

Új fejlesztésű nagy molekulájú polimer alapú textilszálak

Szabó Lóránt

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

Kulcsszavak/Key words: nagy teljesítményű szálak, szilárdság, modulus, kompozit
inorganic fibres, composites, glass fibres, tensile strength, tensile modulus

Összefoglalás

A tanulmány célja a nagy teljesítményű, értékes, gyorsan növekvő mennyiségű szintetikus anyagból fejlesztett szálak áttekintése, tulajdonságaik bemutatása. A szál, a textil fogalma, alkalmazási területe az elmúlt évtizedekben kiszélesedett. A nagy teljesítményű HighTech szálak fajsúlyra vonatkoztatott szilárdság/modulus értéke közel nagyságrenddel múlja felül a fémes szerkezeti anyagok tulajdonságait, emiatt az ún. „fejlett”, anizotróp szerkezetű, a terhelés irányú szálerősítésű kompozitok használata a különleges igénybevételnek kitett szerkezetek és a mozgó alkatrészek, járművek súlycsökkentése területén döntő fontosságú.

Summary

Aim of this study is to give a view and present the properties of valuable fibres developed from synthetic materials with high leverage and rapidly growing quantity. The concept of fibre and textile would be wider in the latter decades together with its application field. HighTech high leverage fibres have a hardness modulus value (referred to specific gravity) which highly exceeds the properties of metal structured materials; that is why the usage of „developed” anisotropic structured composites with fibre fortification at pressure direction have a decisive importance on the field of specially oppressed structures and weight minimization of moving parts of vehicles.

Bevezetés

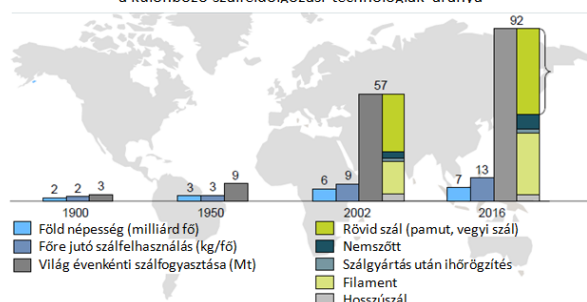
A múlt század második felében az ember által használt anyagok használatában alapvető tendenciaváltozás következett be, a polimerek, ezen belül a szálak anyagok széleskörű használata dinamikus fellendülést mutat (1. ábra). A különböző anyagok kapcsolódása, használata egyre szorosabban összefonódik [4].

A szálfelhasználás mennyiségi növekedése a közel 120 évben töretlen – ami az egy főre vonatkoztatott szálfelhasználásból és a népesség növekedéséből adódott –, továbbá a szálak felhasználására új területek nyíltak, a felhasználási igények megnövekedtek (2. ábra).

Nagy teljesítményű szálak

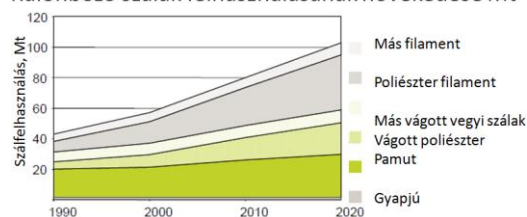
A szintetikus szálakat – 1940-től, a poliamid szál megjelenésétől – dinamikus mennyiségi növekedés és minőségi változás jellemzi, fejlesztésük napjainkban is töretlen. A molekulák szerkezetétől, a szálképzés és azt követő nyújtás mértékétől függően a szálak mechanikai tulajdonságai, erő-nyúlás diagramja a szál fajtájától függően széles tartományban változó, ami nagy kihívás a technológiai feldolgozás vonatkozásában [2][8] (3. ábra).

Föld népességének, az egy főre eső szálfelhasználás és a szálgyártás növekedése, a különböző szálfeldolgozási technológiák aránya



