



Fogorvosi anyagtan fizikai alapjai

5.

Általános anyagszerkezeti ismeretek
Anyagcsaládok

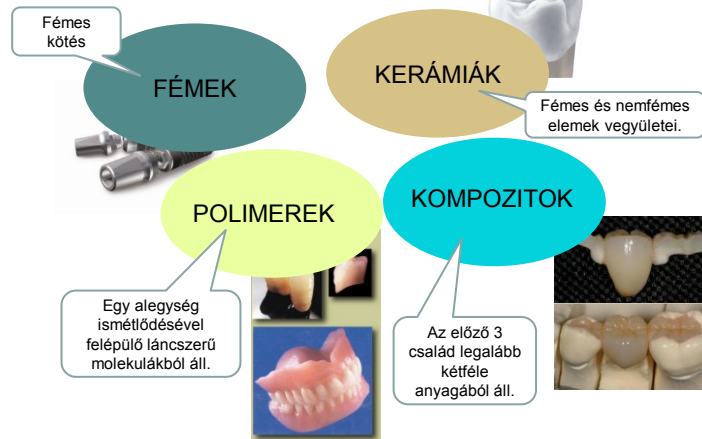
Tankönyv
fejezetei:
9-13

HF:

3. fej.:
3-5, 8, 10, 12, 14,
18, 21, 24, 25, 27

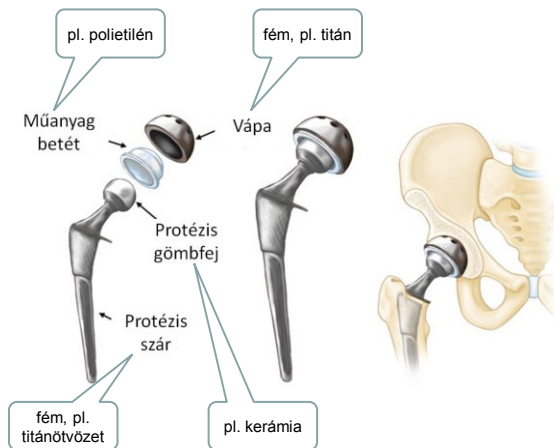
1

Fogászati anyagok fajtái

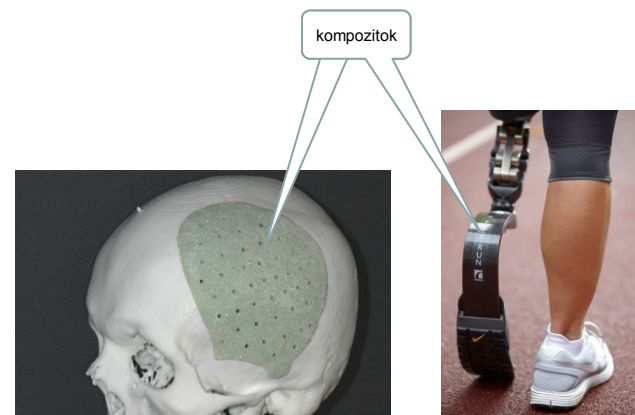


2

Néhány általános orvosi példa:

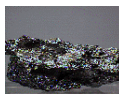


3



4

Fémek



Tulajdonságai:

- gyakori anyag; változatos tulajdonságúak
- viszonylag nagy sűrűség
- szobahőmérsékleten szilárd (kivéve Ga és Hg)
- viszonylag nagy szívósságúak és szilárdságúak
- viszonylag jól alakíthatók
- hajlamosak a korrózióra (kivéve a nemesfémek)
- ötvözéssel tulajdonságaik jól befolyásolhatók
- jó hő- és elektromos vezetőképesség
- fémes szín
- nagyrészt nem biokompatibilisek



Szerkezete:

- fémes kötés
- színtémekben azonos méretű atomok
- kristályos (leggyakrabban hexagonális, vagy köbös), de van amorf is
- tipikusan polikristályos

Alkalmazási példák:

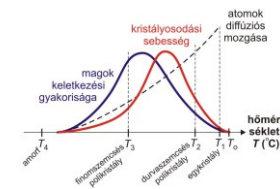
- koronák, hidak
- implantátumok
- tömés
- fogszabályozó készülékek

Előállítás: olvasztás, öntés

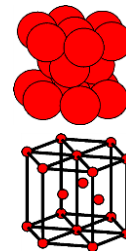
5

Miért kristályosak általában a fémek?

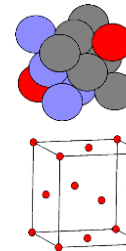
Egyforma gömbök illeszkedése!



