják elő (lásd a 3.3.2. ábrát):

— redukció pirometallurgiai (tűzi) úton (általában röviden redukciónak nevezik),

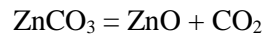
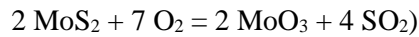


3.3.2. ábra

- elektrokémiai redukció (elektrolízis),
- termikus disszociáció.

Redukció pirometallurgiai (tűzi) úton

A nyers vagy dúsított ércből redukcióval való nagyipari fémelőállítás legelőnyösebben oxidokból történik. Ezért a szulfidos érceket pörköléssel (levegő- vagy oxigénáramban való hevítéssel), a karbonátokat pedig termikus bontással (egyszerű hevítéssel) szintén oxidokká alakítják:



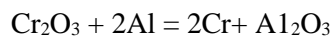
A szulfidokat ún. *reagáló olvasztással* is fel lehet dolgozni, amikor is a pörkölés közben keletkezett oxid reagál a szulfiddal, és külön redukálószer alkalmazása nélkül is fém és kén-dioxid keletkezik.

A redukciót főként a következő módszerekkel hajtják végre:

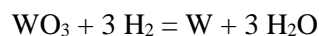
a) Nagyiparilag legfontosabb redukálószer a *szén* (koks alakjában). Főként a vas-, cink- és óncsoport fémjeinek előállítására használják. A redukciót részben közvetlenül a szén végzi, részben a belőle keletkezett szén-monoxid (ún. közvetett redukció). A szén: sok fémmel karbidot képez, ezért előállításukra a szén nem használható; de ha a cél nem a tiszta fém, hanem az acélipar számára ötvözőanyag gyártása, akkor a karbidtartalom nem zavar. Ilyen esetben az illető fém ércét vasércel keverve redukálják szénnel, így vas- (és szén-) tartalmú vaselőtvözet keletkezik (főként ferromangán, ferrocirkon).

b) Sok esetben előnyösebb, ha a szénrel való redukciót *elektromos ívkemencében*, két elektród között létrehozott elektromos ív magas hőmérsékletén végzik, ez a *karbotermikus* eljárás. Ilyen módon állítanak elő magnéziumot, és főként ezt az eljárást használják a ferroötvözetek (ferromangán, ferrocirkon, ferrotitán, ferrovanádium, ferrokróm, ferromolibdén és ferrovolfurám) előállítására is. Ezzel az eljárással magasabb hőmérséklet érhető el, mint a szénrel való egyszerű redukcióval, így könnyebben végbemegy a redukció.

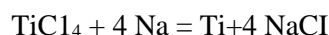
c) *Aluminotermia*. Ha a karbidképző fémeket tisztán akarják előállítani, a nagyipar leginkább az alumíniumot használja redukálószerként (elsősorban króm, mangán, de volfrám, molibdén, vanádium, stb. előállítása is). Például:



d) Az aluminotermiás eljárással nyertnél is tisztább fémet kapnak, ha *hidrogént* alkalmaznak redukálószerül, amit a nagyiparban főként a molibdén és a volfrám, de nagy tisztaságban egyéb fémek (pl. igen tiszta vas) előállítására is használnak. Pl.:

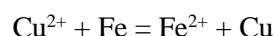


e) *Nátriummal* (esetleg káliummal, ill. az alkáliföldfémek közül magnéziummal, vagy kalciummal) állítják elő tisztán a titán- és a vanádium-csoport elemeit, valamint a lantanoidákat és az uránt is, főként kloridjaikból történő redukcióval:



A fémek *elektrokémiai redukciójának* (elektrolízis) három fő módja a cementálás, a vizes oldatból történő elektrolízis és az olvadákelektrolízis.

Cementálásnál a negatívabb elektrokémiai standardpotenciálú (elektropozitívabb, kevésbé nemes) fém elemi állapotban választja ki a nála pozitívabb elektrokémiai standardpotenciálú (kevésbé elektropozitív, nemesebb) fém ionját sójának oldatából, miközben maga ionalakban oldatba megy. Bár itt nincs szükség külső áramforrásra, az elektronszere mégis hasonlóan játszódik le az oldatban levő ionok és az elektródfém között, mint a galvánelemben végbemenő elektrokémiai folyamatban. Főként rezes, valamint ezüstöt és aranyat állítanak így elő: pl.



Ha az elektrokémiai redukciót *külső áramforrás* segítségével hajtják végre, és indifferens, vagyis az elektrolízis során változást nem szenvedő (platina, szén, megfelelő körülmények között az ólom) elektródokat használnak, ideális esetben *azonos* lesz a *leválási potenciál* a Nernst-képlet alapján számított *elektródpotenciállal*, minimálisan tehát ezt a potenciált kell az elektród és az oldat között a külső áramforrásból létrehozni.

A vizes oldatból történő elektrolízis esetén az oldatban a só kationján és anionján kívül mindig jelen vannak a víz disszociációjából származó H^+ -és OH^- -ionok is. Ha egy oldatban több fajta ion van egymás mellett jelen, akkor a katódon először az a kation válik ki, amelynek leválási potenciálja a legkevésbé negatív, az anódon pedig az az anion, amelynek a leválási potenciálja a legkevésbé pozitív. Vizes oldatból történő elektrolízissel tehát csak azok a fémek állíthatók elő, amelyeknek a leválási potenciálja kevésbé negatív (pozitívabb), mint a hidrogénéé.

Az elektrokémiai standardpotenciál-sor (lásd 4. fejezet) alapján ezek első közelítésben a nemesfémek (pl. *rezer* állítanak így elő). A Nernst-képlet figyelembevételével azonban a hidrogén leválási potenciálja 25 °C-on, ha a fejlődő gáz nyomása 101325 Pa (~ 1 bar) és túlfeszültség nincs:

$$E = E^\ominus + 0,059 \lg [H^+] = 0 + 0,059 \lg [H^+]$$

és mivel

$$- \lg [H^+] = \text{pH},$$

$$E = - 0,059 \text{ pH}.$$

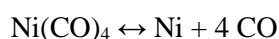
A leválási potenciál tehát csak 1 mol/dm³ koncentrációjú hidrogénion-oldatban zérus, ha a H₂-leválás túlfeszültség nélkül, az egyensúlyi potenciálon történik. Ilyenek ideális esetben az egyértékű erős savak 1 mol/dm³ koncentrációjú oldatai. Semleges vizes oldatban (pH = 7) a leválási potenciál -0,4 V. Tehát semleges vizes oldatokból leválaszthatók mindazok a fémek, amelyeknek leválási potenciálja kevésbé negatív -0,4 V-nál. Így állítható elő, pl. a kobalt, nikkel, ón. Lúgos oldatból, általában komplex vegyületeikből még a negatívabb standardpotenciálú fémek is előállíthatók vizes oldatból történő elektrolízissel.

A kationok valóságos leválási potenciálja gyakorlati körülmények között általában valamivel negatívabb, az anionoké pedig valamivel pozitívabb, mint az elméletileg számított potenciál: Ez a különbség a már említett *túlfeszültség*, ami főként az elektród anyagi minőségétől függ és erősen növekszik az alkalmazott áramsűrűséggel (A/m²).

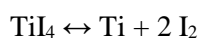
Különösen nagy a gázok leválási túlfeszültsége a fémeken, ezért sok olyan fém is előállítható vizes oldatból, amelynek elméleti leválási potenciálja a fenti értéknél is negatívabb. Ennek alapján állítanak elő, pl. mangánt, cinket és kadmiumot. *Higanykatód*ot használva annyira megnő a hidrogénleválás túlfeszültsége, hogy már alkálifémek és alkáliföldfémek is leválaszthatók rajta vizes oldatból. A gyakorlatban báriumot állítanak így elő.

A legnegatívabb standardpotenciálú (legpozitívabb jellemű; legelektropozitívabb) fémeket, — mint pl. az alkálifémeket, alkáliföldfémeket és leggyakrabban a földfémeket is — *sóik* (esetleg oxidjuk) *olvadékának elektrolízisével* állítják elő. Az olvadáspontot gyakran adalékanyagokkal csökkentik, így járnak el pl. Na₃[AlF₆] (kriolit) adalékolásával az alumínium előállításánál.

Termikus disszociációval általában igen nagy tisztaságú fémeket állítanak elő, többnyire kisebb mennyiségekben. A nikkel-tetrakarbonil - Ni(CO)₄ - hevítésével például a



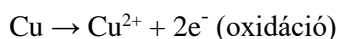
reakció szerint igen, tiszta nikkel, ill. a



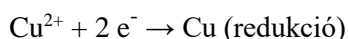
reakció szerint igen tiszta titán állítható elő. Ez utóbbi reakció gyakorlati kivitelezése során az illékony TiI₄ termikus disszociációja evakuált térben izzó volfrámszálon megy végbe, amelyen azután a tiszta fém kiválik (Van Arkel-de Boer-eljárás). Hasonló módon állíthatók elő a vanádium-csoportba tartozó fémek és az aktinoidák is.

A fémek tisztítása (finomítás, rafinálás)

Az ipari méretekben gyártott fémek általában szennyezéseket tartalmaznak. Ezeknek eltávolítására különböző finomítási eljárásokat alkalmaznak. Az egyik legfontosabb ilyen módszer a *vizes oldatok elektrolízise*, amit leggyakrabban a réz, ezüst, arany, nikkel, cink, ón és ólom esetében használnak. Ilyenkor, a fémek előállításával ellentétben, nem indifferens elektródokat alkalmaznak. A réz esetén pl. az anód a szennyezett, finomítandó réz, a katód a tiszta rézlemez, az elektrolit pedig a réz jól oldódó sója; általában réz-szulfát. Az anódfolyamat:



Látható, hogy nem valamilyen anion közömbösítődik elektronleadással, hanem az elektronleadás úgy megy végbe, hogy a pozitív potenciál hatására az anód anyagát alkotó fém alakul át kationokká. A katód folyamat:



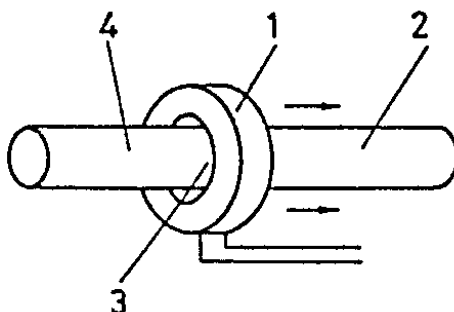
Az eljárás során a szennyezett réz az anódon oldatba megy, a katódon pedig tisztán kiválik.

A finomítandó réznél negatívabb elektrokémiai standardpotenciálú szennyezések (Zn, Ni stb.) az anódon ionalakban (pl. $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^{-}$) szintén oldatba mennek, de nem válnak ki a katódon, hanem oldatban maradnak.

A finomítandó réznél pozitívabb elektrokémiai standardpotenciálú szennyezések (az Ag, Au, Pt-fémek) nem mennek oldatba, hanem ahogy az anód fogy, folyamatosan lehullnak elemi állapotban, poralakban a cella aljára, így képződik az értékes *anódiszap*.

Néhány fém (pl. magnézium, cink, higany) esetében a fém közvetlen *desztillációját* alkalmazzák tisztítás céljára.

Különlegesen nagy tisztaságú fémek állíthatók elő az ún. *zónás olvasztással* (lásd a 3.3.3. ábrát). Itt a tisztítandó anyagot egy olyan csőbe helyezik, amelyet gyűrű alakú, mozgatható fűtőtest vesz körül.



3.3.3. ábra. A zónás olvasztás elve.

1 - elektromos fűtőtest; 2 - az anyag megolvadás előtt; 3 - olvadt zóna; 4 - újra megszilárdult anyag

Az eljárás elvi alapja az, hogy a keverékek fagyáspontja alacsonyabb, mint a tiszta anyagoké. A fűtés hatására a gyűrű alatt levő keskeny zóna megolvad, és belőle a gyűrű elmozdulása után először a „tiszta” fém kristályai válnak ki — tulajdonképpen olyan kristályok, amelyek sokkal kevesebb szennyezést tartalmaznak, mint az eredeti anyag —, a szennyezések nagy része pedig tovább vándorol az újabb olvadt zónába. A gyűrűt végigmozgatva a cső egész hosszában, zónánként megolvasztják az egész fémeket, a szennyezések a folyékony fázisban dúsulnak fel, és vele együtt vándorolnak a cső végére. Az eljárás többszöri megismétlésével olyan tiszta anyag nyerhető, hogy a benne maradó szennyezés kevesebb mint $10^{-10}\%$.

A félvezetőként használt elemeket (germánium, gallium) ezzel a módszerrel szokták tisztítani.

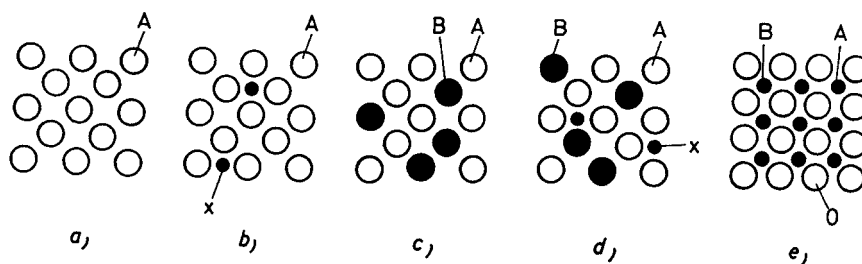
3.3.4. Ötvözetek

A szilárd halmazállapotú elegyekben a két vagy több alkotóelem általában kristályos szerkezettel és a folyadékelegyekétől merően eltérő fizikai és mechanikai sajátosságokkal rendelkezik.

A fémolvadék elegyekből lehűtéskor létrejöhetnek *kémiai vegyületek*, ha az alkotóelemek *kémiai természete igen eltérő*. Ez a jelenség olyan feltételek között következik be, amikor az egyik alkotóelem igen kissé elektronegatív (pl. Te, ill. Sn). Ilyen módon különböző *ionkristályos szerkezetek* jönnek létre. Az ionos kötéssel az olvadékból létrejövő vegyületek minden tekintetben valóságos kémiai vegyületeknek tekinthetők, határozott kémiai összetétellel, éles és reprodukálható olvadásponttal rendelkeznek.

A gyakorlatban általánosan használt fémek azonban majdnem valamennyien a periódusos rendszer I., II., és III. oszlopába, ill. átmeneti elemekhez tartoznak; elektronegativitásuk, ill. elektronszerkezetük olyan, hogy közöttük nem jöhetnek létre sem ionos, sem kovalens kötések, hanem csakis fémes kötések. Így ún. intermetallikus vegyületek alakulnak ki, melyek nem sztöchiometriai összetételű kémiai vegyületek, bár a vegyértékelektron/atom arányt tekintve bizonyos szabályszerűségek fedezhetők fel bennük (pl. amelyekben a vegyértékelektron/atom arány rendre 3/2: pl. MgAg, Cu₃Ga, Cu₅Sn, CoZn₃, stb., 21/13: pl. Cu₉Ga₄, Cu₃₁Sn₈, Co₃Zn₂ stb., ill. 7/4: pl. AgCd₃ Cu₃Sn stb.).

Az ötvözeteknek intermetallikus vegyületeknél sokkal gyakoribb típusai a szilárd oldatok; ezekben a két vagy több alkotóelem egy közös rácsban helyezkedik el. A szilárd oldat keletkezését és lehetséges szerkezetét sematikusán a 3.3.4. ábra mutatja be. Az ábra a része a tiszta anyag (oldószer) eredeti kristályszerkezetét, a c része – leggyakoribb típust jelentő – helyettesítéses (szubsztitúciós) szilárd oldat szerkezetét, a b része a beékelődéses (interszticiós) szilárd oldat szerkezetét ábrázolja síkban, sematikusán.



