

Poliamid 6 mátrixú, hővezető hibrid kompozit fejlesztése**DEVELOPMENT OF POLYAMIDE-6-BASED THERMALLY CONDUCTIVE HYBRID COMPOSITE**SUPLICZ András¹, PhD, adjunktus; SZABÓ Ferenc², PhD, adjunktus¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., +36-1-463-1459, suplicz@pt.bme.hu, www.pt.bme.hu²Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., +36-1-463-1459, szabof@pt.bme.hu, www.pt.bme.hu**ABSTRACT**

In this work a thermally conductive hybrid composite was developed. The composite contains boron-nitride as filler and carbon fiber as reinforcement. The thermal conductivity, the mechanical properties and the fiber fragmentation of the mono and hybrid composites were analyzed. It was proved that the carbon fiber has positive effect on the mechanical and thermal properties of highly filled thermally conductive compounds.

ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk során olyan hibrid rendszerű, hővezető polimer kompozitot állítottunk elő, amely bór-nitrid töltőanyagot és szénzál erősítőanyagot tartalmaz. Az elkészült anyagoknak vizsgáltuk a hővezető képességét, mechanikai tulajdonságait, valamint az alkalmazott erősítőszálak töredezését. Méréseinkkel kimutattuk, hogy a szénzál a töltött, hővezető kompaundok mechanikai és termikus tulajdonságaira előnyösen hat.

Kulcsszavak: hővezető polimerek, hővezetési tényező, hibrid kompozit, szénzál, bór-nitrid

1. BEVEZETÉS

Ahogy az ipar számos területén, az elektronikai iparban is megfigyelhető az a törekvés, hogy az eszközök teljesítményének növelése mellett azok mérete és súlya egyre kisebb legyen. Az elektronikai alkatrészek egyre kisebb mérete miatt a keletkezett hő egyre koncentráltabb. Ahhoz, hogy az ilyen eszközök túlmelegedéséből eredő károsodás elkerülhető legyen, jó hővezető képességű anyagokat kell alkalmaznunk a hűtésükre. Az utóbbi években erre a célra új alapanyagként jelentek meg a különféle hővezető polimer kompozitok, a jelenleg legelterjedtebben alkalmazott könnyűfémek mellett. A polimerek alkalmassá tehetők ilyen típusú alkatrészek gyártására azzal, hogy a hővezetésüket megnöveljük fém, kerámia vagy szén alapú hővezető töltőanyagokkal [1, 2].

A hővezető polimerek nagy előnye, hogy a hagyományos műanyagipari feldolgozási technológiák segítségével gazdaságosan tudunk belőlük terméket készíteni. Hőre lágyuló mátrixú kompozitok esetében ilyen eljárás például a fröccsöntés, ami a tervezői szabadság mellett széles mérettartományban is nagy méretpontosságot biztosít a termékek számára. A hővezető polimer kompozitok fröccsöntésekor a feldolgozandó alapanyag jó hővezető képessége miatt a hagyományos eljárásához képest gyorsabb a hűlés, így a ciklusidő is lerövidülhet, ami még gazdaságosabbá teszi a gyártásukat [1, 3].

Az elektronikai ipar manapság még nagy mennyiségben alkalmaz könnyűfémeket, azonban a fent említett előnyös tulajdonságok miatt egyre inkább nő a különféle töltött hővezető polimer kompozitok jelentősége. Használatuknak jelenleg egyik nagy korlátja, hogy a hővezető töltőanyagok koncentrációjának növelésével a kompozit mechanikai tulajdonságai jelentősen romlanak. A mechanikai tulajdonságok javítására jelenthet megoldást a hibrid rendszerek kialakítása, amelyekben a hővezetést növelő töltőanyagok mellett valamelyen, többnyire szál erősítőanyag is jelen van. Munkánk során olyan poliamid 6 mátrixú hibrid kompozitot fejlesztettünk ki, amely bór-nitrid töltőanyagot és szénzál erősítőanyagot tartalmaz. A bór-nitrid az alapanyag hővezető képességét növeli, míg a szénzál a jobb hővezető képesség kialakítása mellett a mechanikai tulajdonságokat is javítja.

