

9. KOMPOZITOK

9.1 Általános jellemzés

A kompozit anyagok heterogén rendszerek, melyeket két vagy több anyag összekapcsolásával (társításával) alakítanak ki. Az alkotók kémiai összetétele és legtöbbször alakja is különbözik. Az egyik alkotó folytonos (*mátrix*) és körülveszi a *diszperz fázist*. A köztük levő *határfelületnek* döntő szerepe van a tulajdonságok kialakításában. A kompozitokkal olyan *tulajdonságok* vagy tulajdonságkombinációk valósíthatók meg, melyek az alkotókkal külön-külön nem hozhatók létre. A legtöbbször – de nem mindig – a mechanikai tulajdonságok javítása a cél.

A kompozitok *előállításánál* alapvetően kétféle utat lehet követni. Gyakran külön állítják elő a mátrixot és a diszperz fázist és utólag keverik azokat össze. A diszperz fázist alkotó részecskék méretének csökkenésével ez az út egyre nehezebben járható. Marad a másik lehetőség: a kompozit in-situ előállítása, pl. eutektikum létrehozása. A kompozitokat legtöbbször végső alakjukban készítik el (*near-net-shape*), utólagos alakítást csak ritkán alkalmaznak.

9.2. Felosztás

A kompozitokat többféle szempont szerint csoportosíthatjuk.

– *Anyagpárok* szerint:

- fém-fém
- fém-kerámia
- kerámia-kerámia
- polimer-üveg stb. →

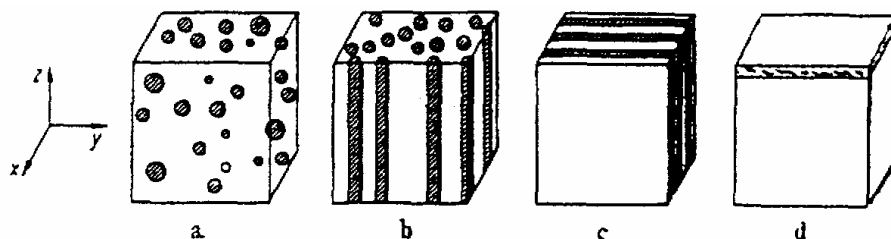
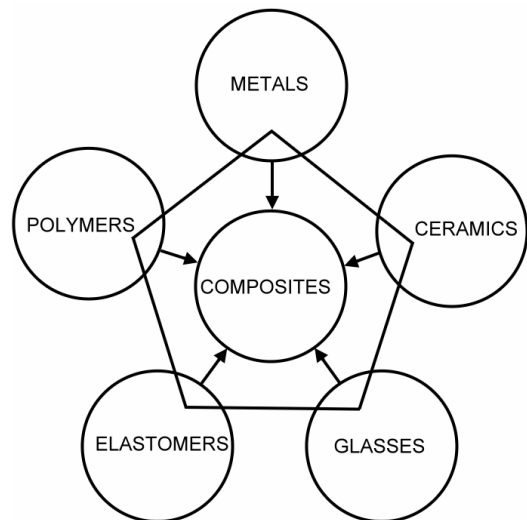
– A *mátrix* szerint:

- polimer mátrixú
- fém mátrixú
- kerámia mátrixú kompozitok [4].

A mátrix anyaga nagymértékben meghatározza a felhasználás maximális hőmérsékletét.

– A komponensek *morfológiája* szerint:

- szemcsés (particulate composite)
- szálal (fiber reinforced composite)
- lemezes vagy réteges (laminated composite) [3].



A kompozitok fajtái:

a / szemcsés b / szálal c / lemezes d / felületi réteges

9.3 Szemcsés kompozitok

- A) A diszperz fázist ekvixiális **szemcsék** alkotják, melyek mérete széles tartományban változhat: a több mm átmértől a nanoméretéig.

Kialakításuk célja nagyon változatos lehet. A *mechanikai tulajdonságok* közül általában nem a szilárdság, hanem a keménység növelése vagy a kúszás csökkentése a cél. Példa: csiszolóanyagok (Al_2O_3 , SiC vagy gyémánt szemcsék polimer vagy fémes mátrixba ágyazva), keménység (WC-Co) megmunkáló szerszámok, stb.

Szemcsés kompozitokat kiterjedten használnak *elektromos* kontaktus anyagokként, pl. erősáramú kapcsolókban, stb.

Fontos felhasználási területet jelentenek a hagyományos *keménymágneses anyagok*, melyeknél a domének mozgását kiválások létrehozásával gátolják. Az újfajta mágneses nanokompozitokban viszont a nanoméretű kiválások javítják a lágymágneses tulajdonságokat (lásd 7.3 fejezet).

Esetenként egyszerűen az *ár csökkentése* a cél, pl. ásványi őrlmények adagolása polimerekbe.

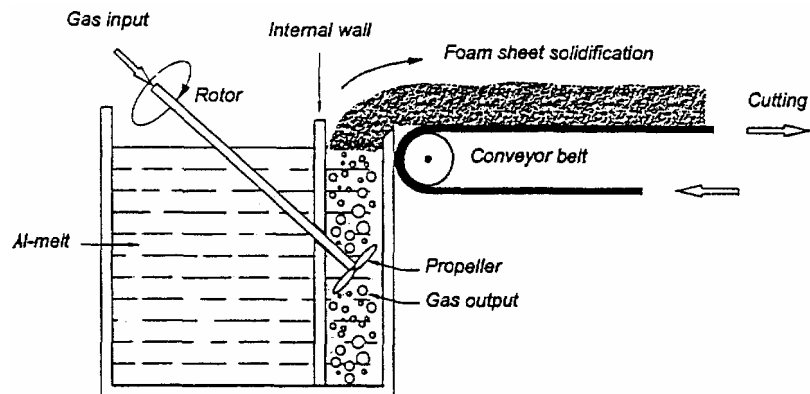
A szemcsés kompozitok *előállítása* történhet kohászati módszerekkel (pl. kiválások létrehozása megszilárdulásakor vagy hőkezeléssel), porkohászati eljárásokkal vagy egyéb módon.

- B) Morfológiai szempontból a szemcsés kompozitok között tárgyaljuk a szilárd **fémhabokat**, melyeknél a diszperz fázis nem valamilyen kemény szemcse, hanem gáz buborék.

A fémhabok előállítására számos módszert dolgoztak ki. Az egyik lehetőség az olvadék "habosítása": gáz befúvása a megfelelő viszkozitású olvadékba [5].

*Al olvadék közvetlen
habosítása gáz
injektálással →*

Bevált módszer olyan anyag adagolása az olvadékba, melyből az olvasztás hőmérsékletén gáz szabadul fel. Ilyen anyag például a TiH_2 .



