

Anyagtan

A fogorvosi gyakorlatban használt anyagok: **fémek, kerámiák, polimerek, kompozitok.**

## Fémek, fémötvözetek szerkezete

Az elemek közel négyötöde fém

+/-:

+rengeteg kedvező tulajdonsággal rendelkeznek

+számtalan fémötvözetet használnak a fogászatban is, tömőanyagként, hidak, implantátumok, fogszabályzó készülékek anyagaként.

+sokféle fém van, különböző tulajdonságokkal, ezért legtöbbször található olyan fém, amely az adott célnak elég jól megfelel.

+a legtöbb fém jól alakítható, nagy szilárdságúak és szívósságúak.

+ötvözéssel viszonylag könnyen lehet sok fém tulajdonságát a kívánt irányban tovább javítani.

---

Osztályozásuk:

*Sűrűség:* → 5 g/cm<sup>3</sup>-es érték alatt *könnyűfém*,

→ 5 g/cm<sup>3</sup> fölött *nehézfém*.

Legkönnyebb fém: lítium (Li, 0,54 g/cm<sup>3</sup>), legnehezebb: irídium (Ir, 22,7 g/cm<sup>3</sup>).

*Képlékenységi* (alakíthatóság): → *képlékenyebb* fémek: arany (Au), ezüst (Ag), platina (Pt), ólom (Pb), réz (Cu),

→ *törékenyebb* fémek: króm (Cr), molibdén (Mo).

erősen függ a hőmérséklettől is

*Olvadáspont:* → *magas:* Ta, W, Re, Os, Ir,

→ *alacsony olvadáspontúak:* Pb, Sn, In, Ga.

Szobahőmérsékleten (20°C) minden fém *szilárd*, kivéve a higanyt (Hg).

*Korrózióra* való hajlam szerint: → *nemesfémek:* Ru (ruténium), Rh (ródium), Pd (palládium), Ag, Os (ozmium), Ir (irídium), Pt (platina), Au

→ *nem nemesfémek*

---

fémek kötés

kristályos szerkezet (kristályrács hexagonális/köbös), könnyen, gyorsan kristályosodnak

fogorvosi alkalmazás: színesfém kevésbé, fémötvözetek viszont elterjedtek

Fémötvözetek: egyes komponensek *kedvező tulajdonságait* próbálják „*összeházasítani*”. Pl: a vas korrózióval szembeni ellenállása növelhető króm hozzáadásával (Fe–Cr),

arany keménysége, és ezzel kopásállósága, növelhető réz hozzáadásával (Au–Cu),

a fémkerámia koronákban a nemesfémötvözet (pl. Au–Pt–Pd) és a kerámia közötti adhéziót lehet növelni azzal, ha a nemesfémötvözet felületén az oxidréteg kialakulását elősegítjük

A fémötvözet természetes *előállítási módja:* komponenseket megolvasztják, olvadt állapotban a kívánt arányban összekeverik, majd az elegyet lehűtve megszilárdítják. Folyadék állapotban a fémek általában jól elegyednek egymással, néhány kivétel van.

## Kerámiák szerkezete

pl. üvegek, agyagedények, porcelán

+/- :

+fogzománchoz hasonló optikai tulajdonságok,

+nagy keménység és merevség

-törékenység, kis szívósság

A kerámiák fémes és nemfémes elemek vegyületei.

Erős kötés=>igen magas olvadáspont

kerámia pl.: NaCl, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(alumínium-oxid), SiO<sub>2</sub> (szilícium-dioxid), Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (szilícium-nitrid), SiC (szilícium-karbid)

sokkal nehezebben kristályosodnak, mint a fémek, de gyakori a kristályos — polikristályos — és az amorf, üveges szerkezet.

A gyakorlatban használt kerámiák zöme több komponensű, azaz ötvözet.

A kerámiák előállítása történhet olvasztásos módszerrel is, de a magas olvadáspont miatt ez nem gyakori. A szokásos eljárás a technikai és a fogorvosi kerámiáknál is a kiégetés, ill. *szinterelés*: először finom port készítenek, azt tömörítik, formázzák, végül magas hőmérsékleten (de még általában az olvadáspont alatt) izzítják, ezt nevezik szinterelésnek. Az összetömörített porszemcsék a magas hőfokon a részecskék diffúziója révén mintegy összenőnek (diffúziós adhézió). A szinterelt anyagban azért parányi üregek, pórusok visszamaradhatnak. Hogy mennyire porózus a termék, az a tömörítéstől és a szinterelés hőmérsékletétől függ. A termék *porozitása* a mechanikai tulajdonságokat erősen befolyásolja.

Fogorvosi vonatkozás: minden fogkrémbe megtalálható „súrolópor”: titán-dioxid(TiO<sub>2</sub>), a fogorvosi cementek, porcelán, cirkon.

Porcelán:

szilikát

a szilikátok szilíciumból (Si) és oxigénből (O) álló vegyületek, a földkéreg leggyakoribb anyagai

A réteges szilikátok csoportjába tartozik a kaolinit (Al<sub>2</sub>(Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)(OH)<sub>4</sub>), a porcelán egyik alapanyaga.

