

A szénszál és a szénszállal erősített kompozitok mennyiségi jellemzői és alkalmazási területei

Szabó Rudolf
ingtex@t-online.hu

Szabó Lóránt
Óbudai Egyetem, RKK KMI
szabo.lorant@rkk.uni-obuda.hu

Kulcsszavak/Keywords: Szénszál, CFRP, Kompozitok alkalmazása
Carbon fibers, CFRP, Composite applications

Kivonat

A szénszállal erősített (CFRP) kompozitok főbb alkalmazási területei: autóipar, járműipar, sporteszközök, úrkutatás, katonai célú használat, szellapát merevítő stb. Alkalmazásuk számos előnyt jelent a többi hagyományos anyagokhoz viszonyítva: a könnyűség, a nagy specifikus szilárdság, modulus, kiváló csillapítás, kifáradással és korrózióval szembeni ellenállás. Alkalmazásukkal az energia-hatékonyság javítható, mivel a fémekhez viszonyítva ugyanazon mechanikai jellemzők jelentősen kisebb tömegű anyagból valósíthatók meg, ennek eredményeképpen a CO₂ kibocsátás csökkenthető.

Abstract

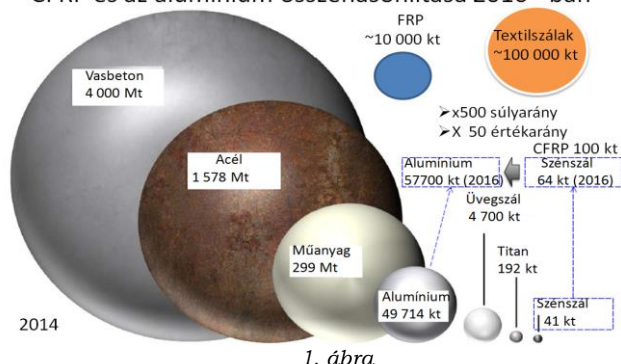
Carbon fibre reinforced polymer (CFRP) composites are used in a variety of applications, such as in cars and other vehicles, aerospace, military, wind blades, etc., due to their advantages over other traditional materials in terms of high strength/modulus-to-weight, super damping capacity, resistance to fatigue and corrosion. Better energy efficiency can be achieved by reducing the weight, consequently, CO₂ emission can be reduced.

Szerkezeti anyagok sajátosságai

A szerkezeti anyagokon belül a szénszál erősítésű polimer (Carbon Fiber Reinforced Polimers – CFRP) mennyisége kicsi ugyan, de magas ára ellenére is gyors ütemben nő, köszönhetően kiváló tulajdonságainak. A szállal erősített polimer (Fiber Reinforced Polimers – FRP) mennyiségén belül is mennyiségük viszonylag csekély, de nagy értékű (1. ábra).

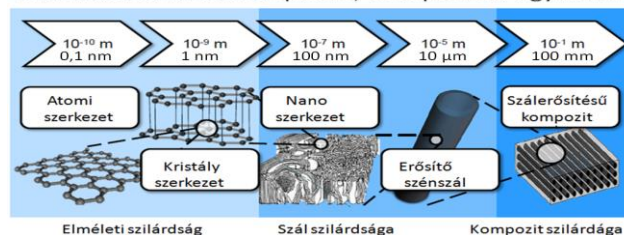
A szénszál ill. a CFRP szerkezeti felépítését a 2. ábra szemlélteti. A hatszögletű atomsíkok (grafén) a szál tengely irányában párhuzamos tömbökbe rendeződnek. A szál keresztmetszete üreges, a csontozatéhoz hasonló. A vékony (7 µm átmérőjű), felületkezelt szénszálakat sodratlan kábel (tow) formájába rendezik, ezres csoportonként (K=1000) jelölik (pl. 48K azt jelenti, hogy a szénszálakból álló kábel 48 ezer szénszál-fiamentból áll). A kábelekből a számos textiltechnológia valamelyikével az

Szerkezeti anyagok megoszlási aránya (2014) szénszál ill. CFRP és az alumínium összehasonlítása 2016-ban



1. ábra

Szénszál szerkezeti felépítése, kompozitba ágyazása



2. 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	7.1 GPa	4.0 GPa	4.0 GPa	3.20 GPa
Szál forma				
Szilárdság	0.1 GPa	1.4 GPa	0.5 GPa	0.03 GPa
Tömb forma				

3. ábra

igényeknek megfelelő szerkezetet hoznak létre, majd a kívánt alakban mátrixszal átítatják, végül kikeményítik. Az így előállított termék a CFRP vagyis a szénszál erősítésű kompozit.

