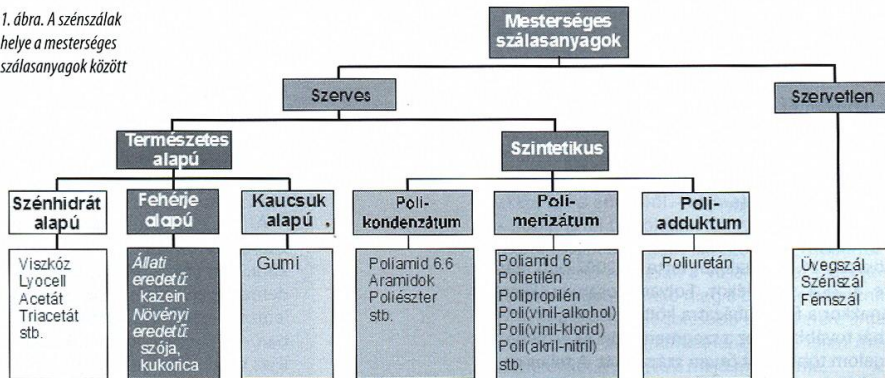


# A szénszál és az oxidált szál

A szénszálak és az oxidált szálak napjaink igen fontos textilnyersanyagai közé tartoznak. A szénszálak alkalmazása elsősorban a kompozitgyártásban jelentős, de készítenek belőle szöveteket és láncrendszerű kötőgépen uni- és multidirekcionális kötött termékeket, körkötött kelméket, nemszőtt kelméket, de fonatolással, sőt hímzéssel is dolgoznak fel szénszálat ill. azokból készült fonalakat, ipari célokra, vagy védőruházatok gyártására. Számunkra azért is nagy jelentőségű nyersanyagokról van szó, mert a volt Magyar Viscosagyár helyén alakult a nyergesújfalui Zoltek Zrt. ezeknek a szálaknak a gyártására tért át.

1. ábra. A szénszálak helye a mesterséges szálanyagok között



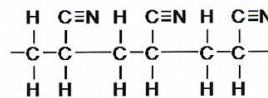
A szénszálak a szálanyagok hagyományos csoportosításán belül a szervetlen alapanyagú mesterséges szálanyagok közé tartoznak, oda, ahova az üveg- és a fémzálak is (1. ábra).

## Előállítás

A szénszálak előállítása valamilyen szerves (azaz szénatomokat is tartalmazó) vegyületből indul, amiből szálakat készítenek. Edison 1879-ben elszesített bambuszrostból készítette el első izzólámpáját. 1958-ban az USA-beli Union Carbide cégnél viszkózszálak hevítésével állítottak elő szénszálakat, de ez nem volt elég hatékony módszer, mert a viszkóz csak mintegy 20% szenet tartalmaz. Az 1960-as években kezdtek kísérletezni a jóval nagyobb széntartalmú poliakrilnitrillel mint kiinduló anyaggal (ún. prekuzorral), aminek széntartalma 55%. Ez már jó eredménnyel járt és ma is ez a leggyakrabban alkalmazott módszer: a szénszálak mintegy 90%-át ebből állítják elő. Ezt az eljárást használja a nyergesújfalui Zoltek Zrt. is.

Az 1970-es években kísérleteket kezdtek a 85% széntartalma folytán ígéretesnek látszó kátrányra, mint kiinduló anyaggal, ami a nyersolaj-feldolgozás mellékterméke és kiváló hajlítószilárdságú, azonban összenyomással szemben tanúsított gyenge ellenálló képessége miatt nem igazán vált be a szénszálggyártás céljára.

A legújabb fejlesztési irány az ún. szén nanocsövek előállítása. Ezek ezred milliméter átmérőjű csövecskék, amelyeknek – mint a nano méretű anyagoknak általában – egész különleges mechanikai és elektromos tulajdonságaik vannak. Textilipari alkalmazásuk egyelőre még nem időszerű.

