

Szött 3D kompozit erősítő szerkezetek

Szabó Rudolf

Rejtő Sándor Alapítvány
ingtex@t-online.hu

Szabó Lóránt

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

Kulcsszavak/Keywords: Szénzál, szövés, 3D szövet készítés, gyártás, kompozitok
Carbon fiber, weaving, 3D fabric formation, manufacture, composites

Abstract

There are various manufacturing processes for interlacement of yarns to produce three-dimensional (3D) fabric structures as preforms for textile composites. The manufacturing route is determined by the end-use of composites and therefore the composite industry does not solely rely on one method but a selection of methods for fabric formation. This paper attempts to make a comprehensive overview on fabrication methods that can be used for making 3D textile woven preforms for composites. There are many different views on what 3D woven fabrics are, but one common understanding is that 3D fabrics must have substantial dimension in the thickness direction formed by layers of fabrics or yarns. In this paper we classify 3D woven textiles into those that can be manufactured by the conventional weaving technology and those that require specially made weaving machines/device. This paper attempts to provide useful information for both the textile and composite engineers in developing textile composites for advanced applications.

1. Bevezetés

A szövés az egyik legősibb ember által művelt technológia. Szövással általában két, egymásra merőleges lineáris fonalrendszer (lánc és a vetülék) keresztezésével (BD, BiDirectional) lapszerű (2D, kétdimenziós) terméket állítanak elő, a szövet vastagsága nem hangsúlyozott paraméter. Szövással korábban elsősorban ruházati felhasználású termékeket készítettek, az esztétikai szempontok mellett a jó melegtartás, a hajlékonyság, az alakíthatóság, a tartósság és a rugalmasság volt a fő követelmény. A szövetek vastagsága általában 0,3–2 mm, ami a fonalak átmérőjétől, sűrűségétől függően adódó méret. A szövetek alakíthatóságát, rugalmas tulajdonságait számos paraméter (alapanyag, fonal- és kelmeszerkezet, kikészítés) befolyásolja.

A ruházati célú szövetek könnyítésére, vékonyítására, a rugalmas tulajdonságok növelésére törekednek, ami a szálak vékonyításával, terjedelmesített fonalszerkezettel vagy az előfeszített elasztán-filamentet tartalmazó cérnaszerkezetekkel tovább növelhető.

A műszaki, kompozit erősítő textilszerkezetektől az elvárt tulajdonságok a legtöbb esetben lényegesen eltérnek a ruházati célra használtaktól. A műszaki szálak, a

kompozit erősítő textilak nagy szilárdságúak és kis nyúlásúak, merevek, törekenyek. A láncemelés (lánc-kötés mintázással), a szád kialakításával több rétegű (egymás fölött több vetülék tartalmazó, vastagabb 3D) merev szövet-szerkezet alakítható ki (1. ábra).

A frottír-, pliszé-, plüss-, szőnyeg lakástextília technológiák kifejlesztésével a szövet felületén lágy, puha, ún. flóros kelmefelület (három tengelyirányú szövet) alakítható ki, amely szövetszerkezetek 3D-nek tekinthetők.

A különböző szerkezetű kelmék alakíthatóságát a 2. ábra szemlélteti.

2. Kompozit erősítő szerkezetek jellemzői

Kompozit erősítésre nagyjából nagy szilárdságú, kis rugalmasságú szén-, üveg-, bazalt vagy aramid szálú sodratlan filamentkábel (roving, tow) használnak. A kiemelkedően nagy szilárdsági és merevségi tulajdonságok elérésére a lapképzés során a szövetben is az egyenes szálhelyzet megtartására törekednek, a kábeleket, a kelmék kábelirányát a mechanikai igénybevételek irányának megfelelően ágyazzák a mátrixba. A kikeményítés után nagy specifikus szilárdságú és -merevségű, sok esetben tér, ún. 3D formájú anizotróp szerkezeti anyagok ún. kompozitok készíthetők.

