

POLIAMID 6 MÁTRIXÚ HIBRIDKOMPOZITOK KÚSZÁSI JELLEMZŐI

PETRÉNY ROLAND¹
MÉSZÁROS LÁSZLÓ^{1,2 *}

Kutatásunk során a szénszákkal és szénanocsövekkel erősített, fröccsöntött hibridkompozitok kúszási jellemzőit vizsgáltuk. A szakítóvizsgálatok és a pásztázó elektronmikroszkóppal készített felvételek alapján megállapítottuk, hogy a szénszálak jelenléte nagy mértékben javította a szénanocsövek eloszlottságát a mátrixban. A csak szénszál-erősítésű kompozit kúszása jelentősen kisebb volt, mint a csak szénanocsövekkel erősített kompozitoké, a szénszálak mellett nanocsöveket is tartalmazó kompozitok kúszása pedig további 22%-kal csökkent.

Kulcsszavak: nanokompozit, hibridkompozit, kúszás

1. BEVEZETÉS

Az utóbbi 20 év legígéretesebb fejlesztései közé tartoznak a különféle nanoméretű anyagokkal erősített kompozitok, amelyek közül a szénanocső-erősítésűek kiemelkedő jelentőséggel bírnak. A szénanocsövek alkalmazása azért került előtérbe, mert mechanikai jellemzői messze felülmúlják a hagyományosan használt erősítőanyagokét: a többfalú szénanocsövek húzó modulsza a 900 GPa-t, szakítószilárdsága a 63 GPa-t is elérheti [1–3].

A kiemelkedő mechanikai tulajdonságok mellett a szénanocsövek másik előnyös tulajdonsága a nagy felület/térfogat arány, ami már a nanocsövek egészen kis térfogathányada esetén is lehetővé teszi, hogy nagy felületen kapcsolódjanak a mátrixhoz. A nagy felületen történő kapcsolódás hatékony terhelésátadást biztosít a mátrix és az erősítőanyag között, ezáltal lehetővé válik a nanocsövek egyedülálló szilárdsági jellemzőinek a kihasználása [4, 5].

A kompozit végső mechanikai jellemzőit azonban az is befolyásolja, hogy a nanocsövek mennyire egyenesen oszlanak el a mátrixban. A nanocsövek általában porszerű formában kerülnek forgalomba, ekkor a nanocsövek éppen a nagy felület/térfogat arányuk miatt egymáshoz tapadnak. A kompozitgyártás során a legfontosabb feladat az egymáshoz tapadt nanocsövek minél egyenletesebb eloszlása, ugyanis az aggregálódott nanocsövek hibahelyeket képezhetnek a kompozitban. A nanocsövek megfelelő eloszlására számos módszert fejlesztettek ki az utóbbi években, ezek többsége azonban csak kis sorozatú gyártás esetén alkalmazható, ami gátolja a nanokompozitok elterjedését [6–9].

Ahhoz, hogy a nanokompozitok sorozatgyártásra alkalmasak legyenek, a mátrixnak hőre lágyulónak kell lennie, hogy az olyan nagy termelékenységgel technológiákkal, mint az extrúzió vagy a

fröccsöntés feldolgozhatók legyenek. A különféle poliamidok jelenleg is elterjedt mátrixanyagok a különféle nagyteljesítményű kompozitoknak, rövid szénszákkal erősítve kiváló mechanikai tulajdonságaik tovább javíthatók és fröccsöntéssel is feldolgozhatók. A rövid szákkal erősített kompozitok feldolgozása során nagy nyírófeszültség ébred az ömledékben, ezért alkalmasak arra, hogy az ömledékbe nanocsöveket keverve segítse azok egyenletes eloszlását. A rövid szénszál erősítés és az egyenletes eloszlott nanocsövek együttes jelenléte szinergikus hatással lehet a kompozit mechanikai tulajdonságaira [10–15].

A polimer termékek méretezésekor kiemelt jelentőségű a kúszás jelensége, ugyanis az a fémekkel és kerámiákkal ellentétben, már szobahőmérsékleten és kis terhelés esetén is jelentős mértékben felléphet. Nanokompozitokban a nanorészecskék hosszú távú tulajdonságokra gyakorolt hatásaival már több kutatás is foglalkozott. Ezek alapján általánosan elmondható, hogy a nanorészecskék jelenléte a kúszási hajlamot csökkenti, ami a mérnöki felhasználás szempontjából kedvező hatás. A szénanocső és a különféle szálerősítésű hibridkompozitok mechanikai tulajdonságaival az utóbbi években számos kutatás foglalkozott, azonban hosszú távú viselkedésük jelenleg kevésbé feltárt [12, 16–19].