A porcelán alapanyaga a kaolin (porcelánföld), amely nagyrészt kaolinit kristályt tartalmaz. A kaolinhoz a porcelán típusától függően különböző arányban kevernek még kvarcot és földpátot, az anyagot finomra őrlik, vízzel elegyítik, a masszát formázzák, végül kiégetik, kiégetés során víz távozik el, az alacsony olvadáspontú komponensek (pl. Na<sub>2</sub>O) megolvadnak, majd lehűtésekor üvegesen megszilárdulnak.

Fogorvosi porcelán: nincs benne kaolin=>nem is tekintik igazi porcelánnak.

Ezt a keveréket nagyon finom por alakban dolgozza fel a fogtechnikus. A keveréket csak hőkezelésnek kell alávetni. Az alkalmazott hőmérsékleten a földpát megolvad, a kvarc még nem, tehát folyadékfázisú szinterelésről van szó. Vannak benne fém-oxidok: amelyekkel a termék színét lehet befolyásolni

Oxid kerámiák:

fémek oxidjai, pl: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub> (cirkónium-dioxid), TiO<sub>2</sub>, MgO, BeO

sokféle polimorf módosulattal rendelkeznek, igen kemények és magas olvadáspontúak. Ez utóbbi tulajdonság miatt szokásos előállítási módjuk a szinterelés.

+/-:

+magas olvadáspont

+nagy keménység,

+jó elektromos és hőszigetelő képesség

+biokompatibilitásuk és optikai tulajdonságaik

-Viszonylagos törékenységük (kis szívósságuk), de ez gyorsan fejlődik.

Hidak, koronák, implantátumok készítésére használják (főleg: ZrO<sub>2</sub>-t és Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-at).

cirkónium-dioxid (ZrO<sub>2</sub>) rövid neve cirkon: cirkonhomokból állítják elő, de ötvözni kell magnézium-oxid (MgO)/ittrium oxid (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), mert előállítás során a térfogata annyira megnő, hogy milliárdnyi hajszárpelédés keletkezik=>fogorvosi célokra használhatatlan, mert mechanikai szilárdsága nagyon kicsi lesz.

## Polimerek szerkezete

Természetes polimereket — mint pl. bőr, gyapjú, selyem — évezredek óta használ az ember, újabban pedig az élet egyre több területén — a fogorvosi gyakorlatban is — szintetikus polimereket is. Az emberi szervezet is számos természetes polimert tartalmaz, pl. fehérjéket.

A fogorvosi gyakorlatban például műfogsorok, tömések készítésére, vagy cementként, lenyomatanyagként használnak polimereket, leginkább akrilátokat.

+ Előnyük, hogy könnyen kezelhetők, esztétikai szempontoknak jól megfelelnek és olcsók.

A polimerek legtöbbje szén alapú, plusz: oxigént és hidrogént tartalmaz.

A polimerek sűrűsége a többi anyaghoz képest átlagosan a legalacsonyabb.

### **Poli-dimetil-sziloxán**

A poli-dimetil-sziloxán egy szilícium alapú polimer, nem mérgező.

Használata: ragasztókban, kenőanyagokban, kozmetikumokban (pl. sampon, arckrém), élelmiszerekben is (E900 „fedőnév” alatt, mint habzágátló segédanyag). Az orvosi gyakorlatban pl. kontakt lencsét készítenek belőle, használják mell- és egyéb implantátumokban is.

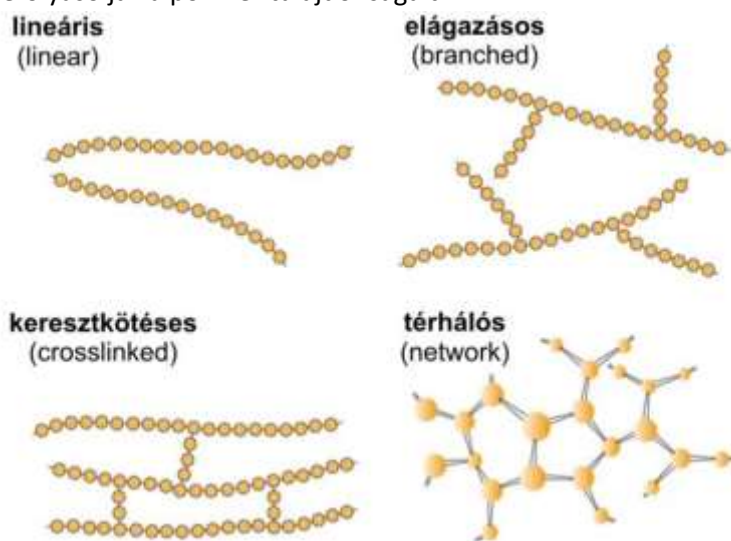
A polimermolekula egy alapegységekből, az ún. *monomerekből*, felépülő hosszú, láncszerű makromolekula. Ha egyféle monomerből áll a molekula, akkor homopolimernek, ha többféle monomerből, akkor heteropolimernek, vagy kopolimernek nevezzük.

