

Szénszál erősítésű kompozitok szívósságnövelése a határfelületi adhézió módosításával

Increasing carbon fiber reinforced composites toughness by modifying the interfacial adhesion

MAGYAR Balázs¹, TEMESI Tamás¹, Dr. SZE BÉNYI Gábor^{1,2,*}

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, Budapest, H-1111 Műgyetem rakpart 3, tel: +3614631111, fax: +3614631110, info@bme.hu, www.bme.hu

²MTA-BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport, 1111 Budapest, Műgyetem rkp. 3.

*szebenyi@pt.bme.hu

Abstract

The use of carbon fiber composites provides many excellent benefits such as low density with high strength values. Besides all of this there has not been any breakthrough regarding the toughness values of the carbon fiber reinforced polymer composites. The aim of our research is to increase the toughness of the carbon fiber polymer composites. To achieve this behavior, we modified the adhesion between the resin and the fiber.

A szénszálás erősítésű kompozitok használatával kis sűrűségű és az ezzel járó kis alkatrész tömegű termékeket lehet létrehozni. A kiváló szilárdsági értékek mellett azonban a szívósság terén még nem sikerült jelentős áttörést elérni. Az előadás folyamán egy olyan szívósság növelési eljárás kerül bemutatásra melynél a határfelületi adhézió lett módosítva. Az előadás az alkalmazott mérési eredmények értékelését, valamint a továbbfejlesztési lehetőségeket tartalmazza.

Kulcsszavak

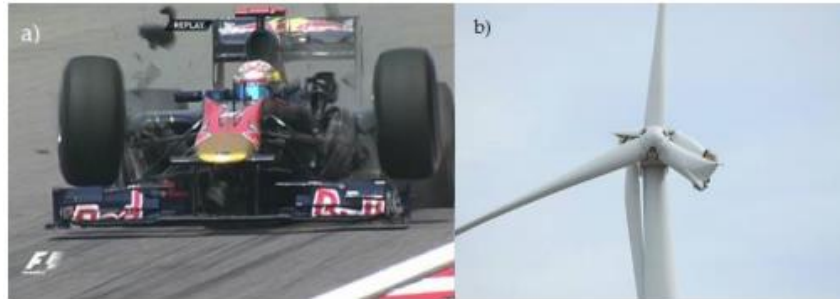
polimer kompozit, szívósságnövelés, határfelületi adhézió, delamináció, fokozatos tönkremenetel

1. Bevezetés

A polimer kompozitok térnyerése egyre növekszik a szerkezeti anyagok terén történő felhasználásuk területén [1]. A legmagasabb elvárásokkal rendelkező iparágakban, mint a repülőgépipar és az autóipar a szénszál erősítésű polimer kompozitok alkalmazásával kis sűrűség, alkatrész tömeg mellett sikerült nagy terhelhetőséget, szilárdságot, merev szerkezetet, nagy rugalmassági moduluszt elérni, így nagyon sok területen ezek az anyagok ki tudták váltani a szerkezeti acél alkatrészeket is. Ugyan a kompozitok összetett, redundáns szerkezete elméletben biztosítja a fokozatos tönkremenetelt, a szénszál erősítésű kompozitok szívóssága, szakadási nyúlása még nem éri el az iparágak által támasztott magasabb szívóssághoz tartozó értékeket.

A szívósság az anyag repedésterjedéssel szemben vett elleálló képességét mutatja. Vegyünk példának egy repülőgépszárnyat vagy egy más, hosszabb időtartamú alatt terhelés alatt lévő alkatrészt. Itt sajnos jelenleg még a ma ismert viselkedés figyelhető meg, tehát egy túlterhelés esetén

(nagy biztonsági tényező ellenére is) bekövetkezhet egy katasztrófa, anélkül, hogy bármit is lehetne tenni ellene. Ez a jelenség látható az 1. ábra „a” jelű ábráján, ami a Formula1 2010-es kínai futamának szabad edzésén készült, mely folyamán a versenyautó első felfüggesztése eltört a túlterhelésnek köszönhetően. A tönkremenetel jól láthatóan robbanásszerűen ment végbe, csak úgy, mint a jobb oldalon látható szélenergia-mű lapátjánál is.



