

3. Modul: Szálerősített műanyag-kompozitok

A modul megismerteti a hallgatókkal a műanyag kompozit rendszerek hatékony működésének legfontosabb követelményeivel, a társításban alkalmazott tipikus mátrix és erősítő anyagokkal, valamint a kompozit rendszerek előállításának és feldolgozásának egyes alapvető technológiáival.

3. modul 1 lecke: Kompozit definíció, jellemző mátrix anyagok és tipikus erősítőszálak

A lecke célja, hogy bemutassa a mérnöki gyakorlatban legáltalánosabban alkalmazott hőre lágyuló és hőre nem lágyuló szálerősített műanyag kompozitokat. Az óra keretében a hallgatók megismerik a tipikus mátrix anyagokat, és a társított szálak anyagokat, amelyekkel a műanyagok teherviselő képessége jelentősen megnövelhető. A tananyag konkrét alkalmazási példákkal is illusztrálja a kompozitok alkalmazásának lehetőségeit, bemutatva a legnagyobb felhasználási területeket.

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

- meghatározni a kompozit anyag fogalmát, és a hibridkompozit definícióját;
- felsorolni a hőre lágyuló és a hőre nem lágyuló műanyagok legfontosabb jellemzői;
- bemutatni a szálerősítéses műanyagok tipikus erősítőanyagaik jellemzőit;
- meghatározni a szálerősítés előnyeit (mérethatás, fajlagos felület növekedése);
- a rövidszálak erősítés hatékonyságára vonatkozó kritérium bemutatására, a Kelly-Tyson összefüggés értelmezésére.

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

Kulcsfogalmak:

- kompozit szerkezet
- hibrid kompozit
- mérethatás
- fajlagos felület
- kritikus szálhossz

Tartalom:

Bevezetés

A „**kompozit szerkezet**” kifejezés, bár manapság elsősorban a mesterségesen előállított anyagok jutnak eszünkbe, tulajdonképpen a természet kreatív találmánya. Gondolhatunk itt a fára, mint természetes kompozit anyagra, ahol a kemény ligninbe ágyazva található az erős és rugalmas cellulóz szálak, vagy jól példázza ezt a struktúrát maga a csont, mely az erős, lágy kollagén és a kemény, törékeny apatit társítása.

A szálerősítéses műanyagokat (kompozit) széleskörűen alkalmazzák az ipar számos területén. Az 1960-as években a legnagyobb felhasználója még a tengerészet volt, mivel a műanyag kompozitok nemcsak kiváló mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek, de nem mágnesezhetőek, azaz láthatatlanok a radarok számára, mindemellett a kíméletlen tengeri

környezettel szemben is ellenállóak. Fokozatosan a járműgyártásban is megjelentek, és oly mértékben megnövekedett az alkalmazások száma, hogy ma már ez az iparág a szálerősített műanyagok legnagyobb felhasználója.

Napjainkban ugyancsak nagy volumenben alkalmazzák ezeket az anyagokat a repülőgépiparban, a sporteszközök gyártásánál, a közlekedésben és újabban egyre fokozottabb mértékben az építőiparban is. Széleskörű felhasználásuk és nagyfokú elterjedésük elsősorban kedvező tulajdonságaiknak köszönhetőek: nagy fajlagos szilárdság (kis súly), jó fáradási tulajdonságok, ellenállnak a környezeti hatásoknak, ami kompenzálja a magas anyagárakat.

1. Kompozit /hibrid kompozit rendszer – definíciók

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

Kompozitoknak nevezzük azokat az anyagtársításokat, többkomponensű (**összetett**) anyagokat, melyek legalább egy befoglaló anyagból és egy erősítőanyagból állnak. A kompozitok továbbá **többfázisú** anyagok, azaz az alkotóik fázishatárokkal elválasztva, egymástól élesen elkülönülnek. A **befoglaló anyag** szilárdsága általában kisebb, míg az **erősítőanyag** többnyire nagyobb szilárdsággal és/vagy rugalmassági modulusszal rendelkezik. A kompozit szerkezetekben tehát a teherviselő komponens az erősítőanyag, a befoglaló mátrix feladata pedig, hogy védje az erősítő anyagot, és közvetítse, illetve eloszlassa a terhelést a szálak között. Jól működő (hatékony) kompozit szerkezet létrehozásának alapvető kritériuma, hogy a **komponensek** között (azok **határfelületén**) a **tapadás** kellően **erős** legyen.