Az előállítási paraméterek megfelelő megválasztásával a buborékok mérete és zártsága jól szabályozható. Napjainkban az alumínium alapú fémhabok iránt a legnagyobb az érdeklődés. A fémhabok kitűnnek jó hő- és hangszigetelő képességükkel. Összenyomásukhoz jelentős energiát kell befektetni, ezért előnyösen használhatók gépkocsikban az ütközési energia elnyelésére. További alkalmazási lehetőségek: folyadékok szűrése, áramlásuk ellenőrzése, stb.

9.4 Szálas (szálerősítéses) kompozitok

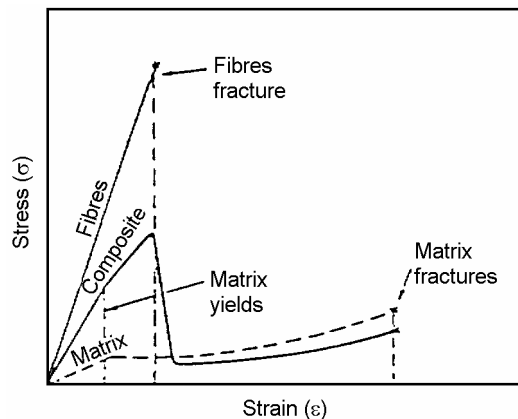
A szálas kompozitok jelentősen javítják a mátrix mechanikai tulajdonságait, pl. szilárdságát, szilárdság/tömeg arányát, tribológiai jellemzőit, esetenként szívósságát oly módon, hogy a mátrixba nagy szilárdságú, merev szálakat építenek be.

9.4.1 Mechanizmus

A szálerősítés *mechanizmusa* bonyolult, a kompozit számos tulajdonsága általában nem vezethető le egyszerűen a keverési szabállyal a mátrix, illetve a szál tulajdonságaiból. Két esetet vizsgálunk meg.

- a) A **szilárdság** jelentős növelése csak abban az esetben várható, ha erős kötés alakul ki a szálak és a mátrix között. Ilyenkor a terhelés nagy részét átveszik a szálak és az ábrán látható szakító diagramot kapjunk.

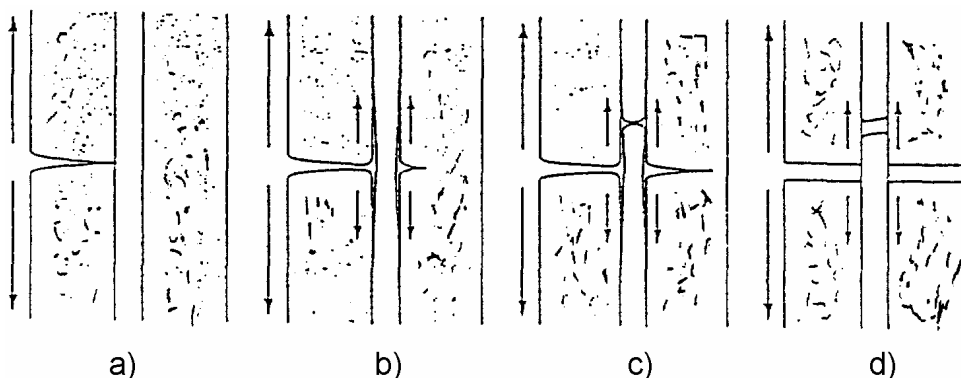
Folytonos, egyirányú szálakkal erősített kompozit szakító diagramja →



Az erős kötésnek az a feltétele, hogy a mátrix és a szál közötti nedvesítési viszonyok (2. fejezet) megfelelőek legyenek, azaz a mátrix nedvesítse a szálát.

Szükség esetén a nedvesítés elősegítésére a szálak felületén megfelelő bevonatot alakítanak ki. Az alumínium olvadék például nem nedvesíti a szénszálat, ezért annak felületét nikkellel vagy tantállal vonják be. A mátrix és a szál határfelületén esetleg lejátszódó kémiai reakció viszont a szál részleges oldódásához vezethet, különösen magas hőmérsékleteken.

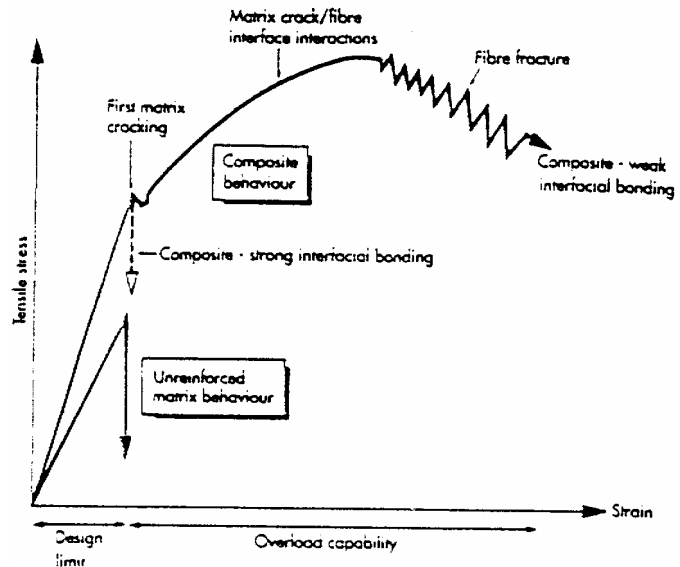
- b) A **szívósság** növelésének főleg a kerámia mátrixú kompozitok esetében van jelentősége. A kerámiák ugyanis elegendően nagy szilárdságúak, viszont képlékenyen nem alakíthatóak (rideg törés). A kerámiák szívósságát szálak beépítésével akkor tudjuk növelni, ha a szálak és a mátrix közötti kötés közepes erősségű. Terhelés hatására a mikrorepedés terjedése közben eléri a szálát és megbontja a kötést (debonding). A szál törése után is munkát kell végezni a szál teljes kihúzásáig, a mátrix töréséig. ↓



Mindez azt eredményezi, hogy az egyébként rideg mátrix "szívóssá" válik.

Szállal erősített rideg mátrix szakítódíagramja

A mátrix és a szál közötti határfelület kialakítása fontos szerepet játszik a kompozit számos tulajdonságának meghatározásában.

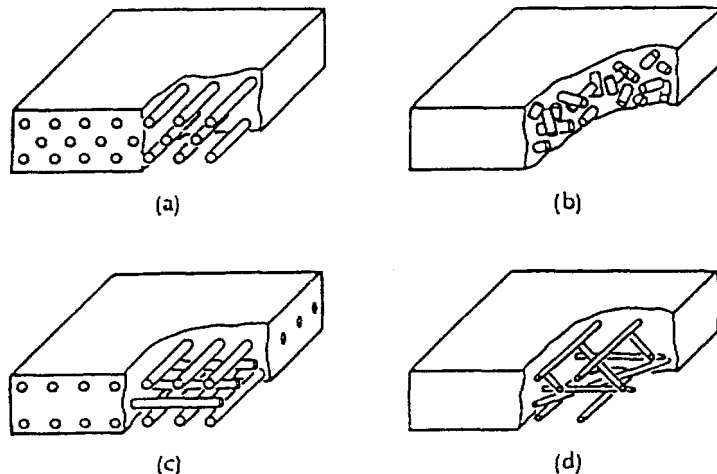


9.4.2 A szálak architektúrája

A szálak elrendezésének, geometriájának és mennyiségének alkalmas megválasztásával lehetőség nyílik a tulajdonságok kívánt kialakítására.

