

Kompozitok a sokrétű felhasználási igények kielégítésére

Composites to meet multiple usage needs

Szabó Rudolf¹ – Borbély Endre²

¹Rejtő Sándor Alapítvány (RSPT), Nyáry Pál utca 5. 1056 Budapest, Hungary, ingtex@t-online.hu

²Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Tavaszmező utca 17. 1084 Budapest, Hungary
borbely.endre@kvk.uni-obuda.hu

Kivonat: A technika, a gyártási sebességek gyors ütemű növekedése új, nagy teljesítményű, különleges funkcióknak megfelelő szerkezeti anyagokat igényelnek. A korábbi szerkezetek anyaga döntően fémötvözetek voltak, amelyekkel elérhető specifikus (tömegre vonatkoztatott) tulajdonságok számos műszaki területen alatta marad a különleges funkció-igényeknek. A nagy sűrűségű, izotróp, tömör anyagok helyett - a fejlesztéseknek köszönhetően - a kis sűrűségű, erősítő szálból és mátrixból készített üreges, rácsos, anizotróp un. kompozit struktúrákkal számos műszaki területen jelentős előrelépés érhető el. A mechanikai tulajdonságokat korábban a keresztmetszetre vonatkoztatott fajlagos jellemzők helyett kifejezőbb a tömegre (súlyra) vonatkoztatott un. specifikus tulajdonságok használata. A könnyű szerkezetekkel jelentős teljesítménynövelés érhető el, csökkenthető a fajlagos energia-felhasználás, ami a környezetvédelmi szempontokból is nagy jelentőségű.

Keywords: fibers, textile structures, composites, properties

Kulcsszavak: szálak, textil szerkezetek, kompozitok, tulajdonságok

0. Bevezetés

Az emberiség által használt meghatározó szerkezeti anyagok koronként változtak (1. ábra).



1. ábra

A szálak szerkezeti anyagok használata több ezer éve az ember civilizáció meghatározó eleme, mint alapvető ruházat, valamint a társadalmi helyzet, a rang kifejezőeként, de műszaki területen használata (kötelek, vitorlavásznak) is döntő fontosságú. Az utóbbi évtizedekben a műszálak megjelenésével a száltulajdonságok igények szerinti alakításával a szálak felhasználása a hagyományos ruházati- és lakás- textíliákon túlmenően új, fontos területeken, a műszaki textíliák és a kompozit területén is kulcsfontosságúvá váltak. A tanulmány a kompozit erősítő szálak – különös tekintettel a szénszállra – jellemzőit, felhasználását mutatja be.

1. Kompozitok jellemzői

A kompozit két vagy több lényegesen eltérő tulajdonságú komponensből készített új anyag, amelyben az összetevők elkülönülten vannak jelen. A kompozitokban az összetevők előnyös tulajdonságai érvényesíthetők, de a késztermék tulajdonságai nem vezethetők vissza a komponensek tulajdonságaira (2. ábra).