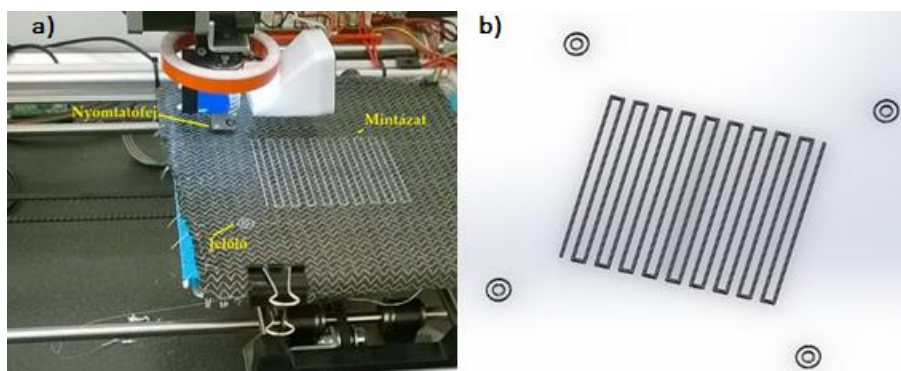
1. ábra

Felfüggesztéstörés (a), szélenergia-mű törött lapátal (b) [2, 3]

Az előadás folyamán egy olyan szívósság növelési eljárás kerül bemutatásra melynél a határfelületi adhézió lett módosítva. Az előadás az alkalmazott mérési eredmények értékelését, valamint a továbbfejlesztési lehetőségeket mutatja be.

2. Határfelületi adhézió módosítása

Az adhézió módosításának érdekében a szén-szál erősítő rétegek felületére PCL (polikaprolakton) mintázatot alakítottunk ki, amelyet FDM (Fused Deposition Modeling) nyomtató segítségével került fel a szén kelmére (2. ábra „a”). A PCL a szén kelméhez való adhéziójának mértéke jóval gyengébb a kelme mátrixhoz képesti adhéziójánál. A kompozit lemez hat réteg UD kelméből épült fel. A hat rétegből öt rétegen alkalmaztunk adhéziómódosító anyagot, melynél egy speciális mintázatot alakítottunk ki, a szálakra merőlegesen (2. ábra „b”).



2. ábra

Mintázat kialakítása a CFUD-n (a), Mintázat CAD modellje (b)

A felületkitöltési tényező segítségével lehet meghatározni, hogy adott felület hány százaléka van az adhéziócsökkentő anyaggal bevonva. Itt értelemszerűen a 100%-os érték mellett az egész felület be van vonva, míg 0% esetén a felület érintetlennek tekinthető. Esetemben egy 90x75 [mm]-es felületre lett kiszámolva ez az érték. Az (1) egyenleten látható a felülettényező számításának összefüggése.

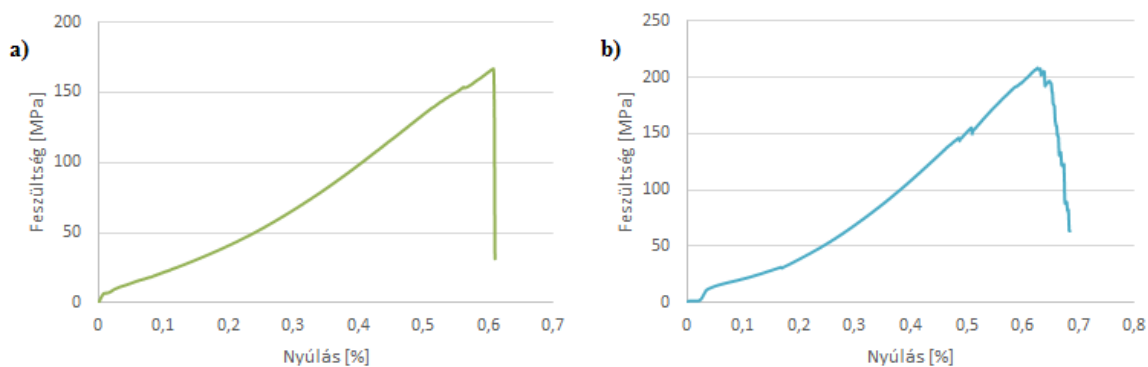
$$F = \frac{A_{\text{mintázat}}}{A} * 100 \quad (1)$$

3. Eredmények értékelése

A próbatestek szívósság növekedésének mértékét szakító- és hajlító vizsgálat segítségével vizsgáltuk. Továbbá a szakítóvizsgálat alatt hőkamerás, video extenzométeres és akusztikus mérést is végeztünk.