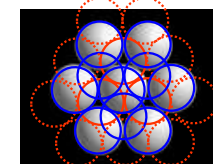
Miért gyakori a hexagonális és köbös rács?



szoros illeszkedésű hexagonális (hcp)
pl. Ti, Cd, Co, Zn, ...



szoros illeszkedésű köbös (lapcentrált köbös, fcc)
pl. Ag, Au, Pt, Al, Cu, Ni, ...



kevésbé szoros illeszkedés: pl. tércentrált köbös (bcc)
pl. Fe, Cr, ...

térkitöltési

tényező: 74 %

74 %

68 %

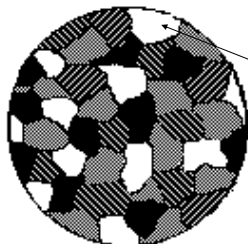
6

Miért polikristályosak általában a fémek?

Egyforma gömbök illeszkedése, egyszerű rácsszerkezet, gyors nukleáció.

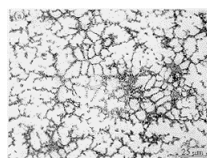
A polikristályos szerkezet vizsgálata:

Szövetszerkezet, mikrostruktúra

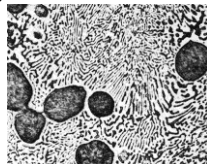


zemcsék
kristallitok,
zöveletelemek)

homogén szövetszerkezet



heterogén szövetszerkezet



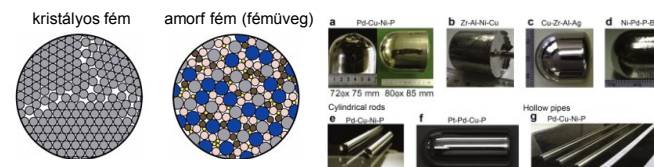
Szövetszerkezet vizsgálata:

- csiszolás durvább/finomabb
- kémiai maratás
- mikroszkópi megfigyelés (fémmikroszkóp)

7

Fémüvegek (amorf fémek)

- Az első fémüveg: 1960-as évek, Au-Si ötvözet, $\approx 10^6$ K/s hűtési sebesség(!), < 1 mm-es méret.
- Az első kereskedelmi forgalomba hozott fémüveg: 1990-es évek, Zr-Ti-Cu-Ni-Be ötvözet, ≈ 1 K/s hűtési sebesség, \approx cm-es méret.



Fémüvegek (BMG) különleges tulajdonságai a kristályos fémekkel szemben:

- kevésbé merevek
- rugalmasabbak
- erősebbek
- Keményebbek
- kevésbé kopnak
- kevésbé korrodálnak
- biokompatibilitásuk jobb

8

Fémötvözetek Cél: tulajdonságok javítása, pl.

- korrózióállóság javítása, pl. Fe, Ni, Co, ...+Cr
- nagyobb keménység, merevség elérése, pl. Au+Cu
- fém-kerámia adhézió növelése, pl. nemesfém+Fe, Sn, In

Osztályozás:

- fém+fém, pl. Fe+Cr
- fém+nemfém, pl. Fe+C
- használat szerint (pl. inlay, korona, ...)
- alap elem szerint (arany alapú, palládium alapú, ...)
- komponensek száma (biner, terner, kvaterner,...) szerint
- 3 fő elem szerint (pl. Au-Pd-Ag, Ni-Cr-Be, ...)
- uralkodó fázisdiagram szerint
 - szilárd oldat
 - eutektikus ötvözet
 - peritektikus ötvözet
 - fémvegyület

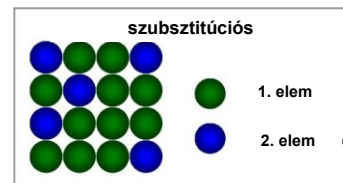


9

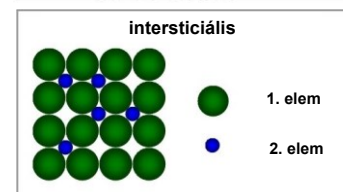
Szilárd oldat (elegykristály)

Mind folyadék fázisban, mind szilárd fázisban jó oldódás →

homogén szövetszerkezet



pl. Cu-Ni, Pd-Ag, Au-Cu, ...



pl. Fe-C, CP Ti (O, C, N, H), ...