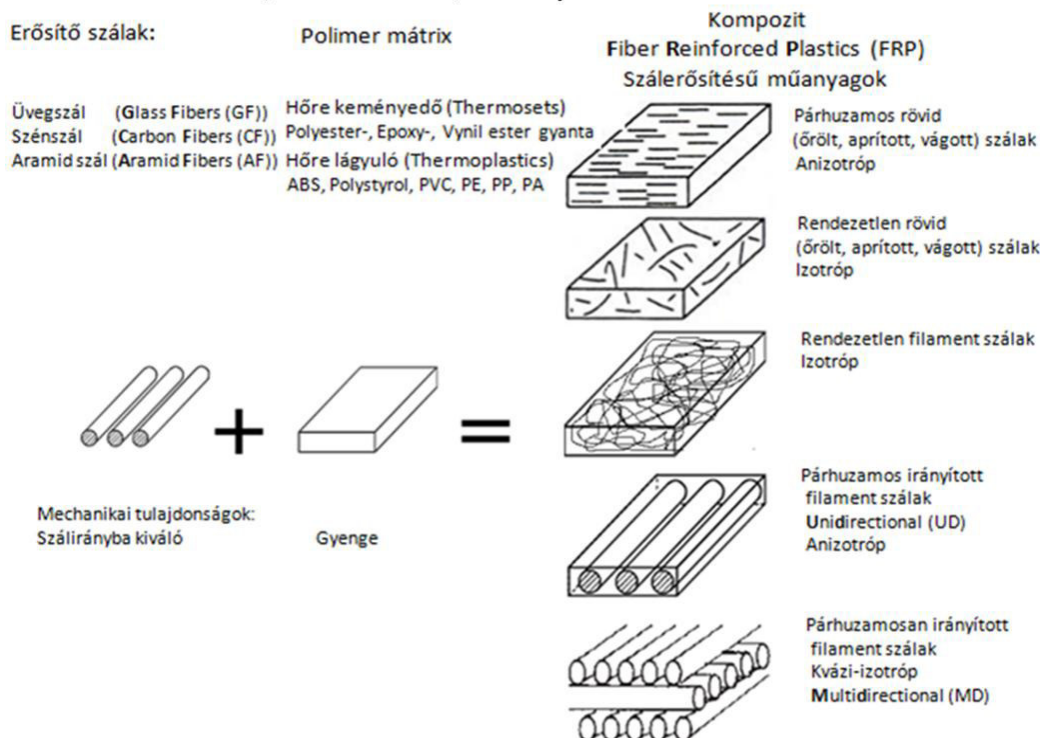
Kompozit tulajdonságainak jellemzői



2. ábra

Az erősítő szálak fajtájától, elrendezésétől, a felület aktivizálásától (sizing), a mátrix megválasztásától (hőre keményedő, -lágyuló) és a gyártástechnológiától (szerkezet alakja, mag-, adalék anyagoktól (nano-szálak, grafén)) függően a kompozitok sokfélesége alakítható ki az igényeknek megfelelően (3. ábra)

Erősítő szálak, mátrixok, kompozitok szálelrendeződése

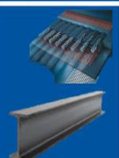
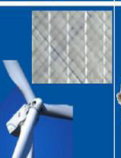


3. ábra

4. Erősítő szálak

A kis átmérőjű (5-25 μm) szálak (a hossz nagyságrendekkel nagyobb az átmérőnél) anyagok (üveg, szén, bazalt, p-aramid, fém) kialakításával (olvasztás, oldás) nagy szilárdság érhető el a tömb formához képest (4. ábra).

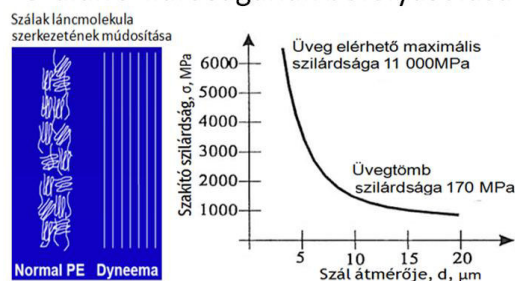
Szerkezeti anyagok szál és tömb formájú szilárdsága

	Szén	Acél	Üveg	Polimer
				
Sűrűség	1.8 g/cm ³	7.8 g/cm ³	2.5 g/cm ³	1.0 g/cm ³
Szilárdság Szál forma 	7.1 GPa	4.0 GPa	4.0 GPa	3.20 GPa
Szilárdság Tömb forma 	0.1 GPa	1.4 GPa	0.5 GPa	0.03 GPa

4. ábra

A kompozitokhoz használt ún. nagy teljesítményű szálak vékonyításával a nagy merevségük ellenére is hajlíthatók, a kábelekből (sodratlan szálköteg) kialakított struktúrák jól formázhatók. A nagy molekulájú szerves szálak nyújtással vékonyítva a láncmolekulák tengelyirányba rendeződésével, míg az amorf szerkezetű (üveg) szálak esetén a szilárdság az anyaghibák (repedések) csökkenésével a vékonyabb szálak szilárdsága számottevően növelhető (5. ábra).

