

Komplex mérőrendszer és alkalmazási lehetősége szálerősítésű kompozitok vizsgálatára

Rácz Zsolt – Simon Zoltán László – Vas László Mihály*

Bevezetés

A közismerten inhomogén és anizotrop mechanikai tulajdonságokkal rendelkező szálerősített anyagok meghibásodási mechanizmusának mind részletesebb leírása, pontosabb modellezése, valamint a szilárdsági jellemzők előrejelzése már évtizedek óta kutatások tárgya. Számos mérési és kiértékelési eljárás dolgoztak ki [1, 2] annak érdekében, hogy a tönkremeneteli folyamatot, a mechanikai tulajdonságokat leíró modellekhez valóságos adatokat szolgáltatasson.

A BME Polimertechnika Tanszéken folyó OTKA kutatás célja egy olyan, a szálfolyam és kompozitköteg elméletekre, valamint képfeldolgozással és akusztikus emissziós megfigyeléssel is segített kísérleti vizsgálatokra alapozott vizsgálati és modellezési módszer kidolgozása, amely alkalmas az impregnált szénszálvöring próbatestek geometriai-szerkezeti és hajlítószilárdsági tulajdonságainak, tönkremeneteli folyamatának becslésére és statisztikai jellemzésére. E kutatás keretében kifejlesztettünk egy olyan mérőrendszert, amellyel tanulmányozható, elemezhető és modellezhető a karbonszál-as kompozit próbatestek statisztikus viselkedése, tönkremeneteli folyamata.

Cikkünkben bemutatjuk a polimer kompozitok tönkremeneteli folyamatának újszerű, több szempontú elemzésére alkalmas mérőrendszert, illetve az általunk kidolgozott mérési és értékelési eljárást és az ezzel végzett vizsgálatokat, amelyeknek eredményei igazolták a mérőrendszer alkalmazhatóságát.

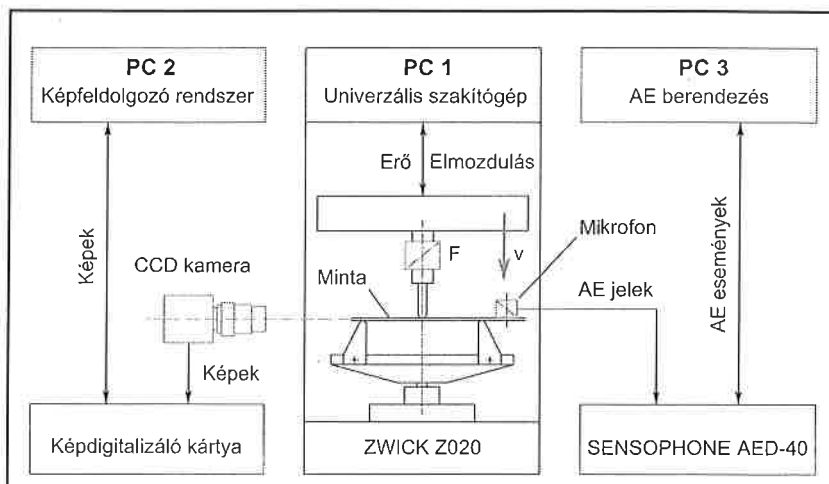
A mérőrendszer

Az általunk összeállított mérőrendszer egy számítógép vezérelt Zwick Z20 típusú univerzális szakítógépet, egy CCD videokamerás képfeldolgozó rendszert, valamint egy Sensophone AED40/4 típusú akusztikus emissziós berendezést tartalmaz. A mérőrendszer blokkvázlatát az 1. ábra szemlélteti. A mérőrendszer az alapvető mechanikai vizsgálatok elvégzése és az eredmények bemutatása (erő–elmozdulás diagram) valamint archiválása mellett, a folyamat során, beállítható időközönként, felvett készíti a deformálódott próbatestről és eltárolja a képeket, valamint nyomon követi az anyag mechanikai igénybevétel hatására bekövetkező akusztikus aktivitását.

A mérőrendszer alapját képezi Zwick Z20/TN2S típusú univerzális szakító gép, amelynek vezérléséről a testXpert® kiértékelő szoftver gondoskodik, a megfelelő szabványos befogók alkalmazásával széles sebességtartományban ($v = 0,01 \dots 750$ mm/min) képes az alapvető húzó-, nyomó-, hajlító- és nyíróvizsgálatok elvégzésére. A szakító gép 20 kN mérés határú.