3.3.4. ábra. Szilárd oldat keletkezése és lehetséges szerkezete.

A szilárd oldatok annyiban *hasonlítanak* a folyékony oldatokra, hogy egyensúlyban a szilárd oldatok a különböző oldatok statisztikusan homogén eloszlású halmazai, ill. annyiban *különböznek* a saját jellemző szerkezettel rendelkező intermetallikus vegyületektől, hogy bennük néhány kivételtől eltekintve a különböző atomok száma nem felel meg az egyszerű sztöchiometriai viszonyoknak. A szilárd oldat szerkezetét az oldószer szerkezete szabja meg, amelyet eltorzíthatnak az oldott anyag benne jelenlévő atomjai, ez azonban nem változtatja meg a rács szimmetriájának alapvető elemeit. Minél inkább különböznek az oldott anyag tulajdonságai (méret, töltés, polarizálhatóság, stb.) az oldószerétől, annál nagyobb lesz a torzító hatás; minél kisebbek a különbségek, annál kisebb lesz az eredeti szerkezet megváltozása.

A helyettesítéses (szubsztitúciós) szilárd oldat (3.3.4.c ábra) abban az esetben jöhet létre, ha az alkotó elemek kémiai tulajdonságai és természete illetve átmérőjük nem túlságosan különböző. Ellenkező esetekben ugyanis nem szilárd oldatok, hanem stabilis vegyületek illetve beékelődéses elegyek képződnének. A gyakorlatban alkalmazott ötvözetek legtöbbje ilyen helyettesítéses elegyet alkot. Ha két fém atomjainak méretei 15 %-nál nem nagyobb mértékben különbözik egymástól, a két fém még nagymértékben tud egymásban oldódni, egymás kristályrácsában egyenletesen eloszlanak. Ha a méretkülönbség meghaladja ezt az értéket, a kölcsönös oldhatóság igen korlátozottá válik. A helyettesítéses oldatok keletkezésének azonban nemcsak a geometriai tényező a meghatározó paramétere. A helyettesítő atomnak olyan sajátságokkal is kell rendelkeznie, amelynek következtében eredeti oldószeratomok közötti kölcsönhatások alakulhatnak ki, és a kötések természete, száma, irányítottsága hasonló lesz a helyettesített oldószeratomhoz. Ha ez nem így történne, akkor a kiindulási fém szerkezete nem stabilizálódna, hanem inkább eltorzulna. Ez jól kimutatható pl. az arany, az ezüst és a bizmut esetében. Az arany és az ezüst méretei majdnem azonosak, a bizmuté tőlük erősen eltérő. Ezért az arany és az ezüst legkülönbözőbb összetételű szilárd oldatot alkotnak, míg az arany és bizmut, ill. az ezüst és a bizmut kölcsönös oldhatósága egymásban elenyészően csekély.

Ha a szilárd oldat két olyan elemből képződik, amelynek átmérői igen különbözőek, mint pl. a szén- és vasatomé, ill. a hidrogén- és a palládiumatomé, akkor a kisebb atomok stabilan el tudnak

helyezkedni a nagy átmérőjű atomok közötti térbe, beékelődéses (interszticiós) szilárd oldatok jönnek létre (3.3.4.b ábra). Természetesen ezt a méret is meghatározza, mert nem mindegy, hogy a kis oldott atom méreténél hányszor nagyobb az oldószeratom. Ha az atomokat durván szferikusnak tételezzük fel, akkor kimutatható, hogy a még beékelődni tudó oldott anyag atomátmérője az oldószeratom átmérőjének legfeljebb 60 %-a lehet. Természetesen ez csak jó közelítés, mert a valóságban az atomok – mint korábban már láttuk – nem közönséges, merev határfelületű gömbök!

Az oldószer kristályos szerkezetébe beékelődött oldott atom azonban – különösen, ha viszonylag nagy – ugyancsak hatást gyakorol a körülötte levő oldószeratomokra, de – a helyettesítéses elegyek esetén tapasztaltaknál kisebb mértékben – szintén növeli az oldószeratomok közötti távolságot, így a rácsállandó átlagértékét is.

Ha a szilárd oldat nemcsak két alkotóból áll, hanem pl. háromból, akkor kettős szilárd oldat jöhet létre, ahol helyettesítés és beékelődés is végbemegy (3.3.4. ábra d része), vagy keletkezhet olyan interszticiós szilárd oldat is, melyben az alaprács az oldószeratomjaiból áll, az interszticiós helyeket viszont a két másik komponens atomjai töltik be (3.3.4.c ábra).

Az utóbbi viszonyok különösen *oxidszerkezeteknél* fordulnak elő, ahol az A és B kicsi, de gyakorlatilag azonos nagyságú atomjai egymásra nézve helyettesítéses szerkezetként foglalnak helyet a nagy oxigénatomok interszticiós üregeiben. Igen fontosak az ilyen különböző oxidszerkezetek a híradástechnikában és számítógép-technikában elterjedten használatos $\text{MeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ összetételű – ún. *spinell* szerkezetű – *ferritek* esetében, amelyek a spinell kémiai összetételétől és szerkezetétől függő ferromágneses sajátságokat mutatnak.

Ha a szilárd fémekben vagy ötvözetekben minden kristály ugyanazon típusú és összetételű, azt mondjuk, hogy a *rendszer homogén*. A polimorf átalakulás hőmérsékletének esete kivételével, a tiszta fémek, ötvözetek és az intermetallikus vegyületek a fenti értelemben homogének.

A szilárd oldatot tartalmazó ötvözetek azonban lehetnek nem homogének is, léteznek heterogén ötvözetek is. Ha ugyanis az ötvözet egyik alkotóeleme olyan mennyiségben van jelen, hogy már nem tud feloldódni, akkor oldhatatlanul visszamarad. Ez a körülmény az ötvözetben a telített szilárd oldattól eltérő összetételű és szerkezetű, sőt eltérő mechanikai és fizikai sajátságú kristályok megjelenésére vezet, heterogén ötvözet keletkezik. Megfelelő textúrájú, szövetszerkezetű heterogén ötvözetek kialakulása a metallurgia igen fontos és elterjedt módszerei közé tartozik (acélok stb.).

Már volt szó a tiszta szilárd kristályos anyagok *hibaszerkezetéről*. Még gyakoribb és valószínűbb a hibaszerkezet – az eltérés az ideális szerkezettől – ha nem egy, hanem két vagy több alkotóból áll a kristály. Ez a körülmény pedig igen nagy hatással van a *diffúzió* folyamatára, ami különösen nagy jelentőségű a fémek hőkezelésekor, ill. termikus és kémiai felületkezeléskor megvalósuló kémiai reakciók és fizikai átalakulások lehetősége és sebessége szempontjából.

A diffúzió – azaz az egyik komponens atomjának izoterm körülmények között önként végbemenő helyváltoztatása – annál könnyebb (annál kisebb az ehhez szükséges ún. aktivitási energia), minél több a *diszlokáció* és minél több a *vakancia* a rendszerben. A folyadékokban ilyenekből igen sok van, ezért is jóval nagyobb mértékű és sebességű a diffúzió a folyadékokban, mint a szilárd testekben, ahol a tömörebb illeszkedés miatt a diffúzió megvalósulása sokkal gátoltabb.

Az interszticiós (beékelődéses) szilárd oldatokban az oldott anyag diffúzió-sebessége nagyobb, mint a szubsztitúciós szilárd oldatokban, aminek – leegyszerűsítve – az az oka, hogy a kisméretű oldott anyag atomjának nem kell megvárnia, míg üres hely, hibahely keletkezik mellette az oldószerátomban, mert enélkül is relatíve könnyen el tud mozdulni a nagyobb oldószeratomok közötti térben.

3.4. Műanyagok

Annak ellenére, hogy a természetes polimerek mindig is részét képezték az ember életének, a makromolekulákkal és a polimerekkel foglalkozó tudomány nagyon fiatal. A természetes polimereket (pl. fehérjék, cellulóz), az ember már régóta használja. A természetes gyantákat és mézgákat már az ősember is ismerte, az aszfaltot bibliai idők előtt is használták, a természetes gumi pedig már a rómaiak idejében is ismert volt.

Az a felismerés azonban, hogy ezek az anyagok óriásmolekulákból állnak, még nincs száz éves. Az 1920-as évek végén Hermann Staudinger állította először, hogy az olyan kolloidális anyagok, mint a gumi, a keményítő vagy a cellulóz valójában hosszú, lineáris, változó hosszúságú, cérnyszerű molekulákból állnak, melyek jól definiált kis egységekből, kovalens kötésekkel keresztül épülnek fel makromolekulákká, vagy polimerekké.

Azonban már Staudinger felismerése előtt megindult a természetes polimerek módosítása, különböző „műanyagok” gyártása. A gumi vulkanizálását Goodyear 1839-ben fedezte fel és az ezt követő 10 évben alakult ki a gumiiipar az Egyesült Államokban és Angliában. A cellulóz származékait – a nitrocellulózt, a cellulóz-acetátot, a celluloidot – iparilag 1865 és 1900 között kezdték gyártani. Az első valóban szintetikus műanyag gyártása 1909-ben kezdődött, ez Baekeland fenol-formaldehid gyantája, a bakelit volt. A műanyagok nagytömegű gyártása azonban gyakorlatilag csak a tudományos felismerés és a kutatások megindulása után, a 30-as években kezdődött meg. Ezt követően a műanyagipar fejlődése messze meghaladta a többi iparág fejlődési sebességét és ez a tendencia ma is tart.

A műanyagok ma már az élet minden területén megtalálhatók. Sok esetben jelenlétük nem is nyilvánvaló, természetesnek tartjuk alkalmazásukat, vagy nem is tudunk arról, hogy egy berendezés jelentős részben műanyagból áll. Jó példa erre a személygépkocsi, melynek több mint 10 %-a ma már műanyag. Ez típustól függően 10-20 anyagfajtából tevődik össze és az alkatrészek száma több száz is lehet. A világon gyártott műanyagok mennyisége ma már meghaladja a legtöbb természetes szerkezeti anyagét és az előrejelzések szerint a fejlődés üteme továbbra is változatlan.

A műanyagok sikerének egyik elsődleges oka a rendkívül **előnyös teljesítmény/ár** arány. Ezek az anyagok gyakorlatilag minden igényt kielégítenek, vetekednek a hagyományos anyagokkal, esetenként pedig olyan tulajdonságokat, vagy azok kombinációját kínálják, amelyek hagyományos anyagokkal nem is valósíthatók meg. Az esetek többségében mindezt elérhető ár és rendkívül kedvező feldolgozási feltételek kísérik.

3.4.1. A makromolekulákkal és polimerekkel kapcsolatos fogalmak, definíciók

A polimerekkel és műanyagokkal kapcsolatos ismeretek elsajátításához, illetve a témával kapcsolatos párbeszédhez elengedhetetlen a megfelelő szakkifejezések ismerete, a fogalmak és definíciók tisztázása. Ez nem minden esetben könnyű, mivel egyes fogalmakat szinonimaként alkalmaznak (pl. makromolekula, polimer, műanyag), míg más esetekben a fogalmak nem egyértelműek és a kutatók különbözőképpen értelmezik őket (pl. kompatibilitás, összeférhetőség; polimer keverék, polimer ötvözet stb.). A következőkben a leggyakrabban használt fogalmakat kívánjuk tisztázni, esetenként megadva a szinonimákat is.

A **makromolekula** azonos építőelemekből, ismétlődő egységekből felépített szerves, vagy szervetlen molekula, melynek molekulatömege általában nagyobb, mint 5000. Az ennél kisebb molekulatömegű anyagokat, ahol az ismétlődő egységek száma általában <10, **oligomereknek** nevezzük. Az említett mennyiségek nem tekinthetők merev határoknak, és mind a minimális molekulatömeg, mind pedig az építőelemek száma függ a makromolekula kémiai jellegétől.

A makromolekula építőelemei az **ismétlődő egységek**. Ezek összegképletüket tekintve megegyezhetnek a polimerizáció kiindulási anyagával, a monomerekkel, szerkezetük azonban gyakorlatilag soha nem azonos. Így pl. a polietilén kiindulási monomerje az etilén kettőskötést tartalmaz, míg a makromolekula építőelemében ez természetszerűleg hiányzik:



A polikondenzációs műanyagok esetében még az összegképlet sem egyezik, mivel a polimerizáció során kis molekulatömegű vegyület, pl. víz vagy alkohol keletkezik, ami eltávozik a rendszerből. Így például a poliamid-6,6 esetében két hat szénatomos molekula a monomer:



Néhány jól ismert polimer monomerét, ismétlődő egységét, triviális nevét és közismert rövidítését a 3.4.1. táblázatban közöljük.

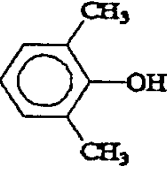
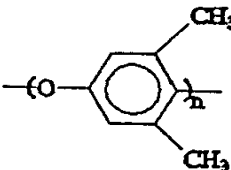
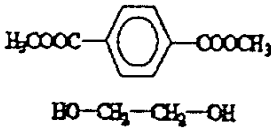
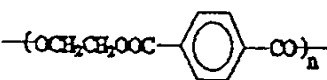
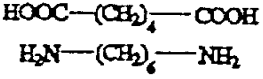

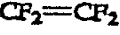
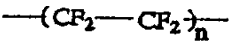
Polimer alatt általában a makromolekulák összességét értjük. A két fogalom azonban igen gyakran átfedésben van egymással, hiszen a „polimer molekula” kifejezés egyetlen makromolekulára vonatkozik. A polimerek gyűjtőfogalom magába foglalja az összes nagy molekulatömegű vegyületet, beleértve a természetes polimereket (fehérje, cellulóz, gyanták stb.), elasztomereket (természetes kaucsuk, poliizoprén stb.), műanyagokat (PE, PVC), gyantákat (epoxi, poliészter, fenoplaszt stb.).

A polimer és a **műanyag** kifejezést gyakran szinonimaként használjuk. A szakirodalom nem is mindig tesz különbséget a két fogalom között, és a műanyag definíció, sok más fogalomhoz hasonlóan, ellentmondásos. A polimerizáció eredményeképpen egy többé-kevésbé jól definiált móltömegű és kémiai összetételű anyagot kapunk. Ezt azonban ilyen formában nem használják fel, gyakorlatilag minden esetben egyéb anyagokat, adalékokat, vagy társító anyagokat adnak hozzájuk. Az adalékok hozzáadása gyakran a polimerizáció, illetve a műanyag alapanyag előállításának utolsó lépése, és a legtöbb hőre lágyuló műanyagot granulátumként, adalékolt formában vásárolja a felhasználó.