A szál-, fonal (kábel) és szövet erősítésű kompozitokban a szálak irányítottasága a 3. ábrának megfelelően lehetséges.

Aprított vagy rövid szál örleményt mátrixba keverve

Különböző szálerősítésű kompozit struktúrák

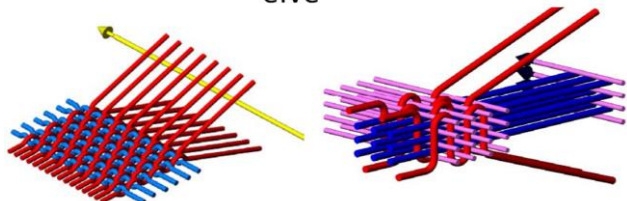
Irányítottság Kiterjedtség	Izotróp Nem irányított	Egyirányú UD – UniDirectionally	Kétirányú BD – BiDirectionally	Három irányú TA – TriAxially	Többirányú MD – MultiDirectionally
1D		Kábel, tépelt szálak			
2D	Aprított szálak bunda	Előmpregált lap	Váson szövet	Triaxiális szövet/kelme	Többtengelyű szövet/kelme
3D	Irányított szálak	3D fonatolt	Több láncrétegű szövet	3D szövet	5 tengelyű kelme
Lapszerű elemek	Vágott terített szálak	Laminált kelmék	H és I rudak	Méhsejt felépítés	Atomhajtású rakéták torok kialakítása

3. ábra

2D szövés

3D szövés

elve



Vetésperiódusonként egy vetülékbevetés
Ívelt fonalhelyzet
Szövetvastagság lehatárolt

Vetésperiódusonként több vetülékbevetés
Egyenes fonalhelyzet
Szövetvastagság nagy

1. ábra

Szövésel kialakítható 3D struktúrák

Szerkezet	Felépítés	Forma
Tömör	Többrétegű Merőleges Ferde rögzítésű	Összetett szerkezet, szabályos vagy kúpos geometria
Üreges	Többrétegű	Egyetlen, egyenletes felületek, különböző, több irányú alagút
Kagylóhéj alakú	Egyrétegű Többrétegű	Gömb alakú és nyitott felületek
Csomóponti	Többrétegű Merőleges Ferde rögzítésű	Csőcsomópontok és tömör csomópontok

4. ábra

a szálak iránya véletlenszerű, a szerkezet izotróp, a mechanikai tulajdonságok minden irányba azonosak. Az irányított szálak vagy a „végtelen” hosszúságú filamentek az igénybevételeknek megfelelő elrendezése sajátos, sok esetben bonyolult textiltechnológiákkal valósítható meg (advanced materials).

A műszaki célú és kompozit erősítőként használt textíliák esetén a nagyteljesítményű szálakból készített szöveteknél a különböző térbeli (3D) termékek iránti igény is megjelent (preform – a kelme szerkezete a kész szerkezet alakjának megfelelő kialakítású), amely kelmék a 4. ábra szerint csoportosíthatók.

3. Különböző szőtt kompozit erősítő szerkezetek gyártásának gépígyéne

A különböző szövetstruktúrák előállításához megfelelő kialakítású és felszereltségű szövőgépekre van szükség (5. ábra).

Különböző szövetszerkezetek gépszerkezeti igényei

Szövetszerkezet/ Gépi felszereltség	2D	2,5D	3D tömör	Üreges
Vetülékívűs vetülékbevitel	Egy vetülék beviteli pályás	Egy/két vetülék beviteli pályás	Két/egy vetülék beviteli pályás	Két vetülék beviteli pályás
Lánc ellátás	Lánchenger/ állvány	Állvány	Állvány	Lánchenger + állvány
Borda mozgása	Forgó	Forgó/ párhuzamos	Párhuzamos	Párhuzamos
Száképző szerkezet	Nyűstőgép (egyszádas)	Jacquard-gép Egy-/többszádas	Jacquard-gép Egy-/többszádas	Nyűstőgép + Jacquard-gép Egy-/többszádas
Alkalmazás	Kagylóhéj-forma - Autótető - Motorháztető	Összetett - Csatlakozások - Csomópontok	Tömör - Összekapcsolt - Hossz-merevítő	Üreges - Tartályok - Szendvics

