

Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság  
Hungarian Technical Scientific Society of Transylvania

**XXVII. Nemzetközi  
Gépészeti Konferencia**



**27<sup>th</sup> International Conference  
on Mechanical Engineering**

**OGGÉPÉ 2019**

**Nagyvárad, 2019. április 25–28.  
Oradea, 25-28 April, 2019**

# Sérülés helyének megállapítása kompozit szerkezetekben az üveg erősítőanyag felhasználásával

## DETERMINING THE LOCATION OF THE DAMAGE IN COMPOSITE STRUCTURES USING THE GLASS REINFORCEMENT

HEGEDŰS Gergely<sup>1\*</sup>, CZIGÁNY Tibor<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, Budapest, 1111 Műegyetem rakpart 3.,

<sup>2</sup> MTA-BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport, Budapest, 1111 Műegyetem rakpart 3.

\* hegedus@pt.bme.hu; tel:+36307992860

### ABSTRACT

*The fiber bundle of the reinforcing glass fabric can be used to detect the damage of the polymer composite if it is adapted to transmit light. To do this, the selected fiber bundle must be illuminated by visible light. The fiber bundle exits the light at the location of the breakage of the bundle, which can be used to detect damage of to the composite structure.*

### KIVONAT

*A polimer mátrixú kompozitok erősítő üvegszövetének tetszőlegesen kiválasztott szálkötege a kompozit tönkremenetelét okozó deformáció kimutatására felhasználható, ha alkalmassá tesszük fény továbbítására. Ehhez a tetszőlegesen kiválasztott szálköteget látható fény segítségével meg kell világítani. A szálkötegből a fény kilép a szakadás helyén, ami felhasználható a szálköteg, és így közvetve a kompozit szerkezet sérülésének kimutatására.*

**Kulcsszavak:** polimer kompozit, erősítő üvegszálköteg, tönkremenetel kimutatása

### 1. BEVEZETÉS

Napjainkban a kompozitok térnyerése töretlen az élet különböző területein, köszönhetően pozitív tulajdonságaiknak. Jelenleg a szálerősített kompozitok 95%-nál üvegszál erősítést használnak, és 2010 óta a termelés minden évben növekszik. A termelés mennyisége csak Európában több mint egy millió tonna. Ennek a termelésnek az 1/3-át már most is a járműipar használja fel. Az autóiipar is felismerte a kompozit szerkezeti elemek használatának előnyeit, és az az elektromos autók terjedésével összhangban az üvegszál erősítésű polimer kompozit szerkezeti alkatrészek jelentős térnyerése várható [1,2]. A kompozit alkatrészek elterjedése a járműiparban megköveteli a szerkezeti elemek állapotának ismeretét, amelyre többféle módszer létezik. A kompozitok komplexitása, összetett szerkezete lehetővé teszi multifunkcionális termékek, vagy akár multifunkcionális anyagok kialakítását. A kompozit termék mátrixától fázishatárokkal elválasztott erősítőanyaga alkalmas az erősítésen túli további funkció betöltésére. Ennek a funkcióintegritásnak egyik módja a szálerősítés kihasználása „beépített érzékelőként” [3]. Korábbi munkánkban [4] bemutattuk a polimer kompozit erősítő üvegszálköteg fényvezetővé tételének lehetőségét, megfelelően kiválasztott általános célú mátrixanyagban felületkezelő rétegének eltávolítása nélkül (anélkül, hogy romlana a szál-mátrix kapcsolódást biztosító adhézió). Az erősítő szálkötegen fényként továbbított információ tájékoztatást nyújthat megfelelő körülmények között a szálköteg környezetének, így a kompozit szerkezeti elemnek is az állapotáról. A szerkezeti állapot ismerete rendkívül fontos, mindenképp akkor, ha személyi biztonsággal összefüggő alkatrészeket vizsgálunk.

Jelen munka keretein belül célunk bemutatni, hogyan lehet a megvilágított szálköteget felhasználni a kompozit test tönkremenetelét okozó nagy deformáció helyének kimutatására.