A komponensek közötti jó tapadás biztosítható az erősítőanyagok előzetes felületkezelésével, vagy megfelelő tapadásközvetítő anyagok (adalékok) hozzáadásával.

A műanyagok **erősítésére** többnyire különböző **szálakat**, illetve **szál-struktúrákat** alkalmaznak. A legáltalánosabban alkalmazott erősítőszálak az üvegszál, szénszál, aramid szál (pl. Kevlár), illetve az ultra nagy molekulatömegű polietilén szál (pl. Dyneema).



1. ábra. Hagományos műanyag kompozitok alkalmazások

a)-d) szénszál erősítésű polimer kompozitok, e) szénszál, kevlár, illetve üvegszálak műanyag alkatrészeket is tartalmaz, f) kevlár erősítésű kompozit g) súrlódó alkatrészek Kevlar erősítésű műanyag kompozitból, h)-j) üvegszálak kompozitok

Az un. hagyományos erősítőszálak mellett ma már elterjedten alkalmaznak különböző **növényi szálakat** (pl. len, kender, juta) és **ásványi eredetű** erősítőanyagokat, mint a bazaltszál műanyagok erősítésére (2. ábra).



2. ábra. Növényi szálakkal (lenszállal) erősített műanyag kompozit termékek

Ha a kompozit alkotói, a befoglaló mátrix vagy az erősítőanyag összetett, több alkotóból áll, akkor **hibrid kompozit**ról beszélünk (3. ábra). Polimer mátrixú hibrid kompozitoknál például különböző mátrixok, polimer anyagok keverékében (blendek) van egyféle erősítőanyag, vagy egy adott mátrixban erősítő- és töltőanyag is van. Akkor is hibrid kompozitokról beszélünk, ha egyféle mátrixban többféle töltőanyag, illetve erősítőanyag van.



3. ábra. Hibrid műanyag kompozit termékek

a)-b) Karbon/Kevlar szövet és kompozit (polikarbonát), c) kompozit ütő: 20% Kevlar-40%-karbon-40% üvegszál, d) Karbon/kevlar/méhsejtszerkezet, e) Aramid/Bazalt szálak kompozit

A **hibrid kompozitok** előállítását a különböző típusú erősítőanyagok együttes alkalmazásával járó műszaki és gazdasági előnyök iniciálták. Többnyire üveg/szén vagy aramid/szén szálkeverékeket alkalmaznak.

Szénszálak kompozitok ütésállósága növekszik üvegszál hozzáadásával, az ára pedig ezáltal nagymértékben csökken, míg az üvegszálak kompozitok hajlítási rugalmassági modulusa jelentős mértékben növekszik szénszál hozzáadásával.

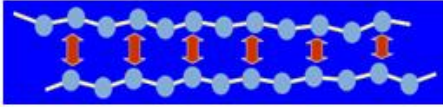
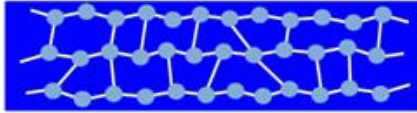
Aramid/szén (karbon) hibrid szálak erősítésű kompozitok alkalmazásával például kiváló kopási, súrlódási tulajdonságok érhetők el epoxi, PEEK és PA mátrixú kompozitokban acélfelületű súrlódó párral érintkezve.

Az aramid/bazalt szálak kompozit nagyfokú merevséggel rendelkezik és jó nedvesség elnyelő, és ezáltal a szerkezet stabilitását és egységét (integritását) széles hőmérséklet tartományban megtartja.

Definíció: A **kompozitok** két vagy több összetevőből álló **társított anyagok**, ahol az alkotók között jó az együttműködés (**erős határfelületi tapadás / jó adhézió**), és ez az igénybevétel magas szintjén is tartósan fennmarad.