Monomer	Ismétlődő egység	Triviális név	Rövidítés
$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	$-(\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n-$	polietilén	PE
$\text{CH}_2=\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}$	$-(\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2)_n-$	polipropilén	PP
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{C}=\text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	$-(\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}-\text{CH}_2)_n-$	poliizobutilén	PIB
$\text{CH}_2=\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}-\text{CH}=\text{CH}_2$	$-(\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n-$	poliizoprén	IR
$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$	$-(\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n-$	polibutadién	BR
$\begin{array}{c} \text{CH}=\text{CH}_2 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	$-(\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}-\text{CH}_2)_n-$	polisztirol	PS
$\text{CH}_2=\underset{\text{CN}}{\text{CH}}$	$-(\text{CH}_2-\underset{\text{CN}}{\text{CH}})_n-$	poliakrilnitril	PAN
$\text{CH}_2=\underset{\text{OH}}{\text{CH}}^a$	$-(\text{CH}_2-\underset{\text{OH}}{\text{CH}})_n-$	poli(vinil-alkohol)	PVOH

^anem létező anyag, mert $\text{CH}_2 = \text{CHOH} \longrightarrow \text{CH}_3 - \text{CHO}$

Monomer	Szerkezet	Triviális név	Rövidítés
$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	$-\left(\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}\right)_n-$	poli(vinilklorid)	PVC
$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH} \\ \\ \text{O}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{O} \end{array}$	$-\left(\underset{\text{OOCH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2\right)_n-$	poli(vinilacetát)	PVAC
$\text{CH}_2=\text{CF}_2$	$-\left(\text{CH}_2-\text{CF}_2\right)_n-$	poli(vinilidén-fluorid)	PVDF
$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH} \\ \\ \text{COOCH}_3 \end{array}$	$-\left(\text{CH}_2-\underset{\text{COOCH}_3}{\text{CH}}\right)_n-$	poli(metilakrilát)	PMA
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2=\text{C} \\ \\ \text{COOCH}_3 \end{array}$	$-\left(\text{CH}_2-\underset{\text{COOCH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}\right)_n-$	poli(metilmetakrilát)	PMMA
CH_2O	$-\left(\text{CH}_2\text{O}\right)_n-$	poliformaldehid	POM
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}_2\text{O} \\ \diagdown \quad / \\ \text{O} \end{array}$	$-\left(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}\right)_n-$	poli(etilén-oxid)	POE

Monomer	Szerkezet	Triviális név	Rövidítés
		poli(fenilén-oxid)	PPO
		poli(etilén-tereftalát)	PET
		poli(hexametilén-adipamid)	PA66
		poli(tetrafluor-etilén)	PTFE

3.4.1. táblázat. Néhány polimer neve és rövidítése, valamint a monomer és az ismétlődő egység szerkezete

A **polimerizáció** a mesterséges polimerek előállítására szolgáló kémiai folyamat. Mechanizmusuk szerint a polimerizációs reakciók két fő típusát különböztetik meg:

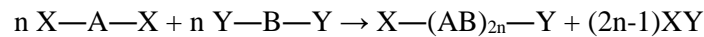
Addíciós polimerizáció, amelyben a monomer molekulák gyors láncreakcióban kapcsolódnak egymáshoz. A reakcióelegyben egyidejűleg van jelen a monomer és a polimer, míg a növekvő láncok száma nagyon kevés, kb. $10^{-8}\%$. A polimer molekulatömege, speciális eseteket kivéve, állandó a polimerizáció folyamán.

Lépcsős polimerizáció, amelyben a monomerek megfelelő funkciós csoportjai reagálnak egymással és a makromolekula mérete folyamatosan nő a polimerizáció alatt. A monomer(ek) a reakció kezdetén elfogynak az elegyből és nagy molekulatömegű polimer csak teljes átalakulásnál keletkezik. Itt két fő csoport különböztethető meg:

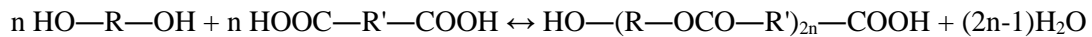
- polikondenzáció
- poliaddíció

Kezdetben csak a polikondenzációs reakciókat sorolták ebbe a kategóriába, ahol a polimerizáció során egy kismolekula-tömegű termék is keletkezik. Hamar kiderült, hogy a poliuretánok, ahol kis molekulák kilépése nem játszódik le, szintén ezzel a mechanizmussal polimerizálódnak.

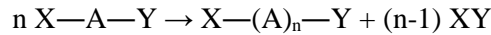
Két fő csoport különböztethető meg egymástól, a reakcióban résztvevő monomerek típusától függően. Az elsőben két bifunciós monomer reagál egymással. A monomerek mindegyike két funkciós csoporttal rendelkezik, az egy monomeren található funkciós csoportok típusa azonos. A reakció általánosan az alábbi módon adható meg:



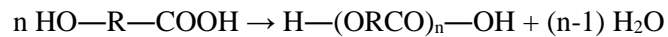
Tipikus példa erre a poliészterek előállítása:



A másik csoportba tartozó monomerek két különböző funkciós csoportot tartalmaznak, mint például a hidroxisavak. Az általános reakció



Ilyen monomerekből is előállíthatók poliészterek

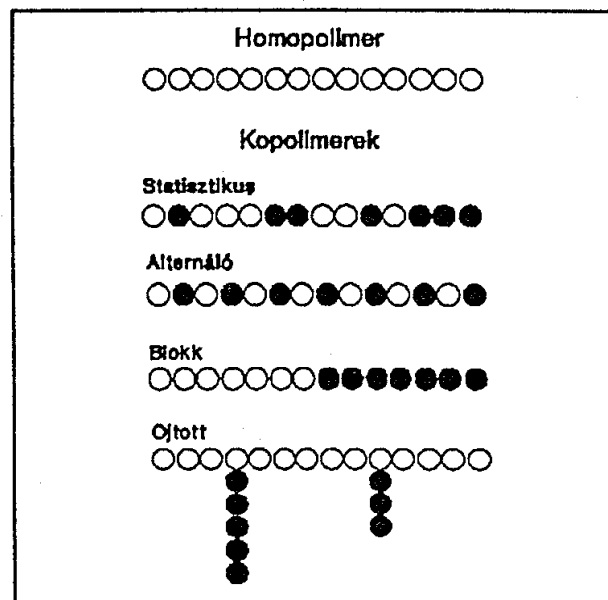


Az előállított polimer típusa szerint megkülönböztetünk homo- és kopolimereket. A **homopolimerek** építőeleme mindig azonos, függetlenül a kiindulási komponensek számától. Pl. a polietilénél egy komponensből, az etilénből állítjuk elő a homopolimert, míg a poliamid (PA66) esetében két komponensre van szükség a homopolimer ismétlődő egységének a kialakításához.

A **kopolimerek** két vagy több építőelemből épülnek fel. Kopolimerek elsősorban addíciós polimerizációval állíthatók elő. A különböző építőelemek, a komonomerek elrendeződése szerint megkülönböztetünk:

- statisztikus
- alternáló
- blokk
- ojtott (ág)

kopolimereket. A polimerek felosztását a típus, valamint a komonomerek elrendeződése szerint vázlatosan a 3.4.1. ábrán mutatjuk be.



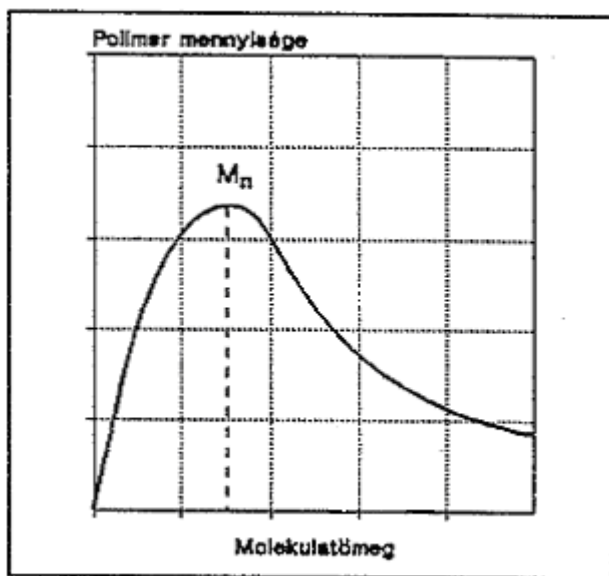
3.4.1. ábra. A polimerek felosztása típus és a komonomerek elrendeződése szerint

3.4.2. A polimerek szerkezete

A polimerek viselkedését és tulajdonságait szerkezetük határozza meg. A polimerek szerkezete mind molekuláris, mind pedig makroszkopikus szinten jelentősen eltér a kis molekulatömegű anyagokétól, és számos jellegzetességgel bír.

A makromolekulák nagysága többféle mennyiséggel jellemezhető. Leírható a makromolekulát alkotó ismétlődő egységek számával, azaz a **polimerizációs fokkal**. A polimerizációs fok és az ismétlődő egység molekulatömegének szorzata a polimer móltömegét adja meg. A polimerizáció statisztikus jellege, valamint a lejátszódó fő- és mellékreakciók következtében a polimer nem jellemezhető egyetlen, jól definiált molekulatömeggel.

A polimert különböző hosszúságú láncok összessége alkotja, így azt **átlagos molekulatömeggel** és egy **molekulatömeg eloszlással** jellemezhetjük. Egy tipikus polimer molekulatömeg eloszlását a 3.4.2. ábrán mutatjuk be.



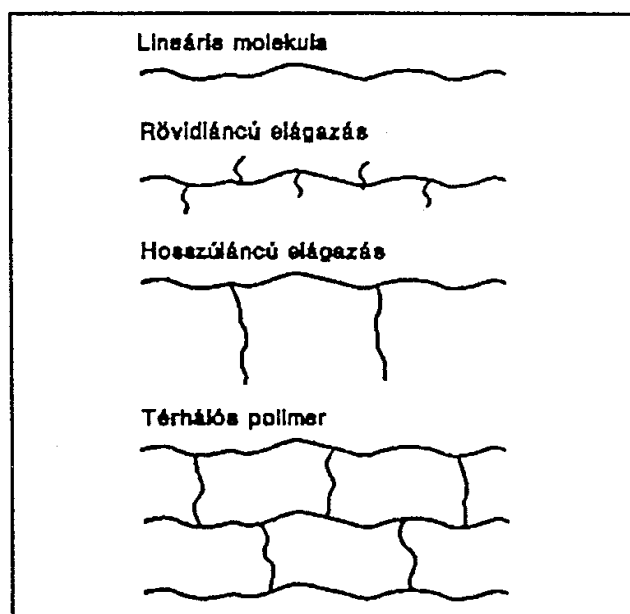
3.4.2. ábra. Egy polimer minta tipikus molekulatömeg eloszlása

A molekulatömeg, illetve annak eloszlása különböző módszerekkel határozható meg. A makromolekulák különböző tulajdonságainak (száma, mérete, hidrodinamikai térfogata, viszkozitása stb.) meghatározása képezi a módszerek alapját és a meghatározott mennyiségek jellegétől függően a módszerek különböző átlagolási eljárásokat alkalmaznak, és így különböző átlag-móltömegekhez jutunk. Pl. a **számszerinti átlag-móltömeg** az alábbi módon definiálható:

$$\bar{M}_n = \frac{\sum N_i M_i}{\sum N_i}$$

ahol N_i az M_i molekulatömeggel rendelkező láncok száma. A kereskedelmi polimerek számszerinti átlag-móltömege általában **10^4 és 10^6 között** található, esetenként azonban többmillió mólómegek is előfordulnak. Más módszerek nem a molekulák számát, hanem azok méretét határozzák meg. Ilyen esetekben a meghatározott mennyiség a **tömegszerinti átlag-móltömeg**.

A polimerizációs reakciók jellegétől és körülményeitől függően változhat a láncok szerkezete. Bizonyos eljárások gyakorlatilag teljesen lineáris láncokat eredményeznek. Más eljárások különböző számú és mértékű elágazottságot hoznak létre a láncon, ami meghatározza a polimer makroszkopikus szerkezetét és tulajdonságait. Általában **hosszú és rövidláncú elágazottságot** különböztetünk meg; a tipikus láncszerkezeteket a 3.4.3. ábrán mutatjuk be.



3.4.3. ábra. A polimer lánc szerkezetének sematikus ábrázolása

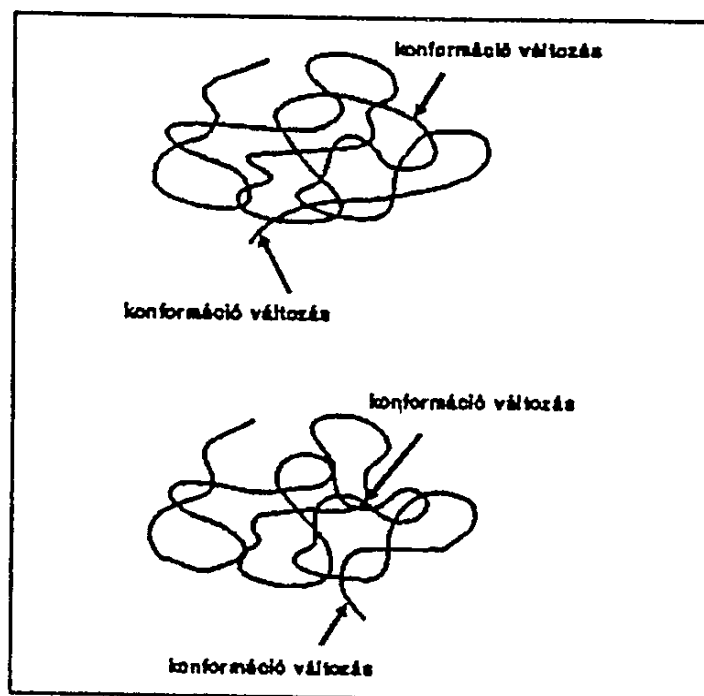
Az elágazottság hatását jól jellemzi a kis- (LDPE) és nagysűrűségű (HDPE) polietilén összehasonlítása, melyet néhány jellemző adat segítségével a 3.4.2. táblázatban mutatunk be. A táblázatban az elágazottságot a láncvégi CH₃- csoportok számával jellemezzük, amit 1000 főláncú szénatomra vonatkoztatunk. Az adatok egyértelműen mutatják a rendezettségben és a tulajdonságokban az elágazás hatására bekövetkező különbségeket.

Típus	Sűrűség (g/cm ³)	Elágazottság (CH ₃ /1000 C atom)	Kristályosság (%)	Modulus (GPa)
LDPE	0,921	12	35	0,17
HDPE	0,970	0	70	1,35

3.4.2. táblázat. Az elágazottság hatása a polietilén tulajdonságaira

A konformáció

A polimerekben, még a lineáris láncok sem kinyújtva, egymással párhuzamosan helyezkednek el. A monomer egységek egymáshoz viszonyított helyzetét a vegyértékszögek, valamint a vegyértékszög körüli rotációt gátló energetikai és térbeli effektusok határozzák meg. Külső erők távollétében a láncok gombolyodott formát vesznek fel (3.4.4. ábra), a gombolyag méreteit és a láncvégek távolságát különböző tényezők határozzák meg. A lánc adott körülmények között felvett alakját **konformációnak** és a lehetséges alakok összességét **konformáció eloszlásnak** nevezzük.

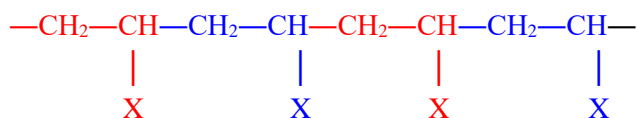


3.4.4. ábra. A gombolyodott láncmolekula

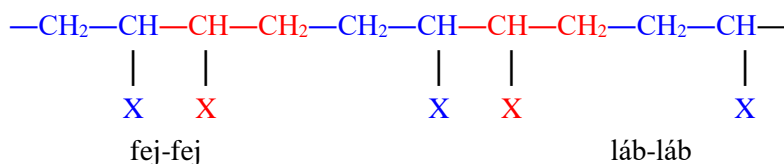
A konfiguráció

A konformációt nem szabad összetéveszteni a **konfigurációval**. Az utóbbi a különböző csoportok térbeli, állandó elrendeződését jelenti.

