

# Kompozit-erősítő szálak szerkezetek

## Fiber reinforced structures for composites

<sup>1</sup> Szabó Rudolf – <sup>2</sup> Szabó Lóránt

<sup>1</sup> Óbudai Egyetem Rejtő Sándor Alapítvány

<sup>2</sup> Óbudai Egyetem, Rejtő Sándor Könnyűipari és Környezetmérnöki Kar  
Környezetmérnöki és Természettudományi Intézet

Kulcsszavak: szálak, fonalak, specifikus szilárdsági jellemzők, különböző kelme szerkezetek  
Keywords: fibers, yarns, specific strength characteristics, different fabric structures

### Bevezetés

A szálak és a szálakból, fonalakból, kábelekből kialakított kelme struktúrák tulajdonságai – az elvárásoknak megfelelő fejlesztésével – széles tartományt ölelnek fel, így sokrétű alkalmazást tesznek lehetővé. Minden oldással vagy olvasztással folyadék fázisba hozható anyagból készíthető szál. A szálak forma (keresztmetszetet a hossz nagyságrendekkel meghaladja) kiemelkedően értékes struktúra, számos különleges követelményeket támasztó, a hagyományos felhasználáson (ruházat, lakástextil) túlmenően a műszaki textíliák és a kompozit erősítők (FRP – Fiber Reinforced Polymers - szálerősítésű kompozitok) területén kulcsfontosságúak. A szál formájú anyagok szilárdsági tulajdonságai sok esetben számottevően nagyobb a tömb formához képest (1. ábra).

### Szerkezeti anyagok szál és tömb formájú szilárdsága

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

1. ábra.

### Polimerek

A **polimerek (műanyagok)** kőolaj termékekből a molekulák láncszerű (lineáris) összekapcsolásával sokféle, eltérő tulajdonságú szál készíthető (2. ábra).

A különböző molekula összetételű polimerekből készíthető szálak szerkezetek tulajdonságai a fémek szerkezetekhez viszonyítva összetettebbek, nem követik a Hooke-törvényt.

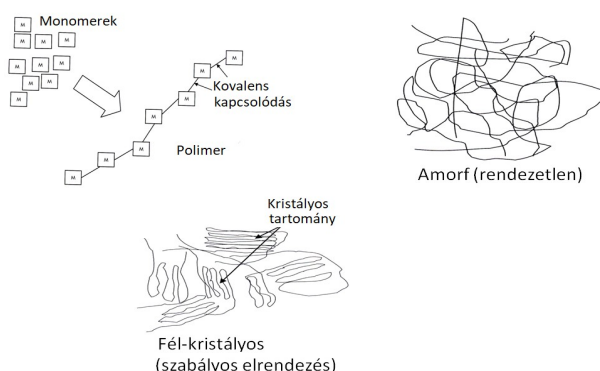
A szálak, fonalak mechanikai tulajdonságai az erő és nyúlás diagram alakjával jellemezhető. A polimerek reológiai tulajdonságai időben is változnak (kúszás), a terhelés megszűntével maradandó és késleltetett nyúlások is fellépnek. Hosszabb idejű állás alatt a feszített állapotú cérna (keresztcséve, szövettekercs) relaxálódik, felpuhul. A feszes polimer termékeket hővel kezelve a nyúlás csökkenthető, a méret stabilizálható, míg feszítetlen állapotú anyag hő hatására zsugorodik, rugalmassá tehető.

### Monomerből polimer

Mi a polimer?

Poly mer  
Sok Ismétlődés

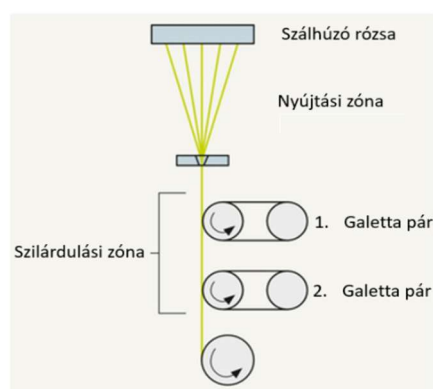
Polimer nagy (makro)molekula, számos ismétlődő egységből épül fel, szerves anyagoknál többnyire szénatomok kovalens kötéssel kapcsolják össze.



2. ábra.

Szálhúzás során a folyékony anyagot a kis átmérőjű furatokon átréselik, a megszilárdulási szakaszban nyújtják, így a láncmolekulák kiegyenesednek, a száltengegy irányába rendeződnek (3. ábra).

### Nyújtási folyamat

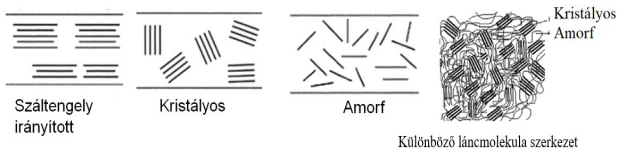


3. ábra.

A szálak finomságát a furatátmérő és a megszilárdulás közbeni nyújtása határozza meg. A láncmolekula összetételén, szerkezetén túlmenően a nyújtás mértéke, a szálhúzás sebessége és a szálátmérő is döntő hatású a szilárdsági és merevségi tulajdonságokra (4. ábra).

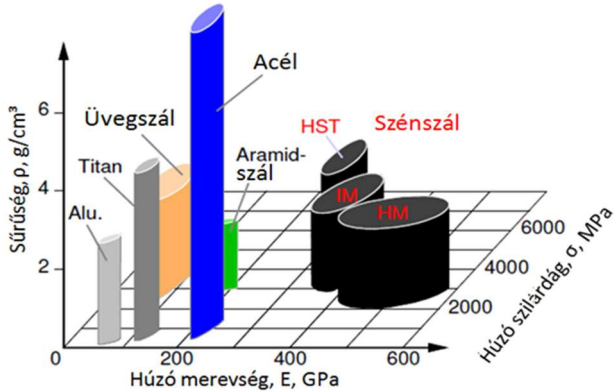
A kompozit erősítő szálak (a kompozitok is) sűrűsége a korábban általánosan használt acél szerkezeti anyagokhoz képest lényegesen kisebb (5. ábra).