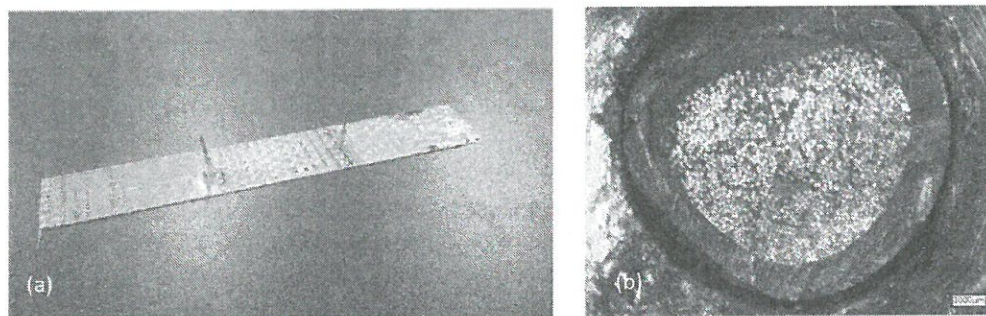
### 2. FELHASZNÁLT ESZKÖZÖK ÉS ANYAGOK

A kompozitok folytonos elemi üveg erősítőszálai gyártástechnológiájukból, anyagi és szerkezeti összetételükből adódóan is lényegesen eltérnek az optikai szálaktól, mégis azokhoz hasonlóan alkalmassá tehetők fény továbbítására. Amennyiben az erősítő üvegszál törésmutatójánál kisebb törésmutatójú gyanta veszi körül, megvalósulhat a totálreflexió és a szálon belüli fényterjedés, amely kihasználható a szálköteg épségének elemzésére. Ehhez szükséges egy megfelelően kiválasztott megvilágítás, a kilépő fényt vizsgáló

jelkiértékelő műszer, valamint a megvilágítás és a szálköteg összekötésére szolgáló jeltovábbító egység. Megvilágításként fehér ledfényt (Cree, XLamp, XP-C LEDs, USA), a kilépő fényt vizsgálatára hőkamerát (FLIR A325sc, USA) használtunk. Az erősítő üvegszövet tetszőlegesen kiválasztott szálköteget 400 mm hosszú polimer optikai szállal (külső átmérője  $1500 \pm 90 \mu\text{m}$ , magátmérője  $1470 \pm 90 \mu\text{m}$ , mag törésmutatója 1,492, Tru Components, VD-1500, Németország) és egyedi optikai csatlakozóval kapcsoltuk össze a megvilágítással. A próbatesteket szakítógépből (Zwick, BZ020/TN2S, Németország) terheltük.

Célunk volt olyan (multifunkcionális) kompozit próbatest létrehozása, ahol a szerkezetet alkotó folytonos erősítő üvegszövetből egy tetszőlegesen kiválasztott szálköteget használunk fel szenzorként, így a szálköteg szerves része az erősítő szövetnek, nem abba különállóan befűzött elem. Ennek érdekében egy réteg, 1,56 törésmutatójú, 2,54-2,60 g/cm<sup>3</sup> sűrűségű, E-üveg anyagú [0,90] vászon szövésű (vetülékirány 400 tex; láncirány 300 tex), 320 g/m<sup>2</sup>  $\pm$  6% területi sűrűségű, 120 mm széles erősítő üvegszövet (STR 014-320-125, Krosglass, Lengyelország) egy kitüntetett szálkötegeinek két végét kifűztük, úgy hogy a kifűzött részek között 50 mm hossz szövetben maradjon, és végeit 1 mm ( $\pm$ 0,1 mm) belső átmérőjű érvéghüvelybe vezetjük. Az érvéghüvelyt a felületre merőlegesen beállítottuk segéd tartók felhasználásával. Ezt a műveletet 50 mm-es osztással megismételtük. Az erősítő szövetre további 1-1 réteg, 40 mm széles szövetet fektettünk egymástól 40 mm-re úgy, hogy a közöttük lévő szabad terület az érvéghüvelyek közé essen, egyenlő távolságra. Ezzel a próbatestemet megerősítettük a befogás helyénél (a szálköteg kivezetésénél), és ezzel biztosítottuk az irányított tönkremenetelt az érvéghüvelyek közötti területen (1. ábra).

A korábbi munkánkban [4] vizsgált gyantarendszerek közül az MR3012 epoxi gyanta (IpoX chemicals, Németország) és MH3122 térhálósító (IpoX chemicals, Németország) 100:40 (kemény rendszer) és 100:25 (rugalmas rendszer) tömegarányú keverékét alkalmaztuk mátrixanyagként, és az előkészített szövetet kézi laminálással átittattuk. Az érvéghüvelyekbe vezetett kiválasztott szálköteget injekciós tű segítségével itattuk át gyantával úgy, hogy az érvéghüvelybe is megfelelő mennyiségű gyanta jusson. Térhálósodás után az elkészült kompozit lemezből a próbatesteket 25 mm széles csíkként kivágtuk. Az érvéghüvelybe összefogott erősítő szálköteget megfelelő minőségűre felpolíroztuk. Ehhez levágtuk a szálköteg azon részét, mely túlnyúlt az érvéghüvelyen, az érvéghüvely palástjára kívülről ragadt esetleges gyantamaradékot eltávolítottuk, és a szálköteget tartalmazó érvéghüvelyt egyedileg kialakított polírozó tárcsa megfelelő furatába illesztettük. Ezután kézzel a polírozó tárcsával nyolcasokat irtunk le egymás után 30, 6, 3, 1, 0,2  $\mu\text{m}$  finomságú polírozó papíron, míg a szálak felülete optikailag megfelelően sima nem lett.