A **szálak elrendeződése** többféle lehet: ↓

- a) folytonos, egyirányú szálak
- b) véletlen orientációjú rövid szálak
- c) egymásra merőleges szálak
- d) filc.



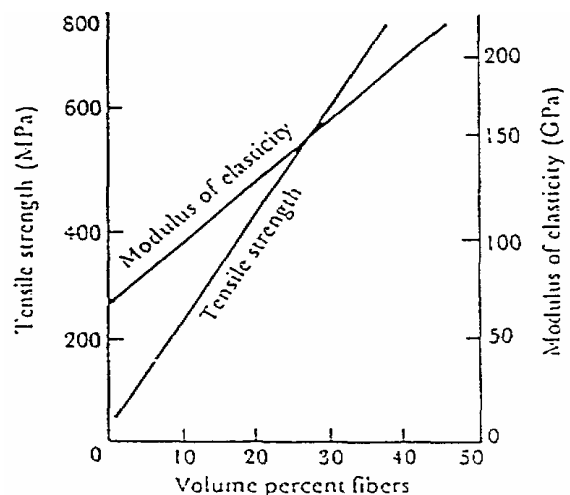
Ily módon lehetségessé válik pl. a szilárdság adott irányokban történő növelése.

A szál geometriájának szerepe

Megmutatható, hogy rövid szálaknál a szilárdság növelése szempontjából kedvező, ha a szál hosszúságának és átmérőjének hányadosa minél nagyobb. A geometriai tényező jellemzésére megadják a szál "karcsúságát" (*aspect ratio*). Értéke jellegzetesen: 30 és 1000 között van.

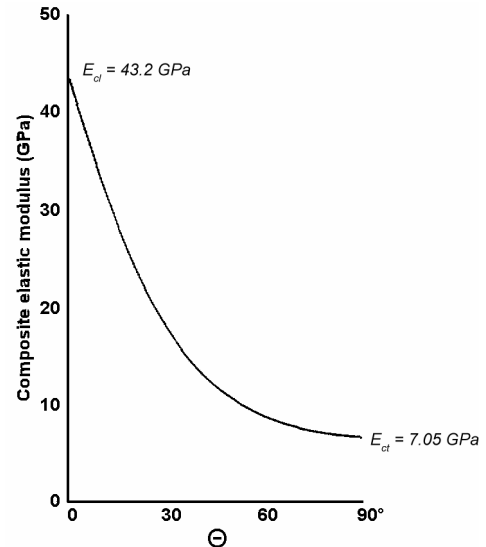
A szálak **térfogat-arányának** növelése ugyancsak kedvező a szálerősítés szempontjából.

A szálak térfogatarányának hatása néhány mechanikai jellemzőre →
(BORSIC szálak Al mátrixban)



A szálak **orientációjának** szerepét az alábbi példa szemlélteti

A rugalmassági modulus függése a szálak orientációjától →
(üvegszállal erősített epoxy gyanta mátrix, a szálak térfogat aránya: 0.6)



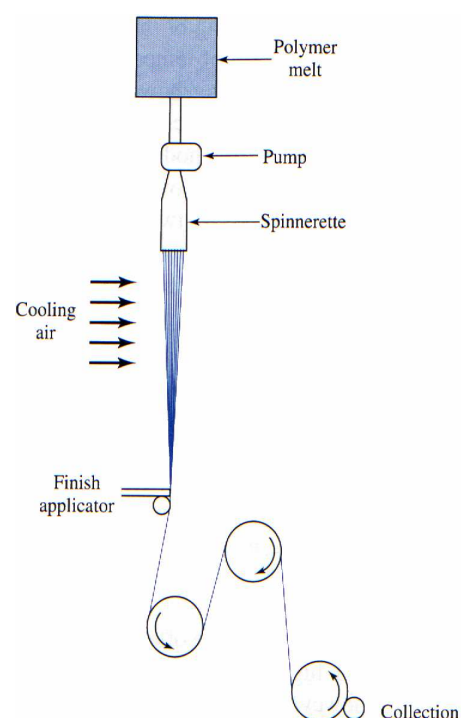
9.4.3 A szálak anyaga

Az erősítő szálaknak különféle elvárásoknak kell megfelelniük:

- Jó mechanikai tulajdonságok (szilárdság, modulus), kis sűrűség mellett
- Megfelelő kötés a mátrixhoz, a hőtágulás hasonlósága
- Geometria: kis átmérő (kevesebb hiba, nagy fajlagos felület).

A gyakorlatban fém, üveg, kerámia, polimer és szénalapú erősítőszálakat továbbá tükristályokat egyaránt alkalmaznak. Az erősítőszálak átmérője is tág határok között változik: az esetek nagy részében 1 – 10 μm , de vannak ennél vékonyabbak (tükristályok) és jóval vastagabbak is, pl. 100 μm átmérőjű egyes szálak (monofilaments). Utóbbiak maguk is összetett rendszerek, pl. BORSIC szálak. Nem ritkán különféle anyagú szálakat építenek be ugyanazon mátrixba (*hibrid kompozitok*). A szálakat gyakran kötegekben hozzák forgalomba, esetenként szövetet vagy hálót készítenek.

- **Fémszálak.** – Dróthúzással készített acél és volfrámszálakat régóta használnak főleg fém mátrixú kompozitokban. Újabban a volfrámszálakat kerámiaszálak magjaként is használják (lásd bórszálak).
- **Üvegszálak.** – Az üvegszálakat olvadékból állítják elő. Az olvadék több száz lyukat tartalmazó platina lemezen (spinerette) folyik keresztül a gravitáció hatására. A megszilárduló szálakat húzás egyidejű alkalmazásával felcsévélik. Különféle célokra nagy szilárdságú illetve nagy modulusú szálak kaphatók a kereskedelemben. Olcsók. Az üvegszállal erősített polimer mátrixú kompozitok a kompozitok legelterjedtebb csoportját alkotják.
- **Polimer szálak.** – A polimer szálak előállítása az üvegszálakéhoz hasonló módon történik,

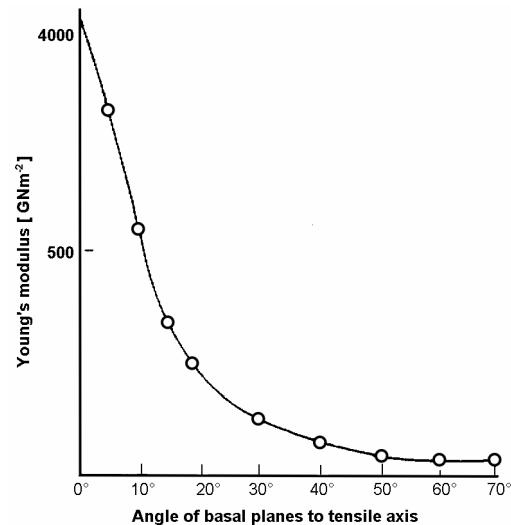


egy lényeges kivétellel: a viszkózus olvadékokat extruder segítségével kényszerítik át a fúvókán. A csévélésnél alkalmazott feszítés hatására a polimert alkotó szénláncok beállnak a szál tengelyének irányába. Ilyen technológiával állítják elő a textiliparban használt műszálakat is.