Láncmolekulák elrendeződése a szálban



4. ábra.

Erősítő szálak és fémek mechanikai tulajdonságai

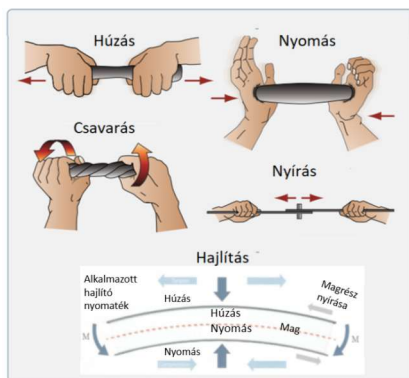


5. ábra.

Szilárd testek mechanikai igénybevételei

Szilárd testekre ható terhelések okozta mechanikai igénybevételek főbb fajtáit a 6. ábra szemlélteti.

Mechanikai igénybevételek



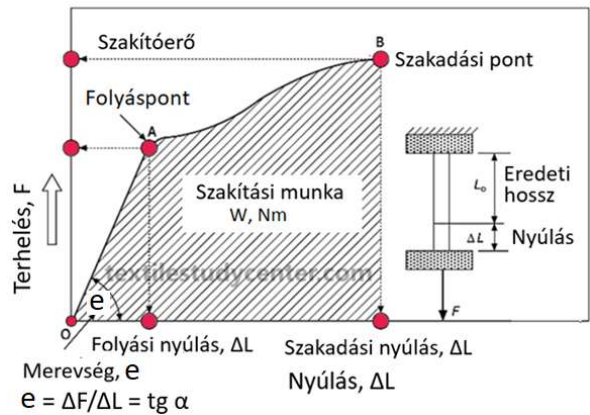
6. ábra.

A szakító (roncsolásos) vizsgálatokkal a szilárd testek szilárdsági, merevségi tulajdonágai meghatározhatók, a mérések alapján az ismert összefüggésekből az anyagok mechanikai tulajdonságainak értékei meghatározhatók. Szakításkor a gép befogó pófáiba adott hosszúságú anyagot rögzítenek. A mozgó befogó elmozdulásával az erő változása diagramban rögzíthető, a különböző anyagok mechanikai (szilárdság, nyúlás, merevség) tulajdonságai tanulmányozhatók (7. ábra).

A fémek (acél) ötvözetek diagramja jellegzetes, a terhelés kezdeti szakaszában a folyáspontig az erő növekedése a nyúlással arányos (Hooke-görbe lineáris). A diagram kezdeti szakaszának meredeksége (szögértéke,  $e$ , N/m) az anyagok merevségét mutatja. A folyási pontot elérve a változás jellege megváltozik a szakadási pontig. A fémek szerkezeteket a folyáspontig terhelve az anyag nem szenved maradandó deformációt, a terhelés megszűntével megtartja eredeti alakját.

A húzó specifikus szilárdság, nyúlás, szakító munka (görbe alatti terület) fontos jellemzője a hajlékony lineáris termékek (szálak, fonalak, cérnák) leírására.

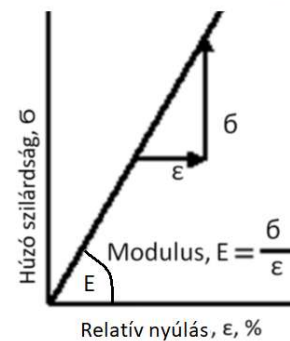
Erő-Nyúlás diagram



7. ábra.

Az elmúlt évtizedekben a szerkezeti anyagok területén az acél ötvözetek voltak a meghatározók. A szakítással meghatározott erő-nyúlás diagramból a fémek esetén az erőt a keresztmetszetre vonatkoztatva a **szilárdság (6, Pa)**, míg a nyúlást az eredeti hosszra vonatkoztatva a **relatív nyúlás (ε%)** meghatározható. A keresztmetszetre vonatkoztatott szilárdsági, merevségi értékek azonban csak az azonos sűrűségű anyagok összehasonlítását teszi lehetővé (8. ábra).

Szilárdság/Relatív nyúlás diagram



8. ábra.

A relatív **nyúlást (ε%)** a megnyúlt hosszt ( $\Delta L$ ) az eredeti hosszra vonatkoztatva ( $L$ ) %-ban kifejezve adják meg:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} 100,$$

ahol:

- $\epsilon$  – relatív nyúlás, %
- $L$  – feszítetlen minta kiindulási hossza, mm
- $\Delta L$  – a megnyúlt hossz, mm.

A mechanikai, keresztmetszetre vonatkoztatott **húzó szilárdság (σ)** értelmezése:

$$\sigma = \frac{F}{A},$$

ahol:

- $\sigma$  – Húzó szilárdság, N/m<sup>2</sup>→Pa (pascal); MPa (Megapascal = 10<sup>6</sup> Pa)
- $F$  – Szakítóerő, N
- $A$  – Keresztmetszet, m<sup>2</sup>.

Az angol mértékrendszerben a KSI (**Kilo Square Inch**) használják, ahol négyzetinch keresztmetszetű anyag elszakításához szükséges erő ponda-ban (1 KSI ~ 6,895 MPa).