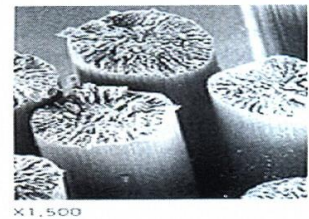


2. ábra. A poliakrilnitril szerkezeti képlete

A szénszálak előállítására ma leggyakrabban alkalmazott poliakrilnitril szál szerkezeti képét a 2. ábra mutatja. Látható, hogy a  $(\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN})$  monomerek láncolata szénatomokra épül és így alkot hosszú láncmolekulát. Poliakrilnitrilből kiindulva, a szálképzést követően a szálköteget (kábel) 200–350 °C-on oxigén jelenlétében hőkezelik, azaz oxidálják. Ennek során a molekulák oxigént vesznek fel és a hidrogén atomok nagy része eltávozik belőlük. A molekulalánc szerkezete is átalakul, a szénatomok hatszögletes gyűrű alakjában rendeződnek. Így jön létre az ún. oxidált szál, ami már felhasználható textilipari nyersanyag. Az oxidált szál 62% szenet, 21% nitrogént, 13% oxigént és 4% hidrogént tartalmaz.

Ha a hőkezelést nem szakítják meg, hanem nitrogén jelenlétében – a gyártási eljárástól függően – 1000–3000 °C-ra hevítik a szálakat, ennek eredménye a tényleges

szénszál lesz: ebben a széntartalom már 95–100%, a nitrogén és az oxigén távozik belőle. Miatán oxigén nincs jelen e folyamat során, a szálak nem égnek el ezen a magas hőmérsékleten. Amikor a nem-szén atomok eltávoznak a molekulából, a megmaradt szénatomok rendkívül erős kötésekkel kristályos formában rendeződnek, amelyek többé-kevésbé egy hossztengety mentén rendeződnek el. Ez adja ezeknek a szálaknak rendkívül nagy szilárdságát.



3. ábra. Szénszálak keresztmetszete 1500-szoros nagyításban

A gyártási folyamat befejezéseként mind az oxidált szálakat, mind a szénszálakat a további feldolgozást segítő felületkezeléssel, ún. sizing-gal (ejtsd: százing) látják el.

Mint a mesterséges szálanyagok általában, a szénszálak és az oxidált szálak is szálkötegekben – ún. kábelben – készülnek el; egy-egy ilyen szálköteg több ezer, esetleg több tíz- esetleg százezer szál – filamentet – tartalmaz. Ha a szálköteget tépéssel vagy vágással néhány milliméter vagy néhány centiméter hosszú darabokra feldarabolják, ún. vágott szálakat kapnak, ha pedig bizonyos számú szálát különválasztva, de teljes hosszában megtartva dolgoznak fel tovább, akkor filamentfonalat nyernek. A vágott szálakat ebben az állapotban, vagy – esetleg más nyersanyagú szálakhoz keverve – fonással dolgozzák fel, a filamentfonalak pedig közvetlenül is feldolgozhatók a kelmeképzési eljárások (sző-

vés, kötés, fonatolás) valamelyik változatával. A vágott szálakat műanyagokhoz keverve kompozitok készítésére, vagy pedig nemszított kelmék gyártásához használják.

### Száltulajdonságok

Az oxidált szálak és a szénszálak tulajdonságaikban és így felhasználási területeikben jelentősen különböznek egymástól. Tulajdonságaikat a továbbiakban a Zoltek Zrt. által gyártott Pyron oxidált szál ill. a Panex szénszál példáján mutatjuk be (lásd a táblázatban).

A táblázat adataiból látható, hogy a szénszálak igen nagy a szakító szilárdsága, de sokkal kisebb a szakadási nyúlása, mint az oxidált szálak. A rugalmassági modulus (amelynek számértéke egyenlő azzal a fajlagos húzóerővel, amely szükséges lenne a szál hosszának megkétszerezéséhez) a szál merevségére jellemző adat. Minél nagyobb ez a szám, annál merevebb anyagról van szó. Összefügg vele a hurokszilárdság, mert hiszen egy nagyon merev szál igen törékeny is.