1.2 Műanyag kompozitok mátrix anyagai

A műanyag kompozitok mátrixanyagaként hőre lágyuló műanyagokat (gyártás 85-90%-a), és hőre nem lágyuló (hőre keményedő) polimereket egyaránt alkalmaznak (1. táblázat).

<p>Hőre lágyuló műanyagok</p> <p><u>Kristályos:</u> LDPE, HDPE, PP, PA, PET</p> <p><u>Amorf:</u> PVC, PS, SAN, ABS, PMMA, PC</p>	
<p>Hőre nem lágyuló (térhálós) polimerek</p> <p><u>Ritka térhálós elasztomerek:</u> TPE, PUR</p> <p><u>Sűrű térhálós duromerek:</u> PF, UF, MF, UP, EP</p>	

1. táblázat Műanyag kompozitok mátrix anyagai

A hőre lágyuló műanyagokat / kompozitokat, ahogy azt a neve is jelzi, képlékeny alakítással dolgozzák fel magas hőmérsékleten. Nagy mennyiségben és széles körben alkalmazzák kompozit alapanyagként többek között a polipropilént és a poliamidot.

- A polipropilén (PP) egyike a legnagyobb mennyiségben felhasznált műanyagoknak, kompozitjaiból például gépkocsi alkatrészeket (ütköző, műszerfal, ventilátorlapát, stb.) gyártanak. Farosttal erősített polipropilénből járművek belső ajtóburkoló paneljét is gyártják, valamint a csomagolótechnikában alkalmazzák, míg üvegszálás PP-t különböző gépipari alkatrészek alapanyagaként használják.
- A poliamidot kitűnő műszaki tulajdonságok jellemzik, nagy szilárdság, ütésállóság, jó kopásállóság, előnyös sűrűlási tulajdonságok, magas hőállóság, önkioltó képesség (lángállóság). A nagy nedvszívó képessége miatt feldolgozás előtt több órán át szárítani kell. Hátrányai közé tartozik továbbá, hogy nem saválló. Az üvegszálás poliamidot (PA66-30GF) jó vegyszerállóság (kőolaj, benzin) jellemzi.

A hőre nem lágyuló mátrixú anyagok esetében a térhálós szerkezetet szerszámban, visszafordíthatatlan kémiai reakcióval alakítják ki (reaktív technológia). Ez utóbbi kompozitokkal high-tech alkalmazások, azaz nagyobb teherbírású szerkezetek is előállíthatók. A nagyszilárdságú polimer kompozitok legjobb befoglaló mátrix anyagai a telítetlen poliészter (UP) és az epoxi gyanta (EP). Ezek az anyagok szobahőmérsékleten folyékony halmazállapotúak és kisebb viszkozitásuk révén jobban impregnálják erősítőszálakat. A hőre nem lágyuló polimer kompozitok tulajdonságait elsősorban az erősítőszál tulajdonságai határozzák meg.

- A poliészter gyanta mézsűrűségű, folyékony állagú, a keverék-oldat (35 % sztirolban oldott poliészter oligomer) szobahőmérsékleten térhálósodik. A gélesedés magától beindul, a végtermék térhálós, hőre nem lágyuló nagyszilárdságú műszaki, szerkezeti anyag, mely polimerizációs láncreakcióban keletkezik, iniciátorral gyorsított reakcióban és legtöbbször üvegszállal,- szövettel,- paplannal erősített kompozit (pl. autóipar, vízijármű gyártás).
- Az epoxigyanta a legkiválóbb tulajdonságokkal rendelkező gyantatípus, kiváló tapadóképesége miatt ragasztóként is hasznosítható. Ellenálló a környezeti hatásokkal szemben, jó mechanikai tulajdonságai, és kicsi zsugorodása miatt alkalmazása a számítástechnikától az űrtechnikáig sokrétű (pl. repülőgépgyártás, elektrotechnika).

A két fenti gyantatípuson kívül alkalmaznak még vinilészter gyantákat, furán gyantákat és akrilgyantákat különböző speciális tulajdonságok elérése érdekében, például a vegyszerállóság, hőállóság, vagy a kémiai ellenállóképesség növelésére.