**Húzási merevség (húzási rugalmassági modulus) (E)** értelmezése:

$$E = G/\epsilon,$$

ahol:

E – Húzási merevség, Pa  
(húzási rugalmassági modulus)  
ε – Relatív nyúlás, %

A polimer szálak anyagok tulajdonságai és az azokat leíró bonyolultabb összefüggések számos tekintetben eltérnek a fémek anyagok tulajdonságaitól.

A szálak szerkezetek (a természetes szálak többsége szabálytalan keresztmetszetű), a fonalak, cérnák átmérője, keresztmetszete egyértelműen nem, vagy nehezen határozható meg. Emiatt a keresztmetszet megkerülésére a textiliparban a finomság megadására a hossz és a tömeg (súly) vonatkozásában több finomsági rendszer alakult ki. A direkt lineáris mértékrendszerek (tex, dtex, den) az adott hosszúságú anyag tömegének megadásával fejezik ki a finomságot (pl. tex = g/1000 m).

A polimerek és kompozitok sűrűsége számottevően kisebb az acél ötvözetekétől, emiatt a különböző sűrűségű szerkezeti anyagok mechanikai tulajdonságait a faj-súlyra (tömegre) vonatkoztatva a **specifikus szilárdsági** jellemzőkkel (cN/tex → km) ajánlott kifejezni.

A **specifikus szilárdság (σ\*)** a termék súlyára vonatkoztatva (szemléletes kifejezése; a Föld gravitációs terében azonos keresztmetszetű anyag milyen magasra emelhető, amíg a saját súlya miatt elszakad) szemléletesen megfogalmazható:

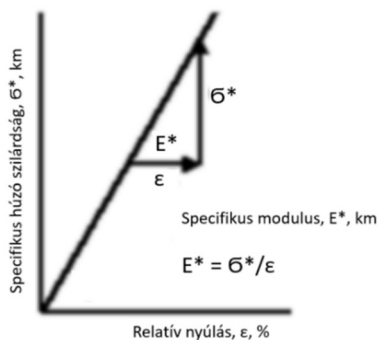
$$\sigma^* = \frac{\sigma}{\rho g},$$

ahol:

σ\* – Specifikus szilárdság, km → cN/tex\*,  
σ – Mechanikai szilárdság, Pa,  
ρ – Szál sűrűsége, g/cm³  
g – Gravitációs állandó, ~10 m/s²  
tex\* – Jelentését súlyra értelmezve;  
1000 m fonal súlya cN-ban.

A **specifikus merevség (E\*)** is hasonló a gondolatmenettel határozható meg (9. ábra).

Specifikus szilárdsági/relatív nyúlási diagram

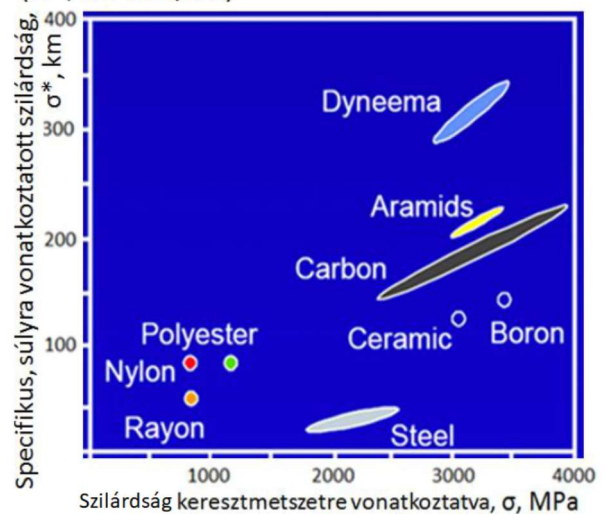


9. ábra.

A szilárdság a két különböző számítási rendszer esetén (keresztmetszetre (Pa), súlyra (tömegre (m²/s²) vonatkoztatva specifikus (cN/tex, km) mértékrendszer jelentősen különböző sűrűségű anyagok esetén nagy eltérést

mutat, a valós összehasonlításra csak a specifikus rendszer alkalmazható (10. ábra, 1. táblázat).

Különböző szálak keresztmetszetre (σ, Pa) és súlyra vonatkoztatott (specifikus) szilárdsága (σ\*, km→cN/tex)



10. ábra.

Miért a CFRP anyagok?

| Paraméter                             | Szénzál | Üvegszál | Alumínium | Acél     |
|---------------------------------------|---------|----------|-----------|----------|
| Sűrűség, ρ, g/cm³                     | 1,8     | 2,6      | 2,7       | 7,8      |
| E-modul, E, GPa                       | 230     | 75       | 70        | 210      |
| Specifikus E*-modul, E*=E/ρ g, 10³ km | 12,8    | 2,8      | 2,6       | 2,7      |
| Feszültség, σ, MPa                    | 3500    | 2600     | 300-700   | 400-1200 |
| Specifikus feszültség, σ*=σ/ρ g, km   | 195     | 10       | 11-26     | 5-15     |

1. táblázat.

CFRP+ – Carbon Fibre Reinforced Polymers/Plastics (SzénSzál Erősítésű Polimerek/Műanyagok)

## Szálátmérő, szálfelület hatása

A szilárd testek a felületen érintkeznek, kapcsolódnak a környezettel, így a felület tulajdonságai (súrlódás, tapadási erő, korrodálás) döntően befolyásolják a feldolgozhatóságot, használhatóságot, élettartamot. A fémek merev szerkezetek esetén is a felületi egyenlőtlenséget, keménységet, az érintkező testek közötti kapcsolódást, a felület tisztaságát, a súrlódási viszonyok csökkentését (kenéstechnológia) külön-külön vizsgálják, elemzik, javítják.

A sokféle szálak formájú anyag felületének kialakítása, a hajlékony anyagok különböző feldolgozása, eltérő használata, módosítása fontos jellemző.