Mindezek alapján célunk a szénanocsöveket és a szénszálakat tartalmazó hibridkompozitok kúszási viselkedésének meghatározása volt, amelyhez mátrixanyagként a fröccsöntött kompozit termékek előállításánál előszeretettel alkalmazott poliamid 6-ot választottuk.

2. ALAPANYAGOK, ELŐÁLLÍTÁSI ÉS VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

Mátrixanyagként az A. Schulman GmbH által gyártott poliamid 6 homopolimert használtuk (SHULAMID 6 MV 13 F) (PA6). Sűrűsége 1,13 g/cm³ (szobahőmérsékleten), MFI értéke 14,7 g/10 perc (2,16 kg, 230 °C). A kutatáshoz alkalmazott szénanocsövet a Nanocyl s.a. állította elő. A NANOCYL NC7000 típusú szénanocső (CNT) átlagos átmérője 9,5 nm, hossza pedig 1,5 μm volt. A szálerősítéshez a Zoltek Zrt. által gyártott Panex 35 Chopped Pellet 95 típusú szénszál (CF) használtuk.

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, Budapest

² MTA-BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport, Budapest

Lektorált tudományos közlemény

1. táblázat.

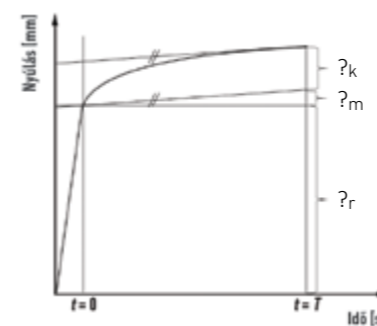
A VIZSGÁLT KOMPOZITOK ÖSSZETÉTELE

Anyag megnevezése	PA6 tartalom [m%]	CNT tartalom [m%]	Szénszál tartalom [m%]
PA6	100	0	0
PA6+0,25CNT	99,75	0,25	0
PA6+0,5CNT	99,5	0,5	0
PA6+0,75CNT	99,25	0,75	0
PA6+1CNT	99	1	0
PA6+30CF	70	0	30
PA6+30CF+0,25CNT	69,75	0,25	30
PA6+30CF+0,5CNT	69,5	0,5	30
PA6+30CF+0,75CNT	69,25	0,75	30
PA6+30CF+1CNT	69	1	30

A szálak átlagos kiindulási hossza 6 mm volt, átmérőjük pedig 8,3 μm. A szálak sűrűsége 1,81 g/cm³. Az előállított kompozitok összetételét az 1. táblázat mutatja.

Feldolgozás előtt a PA6 mátrixanyagot a gyártó ajánlásának megfelelően 4 órán keresztül, 80 °C hőmérsékleten szárítottuk. Az erősítőanyagok bekeverése először mechanikus keveréssel, majd Labtech LTE 26-44 típusú ikercsigás extruderrel történt, a csiga fordulatszáma 25/min, az ömledék hőmérséklet 230 és 240 °C között volt. A fröccsöntés előtt az anyagokat szintén 4 órán keresztül, 80 °C hőmérsékleten szárítottuk, majd Arburg Allrounder 370 S 700-290 típusú fröccsöntő géppel állítottuk elő az MSZ EN ISO 527 szabvány szerinti, 4×10 mm keresztmetszetű szakító próbatesteket. A fröccsöntött próbatestek kondicionálása 1 hónapon keresztül, 23 °C hőmérsékleten és 25% relatív páratartalomon történt.