(CP: kereskedelmi tisztaságú)

10

Oldhatóság feltételei szubsztitúciós szilárd oldatra:

- atomok mérete ne nagyon különbözzön (< 15%)
- azonos kristályrács típus
- hasonló elektronegativitás
- vegyérték azonos, vagy az „oldószer” vegyértéke nagyobb

fém	atom átmérő (nm)	rács típus	elektro-negativitás
Au	0,2882	fcc	2,4
Pt	0,2775	fcc	2,2
Pd	0,2750	fcc	2,2
Ag	0,2888	fcc	1,9
Cu	0,2556	fcc	1,9
Ni	0,25	fcc	1,8
Sn	0,3016	tetragonális	1,8

Oldhatóság feltételei intersticiális szilárd oldatra:

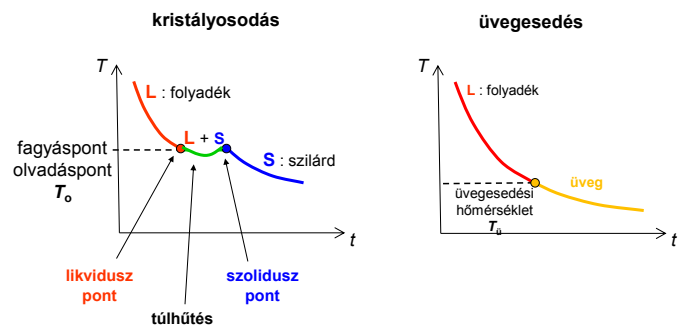
- „oldott” atom mérete jóval kisebb
- „oldott” anyag mennyisége kicsi (< 10%)

Szilárd oldat tulajdonságai:

Rugalmassági határ, szilárdság, keménység nő,
képlékenység csökken, pl. Au-Cu(5 tömeg%)

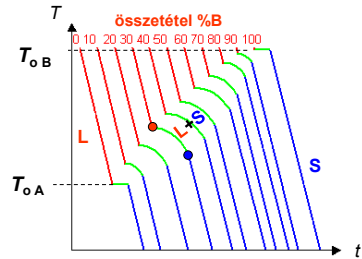
11

Tiszta fémolvadék lehűlési görbéje

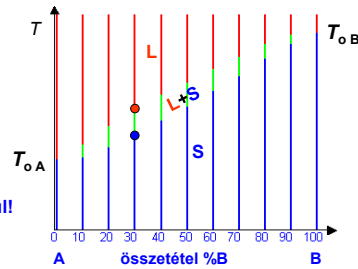


12

Szilárd oldat
lehűlési görbéje



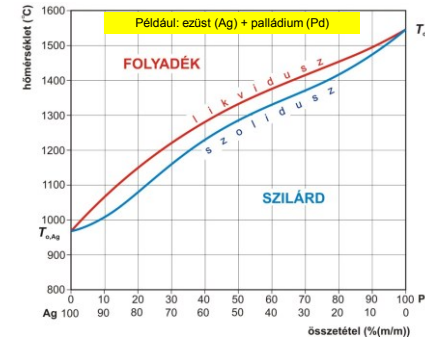
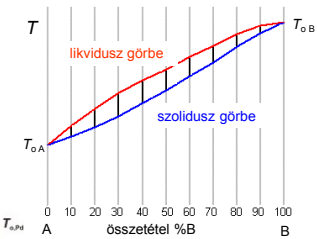
fázisdiagramja



Egyensúlyi állapotokon keresztül!
= végtelenül lassú hűtés

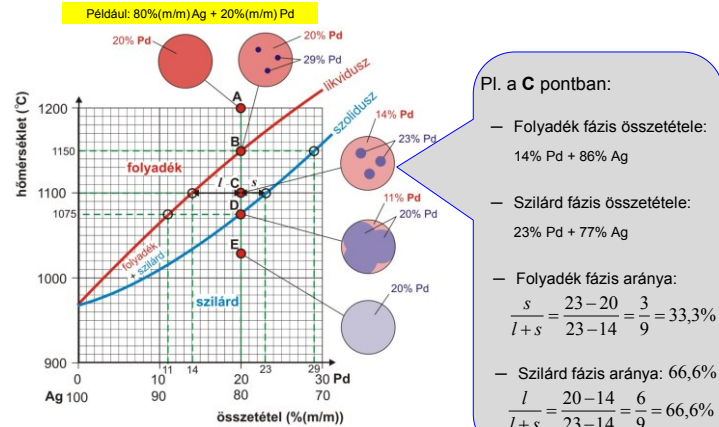
13

Egyensúly!