A kompozitok kimagasló mechanikai tulajdonságait egyrészt a vékony szálak szerkezetű anyagok tömbhöz képest mért lényegesen nagyobb szilárdsága, másrészt a terhelési irányoknak megfelelően elrendezett nagyszámú, mátrixba ágyazott (anizotróp) szálak szerkezet eredményezi (3. ábra).

Az erősítő szálak (szénszál, üvegszál, p-aramid szál), továbbá az acél és az alumínium főbb mechanikai tulajdonságainak összehasonlítását az I. táblázat tartalmazza.

I. táblázat

Miért a CFRP anyagok?

Anyag/ Paraméter	Sűrűség, ρ, g/cm ³	Nyúlás, ε, %	Húzó szilárdság σ, MPa	Spec. húzó szilárdság σ* = σ/ρg, km	Húzó merevség, E, GPa	Spec. húzó merevség E* = E/ρg, 10 ³ km
Szénszál	1,8	0,5-1,5	3600-7000	150-250	200-900	12-28
E-Üvegszál	2,6	2,5	2450	60-90	70	2,7
p-Aramid	1,44	3,5-5,2	2900	180-250	60-120	5-10
Acél	7,8	1,8	1500-2880	20-36	200	2,6
Alumínium	2,7		70-700	18-36	70	2,6

A szénszál gyártása, jellemzői

A szénszál gyártása során a prekursor képező poliakrilonitril- (PAN-) szálak a csévékről történő lefejtést

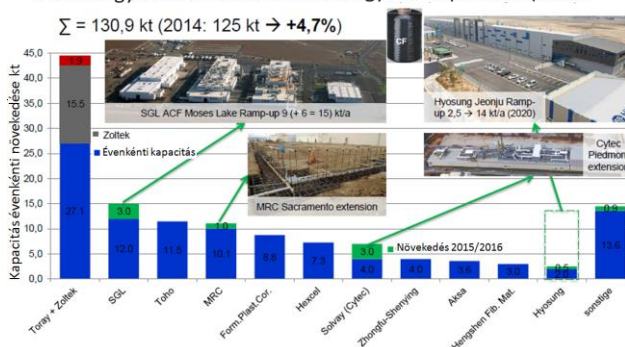
Mit értünk a szénszálon?

Kiindulás többnyire PAN kábel (prekursor)
Oxidáció feszített állapotban (220 – 250 °C) (OPAN)
Széneseítés feszített állapotban
nitrogén gázos kemencében (1000 – 1800 °C)
Kiszerezés keresztcsévén
Elemiszál átmérő: $d \sim 7 \mu\text{m}$
Kábel (tow) elemiszál szám $1\text{k} = 1000$ szál
– kis kábel: 1k, 3k, 6k, 12k, 24k
– nagy kábel: 48k, 50k, 60k, 320k
Kristályos szerkezet (széntartalom $\sim 95\%$)
Nagy modulusz ($\sim 600 \text{ GPa}$ -ig)
Nagy szilárdság ($\sim 7000 \text{ MPa}$ -ig)
Alacsony sűrűség ($\rho \sim 1,8 \text{ g/cm}^3$)
Ár: 15 – 60 €/kg



4. ábra

Szénszál gyártók elméleti évenkénti gyártó kapacitása (2015)



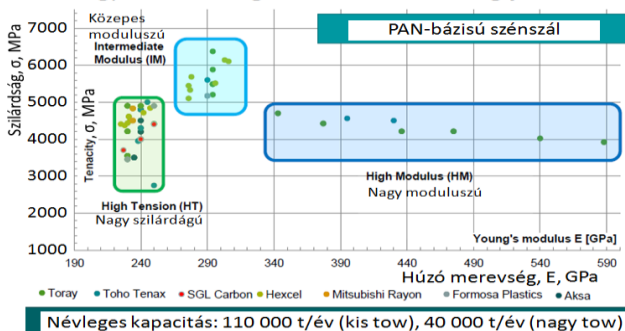
5. ábra

követően sodratlan kábel alakjában, feszített állapotban kb. 1 órán át haladnak át az oxidációs kemencéken, majd a nitrogéngázos kemencén átvezetve széneseítik azokat. A szálak felületét az alkalmazott mátrixnak megfelelő kenőanyaggal (sizing) bevonják, és sodratlan kábelbe (tow) rendezve keresztcsévére csévélik (4. ábra).