1.3. Erősítő anyagok

Az **erősítőszál**ként szerves és szervetlen anyagokat egyaránt használnak. Ez utóbbi kategóriába tartozik az **üvegszál**, **szénszál** és a fémszálak, míg a szerves szálak közé soroljuk pl. a természetes alapú **növényi szálakat** és a szintetikus **aramid** és **polietilén** szálakat.

Az erősítőstruktúrák különböző kiszerezési formában kerülnek kereskedelmi forgalomba:

- Roving (köteg) vagy szalag (1D)
- Szótt vagy nem-szótt és kötött textíliák (2D) (vágott üvegszál paplan, üvegszövet)
- Vastag tűzótt kelmék (3D)

Az általánosan alkalmazott erősítőszálak sűrűség értékeit, valamint a Young modulusz és szakítószilárdsági jellemzőket a 2. táblázat foglalja össze.

	Sűrűség [g/cm ³]	Rugalmassági modulus [GPa]	Szakító- szilárdság [GPa]	
E-üvegszál	2,5	73	3,5	
Aramid	1,45	130	2,7	
Szénszál	1,8	544	2,6	
Polietilén	0,97	73-120	2,3-3,6	
Szén	2,2	230	3,5	
Eutektooidos acélhuzal	7,8	240	4,0	

2. táblázat Polimer kompozitok jellemző erősítőszálainak tulajdonságai

A szálerősítés alkalmazását több hatás is indokolja (mérethatás, fajlagos felület növelése, hajlékonyság).

- Ha a kompozitban lévő **szálak átmérőjét minimalizáljuk**, akkor a hibahelyek előfordulásának esélye, ezáltal a kompozit tönkremenetelének esélye is lecsökken. Az erősítő hatás tehát annál nagyobb, minél kisebb a szálméret (*mérethatás*). A szálak szilárdsága ebből adódóan a 10μm alatti tartományban exponenciálisan növekszik, ezzel számottevően növelve az erősítés hatékonyságát.
- A kompozit tulajdonságait döntő mértékben meghatározza a fázisok érintkező felületének a nagysága, azaz az erősítő anyag fajlagos felülete. Ha definiálunk egy R sugarú és L hosszúságú szálat (henger) V térfogattal és A felülettel, akkor a **fajlagos felület** az alábbi képlettel számítható ki:

$$A/V = (2R^2\pi + 2R\pi L) / r^2\pi L = 2/L + 2/R$$

Fenti egyenletből következik, hogy a fajlagos felület két esetben lesz a legnagyobb, ha:

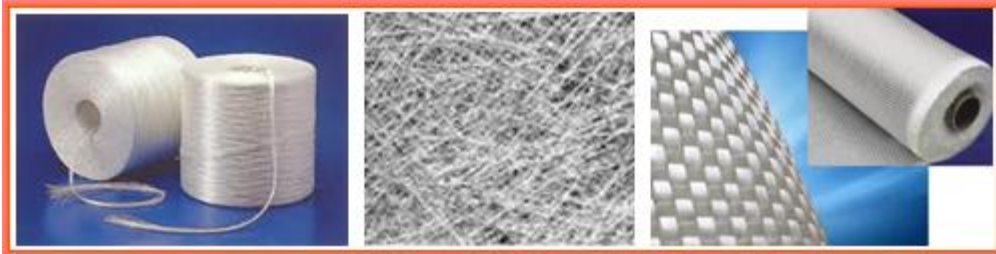
- $l \gg r$, azaz az erősítőanyag a lehető legkisebb átmérőjű hosszú szál, vagy
- $r \gg l$, azaz az erősítőanyag vékony lapos korong (pl. lemezes csillám)

A kompozitok erősítőanyagai tehát szál, vagy korong alakúak.

- A harmadik érv, amely a szálerősítés mellett szól, a szálak hajlékonyságának növekedése az átmérő csökkenésével.

1.3.1 Üvegszál

Az üvegszál a legelterjedtebben alkalmazott erősítőanyag, egyfajta szilikát, melyet 55-65% SiO₂ és egyéb fénoxidok alkotnak. Egy kötegben (roving) kb. 1000 db, ~10µm átmérőjű elemi szál van. Forgalmazzák még paplan, és szövet formában is (4. ábra).