14

Fázisok arányának, összetételének meghatározása

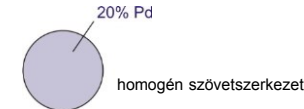


Pl. a C pontban:

- Folyadék fázis összetétele:
14% Pd + 86% Ag
- Szilárd fázis összetétele:
23% Pd + 77% Ag
- Folyadék fázis aránya:
 $\frac{s}{l+s} = \frac{23-20}{23-14} = \frac{3}{9} = 33,3\%$
- Szilárd fázis aránya:
 $\frac{l}{l+s} = \frac{20-14}{23-14} = \frac{6}{9} = 66,6\%$

15

Egyensúlyi állapotokon keresztül =
végtelenül lassú hűtés

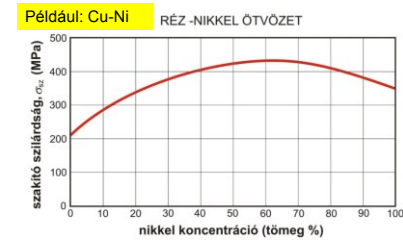


Nem egyensúlyi állapotokon keresztül =
ésszerű sebességű hűtés



➔ homogenizáció

Ötvözés hatása a tulajdonságokra



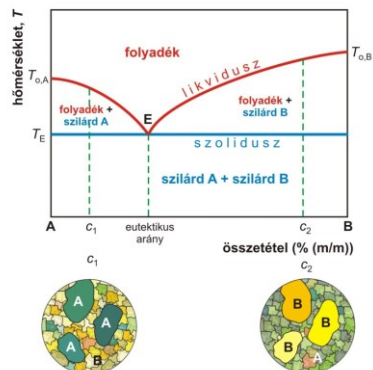
16

Eutektikus ötvözetek

Szilárd fázisban teljes oldhatatlanság →

színfém kristallitok →

heterogén szövetszerkezet



Például:

77% H_2O +23% NaCl :

$T_E = -21^\circ\text{C}$

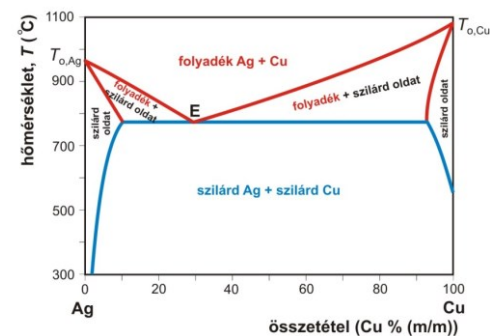
Wood-fém (Bi-Pb-Cd-Sn):

$T_E = 68^\circ\text{C}$

>230°C

17

Pl. Ag-Cu

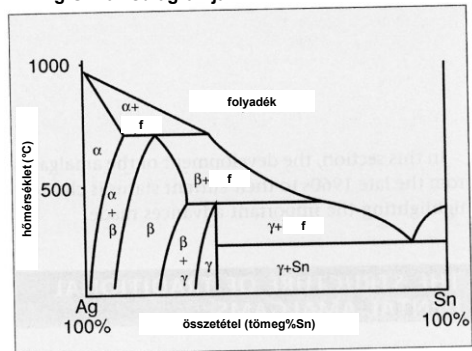


18

Egy példa: amalgám

Ag-Sn fázisdiagramja

tipikus összetétel	
fém	% (m/m)
Hg	50
Ag	34
Sn	13
Cu	2
Zn	1



γ fázis: Ag_3Sn

19

Kerámiák

Definíció: fémek és nemfémek elemek vegyülete (vannak kivételek!)

Tulajdonságai:

- közepes sűrűség
- szobahőmérsékleten szilárd
- nagy merevség, keménység, de nem jól alakíthatók, törékenyek
- nagy hő- és korrózióállóság
- gyenge hőszigetelés
- rossz hő- és elektromos vezetőképesség
- változatos optikai tulajdonságok
- biokompatibilitás



Előállítás:

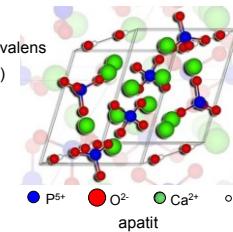
- olvasztás, öntés
- szinterelés

Szerkezete:

- főként ionkötés, kisebb részben kovalens
- különböző méretű ionok (általában)
- kristályos v. amorf v. vegyes