A szénszál gyártó cégek kapacitását az 5. ábra mutatja. A szénszál iránti fokozódó igény miatt várható, hogy a poliakrilonitril szál gyártóknak (Kína, Törökország) jó lehetősége kínálkozik a szénszálgyártó kapacitás fejlesztésére. A PAN-tól eltérő alapanyagú (kátrány, lignin, viszkóz, PE) prekursor bázisú szénszálak tulajdonságai és anyagkihozatala elmaradnak a PAN alapanyagétól, így fejlesztésük jelenleg még a kezdeti szakaszban tart.

A szénszál tulajdonságai, értéke és használata széles területet ölel fel (6. ábra). A szénszál, valamint a CFRP tulajdonságai is széles tartományban tervezhetők, így áruk is nagyon eltérő. A szénszál ára a kezdeti időszakhoz képest számottevően csökkent (a kezdeti 1000

Szénszál gyártók által forgalmazott szálak szilárdági jellemzői



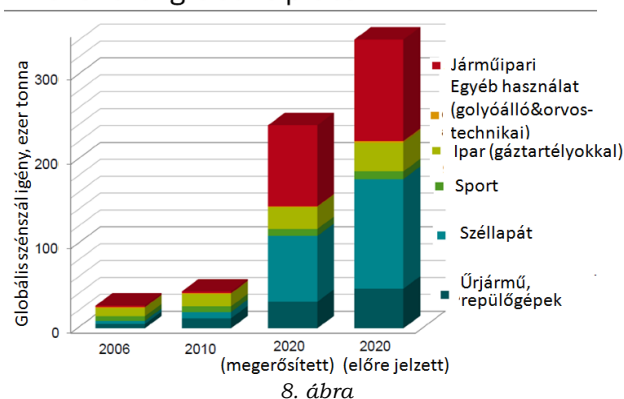
6. ábra

Évenkénti becsült szénszál igény (1000 t) és növekedés (%)



7. ábra

Szénszál globális piaca



8. ábra

\$/kg-ról 15 \$/kg-ra), és ez a tendencia várhatóan a jövőben is folytatódik.

Az elmúlt és a következő évekre becsült szénszál felhasználás növekedése várhatóan a 10%-ot is meghaladja (7. ábra).

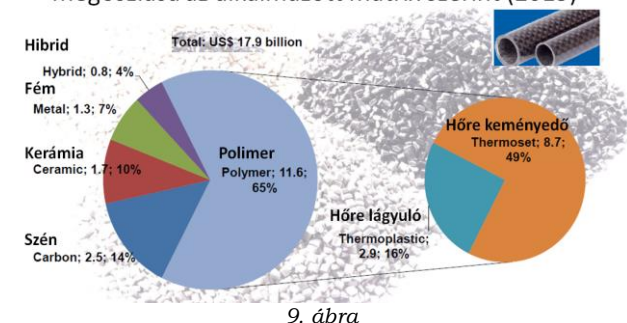
A szénszál a leggyakrabban végtelen szál (filament) formában dolgozzák fel. A szénszál előnyös mechanikai tulajdonságai a kompozitban a szál egyenes helyzetében érvényesül a legjobban, emiatt a szénszál feldolgozására sajátos új textiltechnológiákat (kábelterítés, fektetés) dolgoznak ki.

A szénszálfelhasználás mennyiségi növekedési ütemét iparáganként a 8. ábra szemlélteti. A mennyiségi növekedés elsősorban a nagy K-s, olcsóbb szálak alkalmazási területén – szállapát merevítés, járműipar, nagynyomású gáztartályok, csővezetékek gyártása – várható.