A nagy modulusú erősítőszálak közül az *aramid* (ARomatic polyAMIDE) szálak a legelterjedtebbek. Ezekben a szénlánc aromás és nitrogén tartalmú csoportokból épül fel. A szénláncban levő erős kovalens kötések biztosítják a szál kedvező mechanikai tulajdonságait a szál tengelye irányában.

A szénláncok között lényegesen gyengébb, hidrogén hídkötések hatnak. A legismertebb aramid szál a KEVLAR®.

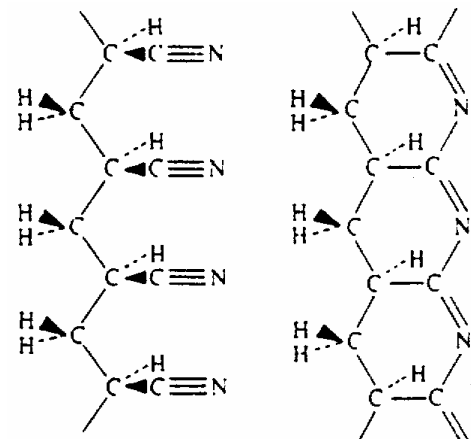
- **Széniszálak.** – A széniszálak kedvező tulajdonságainak megértéséhez a kristályos grafit szerkezetéből és tulajdonságaiból indulunk ki. A grafit rács alap síkjában (basal plane) a szénatomok között erős kovalens kötések hatnak (a C-C távolság: 0.142 nm). Az egyes rács síkok között gyenge van der Waals erők működnek (a síkok távolsága: 0.335 nm). Ez a szerkezet az alapsíkban nagy szilárdságot eredményez (E=1060 GPa, erre merőlegesen mindössze 36.5 GPa).



A széniszálak szerkezete annyiban hasonlít a grafitéhoz, hogy a széniszál tengelye irányában grafit (alap)síkok állnak.

A grafit Young modulusa az alaplap és a húzás iránya által bezárt szög függvényében

A széniszálakat polimerek termikus bontásával (pirólízis) készítik, kontrollált gáz atmoszférában, enyhe feszítés alkalmazásával, 1500 – 3000 °C közötti hőmérsékleten. Kiinduló anyagként (precursor) gyakran polyakrilonitril (PAN) szálakat használnak. A hőkezelés során az eredetileg nyílt szénlánc merev "létra" típusú szerkezetté alakul át, melyben az aromás csoportok a szál tengelyének irányába állnak be.

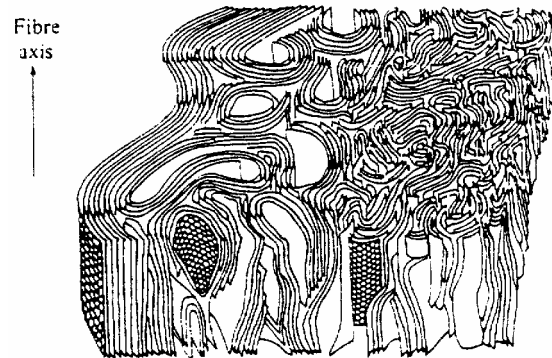


A PAN szál átalakulása a pirólízis folyamán →

Egy-egy elemi szál átmérője 8 μm körül van. A szálak szilárdsága csökken az átmérő növekedésével. Néhány ezer elemi szál alkot egy köteget.

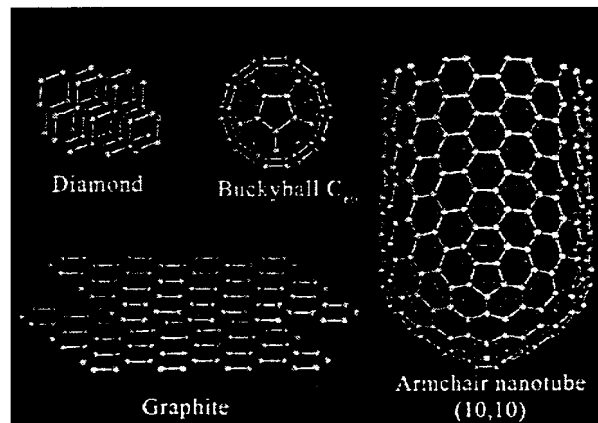
A széniszálak szerkezete erősen torzult grafit rácsra emlékeztet (*turbostratic graphite*): a grafit síkok nem oly rendezettek, mint a grafit kristálynál, a síkok távolsága is változik (ált. >0.335 nm), a termikus bontáskor felszabaduló gázok pórusokat eredményeznek [1].

A szén-szálak szerkezete →



A szén-szálak Young modulusa nem éri el a grafitét, értéke 230 – 500 GPa között változik, az előállítás körülményeitől függően.

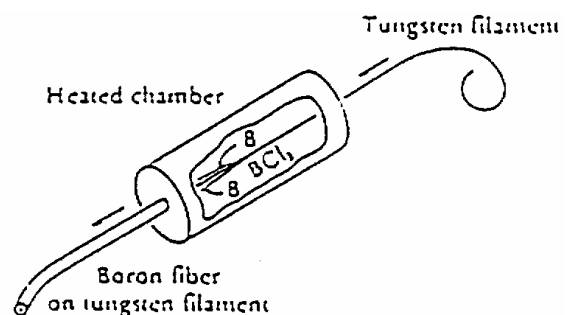
- **Szén nanocsövek.**- A grafit szerkezetet leginkább a szén nanocsövek közelítik meg, melyek “feltekert” grafit síkoknak tekinthetők. Az egyes falú nanocsövek (single-wall nanotube, SWNT) átmérője tipikusan 0.4 és 2-3 nm közé esik. Gyakoriak a több koncentrikus csőből álló nano-csővek is (multi-wall nanotubes, MWNT). Hosszuk általában a mikrométeres tartományba esik, de elérheti a néhány cm-t is.



