

3. modul 2. lecke: Műanyag kompozitok gyártási és feldolgozási technológiái, kompozitmechanikai alapok

A lecke célja, hogy bemutassa a legfontosabb hőre lágyuló és hőre nem lágyuló szálerősített műanyag kompozit anyagok előállítási, illetve gyártási technológiáit. A tananyag rövid áttekintést ad arról, hogy melyek azok a jellemzők, amelyek a kompozitok tulajdonságait meghatározzák. Képekkel illusztrálva bemutatjuk kompozitok legjellemzőbb tönkremeneteli formáit, és hogy a határfelületnek, azaz a szál és a mátrix közötti tapadásnak milyen szerepe van az egyes anyagjellemzőkre. Konkrét alkalmazási példákkal áttekintést adunk a polimer kompozitok széleskörű felhasználási lehetőségeiről.

Követelmények: Ön akkor sajátította el a tananyagot, ha képes:

- bemutatni a hőre lágyuló kompozitok előállításának és gyártásának alapvető technológiáit;
- bemutatni a hőre nem lágyuló kompozitok szerkezetek alapvető gyártási technológiáit;
- felsorolni, hogy mely paraméterek befolyásolják a kompozitok tulajdonságait, ezek hogy hatnak az egyes mechanikai jellemzőkre;
- bemutatni a kompozitokra jellemző tönkremeneteli formáit,
- összefoglalni, hogy a kompozit határfelületének milyen szerepe van a hatékony kompozit szerkezet kialakításában.

Időszükséglet: előadás időtartama 1,5 óra. Otthoni, egyéni tanulásban kb. +2 óra az elsajátítás ideje.

Kulcsfogalmak:

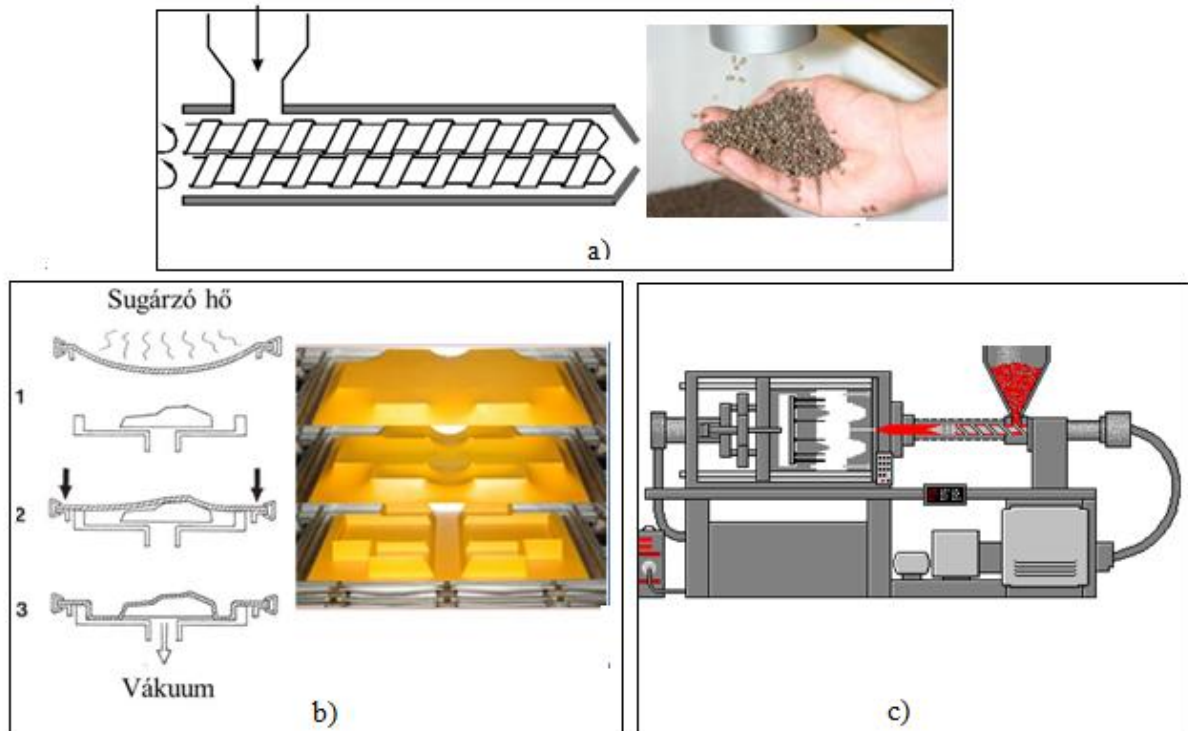
- ömledékkeverés, granulátum
- extrudálás
- fröccsöntés
- kézi laminálás
- vacuum-injektálás
- SMC, BMC
- pultrúzió
- irányfüggő mechanikai tulajdonságok
- határfelület, kohéziós erő, adhéziós erő

1. Hőre lágyuló kompozitok előállítása és feldolgozása

Tevékenység: A lecke áttanulmányozása után, a követelményekben meghatározottak alapján rögzítse, majd foglalja össze a lecke tartalmát, készítsen feljegyzéseket, gyűjtsön példákat a kulcsfogalmak jellemzőiről

A kompozit alapanyag gyártása többnyire *ömledékkeveréssel* valósul meg. A rövid (vágott) erősítőszálak bekeverése kétcsigás extruderben, ömledék állapotban történik. A szálak homogen elkeverését az ömledék polimerben az extrudercsigákkal kifejtett nagy nyíró-/keverőhatás biztosítja. A kompozit előtermék granulátum.

