

Szénszálas könnyűszerkezetű elemek gépkocsikban és a kerékpárvázakban

A szénszállal erősített műanyagok alkalmazása a repülőgépgyártásban már elfogadott technológia, de korábban is készítettek gépkocsikat szénszállal erősített elemekkel, sőt a szénszálvázak kerékpár sem teljesen ismeretlen termék. Az utóbbiakból eddig nem lett tömeggyártás. A szénszálas műanyagok árának csökkenése és tulajdonságaik közelebbi megismerése azonban megnyitotta az utat ahhoz, hogy ezeket „közönséges” gépkocsikban és „egyszerű” kerékpárokban is alkalmazzák. Ez különösen akkor válhat általánossá, ha a szénszállakat nem csak hőre keményedő, hanem hőre lágyuló műanyagok erősítésére is problémamentesen fel tudják használni. Ebben az autógyártás már előbbre tart, de nem kérdéses, hogy a kerékpárgyártás is meg fogja oldani.

Tárgyszavak: szénszállal erősített műanyagok; kompaundok; autógyártás; kerékpárgyártás; poliolefinszál.

Szénszálas PP kompaund az autógyártás számára

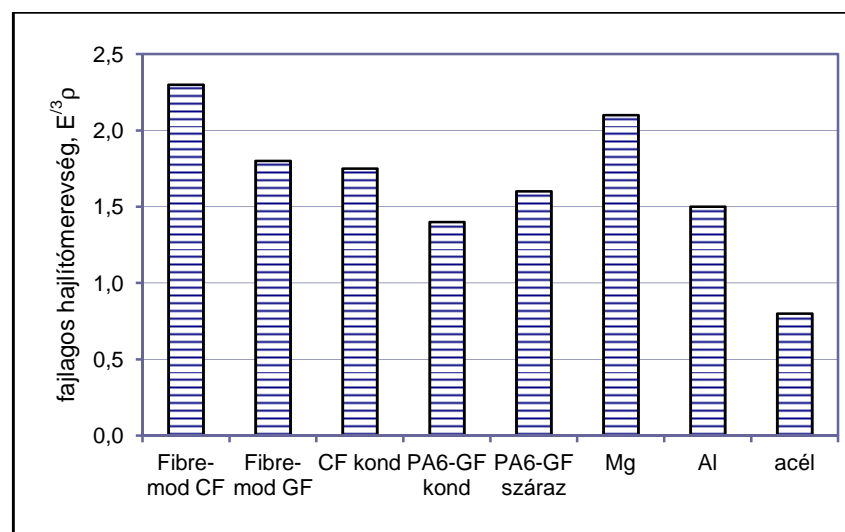
A könnyűszerkezetes elem azt jelenti, hogy egy szerkezet építőelemének tömegét funkcionális célok vagy ökonómiai megfontolások miatt úgy csökkentik, hogy emiatt terhelhetősége, merevsége vagy más fontos tulajdonságai ne romoljanak. A modern közlekedés eszközeinek egyre könnyebbnek, energiatakarékosnak kell lenniük, és egyre kevesebb szén-dioxidot szabad kibocsátaniuk. *Európában 2020 után az új gépkocsik átlagos CO₂-emissziója nem haladhatja meg a 95 g/km értéket, az USA-ban pedig 2025 után az új gépkocsiknak 1 l benzinnel minimálisan 17–26 km-t kell megtenniük, ill. 100 km-enként legfeljebb 3,8–5,9 l üzemanyagot fogyaszthatnak.*

Az autógyártás hosszú évek óta folyamatosan csökkenti a gépkocsik tömegét. Ennek köszönhetően ma egy gépkocsiba átlagosan 80 kg polipropilént (PP) építenek be, amely nemcsak a tömegpolimerek legkönnyebbike, de könnyen módosítható és rengeteg különböző tulajdonságokkal rendelkező változata is van. Rövid és hosszú üvegszállal erősített típusaival fémeket helyettesítenek, más típusaival nagyobb sűrűségű és drágább műszaki műanyagokat, pl. poliamidot (PA) váltanak ki.