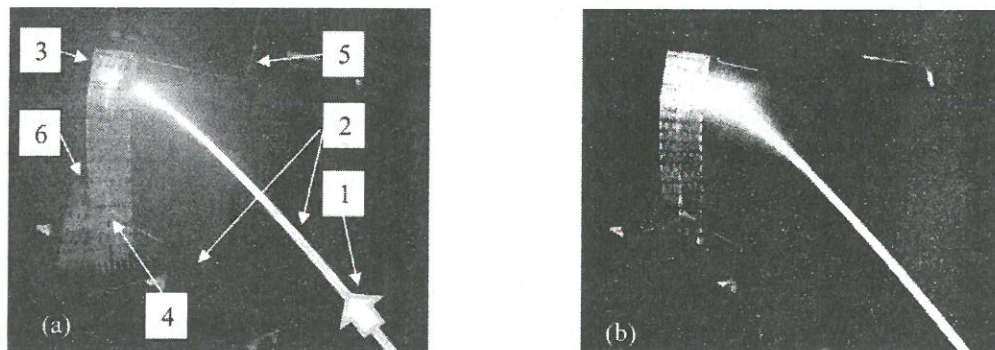
1. ábra

*Kompozit próbatest (a) és az érvéghüvelybe fűzött szálkötege (b) polírozás után*

### 3. EREDMÉNYEK

Meréseinkkel vizsgáltuk, hogy kompozit tönkremenetelét okozó deformáció hatására a megvilágított szálkötegből kilépő fény alkalmazható-e a tönkremenetel, ill. tönkremenetel helyének azonosítására. A megvilágítás csatlakoztatásával a próbatest megvilágított szálkötegeinek vége fénylett, ami igazolta a próbatest kialakításának helyességét. Ezután a próbatesteket 1 mm/perc sebességgel szakítottuk. A húzóterhelés hatására a több „B” komponenst tartalmazó, kevésbé rugalmas, jobb mechanikai tulajdonságokkal rendelkező 100:40 tömegarányú epoxi mátrixú próbatestek elszakadtak, míg a 100:25 tömegarányú epoxi mátrixú próbatestek delaminálódtak. Ennek magyarázata a mátrixanyag mechanikai tulajdonságainak eltérésében keresendő. A 100:25 arányú próbatestek befogásánál a befogó satuknál nagyobb mértékben jelentkezett a befogó pófák élénél jelentkező feszültségkoncentráció (a mátrix a terhelést kevésbé tudta eloszlatni), amely terhelés hatására az erősítő szövet ebben a vonalban való elszakadását eredményezte. A szövet szakadása után a satuba rögzített (erősítésül szolgáló) szövet és a kitüntetett szálköteget is tartalmazó szövet rétegei egymástól elváltak.

A mérések alapján általánosságban elmondható, hogy a szálak szakadását okozó deformáció esetén a szálkötegbe becsatolt fény nem volt képes a szakadásnál az egyik szálból belépni a másik szálba, így a szálköteg végén a szakadt elemi szálak végei nem csak „elhalványultak”, hanem „kialudtak”. Nem festett felület szabad szemmel történő megfigyelésénél látható volt a fény útja a szálkötegben, és ugyanígy látható volt az a pont, ameddig a szálköteg meg volt világítva, vagyis ahol a szakadás történt (2. ábra).



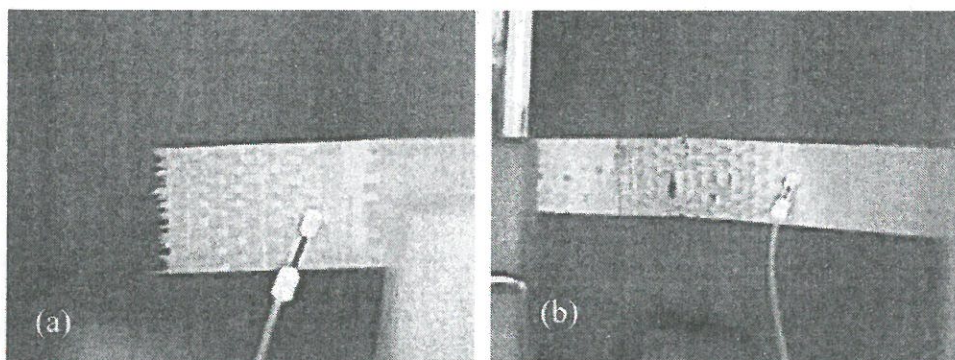
2. ábra

*A szálkötegen áthaladó fény szabad szemmel azonosítható (a), szemléltetesként 80%-kal megnövelt kontrasztal (b) (1- fényforrás, 2-jeltovábbító, 3-próbatest, 4-próbatestből kilépő fény, 5- szakítógépfogó pofája, 6 - rétegelválás)*

Festett felület esetén szabad szemmel természetesen nem lenne látható a kilépő fény, és így a kilépő fény segítségével nem lehetne azonosítani a szakadás helyét. Ebben az esetben csak arról kapnánk információt a szálköteg végét vizsgálva, hogy a szálköteg hosszán valahol szakadás történt.

