

Önerősített polimer kompozitok ismételt ütővizsgálata

Repeated dynamic impact testing of single polymer composites

GÖRBE Ákos, VARGA László József, Dr. BÁRÁNY Tamás

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3, Tel.: 06-1-463-2003
gorbe.akos@gmail.com; vargalj@pt.bme.hu; barany@pt.bme.hu, www.pt.bme.hu

Abstract

This study aimed to investigate the impact performance of polypropylene-based single polymer composites manufactured with film-stacking technology and determine the effects of heat setting the tapes. We produced composites of different degrees of consolidation, using random polypropylene matrix films reinforced with woven fabric of stretched polypropylene homopolymer tapes. We subjected the specimens to both static and dynamic tests, and we also defined the residual energy dissipation after repeated low energy impacts.

Keywords: single polymer composite, repeated impact testing, polypropylene, heat setting, consolidation

Kivonat

A kutatás célja rétegeléssel készült önerősített kompozitok viselkedésének vizsgálata ciklikus becsapódások hatására, valamint az erősítőszövetek hőkezelésének kompozitra gyakorolt hatásának vizsgálata. Ehhez különböző konszolidációjú kompozitokat állítottunk elő random polipropilén mátrixból és izotaktikus polipropilén erősítőszövetből. A kompozitokat statikus és dinamikus vizsgálatokkal is minősítettük, illetve meghatároztuk bizonyos ciklusszámú terhelést követő maradó energiaelnyelőképességet is.

Kulcsszavak: önerősített polimer kompozit, ciklikus ütővizsgálat, polipropilén, hőkezelés, konszolidáció

1. BEVEZETÉS

Önerősített polimer kompozitnak nevezzük azt a kompozit anyagot, amelynek erősítő és mátrix fázisa ugyanabba a családba tartozó polimer [1]. Alkalmazásuk legnagyobb előnye a szén- és üvegszálerősítésű kompozitokkal szemben a könnyű újrahasznosíthatóságuk, az erősítőszálak kisebb sűrűsége, valamint a kiváló energiaelnyelő képességük [2]. A leginkább elterjedt gyártástechnológiák a kompaktálás [3], a koextrudált szalagok konszolidálása [4], és a rétegelés [5]. Az önerősített kompozitok egyik legfontosabb jellemzője a konszolidáció, amely megmutatja, hogy a mátrix mennyire itatta át az erősítőstruktúrát [6].

Az önerősített kompozitok egyik legnagyobb előnye a kiváló energiaelnyelés, amit általában penetrációs vizsgálattal lehet meghatározni. Alcock és társai kimutatták továbbá, hogy az energiaelnyelés függ a kompozit konszolidációjától: a jobb konszolidáció esetén jellemző szálszakadás kevesebb energiát nyel el tönkremenetelkor, mint a rosszabb konszolidációval járó szálkihúzóadás és rétegelválás [2]. Az önerősített kompozitok energiaelnyelését vizsgálták Meerten és társai [7], akik kimutatták az energiaelnyelés vastagságfüggését, egyúttal bevezettek egy geometriai hányadost ennek a kiküszöbölésére. Ezzel szemben a mérnöki gyakorlatban jellemzően több, önmagában tönkremenetelt nem okozó igénybevételek terhelik a szerkezetet. A kompozit ezekkel szembeni ellenállását ismétlődő, kisenergiájú ütővizsgálatokkal tudjuk minősíteni. Aurrekoetxa és társai [8] kimutatták, hogy az önerősített polipropilén kompozitok a termoplasztikus erősítőstruktúra képlékenyebb viselkedése miatt jobban ellenállnak az ilyen jellegű terheléseknek, mint a szén- és üvegszálerősítésű kompozitok. A vizsgálatok során előzetes mérések alapján meghatározott energiaszinteken ismétlődő becsapódási vizsgálatoknak vetették alá a próbatesteket, és vizsgálták az ütések után a maradó elnyelt energiát, amely a becsapódások energiájától függő mértékben minden esetben csökkent. Atas és társai [9] üvegszállal erősített kompozitokon végeztek hasonló vizsgálatokat, amiből szintén látszik az önerősített kompozitok kedvezőbb viselkedése.