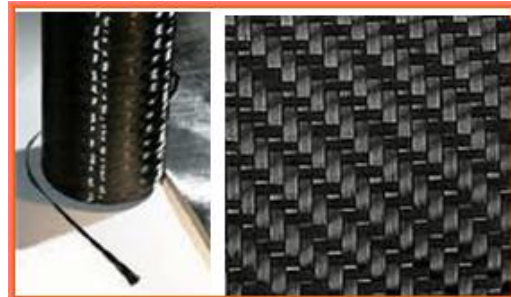


4. ábra Üvegszálak jellemző kiserelési formái: roving, paplan, szövet

A szálakat felületkezelik, írezik, mely védelmet nyújt a törékeny szálaknak a feldolgozás során, és egyben tapadásfokozó anyagként is működik a szál-mátrix határfelületen. A legolcsóbb erősítőanyagok közé tartozik, gyakorlatilag korlátlan mennyiségben rendelkezésre áll, UV stabil, vegyszerálló és elektromosan szigetel. A hátrányai között kell említeni a feldolgozó gépekkel szembeni erős koptató hatást, a viszonylag nagy sűrűséget, törékenységet és az alacsony rugalmassági modulusz értéket.

1.3.2 Szénszál

A szénszálban a grafitos szerkezetet hasznosítjuk, ezáltal rendkívül nagy szilárdság és nagy modulusz jellemzi kis sűrűség mellett. A karboniszál gyártásakor az un. prekursor előtermékből kiindulva, azt először karbonizálják, majd grafitosítják. A mechanikai tulajdonságokat a hőmérséklettel és az idővel szabályozzák.



5. ábra Roving és szénszövet

A prekursor lehet poliakrilnitril (PAN) szál, kátrányalapú szál, illetve regenerált cellulóz szál. Magyarországon 1997 óta PAN-szál alapú grafitiszálgyártás folyik. Az eljárás lépései az alábbiak:

1. **stabilizálás:** enyhe oxidáció max. 250 °C-ig, amelyben a szál elszenesedik, de nem olvad meg,
2. **karbonizáció:** 250–1500 °C-ig történő szenesítés, amelyben a szál 90 %-ban szénké alakul, nitrogén atmoszférában,
3. **grafitosítás:** 1500–2500 °C-on, szigorúan oxigénmentes atmoszférában, feszített állapotban kialakul a gyakorlatilag tiszta szénből álló grafitos szerkezet.

A grafitiszál tömeges alkalmazását kiváló mechanikai tulajdonságainak ellenére a magas ára korlátozza.

1.3.3 Aramidszál

Az aramidszálak aromás poliamidok, melyeknek a nagyfokú orientáció révén jó szilárdsági tulajdonságaik vannak, és rendkívüli hőállósággal rendelkeznek (pl. KEVLAR, TWARON, TECHNORA). Az aramidszállal erősített kompozitok rendkívül szívósak és jó ütésállósággal rendelkeznek, valamint az ütéssel és nyírással szembeni ellenállóképességük is jó, ezért pl. golyóálló mellényt, védősisakot készítenek belőlük. Lángállóságukat hőálló kesztyűk gyártásában, illetve tűzálló védőruházat előállításánál használják ki. A KEVLAR szálak kitűnő szilárdsága igen jól hasznosul a gumikompozitokban pl. a radiál-gumiabroncsokban. Az aramidszálakat karbonszálakkal kombinálva gyakran alkalmazzák *hibrid* erősítőrendszerben.

1.3.4 Polietilénszál (UHMWPE)

Az ultra nagy molekulatömegű (Ultra High Molecula Weight) polietilén szálakat gélfázisú szálképzéssel gyártják, melynek során nagymértékű orientációt valósítanak meg. Ezek a szálak (pl. Spectra, Dyneema) igen nagy szilárdságú, könnyű anyagok, de a hőállóságuk korlátozott (140 °C) és más műanyagokkal nem igazán összeférhetőek (inkompatibilis).

Használják implantátumok anyagaként és nagy energiaelnyelő képessége miatt ballisztikai alkalmazásokban is megtalálhatjuk.