A **szálátmérő, a szálak felülete**, a szálfelület tömeghez viszonyított aránya fontos paraméter a szálak erősítésű kompozitok tulajdonságaira. A mesterséges szálgyártás általános tendenciája a szálátmérő csökkentése (11. ábra).

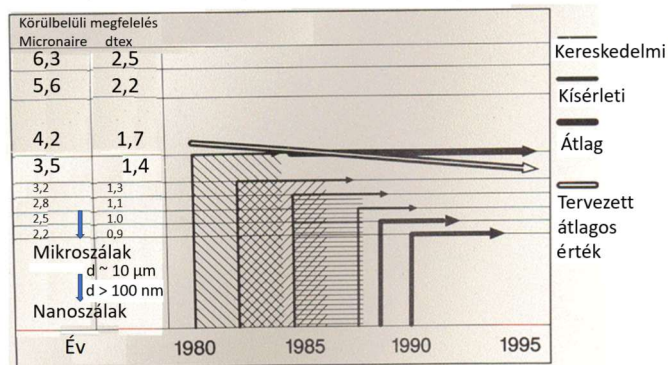
Az olvadékból húzott szálak esetén a vékony, nagyobb fajlagos szálfelület esetén az egyenletesebb hűtésnek köszönhetően a feszültség-eltérések csökkentésével kevesebb a hibahely (12. ábra).

A szálátmérő csökkentésével a szilárdság növekedése, a vékonyabb szálak hajlékonyabbak, ami megkönnyíti a feldolgozhatóságot, a végeredmény alakíthatóságát (13. ábra).

A hibahelyek számának csökkenésével magyarázható a szilárdság növekedése (14. ábra)

### Mesterséges szálak finomság-változás tartománya

(Összehasonlítás a pamut Micronaire értékkel)



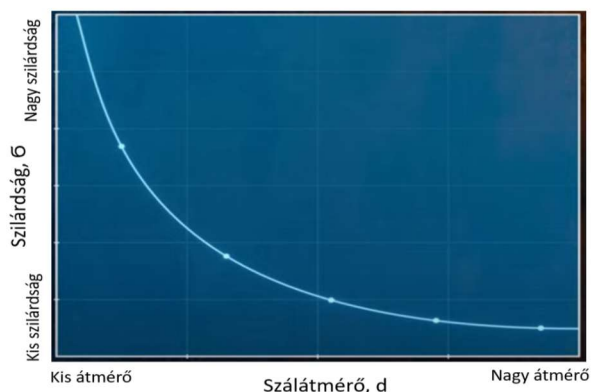
11. ábra.

### Szálátmérő csökkenésével a hibák csökkenése



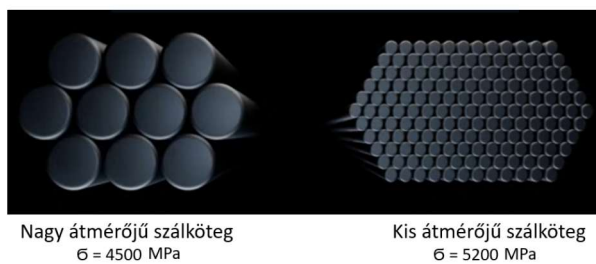
12. ábra.

### Szálátmérő csökkentésével a szilárdság növekedése



13. ábra.

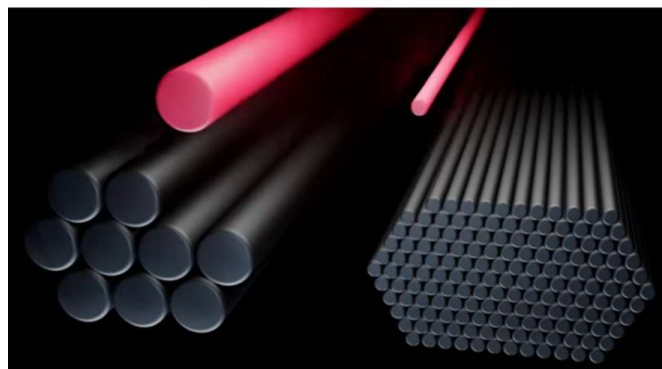
Szálátmérő csökkenésével a hibahelyek száma is csökken, ezáltal a szilárdság növekszik



14. ábra.

Kompozitok esetén a lényegesen különböző mechanikai tulajdonságú erősítő szál és a mátrix között kapcsolódásában fontos a fajlagos felület nagysága. A szálak felületén a két anyag közötti gyenge kapcsolódás a nagy felülettel kompenzálható. Emiatt ugyanolyan szál/mátrix arány esetén a vékony szállal erősített kompozit szilárdsága nagyobb (15. ábra).

Szálátmérő csökkenésével növekszik a szál fajlagos felülete, ezáltal ugyanazon erősítőszál arány esetén növekszik a kompozit szilárdsága



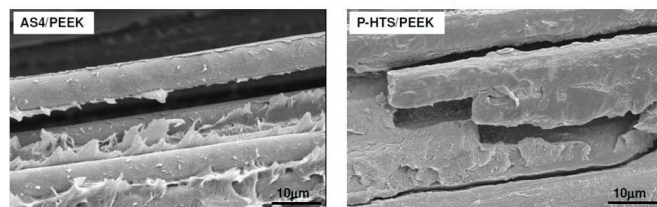
15. ábra.

A mesterséges szálak általában kör keresztmetszetűek, így a szálátmérő és a szál sűrűségének ismeretében az 1gramnyi szál felülete meghatározható ( $m^2/g$ ). A szálátmérő csökkentésével a szál térfogata ( $l \times d^2 \pi / 4$ ), tömege csökken, a felület/térfogat (tömeg) arány növekszik.