5. ábra

Szénszál kábel (tow) szövése különleges technológiai kialakításokat, körülményeket igényel. A szénszál kis nyúlása (1–1,5%) miatt nagyon törékeny, a rövid száltörések a levegőben lebegnek, ami egyrészt az üzemből dolgozók számára sajátos munkásvédelmi intézkedéseket igényel (a bőrre kerülve a rövid szénszál irritálja a bőrt „szűr”), másrészt az elektronikai paneleken rövidzárlatot okoz. A gépek elektronikai részeinek megóvására vonatkozó szigorú előírásokat maradéktalanul be kell tartani. A sodratmentes vetülék és lánc kábeleket narancshéj szerű (nem sima) felületeken vezetnek, a szálak párhuzamosságának, egyenes helyzetének szö-

vetben megtartására a csévéket (láncot, vetüléket is) forgatva, tangenciális irányban (nem a csévetengely irányában) fejtik le.

A vetüléket minimális rándulással, a biztonságos vetülékbevitelt megvalósító vetülékívűs vetülékbevitellel vetik be (6. ábra).

Kényesebb vetülékek bevetésére egykaros (a fogófej üresen teljesen átlendül a szádon, s vissza mozdulva egy fázisban húzza be a vetüléket) vetülékbevitelt is használnak. A Dornier vetülékívűs szövőgépen a vetülék átadásakor a csipeszek nyitását vezérlik, ezáltal a sodratlan durva kábel filamentek is biztonságosan bevetethetők (7. ábra).



7. ábra

A zárt, lekötött szövetszegély elérésére vetélős (vetülékfűző) vetülékbevitelt is alkalmaznak.

4. A kompozit erősítő szerkezetek előállítása

A 2D műszaki szövetek a hagyományos, a fonalak, kábelek sajátosságainak megfelelő kialakítású egyszádas vetülékívűs szövőgépeken nyűstös szövés (nyűstöt csoportosan, keretbe foglalva mozgatják) gyárthatók. A kötésminőség az elektronikus vezérlésű mechanikus hajtású nyűstőgépekkel (A), vagy az elektronikus vezérlésű elektromos forgattyú-forgatású nyűstőgépekkel (B) is megvalósítható. Az elektromos forgattyú-forgatású a nyűstmozgatás esetén a szád váltási helyzete is állítható, ami a bonyolultabb szövetstruktúra kialakítására és a szegély lekötésére is technológiai előnyöket biztosít. A láncok csoportos mozgatása azonban a kötésminázási lehetőségeket lehatárolja.

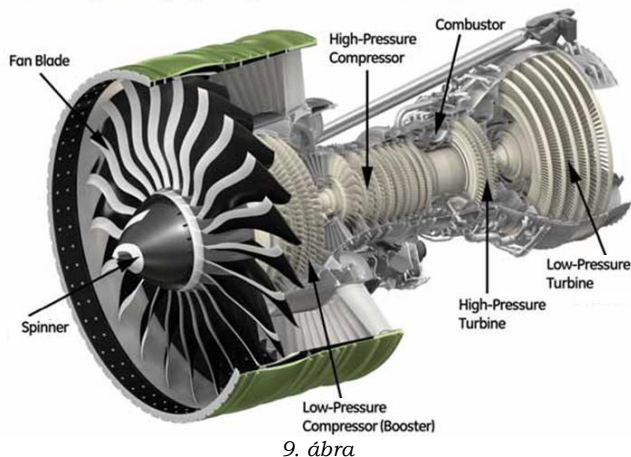
A 2,5D csoportba sorolják az egyszádas, „hagy-

Szénszál kábelből Jacquard szövésű
kopozit-erősítő turbinalapát készítése



8. ábra

GE repülőgép hajtómű keresztmetszete



9. ábra

mányos” szövőgépeken szöhető térbeli kialakítású szövetszerkezeteket (8. ábra).