A monomerekből álló anyag általában folyékony. A polimerizáció előrehaladtával a viszkozitás egyre nő, végül az anyag megszilárdul.

-A polimerizációt *zsugorodás*, térfogat-csökkenés kíséri, ami a fogorvosi gyakorlatban, főként tömőanyagként való felhasználásnál, hátrányos jelenség.

A polimerláncban a monomerek kovalens kötéssel kapcsolódnak egymáshoz. Kovalens kötések felléphetnek a láncok között is, ahol azonban inkább a gyenge, másodlagos kötések dominálnak. Ezért a polimerek olvadáspontja viszonylag alacsony, átlagosan kevéssé merevek és puhák.

A polimereket a láncok formája és a közöttük fellépő kovalens kötések szerint csoportosíthatjuk: *lineáris*, *elágazásos*, *keresztkötéses* és *térhálós* típusokba. Az elágazások és a keresztkötések is befolyásolják a polimer tulajdonságait.



feldolgozhatóságuk alapján:

→ *Hőre lágyuló polimerek* (termoplasztok) főként a lineáris és az elágazásos polimerek.

→ *elasztomerek*: nagyon nagy rugalmassággal rendelkeznek, főként a kismértékben térhálós polimerek.

→ *A hőre keményedő polimerek* (duroplasztok) főként erősen térhálós polimerek.

A polimerizáció során létrejövő láncszerű molekulák spontán rendeződhetnek, térben rendezett, periodicitással rendelkező kristályos struktúrák alakulhatnak ki. Minél nagyobb és bonyolultabb a molekula, annál nehezebben következik be ez a rendeződés, és ritkán fordul elő, hogy az egész polimer készítmény kristályos legyen. Általában a kristályos részek amorf tartományokkal váltakoznak — azt mondjuk, hogy a polimerek tipikusan *szemikristályos* (félleg kristályos) anyagok.

### Az akrilátok:

fogorvosi gyakorlatban sűrűn használt

akrilsav ( $\text{CH}_2=\text{CHCOOH}$ ), vagy a metakrilsav ( $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOH}$ ) származékai

legfontosabb: PMMA: poli-metil-metakrilát (= plexi)

szobahőmérsékleten folyékony, átlátszó anyag. Polimerizációja fényvel, hővel, kémiai iniciátorral indítható.

A tiszta metil-metakrilát polimerizációja során fellépő zsugorodás nagyon nagy, kb. 20%-os!

A poli-metil-metakrilát a látható fényben (sőt egészen 250 nm-ig) szinte tökéletesen átlátszó anyag. A tulajdonságai függenek a készítmény kristályossági fokától is. A PMMA ugyanis lineáris polimer, kristályosodásra viszonylag hajlamos. A termoplasztok közé tartozik, lágyulása  $125^\circ\text{C}$  hőmérséklet környékén következik be. Jól oldódik szerves oldószerekben, mint pl. az aceton, vagy a kloroform.

Nagymértékű zsugorodása miatt pl. tömőanyagként nem alkalmas. Erre a célra különböző egyéb metakrilát származékokat és az ezekből készült kompozitokat használják, amelyek zsugorodása jóval kisebb (pl. trietilénlikol-dimetakrilát (TEGDMA), uretán-dimetakrilát (UDMA)).

## Kompozitok szerkezete

A természet már régen „kitalálta” a kompozitokat is. A csontszövet, vagy a dentin például — a víztől eltekintve — lényegében két anyagból áll, a kollagén nevű fehérjéből (polimer) és a hidroxipatitból (kerámia). A technika utánozza a természetet, és ma már számos kompozitot, pl. üvegszál erősítésű műanyagokat, használunk sok területen.

A kompozit tehát többféle anyagból, pontosabban fogalmazva többféle fázisból áll. (Van ugyanis olyan kompozit is, amelyben ugyanaz az anyag két, különböző szerkezetben található, pl. a szénszál erősítésű szén kompozit.) A különböző anyagok, ill. fázisok „összeházasításának” célja természetesen az *előnyös tulajdonságok kombinálása*.

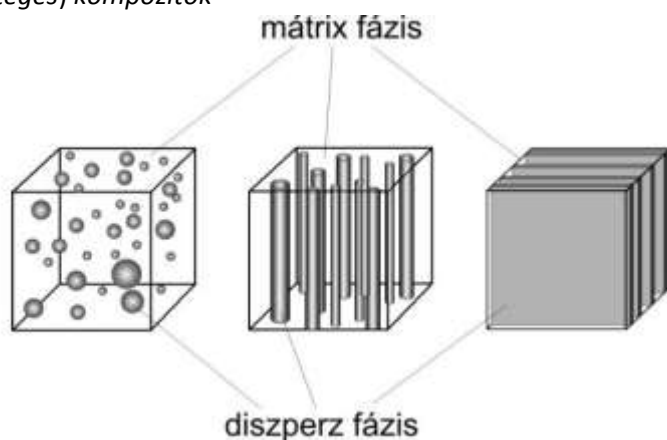
A kompozit több fázisból álló anyag, amely mindegyik fázis jellegzetes tulajdonságaiból mutat valamit. A fázisok általában kémiaiag is különböznek, és határozott határfelülettel rendelkeznek.