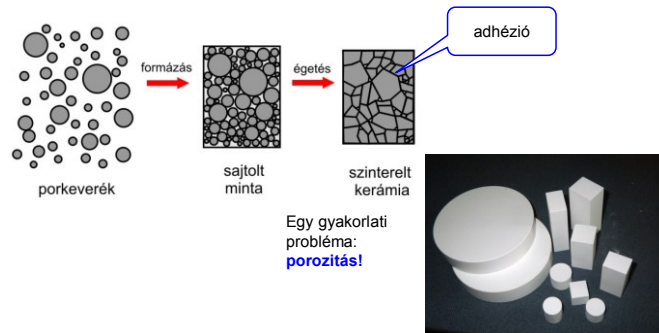
Alkalmazási példák:

- koronák, hidak
- gyökértstift
- cementek
- csiszolóanyagok



20

Szinterelés



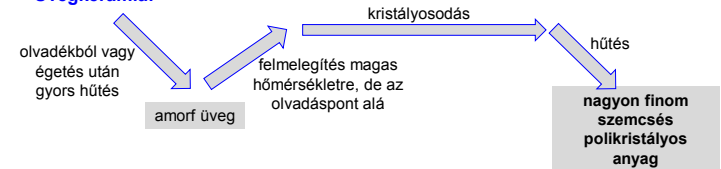
Folyadékfázisú szinterelés: olvasztás és égetés kombinációja

21

Szerkezet



Üvegkerámia:



22

Oxid kerámiák

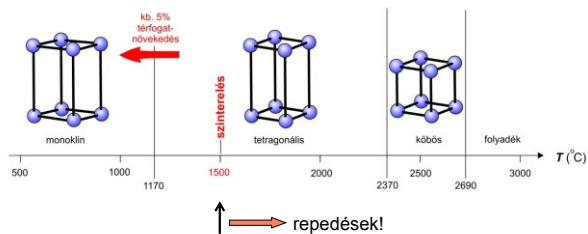
• Cirkónium-dioxid (ZrO_2)

Tulajdonságok (tömörre szinterelt állapotban):

- fehér
- sűrűsége kb. 6 g/cm^3
- nagy szilárdságú és nagy szívósságú, merev, kemény (l. később)

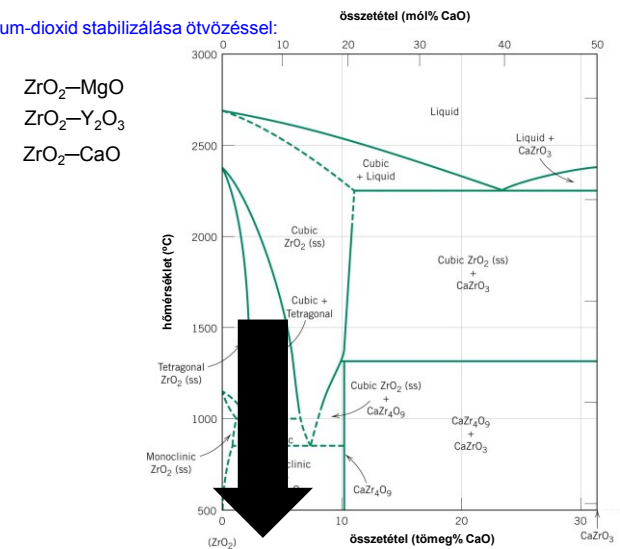
Előállítás:

- cirkonhomokból ($ZrSiO_4$)
- drága tisztítási eljárások, de hafniumoxid marad kb 1%-ban (radioaktivitás $<1 \text{ Bq/g!}$)
- hideg v. meleg sajtolás, szinterelés



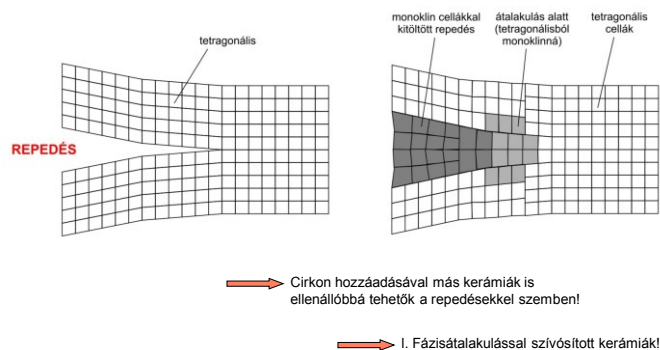
23

Cirkónium-dioxid stabilizálása ötvözással:



4

A cirkon „önjavító” képessége:



25

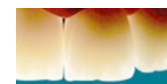
Alumínium-oxid (Al_2O_3)

Tulajdonságok:

- színtelen, fehér
- olvadáspont 2700°C
- sűrűsége kb. 4 g/cm^3
- nagyon kemény (l. később)

Kristályos formák:

$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CrO}_2 \rightarrow \text{rubin}$
 $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CoO}_2 \rightarrow \text{zafir}$