Az elektronikus vezérlésű egyszádas Jacquard-géppel (C) felszerelt szövőgépekkel (7. ábra) gyártják a repülőgép-hajtóművek turbinalapátját (9. ábra).

A nagy szilárdságú és merevségű kompozit erősítő-sű szénszálas szövetszerkezetekkel jelentős súlycsökkentés (15%) érhető el a fémes anyagokhoz viszonyítva (10. ábra).

CFRP ventilátor lapát kialakítása



10. ábra

A Stäubli UNIVAL 100 típusú jacquard-géppel (11. ábra) felszerelt szövőgépen (D) minden lánc külön-külön vezérelhetően mozgatható, a szádlöket (három szádhelyzet állásra is alkalmas), és a szádváltás fázisa is tág határok között változtatható, ami jelentős technológiai előnyöket biztosít. Bonyolult, nagy mintaelemű kelmék gyártására 15 360 lánc egyedi mozgást tesz lehetővé.

3D tömör láncrendszerű (többrétegű) szövetek esetén az egymás fölötti kelmesíkok rétegenként, orthogonálisan (merőlegesen) és kelmevastagságon keresztül ferdén kötőlánccal kapcsolhatók össze (12. ábra).

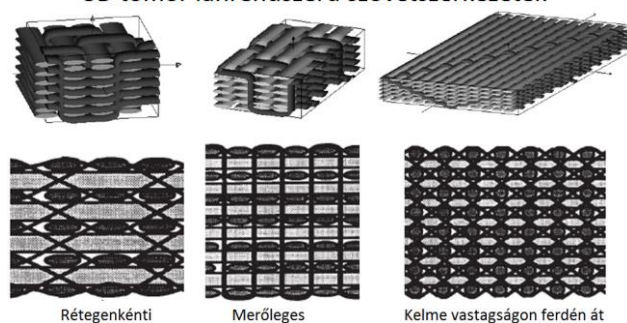
A tömör 3D szövetek stabilitását, a külső szövetré-

Stäubli UNIVAL 100 típusú Jacquard-gép elve



11. ábra

3D tömör láncrendszerű szövetszerkezetek



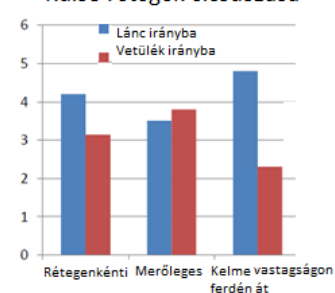
12. ábra

tegek lánc- és vetülékirányú elcsúszási ellenállását a 13. ábra diagramja szemlélteti.

3D üreges szövetek előállítása a kettős szőnyeg-szövés gyártástechnológiáján (14. ábra) alapul, itt azonban az alapszöveteket összekapcsoló láncrendszert a kelme előre haladásával nem vágják fel. A kettős szövés egy- vagy kétszádasan is megvalósítható.

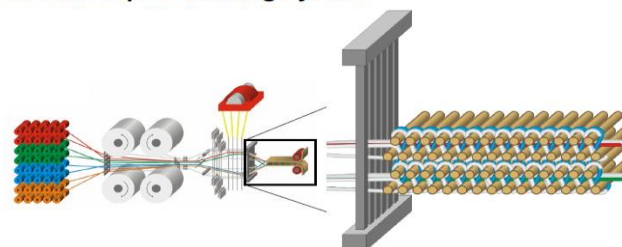
A kétszádas szövés (15. ábra) esetén az egymás fölötti szádba vetülékívós eljárással egyidejűleg egy-egy vetüléket vetnek be, ami teljesítmény-növelő, viszont a kötőlánccok mozgására háromállású nyüstösgép vagy jacquard-gép szükséges.