Ezen a piacon jelent meg a Borealis AG (Linz, Ausztria) új, szénszállal erősített PP kompaundja (PP-CF) *Fibremod CF* márkanévvel. Ebbe a kompaundba a szénszálas szövetek konfekcionálásakor képződő szélhulladékból visszanyert szénszállakat dolgozzák be egy erre a célra kifejlesztett technológiával. A szénszállak felületét eredeti-

leg epoxigyantával vonták be, a cégnél ezért speciális felületkezelő anyagot fejlesztettek ki, amely megnöveli a szálak és a PP mátrix közötti tapadást.

A szénszálás *Fibremod* jellemző tulajdonsága a rendkívül nagy merevség; ez eléri a 20 GPa-t, miközben sűrűsége mindössze 1130 kg/m³. Versenytársaival összehasonlított fajlagos hajlítómerevségét (az alapanyagok sűrűségére vetített hajlítómerevségeket) az 1. ábra érzékelteti. Látható, hogy ebben a tulajdonságában a PP-CF kompaund jobb, mint az alumínium és a magnézium, és az acélhoz képest 60%-os tömegcsökkentés érhető el vele. További tömegcsökkentés érhető el a PP-CF elemek geometriájának olyan módosításával, amelyben az alapanyag merevsége optimálisan használható fel. A fémekkel szemben további előny, hogy nem korrodál és nem vesz fel nedvességet. A kompaund fröccsönthető, ezért a belőle készített alkatrészek gyártási költsége jóval alacsonyabb a fémekből készültékénél, de a PA6-GF30-ból fröccsöntöttékénél is, mert a szénszálás formadarabok tömege 30%-kal kisebb.



1. ábra A *Fibremod CF* anyagsűrűsége vetített fajlagos hajlítómerevsége versenytársaiéval összehasonlítva



2. ábra Az Audi egyik üzemanyagtartályának lezárásához *Fibremod CT*-ből készített zsarnírkar. Ezzel egy 50% üvegszálát tartalmazó PA6-ot váltottak fel és 30%-kal csökkentették a zsarnírkar tömegét

A Borealis számítógépes szimulációs programot is kifejlesztett a szénszálás kompaundokból gyártott termékek várható szálorientációjának előrejelzésére és optimalizálásra. Emellett új, korszerű vizsgálati módszereket vezetett be a szállal erősített termékek ellenőrzésére. A cégnél tovább folytatódik a modellező és szimulációs szoftverek fejlesztése. Ezek felhasználásával jelentősen meg rövidül és olcsóbbá válik az eddigi idő-

igényes és költséges prototípus-gyártás, és a végtermékek minőség-ellenőrzése is minimálisra csökkenhet.

Az új szénszál PP kompaund (*Fibremod CB301SY*) egyik első kipróbálója az Audi, amely egy üzemanyagtankja csappantyús fedelének zsarnírkarját (2. ábra) készítette ebből az anyagból. Az üzemanyagtartályok fedele egyre nagyobb, mert a töltőszerkezetek mérete is növekszik. Emiatt a zárószervezetek anyagát is gondosabban kell megválasztani. Ezeknek nem csak a mechanikai szilárdságát, hanem a hőállóságát is figyelembe kell venni, de legfontosabb a záróelem merevsége. Arra is gondolni kell, hogy a tartály zsarnírja a gépkocsi külső felületén az egyetlen elem, amelyhez a vezető gyakran hozzáér. Villamos hajtású kocsikon a töltőcsatlakozót még gyakrabban érinti emberi kéz. Nem szabad, hogy ez az elem kellemetlen érzést keltsen, mert ez az egész gépkocsi értékét csökkentheti. A gépkocsi-tulajdonosok általában a robusztusabb, merevebb elemeket kedvelik jobban.

Az optimális szénszál kerékpárváz még várat magára

A kerékpárgyártás már hosszú évek óta próbálkozik a szénszálak alkalmazásával, átütő sikert azonban ezekkel még nem sikerült elérni. Ezekkel a szálakkal ugyan nagyon merev szerkezeteket lehet előállítani, ami fontos tulajdonsága a váznak, de minél merevebb a szerkezet, annál kisebb lesz az ütésállósága, a szénszálak a hirtelen erőhatásra könnyen repednek vagy szilánkosan törnek. Az acél-, alumínium- vagy titánvázak ezzel szemben elég rugalmasak, behorpadnak vagy meghajlanak, de egyben maradnak, ezáltal megóvják a kerékpárost a sérüléstől.