A különböző szén módosulatok szerkezetének összehasonlítása

Hasonló módszerekkel készíthetők, mint a fullerének (szén elpárolgatása ívben vagy lézerrel, CVD, stb.). Mechanikai tulajdonságaik kiválóak. Young modulusuk 200 és 1000 GPa között van. Kutatásuk nagy erővel folyik világszerte. A számos alkalmazási lehetőség között szerepel felhasználásuk nanokompozitokban, szálerősítőként (10. fejezet).

- **Kerámia szálak.**- A kerámiák kedvező szilárdságát és kis sűrűségét több erősítőszálban hasznosítják. A rideg-séggel kapcsolatos problémákat úgy kerülik meg, hogy magként vékony (kb. 12 μm) volfrám vagy szén-szálát használnak, erre választják le a kerámiát (pl. B-t vagy SiC-ot) CVD módszerrel. A bór szál felületén esetenként SiC vagy BN bevonatot alakítanak ki, az oxidációval szembeni ellenállás javítására (BORSIC szálak). A szál végső átmérője 100 – 200 μm között van. Úgyszintén megoldották az alumíniumoxid szálak (Saffil®) ipari előállítását is.

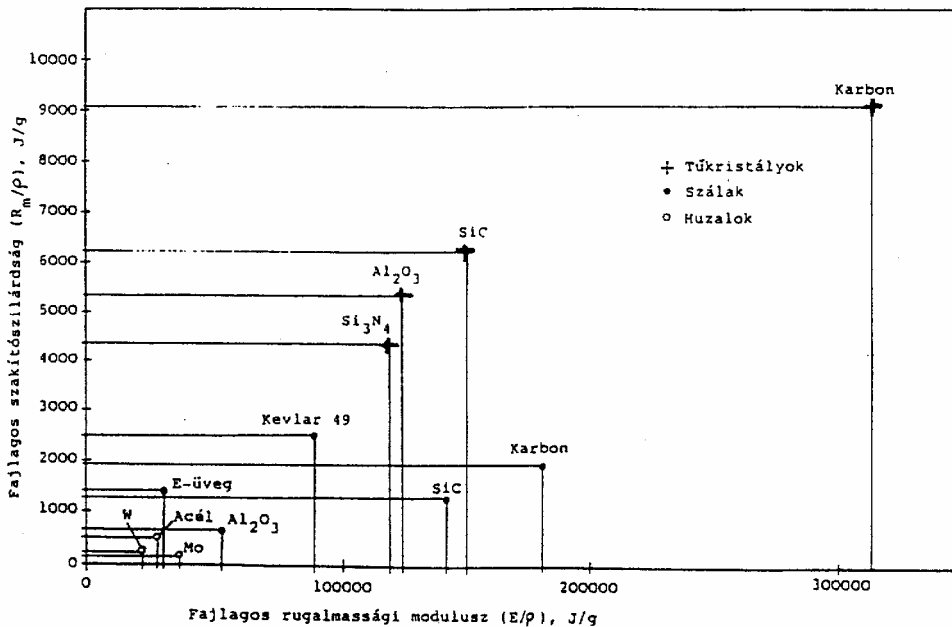


Bór szálak készítése CVD módszerrel

- **Tűkristályok (whiskerek).**- A tűkristályok kis átmérőjű (ált. < 50 μm), nagyon kevés kristályhibát tartalmazó egykristályok. Szakítószilárdságuk rohamosan nő az átmérő csökkenésével és közelít az elméletileg várható szilárdsághoz.

Sokféle anyagból készíthetők (pl. fémek, ionkristályok, stb.). Előállításuk gyakran bonyolult kémiai módszerekkel történik. Eddig főleg SiC és alumíniumoxid tűkristályokat használták, elsősorban különleges fém-, illetve kerámia mátrixú kompozitokban. Drágák.

A leggyakrabban használt erősítőszálak fajlagos szilárdságának függését a fajlagos modulustól az alábbi ábrán hasonlíthatjuk össze [2] :



Néhány szálanyag helye a fajlagos szakító szilárdság (R_m/ρ) - fajlagos rugalmassági modulus (E/ρ) koordináta rendszerben

9.4.4 Mátrix

A szálerősítéses kompozitok mátrixa különféle anyag lehet, polimer, fém, kerámia, stb. A mátrix anyaga meghatározza a kompozit szilárdságát és használatának maximális hőmérsékletét.

A kompozitok készítése nagymértékben függ a mátrix anyagától. Ezért előállításuk módszereit a mátrix anyaga szerint tekintjük át.

9.4.4.1 Fém mátrixú kompozitok

a) Szemcsés kompozitok

A fém mátrixú szemcsés kompozitokat az ipar számos területén hosszabb ideje használják. A beágyazott szemcse anyaga fém vagy kerámia. Előállításuk porkohászati eljárásokkal történik. Legelterjedtebb példái a keményfémek: 0.8-5 μm átmérőjű WC vagy TiC szemcsék, Co-ba ágyazva. Utóbbi 6-8 %-ban van jelen. Folyadékfázisú szintereléssel készítik. Megmunkáló szerszámok vágóeleként használják (WIDIA®).

b) Szálas kompozitok

A fém mátrixú szálas kompozitokban a fémes mátrixba más anyag (másik fém, intermetallikus vegyület, kerámia) szálait ágyazzák be. Tulajdonságaik tág határok között változtathatók a komponensek morfológiájának, térfogat arányának és anyagának megválasztásával. A fémes mátrix jó szívósságot és a polimerénél magasabb működési hőmérsékletet (300- 650 °C) tesz

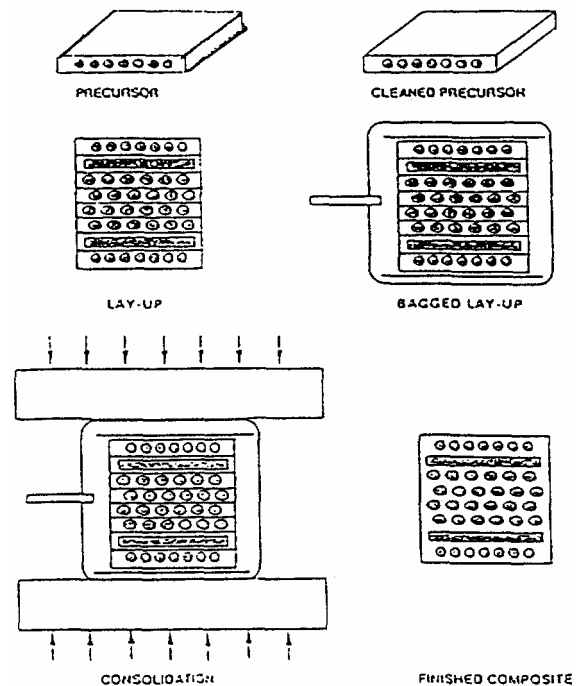
lehetővé. Ezen előnyök ellenére a gyakorlatban nem terjedtek el olyan mértékben, mint a polimér mátrixúak. Ez a tény előállítási technológiájuk bonyolultságának (drágaságának) tulajdonítható.