Külső rétegek elcsúszása



13. ábra

Double-rapier weaving system



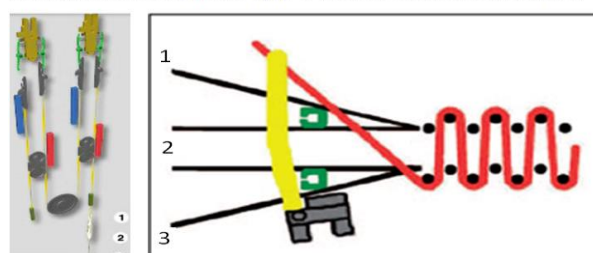
14. ábra

A kétpályás szövés elvét a 16. ábra szemlélteti. Kábelszövés esetén az összes láncot az állványon elhelyezett keresztcsévékről tangenciálisan a csévék forgatásával fejtik le. Az azono-



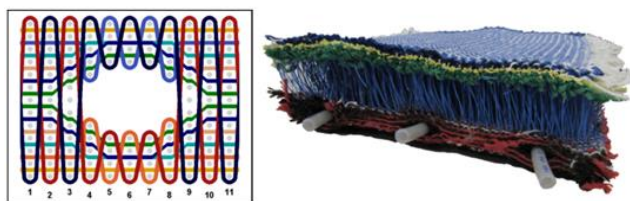
15. ábra

Háromállású Jacquard-gép a kettős szádb kialakítására



16. ábra

Tömör és ürges kelme szerkezeti kialakítása

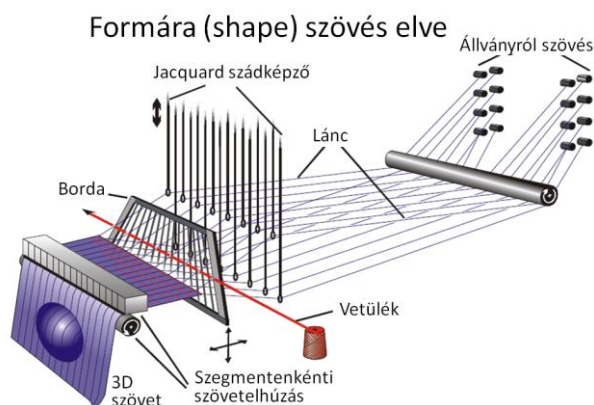


17. ábra

san kötő láncok nyüstkerettel, míg a különböző bedolgozódású láncokat háromállású jacquard-géppel mozgatják.

Az alsó és felső alapszövet a láncok feszítésének hatására az alsó, ill. a felső lehatároló vezetősínre támaszkodik. A vezetősínnek távolsága határozza meg a rés (a két szövet közötti távolság 120 mm is lehet) méretét. Ezen eljárással kombinált, váltakozva tömör és ürges kelmek is szőhetők a különleges felhasználási igényeknek megfelelően (17. ábra).

Kagyló alakú, egyrétegű szövessel (Shape Weaving) a szövet síkjából kitüremkedő felületek alakíthatók ki (18. ábra).

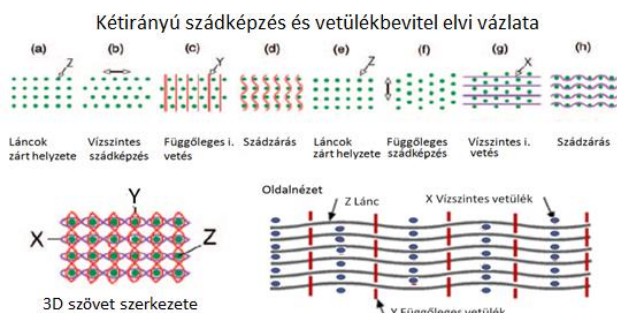


18. ábra

A láncok állványon elhelyezett csévékről való lefejtése lehetővé teszi a különböző szövetminta részek eltérő láncossz igényének megfelelő biztosítását. A szövetet a tárcsásan felosztott külön-külön vezérelt hajtású szövet húzó hengerekkel sávosan, a mintaelemnek megfelelően különböző sebességgel húzzák el. A mintarész szélességében a bordafogak dőlése a minta láncsűrűség változtatásának megfelelő, a láncsűrűség a borda vezérelt függőleges mozgatásával változtatható.