2. ANYAGOK, BERENDEZÉSEK, MÓDSZEREK

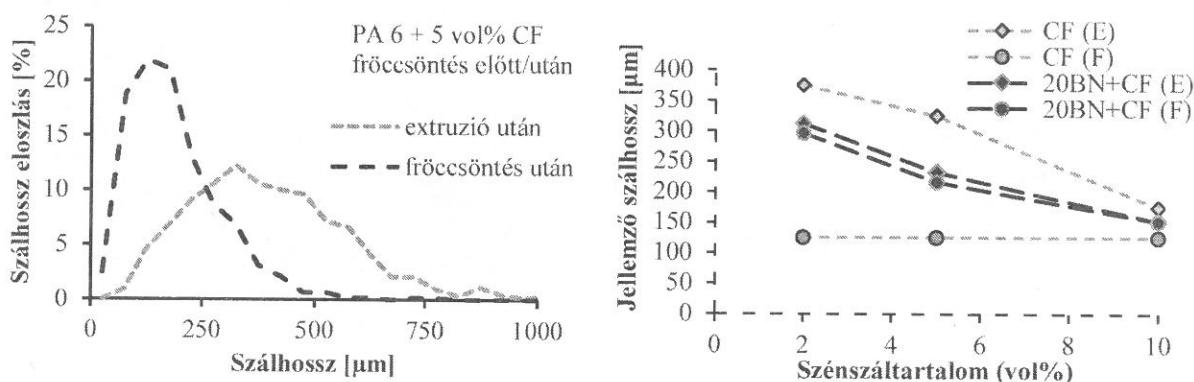
A kompozitok mátrixanyagának az A.Schulman által gyártott Schulamid 6 MV 13 F típusú poliamid 6-ot (PA 6) választottuk. A hővezető képesség javítására és a mechanikai tulajdonságok módosítására szénszálat és hexagonális bór-nitridet alkalmaztunk. A Panex 35 (Type -95) típusú 6 mm hosszú vágott szénszálat (CF) a Zoltek Zrt.-től, míg a HeBoFill 482 típusú bór-nitridet (BN) az EVVA Hungária Kft.-től szereztük be.

A mono és hibrid kompozitokat ikercsigás extruder segítségével készítettük el. A mono kompozitok 0, 2, 5 illetve 10 vol% szénszálat tartalmaztak, hibrid kompozit esetében 20 vol% bór-nitrid alkalmazása mellett 0, 2, 5 illetve 10 vol% szénszáltartalommal gyártottunk kompaundokat. A mérések elvégzéséhez az anyagokból Arburg 370S 700-290-es fröccsöntőgép segítségével 80x80x2 mm-es lapkákat gyártottunk. A száltöredezés vizsgálatához a vizsgálati mintákat 600°C hőmérsékleten, 6 órán keresztül kiégettük, majd a maradék bór-nitridet és szénszálat üveglapon egyenletesen eloszlattuk. A szálhossz eloszlás meghatározásához Keyence VHX 5000 típusú optikai mikroszkóppal készítettünk felvételeket. A szakítóvizsgálatokat Zwick Z020-as univerzális terhelőgépen végeztük el az ISO 527 szabvány ajánlásai alapján, „5A” típusú próbateszten. A hővezetési tényező meghatározásához egy saját építésű, forrólapos módszer elvén működő berendezést alkalmaztunk [3].

3. EREDMÉNYEK

Szálhossz eloszlás vizsgálata

A polimerekbe töltött szálak feldolgozás során töredeznék, a szálhosszak rövidülése pedig nagymértékben kihat a kialakult mechanikai tulajdonságokra. Az általunk kifejlesztett kompozit anyagok esetében vizsgáltuk a szénszálak hosszának eloszlását, mind extrúzió, mind fröccsöntés után. Mono kompozitok esetében azt tapasztaltuk (1. ábra), hogy a kompaundálás során ment végbe a legnagyobb mértékű száltöredezés. 2 vol% CF esetében az eredetileg 6 mm hosszú szálak átlagosan 400 μm -re tördelődtek. A száltartalom növelésével a jellemző szálhossz tovább csökkent. Ez a szálak közötti kölcsönhatásnak és a feldolgozás során kialakuló nyírásnak tudható be. Ezzel szemben fröccsöntés után száltartalomtól függetlenül 125 μm volt a jellemző szálhossz.



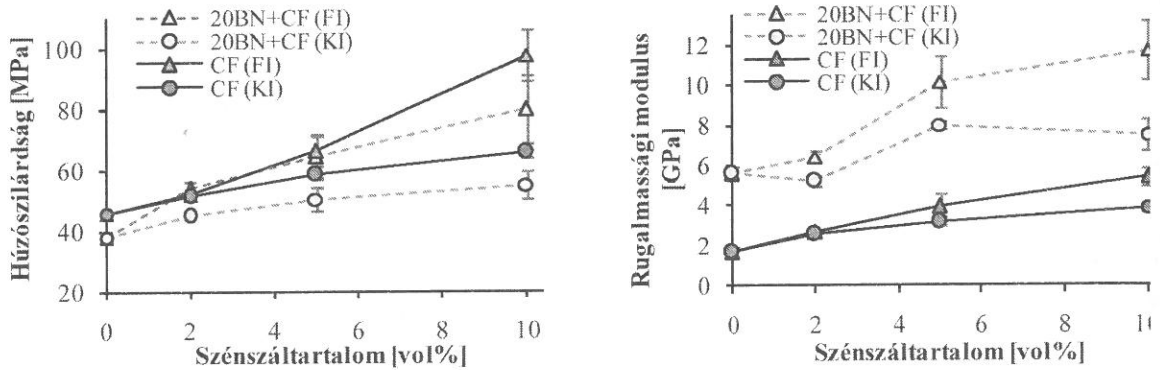
1. ábra. 5 vol% szénszállal erősített PA 6 szálhosszeloszlás diagramja (balra) és jellemző szálhosszak alakulása a szénszáltartalom és bór-nitrid tartalom függvényében (jobbra) (jelölések: E=extrúzió után; F=fröccsöntés után)