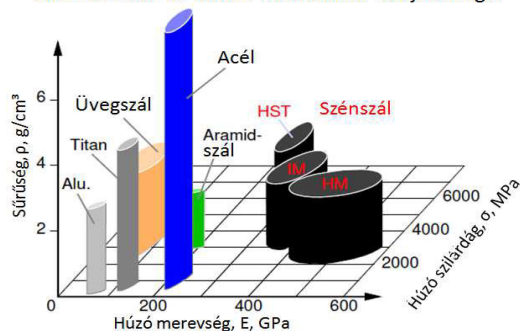
Szálak szilárdságának befolyásolása



5. ábra

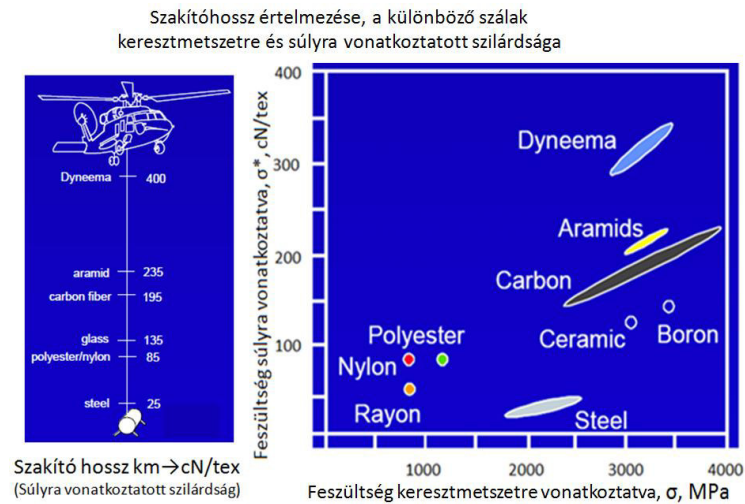
A különböző szálak, ill. a kompozitok sűrűségű lényegesen kisebb a fémekénél (6. ábra).

Erősítő szálak és fémek mechanikai tulajdonságai



6. ábra

A szerkezeti anyagok mechanikai jellemzőinek realisabb összehasonlítására a keresztmetszetre kidolgozott összefüggések (Pa) helyett a tömegre (súlyra) vonatkoztatott specifikus mechanikai tulajdonságok (km, cN/tex) használata ajánlott (7. ábra).

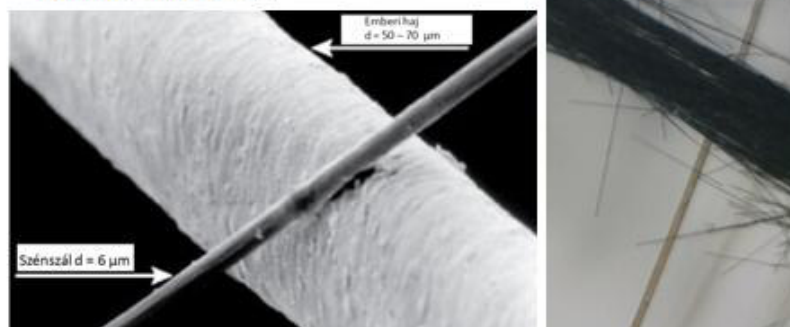


7. ábra

A szénszál (CF – Carbon Fiber) nagy specifikus merevsége, szilárdsága és számos kiváló további tulajdonsága (8. ábra) révén a nagy teljesítményű kompozitok gyártására kulcsfontosságú, magas ára ellenére használata széles területen gyorsan növekvő.

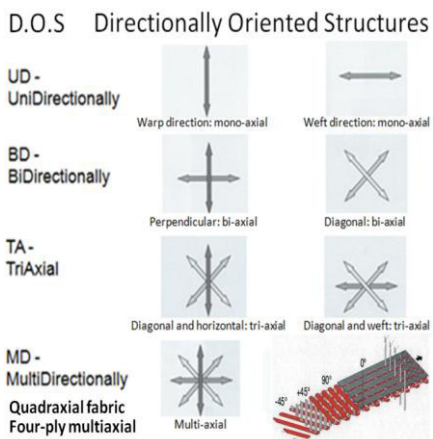
Szénszál főbb jellemzői

- Szénszál nagyon vékony ($d = 5-7\mu\text{m}$, $\sim 0,7$ dtex)
- Szénatom tartalma ($> 0,95\%$)
- Szénszálat nagyjából kompozit erősítésre használják:
CFRP- carbon fiber reinforced polymers $\rightarrow$
szénszál erősítésű polimer, C&C, C-SiC....
- Szénszálakat felületkezelés után sodratlan kábelként (tow) keresztcsévélik, 1000 (1k) filamentenként jelölik:
Kis kábel: 1k, 3k, 6k, 12k, 24k
Nagy kábel: 48k, 50k, 60k ...