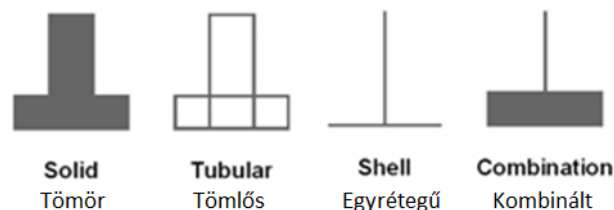
A kötésmintázás jacquard-gépről vezérelt, így a kötés szerkezete a minta, a szövet alakíthatósági igényeinek megfelelően változtatható.

Két vetülékrendszerű egy láncrendszerű 3D un.



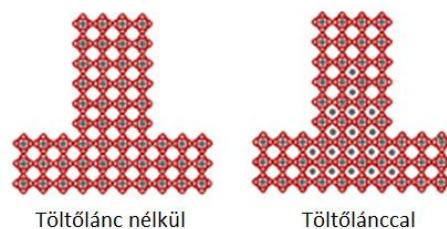
19. ábra

3D szövessel előállítható gerenda keresztmetszetek



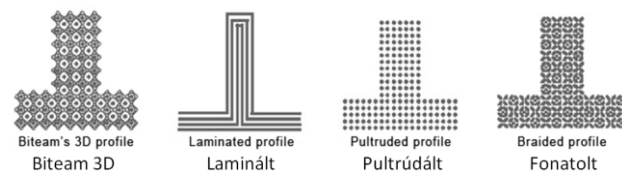
20. ábra

Hosszirányú töltőláncos erősítés



21. ábra

Különböző technológiákkal előállított szerkezetek



22. ábra

3D szövet és kész kompozit



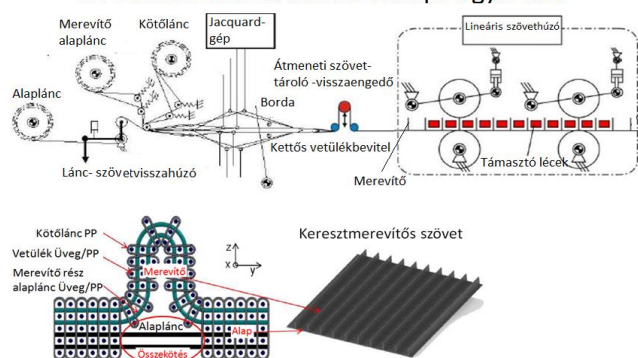
23. ábra

csomópont szövést a **Biteam cég** fejlesztette ki a különböző tartógerendák, csatlakozók gyártására. A fejlesztés lényege, hogy a hosszirányú láncokból (Z) egymásra merőlegesen (vízszintesen és függőlegesen) kialakított szádba két irányba (X - vízszintes, Y - függőleges) vetik be vetülékeket (19. ábra).

A 3D technológiával szőtt gerendák T, I, U keresztmetszetűek, tömör, tömlős, egyrétegű héjas és kombinált kialakításúak lehetnek (20. ábra). Ezzel a technológiával lehetőség van a gerendák hosszirányú merevítésére töltőlánccal (21. ábra). A fonalak görbülete minimális (NCF – None Crimped Fabrics), a gerenda mindhárom irányba megerősített, így a nyírás okozta rétegválással szemben ellenálló a laminálással (egymásra helyezett), pultrúdált és fonatolt technológiákkal kialakított profilokhoz viszonyítva (22. ábra). A 3D nyers szövetet és a kész kompozitot a 23. ábra szemlélteti.