Az aszimmetrikus monomerek orientációja szerint megkülönböztetünk fej-láb

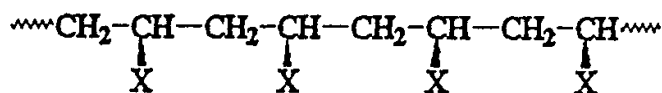


és fej-fej, illetve láb-láb szerkezeteket.

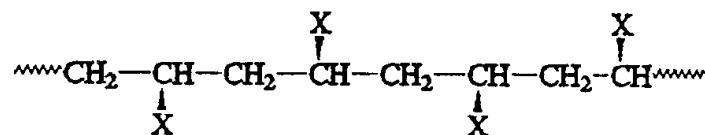


A legtöbb polimerizációs eljárásban elsősorban fej-láb szerkezetek keletkeznek, fej-fej szerkezeteket csak speciális módszerekkel lehet előállítani. Ez természetesen nem zárja ki, hogy az ipari eljárás során ne keletkezzen elvétel néhány ilyen egység a polimer láncon. Ezek általában hibahelyként hatnak és csökkentik a polimer stabilitását.

1. Az **izotaktikus** polimerekben a szubsztituensek főlánchoz viszonyított szterikus elhelyezkedése azonos



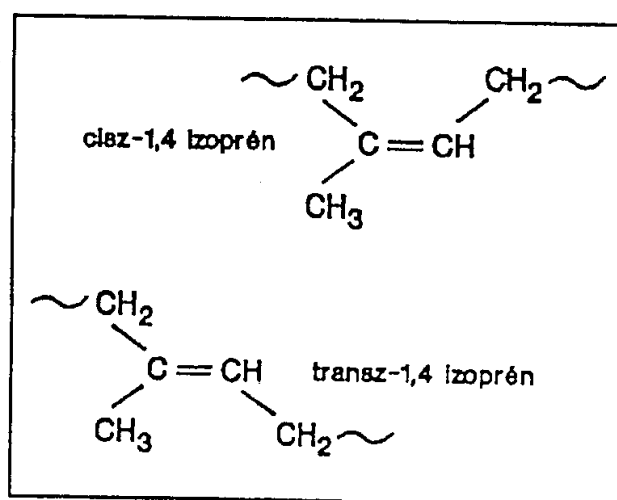
2. A **szündiotaktikus** polimerekben a szubsztituensek alternálva helyezkednek el a lánc két oldalán



3. Az **ataktikus** polimerekben az asszimmetrikus szénatom szubsztituensének elhelyezkedése véletlenszerű.

Ezek a sztereo-kémiai eltérések jelentősen befolyásolják az anyagok tulajdonságait; pl. az izotaktikus polipropilén (iPP) 170 °C-os olvadásponttal és jó mechanikai tulajdonságokkal rendelkező anyag, míg az ataktikus PP (aPP) 0 °C-os üvegesedési hőmérsékletű (ld. később) elasztomer.

A konjugált diének (olyan két darab kettős kötést tartalmazó olefinnek, amelyeknél a két kettős kötés között egy darab egyszeres kötés van) polimerizációjával előállított elasztomerek szerkezeti egységei **transz, vagy cisz konfigurációjúak** lehetnek. Ez olyan molekulák esetében fordul elő, amelyek kettős kötést tartalmaznak (3.4.5. ábra). Így például a poliizoprén cisz és transz izomerje lényegesen eltérő tulajdonságokkal rendelkezik és a polimerkémia egyik fő törekvése sokáig a természetes gumit lényegében alkotó cisz-poliizoprén mesterséges előállítása volt.



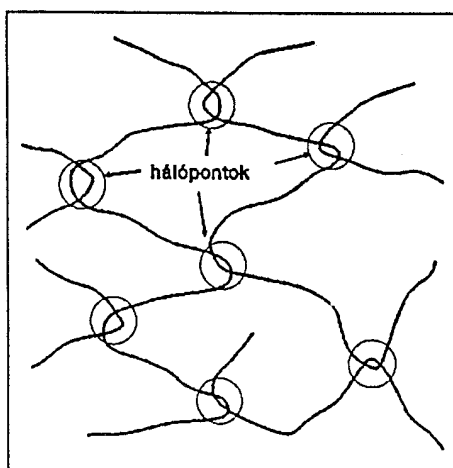
3.4.5. ábra. Konfiguráció, a poliizoprén izomerjei

A szegmensek

A polimer láncban az atomok a vegyérték-kötés körüli rotációs, valamint rezgő mozgást végeznek. Ezen túlmenően azonban bizonyos mértékű transláció is lejátszódhat, mivel a lánc hajlékonyságából adódóan önálló mozgásra képes molekularészei is vannak, amelyeket **szegmenseknek** hívunk. A szegmensek több ismétlődő egységből álló részek, és méretük a láncot felépítő atomok minőségétől, méretétől függ. Az egyes láncok, vagy a lánc kisebb egységei a szegmensek, esetleg az ismétlődő egységek között mindig fellépnek szekunder erők, fizikai-kémiai kölcsönhatások. Ezek lényegében megegyeznek a kis móltömegű anyagoknál fellépő erőkkel. Legjelentősebb szerepe ezek közül a hidrogén-hidaknak van. Ezek esetenként nagyon erősek is lehetnek, és lényeges szerepet játszanak a hosszú távú rendezettség, pl. a kristályosság kialakulásában és meghatározhatják a polimer viselkedését. Jól példázzák ezt a poliamidok, ahol a kristályosság, a magas olvadáspont és a kitűnő mechanikai tulajdonságok egyaránt a szabályosan elhelyezkedő poláris csoportok között fellépő hidrogén-hidas kölcsönhatás következménye.

A fluktuációs háló

A polimerben az egyedi molekulák nem függetlenek, kölcsönhatásba lépnek egymással. A kölcsönhatás lehet fizikai, fizikai-kémiai vagy kémiai jellegű. A fizikai kölcsönhatás elsődleges oka a makromolekulák gombolyodott elhelyezkedése. A bonyolult konformációt felvevő molekulák – olykor többször is – keresztezik egymást, **fizikai térhálót** hozva létre (ld. 3.4.6. ábra). Külső erőhatás esetén a fizikai térháló akadályozza a deformációt, jelentős szerepet játszva a polimer viselkedésében. A fizikai térháló kialakulásának feltétele egy **kritikus molekulatömeg** elérése. A kritikus molekulatömeg alatt a polimer nem képes a térháló kialakítására, tulajdonságai és tulajdonságainak móltömeg-függése lényegesen eltér a kritikus érték felett megfigyelt viselkedéstől. A kritikus móltömeg értéke függ a polimer típusától, a külső igénybevétel nagyságától, a mérési módszertől stb. A fizikai térháló nem állandó, hanem dinamikusan változik, ezért gyakran **fluktuációs hálónak** is nevezik.



3.4.6. ábra. Fizikai térháló

A polimerizáció során, vagy azt követően a láncok között primer kémiai kötések is kialakulhatnak, **térhálós polimereket** hozva létre. Ezeket a kiindulási polimer jellegétől, valamint a térhálós polimer tulajdonságaitól függően két csoportra oszthatjuk:

- gumik, amelyek elasztomerek utólagos vulkanizálásával (térehálósításával) készülnek;
- műgyanták (hőre keményedő műanyagok), melyek általában a polimerizációs eljárás során, monomerekből képződnek.

A térehálós polimerek tulajdonságait más tényezők mellett döntő mértékben befolyásolja a **téreháló-sűrűség**, ami a lánconkénti keresztkötések gyakoriságára, illetve a keresztkötések közötti távolságra jellemző mennyiség. (Meg kell itt jegyeznünk, hogy a hőre keményedő műanyag kifejezés történelmi név, ezek közül az anyagok közül számos szobahőmérsékleten, melegítés nélkül térehálósodik.)

3.4.3. Halmaz, fázis, fizikai állapot

A polimerek, műanyagok alkalmazása során mindig kölcsönhatások lépnek fel hasonló, vagy különböző molekulák között. A kölcsönhatás erősségének és a molekulák termikus energiájának viszonya határozza meg az anyag halmaz-, vagy fizikai állapotát, mechanikai tulajdonságait és általában a külső igénybevételre adott választ. A polimerek – mint sok más tekintetben – az állapotok tekintetében is számos különbséget mutatnak a kis-móltömegű anyagokkal szemben.

A **halmazállapotot** az anyagot felépítő részecskék (atomok, molekulák, ionok) között ható vonzási energia és a hőmozgás energiájának viszonya határozza meg. Mint tudjuk, a kis-móltömegű anyagok halmazállapota lehet szilárd, folyadék, vagy gáz. Gáz halmazállapotban a részecskék hőmozgásának energiája lényegesen meghaladja a részecskék vonzási energiáját. A részecskék haladó, forgó és

rezgő mozgást végeznek, a belső szabadsági fokok száma nagy. A részecskék sem térfogatukat, sem alakjukat nem tartják meg, közöttük sem rövid, sem hosszú távú rendezettség nincs. A folyadékokban a részecskék közötti kölcsönhatás nagyobb, a vonzerők összetartják a részecskéket. A részecskék között rövid távú rendezettség alakul ki, térfogatukat megtartják, de a részecskék nagy mozgékonyasága következtében nem alaktartóak. A szilárd anyagokban a részecskék egymáshoz viszonyított helyzete rögzített, ezek csak rezgő mozgást végeznek egy egyensúlyi helyzet körül, a szabadsági fokok száma lényegesen lecsökken. Az anyagban kialakulhat rövid és hosszú távú rendezettség is. A szilárd anyagok alak és térfogattartóak.

A polimerek nagy molekulatömegük következtében soha nem lehetnek gáz halmazállapotúak és a hagyományos értelemben véve folyékonyak sem. A műanyagok viszkozitása több nagyságrenddel meghaladja a kis-móltömegű anyagokét és folyás gyakran csak nagy nyírás hatására jön létre. A viszkozitás függ a lánc kémiai és fizikai szerkezetétől, valamint a molekulatömegétől, de olyan alacsony értéket soha nem ér el, hogy a polimer-ömladék a rendelkezésre álló térfogatot gyorsan és teljes mértékben kitöltse, mint a hagyományos, kis-móltömegű folyadékok. Ennek megfelelően a polimerek gyakorlatilag mindig szilárd halmazállapotúnak tekinthetők és deformációjuk során a leggyakrabban rugalmas és maradó alakváltozás egyidejűleg megy végbe.

A **fázis** definiálható termodinamikai és szerkezeti szempontból. A termodinamikai definíció szerint fázisnak a termodinamikailag egyensúlyban levő, fázishatárokkal rendelkező homogén részecskehalmazt tekintjük, melyre vonatkozóan a termodinamikai paraméterek értelmezhetők. Számunkra elsősorban az anyagok szerkezet szerinti osztályozása érdekes.

A szerkezeti definíció szerinti osztályozás a részecskék hosszú távú rendezettségének megléte, vagy hiánya szerint történik. Hosszú távú rendezettség esetén **kristályos**, ennek hiányában **amorf** anyagokról beszélünk. A polimerek is lehetnek amorfak és kristályosak, azonban mindkét esetben különböznek a kis-móltömegű anyagoktól. A szabályos láncszerkezettel rendelkező polimerek lehűtés után gyakran kristályosodnak, különböző szerkezeti egységekbe rendeződnek. A kristályos polimerek rendezettsége azonban soha sem tökéletes, azaz a **kristályosság** mindig kisebb, mint 100 %, általában 30 és 80 % között van. Ennek megfelelően a szerkezeti elemek mérete, tökéletessége változik, hasonlóan a móltömeghez, egy eloszlással jellemezhető. A kristályos polimerek morfológiája (kristályosság, kristályos elemek mérete és méreteloszlása, a kristályok típusa stb.) szilárd állapotban meghatározza ezeknek az anyagoknak a tulajdonságait.

A kristályos polimerek rendezettségi foka tehát sokkal kisebb, mint a kis-móltömegű anyagoké, az amorf polimerek rendezettsége viszont általában nagyobb. A makromolekulák láncszerkezete az építőelemek összekapcsoltsága következtében már önmagában is valamilyen rendezettséget jelent, de gyakran szupermolekuláris képződmények is kialakulnak. De az amorf anyagok sem mindig homogének. Az ojtott és blokk-kopolimerek különböző építőelemekből álló láncai gyakran különböző fázisokra válnak szét.

A **fizikai állapotok** a kis-móltömegű anyagok esetében nem léteznek, ezek a polimerekre jellemzőek. Az egyes fizikai állapotokat – a kis-móltömegű anyagok halmazállapotaihoz hasonlóan – a belső energia nagysága, a hőmozgás mértéke határozza meg. Három fizikai állapotot különböztetünk meg, a polimer lehet **üveges**, **nagyrugalmas**, vagy **ömladék** állapotban. A polimer szerkezete mindhárom állapotban amorf; hosszú távú rendezettség nincs. A halmaz-, fázis- és fizikai állapotok viszonyát a 3.4.7. ábra mutatja be.

A polimer sajátságos viselkedésének, külső igénybevételre adott válaszána egyik hordozója a hajlékony polimer lánc. A gyakorlatban soha nem találkozunk egyedi láncal, a polimer oldatban, vagy szilárd állapotban van jelen. Mindkét esetben kölcsönhatások lépnek fel az oldószer és a polimer lánc, illetve a polimer láncok között. Így a molekulák alakjának az aktuális konformációnak a meghatározásában az intramolekuláris kölcsönhatások mellett az intermolekuláris kölcsönhatások és a szerkezet is jelentős szerepet játszanak.

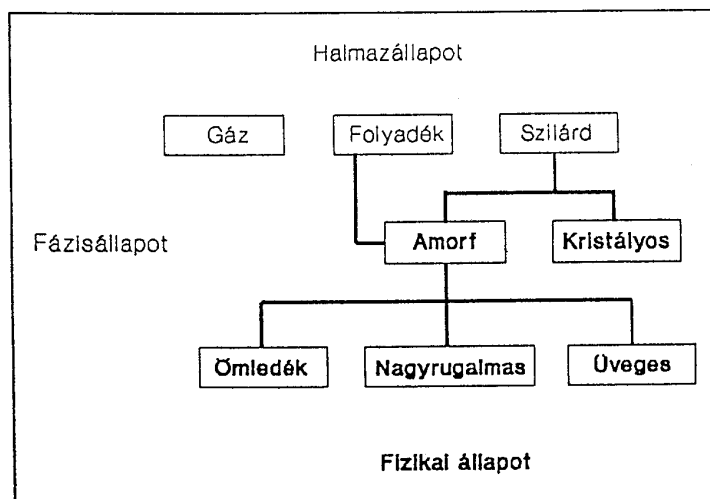
A kölcsönhatások erőssége és a polimer viselkedésére, tulajdonságaira gyakorolt hatása erősen függ a hőmérséklettől, attól, hogy a polimer, milyen fizikai; vagy fázis állapotban van. A hőmérséklet

növekedésével a molekula belső energiája növekszik, a komponensek között ható kölcsönhatások pedig gyengülnek. A hőmérséklet emelkedése a szerkezet átalakulását is eredményezi.