A felhasználás szempontjából nagyon fontos még a szénszálak rezgéscsillapító hatása, korrózióval, kifáradással, az ibolyántúli (UV) sugárzással szembeni jó ellenálló képessége, jó nyíró szilárdsága és elektromos vezetőképessége, csekély hőtágulási együtthatója és vízfelvétele. A szénszál merevségét azzal szokták ellensúlyozni, hogy más szálakkal (pl. sok szempontból hasonló tulajdonságokat mutató aramidzálakkal) együtt dolgozzák fel.

### A szénszálak és oxidált szálak fő tulajdonságai

Az oxidált szál nagyon fontos tulajdonsága, hogy hő hatására nem olvad, normál levegőben nem ég, sőt kioltja a lángot. Erre utal a nagy LOI érték, az az oxigénmennyiség, ami az égéshez szükséges lenne. Gondoljuk meg, hogy a levegő oxigéntartalma 21%, azaz ha egy anyagnak ennél többre van szüksége az égéshez – márpedig ezt fejezi ki a LOI index –, akkor levegőben nem ég. (Összehasonlításként: a köztudomás szerint jól égő pamut LOI értéke 17.) Érdekes, hogy míg az oxidált szál jó hőszigetelő, a szénszál épp ellenkezőleg, jól vezeti a hőt. Hasonló különbség mutatkozik az elektromos vezetőképességben is. Az a körülmény, hogy az oxidált szál elektromosan szigetelő anyag, azt jelenti, hogy hajlamos az elektrosztatikus feltöltődésre, ami a textilipari feldolgozásban és egyes alkalmazási területeken zavaró lehet, így olyan felületi kezeléssel látják el, ami megakadályozza ezt a jelenséget. Az oxidált szál elektrosztatikus feltöltődési hajlama lényegesen kisebb, mint általában a mesterséges szálaknak, mert a szál egyensúlyi nedvessége magas, 8-10%, és mint köztudott a nedvesség jó „antisztatikum”.

Bizonyos alkalmazási területeken előnyös ezeknek a szálaknak a jó sav- és lúgállósága.

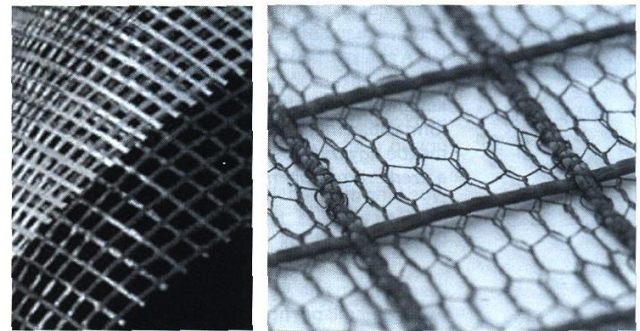
### Ipari alkalmazások

Az oxidált szálak és szénszálak ipari jelentősége igen nagy és alkalmazási területük egyre bő-

vül. A textilipar is feldolgozza, de elsősorban a kompozitgyártásban használnak nagy mennyiségben szénszálakat, bár ott is sok esetben valamilyen textilkelme formájában.

A 2007-ra vonatkozó adatok szerint a világon mintegy évi 34,5 ezer tonna szénszál gyártottak és a becslések szerint ez a mennyiség 2010-re 110 ezer tonnára emelkedhet. A termelésben jelenleg az USA vezet (35%), ezt követi Európa (30%), majd Japán (20%), a fennmaradó 15% megoszlik a világ többi részén. A jelenlegi kapacitásbővítési tervek-ből a szakemberek arra következtetnek, hogy 2010-re az arány úgy változhat, hogy Japán átveszi a vezető szerepet (46%), az USA 28%-kal, Európa 19%-kal képviselteti majd magát. A legnagyobb fogyasztók ma: Észak-Amerika (35%), Japán (15%), továbbá Kína, Tajvan, India, Banglades és Vietnam. Szénszálgyártó cégek az USA-ban, Japánban, Tajvanon, Kínában és Németországban vannak, de egyes cégek gyárai több más országban is működnek.