Oxidkerámia kristály + üveg

26

Polimerek

Monomerekből felépülő hosszú, láncszerű makromolekula

Tulajdonságai:

- kis sűrűség
- szobahőmérsékleten folyékony, szilárd
- kis/közepes merevség, keménység, de jó alakíthatóság
- viszkoelasztikus
- viszonylag gyenge hőállóság és korrózióállóság
- rossz hő- és elektromos vezetőképesség
- változatos optikai tulajdonságok



Szerkezete:

- láncban belül kovalens, láncok között másodlagos, ritkábban kovalens kötések
- szemikristályos v. amorf

Előállítás:

- ❖ addíció
- ❖ kondenzáció

Alkalmazási példák:

- műfogor
- tömés
- lenyomatanyagok

27

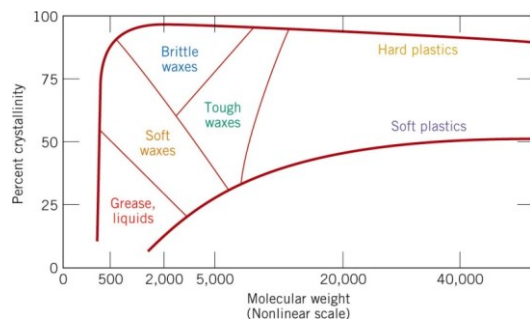
Monomer

polimer elnevezése	monomer szerkezete	ipari alkalmazás	fogászati alkalmazás
polietilén (PE)	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$		
polivinilklorid (PVC)	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{Cl} \end{array}$		
politetrafluoretilén (PTFE, teflon)	$\begin{array}{c} \text{F} & \text{F} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{F} & \text{F} \end{array}$		
polimetilmetakrilát (PMMA, plexi)	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{CH}_3 \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{C}-\text{O}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{O} \end{array}$		

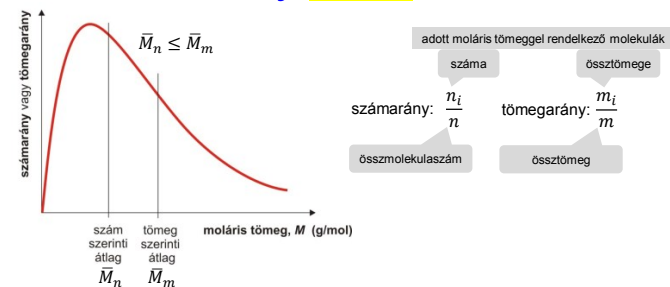
- **homopolimer:** egyfajta monomer
- **heteropolimer (kopolimer):** két-, vagy többféle monomer

28

A polimer molekulák hossza (moláris tömege) és a kristályos szerkezet aránya alapvetően befolyásolja a polimer fizikai tulajdonságait:



Polimer készítmény Statistika!



Szám szerinti átlagos moláris tömeg (\bar{M}_n):

$$\bar{M}_n = \frac{n_1 M_1 + n_2 M_2 + \dots + n_i M_i + \dots + n_k M_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_i + \dots + n_k} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i M_i}{\sum_{i=1}^k n_i}$$

Tömeg szerinti átlagos moláris tömeg (\bar{M}_m):

$$\bar{M}_m = \frac{m_1 M_1 + m_2 M_2 + \dots + m_i M_i + \dots + m_k M_k}{m_1 + m_2 + \dots + m_i + \dots + m_k} = \frac{\sum_{i=1}^k m_i M_i}{\sum_{i=1}^k m_i} \quad 30$$

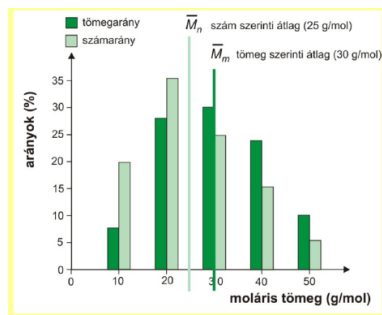
29

Egy példa:

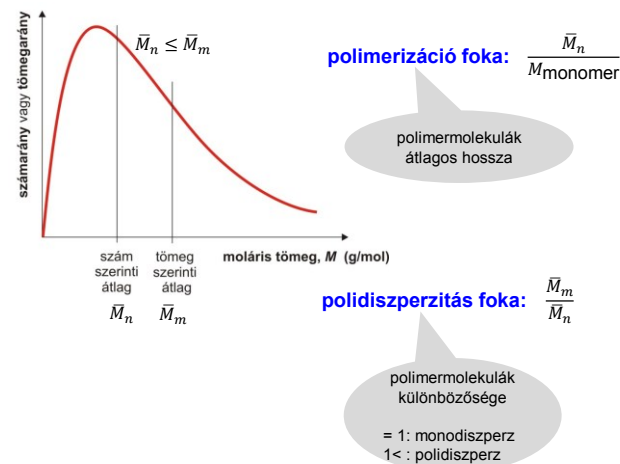
moláris tömeg, M_i (g/mol)	n_i darab	számarány n_i/n (rel. gyakoriság)	$m_i = n_i \cdot M_i$ (g/mol)*	tömegarány m_i/m
$M_1 = 10$	$n_1 = 4$	$4/20 = 0,20 = 20\%$	$m_1 = 4 \cdot 10 = 40$	$40/500 = 0,08 = 8\%$
$M_2 = 20$	$n_2 = 7$	$7/20 = 0,35 = 35\%$	$m_2 = 7 \cdot 20 = 140$	$140/500 = 0,28 = 28\%$
$M_3 = 30$	$n_3 = 5$	$5/20 = 0,25 = 25\%$	$m_3 = 5 \cdot 30 = 150$	$150/500 = 0,30 = 30\%$
$M_4 = 40$	$n_4 = 3$	$3/20 = 0,15 = 15\%$	$m_4 = 3 \cdot 40 = 120$	$120/500 = 0,24 = 24\%$
$M_5 = 50$	$n_5 = 1$	$1/20 = 0,05 = 5\%$	$m_5 = 1 \cdot 50 = 50$	$50/500 = 0,10 = 10\%$
összesen	$n = 20$	$1 = 100\%$	$m = 500$	$1 = 100\%$

$$\bar{M}_n = \frac{\sum_{i=1}^k n_i M_i}{\sum_{i=1}^k n_i}$$

$$\bar{M}_m = \frac{\sum_{i=1}^k m_i M_i}{\sum_{i=1}^k m_i}$$



31



polimerizáció foka: $\frac{\bar{M}_n}{M_{\text{monomer}}}$

polimermolekulák
átlagos hossza

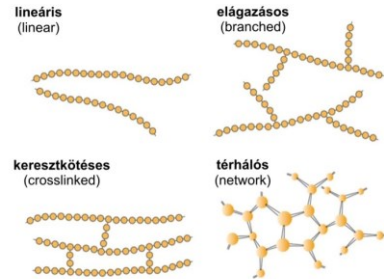
polidiszperzitás foka: $\frac{\bar{M}_m}{\bar{M}_n}$

polimermolekulák
különbözősége

= 1: monodiszperz
1 < : polidiszperz

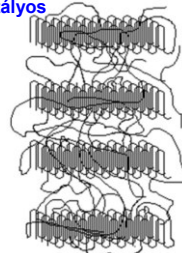
32

Polimerek szerkezete



- o termoplasztok
- o duroplasztok
- o elasztomerek

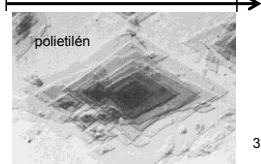
szemikristályos



Kristályossági fok (x):

$$x = \frac{m_{\text{kristály}}}{m_{\text{összes}}} \cdot 100\%$$

amorf 0% kristály 100%



33

Kompozitok

Több, kémiai általában különböző, határozott határfelülettel rendelkező fázisból álló anyag

Tulajdonságai:

- kis sűrűség
- szobahőmérsékleten szilárd
- az egyes fázisok előnyös tulajdonságait kombinálja
- nagy szilárdság, ugyanakkor rugalmasság, nagy szívósság
- változatos optikai tulajdonságok



Alkalmazási példák:

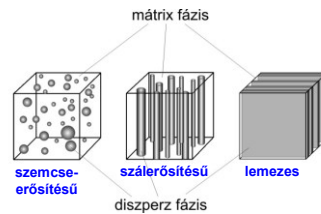
- > tömés
- > fogorvosi eszközök



34

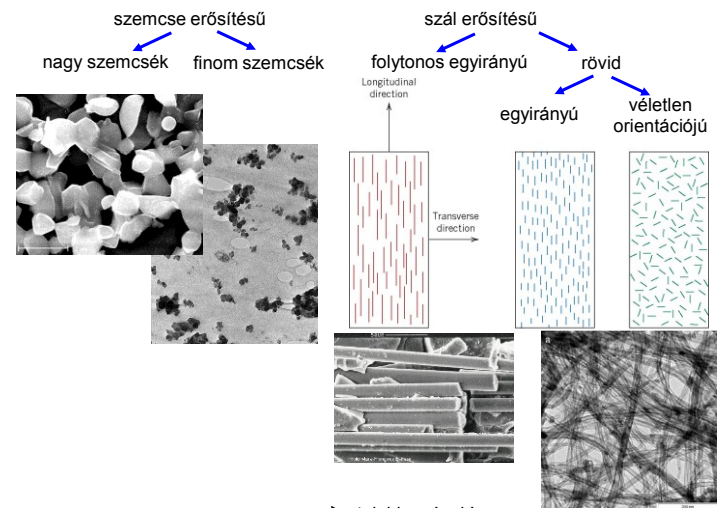
Kompozitok szerkezete

Kétfázisú kompozit: folytonos fázis/mátrix (polimer, fém, kerámia) + diszperz fázis/adalék/töltőanyag (kerámia, fém, ...)



Hibrid kompozitok: több diszperz komponens

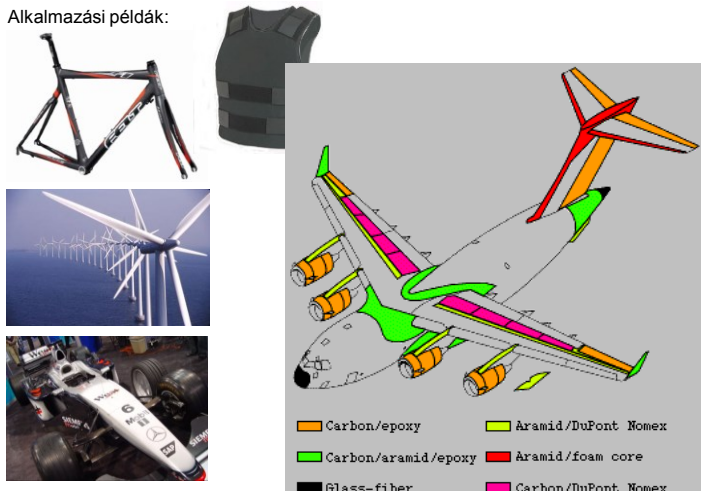
35



→ tulajdonságok!

36

Alkalmazási példák:

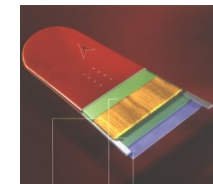
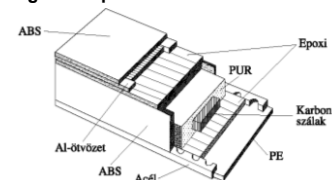


37

- **Test:** több rétegű kompozit héj, belső merevítések, az üregeket kitöltő hab
- **Árbóc:** üvegszállal erősített polimer (lehet fém-fém kompozit is)
- **Vitorla:** rövid szálakkal erősített, szövött vagy öntött kompozit anyag (kevlar)
- **Uszony:** üvegszállal erősített polimer
- **Árbóc gyök:** poliuretán rugó



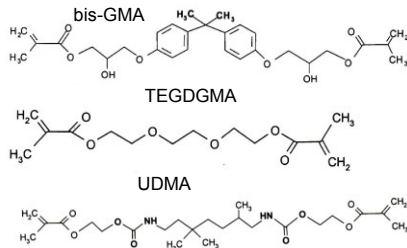
Réteges kompozit: siléc



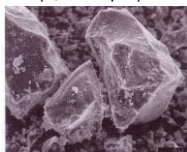
38

Fogászati kompozitok

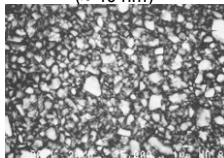
mátrix: polimer (dimetakrilát)



durva szemcsés
(0,1-100 µm)



mikroszemcsés
(≈ 40 nm)



töltőanyag: üveg, kerámia kristály (pl. kvarc), polimer, + pigment, + UV abszorbens, ...

39

Ellenőrző kérdések:

- Miért gyakoribb az amorf kerámia, mint az amorf fém?
- Mit jelent a „féműveg” kifejezés?
- Melyik anyagcsaládba tartozik a $ZrO_2 + Y_2O_3$?
- Mi az oka annak, hogy a kerámiákat tipikusan szintereléssel (égetéssel) állítják elő?
- Miért szükséges a statisztikus leírás a polimereknél, és miért csak a polimereknél (ill. egyes kompozitoknál)?
- Mi a különbség az ötvözet és a kompozit között?

Következő előadáshoz:
14-15. tankönyvi fejezet

40