A kompozit granulátumot újabb *extrúzióval* lemezzé, illetve profiltermékkel lehet alakítani, vagy *fröccsöntéssel*, illetve a lemez félkészterméket *hőformázással* (vákuumformázás) feldolgozva lehet **késztermék**et előállítani.



1 ábra a) Kompaundálás kétszigás extruderben, előtermék: granulátum, b) extrudált lemez vákuumformázásának technológiai lépései, c) fröccsöntés

2. Hőre nem lágyuló kompozitok előállítása

Tevékenység: Jegyezze meg a hőre nem lágyuló kompozitok szerkezetek alapvető gyártási technológiáit

A hőre nem lágyuló kompozitok mátrix anyagául általában epoxi, vinilészter és poliészter gyantákat alkalmaznak. Erősítőanyagaik elsősorban az üvegszál, szénszál és aramidyszál. Elterjedten alkalmazzák ezeket a kompozitokat az autóiiparban, a repülőgépgyártásban, a hajógyártásban és az építészetben.

A hőre nem lágyuló kompozitok előnye a réteges felépítésben rejlik, melynek köszönhetően a termék mechanikai tulajdonságai az igénybevétel erővonalai mentén minimális önsúly mellett optimalizálhatók. A kompozit szerkezet tervezésének lépései az alábbiak:

- A fő terhelési irányok meghatározása
- A rétegek méretezése
- A rétegrend kialakítása
- Egyéb gyárthatósági paraméterek: költségek, szériaszám, technológia meghatározása.

Fenti lépések eredményeként kiválasztható a megfelelő gyártástechnológia.

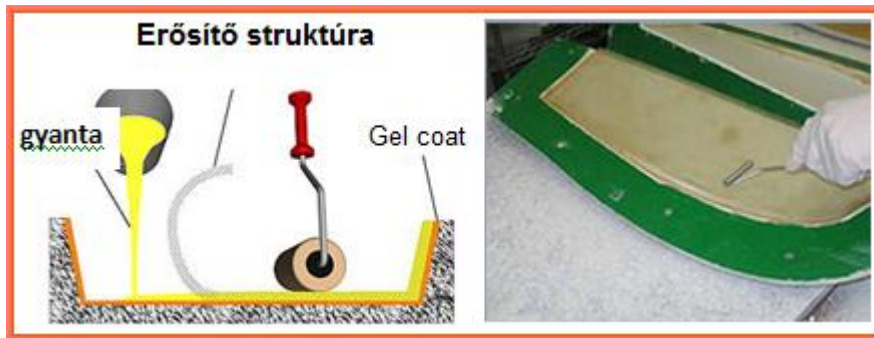
A hőre nem lágyuló kompozitok legfontosabb gyártási technológiái az alábbiak:

1. Kézi laminálás
2. Szórás
3. Vákuum-injektálás
4. Sajtolás (BMC, SCM, GMT)
5. SMC

6. BMC
7. Pultrúzió

2.1 Kézi laminálás

Kézi technológia, elsősorban prototípus és kis sorozat gyártására alkalmazzák, akár több 10 réteg erősítőanyag is összeépítésével. A légzárványokat kézzel görgőzik ki, bordák, fémbetétek, megvastagítások is beépíthetők. Ezzel a módszerrel szendvicsszerkezet is készíthető. Ajánlott utólagos emelt hőfokú térhálósítás alkalmazása.



2. ábra Kézi laminálás

A berendezés, szerszám és alapanyag olcsó, viszont a munkaerő drága. Hosszú a ciklusidő, és egészségkárosító hatású. Az eljárás előnye, hogy *tetszőleges geometria* megvalósítható, a *termék felülete szép*. Hátránya, hogy csak gyenge vagy közepes mechanikai tulajdonságok alakíthatók ki.

2.1.1 Szórás

A laminálási technológiához hasonló, de részben gépiesített. Szórópisztolyból egyidejűleg szórják fel – akár függőleges felületre is – a vágott üvegszál-rovíngot, valamint az iniciátorral és gyorsítóval kevert gyantát. Közepes szériájú gyártást tesz lehetővé. Alkalmazásával hajótestek, lemezszerű panelek gyárthatók.

2.1.2 Vákuum- injektálás

Első lépésben az erősítőrétegeket a szerszámba helyezik, majd feltöltik folyékony gyantával, és a szerszám felőli oldalon a laminátumot megszívják vákuummal.