Példa: 1 g tömegű, 0,7 dtex finomságú,  $d = 7 \mu m$  átmérőjű szénszál hossza  $l = 14\,300 m$ , amely hengeres test felülete  $A = d \times \pi \times l \sim 0,3 m^2$ .

A nagy fajlagos szálfelületen túlmenően fontos még a szálfelület aktiválása, kezelése, a megfelelő sizing felvitelére a kapcsolódás elősegítésére (16. ábra).

### Szál-matrix adhézió kapcsolódás



⇒ Növekvő szál-matrix adhézió

16. ábra.

A **pórusos szerkezetű, nagy fajlagos felületű szálak, struktúrák** számos alkalmazás során előtérbe kerül:

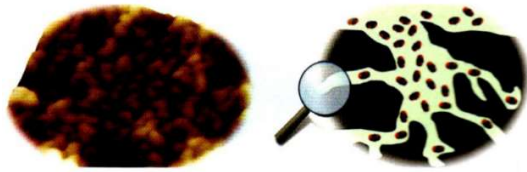
Üzemanyag cella GDL (Gas Diffusion Layers) oxidált nemszótt szénestített kelme kémiai ellenálló, pórusos szerkezet a hidrogén, a levegő áthatolására, elosztására és a víz elvezetésére kulcsfontosságú a hidrogén üzemanyagcellás elektromos hajtás elterjedésében.

Ugyancsak a kis pórus méretű szálak szerkezetű, nagy fajlagos felületű nemszótt kelme akkumulátor membrán.

Anód és katód szerkezeti kialakításában is előnyös a nagy fajlagos pórusos struktúra.

**Szuperkondenzátor** (SC – SuperCapacitor) elektroda anyaga aktivált szénszál (ACF – Activated Carbon Fibers). A regenerált szálak szénestítésével a szénszál szerkezetében kialakuló csatornák a fajlagos felületet (SSA – Specific Surface Area) rendkívüli módon megnövelik ( $F = 2700 m^2/g$ ) (17. ábra).

CO<sub>2</sub>-vel aktiválás – nagy porozitású aktivált szénzál (ACF)

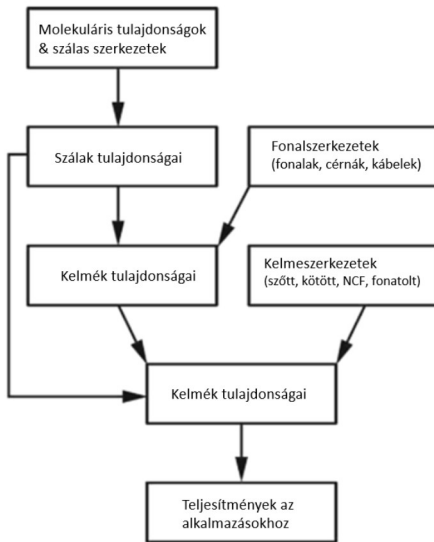


17. ábra.

### Fonalakból, kábelekből kialakítható kelme struktúrák

A szálakból különböző lineáris 1D termékek (font fonal, filament, cérna, kábel) készíthetők, amelyekből többségében 2D termékeket, néhány esetben 3D kelme-struktúrákat alakítanak ki (18. ábra).

Szálak tulajdonságainak hatása a használatra  
(Kölcsönhatás: szálak, fonalak, kelmék)



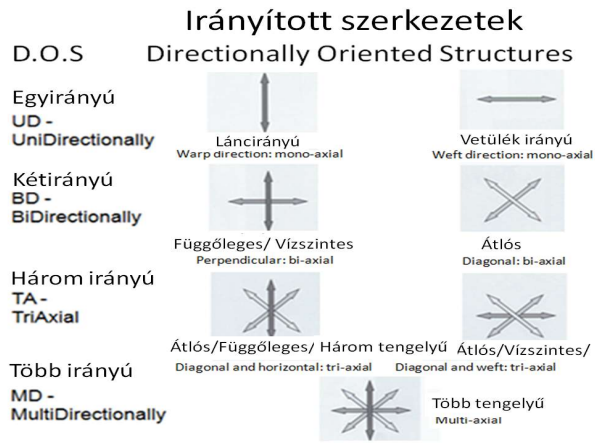
18. ábra.

A műszaki textíliák, kompozit erősítő struktúrák gyakran a mechanikai igénybevételeknek megfelelően irányított szálstruktúrájú kelméket igényelnek (19. ábra).

A szénzál a nagy specifikus merevsége és szilárdsága, kis nyúlása ( $\epsilon=1-1,5\%$ ) és más előnyös tulajdonságai miatt ideális kompozit erősítő, azonban nagyon törékeny. Feldolgozása különleges figyelmet igényel, a fékezésre, a kábelt különleges, narancshéjhoz hasonlóan kialakított terelőkön célszerű vezetni (20. ábra).

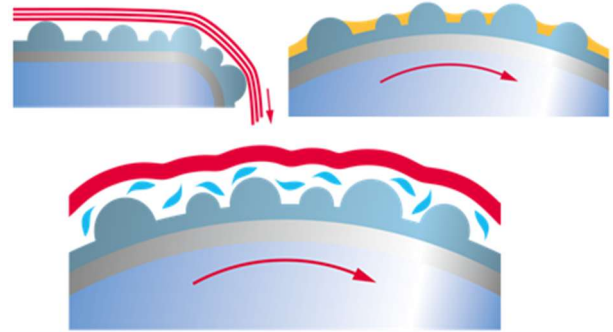
A kompozitba ágyazott textil szerkezetek – különösen a nagy merevségű szénzálak – a kimagasló szilárdsági és merevségi tulajdonságai akkor érvényesíthetők, ha a terhelés irányába egyenes helyzetűek. Például a vas-tag szénkábelből készült szövetben a fonalrendszerek kereszteződése miatt a szálak görbült alakja a kompozit merevségi tulajdonságait tekintve hátrányos (21. ábra).