Extrúzió után a hibrid kompozitok esetében száltartalom függvényében a jellemző szálhosszak kisebbek, mint mono kompozitok esetében. Ez a BN szemcséknek köszönhető, mivel megnövelték a kompaundálás során az anyagban keletkezett nyírás. Az extrúzióhoz képest a fröccsöntés már csak elhanyagolható mértékű száltördelődést okozott. Ez valószínűleg a BN jó csúsztatóképeségének köszönhető. A BN pozitívan segíti a kompozit feldolgozhatóságát, kis száltartalom esetében lecsökkenti a száltöredezést fröccsöntés közben, így javítva a mechanikai tulajdonságokat.

Szakítóvizsgálat

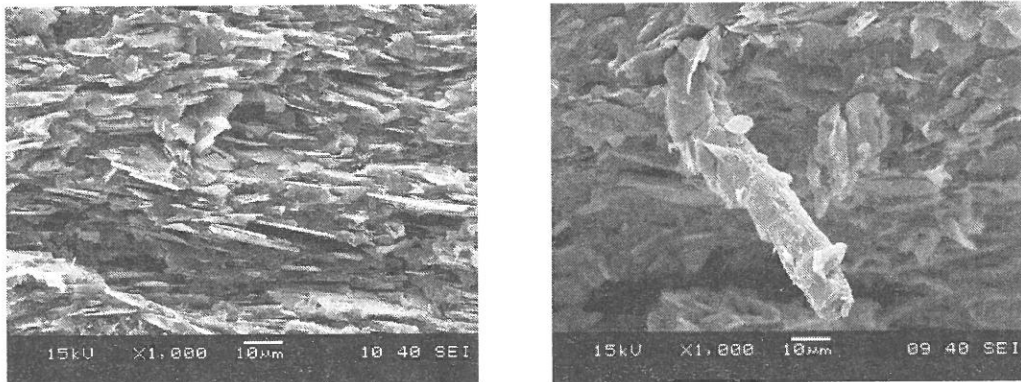
A szakítóvizsgálatokat mind folyásirányban, mind keresztirányban elvégeztük, hogy vizsgálni tudjuk a szálorientáció hatását (2. ábra). Minden esetben azt tapasztaltuk, hogy a szálorientáció jelentősen befolyásolja a kialakult mechanikai tulajdonságokat, és ez a hatás a száltartalom növelésével egyre hangsúlyosabb lesz. Amíg 2 vol% CF esetén jelentős különbség nem fedezhető fel a különböző irányokban, addig 10 vol% CF alkalmazása esetén a két irányban rendre 32 MPa és 1,5 GPa különbséget tapasztaltunk a húzószilárdságban

és a húzó rugalmassági modulusban. A PA 6 mátrixhoz 20 vol% BN hozzáadása esetén a rugalmassági modulus jelentős növekedése mellett a húzószilárdság csökkenése 7,5 MPa volt, ami indokolja a hibrid rendszer kialakítását. A BN és CF hibrid rendszerben történő alkalmazása jelentősen javítja a bór-nitriddel töltött anyag mechanikai tulajdonságait.



2. ábra. Szénszállal erősített valamint szénszállal erősített és 20 vol% BN töltésű PA 6 húzószilárdsága és húzó rugalmassági modulusa (jelölések: FI=folyásirány; KI= keresztirány)

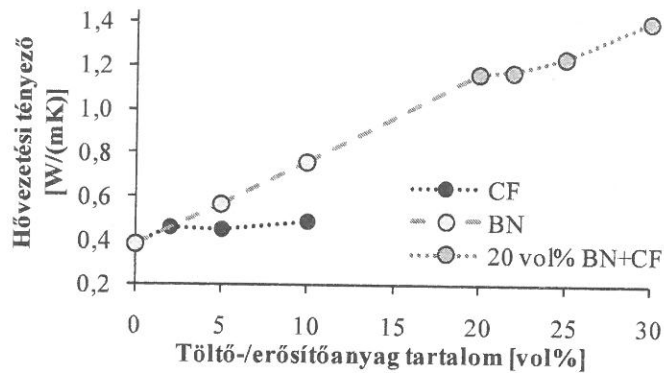
A hibrid szerkezet morfológiai elemzésére elektronmikroszkópi felvételeket készítettünk. A képeken (3. ábra) látható, hogy a PA 6 mátrix és a szénszál között kiváló adhézió alakult ki. Továbbá megfigyelhető, hogy a szál felületén apróbb BN lemezek helyezkednek el, így a hibrid rendszerben a három alapanyag megfelelően együtt tud dolgozni, ezzel jelentősen javítva a mechanikai és termikus tulajdonságokat.