A szövetek hőrogzítása egy textiliparban elterjedt eljárás, amely során a részben kristályos orientált szálakat száraz környezetben, rögzített állapotban vetjük alá hőkezelésnek. Az eljárás során a szálakban újrendeződés megy végbe, finomodik a kristályszerkezet, a makromolekulák egyensúly-közeli állapotba

kerülnek. Ennek hatására a szálak belső feszültsége csökken, a mechanikai jellemzők javulnak [10]. Az önerősített kompozitok gyártásakor az erősítőszövetek hőkezelésének célja a gyártás során végbemenő relaxáció és az ezzel együtt járó méretcsökkenés és a mechanikai jellemzők romlásának csökkentése.

2. FELHASZNÁLT ANYAGOK ÉS ALKALMAZOTT TECHNOLÓGIÁK

2.1. Alapanyagok

Mátrixanyagként R1059 (MOL Petrolkémia, Tiszaújváros) random polipropilén kopolimerből (folyási mutató száma 84 g/10 perc (230 °C/2,16 kg), húzószilárdsága 29 MPa), gyártott fóliát használtunk fel. Az erősítőanyag polipropilén hasított fóliaszalagokból készült vászonkötésű szövet volt (Tiszatextil Kft., Tiszaújváros; területi sűrűsége 200 g/m², a szalagok szakítószilárdsága 421±27 MPa, olvadási hőmérsékletük 168,6 °C (DSC-vel, első felfűtési ciklusból meghatározva)).

2.2. Az önerősített kompozitok előállítása

A mátrixfóliák előállítása Labtech LCR 300 síkfólia gyártósoron és Labtech 25-30C extruderen (Labtech Engineering Co., Ltd. (Thaiföld, Samutprakarn)) történt, a szerszám hőmérséklete 190 °C, a csiga fordulatszáma 80 1/perc, a fólia elhúzási sebessége 5,3 m/perc, a temperáló elhúzó henger hőmérséklete 60 °C volt.

Az erősítőszövetek hőkezelését szárítoszekrényben végeztük 20 percig, 150 °C-on; 60 mm átmérőjű, 1 m hosszú alumíniumcsövekre feltekercselve és a cső mentén három helyen csőbilincsekkel rögzítve. A 900x1100 mm²-es szöveteket a lánciránnyal párhuzamosan tekertük fel. A hőkezelési idő meghatározásához előkísérleteket alkalmaztunk, amely során egy szövetet lánciránnyal párhuzamosan feltekertünk, majd többféle hőtartási idő után 160°C-on szabadon, 1 percig rögzítés nélkül relaxáltattunk, ezzel a gyártási körülményeket szimuláltuk.

A kompozitok rétegeléses eljárással készültek, az erősítőszövetek közé illesztettünk egy-egy mátrixfóliát, majd ezt az előgyártmányt egy kettős szalagpréssén (DBP, Reliant Powerbond-HPC, Reliant, United Kingdom) préseltük össze a Meshlin Kft.-nél (Győr, Magyarország). A préselési hőmérséklet 160 °C, az alagútmagasság 1,3 mm, a nyomás 7,5 bar volt. A préselés során kétféle, jobban és rosszabbul konzolidált lemezeket készítettünk, ehhez eltérő áttolási sebességeket alkalmaztunk, a rosszabbul konzolidált lemezek 5 m/min, a jobban konzolidáltak 1,5 m/perc-es áttolási sebességgel készültek.