A kompozit erősítő struktúrák esetén a nagyobb merevséget a nagy szilárdságú, kis nyúlású szálak, kábelek egyenes (nem görbült (NCF – Non Crimped Fabric)) helyzetével érhető el (22. ábra).

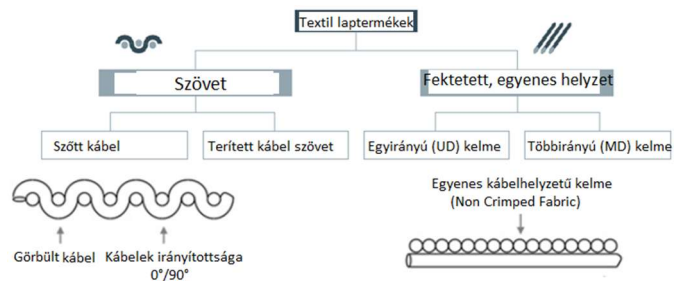


19. ábra.

Szénzál kábel vezető elemeinek narancshéj szerű felületén kialakuló légpárna

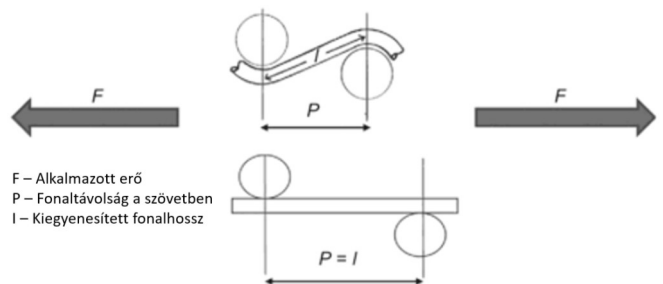


20. ábra.



21. ábra.

Terhelés hatására a szövetben a kereszteződő görbült fonal alakjának változása

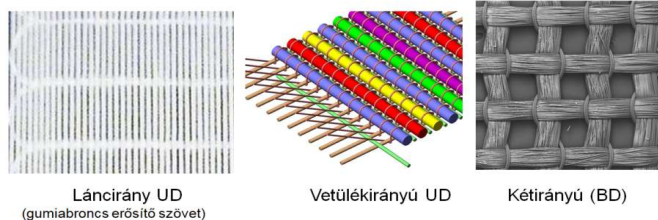


22. ábra.

Az egyenes kábelfektetés a kompozit-tulajdonságok tekintetében ideális. Az egyenes szál- kábelhelyzet különböző technológiákkal valósítható meg.

**Szövással** egy irányú UD (UniDirectionally) (vetülék- és láncirányú is) vagy kétirányú BD (BiDirectionally) szövetszerkezetek alakíthatók ki (23. ábra).

### NCF kompozit erősítő szövetszerkezetek



23. ábra.

A **láncirányú** UD szövet jellegzetes példája az abroncskord, amelynek a vastag, nagy szilárdságú, nagy láncsűrűségű cérnákat a ritka, vékony vetülékek kapcsolják össze a további műveletek során a szövet kezelhetőségének (befűzés) elősegítésére.

A **vetülékirányú** UD szövet esetén a vastag, durva merev vetüléket félforgófonalas kötással rögzítik, a vetülék a szövetben közel egyenes helyzetű.

**Kétirányú** (BD) szőtt szerkezet esetén a merev kábelek helyzete a forgófonalas kötőlánccal rögzíthető.

A sodratlan terített szénzál kábelekből kis területi sűrűségű, a keresztveződési helyen kis görbületű szövetszerkezet különösen nagy hajlékonysági merevségű kompozit szendvics struktúrák kialakítását teszi lehetővé. A szénszövetet átlátszó mátrixba ágyazva a szövetkép is fontos kritérium (24. ábra).

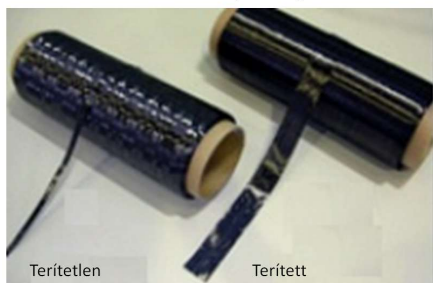
### Szénzál tow és terített kábel szövet szerkezete



24. ábra.

A szénzál kábel (tow) terítéssel (feszítés alatt iránytöréssel vezetve, rezgetve) kb. ötszörös szélességű szalagformára kiteríthető (15 – 30 mm), amelyben a rétegszám, ezáltal a szalag vastagsága is lecsökken (25. ábra).

### Szénkábel (Tow)

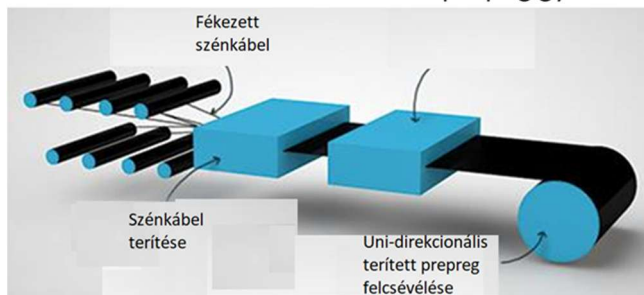


25. ábra.

A terített kábelekből terített tekerccs is készíthető, ami a befektetést megkönnyíti (26. ábra).