3. ábra. 20 vol% BN-nel töltött (balra) valamint 20 vol% BN töltésű, szénszál erősítésű (jobbra) PA 6 töretfelülete

Hővezetési tényező

A töltetlen PA 6 hővezetési tényezője 0,38 W/(mK) volt, ez az érték 10 vol% szénszál hozzáadásával csak igen kis mértékben, 0,49 W/(mK)-re nőtt (4. ábra). A kedvezőtlen, hőáramra merőleges szálorientáció miatt a szénszál jó hővezető képessége nem érvényesült. Bór-nitrid hozzáadásával viszont jelentős javulás érhető el, annak ellenére, hogy az orientáció a bór-nitrid esetén is kedvezőtlen. A 10 vol% szénszál mellett 20 vol% bór-nitridet tartalmazó hibrid-kompozit hővezetési tényezője 1,4 W/(mK)-re nőtt, ez több mint háromszorosa a töltetlen PA 6 értékének. Látható, hogy nagy töltőanyag tartalommal a hővezetési tényező jelentősen növelhető. Továbbá megfigyelhető, hogy hibrid rendszerben a szénszál hővezető képességre gyakorolt hatása sokkal kedvezőbb, mint mono kompozit esetében.



4. ábra. PA 6 mátrixú mono és hibrid kompozitok hővezetési tényezője

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk során fröccsöntésre alkalmas, növelt hővezetési tényezőjű polimer mátrixú hibrid kompozit anyagot állítottunk elő. A mátrixanyagként alkalmazott PA 6 hővezető képességét lemezes szerkezetű hexagonális bór-nitriddel növeltük, a mechanikai tulajdonságokat pedig szénszállal javítottuk. Az elkészített anyagok jellemzésére morfológiai, mechanikai és termikus vizsgálatokat végeztünk. A szálhosszak elemzése során kimutattuk, hogy fröccsöntés alatt a szénszállra kedvező hatással van a BN, ugyanis extrúzió után már jelentős mértékű száltöredezés nem zajlott le a kompaundban, így a jellemző szálhossz a fröccsöntött termékben jelentősen növekedett a mono kompozitokhoz képest. A szakítóvizsgálatok során igazolódott a szénszál kedvező hatása a mechanikai tulajdonságokra. Szénszál erősítőanyag alkalmazásával a bór-nitriddel töltött PA 6 rugalmassági modulusa tovább nőtt, és a húzószilárdság a folyásirányban már egészen kis száltartalom esetén is meghaladta a töltetlen mátrixanyagét. A termikus vizsgálatokból megállapítottuk, hogy a CF csak kis mértékben növeli a kompozit hővezetési tényezőjét. Bór-nitrid és szénszál hibrid rendszerű alkalmazása esetén a szénszálnak már jelentősebb hatása volt, 20 vol% BN és 10 vol% CF felhasználásával 1,4 W/mK hővezetési tényezőt értünk el.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A projekt a Magyar Kormány támogatásával, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap finanszírozásával valósult meg (NVKP_16-1-2016-0038). A cikk a Bolyai János Kutatási ösztöndíj támogatásával készült. Köszönjük továbbá az Arburg Hungária Kft-nek az Arburg Allrounder 370S 700-290 típusú fröccsöntőgépet, a Lenzkes GmbH-nak a szerszámfelfogókat és a Tool-Temp Hungária Kft.-nek a szerszámtemperálókat.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Suplicz A., Kovács J. G., Hővezető polimerek az elektrotechnikában – hibrid rendszerű töltőanyagok alkalmazásának előnyei. Műanyag és Gumi, 2014/51, 156-160.
- [2] F. Xie, S. H. Qi, D. Wu, A facile strategy for the reduction of graphene oxide and its effect on thermal conductivity of epoxy based composites, Express Polymer Letters, 2016/6, 470-478.
- [3] J G Kovács, A Suplicz, Thermally Conductive Polymer Compounds for Injection Moulding: Synergetic Effect of Hexagonal Boron Nitride and Talc Journal of Reinforced Plastics and Composites, 2013/16, 1234-1240.