A szénszálról a kerékpárgyártók azonban nem mondanak le, mert ezekkel a szálakkal nemcsak nagyon merev, hanem nagyon könnyű, áramvonalas kerékpárokat lehet készíteni, ami az viszonylag gyenge emberi erővel hajtott jármű és a viszonylag nagy tömegű utas miatt igen kívánatos tulajdonság. A kutatások ezért arra irányulnak, hogy hogyan lehetne a szénszál szerkezeteket rugalmasabbá, ütésállóbbá tenni merevségük és más pozitív tulajdonságaik csökkentése nélkül. Próbálkoztak azzal, hogy az ütközésnek kitett helyeken (ilyen a csöváz kormányval érintkező része) erősebb, de kevésbé merev szálakat használjanak, vagy a kényesebb helyeken aramidszálakat vagy más erősítőszálakat tartalmazó „foltokkal” vagy „páncélozással” erősítsék meg a vázat. Mindezek a megoldások növelik a biztonságot, de növelik a kerékpár tömegét is.

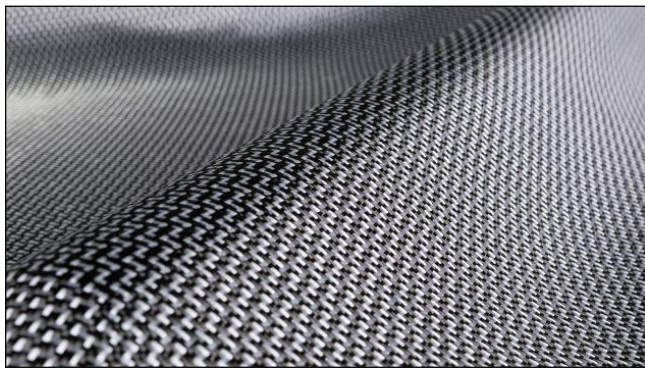
Tiszta szénszál helyett hibrid erősítőváz

A szénszálásnak mondott kerékpárvázak is többretegű szerkezetek, amelyekben többféle anyag és elem fordul elő, amelyeket általában epoxigyanta tart össze. Kézenfekvő volt az az ötlet, hogy a szénszálakból álló rétegek közé kisebb modulusú (erős, de kevésbé merev) szálakból álló rétegeket kell beépíteni, amelyek el tudják nyelni az ütési energiát. Emellett készítettek olyan hibrid erősítőszöveteket is, amelyekben a szénszálak mellett más erősítőszálak (pl. aramidszálak) voltak. Az utóbbiak alig észrevehetően növelték meg a kerékpárok tömegét. Ez a módszer azonban nem terjedt el a

gyakorlatban, mert túlságosan munkaigényes volt, a felhasznált anyagok nem adtak szép felületet és epoxigyantával sem lehetett őket megbízhatóan összeragasztani.

A Kaliforniában 2016. december 6–7. között rendezett 2. Cyclitech konferencián (www.cyclitech.events) azonban teljesen újszerű hibrid kompozitokat mutattak be, amelyeket elsősorban a kerékpárgyártók számára ajánlanak.

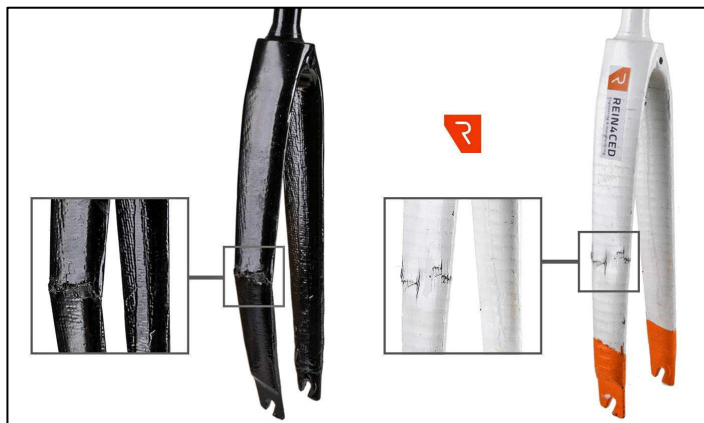
A hollandiai DSM *Dyneema* márkanevű ultranagy molekulatömegű polietilén-szála hívta fel a hallgatóság figyelmét, amely alkalmas arra, hogy szénszállakkal egyes hibrid szöveteket készítsenek velük (3. ábra). A polietilén-szálak nagyon rugalmasak és nagyon nagy a húzószilárdságuk, jelenlétükkel akár 100%-kal növelhető a tiszta szénszálas szövetek ütésállósága, és jelentős mértékben elnyelik a rezgést is.