Sokszor csak két fázist tartalmaz a kompozit, ilyenkor az egyik fázis a mátrix fázis (vagy folytonos fázis), amelyik folytonos és mintegy „magába fogadja” a másik fázist, amelyet diszperz fázisnak (vagy töltőanyagként) nevezünk.

Csoportosítás:

→ mátrix anyaga szerint: polimer, kerámia, fém mátrixú kompozitok

→ morfológia szerint: *szemcse-erősítésű*, *szálerősítésű* (ez a legnagyobb csoport) és *lemezes* (vagy réteges) kompozitok



## *Szálerősítésű kompozitok*

A szállal történő erősítés célja majdnem mindig a mechanikai tulajdonságok javítása, hogy az anyag merevebb, erősebb, esetleg szívósabb legyen, miközben viszonylag könnyű marad: egy bizonyos mechanikai stabilitást minél kisebb tömeggel érjünk el.

Itt a mátrix: ritkábban kerámia, gyakrabban fém, legtöbbször polimer

A polimerek általában rugalmas, esetleg képlékeny anyagok, de nem túl erősek. Az erősítésre használt szál merevebb és erősebb.

A mátrix szerepe egyrészt a szálak „összeragasztása”, az erőátvitel biztosítása a szálakra és az általában törékenyebb, sérülékenyebb szálak védelme. A jó erőátvitelhez a mátrix és a szálak határfelületén *jó adhézióra* van szükség a két anyag között.

*A szálak elrendezésének, geometriájának és mennyiségének* változtatásával befolyásolhatjuk a termék tulajdonságait.

A szál legtöbbször üvegből, de sokszor szénből (újabbán szén nanocső), vagy polimerből (pl. aramid, márkanevén KEVLAR) készül. Fontos: a szál és a mátrix anyagának hőtágulása ne legyen nagyon különböző. Ellenkező esetben ugyanis nagyon erős belső feszültségek léphetnek föl a két anyag határfelületén, ami a jó tapadást és ezzel az erőátvitelt tönkretelheti.

## *Szemcse-erősítésű kompozitok*

kisebb-nagyobb szemcsék alkotják a diszperz fázist

*nagyszemcsés/finomszemcsés* kompozitok

Nagyszemcsés: A szemcsék anyaga általában merevebb, keményebb, mint a mátrixé, mechanikai terhelésnél a teher egy részét átveszik.

A szemcsék eloszlása egyenletes kell legyen.

pl 1: beton: kavics+homokszemcsék és cement keveréke

pl 2: koromszemcsék erősítik a gumit az autók abroncsában

Fogorvosi gyakorlatban: gyémántszerű szemcsékkel erősített fém fűrófejeket és vágótárcsákat használnak.

Finomszemcsés: A diszperz szemcsék akadályozzák, ellehetetlenítik a mátrixban a diszlokációk mozgását, ezzel csökkentik a képlékenységet, növelik a szilárdságát, keménységét.

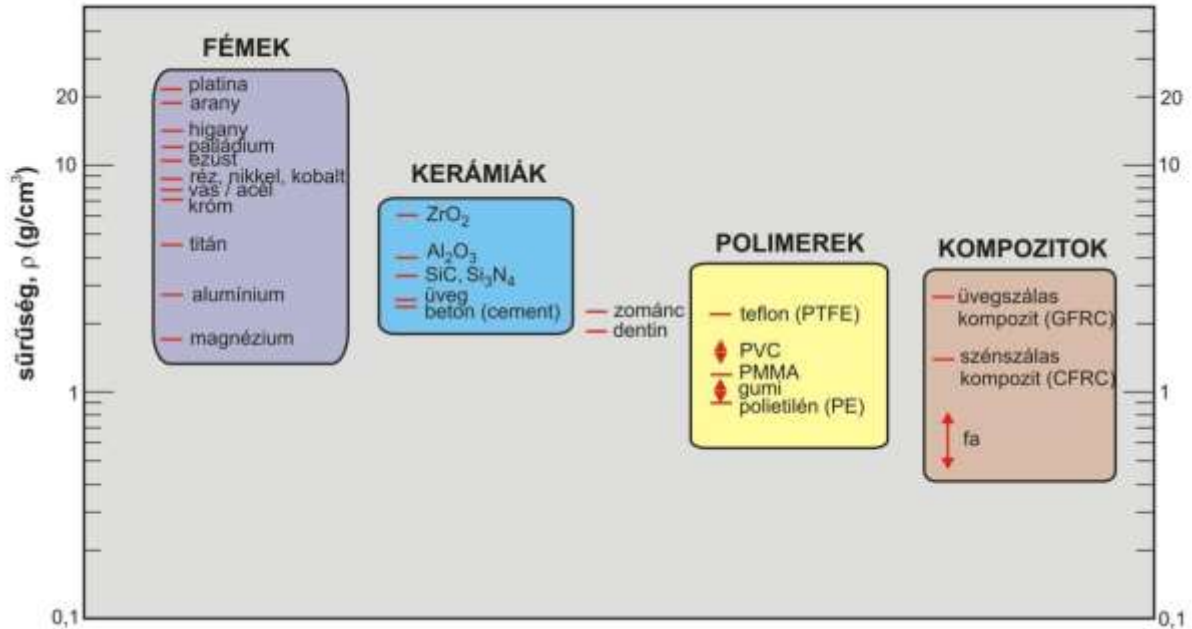
*nanokompozit*: szemcsék mérete 1 nm nagyságrendű, modern anyagtudomány egyik legerősebben kutatott területe, fogorvosi felhasználása jelenleg vizsgálatok tárgyát képezi.