A valós idejű (real-time) megfigyeléshez használt CCD kamera és képfeldolgozó rendszer (MORF99) segítségével felvett képek elemzése alapján – az alkalmazott nagyítástól, megvilágítástól függően – jól tanulmányozható a teljes tönkremeneteli folyamat, mint pl.: a szálak szakadása, a mátrix repedése és az erősítőanyag rétegek közti hasadás (delamináció).

A képfeldolgozó rendszer egy 600-800 képpont felbontású Philips monokróm CCD mobil kamerából, egy valós idejű monitorból (a vizsgált objektumról készített kép megjelenítésére szolgál), valamint egy képfel-



1. ábra A mérőrendszer blokkvázlata

dolgozó szoftverrel és hardverrel felszerelt számítógépből áll össze. A KFKI Anyagtudományi Intézet által kifejlesztett képdigitalizáló kártya és szoftver képes a vizsgálatok közben beállított számú és ütemezésű képminta-vételezésre, a képek folyamatos eltárolására, illetve a felvett képek utólagos, képtranzformációs műveleteken alapuló kiértékelésére [3].

Az akusztikus emisszió (AE) a szilárd testben felhalmozódott energia felszabadulásakor keletkező nyomáshullám. A mérés elve: az akusztikus forrásból kiinduló, hullámszerűen terjedő anyagmozgást a piezokristály érzékeli és a villamos jeleket a mérőrendszer átalakítja, felerősíti, demodulálja, feldolgozza, és a kapott jellemzőket tárolja, illetve értékeli. Az AE méréseink alapvető célja az volt, hogy tanulmányozzuk, illetve nyomon kövessük a kompozit terhelés hatására meginduló károsodását, a repedésterjedés során lejátszódó különböző tönkremeneteli folyamatokat [4]. A vizsgálat során regisztrált fizikai mennyiségekből (frekvencia, amplitúdó, energia stb.) meglehetősen nagy biztonsággal megállapítható, hogy mikor milyen károsodási folyamat játszódik le az anyagban [5].

Mérési körülmények

Közismert, hogy a hajlítóvizsgálat egy különösen sokoldalú módszer a kompozit anyagok tönkremenetelének teszteléséhez, mivel a húzó, nyomó és nyíró igénybevételek egyszerre jelentkeznek a vizsgálat során. Egy irányba rendezett (unidirekcionális – UD) karbonszál erősítésű epoxi mátrixú kompozit próbatest hárompontos hajlítóvizsgálata során bekövetkező különböző károsodási folyamatok megfigyelésén keresztül tártuk fel az általunk összeépített mérőrendszer alkalmazási lehetőségeit. A hajlítóvizsgálatokat az ASTM D790 szabvány előírásait szem előtt tartva hajtottuk végre. A hajlító készülék geometriai méretei: alkalmazott támaszköz $L = 40$ mm ($L/h = 10$, ahol h a próbatest vastagsága), az alsó támaszok lekerékítési sugara $R_2 = 2$ mm, a nyomófej lekerékítési sugara $R_1 = 5$ mm. A méréseket $v = 1$ mm/min sebességgel, $T = 23^\circ\text{C}$ -on végeztük. A hajlítóvizsgálatok közben, az univerzális mechanikai anyavizsgáló berendezés testXpert® szoftverjének segítségével folytonosan regisztráltuk az összetartozó elmozdulás [mm] és nyomóerő [N] értékpárokat (hajlító karakterisztika).

Egyidejűleg a képfeldolgozó rendszer segítségével felvételsorozatot készítettünk a próbatest nyomófej alatti részéről, a tönkremenetel várható helyéről. Az előre beállított időközönként (1 kép/s) felvett képkockákat és a hozzájuk tartozó erő–elmozdulás értékpárokat ez után összerendeltük.

*Szerzők a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Polimertechnika Tanszék munkatársai; 1111. Budapest, Műegyetem rkp. 9.