A szakítóvizsgálatokat Zwick Z005 típusú szakítógéppel végeztük, anyagként 5 db próbatesten, a befogási hossz 110 mm, a szakítási sebesség 5 mm/perc volt. A húzási rugalmassági moduluszt a szakítógörbe kezdeti, legmeredekebb szakaszára illesztett egyenes alapján határoztuk meg. A kúszásvizsgálatokat ugyanezzel a géppel végeztük, anyagként 3 próbatesten. A csak nanocsövekkel erősített kompozitok vizsgálatához alkalmazott terhelési szint a tiszta PA6, a szénszákkal is erősített kompozitok vizsgálatához a 30 m% szénszál tartalmú PA6 húzószilárdságának a 30%-a volt. A fel- és leterhelés sebessége 100 N/s volt. A kapott kúszási görbék alapján $t = 1200$ s-nál meghatároztuk az egyes deformációkomponenseket. A pillanatnyi rugalmas deformációkomponenst (ϵ_r) a beállított terhelési



1. ábra
Deformációkomponensek meghatározása szerkesztéssel.

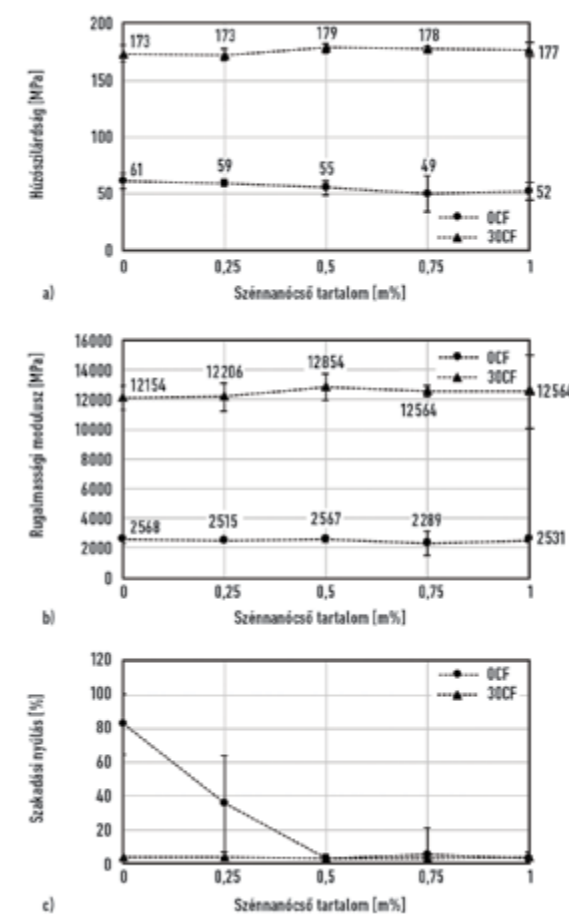
szint elérésekor fellépő deformációval becsültük. A késleltetett rugalmas deformációkomponens (ϵ_k) szerkesztéssel előállítható, a $t = 1200$ s pontba húzott érintő és a $t = 0$ tengely metszetéből kivonva a pillanatnyi rugalmas deformációt. A maradék deformáció (ϵ_m) megkapható a fenti két deformációkomponenst kivonva a teljes deformációból a $t = 1200$ s pillanatban (1. ábra).

A szakítóvizsgálatok során létrejött töretfelületeket a vizsgálat előtt arannyal vontuk be a JEOL JFC-1200 aranyozó berendezés segítségével, majd a JEOL JSM 6380LA típusú pásztázó elektronmikroszkóppal készítettünk felvételeket. A csak szénanocsöveket tartalmazó minták felületén a tönkremenetel kiindulási pontjában és környezetében készítettünk felvételeket, a szénszálakat is tartalmazó minták felületén, mivel a tönkremenetel kiindulási pontja nem volt azonosítható, 3 véletlenszerűen kiválasztott pontban.

3. EREDMÉNYEK

3.1. Szakítóvizsgálat

A kompozitok húzószilárdságát szemléltető diagramon (2a. ábra) látható, hogy a szénszálakat is tartalmazó kompozitok húzószilárdsága a szénanocső-tartalom növekedésével nő, ami arra utal, hogy a nanocsövek egyenesen oszlanak el a mátrixban, ezáltal hatékony erősítőhatást fejtenek ki. A csak nanocsöveket tartalmazó kompozit húzószilárdság értékein azonban megfigyelhető, hogy a nanocsőtartalom növekedésével a húzószilárdság csökken, ami annak következménye, hogy a kompozitban aggregálódott nanocsövek maradtak, amelyek hibahelyekként viselkednek.



2. ábra
A vizsgált kompozitok a) húzószilárdsága, b) húzó rugalmassági modulusza és c) szakadási nyúlása.