A fogorvosi kompozitok: A 20. század első felében a szilikátok jelentették az egyedüli megoldást fogszínű fogpótlások készítésére. Az 50-es években aztán átvették helyüket az akrilátok, pl. a poli-metil-metakrilát, mivel a szilikátokból készült tömések eléggé gyorsan erodáltak a száj miliójében. Az akrilátokkal pedig az volt a baj, hogy egyrészt szintén erős a kopásuk, másrészt a polimerizáció alatt nagy a zsugorodásuk, ami a tömés és a dentin közötti adhéziót nagyon legyengíti. Erős hőtágulásuk sem szerencsés tulajdonság. A 60-as évektől: pl. kvarc szemcsék hozzáadása. Innen datálódik a kompozitok felhasználása a fogorvosi gyakorlatban, tömőanyagként, ragasztó-, és cement anyagként, stb. A kompozit tömések élettartama ma már megközelíti az amalgám tömésekét.

A mai fogászati kompozitok szemcse-, esetleg rövid szál-erősítésű kompozitok, ahol a mátrix kereszt-kötéses polimer, a diszperz fázis anyaga amorf, vagy kristályos kerámia, vagy polimer, és a két fázis határfelületét szilán erősíti.

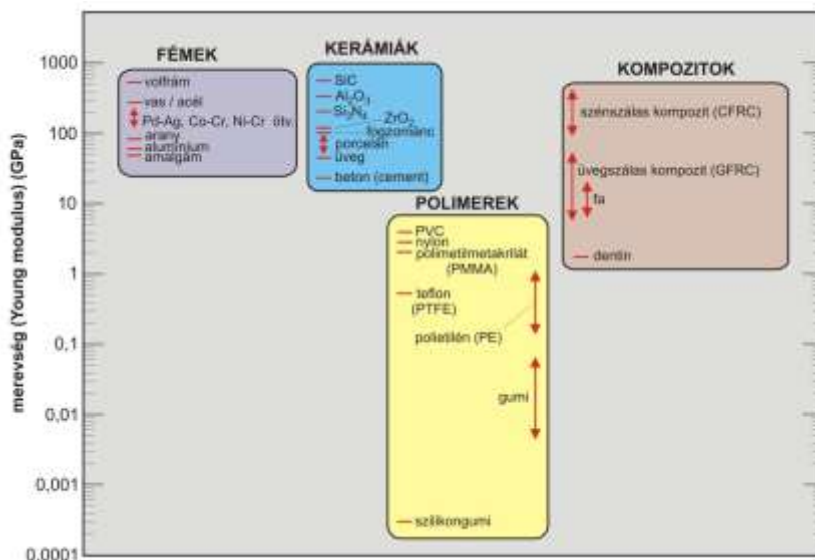
## Az egyes anyagcsoportok tulajdonságainak összehasonlító összefoglalása

**Sűrűség:** A fémek sűrűsége a legnagyobb, oka: nagyobb atomtömeg + a fémek kristályrácsának jó térkitöltése miatt. A kerámiákban a térkitöltés sokkal rosszabb, a polimerek pedig könnyebb atomokból épülnek föl, és a térkitöltésük sem jó. A kompozitokban a polimer mátrix megszabja a viszonylag kis sűrűséget.



**Merevség:** A merevség, vagyis a Young-modulus erősen korrelál a kötési energiával  $\Rightarrow$  az ionos/kovalens kötésű kerámiák és a fémes kötésű fémek merevsége a legnagyobb. A polimerek kisebb merevsége egyrészt a polimer molekulák közti gyengébb kötőerőknek, másrészt a hosszú polimerláncok nagyobb mozgási szabadságának tudható be. A kompozitokban a kerámia erősítés növeli a polimer mátrix merevségét.