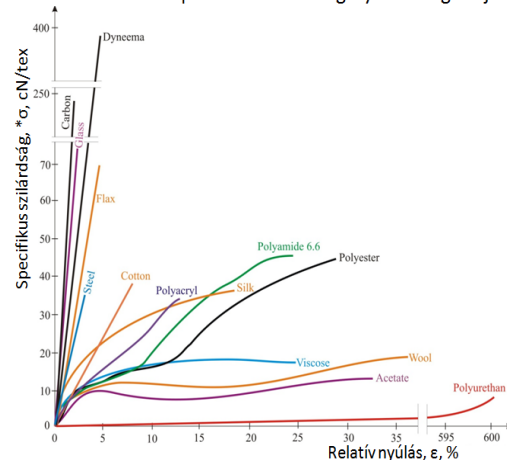
1. ábra

Különböző szálak felhasználásának növekedése Mt



2. ábra

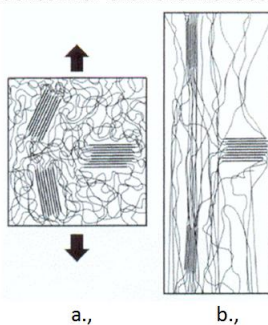
Különböző szálak specifikus szilárdság-nyúlás diagramja



3. ábra

A szálak széles tartományának egyik szélső példája a gyorsan növekvő mennyiségű, rendkívül nagy nyúlású elasztomer szálak, amelyeket más szálakkal, fona-

Relaxált (a) és megnyújtott (b) elastomer szál szerkezete



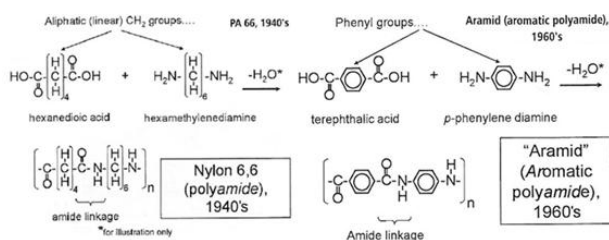
4. ábra

lakkal keverten alkalmazva főként a ruházati ipar számára rugalmas kelmék gyártását teszik lehetővé (4. ábra).

A másik végét a nagy teljesítményű (nagy szilárdságú/merevségű szálak), amelyek iránt a műszaki és a szálerősítő műanyagok területén a kereslet dinamikusan növekvő. A nagy merevségű szálak törekenyek,

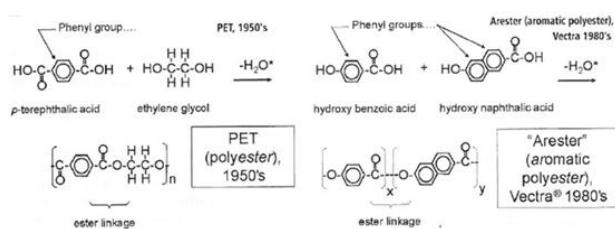
emiatt textiltechnológiai feldolgozásuk különös körültekintést igénylő. A legelterjedtebb szintetikus szálak többsége esetén a molekula-szerkezet módosításával, átalakításával a különösen nagy szilárdságú típusait is kifejlesztették.

A **para-aramidok** (Kevlar, Twaron, Techrona) a poliamidok aromás változata. Számos előnyös tulajdonsága révén a nagy igényt támasztó műszaki textiliák, kisebb mértékben a kompozitok szálerősítő anyagaként használják (5. ábra).



5. ábra

A **Vectran** [1] (LCP – Liquid Crystal Polymers) szálakat a Kuraray japán cég a PET (PES) poliészter szálból fejlesztette ki (6. ábra).

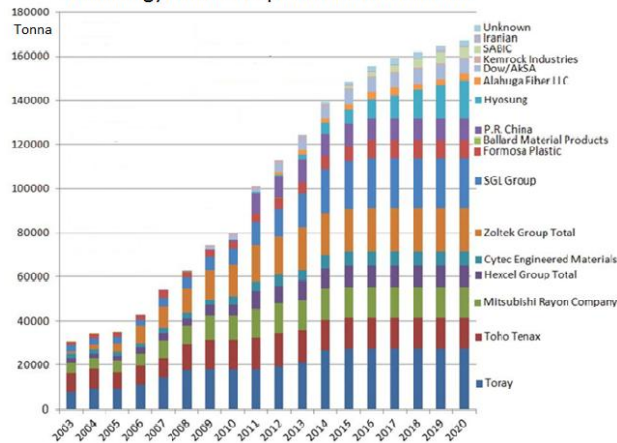


6. ábra

A **szénsszál (grafitszál)** nagyobbbrészt poliakrilonitril (PAC) szálból (prekurzor) kiindulva feszítéssel és oxidálással (220–250 °C) az OPAN, majd nitrogén közegben feszítéssel 1200–1500 °C-on karbonizálással a szénsszál, ill. 2000–3000 °C-on a grafitszál készül. A szénsszál mennyisége (50-60 000 t/év) ugyan a szálanyagok kis hányada, de nagy értékű, számos különleges tulajdonsága révén a műszaki alkalmazások széles területén eredményesen használható. Főbb szénsszál gyártókat és szénsszálgyártáson belüli mennyiséget a 7. ábra szemlélteti.