1.3.5 Növényi szálak (len, kender, juta)

A cellulózban gazdag szálak és rostok, pl. len, kender, juta, alkalmazása a műanyag kompozitok területén egyre növekszik. Ez a természetes anyagok használatával együtt járó környezeti (megújuló nyersanyagforrás) és gazdasági előnyöknek, és kedvező tulajdonságaiknak, a nagy fajlagos szilárdsági jellemzőiknek, és a kis sűrűségüknek köszönhető.

A cellulózsálak egyik hátrányos tulajdonsága a nagy nedvességfelvétel-képességük és gyenge méretstabilitásuk. Ezek az anyagok 200°C felett erősen degradálódnak, ezért a kompozit előállítás, feldolgozási hőmérséklete korlátozott. Ez természetesen behatárolja a mátrixanyagként alkalmazható hőre lágyuló műanyagok körét. Többnyire polipropilén mátrixú kompozitokat gyártanak növényi szálerősítéssel.

A **cellulóz alapú szálak hidrofil** jellegűek, azaz szeretik a vizet, így nagyfokú nedvességfelvételre képesek, de ez a tulajdonság gondot okoz a kompozitoknál, ahol a többnyire **hidrofób**, azaz víztaszító **polimerrel** kialakított társításban a szál-mátrix határfelületen kialakuló **kölcsönhatások gyengék**.

A komponensek közötti megfelelő tapadás érdekében a szál-mátrix **határfelületet módosítani** kell.

1.3.6 Rövidszálú kompozitok – kritikus szálhossz

A szálhosszúságtól függően megkülönböztetünk rövidszálú, illetve hosszúszalú kompozitokat. Ezek definiálására az ún. **alaki tényezőt**, az l/d viszonyszámot használjuk, mely a szál hosszának és átmérőjének a hányadosa. Ha ez a tényező nagyobb, mint 50, abban az esetben hosszúszalú kompozitokról beszélünk.

Rövidszál erősítéses kompozitoknál az alkalmazott erősítőszál nagyszilárdságú és lehetőleg nagy fajlagos felületű kell, hogy legyen. 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.

Fentiek értelmében meghatározható a **kritikus szálhossz**

- amelynél *rövidebb* szál húzóigénybevétel alkalmával a mátrixból *kihúzódik*,
- és amelynél *hosszabb* szál a jó beágyazottság, a jó tapadás következtében *maga szakad* el a tönkremenetel pillanatában.

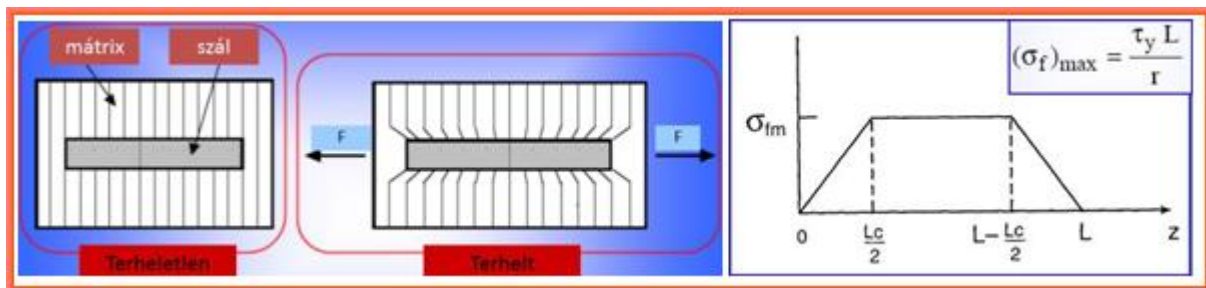
Az összetett feszültségállapot jellemzésére különböző modelleket alkottak, a kritikus szálhosszúság (L_c) és a szálátmérő (D) viszonyát az ún. „Kelly-Tyson” (1965) összefüggés írja le:

$$\frac{L_c}{D} = \frac{\sigma_f}{2\tau}$$

ahol:

τ a nyíróerő okozta feszültség a határfelületen,

σ_f pedig a szál szakítószilárdsága.