3. ábra Szénszállból és *Dyneema* PE-szállból szőtt erősítőszövet



4. ábra *Innegra* PP-szállból és szénszállból gyártott vázakkal és kormányokkal készített kerékpárok



5. ábra A tiszta szénszállal készített kerékpárkormány (balra) ütés hatására eltört. Az acélszálas kiegészítő erősítéssel készített kormány (jobbra) megrepedt, de alakját megőrizte

Hasonló az *Innegra Technologies LLC* (Greenville, SC USA) *Innegra* márkanevű nagy molekulatömegű polipropilén-szála is, amellyel ugyancsak lehet szénszállal kevert hibrid szöveteket készíteni. A PP szálak merevsége megközelíti a szénszállakét, de sokkal kevésbé törékenyek. A PP szálak energiaelnyelő hatása mikroszerkezetükben rejlik, ahol mikro-üregek vannak. Ezek részben elnyelik, részben környezetükben osztják el a rájuk ható energiát. A 4. ábra *Innegra* és szénszállakat tartalmazó erősítőszövettel készített vázából és kormányokkal készített kerékpárokat mutat.

Mivel mindkét poliolefinszál sűrűsége még a szénszálnál is kisebb, a velük készített kerék-párok nagyon könnyűek.

A Cyclitech konferencián bemutatott harmadik újdonság az acélszálakkal erősített szénszálszövet volt, amelyet egy belgiumi „mérnökház” fejlesztett ki. Ezzel nem csökken (de nem is nő) a kerékpár tömege, de mivel ez a hibrid szövet a feltalálók szerint „törhetetlen”, szavatolja a kerékpáros biztonságát (5. ábra).

Lehet, hogy az epoxigyantát felváltják a hőre lágyuló műanyagok?

A ma a boltokban megvásárolható szénszálas kerékpárok túlnyomó többségében epoxigyanta a ragasztóanyag vagy mátrix, amely feldolgozás alatt viszkózus, könnyen kezelhető folyadék, térhálósítás után pedig keménységét „örökre” megőrző anyag. A hőre lágyuló műanyagok normál hőmérsékleten szintén helyükön tartják a szénszálakat, de magasabb hőmérsékleten meglágyulnak, deformálódhatnak. Ütés hatására kevésbé hajlamosak a repedésre, mint a hőre keményedők. Lehet, hogy az erősebb igénybevételnek kitett helyeken hőre lágyuló műanyagokba kellene beágyazni a szénszálakat?

Az epoxigyantát a kerékpárgyártók már megszokták és jól ismerik. Mivel szobahőmérsékleten dolgozzák fel, egyes műveleteket akár kézzel is elvégezhetnek. A hőre lágyuló műanyagokat magas hőmérsékleten, csak automatizált eszközökkel lehet feldolgozni, a szénszálakkal jól összeférő poli(éter-éter-keton)-t (PEEK) pl. 370–400 °C között.

A régi kerékpárosok még emlékezhetnek az 1980-as, 1990-es évek mountain bike típusú kerékpárjaira. A Schwin, a GT és a K2 szénszállal erősített hőre lágyuló vázas gépeket gyártott, a Yeti és a Scott pedig ilyen kompaundból készítette a kormányt is. Ezek nem bizonyultak sikeresnek. A GT szerint technológiájuk sokat javult, és nem adták fel az ilyen kerékpárok gyártását. Ebben nagy segítséget jelent a hőre lágyuló műanyagok jelentős terjedése az űrtechnikában, a repülőgép- és autógyártásban. A hőre lágyuló műanyagok nem elhanyagolható előnye az újrafeldolgozhatóság, és az, hogy bonyolult formákat könnyebben lehet velük kialakítani, mint a hőre keményedő gyantákból. Először alighanem az egyszerűbb formájú elemeket (abroncs, kormány) fogják hőre lágyuló műanyagokból készíteni, az ezekkel kapott tapasztalatok alapján a váz is sorra kerül majd.