A CFRP jellemzői, alkalmazási területei

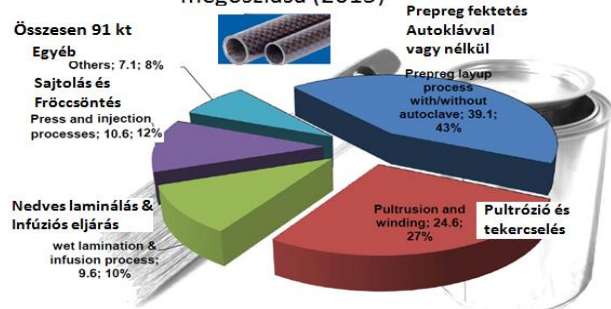
A szénszál különböző mátrixokba (szén, fém, ke-

Szénszál erősítésű kompozitok értékének (Milliárd US\$) megoszlása az alkalmazott mátrix szerint (2015)



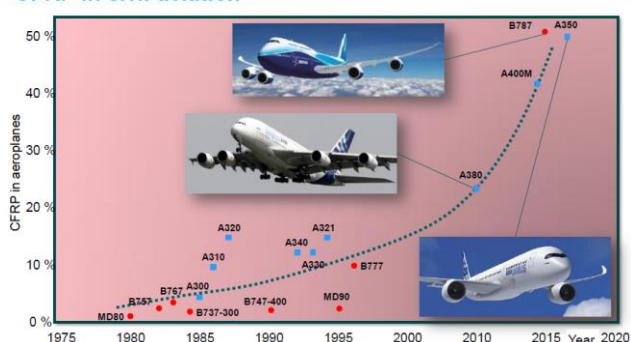
9. ábra

CFRP mennyiségének gyártási technológia szerinti megoszlása (2015)



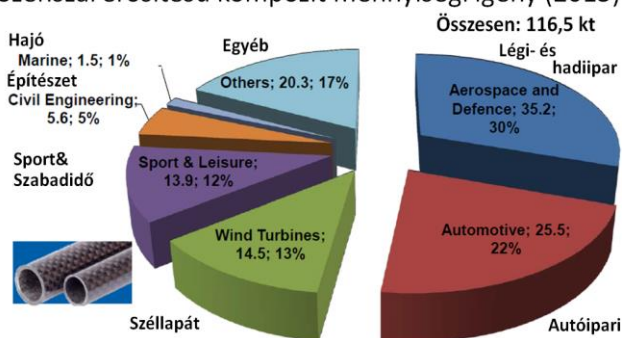
10. ábra

CFRP in civil aviation



11. ábra

Szénszál erősítésű kompozit mennyiségi igény (2015)



12. ábra

rámia és polimer) ágyazható be (9. ábra). A polimer mátrix lehet hőre keményedő vagy hőre lágyuló.

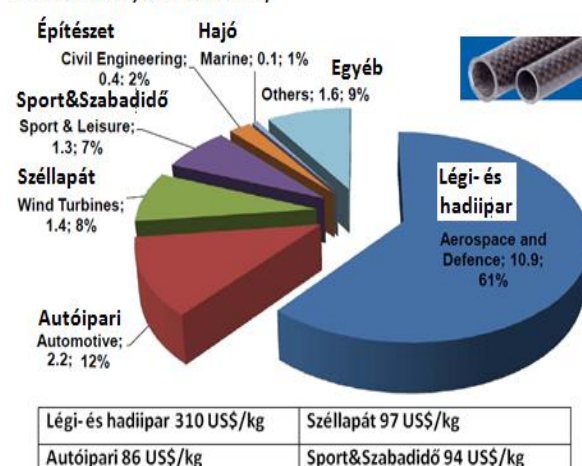
A kompozitok tömeges alkalmazására a technológiai ciklus-ideje, ill. annak rövidítése döntő fontosságú, a kompozit technológia fejlesztése kiemelt jelentőségű. A kompozitok gyártási technológiák szerinti megoszlását a 10. ábra mutatja.

A CFRP alkalmazása az 1970-es években az űrtechnika területén kezdődött, amit 1980-tól a repülőgépgyártás (11. ábra), a haditechnika és a sporteszközök követett.

Napjainkban a kompozitok ipari tömeggyártása az autóiparban, a szellapátok merevítésében, a tartályok, csővezetékek gyártásában, az építőiparban stb. egyre nagyobb jelentőségű. A CFRP felhasználási területek szerinti mennyiségi megoszlását a 12. ábra, a felhasználási területek érték szerinti megoszlását pedig a 13. ábra szemlélteti. A repülőgépgyártás és a hadiipar területén használt kompozitok magasabb ára a drágább alapanyagok (kis K-s szénszál-kábel és drágább mátrix), valamint költségesebb, igényesebb gyártási technológiák-ból adódik.