2.3. A kompozitok vizsgálata

A hőkezelés eredményeit szalagszakító vizsgálatokkal, DSC-vel, a relaxáció mértékének számításával, és a szövetek penetrációs vizsgálatával értékeltük. A szalagszakító vizsgálatokat Zwick Z005 szakítógépen (Zwick (Ulm, Németország), terhelhetőség: 5 kN), 5 mm/perc-es szakítási sebességgel végeztük el a szalagpréssén 5 m/perc-cel átvezetett, hőkezelt és hőkezeletlen szövetből kivett szalagokon, valamint a szalagpréssén át nem vezetett szövetek szalagjain. A DSC-vizsgálatokat TA Instruments Q200 (New Castle (USA), hőmérséklettartomány: -50...550 °C) berendezésen végeztük -60 és 210 °C között, 10 °C/perc fűtési sebesség mellett, egyszeres felfűtési ciklussal, a szalagpréssén nagyobb és kisebb sebességgel átvezetett, hőkezelt és hőkezeletlen szövetekből kivett mintákon. A relaxáció mértékét a préselt kompozitok lánc- és vetülékirányban számított méretcsökkenése alapján minősítettük.

Az ejtősúlyos vizsgálatokat Ceast Fractovis 9350 ejtődárdás ütőművel szobahőmérsékleten végeztük (Instron/Ceast (Torino, Olaszország)). A szövetek penetrációjához 150x150 mm²-es, présen mindkét sebességgel áttolt és át nem tolt, hőkezelt és hőkezeletlen próbatesteket vizsgáltunk 147,5 J-os becsapódási energiával. A kompozitok vizsgálatához 120x120 mm²-es próbatesteket használtunk, amelyeket 445,3 J-os becsapódási energiával vizsgáltunk. Az ismétlődő vizsgálatokhoz először megvizsgáltuk, hogy hogyan aránylik egymáshoz a becsapódási és az elnyelt energia (energiagörbe), majd a tönkremenetelhez tartozó becsapódási energia 30, 40, és 50 %-ával 10 becsapódásnak vetettük alá a próbatestet (kivéve, ha előbb penetrálódott a próbatest), majd ezután a minősítéshez használt energiával átszakítottuk, és vizsgáltuk a maradó penetrációs energiát. Az energiagörbe kimérése során a becsapódási energiát az adaléksúlyok növelésével oldottuk meg, így a becsapódás sebessége állandó volt a mérések során.

A szakítóvizsgálatokat Zwick Z250 (Zwick (Ulm, Németország), terhelhetőség: 250 kN) szakítógépen végeztük, szobahőmérsékleten, 5 mm/perc szakítási sebesség mellett. A próbatestek 25x200 mm²-es téglalapok voltak, az elmozdulásokat Mercury Monet (Sobiety (Kurim, Csehország)) optikai nyúlásmérővel regisztráltuk.

3. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

3.1. A hőkezelés értékelése

A hőkezelés hatására a szalagok mechanikai tulajdonsága romlott a hőkezeletlen szövetekhez képest, mivel a hőkezelés során csökkent a molekulák orientációja. A hőkezelt szövetek hőpréslése során azonban a szalagok mechanikai tulajdonságai javulnak. A DSC-mérésekből kimutattuk, hogy a hőkezelés hatására kismértékben nőtt a kristályos részarány és a kristályolvadási hőmérséklet, azaz végbement a molekulaszervezet rendeződése, finomodása. A szövetek ejtősúlyos vizsgálata során megerősítette, hogy a hőkezelés a hőterheléssel arányosan növeli az elnyelt energiát. Emellett azt tapasztaltuk, hogy a szövetek hőkezelés hatására csökkent a kompozitok zsugorodása lánc- és vetületek irányában egyaránt.