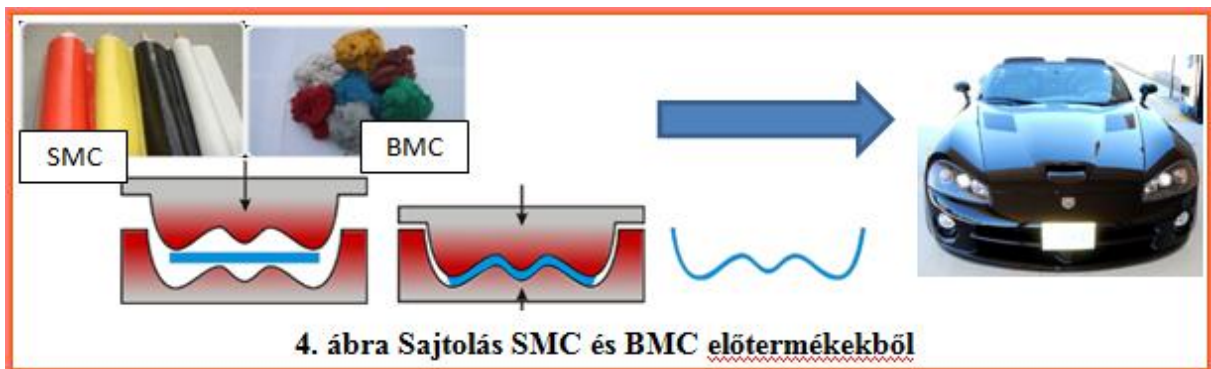
3. ábra Vákuum-injektálás

video: http://wn.com/Fibreglass_vacuum_moulding

2.1.3. Sajtolás (BMC, SMC)

Kétrészes fűtött szerszámban végzett nyomásos eljárás, amelyet sorozatgyártásnál alkalmaznak (pl. a korszerű kamion-vezetőfülkék, autóbusz és személyautó karosszériaelemek). Az előgyártmány lehet:

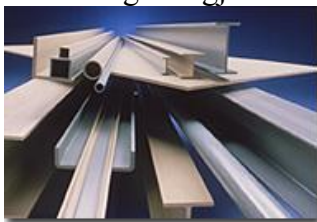
- **BMC:** *Bulk Molding Compound*: „alaktalan” kompozit előimpregnátum („*premix*”) szálerősítésből és matrix oligomerből,
- **SMC:** *Sheet Molding Compound*: lemezformájú kompozit előgyártmány („*prepreg*”) tekercs alakban tárolva.



2.1.4. Pultrúzió

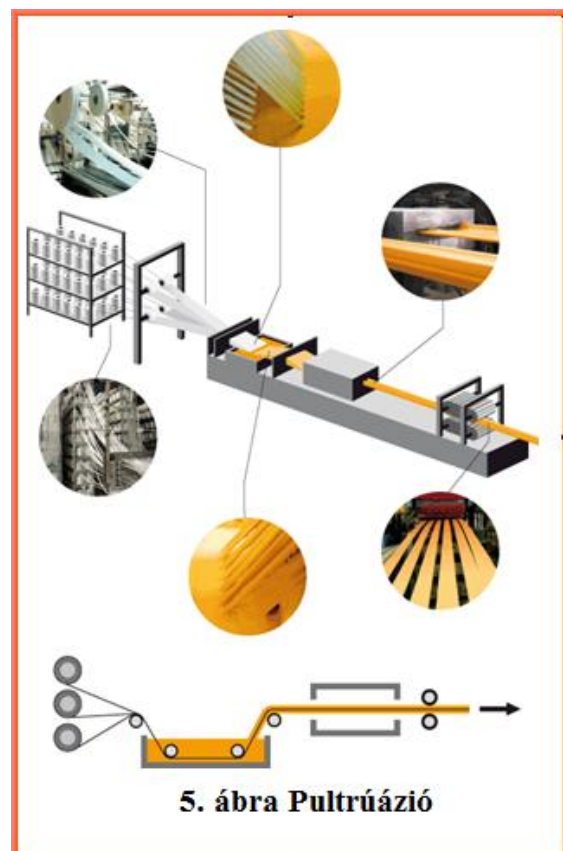
Az eljárás az extrúzióhoz hasonlít, folytonos technológia, amely hosszirányú, folytonos szállal történő erősítést tesz lehetővé. A térhálósítás befejeztéig jelentős húzásnak van kitéve a termék.

A szálkötegeket először gyantával itatják át (impregnálják), majd egy fűtött szerszámba vezetik - a szerszámforma a gyártandó profil alakjának megfelelő - és ott egyesítik őket. A térhálósítás (kikeményítés) itt megy végbe állandó hosszirányú feszítés mellett. A szerszám elhagyása után a profilokat megfelelő hosszúságra vágják.



A kompozit profilok a hosszirányú erősítésnek köszönhetően különösen nagy húzó- és hajlítószilárdsággal rendelkező terméket lehet előállítani. Hasonló elven kompozit lemezeket is gyártanak.

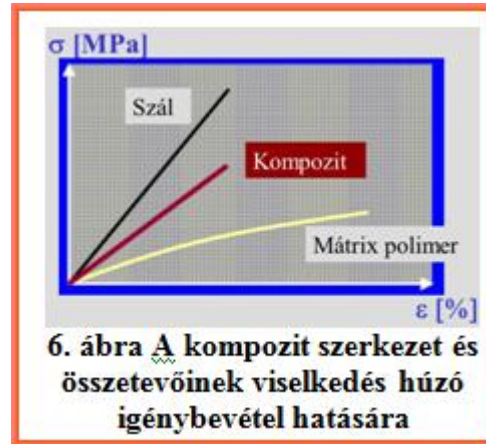
(<http://fibrolux.com/hu/>)



2.2 Kompozit tulajdonságok

A kompozit anyagok tulajdonságait számos tényező befolyásolja. Az ábrán az alkotók és társított szerkezet szakítógörbéi láthatóak. A tulajdonságokat alapvetően az alábbi jellemzők határozzák meg:

1. A mátrix mechanikai tulajdonságai,
2. Az erősítőanyag mechanikai tulajdonságai, geometriája,
3. Az erősítőanyag és a mátrix aránya,
4. Az erősítőszálak irányítottsága a mátrixban (orientáció),
5. A szál-mátrix határfelületen kialakuló kölcsönhatás (adhézió) és a határfelület nagysága,
6. A gyártási technológia.