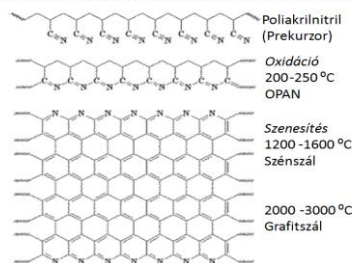
A poliakrilonitril szálból (prekurzor) kiindulva a molekulaláncok az alábbiak szerint módosulnak [3] (8. ábra):

Szénsszál gyártók és kapacitások növekedése



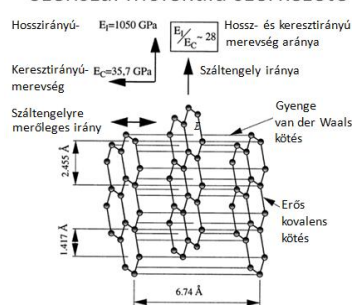
7. ábra

Poliakrilonitril szálból kiindulva az oxidáció és a szenesítés során a molekula-szerkezet változása



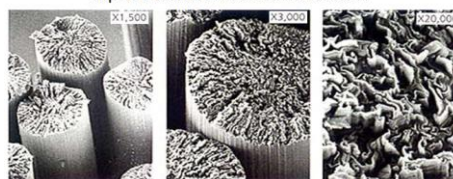
8. ábra

Szénsszál molekula szerkezete



9. ábra

Különböző nagyítású (SEM 1500 ~ 20 000) mikroszkópi képek a szénsszál keresztmetszetéről



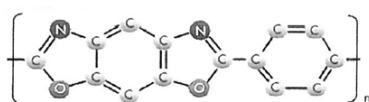
10. ábra

A szénsszál szerkezetében a kristályrácsok a tengely irányába a hő és a gyártás közbeni feszítés hatására alakulnak ki, a szál hossz- és keresztirányú tulajdonságai nagyon eltérőek (9. ábra).

A szénsszál keresztmetszetéről készített elektromikroszkóp felvételen jól kivehető a csont szerkezetéhez való hasonlóság (10. ábra).

A PBO – PolyBenzOxazole (ZYLON) (p-phenylene-2,6-benzobisoxazole) a Toyobo japán cég különös nagy teljesítményű szála (11. ábra).

PBO molekulalánc szerkezete

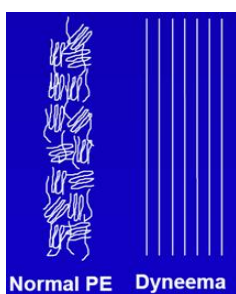


11. ábra

ZYLON szál hőstabilitásának és LOI indexének összehasonlítása



12. ábra



13. ábra

mechanikai és vegyi tulajdonságokkal rendelkeznek, a hővel szembeni ellenállása azonban alacsony (kb. 90 °C), emiatt főként olyan műszaki textiliák gyártására használják, ahol a hővel szembeni ellenállás nem elvárás.

Az **INNEGRA** szál ugyancsak a poliolefin családhoz tartozó, polipropilén szálból kifejlesztett (USA) nagyobb teljesítményű szál tulajdonságait az I. táblázat tartalmazza.

I. táblázat

Tulajdonságok	US-rendszer	SI-rendszer
Sűrűség, ρ	0,84 g/cm ³	0,84 g/cm ³
Húzó szilárdság, σ	102 KSI	706 MPa
Fajlagos húzó szilárdság * σ	9,5 gf/den	84 cN/tex
Szakadási nyúlás, ϵ , %	9–11	9–11
Húzó modulus, E	2,18–1,96 MSI	15,0–13,5 GPI
Fajlagos húzó modulus, *E	200 gf/den	1766 cN/tex
Max. megengedett hőmérséklet	300 °F	150 °C
Ajánlott hőmérséklet	-120 °F – +212 °F	-50 °C – +100 °C

Az **INNEGRA** szál szilárdsági tulajdonság ugyan szerényebb, de az ehhez tartozó nagy nyúlás az ütőmunka szempontjából nagy jelentőségű.