3.2. A kompozitok minősítése

Az elkészült kompozitokat szakítóvizsgálattal és ejtősúlyos vizsgálatokkal minősítettük. Látható volt a konzolidáció merevségre gyakorolt hatása, a jobb konzolidáció nagyobb maximális feszültséggel és rugalmassági modulussal járt, ugyanezt a tendenciát figyeltük meg a hőkezelés esetében, a szövetek hőkezelése javította a kompozitok mechanikai tulajdonságait. Az ejtősúlyos vizsgálatok során igazoltuk, hogy a rosszabb konzolidáció jobb energiaelnyelést okoz, illetve kimutattuk, hogy a szövetek hőkezelése az elnyelt energia növekedéséhez vezet (1. táblázat).

A kompozitok minősítése

1. táblázat

Tulajdonság	Hőkezeletlen szövetekből, jó konzolidáció	Hőkezeletlen szövetekből, rosszabb konzolidáció	Hőkezelt szövetekből, jó konzolidáció	Hőkezelt szövetekből, rosszabb konzolidáció
Rugalmassági modulus (MPa)	571,2±152,2	273,4±69,9	628,8±141,8	561,2±238,4
Maximális feszültség (MPa)	50,9±6,5	52,0±2,8	51,7±3,7	72,9±9,8
Perforációs energia (J/mm)	15,9±1,3	21,2±0,5	17,1±0,8	26,5±14,6

3.3. Az ismétlődő becsapódási vizsgálatok

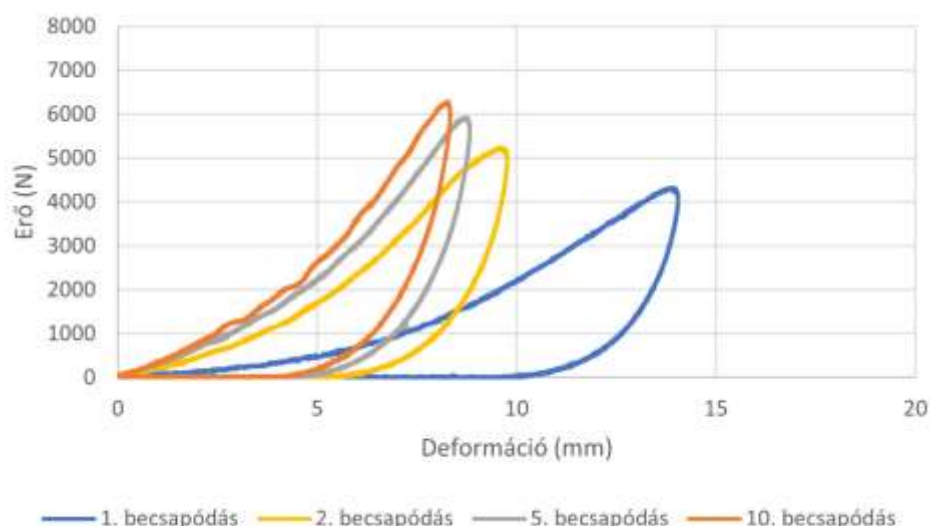
Az ismétlődő becsapódási vizsgálatok során a próbatestek által elnyelt maximális erő nagysága az ütések számával nőtt (1. ábra), a deformáció és az elnyelt energia fokozatosan csökkent, a változások mindig az első ütés után voltak a legjelentősebbek. Ha a próbatest a tíz ütési ciklus előtt átszakadt, akkor a maximális erő és a deformáció hirtelen lecsökkent, az elnyelt energia pedig megnőtt a tönkremenetel miatt.

A maradó penetrációs energia

2. táblázat

Terhelési szint (%)	Hőkezeletlen szövetekből, jó konzolidáció (J/mm)	Hőkezeletlen szövetekből, rosszabb konzolidáció (J/mm)	Hőkezelt szövetekből, jó konzolidáció (J/mm)	Hőkezelt szövetekből, rosszabb konzolidáció (J/mm)
0	15,9±1,3	21,5±0,5	17,1±0,8	26,5±2,4
30	14,5±1,2	27,3±2,5	15,2±2,4	25,3±1,9
40	14,0±0,7	22,0±1,2	12,7±0,7	-