A gyártás kiinduló anyaga mindenképp a poliakrilnitril (90%), emellett használnak prekurzorként viszkózt és kátrányt is; a becslés szerint az utóbbi egyre nagyobb szerephez jut majd és az ebből készült szénszálak mennyisége jelenlegi 1,4 ezer tonnáról 2010-re 2,5 ezer tonnára emelkedhet.



4a és 4b ábra. Rácskelmék

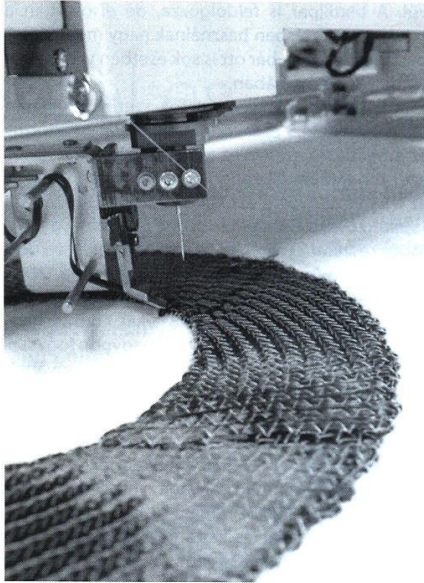
A szénszálból álló filamentfonal viszonylag nagyon merev, textilipari feldolgozása csak akkor lehetséges, ha a szálakat nem nagyon kell hajtogatni. Szövetek gyártására, vagy kötött kelmékben befektetett vetüleként használható. Újabbán készítenek olyan kelmét rácsszerűen egymásra fektetett fonalakból, amelyeket a kereszteződési pontokban összeragasztanak (4a ábra), vagy amelyeket pl. raschel-gépen egymásra merőlegesen, láncc- ill. vetülekbeftetéssel vezetnek be és egy kiegészítő fonalrendszerrel szemek útján kapcsolnak össze (4b ábra). Az ilyen szerkezetekben is használhatók szénszál fonalak, mert szinte teljesen egyenesen fekszenek a kelmében. Az oxidált szál sokkal hajlékonyabb, ebből akár még szemeket is lehet készíteni a kötőipari feldolgozás során; készülnek is ilyen kelmék körkötőgépen.

Egy nagyon érdekes eljárást a 2007. évi ITMA kiállításon mutattak be: himzőgépen fektettek rá sűrűn egymás mellé egy alapkelmére, meghatározott formát kialakítva, szénszál kábeleket, és ezeket himzési technikával rögzítették az alapkelmén (5. ábra). Az így elkészült fonalszerkezetet kompozit erősítőanyagként lehet felhasználni idomdarabok készítésére.

A szénszálak legnagyobb mennyiségét az űrtechnika, a katonaság, a szélenergia-hasznosítás, a járműgyártás (a kerékpároktól a motorkerékpár-

1. táblázat. A szénszálak és oxidált szálak fő tulajdonságai

	Pyron	Panex
Széntartalom, %	62	>95
Sűrűség, g/cm <sup>3</sup>	1,35–1,41 (típustól függően)	1,82
Szálméret, µm	13	7,2
Szálfínomság ill. szálméret	1,7 dtex	szálméret: 7,2 µm
Szakító szilárdság, MPa	260	3800
Rugalmassági modulus, GPa	8,5	242
Szakadási nyúlás, %	20–25	1,5
Hurokszilárdság, mN/tex	35	a mérhetőség határa alatt
Hővel szembeni ellenállás	jó hőszigetelő	jó hővezető
Éghetőség (LOI érték)	32–50 (típustól függően)	90
Elektromos tulajdonságok	elektromosan szigetel	vezeti az elektromosságot
Lúgállóság	híg oldatban kitűnő, tömény oldatban gyenge	kitűnő
Savállóság	híg oldatban kitűnő, tömény oldatban jó	kitűnő
Nedvesség felvétel, %	6–10	< 0,1