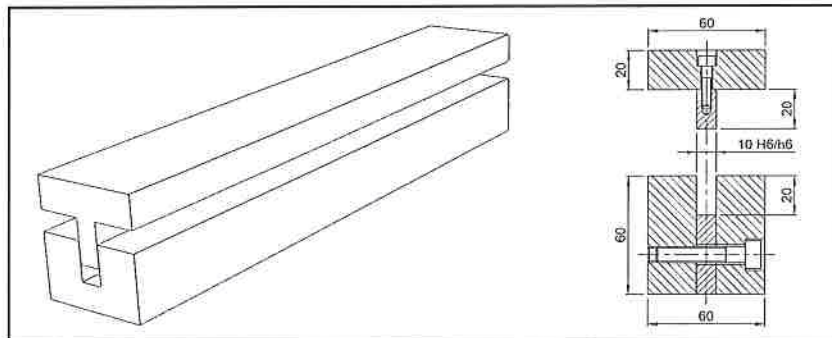
KÉSZÜLÉKEK, BERENDEZÉSEK

A hajlító igénybevétellel terhelt anyag által kibocsátott hanghullámokat (feszültség-hullámok) a vizsgált anyagra erősített mikrofonnal fogtuk fel. A detektáláshoz használt A-11 típusú piezoelektromos érzékelő és a próbatest közötti zavarmentes kapcsolatot csatlóanyag (méhviasz) biztosította. Méréseinket Sensophone AED-40/4 típusú készülékkel végeztük.

A próbatestek előállítás

A hajlítóvizsgálatainkhoz szükséges négyzetű keresztmetszetű UD-kompozit próbatesteket epoxi gyantával (Araldite LY556, Aradur 2954 hártér; 100:30) átitatott (impregnált) szénszál rovingsok (Zoltek – Panex 35) felhasználásával készítettük el.

Az UD mintákat egy korábbi kutatás keretében kidolgozott, állandó próbatest minőséget (geometriai méretek, szálltartalom stb.) biztosító gyártástechnológia alkalmazásával készítettük el [6]. A nyíltvégű sajtoló szerszámban (2. ábra) legyártott kompozit próbatestek geometriai és fizikai jellemzőit az 1. táblázatban foglaltuk össze.



2. ábra. A nyílt végű sajtoló szerszám vázlata

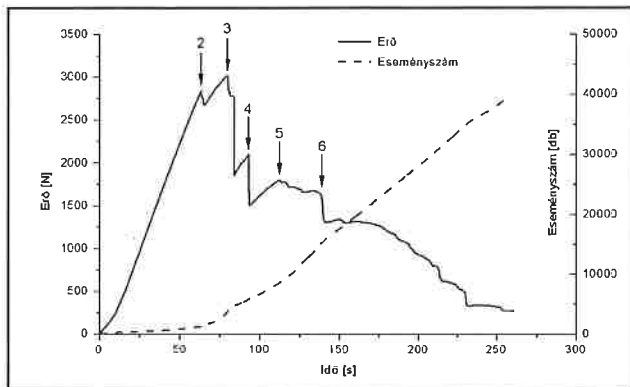
1. táblázat Az UD kompozit jellemzői

A próbatest vastagsága, h [mm]	4 ± 0.05
A próbatest szélessége, b [mm]	10 ± 0.1
A kompozit sűrűsége, ρ [g/cm ³]	1.53
Térfogatra vonatkoztatott szálltartalom, φ [%]	63.5 ± 1

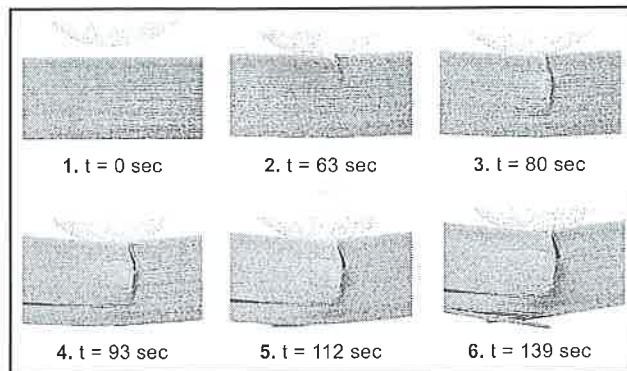
Mérési eredmények kiértékelése

A rendszer működését a hárompontos hajlítóvizsgálat során regisztrált erő-elmozdulás diagrammal, a folyamatos akusztikus megfigyelés eredményeivel, valamint a mérés során felvett néhány képpel szemléltetjük (3. és 4. ábra). A 3. ábra az egyik mérés során regisztrált erő – idő – AE eseményszám diagramot mutatja. A diagramon számozás jelöli a CCD kamerás felvételekkel azonosított tönkremeneteli állapotokat (2...6).