A 3D szövessel szénszál kábelekből bonyolult, nagy szilárdságú és merevségű, különböző keresztmetszet kialakítású, rétegválásnak jól ellenálló, egyszerűen csatlakoztatható könnyű kompozit erősítők ill. kompozitok

3D-s keresztmerezítős szövetlapok gyártása

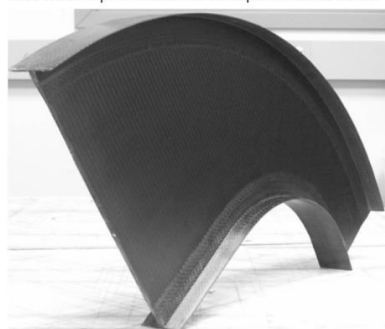


24. ábra

Repülőgép szárny főtartó kompozit szénszálból szőtt 3D szinuszos merevítő



25. ábra

Íves szőtt π profil kialakítása tépett szénkábelből

26. ábra

készíthetők.

Dresdai Egyetemen merevítőbordás kompozit erősítő szövési technológiát fejlesztettek ki. A kettős szövással három láncrendszerből (alaplánc, merevítő rész, kötéllánc) – a visszaengedett a szövetszél a merevítő részt a merevítő szövetszakasz alapláncainak visszahúzásával – alakítják ki a szövet felületére merőleges merevítő bordákat (24. ábra).

A 25. ábra az egy darabból szöhető szinuszos összekapcsolódású repülőgép-szárny merevítő- és héjszerkezetre mutat példát.

A tépett (SB – Stretch Brake) szénkábel esetén (véges hosszúságú, 120 mm-nél rövidebb szálakból álló kábel) a kis rugalmasságú szénszálakból jól alakítható, szövással kis görbületi sugarú íves 3D szerkezetek kialakítását teszi lehetővé (26. ábra).

5. Összefoglalás

A kompozit erősítő textíliák számos új alkalmazási területen hódítanak, növekedésük dinamikus. Ezen termékek gyártása a hagyományos textiltechnológiákon alapul, azonban sok esetben lényegesen eltérő követelményeknek kell megfelelni. Az alkalmazott szálak nagy szilárdságúak, de kis nyúlásúak, ezért törékenyek. A szénszál esetén a levegőbe kerülő száltöredékek az elektronikai panelek zárlatát okozzák. Az erősítő szálakat sodratlan kábelként dolgozzák fel, a kelmében is lehetőleg az egyenes szál- ill. kábelhelyzetet kell megtartani. A kompozit-kelme szerkezetével, méreteivel szemben is sokrétű, szigorú követelményeket támasztanak. A CFRP termékek tulajdonságai a hagyományos fémekből készült szerkezeti anyagok tulajdonságait lényegesen felülműlják, használatuk számos területen kulcsfontosságú. Kíváncsian várjuk a Techtextilen (Frankfurt, 2019. május 14–17.) bemutatott műszaki textíliákat, a párizsi JEC World (2019. márc. 12–14.) kiállításon a kompozitok területén az újdonságokat és az ITMÁ-n (Barcelona, 2019. június 20–26.) a technológiai fejlesztéseket.

Felhasznált irodalom

- [1] Schnabel A.: Stäubli weaving systems for technical textiles FACHTEX Arbeitskreis Technische Textilien Bayreuth 01.10.2014.
- [2] 3-D preformed composites: The leap into LEAP Complex woven 3-D profiles
- [3] Xiaogang Chen, etc.: An overview on fabrication of three-dimensional woven textile preforms for composites Textile Research Journal 2012. p. 932-944.
- [4] Ginger Gardiner: Albany Engineered Composites: Weaving the Future in 3-D 2014. 4/3
- [5] A. Mountasir, G. Hoffmann etc: Performance of multi-layered woven panels with integrated stiffeners for lightweight engineering 13. AUTEX WTC, Dresden, 2013. 05. 22-24.
- [6] M. McClain etc.: WEB stiffened stretch broken carbon fiber frame fabrication Albany Engineered Composites