Legnagyobb előnyük abban rejlik, hogy alkalmazásukkal olyan tulajdonságok is megvalósíthatók, amelyekkel az összetevő komponensek külön-külön nem rendelkeznek. A kompozit szerkezet kialakításának másik nagy előnye, és sok esetben célja, hogy a **terhelés kitüntetett irányában** erősítsük meg az adott szerkezetet a szálerősítéssel. Fenti paraméterek tudatos megválasztásával a kompozit anyagok mechanikai tulajdonságai tervezhetőek, az adott igénybevételhez szabhatóak, az erősítőszálak anyagának, geometriájának, struktúrájának függvényében, valamint a megfelelő gyártástechnológia alkalmazásával az izotróp viselkedéstől az anizotróp jellegig bármilyen anyag előállítható.

A kompozit anyagok tulajdonságai az igénybevételhez mérten tervezhetőek, a műszaki követelményeknek megfelelően **irányfüggő mechanikai tulajdonságokat** alakíthatunk ki

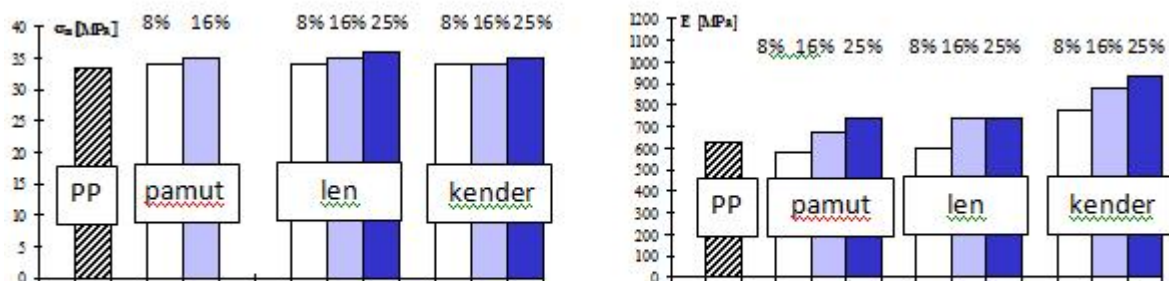
Rövidszálerősítéses kompozitoknál nagyszilárdságú és a lehető legnagyobb fajlagos felülettel rendelkező erősítőszálat alkalmaznak. Alkalmazásnak korlátot szab a szálhosszúság (vagy inkább szálrövidség), mely a terhelhetőséget alapvetően meghatározza. A szál és a polimer mátrix között, a határfelületen jó tapadást kell biztosítani, ugyanis a szál még alkalmas, legkisebb hossza, pontosabban az alaki tényező (l/d arány) ezzel a határfelületi tapadással hozható kapcsolatba.

Rövidszálerősítéses kompozitok alapvető mechanikai tulajdonságait a korábban felsorolt tényezők különböző mértékben befolyásolják.

Az erősítőszáalaknak általában nagyobb **Young modulusza** van, mint a tömegműanyagoknak, ezáltal nagyobb merevséget adnak a kompozitnak. A modulusz növekedése számos tényezőtől függ, pl. a száltartalomtól, az alaki tényezőtől (szál átmérő/hossz), szál orientációtól, a szál és a mátrix közötti kölcsönhatástól (nedvesítés), a szál és a mátrix moduluszának arányától, stb.

A száltartalom növelésével többnyire növekszik a modulus értéke is. Előfordul azonban, hogy egy bizonyos száltartalom felett már további szálbevitel már nem változtatja, vagy akár csökkenti az értékét (7. ábra).

Míg a szál jellemzői a modulus szempontjából meghatározóak, a **szakítószilárdság** sokkal érzékenyebb a mátrix anyag tulajdonságaira. Nagymértékben meghatározza továbbá a szálak irányítottsága a kompozit szerkezetben. Attól függően, hogy milyen szálát alkalmazunk erősítőanyagként, akár ellentétes hatások is megfigyelhetők (7. ábra).



7. ábra A száltartalom és az erősítőanyag hatása polipropilén kompozitok húzási tulajdonságaira

A **hajlítási tulajdonságokra** többnyire az a jellemző, hogy a száltartalom növekedésével javulnak.