6. ábra Húzó igénybevétellel terhelt rövidszálas kompozit (bal), a szál-mátrix határfelületen ébredő feszültség (σ_{fm}) és a kritikus szálhossz (L_c) kapcsolata (jobb)

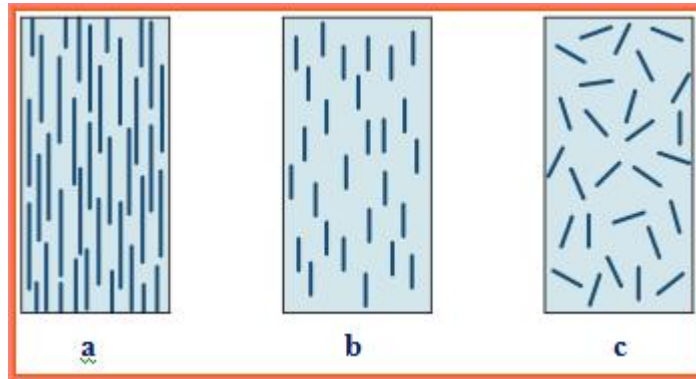
Húzó igénybevétel hatására a feszültség a szálban a z koordinátával lineárisan nő egy L_c kritikus határ-hosszúságig (6. ábra).

A kritikus szálhosszúság változása a határfelületi nyírófeszültség függvényében jól nyomon követhető az alábbi táblázatban (* $D=7 \mu\text{m}$ tipikus szálátmérő esetén)

τ [MPa]	5	25	50	100	250
L_c/D	175	35	18	9	4
L_c^* [mm]	1,2	0,25	0,13	0,07	0,03

3. táblázat A határfelületi nyírófeszültség hatása a kritikus szálhossz értékére

Ha az adhézió javul, azaz a határfelületi nyírófeszültség (τ) nő, az alaki tényező csökken, azaz jobb határfelületi tapadás esetén kisebb szálhosszúsággal is ugyanaz az erősítő hatás érhető el. A szálerősítéssel kompozitokban a szálelrendeződés különböző formákban valósulhat meg, ezt a 7. ábra mutatja be.



7. ábra Lehetséges szálelrendeződési formák kompozitokban
a) folytonos szálerősítés, b) nem folytonos irányított szálerősítés, c) nem folytonos, véletlenszerű elrendeződés

Rövidszálas, illetve hosszúszálas kompozitok definiálására az ún. **alaki tényezőt, az l/d** viszonyszámot használjuk.

A **kritikus szálhossznál** *hosszabb* szál a jó beágyazottság, a jó tapadás következtében *maga szakad* el a tönkremenetel pillanatában. A kritikus szálhosszúság (L_c) és a szálátmérő (D) viszonyát az ún. „Kelly-Tyson” összefüggés írja le.

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. Jelölje meg a polimer kompozit anyag definícióját!
 - a. A polimer kompozitok összetett anyagok, egy mátrixból és egyfajta erősítőanyagból állnak.
 - b. Többfázisú, összetett anyagok, fázishatárokkal élesen elválasztva, a fázishatárokon jó adhézióval rendelkeznek (x).
 - c. Többfázisú, összetett anyagok, fázishatárokkal élesen elválasztva, mely csak akkor valósulhat meg, hogy a határfelületen az alkotók nem tapadnak össze.
 - d. Összetett anyagok, ahol a jó tapadás következtében az alkotókból egy új fázis keletkezik.

2. Mit nevezünk hibrid kompozitnak?
 - a. Két egyfázisú anyag társításával egy többfázisú anyag, más szóval hibrid rendszer jön létre.
 - b. Ha a kompozit alkotói, a befoglaló mátrix vagy az erősítőanyag összetett, több alkotóból áll (x).