A terített kábel szövésére sajátos, egyoldali vetülék behúzó vetülékvivő szövőgép javasolt. A szádnilyáson üresen átlendülő fogófej a baloldalon megfogott vetüléket középátadás nélkül egy fázisban behúzza a szádnilyásba (lásd Dornier 27. ábra).

### Uni-direkcionális terített szénzál prepeg gyártása



26. ábra.

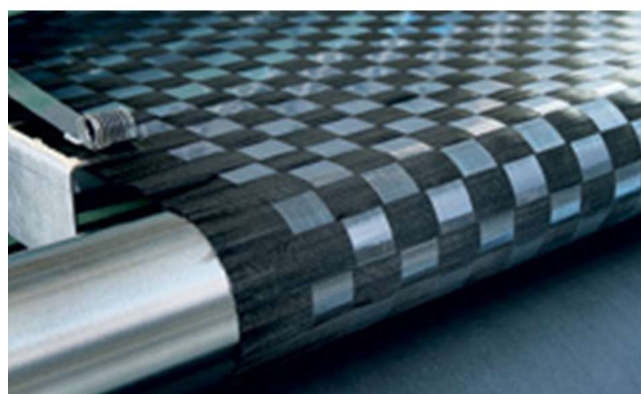
### Terített kábel szövőgép



27. ábra.

A hőre lágyuló mátrixtal átítatott, kikeményített vetüléket a borda tolja a szövetszélhez. A terített szénzálból vékony, minimális keresztveződésű (irányváltású) (NCF – Non Crimped Fabric), kis területi sűrűségű szövet gyártható (28. ábra).

### Terített tow szövet

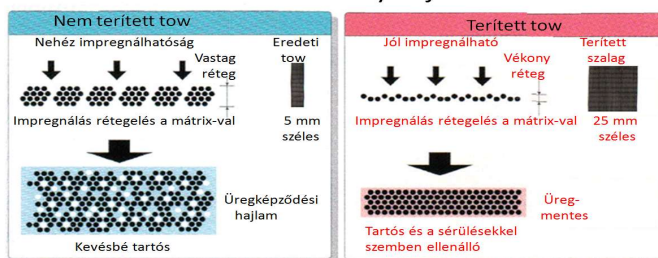


28. ábra.

A terített szálstruktúra erősítésű kompozit homogénebb, egyenletesebb szál/matrix elrendezés kialakítását teszi lehetővé (29. ábra).

A szövetek másik végléte az erősen „kiszótt” nehéz tartomány, amely szövetek nagy láncfeszültséggel, nagy bordabevevési erővel ( $F \sim 5 t$ ) szőhetők. A szövetek szőhetőségi határát, az ún. szőhetőségi indexet sokféle megfontolás alapján elméleti számítások és gyakorlati tapasztalatok alapján egy számértékkel fejezik ki, vagy diagramokban adják meg.

Terített szénaszál tow előnyös jellemzői



29. ábra.

Az elektronikus vezérlésű, motoros nyűstzsinór mozgatású Jacquard-géppel felszerelt szövőgépen bonyolult szerkezetű, akár 100 mm (10 cm) vastagságú 3D szövetsztruktúrák gyárthatók (30. ábra).

3D Dornier szövőgép UNIVAL Jacquard-géppel



30. ábra.

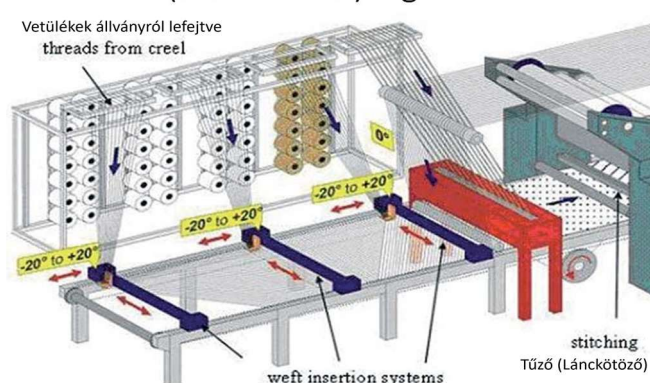
**Kötéssel (vetülék- és láncrendszerű)** a kelmeképzéshez szükséges kisebb elmozdulások révén nagyobb teljesítmények érhetőek el, a kötött kelmében a fonalak alakja nagy görbületű, a kelmék jellemzője a nagy nyúlás, alakíthatóság.

A lánckötőgépen a kötési zónán viszonylag egyszerűen megvalósítható az egyenes helyzetű kábelfektetés (a kötőfonalakat csak a mechanikai tulajdonságokat meghatározó szerkezetek rögzítésére használják), ezáltal nagy merevségű kelmestruktúrák kialakítására alkalmas. A lánckötőgépen a kábel több irányú fektetésével lehetővé válik a felhasználási igényeknek megfelelően irányított kompozit erősítő (szénaszál (Tow) és üveg kábel (Roving)) kelmék gyártása.

A **NCF (Non Crimped Fabric - Nem ívelt kábelfektetésű kelmé)** gyártása a lánckötő géphez hasonló elrendezésű technológia kiválóan alkalmas a különböző irányba fektetett kábelfektetésű kelmék kialakítására. A kelmé szerkezetét ún. **tűzéssel (stitching)** rögzítik. A műszaki textíliák, de különösen a kompozit erősítő textil szálak kis nyúlásúak ( $\epsilon = 1-3\%$ ), nagy merevségűek, törékenyek. Emiatt a szálak, fonalak feldolgozáskori hajlítást egyrészt kerülni kell, másrészt a kelmébe, ill. a mátrixba beágyazva is az egyenes szálhelyzet a kívánatos.

A merev, egyenes alakú egy vagy több különböző irányba fektetett sodratlan üveg- vagy szénkábeleket alul keresztirányba befektetett vékony üvegfonalakra, vagy nemszött kelmével közbe fogva felülről PES tűzőfonalakkal lekötve rögzítik (31. ábra).