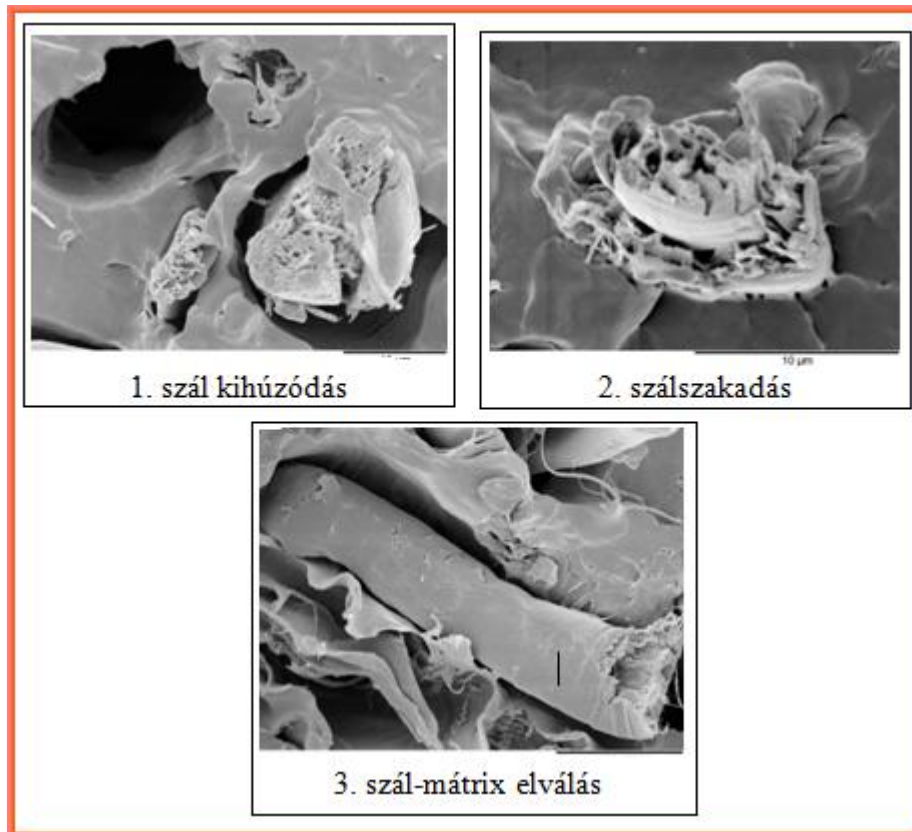
A **dinamikus** hatásokkal szembeni ellenállóképességet (ütőmunka) elsősorban a polimer mátrix anyag szívóssága, és energiaelnyelő képessége határozza meg, ezért az erősítőszál tartalom növekedésével az ütő-hajlító szilárdság többnyire csökken.

2.2.1 Kompozitok tönkremenetelének okai

Ahhoz, hogy a **szálerősítésben rejlő előnyöket** maradéktalanul kiaknázhassuk, nem elegendő csupán az erősítőanyag mennyiségét növelnünk, hanem, ahogy azt már többször hangsúlyoztuk, biztosítani kell az alkotók között a megfelelő **határfelületi tapadást**, az adhézió révén a jó együttműködést. A kompozit szerkezeteket terhelve a tönkremenetel különböző okokra vezethető vissza. Az egyes tönkremeneteli módokhoz különböző igénybevételi szint, teherviselő képesség társítható. Egy kompozit szerkezetben ezek mindegyike együttesen is előfordulhat.

Az alábbi képek lencszállal erősített polipropilén kompozitok szakadási felületéről készültek, és a különböző **tönkremeneteli módokat** szemléletesen illusztrálják.

A megfelelő kapcsolat, tapadás hiányában a **szálak** a húzó igénybevétel hatására **kihúzódhatnak** a polimer mátrixból (1), míg pl. megfelelő tapadásközvetítő anyag alkalmazásával, a jó adhézió eredményeként terhelés hatására a **szál szakad el** (2), ezáltal nagyobb teherbíró képességet kölcsönözve a kompozit szerkezetnek. A **mátrix** tönkremenetele történhet **rétegenkénti szétválással** (3), illetve a polimer alapanyag **törésével**.



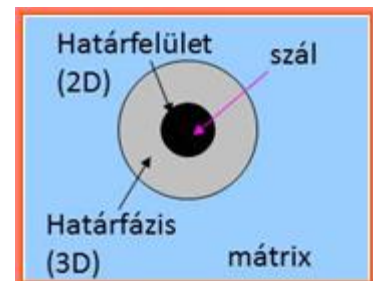
8. ábra Szálerősített kompozitok jellemző tönkremeneteli formái

2.3 Szál-mátrix határfelületi tapadás, nedvesítés

A szál és a polimer mátrix között egy 2D határfelület és egy 3D határfázis van jelen (2.9 ábra). Az anyagrendszertől függően a határfázis néhány μm -tól néhány ezer nm is lehet.

A szál és a mátrix közötti kapcsolat tehát alapvetően meghatározza a kompozit viselkedését.

9. ábra Határfelület és határfázis szálerősített kompozitokban



A **szál-mátrix kapcsolódás** létrejöhet mechanikai úton, kémiai kötéssel, illetve fizikai-kémiai kölcsönhatás révén:

- *mechanikai kapcsolódás*: a felületi morfológia révén (felületi érdesség, mikroporozitás)
- *kémiai kötés*: a szál funkciós csoportjai által (kovalens kötés, sav-bázis kölcsönhatás)
- *fizikai-kémiai kölcsönhatás* a szál és a mátrix között (diszperzív erők és dipólus kölcsönhatás)

A szál határfelülete a felületi repedések, pórusok miatt sokkal nagyobb lehet, mint a geometriából adódó érték. A **szál-mátrix határfelületi tapadás** mértékét a **szál és a mátrix szabad felületi energiája** együttesen határozza meg.

A **termodinamikai felületi energiát** számos tényező befolyásolja, a felületkezelésből adódóan egy kémiailag és szerkezetileg is eltérő réteg alakulhat ki a szál felületén, mint a tömbi anyagban.