- c. Ha a társítással létrejött rendszernek nemcsak egy tulajdonsága, hanem legalább egy javul.
 - d. Hibrid kompozitnak nevezzük azokat a társításokat, ahol az epoxi gyantát szénszövettel erősítjük, vagy például az UP anyagot üvegszállal társítjuk.
3. Mely állítás igaz hőre lágyuló polimerekre?
- a. A hőre lágyuló polimerek mézszerűen folyó anyagok, és szobahőmérsékleten is jól impregnálják a szálakat.
 - b. Az alakadás szobahőmérsékleten, képlékeny alakítással történik.
 - c. A hőre lágyuló polimerek amorf anyagok.
 - d. A hőre lágyuló polimerek feldolgozása ömledék állapotban, magas hőmérsékleten történik (x).
4. Mely állítás igaz a hőre nem lágyuló polimer anyagokra?
- a. Hőre nem lágyuló polimerek a hőmérséklet növelésével mézszerűen folyóssá válnak, és így a feldolgozhatóságuk javul.
 - b. A térhálós szerkezetet szerszámban, visszafordíthatatlan kémiai reakcióval alakítják ki (x).
 - c. Szobahőmérsékleten a nagyobb viszkozitásuk révén jobban impregnálják erősítőszálakat.
 - d. A tipikus térhálós polimerek közé tartozik többek között a PP és az EP.
5. Jelölje meg azt az állítást, amely igaz a polimer kompozitok tipikus erősítőanyagaira!
- a. csak szálas jellegűek, mert a fajlagos felület így lesz a legkisebb.
 - b. kizárólag korong alakúak, mert a fajlagos felület ez által a legnagyobb.
 - c. többnyire szálas jellegűek, mert a szálátmérő növekedésével nő a szálak szakítószilárdága.
 - d. leginkább szálas jellegűek, többek között a fajlagos felület növekedése és a méret-hatás is ezt indokolja (x).
6. Az üvegszállra az alábbi állítás nem igaz:
- a. A legelterjedtebben alkalmazott erősítőanyag, mivel kis sűrűséggel és nagy rugalmassági modulussszal rendelkezik (x).
 - b. Az üvegszálak jellemző kiserelési formái: roving, paplan, szövet.
 - c. A szálakat felületkezelik, írezik, mely védelmet nyújt és egyben tapadásfokozóként is hat a kompozit komponensek között.
 - d. Gyakorlatilag korlátlan mennyiségben rendelkezésre áll, UV stabil, vegyszerálló és elektromosan szigetel.
7. Jelölje meg a szénszálgyártás technológiai lépéseit!
- a. stabilizálás, azaz enyhe oxidáció max. 250 °C-ig, amelyben a szál elszenesedik, de nem olvad meg (x).
 - b. karbonizáció: a szál 90 %-ban szén alakul, nitrogén atmoszférában, (250–1500 °C) (x),
 - c. grafitos izzítás: Oxigéndús környezetben egy fokozottabb égési folyamat eredményeként feszített állapotban kialakul a gyakorlatilag tiszta szénből álló grafitos szerkezet (1500–2500 °C)
 - d. grafitosítás: 1500–2500 °C-on, szigorúan oxigénmentes atmoszférában, feszített állapotban kialakul a gyakorlatilag tiszta szénből álló grafitos szerkezet (x).
8. Válassza ki a hamis állítást!

- a. Az aramidszálak aromás poliamidok, jellemzőik a jó szilárdsági tulajdonságok, különleges hőállóság és jó ütésállóság.
 - b. A Dyneema igen nagy szilárdságú, könnyű anyag, de a hőállósága korlátozott (140 °C) és más műanyagokkal nem igazán összeférhető.
 - c. A természetes szálak kis sűrűséggel, jó mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek, és gyakorlatilag minden hőre lágyuló műanyaggal társíthatóak (x).
 - d. Az aramidszálakat karbonszálakkal kombinálva gyakran alkalmazzák hibrid erősítőrendszerben.
9. Jelölje meg, mit nevezünk alaki tényezőnek!
- a. a szál hosszának és átmérőjének a hányadosa (x)
 - b. a szál átmérőjének és hosszának a hányadosa.
 - c. a szál hosszának és keresztmetszetének a hányadosa.
 - d. a szál keresztmetszetének és hosszának a hányadosa.
10. Mit nevezünk kritikus szálhossznak?
- a. amelynél hosszabb szál húzóigénybevétel alkalmával a mátrixból kihúzódik
 - b. amelynél rövidebb szál húzóigénybevétel alkalmával a mátrixból kihúzódik
 - c. amelynél rövidebb szál a jó beágyazottság, a jó tapadás következtében maga szakad el a tönkremenetel pillanatában (x).
 - d. és amelynél hosszabb szál a jó beágyazottság, a jó tapadás következtében kihúzódik a tönkremenetel pillanatában.