5. ábra. Kompozit erősítő szerkezet készítése hímzőgépen

okon és autókön át a hajóig és repülőgépig, sőt az űrhajóig) és a sportszergyártás használja fel. Az építőiparban szerkezetek megerősítésére használják. A fő alkalmazási forma a kompozitgyártás, azaz a szénzálakat vágottszálak, kábelek, vagy azokból készült szövött, kötött, fonatolt vagy nemszövött kelmék formájában műanyagba, kerámiába, sőt esetleg fémekbe ágyazzák be, ezzel adva nagy szilárdságot a szerkezetnek. Ily módon a legkülönbözőbb tár-

gyakat készítenek szénzálak felhasználásával: szélkerék-lapátokat, tartályokat, kerékpár- és motorkerékpár-vázakat, autókarszéria-elemeket, Formula 1-es versenyautók önhordó karosszériáit (egy ilyen teljes karosszéria a szerelvények nélkül mindössze 35 kg-ot nyom!), hajótesteket, helikopterek szárnylapátjait, féktárcsákat, tengelykapcsoló-tárcsákat, munkavédelmi sisakokat, bukósisakokat, teniszütőket, golfütőket, gördeszkákat, hajóárbcokat, horgászbotokat, lámpaoszlopokat stb. stb. Fontos szerepe van a szénzálaknak a mikroelektronikai iparban is, a félvezető-gyártásban. Az építőiparban a beton erősítésére, hidak, műemlékek megerősítésére használják, tekintve, hogy könnyebb és ugyanakkor erősebb, mint az acél. Szénzálakal erősített kompozitokból készítenek művétagokat is. Több helyen alkalmazható a szénzálak, és az oxidált szál az egészségre egyébként káros azbeszt helyettesítésére, pl. tömitések és hőszigetelő rétegek készítéséhez. Az a körülmény, hogy a szénzálak jó tapadó képességűek – amit felületkezelésükkel biztosítanak –, előnyös a kompozitokban való alkalmazhatóságuk szempontjából, mert igen hatékonyan tudnak részt venni az erőtvitelben.

Az oxidált szálak nehezen éghető voltát kihasználva ezeket szövött, kötött vagy nemszövött kelmék formájában különböző tűzvédelmi szerelvények (védőruházatok, tűzoltó takarók, hegesztő takarók, lüángálló bútorkárpitok stb.) készítésére is felhasználják. Hő- és vegyszerállóságuk szűrőbetétek, tömitések készítésénél hasznosítható.

#### Források

- Tólos J.-né, Kerekes Zs.: A Pyron oxidált szál a műszaki textiliák egyik fontos alapanyaga. *Magyar Textiltechnika*, 2004/4
- Loy, W.: *Chemiefasern für technische Textilprodukte*. Deutscher Fachverlag, 2001
- <http://acswebcontent.acs.org/landmarks/landmarks/carbon/car3.html>
- <http://hu.wikipedia.org/wiki/Sz%C3%A9n>
- [www.answers.com/topic/carbon-fiber?cat=technology](http://www.answers.com/topic/carbon-fiber?cat=technology)
- [www.f1technical.net/articles/3](http://www.f1technical.net/articles/3)
- [www.netcomposites.com/netcommerce\\_features.asp?1547](http://www.netcomposites.com/netcommerce_features.asp?1547)
- [www.zoltek.com/zoltekzrt/index.php](http://www.zoltek.com/zoltekzrt/index.php)

Lázár Károly