**Young modulus:** rugalmassági modulus: -a merev test geometriájától független  
-az anyagra jellemző mennyiség  
-megmutatja, h. egységnyi relatív megnyúlás eléréséhez mekkora feszültségre van szükség

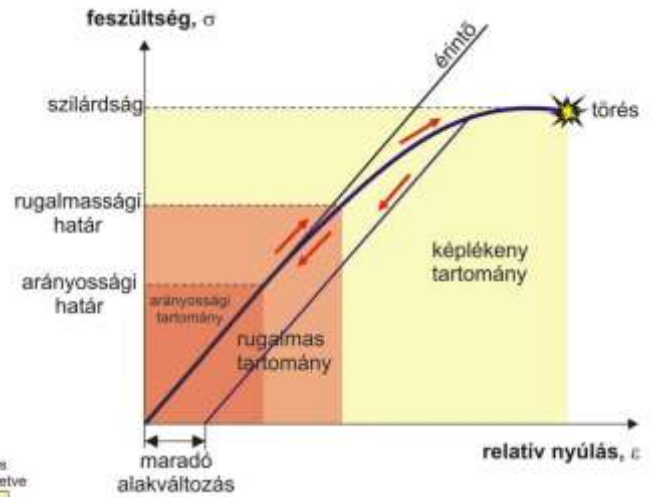
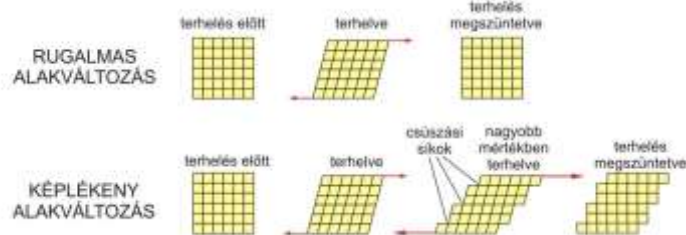


**Visszarugó képesség** (rugalmasság): polimereké a legnagyobb, főként a térhálós elasztomereké. A kompozitok rugalmasságát a kerámia erősítés csökkenti. A fémek és főként a kerámiák rugalmassága jóval kisebb.

Visszarugó képesség: az a maximális alakváltozás, amely még reverzibilis.

**Képlékenység.** A polimerek, kompozitok és fémek mögött a kerámiák jócskán lemaradnak, a kerámiák törékenyek, képlékenységük szinte zérus.

A képlékeny alakváltozás erősebb igénybevételnél lép fel, ilyenkor a test már maradandó, irreverzibilis alakváltozást szenved. A képlékeny viselkedés vége a törés, szakadás (→ a test integritásának megszűnését jelenti). A terhelési és visszaalakulási görbe nem esik egybe, a görbe nem az origóba tér vissza = a test nem alakul teljesen vissza, végleges, maradandó alakváltozást szenved.

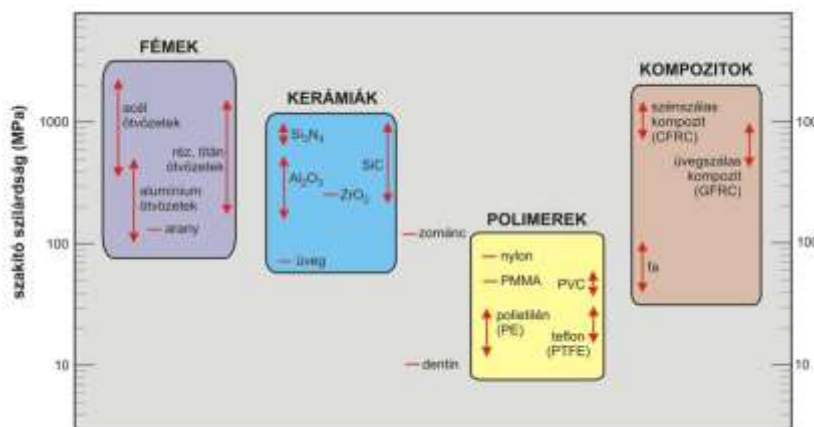
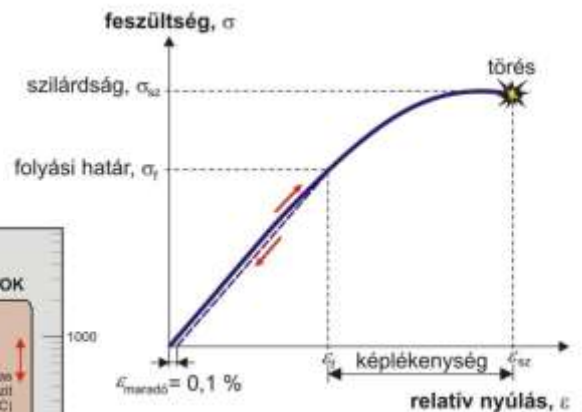


**Szakító szilárdság:** függ: kötőerők nagysága, repedésekkel szembeni érzékenység.

A fémek képlékenységük miatt kevésbé érzékenyek a repedésekre, mint a törékeny kerámiák, ezért erősebbek. A kompozitok viszonylag nagy szakító szilárdságát a rugalmas/képlékeny polimer mátrix és a kerámia erősítés együtt biztosítja. A polimerek a gyengébb kötőerőknek köszönhetően a leggyengébb anyagok.