A 4. ábra képei a törési folyamat különböző fázisait szemléltetik a kiinduló terheletlen állapottól (1) a teljes tönkremenetelig (6). Jól látható, hogy a károsodási folyamat a próbatest nyomott oldalán, közvetlenül a



3. ábra. Az UD minta erő – idő – eseményszám görbéi (h = 4 mm, L/h = 10)



4. ábra. A hárompontos hajlítóvizsgálat során felvett képek

terhelőfeje alatt indul meg (2). Ezen időpontig az anyag akusztikus aktivítása elhanyagolható, maradékosodás nem lép fel.

A terhelés további növekedésének hatására a kialakult repedés tovaterjed (3), majd bekövetkezik az első rétegelválás (4). A folyamat jelentős mennyiségű akusztikus esemény lejátszásával párosul. A jelenséget az eseményszám görbe meredekségének növekedése szemlélteti.

A húzott oldali tönkremenetel jól láthatóan csak ez után következik be, a szélső szálkötegek szakadásának megkezdődésével (5). A teljes tönkremenetelt (6) rétegelválás (delamináció) és szálszakadás együtt váltja ki. Ebben a tartományban a repedések terjedése, és szakadások bekövetkezése nyomán felszabaduló energia (eseményszám növekedési sebessége) már állandósul.

Összefoglalás

Az OTKA kutatás keretében előállított unidirekcionális kompozit minták hajlító igénybevétel hatására bekövetkező törési folyamatát vizsgáltuk. A hárompontos hajlítás során bekövetkező tönkremeneteli formák (nyomott oldali kihajlás, delamináció, szálszakadás) a többszempontú megfigyelésnek – optikai, mechanikai és fizikai – köszönhetően jól azonosíthatók. A mérőrendszer által szolgáltatott eredmények a kutatás céljaila kitűzött statisztikus modellezés kiindulópontját képezik [7].

Összefoglalva megállapítható, hogy az összeállított, a számítógéppel vezérelt szakítógépre alapozott, CCD kamerás és AE mérőrendszer és mérési eljárás alkalmas az egy irányba rendezett (unidirekcionális) karbonszálal erősítésű kompozitok törési folyamatának vizsgálatára és elemzésére.

Köszönetnyilvánítás

A cikkben közölt eredmények az Országos Tudományos Kutatási Alap (OTKA T038220) támogatásával születtek.

Irodalom

- [1] Wisnom, M.R.: The effect of specimen size on the bending strength of unidirectional carbon fiber-epoxy. *Composite Structures* 18 (1991) 47-63
- [2] Marom, G. and Rosensaft, M.: Evaluation of bending test methods for composite materials. *Journal of Composite Technology Research* 7 1 (1986) 12
- [3] Vas L. M., Halász G., Nagy P., Eördögh I., Juhász Gy., Szász K.: Textilapok deformációjának vizsgálata számítógépes képfeldolgozó rendszer segítségével. *Anyagvizsgálók Lapja* 6 4 (1996) 111
- [4] Czígány T.: Az akusztikus emissió szerepe a műanyag kompozitok törésmechanikai vizsgálatánál. *Anyagvizsgálók Lapja* 8 1 (1998) 13
- [5] Czígány, T., Marosiálv, J., Karger-Kocsis, J.: An acoustic emission study on the temperature dependent fracture behaviour of polypropylene composites reinforced by continuous and discontinuous fiber mats. *Composites Science and Technology*, 60 (2000), 1203
- [6] Rácz Zs.: Szénszálak minősítő eljárásai. *TDK dolgozat* (1999) BME, Polimertechnika és Textiltechnológia Tanszék
- [7] Vas, L. M., Rácz, Zs., Nagy, P.: Modeling and tensile the fracture process of impregnated carbon-fiber roving specimen during bending: Part II – Experimental studies. *Journal of Composites Materials*, (accepted March 1, 2004)