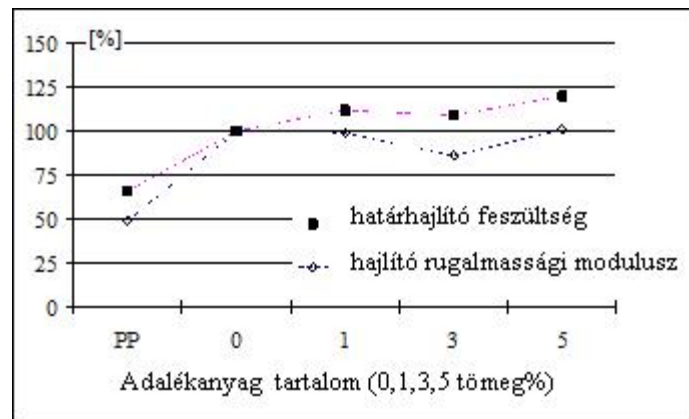
Hatékony kompozit szerkezet előállításának egyik **kulcsa**, hogy a szálat a mátrix megfelelően impregnálja, körbevonja, **nedvesíti**. A szál nedvesítése a mátrix által bármely kompozit szerkezet kialakításának előfeltétele. A **szál-mátrix adhézió** és a szál felületkémiája, a **szál felületi szabadenergiája**, a termodinamikai értelemben vett **nedvesítés** (szál a mátrix által) között **szoros kapcsolat** van.

A szál és a mátrix között a **fázishatáron** egyrészt hat az **kohéziós erő**, az anyag belsejében lévő molekulák között. Másrészt hat az **adhéziós erő**, amely a felületet körülvevő anyagok vonzásereje.

Ahhoz, hogy a megfelelő adhézió kialakuljon, a szál felületi energiájának nagyobbak kell lennie, mint a mátrixé.

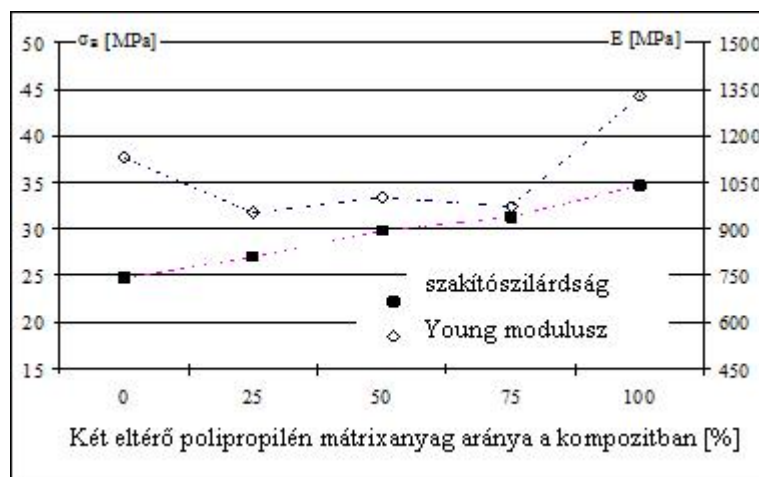
Ha az **adhézió termodinamikai munkája nagyobb, mint a polimer kohéziós munkája**, akkor a polimer és az erősítőanyag között **megfelelő kapcsolat** van.

A következő diagramokon határfelületi tapadást növelő adalékanyag alkalmazásának hatását figyelhetjük meg lencsával erősített polipropilén kompozitok tulajdonságaira viszonyítva az adalékanyag nélküli kompozit tulajdonságaihoz.



10. ábra Tapadásjavító adalék mennyiségének hatása lencsás PP kompozit hajlító tulajdonságaira az adalék nélküli kompozitokéhoz képest (100%)

A kompozit tulajdonságai, ahogy arról korábban szó volt, hibrid kompozitok létrehozásával is változtathatók. Ezt jól szemlélteti az alábbi diagram, amely két eltérő típusú polipropilént különböző arányban adagolva előállított lencsás kompozitok szakító tulajdonságait mutatja.



11. ábra Eltérő mátrixanyagok arányának hatása lencsázás PP hibrid kompozit hajlítótulajdonságaira

A tananyagban összefoglaltuk az alapvető kompozit gyártási-, feldolgozási technológiákat. Az anyagtervezés folyamatában számos tényező hatását kell figyelembe venni. A hatékony működés alapvető feltétele, hogy a szál- és a polimer mátrix között jó adhézió legyen. Minél erősebb a tapadás a komponensek között, annál kisebb az szálhosszúsággal, mellyel a kívánt igénybevételnek megfelelő kompozit anyag állítható elő.

Műanyag kompozitok alkalmazása

A szálerősített műanyag kompozitokat az ipar számos területén alkalmazzák. Jelen vannak járműiparban, a különböző tengeri alkalmazásokban, az építőipar területén, az orvostechikában, sportszergyártásban, az elektronikai iparban. Különlegesen előnyös tulajdonságaiknak és esetenként speciális jellemzőinek, valamint többnyire kedvező árúknak köszönhetően számos egyéb mérnöki alkalmazásban is ma már nélkülözhetetlenek.

A műanyag kompozitok egyik legjelentősebb alkalmazási területe a **szárazföldi közlekedés**. A nagy relatív (sűrűsége vonatkoztatott) merevségi és szilárdsági tulajdonságok mellett a fő előnyöket többek között a kisebb szerszámzási költségek, a korrózióállóság, az energiaelnyelő képesség, a komplex geometriai megvalósítások és az alacsony gyártási költségek jelentik.