Szakító szilárdság: nehéz mérni, amikor még épp nincs maradandó alakváltozás, egyszerűbb mérni, ha van egy kicsi, de végleges deformáció => folyási határ: 0.1%-os maradandó alakváltozáshoz tartozó feszültség érték. Az anyagot tovább nyújtva egyre nagyobb lesz a maradandó megnyúlás → elszakad. A szakadáshoz (töréshez) tartozó feszültség érték: a szilárdság (jele: sigma: σ)

- húzásnál: szakítószilárdság
- nyomásnál: nyomószilárdság



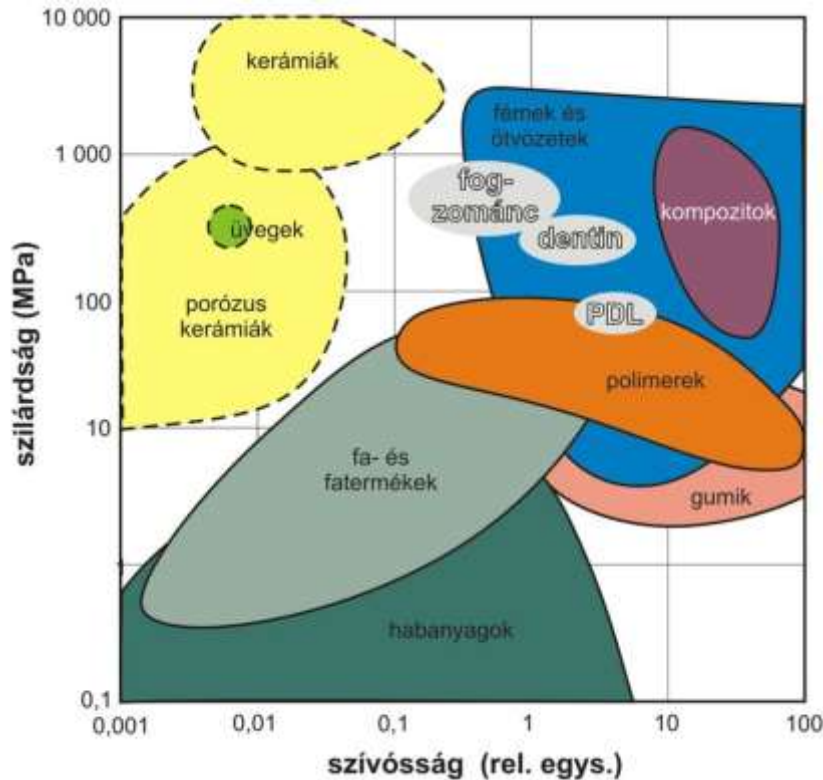
**Nyomószilárdság:** Nyomó terhelésben a repedések kevésbé számítanak, ezért ebben a tulajdonságban a kerámiák nem maradnak el a fémek (és egyes kompozitok) mögött. A nyomószilárdság tekintetében is a polimerek a leggyengébbek.

Az anyag különböző igénybevételénél mutatott szilárdságának nem kell megegyeznie →

kerámiák szakítószilárdsága < kerámiák nyomószilárdsága

fémek szakítószilárdsága = nyomószilárdsága

A nagyobb szilárdságú anyagot a mindennapi szóhasználatban erősebbnek, a kisebb szilárdságút gyengébbnek nevezzük.



anyagok nyomószilárdságának és szívósságának összehasonlítása

**Szívósság:** Szívósság tekintetében a nagy szilárdság és a nagy visszarugózó képesség, vagy a nagy képlékenység az előnyös. Ezért a fémek, a polimerek és a kompozitok mind eléggé szívósak. A kerámiák törékenyséjük miatt egyértelműen elmaradnak a többiektől.

Szívósság = fajlagos törési munka ( $W_s$ ): egységnyi térfogatú anyag eltöréséhez szükséges munka.

Ábra: a görbe alatti terület a töréspontig.

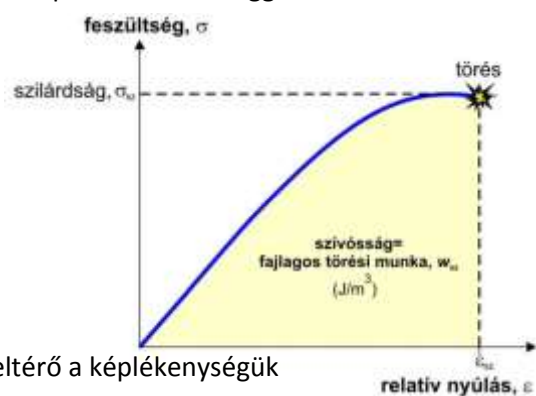
Azok a legszívósabb anyagok, amelyek nagy szilárdságúak (erősek) és nagy képlékenységűek/nagy a visszarugózó képességük => mindkét tengelyen magas értéknél következik be a törés (fémek, kompozitok).

Szilárdság és szívósság eltérnek: pl. kerámia: erős, de

törékeny

fém: erős és képlékeny

} azonos a szilárdságuk, de eltérő a képlékenységük



**Keménység.** A kerámiák nagy merevségük és kis képlékenységük miatt a legkeményebb anyagok. A fémek valamivel kevésbé kemények, a kompozitok és a polimerek jóval puhábbak.

Megállapítása: nagyon kemény, kisméretű tárgyat (hegyet) nyomunk adott erővel, adott ideig a vizsgálandó anyagba. Az erőt úgy kell megválasztani, hogy maradandó alakváltozás (benyomat) jöjjön létre az anyagban. Minél keményebb az anyag, annál kisebb a benyomat. A

térbeli benyomat felszínét mikroszkóp alatt megállapítják. Keménységi szám:  $H$  (hardness nr.) =  $\frac{\text{alkalmazott erő}}{\text{felszín}} = \frac{F}{A} \left( \frac{N}{m^2} \right)$ .