Várhatóan terjed majd a hőre lágyuló poliolefinszálak (*Dyneema*, *Innegra*) alkalmazása. Az *Innegra* szálas kompaundokat a PRO máris használja *Vibe Aero* típusú kormányában, és a szlovéniai Berk Composites is országúti kerékpárjainak vázában. Az amerikai Hia Velo 2017-ben ugyancsak bevezette alkalmazását. A *Dyneema*-t a kaliforniai Specialized Bicycle Components Inc. egyelőre kerékpáros cipők gyártásához használja, de rövidesen megjelennek majd kerékpárvázaiban és más kerékpárelemeiben is.

Összeállította: Pál Károlyné

Gahleitner, M.; Kralicek, M. stb.: Steifigkeit in Bestform. Mit sekundären Kohlefasern gefülltes Polypropylen ermöglicht erschwinglichen Lichtbau = Kunststoffe, 107. k. 5. sz. 2017. p. 94–96.

Borealis: Borealis-Fibremod-Programm durch CFK-Typen gestärkt. Tankdeckel-Scharnierarm aus WIC PP 30-Compound. PP CF ersetzt PA6 GF = www.kunststoffe.de/produkte/-uebersicht/beitrag/tankdeckel-scharnierarm-aus-wic-pp-30-compound-pp-cf-ersetzt-pa6-gf-3236995.html

Huang, J.: Crash resistant carbon fiber. Why your next bicycle frame might just be made of hybrid composites and thermoplastics = Plastics Engineering, 73. k. 2. sz. 2017. p. 28–32. www.plasticsengineering.org

Dyneema Carbon weaves its way into bikes for 2018. Strong Dyneema fabric already used in cycling shoes and clothing = cyclingnews, www.google.hu/search?q=Dyneema+carbon+weaves+-+its+way+into+bikes+for+2018

Huang, J.: Built to last: One emerging bike brand's quest for more durable carbon fiber = cyclingtips, 2017. márc. 28. <https://cyclingtips.com/2017/03/hia-velos-quest-durable-carbon-fiber/>

Belgian start-up company rein4ced developes new unbreakable hybrid composite = <http://capovelo.com/belgian-start-company-rein4ced-developes-new-unbreakable-hybrid-composite/>

Röviden ...

A műanyag zacskók a legkevésbé ártalmasak a környezetre

A Dán Környezetvédelmi Ügynökség nyilvánosságra hozta azt a tanulmányát, amely a dániai élelmiszerboltokban használt műanyag hordtáskák környezeti hatásairól készült. Ebben figyelembe veszik a zacskók gyártásának, használatának és hulladékká válásának hatásait. Megállapították, hogy a műanyag zacskók kevésbé terhelik a környezetet, mint a más anyagokból készültek.

Hét anyagot – kis sűrűségű polietilént (PE-LD), polipropilént (PP), hulladékból visszanyert poli(etilén-tereftalátot) (rPET), biopolimert, papírt, gyapotot és kompozitokat – vizsgáltak környezeti hatásaik szerint, az *ISO 14040* és *ISO 14044* szabványok előírásai szerint. Különböző „élettartam végi” lehetőségeket vettek figyelembe, köztük az elégetést, a visszaforgatást és a szemeteszsákként történő újrafelhasználást. A felmérés az összes alternatíva esetére számításba vette a zacskógyártás helyének és csomagolásának hatását (európai gyártással számolva), a Dániába szállítás hatását, továbbá a felhasználás és hulladékká válás hatását, ami Dániában vagy Európa más részén következhet be.

A tanulmány szerint a legtöbb környezetvédelmi indikátor arra utal, hogy a könnyű PE-LD hordtáskák fejtik ki a környezetre gyakorolt legkisebb hatást. Ezeket jól lehet használni még szemeteszsákként, mielőtt véglegesen kivonják őket a forgalomból. A különböző formájú szatyrok közül a merev fogantyújú PE-LD táskák a legelőnyösebbek. Az ilyen táskák eldobásának hatásait elhanyagolhatónak találták.

A teljes tanulmány az interneten az alábbi címen olvasható.

F. L.

Goldsberry C.: Danish study finds plastic bags have lowest environmental impact =
www.plasticstoday.com, 21. March 2018.
<https://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2018/02/978-87-93614-73-4.pdf>