8. ábra

Az **advanced** (irányított filament szál elrendezésű) kompozitok esetén a sodratlan kábelek a kelmében az igénybevételeknek megfelelően különböző irányokban fektethetők (9. ábra).



9. ábra

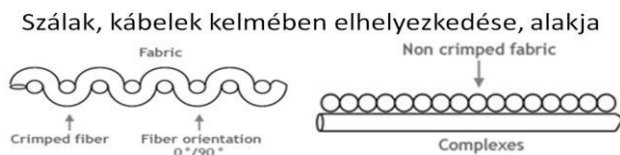
Preform, a kábelek mechanikai feldolgozása során a végleges formát alakítják ki (10. ábra).

Preform a kábel feldolgozása (fonatolás) során kialakított végleges forma



10. ábra

Egyenes szálhelyzetű kelme (NCF- Non Crimped Fabrics) kialakítására – különösen a nagy merevségű kompozitok esetén – kell törekedni (11. ábra).

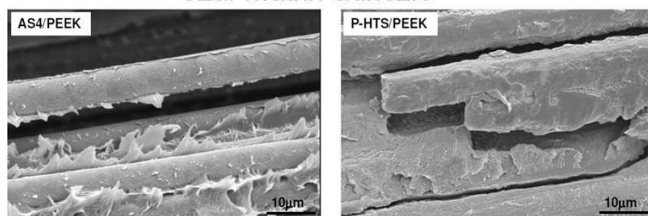


11. ábra

Prepreg esetén a száraz kelmét átítatják a mátrix-val, ami rövid ideig hidegen tárolható.

Szálfelület aktiválásával, sizing felvitelével a szál és a mátrix közötti kémiai kötés erőssége növelhető (12. ábra).

Szál-mátrix adhézció



12. ábra

A szálkábelek vezetését a filament szálak károsodásának mérséklésére sok esetben speciálisan kialakított felületen (narancshéj alakú) célszerű vezetni.

5. Polimer mátrix anyagok

Kompozitok gyártása során az erősítő szálakat, kelmét a folyékony mátrix anyaggal átítatják, majd kikeményítik. A kompozitok (eltérő tulajdonságú anyagokból készült új anyagok) sokfélesége széles területet ölel fel (CFRP – Carbon Fiber Reinforced Polimer, C/C – Carbon/Carbon Composites, CMC – Ceramic Matrix Composites, stb.) széles területet ölel fel. A tanulmány elsősorban csak a polimer mátrixú kompozitokra, ezen belül kiemelten a CFRP – szénzál erősítésű polimerek bemutatására szorítkozik.

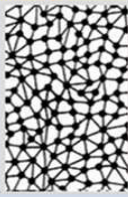
A polimer alapú mátrix anyagok:

Hőre keményedő (thermosets) kiinduló folyékony epoxi anyagok hő vagy aktiváló szerek hatására a láncmolekulák között létrejövő erős kötések hatására megkeményednek. Az így létrejövő stabil szilárd szerkezet már nem alakítható vissza a kiinduló állapotra.

Hőre lágyuló (thermoplastics) anyagok hő hatására megolvadnak, a láncmolekulák új kapcsolódása hozható létre. Lehűlve megszilárdulnak, de ismételt melegítés hatására újra megolvaszthatók.

Elasztomer anyagok láncmolekulák a térbeli spirál alakjukat a megszilárdult végtermékben (gumi) is megtartják, így rugalmas szerkezetek kialakítását teszi lehetővé (13. ábra).