Az ismétlődő becsapódási vizsgálatok során kimutattuk, hogy a hőkezeletlen szövetekből préselt kompozitok jobban ellenállnak az ismétlődő terhelésnek, mivel a hőkezelt szövetből préselttekkel ellentétben a rosszabbul konzolidált kompozitok is kibírták a penetrációhoz szükséges becsapódási energia 40%-át tízszer, valamint a sorozatos becsapódások hatására az anyag olyan mértékben felkeményedett, hogy a penetrációs energia megnőtt a becsapódások előtti értékhez képest (2. táblázat).



1. ábra: Jellemző változás az erő-deformáció diagramban a becsapódások hatására

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatás során rétegeléssel előállított önerősített kompozitok ciklikus ütésvizsgálatát végeztük el, valamint vizsgáltuk a szövetek hőkezelésének hatását a kompozit tulajdonságaira.

Kimutattuk, hogy a hőkezelés hatására a szalagokban a kristályszerkezet finomodik, újrendeződés megy végbe. Ennek hatására a hőterhelésnek alávetett szalagok kevésbé veszítenek orientációjukból, mechanikai tulajdonságaik jobbák, mint a hőkezeletlen szalagoké. A kész kompozitok esetében ugyanezt a tendenciát figyeltük meg, a hőkezelt szövetekből préselt kompozitok mechanikai tulajdonságai jobbák voltak.

Az ismétlődő becsapódási vizsgálatok során kimutattuk, hogy a hőkezeletlen szövetekből préselt, kisebb konszolidációs fokú kompozitok az ütések hatására olyan mértékben felkeményedtek, hogy megnövekedett a penetráció során elnyelt energiájuk az ütések után.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani a Meshlin Kft.-nek, amiért a préseléshez biztosították a kettős szalagprést.

A szerző részvételét az OGÉT 2021 konferencián az Emberi Erőforrás Támogatáskezelő NTP-HHTDK-20 pályázata támogatta.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Kmetty, Á.; Bárány, T.; Karger-Kocsis, J.: Self-reinforced polymeric materials: A review. *Progress in Polymer Science (Oxford)*, **35**, 1288–1310 (2010).
- [2] Alcock, B.; Cabrera, N. O.; Barkoula, N. M.; Peijs, T.: Low velocity impact performance of recyclable all-polypropylene composites. *Composites Science and Technology*, **66**, 1724–1737 (2006).
- [3] Ward, I. M.; Hine, P. J.: The science and technology of hot compaction. *Polymer*, **45**, 1413–1427 (2004).
- [4] Peijs, T.: Composites for recyclability. *Materials Today*, **6**, 30–35 (2003).
- [5] T. Bárány, J. Karger-Kocsis, T. Czigány: Development and characterization of self-reinforced poly(propylene) composites: carded mat reinforcement. *Polymers for Advanced Technologies*, , 818–824 (2006).
- [6] Bárány, T.; Izer, A.; Czigány, T.: On consolidation of self-reinforced polypropylene composites. *Plastics, Rubber and Composites*, **35**, 375–379 (2006).
- [7] Meerten, Y.; Swolfs, Y.; Baets, J.; Gorbatikh, L.; Verpoest, I.: Penetration impact testing of self-reinforced composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, **68**, 289–295 (2015).
- [8] Aurrekoetxea, J.; Sarrionandia, M.; Mateos, M.; Aretxabaleta, L.: Repeated low energy impact behaviour of self-reinforced polypropylene composites. *Polymer Testing*, **30**, 216–221 (2011).
- [9] Atas, C.; Icten, B. M.; Küçük, M.: Thickness effect on repeated impact response of woven fabric composite plates. *Composites Part B: Engineering*, **49**, 80–85 (2013).
- [10] Gupta, V. B.: Heat setting. *Journal of Applied Polymer Science*, **83**, 586–609 (2001).