A fentiekben bemutatott, a szerves polimerből induló új szálakat a szénszál kivételével a szerves anyagokhoz sorolják. A fenti szálakat kiemelkedő mechanikai tulajdonságok jellemzik, amelyeket különleges igényeket kielégítő területeken alkalmaznak. Fajtanként évente gyártott volumenük eltérő, de egyik sem éri el a 100 000 t/év kapacitást. Áruk azonban nagy (5–50 EUR/kg körüli tartományba esik), gyártási mennyiségük évenkénti növekedése a textil szálakon belül kiemelkedő (10% körüli). A szálak felsorolása nem teljes

körű, a jövőben az intenzív kutatási és fejlesztési munkának, valamint a fokozódó felhasználási igények következtében további nagy teljesítményű új szálak megjelenése várható.

Egyéb száljellemzők

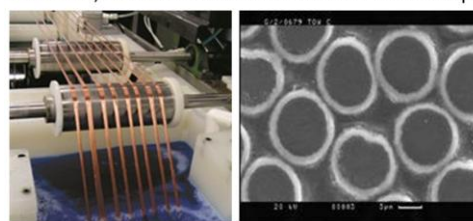
A **bi-komponens** a szálak a sokrétű felhasználói elvárásoknak igyekeznek megfelelni (14. ábra). A különböző olvadáspontú szálakból képzett bunda hővel szilárdítható. A szegmentált szálak nagy nyomású víz-sugárral felhasítva (EVALON eljárás) nagyon vékony, kiváló zaj- és hőszigetelő kelme gyártható [7].

Csoport	Két komponensű filament elrendezési lehetőségei
Side-by-Side Egymás mellett	50/50, 20/80, Különböző viszkozitású, ABA, Trilobal, Vezető
Core/Sheath Mag/Köpeny	50/50, 90/10, Excentrikus, Trilobal, Vezető
Matrix/Fibril Mátrix/Szál	Islands-in-the-sea Sziget a tengerben, Sziget a tengerben, Segmented-Pie / Multi-Layer Szeletelt/Több rétegű, Segmented-Pie Szeletelt, Multi-Layer Több rétegű

14. ábra

A **szálak felületének fémmel bevonásával** számos műszaki felhasználási területen egyre meghatározóbb; a szálak vezetőképessége, az EMI árnyékolás (**E**lectromagnetic **i**nterference **s**hielding → Elektromágneses interferencia árnyékolás), statikus feltöltődés megakadályozása, hővezető képesség növelése, stb. tulajdonságok változtathatók. A PA, de a szénszál felülete is bevonható, nikkellel, rézzel, ezüsttel, arannyal, stb (15. ábra).

Filament kábelok felületének fémező fordóba merítése, a fémezett szálak keresztmetszeti képe



15. ábra

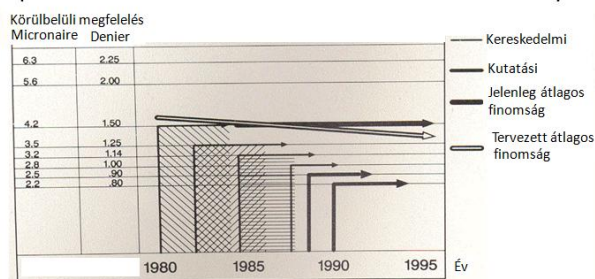
A szálfelületre felvitt bevonó anyag mennyisége a készanyag 10 – 65 %-át is kiteheti.

A szálak keresztmetszetét, a szálalak alakját (hulálamoságát), a felületkezelését (aktíválás, sizing felvitel), felület bevonását (pld. ezüstözés) a feldolgozási, a különleges felhasználói elvárásoknak megfelelően alakítják ki.

A textilgépek anyaggal érintkező felülete is döntő hatással a feldolgozhatóságra. Például a p-Aramidok és a szénszál esetén a szállal érintkező, vezető felületekre a narancshéj szerű kialakítás ajánlott.

A szálak finomítása általános tendenciát mutat. A vékony, a ruházati felhasználású szálak lágyabb tapintásúak, ami fiziológiailag kedvezőbb (16. ábra, II. táblázat).

Vegy szálak finomságának csökkentési tendenciája a pamutszálak mikronaire számozáshoz viszonyítva



16. ábra



17. ábra

zat). A nagy teljesítményű merev szálak estében a szál-átmérő csökkentésével a szálak szilárdsága és a hajlékonysága növelhető, ezáltal a feldolgozhatóság javítható. A rendkívül vékony nanoszálakat elektromos térben húzzák, kompozit mátrixba ágyazva különleges igények érhetők el.