MÓDSZEREK:

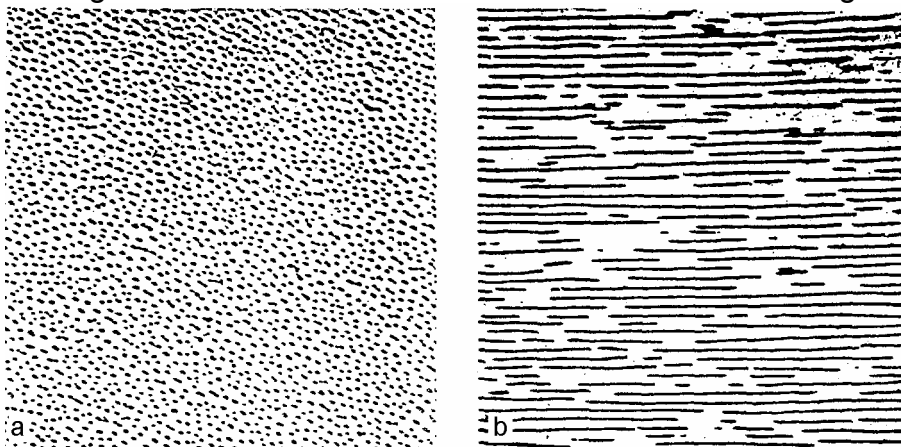
Diffúziós kötés (diffusion bonding). – A diffúziós kötésnél tiszta fém felületeket magas hőmérsékleten nyomás alkalmazásával kapcsolnak össze. Az eljárás főbb lépései: a szálakat megfelelő irányítottságban tartalmazó precursor (mono-tapes) elkészítése, majd ezek meleg préselése általában vákuumban [6].

Fém mátrixú kompozit készítése diffúziós eljárással →

Porkohászati módszerek. – Rövid erősítőszálak használata esetén a porkohászat ismert módszereit alkalmazzák (a komponensek összekeverése, formázás, izzítás).

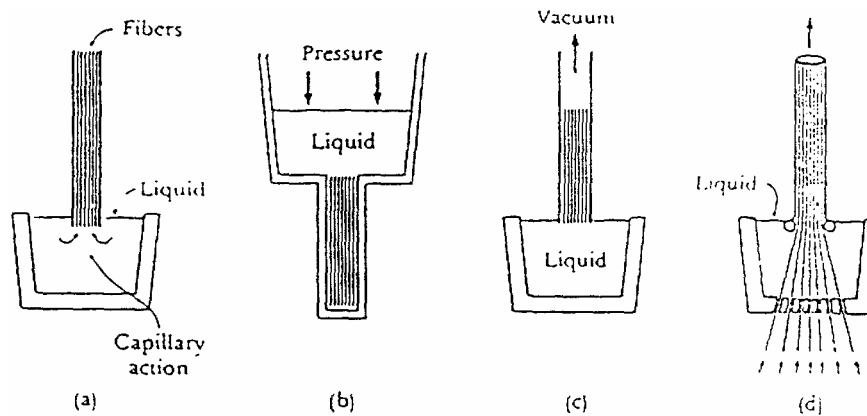


In-situ módszer (szálas vagy lemezes eutektikumok előállítása). – Az eutektikus megszilárdulás körülményeinek és a komponensek koncentrációjának megfelelő megválasztásával szálas vagy lemezes eutektikumok készíthetők irányított megszilárdulással. Példa: Al-Ni ötvözetek eutektikus megszilárdulása.



*Irányított megszilárdítással készített Al – Al₃Ni eutektikus ötvözet
a) keresztirányú és b) hosszirányú metszete. 500 x*

Olvasztásos módszerek. – Az olvadt állapotban levő mátrixot hozzák össze a rendezett formában előkészített erősítőszálakkal, esetenként nyomás vagy vákuum alkalmazásával.



Casting techniques for producing composite materials. (a) Capillary rise, (b) pressure casting, (c) vacuum infiltration, and (d) continuous casting.

Mechanikai alakítással. – A komponenseket képlékeny alakítással (hengreléssel, dróthúzással) egyesítik. Legismertebb példa: Nb-Sn szupravezető kábelek előállítás.

Gyakorlati felhasználások. – A fém mátrixú szálak kompozitokat elsősorban szerkezeti anyagként használják olyan helyeken, ahol a hőállóság és a szívósság egyaránt fontos. Az utóbbi években elsősorban a szálerősítéses könnyűfémeket használták fel a jármű- és a repülőgép-gyártásban (szén- vagy bór szállal erősített alumínium). Az alkalmazás másik fontos területét a magas hőmérsékleten erős mechanikai igénybevételnek kitett alkatrészek, pl. a turbinalapátok jelentik. Utóbbi célra alumíniumoxiddal erősített nikkel alapú szuperötvözeteket fejlesztettek ki.

9.4.4.2 Kerámia mátrixú kompozitok

Korábban láttuk, hogy a kerámiák szívósságának növelése elérhető nagy szilárdságú erősítő szálak beépítésével. Egyes hagyományos kerámiák mechanikai tulajdonságainak javítására régóta használnak fémszálakat vagy rudakat (vasbeton). Úgyszintén van hagyománya a betonnak üvegszálakkal történő erősítésének is. Ezeket az anyagokat aránylag alacsony hőmérsékleteken használják. A működési hőmérséklet emelésének igénye vezetett el az olyan kerámia mátrixú kompozitok kidolgozásához, melyeknél erősítő szálként kerámiát használnak. Alkalmazásukra olyan speciális esetekben kerül sor, amikor a kerámiák kis sűrűsége előnyös, a szilárdságot magas hőmérsékleteken is meg kell őrizni, esetenként erősen korrozív környezetben is (pl. gázturbinák egyes részei).

A kerámia mátrixú kompozitok több szempontból különböznek a fém vagy a polimer mátrixú rendszerektől. A leglényegesebb különbség abban rejlik, hogy a polimer mátrix aránylag nagymértékben nyújtható és a repedés a szálban kezdődik. A kerámia mátrix maga nagyon rideg és a repedés ebben indul meg először.

A következő táblázat *SiC szálak* erősítő hatását mutatja néhány, a gyakorlati felhasználás szempontjából fontos kerámia mátrix mechanikai tulajdonságaira.