3.1 Szakítóvizsgálat

A kapott görbék lefutását tekintve megállapítható egy kisebb eltérés, mégpedig a maximális feszültség elérése után. A referencia minta a vizsgálat folyamán robbanásszerűen ment tönkre, ezt a 3. ábra „a” szakítódiagram is alátámasztja, mivel e feszültség elérése után hirtelen megszűnt minden ellenállás. Ezzel szemben a módosított mintán valamiféle plató, fokozatos tönkremenetel figyelhető meg (3. ábra „b”), mely mutatja, hogy a maximális feszültség elérése után is képes volt ellenállásra a kompozit. Ebből és a delaminációs tönkremenetelből arra lehet következtetni, hogy a szívósság mértéke növekedett. Az egyes szilárdsági értékeket az 1. táblázat tartalmazza.



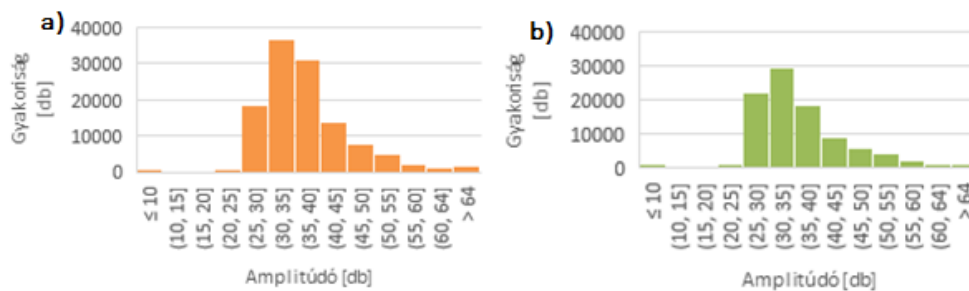
3. ábra

Referencia minta szakítógörbéje (a), Módosított adhéziójú minta szakítógörbéje

1. táblázat Szakítóvizsgálat eredményei

	Referencia	Teszt
E_R [GPa]	32,3	29,7
σ_M [MPa]	16,5	17,6
ε_b [%]	0,61	0,68

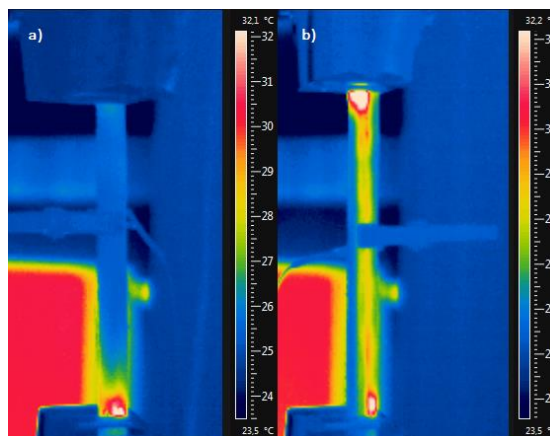
Mivel a kumulált esemény szám görbék lefutása hasonló, a károsodások megjelenésének dinamikája jellegre egyező a vizsgált minták esetén. A vizsgálat során szinte folyamatosan egy közepes amplitúdó sáv fedve volt mindhárom típusú minta esetén. A lényegi különbség a hisztogramokon látszik. A PCL sávokkal módosított határfelületű minták esetén arányait tekintve jóval több esemény figyelhető meg az alacsonyabb amplitúdó tartományban. A határfelületi károsodások az egyéb károsodásokhoz, szálszakadáshoz, mátrixtépődéshez képest alacsonyabb energiafelszabadulással járnak, így kisebb amplitúdójú jeleket szolgáltatnak. Az alsó amplitúdó sávban a jelek megnövekedett aránya az intenzívebb rétegeközi károsodást jelentheti, tehát alátámasztja a szívósság növelésére vonatkozó törekvéseinket.