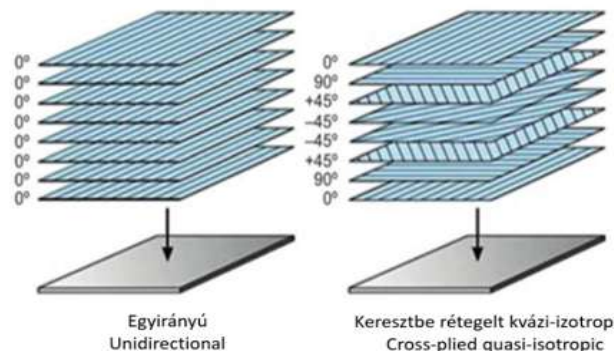
Kompozit erősítő MD kelmé tűzéssel (lánckötéssel) rögzítve



31. ábra.

**Laminálással** az UD kelmék különböző irányba egymásra fektetésével és összekapcsolásával is készíthetők MD struktúrák (32. ábra).

Laminált kompozitok sematikus ábrázolása  
Schematic representation of laminated composites

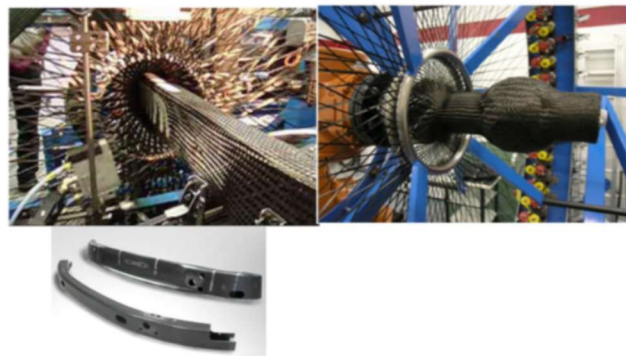


32. ábra.

A **fonatolás (braiding)** – különösen a műszaki és kompozit anyagok, tömlők és szerkezeti anyagok – a hatékony feldolgozásnak köszönhetően – jelentősége előtérbe került, különböző méretű térbeli struktúrák (preform) kialakítását teszi lehetővé (33. ábra).

Fonatolt előforma gyártása

Braided preform production

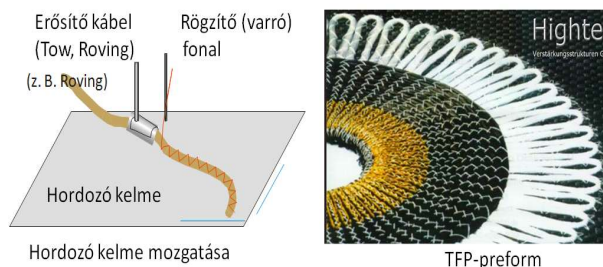


33. ábra.

Az átlósan elhelyezkedő merev kábelek ellenére a kelmé szerkezetéből adódóan a termék a gyártási hosszirányba nyúlik, ami a feltekerés, felhasználás szempontjából előnyös.

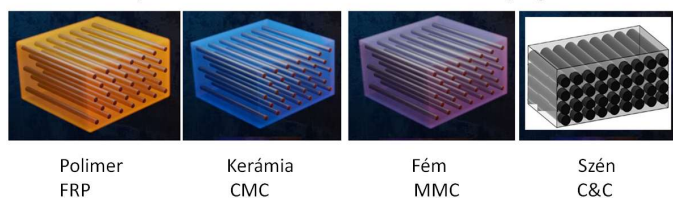
**Hímzés** (Embroidery) esetén a kábelt a fektető cső a kívánt alkatrész formának megfelelően mozgatott alapkelmére fektetik, amelyet a hímző cérnával rögzítenek (34. ábra).

### Hímzési technológia alkalmazása (TFP-eljárás Taylord Fibre Placement) preform gyártására



34. ábra.

### Kompozitok különböző mátrix anyagokkal



35. ábra.

Hímzéssel készítik például az autófelnik szálerősítő szerkezetét, így a könnyű, nagy szilárdságú szerkezettel

az energia és a CO<sub>2</sub>-kibocsátás számottevően csökkenthető.

A ma használatos, különleges műszaki elvárásoknak megfelelő kompozitokat (polimer, kerámia, szén, fém mátrixú) a 35. ábra szemlélteti.

### Összefoglalás

A műszaki, de különösen a kompozit erősítő szálak nagy szilárdságúak, kis nyúlásúak, feldolgozásukra a korábban a ruházati és lakástextiliák gyártására kialakított technológiákat tovább fejlesztik, kiegészítik. A szálak szerkezetű anyagokból kiváló tulajdonságú, jól alakítható, bonyolult, könnyű struktúrák gyárthatók. A könnyű, kis sűrűségű szálak és szálerősítésű kompozitok mechanikai tulajdonságai a specifikus (súlyra, tömegre) vonatkoztatott jellemzőkkel írható le. A gyorsan változó, fokozódó műszaki elvárások támasztotta igények megvalósításában a kompozitok használata kulcsfontosságú.

### Felhasznált irodalom:

- [1] Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: A polimertechnika alapjai Műegyetemi Kiadó 2000. 455 p.
- [2] Steinmann: Carbon fibers: an overview on manufacturing, research and market ITA/RWTH Aachen University Mitteilungen 2015.
- [3] Szabó R. - Szabó L.: Szerkezeti anyagok és az energia kapcsolata XXVI. Enelko – XXXV. SzámOkt Déva, 2025. október 9-12
- [4] Lindauer Dornier GmbH cégnél tett látogatás tapasztalati (2025. szept. 16).