Üveges állapotban a makromolekula és egyes részei csak rezgő mozgásra képesek. Az üveges polimer merevsége, szilárdsága általában nagy, külső erő hatására energia-rugalmas deformáció jön létre. A hőmérséklet emelkedésével az anyag belső energiája nő és egy bizonyos hőmérséklet felett megindul a molekulák egyes részeinek mozgása.

A **nagyrugalmas** állapotban a különböző konformációk dinamikus egyensúlya alakul ki, az anyag deformációja túlnyomórészt a konformáció megváltozásából származik, de a molekulák tömegközéppontjának egymáshoz viszonyított helyzete nem változik. A mozgásban résztvevő egységek a szegmensek, melyek mérete a lánc kémiai szerkezetétől, a külső igénybevétel típusától és nagyságától, a mérési módszertől és egy sor más tényezőtől függ. A nagyrugalmas állapotban a polimer nagymértékű reverzibilis deformációra képes.

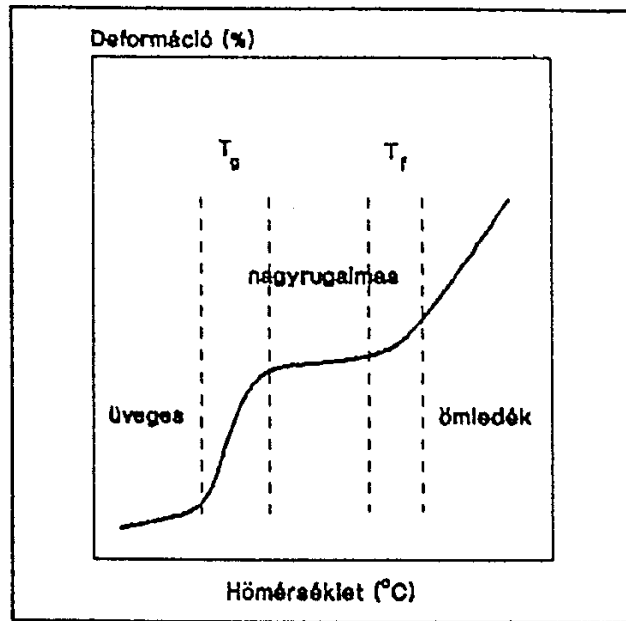
Ömledék-állapotban a polimer viszkózusan folyik, a molekulák egymáshoz képest elmozdulnak. A folyást gyakorlatilag mindig rugalmas deformáció is kíséri, ennek mértéke a polimer láncszerkezetétől és a külső igénybevétel sebességétől függ. A polimerek rendkívül nagy viszkozitása következtében a feldolgozás, alakadás, nagy erő-igénybevétel, nyírás hatására megy végbe. A feldolgozás során megváltozik a polimer egyensúlyi konformációja is, ami időfüggő jelenségek fellépéséhez vezet.



3.4.7. ábra. **Polimerek halmaz-, fázis- és fizikai állapotának összefüggése**

A fázis- és fizikai állapotoknak, valamint az egyes állapotok közötti átmeneteknek a gyakorlat szempontjából rendkívül nagy jelentősége van. Az átmeneti hőmérsékletek határozzák meg a polimer feldolgozhatóságát és alkalmazástechnikai jellemzőit. A hőre lágyuló polimerek feldolgozása például általában ömledék-állapotban történik, az elasztomereket nagyrugalmas állapotban használják fel, míg a műszaki műanyagokat üveges, vagy kristályos állapotban. Az átmeneteket és az egyes állapotokban mutatott viselkedést legjobban a **termomechanikai görbe** jellemzi. Ez a polimer választ mutatja valamilyen külső behatásra, a gyakorlat szempontjából érdekes teljes hőmérsékleti tartományban.

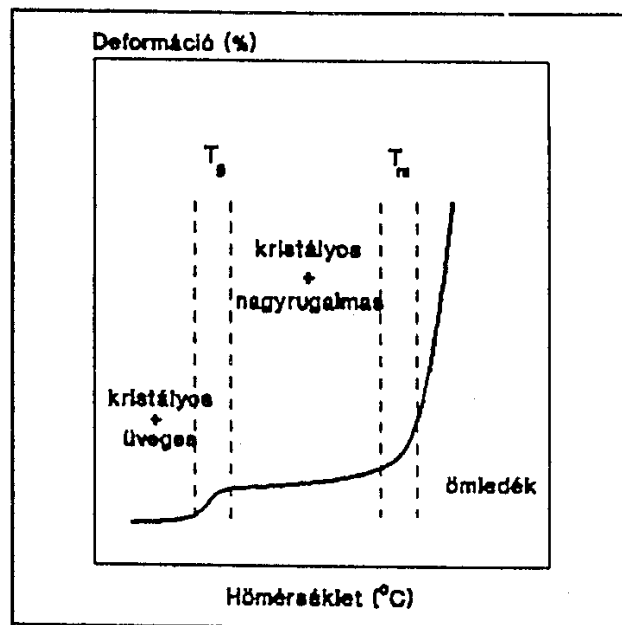
Az 3.4.8. ábrán egy amorf polimer tipikus termomechanikai görbét láthatjuk, a deformálhatóságot ábrázoltuk a hőmérséklet függvényében. A bemutatott függvényt általában dinamikus mérés segítségével határozzák meg, állandó frekvencián mérik az azonos terhelés hatására létrejövő deformáció mértékét.



3.4.8. ábra. Egy amorf polimer termomechanikai görbéje

Látható, hogy az üveges állapotban a deformálhatóság kicsi, majd egy bizonyos hőmérséklet felett jelentősen nő. A két tartományt elválasztó jellemző hőmérséklet a T_g , az **üvegesedési hőmérséklet**. Az átmenet általában egy többé-kevésbé széles tartományt ölel át, üvegesedési hőmérsékletként általában a görbe kezdetét vagy inflexió pontját jelölik meg. A másik jellemző hőmérséklet a nagy rugalmas és az ömledék-állapot között található, ez a folyási hőmérséklet. Ez az átmenet sokkal kevésbé definiált, mint a T_g , értéke nagymértékben függ a mérés körülményeitől. Jellemző, hogy míg a kézikönyvekben a T_g gyakorlatilag mindig szerepel az egyes polimerek jellemzői között, a T_f igen gyakran hiányzik.

Kristályos polimerek esetében a tulajdonságok hordozója a kristályos fázis. A jellemző hőmérséklet itt a T_m , az **olvadási hőmérséklet**. Egy kristályos polimer tipikus termomechanikai görbáját a 3.4.9. ábrán mutatjuk be.



3.4.9. ábra. Egy kristályos polimer termomechanikai görbéje

A görbén látható az amorf fázis üvegesedési hőmérséklete és a kristályos fázis olvadáspontja, azaz megjelenik a kristályos polimerekre jellemző kétfázisú szerkezet. Az amorf fázis mennyisége

változik, de minden esetben jelen van. A kristályos polimerek jellemzője, hogy a kristályok olvadása után nem nagyrugalmas, hanem ömledék-állapotba mennek át. Az ömledék viszkozitása általában kisebb, mint az amorf anyagoké, egyes esetekben (pl. poliamid, poliészter) a viszkozitás közelíthet a kis-móltömegű anyagokéhoz.

Fel kell hívnunk a figyelmet arra, hogy a fenti két ábra tipikus polimereket, illetve viselkedést reprezentál. Előfordul, hogy egyes polimerek valamelyik állapotba nem vihetők, esetleg az állapotok további kombinációja is lehetséges. Nagyon nagy móltömegű kristályos polimerek az olvadás után nagyrugalmas állapotba mennek át és csak a hőmérséklet további emelésével, vagy egyáltalán nem vihetők ömledék-állapotba. Az is előfordul, hogy az ömledék-állapot elérését az anyag bomlása akadályozza meg (PTFE, teflon), vagy egy kristályos polimer utólagos térhálósítása miatt olvadáskor nagyrugalmas állapotú lesz, de viszkozus folyásra már nem képes.

3.4.4. A műanyagok felépítése

Egyes polimereket nem önmagukban, hanem más polimerekkel készített keverékekben használják. A kívánt tulajdonságok elérése érdekében a polimereket gyakran módosítják, társító anyagokat adnak hozzájuk. A végtermék szerkezete függ a komponensek jellegétől, a polimer molekulaszervezetétől, a komponensek mennyiségétől és a feldolgozási viszonyoktól.

A műanyagok számos, a feldolgozást, vagy az alkalmazást elősegítő adalékot tartalmaznak, ezek lehetnek kis és nagy-molekulájúak, és adagolásuk történhet néhány tized százaléktól akár 50 %-ig is. A teljesség igénye nélkül bemutatjuk a műanyagokban alkalmazott adalékok és társító komponensek legfontosabb típusait.

a) Adalékok

- Stabilizátorok: a feldolgozás és alkalmazás körülményei között biztosítják a polimer tulajdonságainak megőrzését.
- Csúsztatók: segítik a műanyag feldolgozását.
- Formaleválasztók: könnyítik a késztermék eltávolítását a feldolgozó szerszámból.
- Lágyítók: a kemény műanyagokat (elsősorban PVC) flexibilissé teszik.
- Égésgátlók: csökkentik a polimer éghetőségét és a füstképződést az égés alatt.
- Színezékek: biztosítják a kívánt színt.
- Optikai fehéritők: megszüntetik egyes polimerek sárgás színét.
- Szag- és illatanyagok: elveszik a műanyag kellemetlen szagát, vagy biztosítják a kívánt illatot.
- Antisztatikumok: csökkentik a műanyag felületi és/vagy térfogati ellenállását.
- Nukleáló szerek: szabályozzák a műanyagok kristályosodását és kristályos szerkezetét.

b) Társító anyagok

- Polimerek: polimerkeverékek komponensei.
- Ütésálló adalékok: ezek általában elasztomerek, növelik a műanyag ütésállóságát, különösen alacsony hőfokon.
- Vezetőképességet biztosító anyagok: korom, vagy fém részecskék.
- Töltőanyagok: növelik a műanyag merevségét, és általában csökkentik az árát.
- Erősítő anyagok: anizotróp adalékok, igen gyakran szálak, növelik a műanyag szilárdságát és merevségét.
- Természetes polimerek és anyagok: pl. keményítő, cellulóz, gyorsítják a műanyag biológiai lebonthatóságát.

3.4.5. A polimerek és műanyagok csoportosítása és tulajdonságai

A polimerek és műanyagok tulajdonságait jellemző hőmérsékletük szobahőmérséklethez viszonyított értéke határozza meg. Amorf polimerek esetén ez a jellemző hőmérséklet az üvegesedési hőmérséklet, míg kristályos anyagok esetén az olvadási hőmérséklet. Ez utóbbi értelemszerűen szobahőmérséklet felett van, így a kristályos polimerek általában nehezen oldódó, nagyszilárdságú, merev anyagok. Természetesen a tulajdonságok nagymértékben függenek a kristályszerkezettől és a kristályosság foktól.

Amennyiben az üvegesedési hőmérséklet szobahőmérséklet alatt van, külső erő hatására az anyag könnyen deformálódik, az erő megszűnése után pedig igyekszik felvenni eredeti alakját. A szobahőmérséklet alatti üvegesedési hőmérséklettel rendelkező anyagok az elasztomerek. Amennyiben az üvegesedési hőmérséklet a szobahőmérséklet felett van, általában műanyagokról beszélünk. Ezek lehetnek lineárisak, vagy térhálósak, amorfak, vagy kristályosak.

A polimerek és műanyagok csoportosítása jellemző hőmérsékletük, tulajdonságaik, vagy szerkezetük alapján történhet. Egységes csoportosítás nem létezik, ez minden esetben önkényes. Bizonyos szempontok alapján egy anyag az egyik, míg más szempontok alapján a másik csoportba kerül. Az alábbi felsorolás azokat az anyagcsoportokat tartalmazza, amelyek valamilyen szempont szerint gyakran megkülönböztetnek a többitől, egyben magyarázva a csoport, nevét alkotó gyűjtőfogalmakat is.

a) Elasztomerek, gumik

Az elasztomerek rugalmas, lineáris láncszerkezetű alifás polimerek, melyek üvegesedési hőmérséklete lényegesen szobahőmérséklet alatt van. Az elasztomerek egy része telítetlen kettőskötést tartalmaz, ezek kémiai térhálósításával kapjuk a gumikat. (Térhálót nemcsak kémiai úton hozhatunk létre, hanem a láncok rögzítése állandó fizikai térháló segítségével is történhet. Ilyen anyagokban a térháló-pontok hő hatására reverzibilisen felbomlanak és újraalakulnak, az ilyen anyagok feldolgozása a hőre lágyuló műanyagok feldolgozási technikájával történhet. Ezeket az anyagokat termoplasztikus elasztomereknek nevezzük.)

A gumik térhálósűrűsége lényegesen kisebb, mint a hőre keményedő műanyagoké, ezért térhálósítás után is megőrzi rugalmasságukat, amit természetesen az alifás láncok hajlékonysága tesz lehetővé. (Nagyon sűrű térháló esetén, a gumi is lehet üvegekeménységű, ez az ebonit.) A gumik széles körben alkalmazottak, de felhasználásuk legnagyobb részét a járműipari abroncsok teszik ki. A hagyományos gumik nagy részét dién polimerekből készítik, ezek néhány képviselőjét mutatjuk itt be nagyon röviden.

Poliizoprén. A természetes kaucsuk lineáris szerkezetű I-4, cisz konfigurációjú poliizoprén. Több mint 2000 növény nedvében megtalálható, de fő forrása a *Hevea Brasiliensis*, melynek csapolásával nyerik a latexet. Ebből különböző műveletekkel készítik az elasztomert és térhálósítással a gumit. Az elasztomer és a gumi jellemzői a latexben található egyéb természetes anyagoktól is függenek. Felhasználása széleskörű, az abroncsok egy jelentős részét még ma is természetes kaucsukból készítik. Mennyisége korlátozott, ezért szükséges a szintetikus kaucsukok gyártása. Szintetikus poliizoprént is gyártanak polimerizációval. A szintetikus kaucsuk öregedésállósága jobb, feldolgozhatósága rosszabb, mint a természetes kaucsuké. Elterjedését a monomergyártásának és tisztításának körülményessége korlátozza.

Polibutadién. Az első nagyvolumenben gyártott szintetikus kaucsuk, melyben az 1-2 kapcsolódású egységek dominálnak. Lágy, nem kristályosodó polimer, szilárdsága viszonylag kicsi. Feldolgozási jellemzői kedvezőtlenek, önmagában nem nagyon használják.

Butadién-sztirol kopolimerek. A legelterjedtebben használt általános rendeltetésű szintetikus kaucsukok. Több tulajdonság tekintetében elmaradnak a természetes kaucsuktól, kopásállóságuk és öregedésállóságuk, viszont jobb. Legnagyobb részüket gépjármű abroncsok előállítására használják, a természetes kaucsuk pótlására leggyakrabban alkalmazott anyag.

Polikloroprén. A polikloroprén, a 2-klór-butadién zömmel transz kettős kötést tartalmazó polimere. Tulajdonságai kedvezők, szilárdsága és rugalmassága jó, oldószerállósága, stabilitása kiváló. Olyan területeken alkalmazzák, ahol a rugalmassági tulajdonságok mellett a vegyszer, fény és ózonállóság is fontos.

Nitrilkaucsuk. Butadién és akril-nitril kopolimerizációjával állítják elő különböző akril-nitril tartalommal. A nitrilkaucsukból készült gumik vegyszerállósága és kopásállósága kitűnő, ezért olyan alkalmazási területeken használják őket, ahol ezek fontosak. A többi tulajdonsága (fagyállóság, dinamikus melegedés, ózonállóság, feldolgozás-technikai jellemzők) elmarad a természetes és a legtöbb szintetikus kaucsukétól.