4. ábra

Amplitúdó hisztogram Referencia (a); Módosított adhéziójú (b)

A tönkremenetel folyamán hang és hő formájában energia szabadul fel. A szívósabb viselkedés folyamán a keletkező energia jobban megoszlik a rendszeren. Ez a hőkamerás képeken is jelentkezik a módosított minták esetében (5. ábra „b”), ahol látható, hogy a keletkező hőenergia jobban megoszlik a rendszeren, míg a referencia minták esetében egy pontba összpontosul a felszabaduló energia.

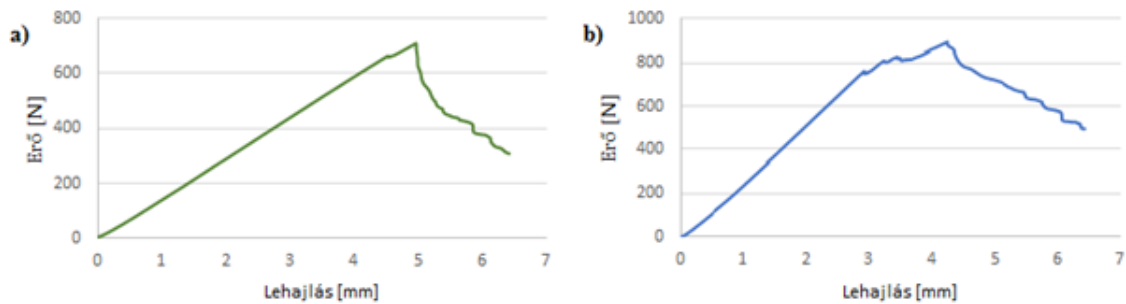


5. ábra

Hőkamerás felvételek, Referencia (a), Módosított adhéziójú (b)

3.2 Hajlító vizsgálat

Hasonló eredmény született a hajlítás folyamán is a tönkremenetelt tekintve. A fokozatos tönkremenetel itt is jelentkezik (6. ábra „b”). A feszültségi értékeket tekintve nem tapasztalható szignifikáns eltérés. Az itt tapasztalható tönkremenetel is a szívósság kedvező változását támasztja alá. A hajlító vizsgálat eredményeit a 2. táblázat tartalmazza.



6. ábra

Referencia minta hajlítógörbéje (a), Módosított adhéziójú minta hajlítógörbéje (b)

2. táblázat Hajlító vizsgálat eredményei

	σ_{max} [MPa]	σ_{max} -nál vett lehajlás [mm]	σ a törésnél [MPa]	Lehajlás a törésnél [mm]
Referencia	17,6	4,7	4,7	6,4
Módosított	16,9	4,1	3,9	6,7

4. Összegzés

A kapott eredményekből arra lehet következtetni, hogy a határfelületi adhézió módosításával növekedett a szívósság a szánszálás kompozitnál. A későbbiekben a felületkitöltési tényező és a szilárdság, valamint a szívósság kapcsolatára kell megtalálni az összefüggést, mely segítségével a későbbi méretezési számítások megvalósíthatók. Továbbá egy nagyobb volumenű mintázat felviteli módszert is ki kell fejleszteni, mivel a jelenlegi mintázat felviteli módszer rétegenként közel 5 percet igényel. A jövőben a PCL mintázat jobb beoldódásának érdekében hőkezeléssel kell előállítani a próbatesteket.

5. Köszönetnyilvánítás

A cikk a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíj Támogatásával készült.

6. Felhasznált források

1. Holmes M.: Global carbon fibre market remains on upward trend. Reinforces Plastics, 11/12, 38-45, 2014.
2. <http://news.bbc.co.uk/sport2/hi/football/8624232.stm> (2010)
3. B. LeBlanc: Mechanical failure led to turbine collapse. Times Herald, (2016)