Különböző karosszériaelemeket gyártanak ma már szénszálás polimer kompozitokból, de jelentős tömegcsökkenést lehet elérni üvegszálás vinilészter gyanta laminátumból felépített busz karosszériájánál. Mindeközben ugyanakkor nagy relatív szilárdságot, és a korrózióállóságot biztosíthatunk.



12. ábra. Üvegszálás polimer kompozit busz karosszéria

A műanyag kompozitok alkalmazása a **légi közlekedésben** is exponenciálisan növekszik. Szénszálás epoxi kompozitokból gyártják például harci repülőgépek és helikopterek különböző szerkezeti elemeit (ajtó, váz, rotor lapát), más részek alapanyaga pedig üvegszálás kompozit (burkolat, vagy kisebb szállító repülőgépekben törzs, szárny anyagként).

A Boeing 767-es oldalkormányja szén/epoxi kompozitból, a futómű ajtók pedig kevlár-szén/epoxi hibrid kompozitból készültek. Míg a korábbi modellekben csak az össztömeg 12%-a volt kompozit anyag, a Boeing 787 Dreamliner tömegének már kb. 50%-a, az össztérfogat 80%-a szálerősített műanyag kompozit. A legjobb mechanikai szilárdságot azonban a szénszálás epoxi társítások adják.



13 ábra Boeing 787 Dreamliner

Egyik legizgalmasabb, és bennünket talán a legérzékenyebben érintő területet az **orvostechikai alkalmazások** képviselik. Csonttörések esetén külső és belső rögzítő elemek, implantátumok, fogászati és szájszészeti alkalmazásokban is találkozhatunk ezekkel a társított anyagokkal.

Fém csípőizület protézisek alkalmazása hosszútávon csonttrikuláshoz vezethet a csont és a protézis közötti kiegyenlítetlen terheléseloszlás miatt. Szénszálas kompozitok (karbonszálas poliszulfon, illetve PEEK) alkalmazásával azonban ez a káros mellékhatás kiküszöbölhető, mivel a műanyag kompozit merevsége sokkal közelebb áll az emberi csontéhoz, és ezáltal a teherviselés, tehereloszlás a csont és a protézis között egyenletesebb. A fogászati kompozitok közül példaként lehet említeni az üvegszállal erősített PMMA-t, vagy a szénszálas, illetve aramid szálas (kevlar) PMMA kompozitokat, melyekből hidakat készítenek.

A mérnöki gyakorlatban megtaláljuk ezeket az anyagokat például a prototípus gyártásban vagy kis szériás termelési folyamatoknál **sajtoló szerszámok anyagaként**. Az üvegszál erősített gyantarendszerekkel (pl. epoxi) növelt kopásállóság, jó mechanikai szilárdság és az önkenés is megvalósítható.

A tipikus **tribológiai** (súrlódó felület) **alkalmazások** között is említhetünk számos példát: önkenő csapágyak, mechanikus tömítőelemek, csapágyersely, szállítószalag, fogaskerék. Ezeknél az alkalmazásoknál a mátrix polimerek elsősorban a PEEK, PA, PPS POM, PTFE. Erősítőanyagként ezekben a kompozit rendszerekben szénszálat alkalmaznak, vagy különféle mikronos méretű fém (bronz), illetve kerámia részecskéket (Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 , SiC) kevernek a polimer mátrixba.

Egy autó fékbrót anyaga hozzávetőleg 10 komponensből áll, fém, kerámia és műanyag szerkezeti anyagok különböző formában történő kombinációja. Az összetevők között szerepel erősítőanyag (üvegszál, szervesetlen szálak, szénszál, fémszál), súrlódáscsökkentő anyagok (MoS_2 , grafit, Sb_2S_3 , $ZrSiO_4$, Al_2O_3), töltőanyagok ($BaSO_4$, aramid őrlemény, fémpor) és különböző adalékanyagok (pl. mika, vermikulit). Befoglaló mátrixként fenol gyantákat használnak, de gumival, vagy hőre lágyuló polimerekkel is számos alkalmazásban találkozhatunk.

A francia Du Pont cég számos önkenő kompozit anyagot fejlesztett ki fogaskerek gyártásához, melyeknél a mátrix anyaga pl. poliamid, poliészter, amelyet ásványi anyagokkal, üvegszállal, és aramid szálakkal erősítenek, a súrlódást pedig PTFE vagy szilikon hozzáadásával csökkentik.

Az alkalmazási lehetőségeket gyakorlatilag vég nélkül lehetne sorolni. Az egyes alkalmazási területekről kiragadott néhány példa is jól érzékelteti, hogy a nagyszámú kombinációs lehetőség révén a mechanikai, elektromos, hőtani és egyéb speciális tulajdonságok tág határok között változtathatók. Ennek köszönhetően kompozit szerkezetekkel az igénybevételre szabottan, és a különböző speciális elvárásoknak megfelelő szerkezeti anyagot állíthatunk elő.