Ha  $H$  nagyobb a keménység nagyobb.



**Elektromos vezetőképesség:** fémeké nagyságrendekkel nagyobb a fémes kötés miatt, mint a többi anyagé. Kerámia, kompozit, polimer: elektromosan szigetelő.

Vezetőképesség: attól függ, mennyi szabadon mozgó elektromos töltéshordozó (elektron, ion) található az anyagban, és azok milyen mozgékonyasággal bírnak. Minél több töltéshordozó, minél szabadabban → annál nagyobb a vez. kép.

szilárd testekben: az elektronok vezethetik az áramot, ha a testben szabadon mozoghatnak => csak fémes kötéssel rendelkező anyagokban, mert ott a teljes testben szétterjedő az elektronfelhő. Kovalens/ionos/másodlagos kötéssel rendelkező anyagokban az elektronok lokalizáltak, nem vándorolhatnak szabadon → kerámiák, polimerek szigetelők.

**Olvadáspont:** alapvetően a kötési energiától függ. Kerámiáké a legnagyobb, majd fémek>kompozitok>polimerek

Olvadáspont: szilárd-folyékony fázishatár átlépésének megfelelő hőmérsékleti érték.

**Hővezető képesség:** erősen korrelál az elektromos vezetőképességgel => fémek jó hővezetők, többiek inkább hőszigetelők. (kivétel: gyémánt: elektromosan nem jó vezető, de hővezető képessége kiváló).

Hővezető képesség: megadja, hogy egységnyi hőmérséklet-gradiens (1 K hőm. változás 1 m távolságon) mellett egységnyi (1 m<sup>2</sup>) felületen mennyi energia áramlik át egységnyi idő alatt (1 sec).

anyag	$\lambda$ (W/(m·K))	$D$ (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)
dentin	0,6	0,2
fogzománc	0,9	0,5
akrilát	0,2	0,1
PMMA	0,2-0,3	0,12
víz	0,44	0,14
üvegionomer	0,5-0,7	0,2-0,3
üveg	0,6-1,4	0,3-0,7
porcelán	1	0,4
cinkfoszfát	1,2	0,3
cirkon	2,7	1,1
amalgám	23	9,6
arany	300	118

zománc és a dentin viszonylag jó hőszigetelő — különösen a fémekhez képest. (Ez kedvező, mert csillapítja a szájbán fellépő hőmérséklet ingadozások áttérjedését a pulpára.) Általában a kerámiák és a polimerek sem vezetnek jól a hőt. Ezzel szemben a fémek jó hővezetők. Ez a hővezetés mechanizmusával és az említett anyagok szerkezetével függ össze.

**Hőtágulási együttható:** fordított arányosságot mutat a kötési energiával, ezért a kerámiák hőtágulása viszonylag gyenge, a fémeké erősebb, a kompozitoké és a polimereké a legerősebb.

Hőtágulási együttható megmutatja, hogy 1 K (1°C) hőm. változás hatására mekkora a relatív hosszváltozás.

**Reflektancia.** A látható tartományban a fémek reflektanciája a legnagyobb, a többi anyagé jóval kisebb.

Reflektancia: a felület fényvisszaverő képessége, %-ban adják meg ( $\frac{\text{reflektált}}{\text{beeső}}$ ).

**Transzmittancia** (testen átjutó fény). A látható tartományban a kerámia egykristályok, üvegek és a polimerek transzmittanciája a legnagyobb. A fémek teljesen opak anyagok (a fényt nem eresztik át).

jellemzők	Anyagcsaládok			
	FÉMEK	KERÁMIÁK	POLIMEREK	KOMPOZITOK
sűrűség	legnagyobb	közepes, fém utáni	kerámiától kisebb	polimertől kisebb
merevség	legnagyobb	legnagyobb (ld. fémek)	legkisebb	közepes
képlékenység	nagy, jól alakíthatók	zérus, nem alakíthatók, törékenyek	nagy	nagy
szilárdság	nagy, erős	közepes húzó, nagy nyomó	leggyengébb	nagy
szívósság	szívós	kicsi	szívós	szívós
keménység	nagy	legnagyobb	kicsi (puha)	közepes
elektromos vez.képesség	nagy	szigetelő	szigetelő	szigetelő
hővezető képesség	nagy	hőszigetelő	hőszigetelő	hőszigetelő
olvadáspont	nagy (2. a sorban), kerámiánál kisebb	legmagasabb	alacsony	alacsony
hőtágulás	közepes, 2. leggyengébb	leggyengébb	legerősebb, nagy	legerősebb (ld. polimer)
reflektancia	legnagyobb	kicsi	kicsi	kicsi
transzmittancia	opak	változatos	legnagyobb	legváltozatosabb (jól alakítható a keveréssel)
hőszokk tűrés	jó	gyenge	közepes	közepes