Effect of SiC reinforcement fibers on the properties of selected ceramic materials

Material	Flexural Strength (MPa)	Fracture Toughness (MPa.m ^{1/2})
Al ₂ O ₃	550	5.5
Al ₂ O ₃ /SiC	790	8.8
SiC	495	4.4
SiC/SiC	756	25.3
ZrO ₂	206	5.5
ZrO ₂ /SiC	446	22
Si ₃ N ₄	467	4.4
Si ₃ N ₄ /SiC	790	56.1
Glass	62	1.1
Glass/SiC	825	18.7
Glass ceramic	206	8.2
Glass ceramic/SiC	825	17.6

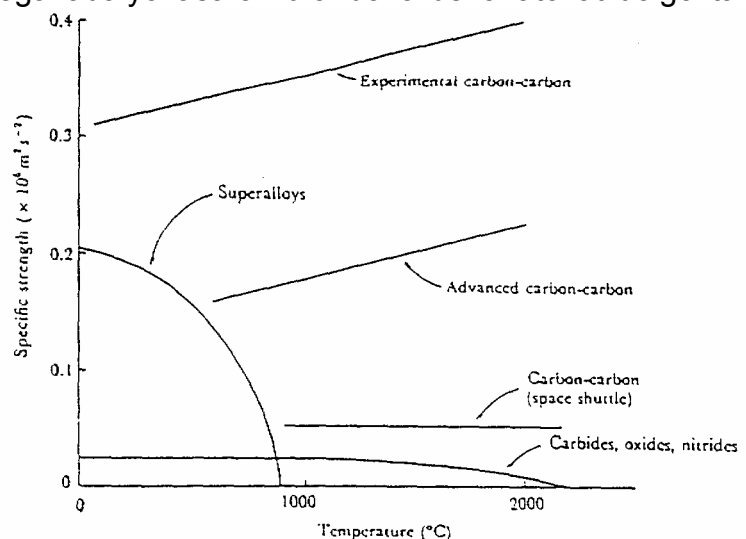
Előállítás.— A kerámia mátrix erősítésére leggyakrabban a SiC, az alumíniumoxid, valamint a bór folytonos szálait vagy *tűkristályait* használják. A folytonos szálak készítésénél gyakran fém "magból" indulnak ki, azaz vékony volfrám szál felületére választják le a kerámia bevonatot, megfelelő vegyület gőzének termikus bontásával. Erre láttunk példát a 9.4.3 fejezetben bór szál előállításánál. Hasonló eljárást követnek SiC szálak előállításánál is (polikarboszilán termikus bontása). A bór szálakon gyakran SiC bevonatot alakítanak ki, mivel ez az anyag jobban ellenáll az oxidációnak magas hőmérsékleten.

A kerámia mátrixú kompozitok készítésére a korábban ismertetett módszerek közül leginkább a meleg préselet alkalmazták (4. Porkohászat). A szálak egyenetlen eloszlásának biztosítása nem egyszerű feladat.

9.4.4.3 Szén – szén kompozitok

Különleges csoportot képeznek azok a kompozitok, melyekben a mátrix és a szál is szén. Ezek a kompozitok egyesítik magukban a szénszálak nagy szilárdságát és modulusát a kerámiák hőállóságával. Egyes szén – szén kompozitok szilárdsága nem csökken, hanem növekszik (!) a hőmérséklet növekedésével még 1000 °C felett is. További előnyök: jó hővezetőképesség és kopásállóság. Oxigén jelenlétében már aránylag alacsony hőmérsékleteken is (400 °C felett) szublimálnak. Az oxidáció megakadályozására különböző bevonatokat dolgoztak ki.

Néhány anyag fajlagos szilárdsága a hőmérséklet függvényében →



A szén-szén kompozitok készítésénél is pirolízist használnak: a szénszálakat előbb műgyantába ágyazzák, majd magas hőmérsékletre izzítják. Ekkor a műgyanta elbomlik és szén marad vissza. Az átítatást (infiltration) és a termikus bontást többször megismétlik, így egyre nagyobb szilárdságú terméket kapnak (ezt az eljárást SiC/SiC kompozitok esetében is alkalmazzák).

A szén – szén kompozitokat kiterjedten használják repülőgépek fék berendezéseiben (egy repülőgép földet érésekor nagy energiát kell disszipálni. A fék súrlódó részeinek hőmérséklete rövid időre elérheti az 1300 °C-ot). Napjainkban a versenyautók, és egyes speciális autók fékbetéteit is szén – szén kompozitokból készítik. Az űrtechnikai felhasználások is jelentősek (visszatérő űr eszközök orr része, rakéta fúvókák, stb.).

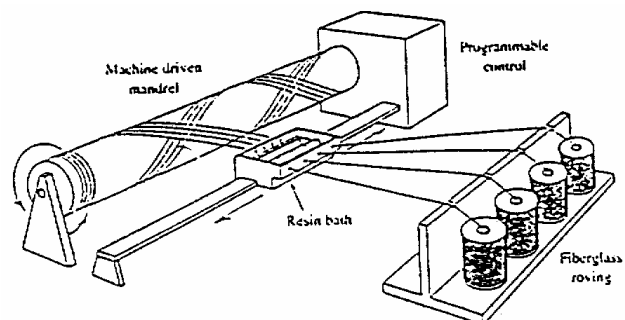
9.4.4.4 Polimer mátrixú kompozitok

Napjainkban valamennyi kompozitféleség közül a polimer mátrixú kompozitok használata a legelterjedtebb. A mátrix lehet hőre keményedő vagy hőre lágyuló polimer egyaránt. Az erősítőszálak közül az üveg- és a szénszálakat használják leginkább. A leggyakrabban használt kombinációk: üvegszál – polimer, szénszál – polimer, KEVLAR® - epoxy és a KEVLAR® - poliészter. Számos esetben két vagy többféle erősítőszálat használnak azonos mátrixban (hibrid Kompozitok).

A polimer mátrixú kompozitok előállítására számos ipari eljárás áll rendelkezésre. Közülük csupán kettőt említünk.

- **Szálcsevélés.** - Az eljárást hengerszimmetrikus munkadarabok (csövek, tartályok) előállítására használják.

Az orsókon levő szálat (kötegeket) gyanta olvadékon húzzák át és tekerceslik a megfelelő magra. A gyantát külön lépés-ben polimerizálják és a magot eltávolítják.

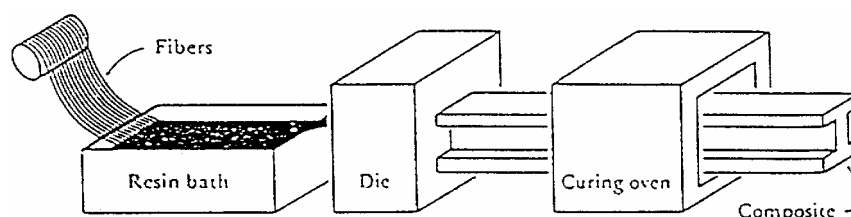


A szálcsevélés elve →

Az eljárás nagy előnye, hogy a gyantát tartalmazó tartály (resin bath) mozgatásának sebessége változtatható, így a tekerceslés sűrűsége a kívánt értékre állítható be.