Szakirodalom

Czvikovszky Tibor-Gaál János-Nagy Péter: A polimertechnika alapjai 2000, ISBN: 9789634206217

Czigány Tibor: Hibrid szálerősítésű polimer kompozitok, Anyagvizsgálók lapja 2004/2 59-62

Czvikovszky Tibor-Nagy Péter: Polimerek az orvostechikában, Budapest, Műegyetemi Kiadó, 2003

Rácz Ilona, Hargitai Hajnalka: Természetes szálakkal erősített termoplasztikus polimerek I. Irodalmi áttekintés, *Műanyag és Gumi* 37/6 (2000) 201-206

Önellenőrző kérdések:

1. Hőre lágyuló polimer kompozit alapanyag gyártása. Válassza ki a helytelen állítást!
 - a. Többnyire ömledékkeveréssel valósul meg.
 - b. Fröccsöntéssel, ömledék állapotban történik (x).
 - c. Kétszigás extruderben, ömledék állapotban történik, az előtermék granulátum.
 - d. A szálak homogén elkeveredését az ömledék polimerben a nagy nyíró-/keverőhatás biztosítja.
2. A hőre nem lágyuló kompozitok. Válassza ki a helytelen állítást!
 - a. Előnye a réteges felépítésben rejlik.
 - b. Mátrix anyagául általában epoxi, vinilészter és poliészter gyantákat alkalmaznak
 - c. Legfontosabb gyártási technológiáinak egyike a vákuumformázás (x).
 - d. Elterjedten alkalmazzák ezeket a kompozitokat az autóiparban, a repülőgépgyártásban, a hajógyártásban és az építészetben.
3. Kézi laminálás. Válassza ki a helytelen állítást!
 - a. Kézi technológia, elsősorban prototípus és kis sorozat gyártására alkalmazzák.
 - b. A berendezés, szerszám és alapanyag olcsó, viszont a munkaerő drága
 - c. Hátránya, hogy csak gyenge vagy közepes mechanikai tulajdonságok alakíthatók ki.
 - d. Hátránya, hogy a megvalósítható geometria erősen korlátozott (x).
4. **Hőre nem lágyuló polimer kompozitok gyártása. Válassza ki a helytelen állítást!**
 - a. A kézi laminálás kis sorozat gyártására alkalmazzák
 - b. A szórás közepes szériájú gyártást tesz lehetővé.
 - c. Vákuum injektálás során először az erősítőrétegeket a szerszámba helyezik.
 - d. Vákuum injektálás második lépésében feltöltik a szerszámot folyékony gyantával, és a szerszámfeleket nagy nyomással magas hőmérsékleten összenyomják(x).
5. A hőre nem lágyuló anyagok sajtolása. Válassza ki a helytelen állítást!
 - a. Kétrészes fűtött szerszámban végzett nyomásos eljárás.
 - b. Alapanyként az extrúzióval előállított lemezt, vagy granulátumot használja (x).
 - c. A BMC, SMC technológiát sorozatgyártásnál alkalmazzák.
 - d. Az SMC lemezformájú kompozit előgyártmány („prepreg”) tekercs alakban tárolva.
6. Pultrúzió. Válassza ki a helytelen állítást!
 - a. Az eljárás az extrúzióhoz hasonlít, folytonos technológia, amely hosszirányú, folytonos szállal történő erősítést tesz lehetővé.
 - b. A szálkötegeket először gyantával itatják át.
 - c. A térhálósítás befejeztéig jelentős húzásnak van kitéve a termék.
 - d. A térhálósítást követően az anyagot egy fűtött szerszámba vezetik, ahol a megfelelő formára alakítják (x).
7. Válassza ki a hamis állítást!
 - a. A kompozit anyagok tulajdonságai az igénybevételhez mérten tervezhetőek,
 - b. Kompozitokban a műszaki követelményeknek megfelelően irányfüggő mechanikai tulajdonságokat alakíthatunk ki.

- c. Rövidszálerősítéses kompozitoknál nagyszilárdságú és a lehető legnagyobb fajlagos felülettel rendelkező erősítőszálat alkalmaznak.
 - d. A kompozit anyagok tulajdonságait csak az összetevők tulajdonságai határozzák meg (x).
8. Válassza ki a hamis állítást!
- a. A szál és a polimer mátrix között, a határfelületen jó tapadást kell biztosítani.
 - b. A szálak irányítottsága a szakítószilárdságot nem befolyásolja kompozit szerkezetekben (x).
 - c. A hajlítási tulajdonságok a száltartalom növekedésével többnyire javulnak.
 - d. A szál még alkalmas, legkisebb hossza, pontosabban az alaki tényező (l/d arány) a határfelületi tapadással szoros kapcsolatban áll.
9. Mely tönkremeneteli mód jellemzi a komponensek közötti jó adhéziót?
- a. A szálak a húzó igénybevétel hatására kihúzódhatnak a polimer mátrixból
 - b. Terhelés hatására a szál szakad el (x).
 - c. A mátrix tönkremenetele rétegenkénti szétválással.
 - d. A polimer alapanyag törése.
10. Válassza ki a helytelen állítást!
- a. Ha az adhézió termodinamikai munkája nagyobb, mint a műanyag kohéziós munkája, akkor a polimer és az erősítőanyag között megfelelő kapcsolat van.
 - b. Az adhéziós erő az anyag belsejében lévő molekulák között hat (x).
 - c. A szál-mátrix kapcsolódás létrejöhet mechanikai úton.
 - d. A szál határfelülete a felületi repedések, pórusok miatt sokkal nagyobb lehet, mint a geometriából adódó érték.