II. táblázat

Szál fajta	Szálátmérő, d, μm	Finomság, dtex
PET	25	6
Szénnszál	7	0,7
Mikroszálak	0,1–10	$0,01 < < 1$
Nanoszálak	$0,01 < 0,1 \rightarrow 10 < 100 \text{ nm}$	$0,001 < < 0,01$

A textil technológiákat az elmúlt több mint két évszázadban a közepes erő-nyúlás tartományba tartozó természetes szálak (pamut, gyapjú, rost és selyem) feldolgozására (rövidszál-, hosszúszál-, rostszál-, hernyóselyem fonás, szövés kikészítés) alakították ki. Sajnálatos módon alapanyag fajtánként és földrajzi térségként más-más sajátos textilipari mértékrendszert (mechanikai tulajdonságokat súly/hossz vagy hossz/súly viszonyára vonatkoztatva fejezik ki) vezettek be, amely mértékrendszereket máig is használnak. A kompozitok területén az általános mérnöki mértékrendszerben a mechanikai tulajdonságokat keresztmetszetre vagy súlyra megadva különböző mértékegységeket használnak [5] [6].

A vegyi szálak megjelenésének kezdetén a vegyi szálakat a meglévő technológiákhoz, a természetes szálak tulajdonságaihoz igazították. A vegyi szálak tulajdonság-tartománya mára kibővült, mennyiségük túlsúlyba került, a korábban kialakított textiltechnológiákat a feldolgozandó új szálakhoz igazítják, ill. új feldolgozási eljárásokat dolgoznak ki.

A kompozitokhoz használt szálak kiszerelése, hossza, feldolgozása, sok esetben lényegesen különbözik a hagyományos fonalképzési technológiáktól, a termék használatával szembeni tulajdonság elvárások és alkalmazási területek is sokrétűek (17. ábra).

Az ismertebb szintetikus polimer szálakból kifejlesztett nagy szilárdság/merevségű szálak főbb tulajdonságait a III. táblázat tartalmazza.

III. táblázat

Különböző anyagok tulajdonságai

	C-IM Közepes modulusú	C-HMS Nagy modulusú szilárdságú	p-Aramid HM Nagy modulusú	PBO ZYLON HM	Dynema SK 76 PE	Innega PP	E- Üveg	Alumi- nium	Acél
Sűrűség ρ , g/cm ³	1,80	1,85	1,45	1,58	0,97	0,84	2,55	2,80	7,85
Szakadási nyúlás ϵ , %	1,93	0,63	2,8	2,5	3,8	9,5	2,5		1,8
Húzó szilárdság σ , MPa	5600	3600	2880	5800	3600	667	2470	350	2880
Fajl. húzó szilárdság σ , cN/tex (km)	301	194	200	370	370	79,5	95	13	36
Húzó modulus E, GPa	290	550	100	270	116	14,8	70	110	200
Fajl. húzó modulus E*, cN/tex (km)	16100	29730	6900	17200	13500	1766	2700	2700	2500
Hosszúidejű hőállóság °C	500	500				150			
Hőágulási együttható α , $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$	0,91	0,91	3,3	6			4-9	22,2	13
Olvasás/ Szublimáció °C	3600	3600		650			840	660	1500

Összefoglalás

A szálak fejlesztése – szorosan kapcsolódva a műszaki textiliákhoz és kompozit textil szálerősítő anyagokhoz – a szálgyártók erőfeszítésének, a polimer-, a szálgyártási technológia fejlődésének köszönhetően a hagyományosnak tekinthető vegyi szálakból kiindulva különleges funkciójú (hőálló, égésgátoló, vegyszerálló, antisztatikus, stb.) és nagy teljesítményű (szilárdság/modulus) szálakat hoztak létre. Az új textil szálak a különleges felhasználási területeik révén a fejlesztés meghatározóivá váltak.

Felhasznált irodalom:

1. Sloan F.: New developments in Vectran LCP fiber. Melliand Int. 2009/1-2. pp. 15-17.
2. L. Szabó, R. Szabó: New textile technologies, challenges and solutions. XXIII IFATCC International Congress Hotel Danubius Margitsziget Budapest, Hungary 08 - 10 May 2013 11 p.
3. Tólos G.: Kompozitok a textil szemszögéből. TMTE TexPlat kiadvány 2009.