Festett felület, vagy nem átlátszó gyanta esetén nyújthatna megoldást a tönkremenetel helyének megállapítására a szakadás következtében a szálkötegből kilépő fény miatt felmelegedő környezet hőkamerás vizsgálata, amit további mérésekkel vizsgáltunk.

A hőkamerás vizsgálathoz a korábbi mérések alatt roncsolódott próbatesteket használtuk fel. A próbatestek befogása, és szobahőmérsékleten való kondicionálása után hőkamerával vizsgáltuk a fény becsatolási (érvéghüvely), és kilépési helyének (szakadás) hőmérsékletváltozását 2 perc alatt (3. ábra).



3. ábra

*Hőkamerás felvétel szakadt 100:40 (a) és delaminálódott 100:25 tömegarányú (b) próbatestről*

A felvételeken fehér színnel látszik, hogy az érvéghüvely környezete (a fény belépési pontja) melegszik a környezetéhez képest (100:40 arányú epoxi törött próbatest esetében 18,9°C-ról 23,6 °C-ra, 100:25 arányú epoxi delaminálódott próbatest esetén 19,0°C-ról 22,3°C-ra). Ehhez képest a kilépési pontnál nem volt tapasztalható hőmérsékletváltozás, ami a szálköteg nagy fajlagos csillapításából következik az infravörös hullámhosszokon. A szálköteg elnyeli a szakadási pont előtt a bele csatolt infravörös fényt, így ezen hullámhosszúságú fény nem is lép ki a szakadásnál, így az a szakadt szálvég környezetét nem is tudja felmelegíteni, a hőkamera nem érzékeli. A mérés alapján megállapítható, hogy hőkamerával nem lehet következtetni a szálkötegen belül a tönkremenetel helyére.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A bemutatott vizsgálataink alapján a kompozit test tönkremenetele kimutatható a kompozitot alkotó üvegszövet tetszőlegesen kiválasztott, megvilágított szálkötegének segítségével. Szakadás hatására a megvilágított szálköteg nem képes a fényt továbbítani, és a megvilágított szálköteg végén kialszik a fény. Átlátszó mátrix esetén a szakadás helye szemmel is azonosítható a kilépő látható fény segítségével. A szálkötegből kilépő fény csak nagyon kis mértékben melegíti fel a környezetét, köszönhetően a szálköteg nagy elnyelésének az infravörös tartományban, így a fény kilépésének helye (a szakadás helye) nem mutatható ki hőkamera segítségével. A szálköteg végét vizsgálva a kompozit tönkremenetele megállapítható, így a szálköteg akár szenzorként is használható a kompozit szerkezet mechanikai tulajdonságainak lényeges megváltozása nélkül. A tapasztalt jelenségek alapján a polimer kompozitok erősítő szövetét alkotó szálkötegek az erősítésen túl további funkcióval ruházhatóak fel, ami multifunkcionális kompozitot eredményez és feleslegessé teszi további érzékelők beépítését.

#### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) NVKP (NVKP\_16-1-2016-0046) és OTKA (K 116070 és K120592), illetve az Emberi Erőforrások Minisztériuma BME FIKP-NANO pályázatai támogatták.

#### IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Hegedűs G., Czigány T.: Kompozit termékek állapotellenzési módszerei. GÉP, 67(5-6), 98-103 (2016).
- [2] Péter B., Hegedűs G., Czigány T.: T-RTM eljárással gyártott alkatrészek gyártási folyamatának kihívásai, különös tekintettel az erősítőanyagok kezelésére. GÉP, 68(4), 37-42 (2017)
- [3] Czigány T., Forintos N., Hegedűs G.: Health monitoring of high performance polymer composites with multifunctional fibers, ICCM-21: 21st International Conference on Composite Materials, Kína, Xi'an, 2017, 3153/1-3153/8.
- [4] Hegedűs G., Sarkadi T., Czigány T.: Analysis of the light transmission ability of reinforcing glass fibers used in polymer composites, Materials, MDPI, 2017, 10(6), 637/1-637/9.

# OGÉÉT 2019

**EMT**

ISSN 2068-1267