A **gumigyártás** során a térhálósítás, vagy más néven vulkanizálás kezdetben szinte kizárólag kénnel történt. Ma már többfajta vulkanizálási eljárás létezik és a kénes vulkanizálás is többfajta adalék felhasználásával történik, amelyek segítik, módosítják a folyamatot. A legfontosabb három térhálósítási eljárás a következő:

Kénes vulkanizálás. Az elasztomer láncok között kén hidak jönnek létre és alakítják ki a térhálót.

Gyökös vulkanizálás. Oxidálószerke, vagy más reagensek polimer gyököt hoznak létre, amely azután más láncokkal, elsősorban a kettőskötésekkel reagálva létrehozza a keresztkötést.

Fenol gyanták. Lényegében ezek is gyökös reakciókban reagálnak az elasztomerrel, a keresztkötés azonban a fenolgyantán keresztül alakul ki.

A szilikon elasztomerek kivételével a legtöbb elasztomert kénes vulkanizálással térhálósítják. A kén mellett a keverék tartalmazhat még egyéb kénforrást, gyorsítókat, amelyek jelentősen felgyorsítják a térhálósodás folyamatát, aktivátorokat (cink-oxid), fémszappant, az idő előtti térhálósítást megakadályozó inhibitorokat és egyéb adalékokat.

A gumik, de különösen műszaki célra és az abroncs gyártásra használt keverékek gyakorlatilag minden esetben tartalmaznak töltőanyagot is. A gumiiparban ezeket az adalékokat két nagy csoportra osztják, inaktív és aktív töltőanyagokra. Az aktív töltőanyagok legfontosabb képviselője a korom, melynek adagolása jelentősen növeli a gumi szilárdságát, kopásállóságát és tépőszilárdságát. Rendkívül sokféle korom létezik, az aktív kormok közös jellemzője, hogy szemcseméretük kicsi, fajlagos felületük pedig rendkívül nagy, elérheti az 1000 m²/g értéket is. A kis szemcseméret következtében a korom szemcsék aggregálódnak, jellemző szerkezetet alakítanak ki. A korom feldolgozhatósága és a gumi mechanikai jellemzőire gyakorolt hatása függ a fajlagos felületétől és a szerkezetétől.

A fentiekből is világos, hogy a gumikeverék nagyszámú adalékot tartalmaz, ami szükséges a megfelelő térhálósűrűség kialakításához és a kívánt mechanikai jellemzők biztosításához. A telítetlen kötést tartalmazó gumik nagyon érzékenyek a levegő oxigénjére és az ózonra, ezért további adalékok, stabilizátorok szükségesek az öregedés megakadályozásához.

A gumitermékek mintegy 70 %-át a gépkocsi abroncsok teszik ki. Ezek rendkívül bonyolult szerkezetek, egy nehéz földmunkagép abroncsa több mint száz komponensből is állhat és előállítás, felépítése 24 órát is igénybe vehet. Az abroncs komponensei között van fémhuzal, fém vagy műanyagszövet és különböző összetételű gumikomponensek. A szál és a különböző szövetrétegek elhelyezését rendkívül gondosan tervezik, hogy az egyes komponensek tapadása megfelelő legyen és az alkalmazás közben fellépő bonyolult igénybevétel (nyírás, húzás, csavarás) hatására a komponensek ne váljanak el egymástól, ne következzen be az abroncs tönkremenetele. Az abroncs funkciói, illetve a vele szemben támasztott legfontosabb követelmények a következők:

- a terhelés hordozása
- az útegyenetlenségek okozta lengések csillapítása
- sebességtűrés
- a meghajtó és fékezőnyomaték átvitele
- úttartás
- biztonságos üzemelés

- gazdaságosság

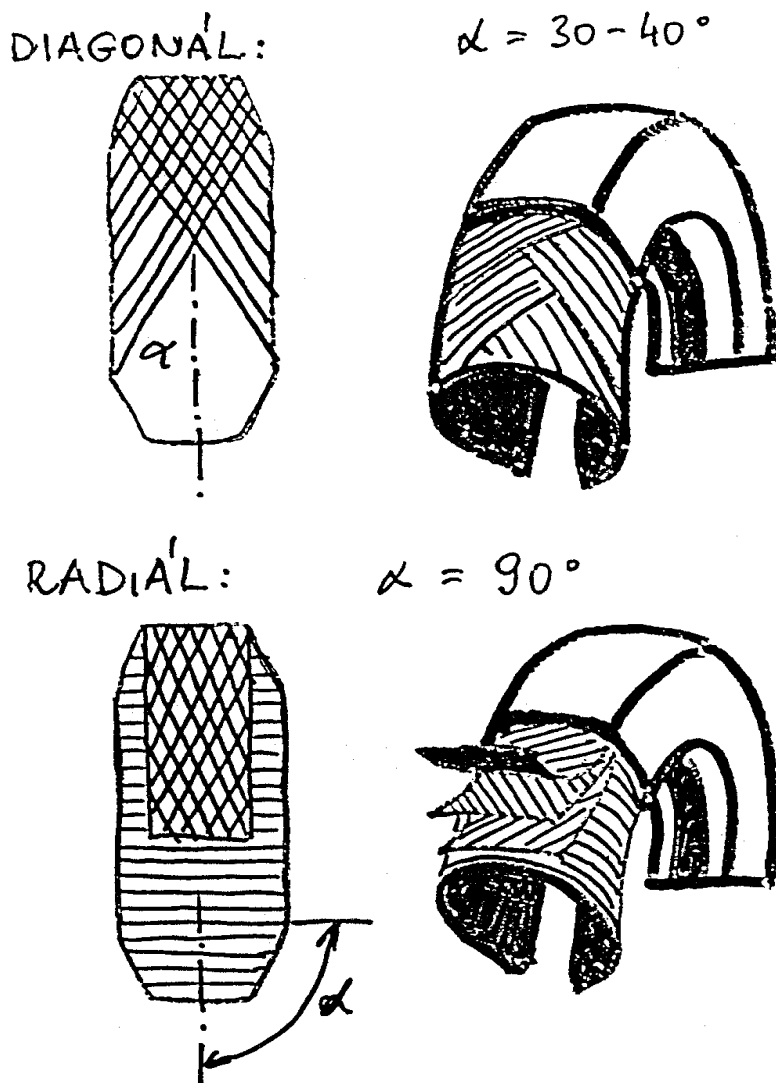
Az abroncs fő részei, amelyek mind több komponensből állnak:

a futófelület, ami biztosítja a kapcsolatot a gépkocsi és az út között, ez alatt helyezkedik el a szövetváz, ami az abroncs szilárdságát adja,

az oldalgumi, ami a szövetváz külső behatások elleni védelmét szolgálja, egyben egy belső szigetelő réteg biztosítja lehető legkisebb légáteresztést,

a peremszerkezet, ami a huzalkarikából és az azt körülvevő komponensekből áll, ami összeköti az abroncsot a kerék fémrészével, a pánntal; a peremszerkezet biztosítja a tömlőnélküli abroncsok megfelelő szigetelését, zárását is.

Az abroncs típusát a **szövetváz betétjeinek elrendeződése** szabja meg. A diagonál abroncsokban a betétek 30-45°-os szögben futottak az egyik peremtől a másikig. A radiál abroncsokban a gumikban a szövetváz szálai merőlegesek a kerék síkjára a koronavonalra, azaz koronaszögük 90°-os. Az abroncs szilárdságának biztosítására egy övszerkezetet is alkalmaznak, amelynek rétegeiben a szálak iránya 15-20°-os szöget zár be a koronasíkkal (3.4.11. ábra).



3.4.11. ábra. Gumiabroncs típusok

A diagonál gumik szilárdsága, fáradásállósága, hőhártartása és ennek következtében élettartama lényegesen rövidebb, mint a radiálgumiké.

Az abroncs előállítás, sok lépésből álló bonyolult folyamat. A gyártás az egyes alkotóelemek vizsgálatával és a megfelelő gumikeverékek előállításával kezdődik. A komponenseket lemérik és egy belső keverőben homogenizálják, előkészítik a további műveletekhez. A keverés legfontosabb paraméterei az adalékok hozzáadásának sorrendje, a keverés energiaigénye és az anyag hőmérséklete, mivel a keverékek mechanikai tulajdonságai, és ezáltal a kész abroncs jellemzői az összetételtől és a feldolgozás körülményeitől erősen függenek. A keverékeket hengerszékeken, kalandereken, vagy extrudereken dolgozzák fel szalagokká, lemezekké, vagy profilokká. A szöveteket és a perem fémhuzalját tovább-feldolgozás előtt gumival vonják be, impregnálják. A komponenseket a megfelelő méretre vágják, és szükség esetén végtelenítik, majd ezekből felépítik az abroncsot. A kész abroncsot meghatározott program szerint vulkanizálják, majd a kész gumit minőségellenőrzésnek vetik alá.

Az abroncsgyártás egyik fontos lépése a minőségellenőrzés. Az abroncs használat közbeni meghibásodása súlyos balesethez vezethet. A használati körülményeket modellező vizsgálatok egész sorát végzik rendszeresen a gumin. Ezek közé tartoznak a sebesség és terhelésállósági vizsgálatok, a gördülési ellenállás mérése, a fárasztási és kopásvizsgálatok és egy sor más mérés. A laboratóriumi vizsgálatok mellett nagyon fontosak a próbapályás és felhasználói vizsgálatok is.

b) Hőre lágyuló műanyagok

Lineáris, vagy elágazott molekulákból álló anyagok, melyek üvegesedési és/vagy kristályosodási hőmérséklete szobahőmérséklet felett van. A hőmérséklet növelésével az anyag megolvad, nagyviszkozitású ömledék-állapotba megy át. Feldolgozásuk magas hőmérsékleten, külső (nyíró) erő hatására történik. Lehűlés után megszilárdulnak és megtartják az alakadás során nyert formájukat. Az olvasztás és megszilárdulás reverzibilis folyamatok. A hőre lágyuló feldolgozási eljárások termelékenysége rendkívül nagy. Ebbe a csoportba tartoznak a nagymennyiségben gyártott, és alkalmazott, általában olcsó tömegműanyagok.

Polietilén.(PE). Monomerje az etilén, $\text{CH}_2=\text{CH}_2$. A polimerizációs eljárástól függően sűrűsége viszonylag tág határok között változik ($0,92\text{-}0,97\text{ g/cm}^3$), ami a kristályossági fok változásának következménye. A sűrűségtől függően kissűrűségű (LDPE) és nagysűrűségű (HDPE) polietilénről beszélünk. A kristályos olvadáspont 110 és 130 °C fok között van, típustól függően. Kismennyiségű α -olefínnel kopolimerizálva kapjuk a lineáris polietilént (LPE, vagy LLDPE).

A polietilén jelentős részét a csomagolótechnikában használják fel. Hordtáskák, zacskók és tasakok, nagymennyiségben készülnek minden típusból. A nagy sűrűségű típusokból egyre több víz és gázcsövet készítenek, valamint ebből készítik a padló-fűtőcsövek egy részét is.

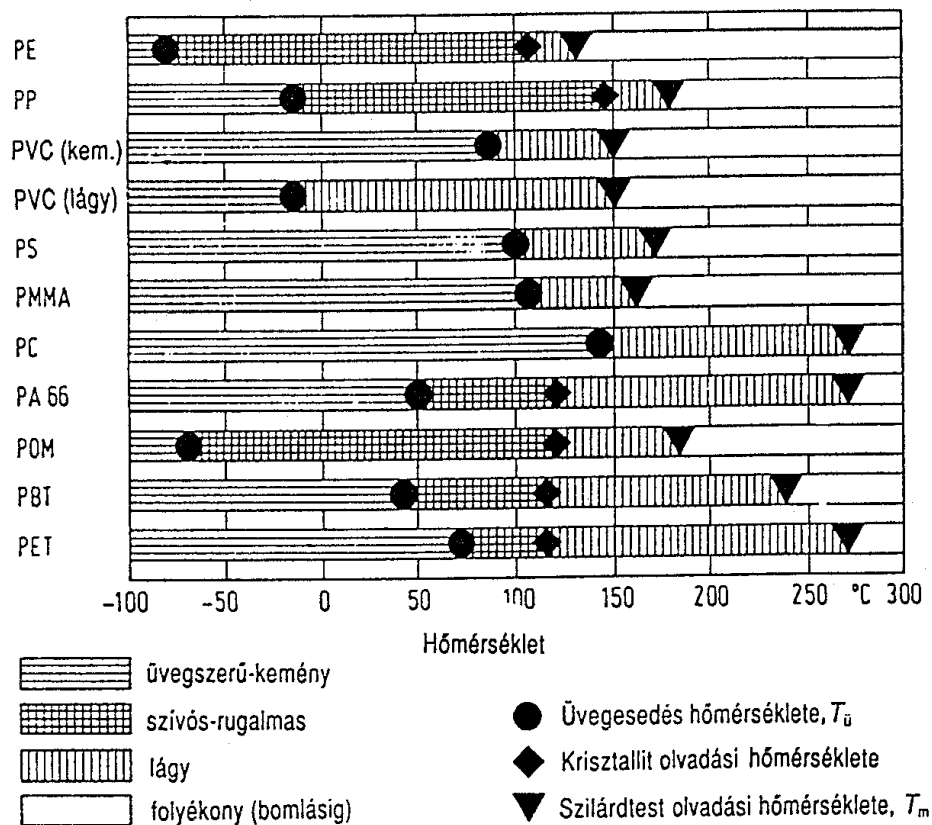
Polipropilén (PP). Monomere a propilén, $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$. Kristályos polimer, olvadáspontja 167 °C körül van. Rendkívül előnyös tulajdonság/ár viszonyok jellemzik. A legtöbb hőre lágyuló eljárással feldolgozható. Alkalmazása rendkívül széles körű, csomagolóanyagok, műszaki cikkek, szerelési anyagok készülnek belőle. Rendkívül sokoldalúan módosítható. Etilén-propilén elasztomerrel termoplasztikus elasztomer készíthető belőle (sícipő), ugyanezzel az elasztomerrel ütészállósítható (lökhárító), töltőanyagokkal merevsége növelhető (műszerfal, mosógép alkatrész). Üvegszállal erősített változata a műszaki műanyagokkal versenyez. Szál is húzható belőle, ipari textíliák (zsákok) és szőnyegek készítésére használják. Gazdasági jelentősége nagy.

Polisztirol (PS). Monomere a stírol, $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_5$. Amorf polimer, üvegesedési hőmérséklete 100 °C körül van. A tiszta polisztirol rideg, átlátszó anyag. Feldolgozása elsősorban fröccsöntéssel történik. Alkalmazási területe irodaszerek, optikai elemek, dekorációs anyagok. A habosított polisztirolt a csomagolótechnikában (könnyű, fehér, törékeny hab - műszerek, hűtőgépek, TV, elektronikai cikkek) használják kiterjedten. Rendkívül fontosak kopolimerjei. Butadiénnel kopolimerizálva nagy ütészállóságot lehet elérni (HIPS), de rendkívül jó tulajdonságokkal rendelkezik a butadiénnel és akril-nitrillel készített terpolimerje is (ABS). Ezeket az anyagokat a műszeriparban, járműgyártásban, háztartási gépek gyártásában kiterjedten alkalmazzák. A kültéri alkalmazásban problémát jelent a butadién komponens kettőskötéseinek fényérzékenysége.