Szénszál erősítésű kompozitok értékének (Milliárd US\$) alkalmazási területenkénti megoszlása (2015)

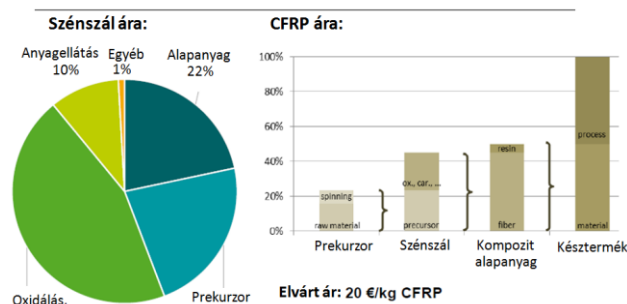
Összesen: 17,9 Milliárd US\$



Légi- és hadiipar 310 US\$/kg	Szellapát 97 US\$/kg
Autóipari 86 US\$/kg	Sport&Szabadidő 94 US\$/kg

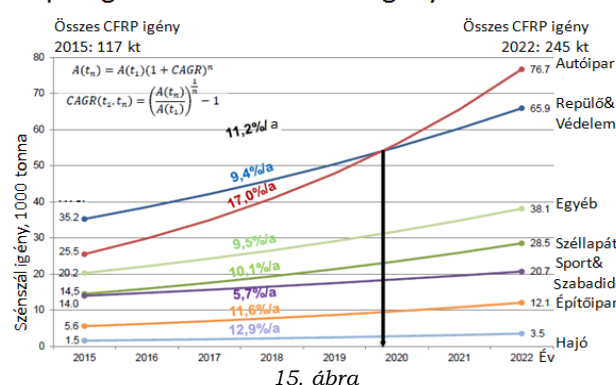
13. ábra

Szénszál ára – alkalmas tömegtermelésre?



14. ábra

Iparáganként becsült CFRP igény növekedés



15. ábra

A CFRP alkatrészek költségösszetevőit a 14. ábra szemlélteti. A prekursor alapanyag ára, a szénszálglyártás, valamint a mátrix a kész kompozit költségének felét teszi ki, míg a másik felét a kábel textildolgozási költségei és a kompozit gyártási költségei adják.

A CFRP iparágankénti mennyiségi felhasználásának várható alakulását a 15. ábra mutatja be.

Összefoglalás

A textiltechnológia területén az új, kulcsfontosságú anyagok, a műszaki textíliák és a kompozitok a negyedik ipari forradalomnak nevezett technikai fejlődésben is meghatározók. A textiltechnológiai fejlesztések területén is ki-

emelkedő fontosságú a nagy merevségű és szilárdságú, törékeny szénszál feldolgozása. A szénszál specifikus (súlyára, tömegére vonatkoztatott) szilárdsága és húzási/nyomási merevsége tiszszere az acélnak, így számos alkalmazási területen jelentős súlycsökkentés érhető el a kiváló mechanikai tulajdonságú CFRP szerkezetekkel. A közeljövőben megrendezendő szakkonferenciák – JEC (Párizs, 2017. március 14–16.), Techtextil (Frankfurt, 2017. május 9–12.) és ITMA (Barcelona, 2019. június 20–26.) – minden bizonnyal számos új dolgot vonultatnak fel ezen a területen is.

Felhasznált irodalom

1. Kühnel M. Kraus T.: The global CFRP market 2016. Experience Composites, Augsburg, 2016. 09. 21.
2. Szabó R.: Nagyteljesítményű kompozit-erősítő szálak, textil szerkezetek, szénszálak XVI. ENELKO 2015. Arad, 2015. október 8–11. pp.136–141.
3. Tálos G.: Oxidált szálak és szénszálak gyártása és textilipari feldolgozása a Zoltek Zrt-nél. 15. Műszaki Textil Fórum, 2008. 12. 03.
4. Szabó R.: A könnyű jövő. XVII. ENELKO 2016. Kolozsvár, 2016. október 6–9. p. 146–151.
5. Steinmann: Carbon fibers: an overview on manufacturing, research and market. ITA/RWTH, Aachen University Mitteilungen, 2015.