Polimerek fajtái és sajátosságai

Polimer csoportok	Példák	Leírás	Szerkezet modelje
Hőre keményedő Thermosets Duroplaste Kikeményíthető műanyag, ami továbbiakban plasztikusan nem alakítható. Magas hőmérsékleten elszénestíthető.	Epoxi Polieszter Poliuretán Vinileszter	Molekulaláncok háromdimenziós elrendeződésűek, minden irányba egymással kapcsolódnak.	
Hőre lágyuló Thermoplastics Thermoplaste Polimert felhevítve alakítható. Olvasztás után a gyökök újra kapcsolódnak. Sok hőre lágyuló anyag szerves oldószerben feloldódik. Összekapcsolás lehetséges hegesztéssel, vagy „hideg hegesztéssel” oldással.	ABS Polisztirol PVC Polietilen PP PA PEEK	Nagyon hosszú rendezetlen molekulaláncok.	
Elasztikus Elastomers Elastomere Gumyszerű elastikus anyagok. Feszítés hatására az anyag deformálódik, erő megszűnte után az anyag az egyensúlyhoz közeli állapotba visszaalakul. Az elastikus anyagok az elszénesedési pontig hőállóak, hővel nem hegeszthetők-, kapcsolódása vulkanizálással lehetséges.	Szilikon gumi, Gumi	Hosszú, spirál alakú molekulaláncok, amelyek feszültség hatására megnyúlnak.	

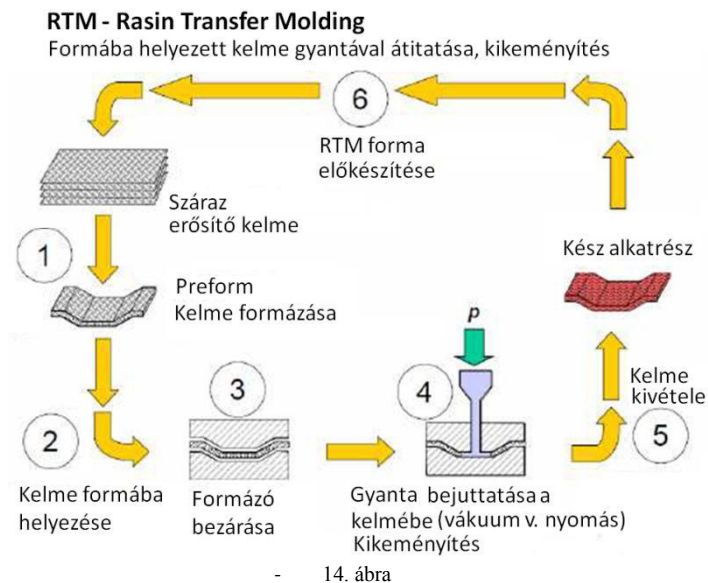
13. ábra

6. Kompozitok készítése

A kompozit termék alakjától, méretétől függően kifejlesztett főbb technológiák:

- Extrúder, fröccsöntés
- Kézi laminálás
- Tekercselés
- Pultrúzió

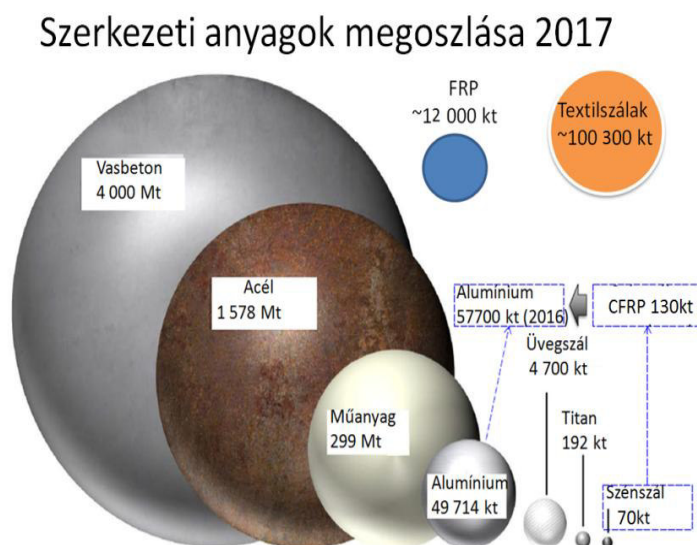
- RTM (Resin Transfer Molding) → formába helyezett száraz kelme átítatása mátrix-val, kikeményítése (14. ábra).
- Infúzió
- Autoklav



Kompozitok gyártásakor fontos az erősítő szálak igényeknek megfelelő egyenletes elrendezése, a szálak közötti részek folyékony mátrix-val teljes (légrés mentes) kitöltése. A kompozitokban előforduló üreges részek, a szálak és a mátrix egyenlőtlen elrendeződése a mechanikai tulajdonságokat nagyban lerontják.