Poli(vinil-klorid) (PVC). A vinilklorid, $\text{CH}_2=\text{CHCl}$, gyökös polimerizációjával állítják elő. Amorf polimer, $T_g = 80\text{ }^\circ\text{C}$. Az emulziós polimert lágyítják és kenési technikával műbőrök előállítására használják. Legnagyobb felhasználási területe az építőipar. Padlóburkolat, különböző csövek és profilok készülnek belőle. Jellemzői lágyítással és adalékok hozzáadásával széles határok között változtathatók. A lágy PVC üvegesedési hőmérséklete általában szobahőmérséklet alatt van, hajlékony elasztikus anyag. Kiterjedten alkalmazzák, a cipő és műbőrparban (talp, táska) és a gyógyászatban (vérzsákok, transzfúziós csövek). A környezetvédők gyakran támadják az égetéses ártalmatlanítása során keletkező rákkeltő anyagok miatt.

Lineáris poliészter. A csoport legjelentősebb képviselője a poli(etilén-tereftalát) (PET). Kristályos polimer, $T_m = 265\text{ }^\circ\text{C}$. Nagy mennyiségben használják szálhúzásra. Textilipari felhasználása jelentős. Záróképessége és mechanikai tulajdonságai igen jók, elterjedten alkalmazzák szénsavas üdítőitalok palackozására. Egy és többretegű fóliákat is gyártanak belőle élelmiszeripari csomagolásra (sajt, sonka) és ipari fóliák céljára (kondenzátor fólia).

Poli(metil-metakrilát). (PMMA). A metil-metakrilát $[\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOCH}_3]$ polimerizációjával állítják elő. Amorf polimer, üvegesedési hőfoka kb. $105\text{ }^\circ\text{C}$. Jó mechanikai tulajdonságai mellett legfontosabb jellemzője a nagy fényáteresztés (~99 %) (plexi üveg). Ennek megfelelően szerves üveggént alkalmazzák. Átlátszó műszerburkolatok és egyéb alkatrészek (pl. háztartási gépek) is készülnek belőle. Szövetbarát, ezért a gyógyászatban is felhasználják.



3.4.10. ábra. Termoplasztikus polimer szerkezeti anyagok állapottartományai

c) Hőre keményedő anyagok, gyanták

Szobahőmérséklet feletti üvegesedési hőmérséklettel rendelkező különböző térháló-sűrűségű műanyagok. Általában merevek, nagy szilárdsággal rendelkeznek. A térhálósodás nemcsak hő hatására mehet végbe, hanem katalizátorok, vagy a komponensek egyszerű összekeverésének hatására is.

Bár felhasználási mennyiségük lényegesen kisebb, mint a hőre lágyuló műanyagoké, műszaki jelentőségük nagy, gyártásuk és felhasználásuk nem csökken. Feldolgozásuk kevésbé termelékeny és nehezebben automatizálható, egyrészt azért mert az alakadás és a térhálósodás egyidejűleg megy végbe, másrészt mert általában nagymennyiségű társítóanyagot tartalmaznak.

Fenol-formaldehid gyanták. A legelső iparilag gyártott műanyag fenol-formaldehid gyanta, a bakelit volt. Fenol, vagy szubsztituált fenol és formaldehid reakciójával állítják elő. Legnagyobb felhasználásuk a faiparban, a farostlemezek előállításában van. Készülnek belőlük burkolóelemek, fékbetétek, ragasztóanyagok és felhasználják őket a lakkiparban is. Viszonylag olcsók, kedvező tulajdonságok mellett. Hátrányuk a sötét szín és néha a kellemetlen szag (formaldehid).

Telítetlen poliészter gyanták. Kétféle polimerizációs eljárás alkalmazásával állítják őket elő. Telítetlen dikarbonsav, vagy anhidrid, telített dikarbonsav, vagy anhidrid és diolok kondenzációjával egy prepolimert állítanak elő, amit sztirol hozzáadásával, gyökös polimerizációval térhálósítanak. Tulajdonságaik nagyon kedvezőek, nagy szilárdsággal és merevséggel rendelkeznek. Legjelentősebb felhasználási területük a szálerősítésű, elsősorban üvegszálerősítésű anyagok, kompozitok mátrixa. Feldolgozásuk termelékenysége viszonylag kicsi, az iparág törekvése ennek automatizálására irányul. Az üvegszálat, szövetet vagy paplant a gyantával impregnálják, majd egy szerszámban történik a végső alakadás és a térhálósítás, a keményítés. Tartályok készülnek belőlük és egyre nagyobb mennyiségben használják őket a járműiparban karosszériaelemek előállítására. A feldolgozás automatizálásának egyik eredménye az ún. SMC (sheet molding compounds) kifejlesztése, ami poliészter mátrixanyagból, hosszú vágott szálból és szerves töltőanyagból áll. Az impregnált anyagokat lemezek formájában szállítja a gyártó és megfelelő alakra préselve keményítik ki őket. Gyakran üvegszálerősítésű poliésztereket használnak szörfők, hajók, skate-board-ok előállítására.

Epxi gyanták. Az epxi gyanták epxi végcsoportokat tartalmazó poliéterek. A polikondenzációs termék kis molekulatömegű, térhálósítása különböző módszerekkel történhet. A leggyakrabban használt térhálósítószer di- és poliaminok, di- és polikarbonsavak, valamint anhidridek és egyéb polifunkciós vegyületek, amelyek az epxi, illetve OH csoportokkal reagálnak. Az epxi gyanták tulajdonságai rendkívül kedvezőek, mechanikai jellemzőik, elektromos, tulajdonságaik lényegesen jobbak, mint a telítetlen poliésztereké. Áruk viszont magasabb. Felhasználásuk sokrétű, alkalmazzák őket a lakkiparban, ragasztóként (kétkomponensű ragasztók), öntőgyantaként és kompozitok vázanyagaként. Az űrhajózásban és a repülőgépiparban rendkívül nagy jelentőségük van, szinte kizárólag ezeket alkalmazzák üveg, szén és aramid szálak kötőanyagaként. Nagy jelentősége van a hadiiparban is.

Poliuretánok. Diizocianátból és diolokból állítják őket elő poliaddíciós reakciókkal. Általában aromás izocianátokat és alifás poliészter vagy poliéter glikolokat használnak az előállításukhoz. Az egyik legváltozatosabb anyagfajta. Vannak közöttük lineáris elasztomerek, kemény és lágy habok, ragasztók stb. A poliuretán tulajdonságai a két komponens, izocianát (merev) és a poliál (lágy) típusától és relatív mennyiségétől függenek. Lehetnek kristályosak vagy amorfak, ez utóbbiak is lehetnek heterogének, tartalmazhatnak kemény és lágy doméneket. Felhasználásuk széleskörű, alkalmazzák őket a jármű és a bútoriparban (habok ülések, matracok és betétek számára), cipőiparban (talp - termoplasztikus elasztomerek), szálképző, anyagként (műszaki szövetek, sörték), lakkokban, ragasztóként. Előnyös tulajdonságaik mellett hátrányuk viszonylag magas áruk.

d) Műszaki műanyagok

Általában kiegyenlített jó tulajdonságokkal (mechanikai, elektromos, termikus, stb.), különösen nagy szilárdsággal és ütésállósággal rendelkező, hőre lágyuló műanyagok. Alkalmazási hőmérsékletük általában magas, >100-150 °C. Speciális tulajdonságaiknak megfelelően áruk lényegesen meghaladja a közönséges, tömegműanyagok árát.

Poliamid (PA). A poliamidok főláncában -CO-NH- kötés található. Ehhez egy vagy két különböző hosszúságú alifás lánc csatlakozik. A kiindulási monomerektől függően több típusa van (poliamid-6; -6,6; -6,10, -11). Magas olvadáspontú kristályos polimer, olvadáspontja az alkotóelemektől függően,

180 és 260 °C között van. Két fontos felhasználási területük a szálképzés és a gépipar, de a buszok, villamosok kapaszkodórúdjai is ebből készülnek. Kis súrlódási együtthatójuk csapágyak gyártására is alkalmassá teszi őket. A poliamid-11-et (Rilsan) védőbevonatok készítésére használják (buszok, villamosok kapaszkodórúdjai). Üvegszálerősítéssel rendkívül nagy szilárdság és merevség érhető el. Ára viszonylag magas.

Polikarbonát (PC). A kereskedelmileg is jelentős polikarbonátok építőeleme $-C_6H_5-C(CH_3)_2-C_6H_5-OCO-$. Mikrokrisztályos anyag, olvadáspontja 220 °C-on, üvegesedési hőmérséklete 150 °C-on van. Átlátszó, szilárdsága és ütésállósága rendkívül nagy. Felhasználása elsősorban a gép- és műszeriparban történik, de fontos optikai elemek készítésében is. Nagyfokú átlátszóságát és szilárdságát sok helyen használják (irányjelzők borítóelemei, repülőgéplak stb.). Jó záróképessége következtében élelmiszer csomagolására szolgáló üreges testek is készülnek belőle (palackok).

e) **Kompozitok**

Tágabb értelemben véve ide tartozik minden töltő és erősítő anyagot tartalmazó két- vagy többkomponensű műanyag. A szemcsés töltőanyagot tartalmazó anyagokat gyakran nem tekintik kompozitnak, és kritériumnak a szilárdság és a merevség társítás hatására bekövetkező egyidejű növekedését tekintik. Az ilyen anyagokat „advanced” (fejlett, előrehaladott) kompozitnak nevezik. Ezeket térhálós polimerek és végtelenített üveg, szén vagy szerves szálak segítségével állítják elő.

A műanyagok tulajdonságai

A létező igen nagyszámú polimer és műanyag a tulajdonságok széles tartományát öleli át. Gyakorlatilag minden alkalmazási területre megtalálható a megfelelő műanyag, gyakran több alternatíva is létezik. A megfelelő műanyag kiválasztását az alkalmazás követelményeinek megfelelően rendkívül gondos műszaki és gazdasági mérlegelés alapján kell végezni: Az alábbiakban, a teljesség igénye nélkül, felsorolunk néhány kiemelkedő, vagy speciális tulajdonságot:

- szilárdság, merevség, keménység: az acéllal, vagy a kerámiákkal is vetekedhet sokkal kisebb tömeg mellett (ld. kompozitok),
- ütésállóság: speciális heterogén szerkezet kialakítása igen nagy ütésállóságot eredményez (ütésálló PS),
- optikai jellemzők: egyes polimerek fényáteresztése és általában optikai tulajdonságai vetekednek az ólomüveggel (PC, PMMA, PS),
- vezetőképesség: adalékok segítségével, vagy a megfelelő kémiai szerkezettel tetszőleges vezetőképesség és pozitív hőmérsékleti koefficiens alakítható ki (korom-, fémtöltés),
- hőállóság: megfelelő kémiai szerkezet esetén igen széles hőfok-tartományban alkalmazható műanyagok állíthatók elő (ürhajózás),
- speciális jellemzők: műanyagokat alkalmaznak a nemlineáris optikában, piezoelektromos érzékelőkben, elektronikus kijelzőkben (folyadékkristályos polimerek, LCP).

Gyakran nem speciális tulajdonságokra, hanem a jellemzők optimális egyensúlyára van szükség, megfelelő feldolgozhatóság és ár mellett. Ez tulajdonképpen a nagymennyiségben gyártott tömegműanyagok titka, amelyeket a gazdaság minden területén alkalmaznak.

Degradáció, stabilizálás

A műanyagból készült termékek tulajdonságai nem állandóak, a felhasználás ideje alatt változnak. A változás sebessége és mértéke az igénybevétel körülményeitől (hőmérséklet, terhelés, közeg stb.), valamint a polimer sajátosságaitól függenek. A tulajdonság változása sokféle külső hatásra rendkívül változatos módon mehet végbe. A polimerbe a feldolgozás, előállítás során befagyott feszültségek a szerkezet változását eredményezik, fizikai öregedés megy végbe. A kristályos, esetenként az amorf szerkezet változása, különösen kis-móltömegű anyagok, oldószerek, felületaktív anyagok

jelenlétében a termék feszültség-korrózióját, tönkremenetelét eredményezi. Hő, fény, sugárzás hatására, a levegő oxigénjével reagálva kémiai változások mennek végbe a műanyagban. Ezek általában a tulajdonságok romlását eredményezik, a polimer degradálódik.

A degradáció definícióját, osztályozását sokféle módon meg lehet adni, de általában alatta a polimerben a használat során valamilyen okból végbemenő kémiai folyamatokat értjük, melyek hatására a polimer fizikai és általában használati tulajdonságai romlanak:

a) Termikus degradáció. A kémiai változásokat előidéző ok a termikus energia, a hőfok emelkedése. Ez különösen a hőre lágyuló műanyagok magas hőmérsékleten végzett feldolgozása alatt következik be.

b) Fotodegradáció. A reakciók iniciálása fény hatására történik. Kettőskötéseket, aromás és egyéb csoportokat tartalmazó molekulák abszorbeálják a látható és az UV fényt. Különösen a nagyobb energiájú UV fény hatására kémiai, általában gyökös reakciók indulnak meg, melyek láncreakcióban a polimer tulajdonságainak jelentős változását idézik elő. A kettőskötést tartalmazó polimerek, a gumik és az ütésálló polisztirol különösen érzékenyek az UV besugárzásra.

c) Kémiai degradáció. A kismolekulájú vegyületek, savak, bázisok, oldószerek, reaktív gázok hatására végbemenő degradáció tartozik ebbe a csoportba. A degradáció hatására nagyfokú változások mehetnek végbe a polimerben, de ez gyakran csak magas hőmérsékleten következik be, mivel az ilyen reakciók aktiválási energiája általában nagy.

d) Nagyenergiájú sugárzás. Ellentétben a fotodegradációval, a nagyenergiájú sugárzás hatása nem szelektív, energiája gyakorlatilag minden kötés megbontásához elegendő. A sugárzás hatására általában lánctördelés, a molekulatömeg csökkenése következik be, de esetenként térhálósodás lehet a domináló reakció. Ezt használják ki a polietilén térhálósítására alkalmazott eljárásokban.

e) Mechanikai degradáció. Külső feszültség gyakran kémiai kötések elszakadását eredményezi. Ez következik be a polimerek törése, de gyakran a feldolgozása, vagy alkalmazása során is. A kötészakadás általában szabad gyököket eredményez, melyek további reakciókban vesznek részt. A mechanikai degradáció jelentősége a többihez képest kisebb, elsősorban speciális polimerizációs eljárásokban, blokk kopolimerek szintézisében alkalmazzák őket.

f) Biológiai lebomlás. Lényegében ez is kémiai degradáció. A mikroorganizmusok számos enzimet termelnek, amelyek reakcióba lépnek bizonyos polimerekkel és a molekulatömeg csökkenését, majd a polimer teljes lebomlását eredményezik. Ezt a hatást alkalmazzák a biológiailag lebontható polimereknél. Tekintettel arra, hogy a tömegműanyagok nagy részét nem támadják meg a mikroorganizmusok, az ilyen degradáció jelentősége egyelőre viszonylag kicsi.

A fenti degradációs típusok, illetve hatások szinte soha nem egyenként lépnek fel, általában egyidejűleg több tényező hatása érvényesül. Egy ablakprofil például éri a nap, a hőmérséklet 60-80°C-ig is emelkedhet, oxigén mindig jelen van, mosószerek érik a tisztítás közben, és a levegőszennyeződés különböző gázokat tartalmaz, amelyek szintén befolyásolhatják a stabilitást.