- **Húzósajtolás (pultrusion).** - Az eljárás az extrudálás speciális esete.

A szálat áthúzzák a gyantafürdön és a megfelelő alakú szerszámon, majd a gyantát egy kályhában (curing oven) folyamatosan polimerizálják. Különböző rudak és idomok előállítására használják.



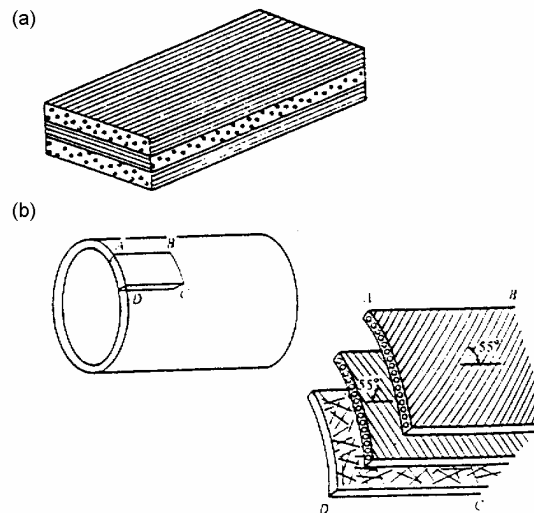
Kompozit idomdarab gyártása húzósajtolással

A polimer mátrixú kompozitokat kiterjedten használják a gépkocsigyártásban, háztartási eszközök, valamint sportszerek előállítására (pl. csónaktestek, sílécek, teniszütők, kerékpárok, stb.), ahol a fajlagos szilárdság fontos szerepet játszik.

9.5 Lemezes kompozitok

A lemezes kompozitok jellegzetes rétegszerkezetek, ilyenek pl. a bimetálok, szendvics szerkezetek, stb. Ide tartoznak a felületi rétegek is, de ezeket korábban, a 7. Fejezetben tárgyaltuk.

A lemezes kompozitok kialakítása többféle célt szolgálhat, pl. a szilárdság növelését, a súly csökkentését (szendvics szerkezetek), különleges hőtágulási tulajdonságok kialakítását (bimetálok, üvegbe forrasztható ötvözetek), stb. Az egyes rétegek tartalmazhatnak irányítottan elrendezett hosszú szálakat, így kívánt anizotrópia vagy éppen izotróp mechanikai tulajdonságok alakíthatók ki. [1]



Lemezes kompozitok:
a/ Egymásra merőleges sík rétegek, hosszú szálak
b/ hengeres elrendezés, az egyik réteg rövid szálakat, a másik kettő egyirányú hosszú szálakat tartalmaz

Az alábbiakban csupán néhány példa felsorolására szorítkozunk.

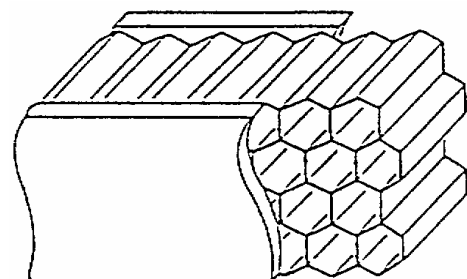
A *fürtlemez* és az autók *biztonsági üvege* tipikus lemezes kompozitok, különálló rétegek összeragasztásával készültek.

A *bimetál* két, különböző hőtágulású fémből áll.

A *szendvics szerkezetre* jó példa az USA pénzürméinek egy része, melyek magja aránylag olcsó Cu-20 % Ni ötvözet, két oldalán bevonva kopásálló és kevésbé oxidálódó Cu – 80 %Ni réteggel.

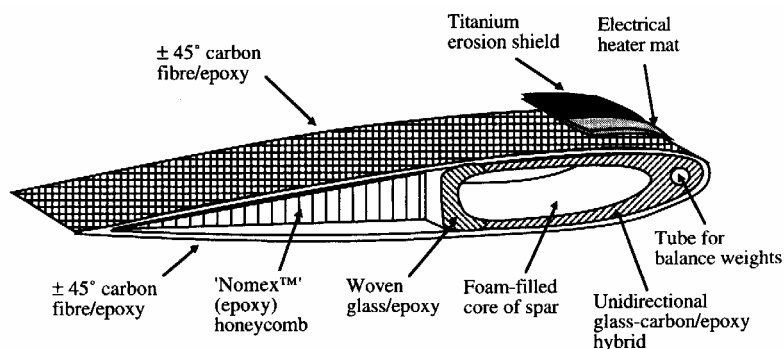
A *méhsejt szerkezeteket* is kiterjedten használják a mindennapi életben.

Ezekben a szerkezetekben egy középső, cellás elrendezést tart össze a két határoló lap. A rögzítés történhet ragasztással (pl. bútorlapok), vagy fémek esetében forrasztással, illetve hegesztéssel (pl. hőcserélők, stb.). Nagyszilárdságú, könnyű szerkezetek hozhatók így létre. [2]



Méhsejt szerkezet

Számos eszköz különféle anyagú és szerkezetű kompozitból épül fel, ahogy ezt a következő ábrán egy helikopter rotorlapát esetében megfigyelhetjük.



Schematic section through a typical composite construction for a helicopter rotor blade. (Courtesy of Westland Helicopters.)

HIVATKOZÁSOK

1. D. Hull and T.W. Clyne: An Introduction to Composite Materials, Second ed., Cambridge University Press, Cambridge, 1996
2. Dr. Tóth Tamás: Kompozitok, Miskolci Egyetem Dunaújvárosi Főiskolai Kar Kiadó Hivatala, Dunaújváros, 1996
3. Bárczy P.: Anyagszerkezetan, Miskolci Egyetemi Kiadó, 1998
4. G. Frommeyer: Metallic Composite Materials, p. 1854-1883, in: R.W. Cahn, P. Haasen (editors): Physical Metallurgy, 3rd ed., Elsevier Sci. Publ. BV, 1983
5. J. Banhart: Manufacture, characterisation and application of cellular metals and metal foams, Progress in Mater. Sci. 46, 539-632 (2001)
6. R.K. Everett, R.J. Arsenault (editors): Metal Matrix Composites: Processing and Interfaces, Academic Press, Boston, 1991
7. M.B. Bever (ed.): Encyclopaedia of Materials Science and Engineering, Pergamon Press, Oxford, 1986:
 - a) Composite materials an overview, p. 750
 - b) Carbon fibers, p. 509
 - c) Whiskers, p. 5344
8. P. Ettmayer: Hard metals and cermets, Ann. Rev. Mater. Sci. 19, 145-164 (1990)
9. H. Dai: Carbon nanotubes: opportunities and challenges, Surface Sci. 500, 218-241 (2002)
10. K.-T. Lau and D. Hui: The revolutionary creation of new advanced materials – carbon nanotube composites, Composites: Part B, 33, 263 – 277 (2002)