7. Kompozitok alkalmazása

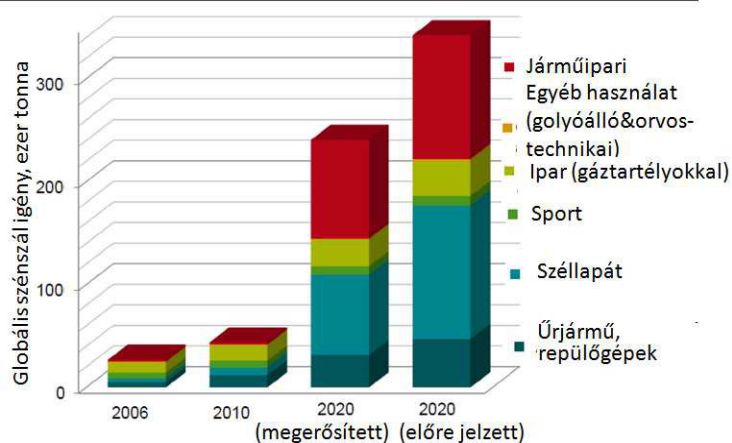
A ma használatos szerkezeti anyagok mennyiségi összehasonlítása a 15. ábrán látható).



15. ábra

A világon évente gyártott polimer mátrixú kompozitok kb. 12 Mt, amelynek ~99%-a üvegszál-, míg ~1%-a szénuszál erősítésű. A polimer mátrixú szénuszál erősítésű kompozitok (CFRP) ugyan kis hányadot képviselnek, de kiváló tulajdonságaiknak köszönhetően számos alkalmazási területen kulcsfontosságúak (16. ábra). A magas árak ellenére a mennyiségük 5-7 évenként duplázódik, az alapanyagok árának csökkentésével és a gyártási technológiák javításával (gyártási idő csökkentésével) várhatóan ez a dinamikus növekedés a következő évtizedekben tovább folytatódik, a tömeggyártás területén (autóipar) is széleskörűen használják.

Szénuszál globális piaca



16. ábra

Az ún. advanced (CFRP) főbb alkalmazási területeire a 17. ábra mutat példát.



17. ábra

Űr- légi közlekedés, hadi ipar területén a magas ár ellenére a CFRP anyagok használata szükségszerű. Ipari alkalmazás (szélturbina lapát, autóipar, gáz- hidrogén tartály, lendítő tárcsák, robot karok, különböző sajátos szakmai igények, stb.) területén is gyors növekedés tapasztalható. A járművek estén kulcsfontosságú a súlycsökkentés, ezáltal hozzájárul a környezet- védelemhez, a CO₂ kibocsátás szigorú előírásának eléréséhez. Sporteszközök területén a CFRP használata meghatározó, egyben a CFRP kiváló reklám lehetősége is.

8. Összefoglalás

Az elektronika széleskörű alkalmazása, az automatizálás, robotizálás nagy lehetőséget nyitott a termelő berendezések, teljesítményének növelésére, számos területen elérték a korábban alkalmazott fémes szerkezeti anyagok mechanikai tulajdonságainak felső határát. A CFRP használata a közlekedés területén a kerékpártól a repülőig a súlycsökkentés, a használhatóság, a gazdaságosság, a környezetvédelem (CO₂ csökkentés) szempontjából egyaránt kulcsfontosságú. Nehéz olyan területet találni, ahol a CFRP kiváló tulajdonságai nem érvényesíthető, így használatuk fényes jövő előtt áll.

Felhasznált irodalom:

- [1] Steinmann: Carbon fibers: an overview on manufacturing, research and market ITA/RWTH Aachen University Mitteilungen 2015.
- [2] Szabó L. – Szabó R.: Kompozitok Magyar Textiltechnika 2014/4. p. 2-7.
- [3] T. Gries, – B.: Veihelmann: Kombinierte Faserverbundstrukturen zum Aufprallschutz Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen (ITA)
- [4] Czvikovszky T. – Nagy P. – Gaál J.: A polimertechnika alapjai Műegyetemi Kiadó 2000. 455 p.
- [5] Borbély E. – Szabó R.: Szélenergia hasznosítás és kihívások XIX. ENELKO 2018.Tusnádfürdő, 2018. október11-13. p. 13-19.