A műanyagok egy jelentős részét a csomagolásban és ezen belül is az élelmiszerek csomagolásában használják fel. A csomagoló anyagoknál a műanyag termék élettartama, stabilitása másodlagos kérdés, csupán a szállítás és tárolás ideje alatt kell maradéktalanul megőrizni tulajdonságait és betölteni funkcióját. A csomagoló anyagok egy jelentős részének élettartama igen rövid, ún. eldobó (és remény szerint egyre nagyobb arányban szelektíven gyűjtött) csomagolások. Ilyen esetben a jó stabilitás kifejezetten hátrányos, a mielőbbi lebomlás – lehetőleg természetes, biológiai úton – lenne kívánatos. Ilyen műanyagokhoz a degradáció gyorsítására speciális adalékokat adnak, biológiailag lebontható természetes komponensekkel társítják, vagy teljes mértékben lebontható polimerekből készítik őket.

Számos alkalmazási területen azonban a műanyagok várható; esetenként garantált élettartama jóval hosszabb, 5, 10, vagy akár 50 év is. Ez utóbbi az építőipari termékekre, különösen a csövekre jellemző. Ilyen esetben a terméknek meg kell őriznie eredeti tulajdonságait, azok a használat alatt nem változhatnak. A degradáció megakadályozása és a tulajdonságok megőrzése érdekében a polimerekhez **stabilizátorokat** adnak. Ezek a kis mennyiségben alkalmazott segédanyagok megakadályozzák a káros kémiai folyamatok bekövetkezését, vagy megváltoztatják irányukat. Az alkalmazott stabilizátor mennyisége és típusa függ a megvédeni kívánt polimer kémiai szerkezetétől, a degradációt előidéző külső behatástól és a degradáció mechanizmusától. A stabilizátorok kiválasztása bonyolult, hosszas kísérleteket igénylő folyamat.

3.4.6. Különbségek a polimerek és a kis-móltömegű anyagok között

Bár az eddigiek során több esetben kihangsúlyoztuk a polimerek és a kis-móltömegű anyagok közötti különbségeket röviden, a teljesség igénye nélkül ismét összefoglaljuk ezeket, mivel a műanyagok speciális viselkedése szempontjából kiemelkedő jelentőségük van.

- A polimerek nem rendelkeznek jól definiált móltömeggel, jellemzésük különböző átlagokkal és az eloszlással történik.
- A polimerek fázisállapotainak száma korlátozott, soha nem gázneműek és a kis mólsúlyú anyagoknál alkalmazott értelemben nem is folyékonyak, ezzel szemben szilárd állapotban több fizikai állapotuk van: üveges, nagyrugalmas, ömledék.
- A polimerlánc alkotóelemeinek térbeli elrendeződése a konformációval és a konformáció eloszlással jellemezhető.
- A polimerek kristályszerkezete és kristályossága soha nem tökéletes.
- A hőre lágyuló műanyagok viszkozitása több nagyságrenddel nagyobb, mint a kis-móltömegű anyagoké (-10^3 Pas), feldolgozásuk magas hőmérsékleten, nyíró igénybevétellel történik.
- Nyírás hatására a makromolekulák orientálódnak, a termék tulajdonságai függenek az orientáció mértékétől.
- Külső erő hatására egyidejűleg rugalmas és plasztikus deformáció is végbemegy, a kettő aránya az anyag jellemzőitől és a külső körülményektől függ.
- A műanyagok tulajdonságai általában időfüggők, feszültség-relaxáció és kúszás megy végbe, fizikai öregedés lép fel.

3.4.7. Műanyagok a közlekedésben és a járműiparban. (Olvasmány)

A műanyagokat és gumikat már hosszú idő óta alkalmazzák a gépjárműiparban elektromos szigetelések és flexibilis alkatrészek előállítására, de az elmúlt két-három évtizedben felhasználásuk jelentősen nőtt mind mennyiségben mind pedig a termékek műszaki színvonalában. A műanyagok autóiipari alkalmazására a rendkívül magas követelmények jellemzőek. Az alváz és a karosszéria elemenként használt anyagoknál a nagy szilárdság és az ütésállóság a követelmény, a motorház alkatrészeinél a hőállóság, a stabilitás és az oldószerállóság, az ablakoknál és világító testeknél az optikai tulajdonságok, az utastérben található elemeknél pedig egyebek mellett az esztétikai követelmények.

Általánosan egy autó háromféle anyagból készül: fémekből, polimerekből és üvegből. A fémkomponensek nagy része acélból és alumínium ötvözetekből készül. A polimerek között található műanyagok, gumik, festékek, lakkok és textíliák. Egészen az elmúlt évekig az autó tömegének jelentős részét, mintegy 50 %-át az acél alkatrészek tették ki. A következő években az acél részarányának jelentős csökkenése, míg a műanyagok mennyiségének jelentős növekedése várható. A növekedés és az arányok eltolódásának elsődleges oka a gépjármű tömegének csökkentésére irányuló törekvések. A tömegcsökkenés eredményeképpen a kocsik fogyasztása szintén csökken, ami gazdasági és környezetvédelmi szempontból egyaránt fontos.

A továbbiakban ismertetjük az autó egyes részeihez felhasznált műanyag alkatrészeket. Csak a legfontosabb, vagy legérdekesebb alkalmazásokat mutatjuk be, és felhívjuk a figyelmet a fejlődés, várható irányaira is. Az autóipar jelenleg csak az összes műanyag-felhasználás 4-7 %-át teszi ki, szemben az építőiparral és a csomagolással, melyek együttesen mintegy 50 %-ra rúgnak. Az alkalmazás technikai színvonala lényegesen magasabb, mint az említett másik két iparágban és a várható fejlődés is gyorsabb.

Karosszéria, felfüggesztés

A karosszéria nagy része korábban is és most is elsősorban fémlemezekből áll. A fejlődés iránya azonban mindenképp a fröccsöntött, vagy préselt karosszéria elemek alkalmazása. A megnövekedett biztonság iránti igény a karosszéria felépítésének elvi átalakulását eredményezte. Kis ütközés során az energiát a lökhárító abszorbeálja, nagyobb sebességek esetén a karosszéria kontrollált összecsucslása. Az oldalirányú ütközésekkel szemben merevítő bordák védik az utasteret. A karosszéria elemeknek elsősorban nem biztonságtechnikai, hanem burkoló, védő és díszítő szerepe van. A közeljövőben itt várható a legjelentősebb súlycsökkentés. Az elemek készülhetnek térhálósodó SMC lemezekből préseléssel, de várhatóan a fröccsöntött elemek fognak dominálni.

A lökhárítókat a legtöbb gyártó már hosszú évek óta műanyagból készíti. A lökhárítónak két funkciót kell ellátnia. Kis ütközésnél nem mutathat semmiféle károsodást, 4-8 km/óra sebességű ütközésnél pedig megfelelő védelmet kell biztosítani az autó első, vagy hátsó részei számára. A lökhárítókat leginkább poliuretánból, vagy ütésálló polipropilénből készítik.

A felfüggesztés egyes elemeit is műanyagból készítik. Korábban a rugók szinte kizárólag fémből készültek, ma már ezek egy részét is műanyagból állítják elő. Az elmúlt időszakban szinte kizárólag tekercsrugókat használtak, kísérletek folynak azonban, hogy visszatérjenek a korábban használt lemezzrugókhoz.

A műanyagok egyre nagyobb teret hódítanak, gyakorlatilag egyeduralkodók a hangcsökkentésben. A motor rezgéseinek és az ebből származó zaj csökkentése érdekében a motort gumiblokkokra függesztik fel. A leggyakrabban természetes kaucsukot, vagy polikloroprént használnak erre a célra. Az utastér zajszigetelését töltőanyagot tartalmazó PVC, EVA, EPDM, vagy butilkaucsukkal oldják meg. Buszok hangszigetelésére is használják a bárium szulfáttal töltött polipropilént. A BaSO₄ sűrűsége kb. 13 g/cm³, így rendkívül jó hangszigetelő lemezek készíthetők belőle.

A motor és a motorház elemei

Bár szinte kizárólag műanyagok felhasználásával is készítettek motort, amelyben a motorblokk szénszál erősítésű polimerből állt, az ilyen megoldás gyakorlati megvalósítása jelenleg kétséges. Ennek ellenére a motor maga is meglepően sok műanyag alkatrészt tartalmaz. A szelepek rúdja és pereme, esetleg rugója nagy hőállóságú anyagokból, mint pl. a PI, vagy szálerősítésű műgyantákból készülnek. A gyújtás szabályozására szolgáló egységeket üvegszál erősítésű hőre lágyuló műanyagokból (PA, PP, POM, PBT) fröccsöntéssel állítják elő. A tömítések és szigetelések olaj- és hőmérsékletálló gumiból készülnek.

A tengelykapcsolóban viszonylag kevés műanyagalkatrész található és mennyiségük növekedése nem is nagyon várható. Készülnek viszont szálerősítésű műanyagokból féltengelyek és a meghajtás egyéb részei. A fékrendszer legfontosabb részei viszont mind műanyagból vannak, a féktárcsák korábban azbeszterősítésű fenoplastokból készültek, ma szénszál erősítésű hőre keményedő anyagokból állnak. A fékrendszer többi része, a dugattyúk, hengerek, vezetékek műszaki műanyagokból (PA, POM), a folyadéktartály polietilénből készül. A kerék egyes részei is tartalmazhatnak műanyagokat, ilyenek pl. a díszláncok. A legfontosabb polimer komponens azonban az abroncs, melynek bonyolult felépítéséről az előző fejezetben szó volt.

Az üzemanyag és levegő rendszer gyakorlatilag teljesen műanyagból készül. Itt is az egyik legfontosabb követelmény a hő- és vegyszerállóság. Ma már az üzemanyagtartályok egy jelentős része is műanyagból készül (Volkswagen Passat - PE). A vezetékek általában extrudált csövek (PA 11, vagy 12). Az üzemanyag pumpa és a karburátor is nagyrészt műanyag alkatrészekből áll (PA, POM, PBT). A légszűrő háza általában erősített PP.

A hűtő és fűtőrendszer alkatrészeinek a hőállóság mellett a fagyálló agresszív hatásának is ellen kell állnia. A radiátor fröccsöntött záróelemei poliamidból, vagy üvegszál erősítésű PPO-ból készülnek. A ventilátorok erősített PP és PA elemeket tartalmaznak, a folyadék és levegő vezetékeket, melyek nagy átmérőjű rugalmas csövek, termoplasztikus elasztomerből állítják elő.

Az elektromos rendszer hagyományosan sok műanyag komponenst tartalmaz. A vezetékek szigetelése korábban is műanyag, elsősorban PVC volt. A többi nagyfeszültségű, vagy nagy áramerősségű alkalmazásokban általában térhálós gyantákat, különösen fenoplasztokat alkalmaztak. Ezeket ma már egyre inkább kiszorítják a műszaki műanyagok, a PA, PBT, PET, PC, PSU. Az akkumulátor szinte kizárólag ütésálló polipropilénből készül fröccsöntéssel. A fröccsöntési technológia lehetővé teszi kisebb falvastagságú termék készítését és a cellák is előre kialakíthatók. Mindezek azonos teljesítmények mellett kisebb akkumulátorok előállítását teszik lehetővé.

Az utastér elemei

Az utastérben alkalmazott anyagokkal szemben támasztott követelmények lényegesen eltérnek a motorház elemeinél megkívántaktól, és sokszor nehéz kielégíteni őket. Az alkalmazás legfontosabb szempontjai a széles hőmérséklettartomány, ami $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ -tól $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig terjedhet, a napfény hatása, kopás és tépésállóság, valamint esztétikai szempontok. Az utastér egyik legbonyolultabb és legfontosabb eleme a műszerfal. Passzív biztonsági elemként is funkcionál, frontális ütközéskor minimálisra kell csökkentenie az utasok sérülését. A műszerfal az esetek többségében egy bonyolult fröccsöntött keretből áll, amit rugalmas PU hab párnázással és időjárásálló lágyított PVC külső borítással látnak el. A keret anyaga általában PS, PP, ABS, PC, gyakran töltőanyagot, vagy szálerősítést alkalmaznak, és egyre jobban terjednek a műszaki műanyagok keverékei is.

A műszerek tartóelemei általában külön egységet képeznek, ez igen gyakran műszaki műanyagokból készül (PS, ABS, PPO, POM), amit egy átlátszó akrilpolimer lap véd a külső behatásoktól. A kormány egy fém keretből áll, amire kemény, vagy félkemény műanyag házat fröccsöntenek és általában egy poliuretán bevonattal látják el.

Az ülések általában RIM technológiával készülnek poliuretánból, de más megoldások is léteznek. A külső borítást egy védő, díszítő szövethuzat adja. Általában ezek is tartalmaznak műanyagokat, PVC, vagy PU bevonatú szövetek, amik műszálból készülnek. A belső panelek korábban PVC borítású farostlemezről készültek, ezeket egyre inkább kiszorítják az ütésálló műanyagból fröccsöntött elemek, melyeken egy lépésben kialakíthatók az egyéb belső alkatrészek, mint a hamutartók, vagy könyöklők. A belső elemek borítása általában félkemény poliuretán, melynek külső bőr rétege az öntési eljárásban alakul ki. Ezt egy darabban ragasztják a belső felületre. Az ajtó záró- és ablakmozgató elemei is egyre több műanyag alkatrészt tartalmaznak, a padlókárpit pedig műszálból, elsősorban PP és PA alapon készül.

Külső elemek

A külső alkatrészek közül már említettük a karosszéria elemeket. Ezek közül egyre többet gyártanak műanyagból. A panelek anyaga és az előállítás eljárás függ a gyártótól. Térhálós gyanták (SMC), reaktív fröccsöntéssel előállított erősített PU (RRIM) és műszaki műanyagok (PC, PA, ABS, illetve újabban polimer keverékek) szerepelnek leggyakrabban az alkalmazott anyagok között. A hűtőrácsnak esztétikai követelményeket is ki kell elégítenie, míg a mozgatható alkatrészeknek, mint pl. a csomagtér teteje, vagy kisteherautók lehajtható ajtaja különlegesen ellenállónak kell lenniük dinamikus hatásokkal, ütéssel szemben.

Az autó külső részén számos kisebb alkatrész található, mint pl. a sárhányók szegélye, a gumi sárvédők, az ablaktörlő elemei, a vízelvezető és szigetelő csíkok. Ezek egy része gumiból készül, melynek anyaga természetes kaucsuk, vagy klórkaucsuk. Fontosak a világító testek házai, a borítások és maguk a reflektorok. Ezek is szinte kizárólag műanyagból készülnek. A ház üvegszál erősítésű és/vagy műszaki műanyagból készül fröccsöntéssel, a borítás és a világítótestek anyaga a leggyakrabban polikarbonát.

A szélvédő is tartalmaz műanyagot, konstrukciója általában üveg/poli(vinil-butirál)/üveg/poliuretán, vagy poliészter. Ez a szerkezet biztosítja a szélvédő szilánkmentes törését.

Az autó összes műanyag alkatrészét még felsorolni sem tudjuk, ezek száma jóval több, mint 1000 és további növekedésük várható. A műszaki műanyagok a jövőben is dominálni fognak és a tömegcsökkentés eredményeképpen várhatóan az autó alkatrészeinek legalább 25-30 %-a műanyagból áll majd.