

Fibrilláris fázismorfológiával (FFM) rendelkező polimerkeverékek II.

FFM kialakítása önerősítéses fröccsöntéssel

Dr. VARGA JÓZSEF*
egyetemi tanár

BREINING, ANGELA**
tudományos munkatárs

Dr. Dr. h.c. EHRENSTEIN, GOTTFRIED W.**
tanszékvezető egyetemi tanár

1. Bevezetés

Előző közleményünkben [1] áttekintettük a fibrilláris fázismorfológiával (FFM) rendelkező inkompatibilis polimerkeverékek előállításának lehetséges módszereit és elemeztük kialakulásuk törvényszerűségeit. Az irodalmi adatok kritikai értékelése alapján megállapítható, hogy fibrilláris fázismorfológiával rendelkező termékek ipari körülmények között legegyszerűbben extrúzióval állíthatók elő és ezért ez tűnik az egyik perspektivikus kutatási iránynak. A fröccsöntés terén elért eredmények — eltekintve a folyadék kristályos polimereket tartalmazó rendszerektől [1] — viszonylag szerények. Ezért érdekesnek ígérkezett az újabb, a hagyományostól eltérő fröccsöntési eljárásokat az inkompatibilis polimerkeverékekre kiterjeszteni és megvizsgálni annak lehetőségét, hogy alkalmasak-e FFM-val rendelkező termékek előállítására.

2. Fibrilláris fázismorfológiájú termékek előállítása önerősítéses fröccsöntéssel

Egy nem konvencionális eljárás az ún. „önerősítéses feldolgozás-technológia”, amelyet Ehrenstein és munkatársai dolgoztak ki [2–6]. Ezzel a módszerrel nagy moduluszú és nagy szilárdságú erősen orientált szerkezetű polimerek állíthatók elő a hagyományos műanyag feldolgozógépeken (extruder, fröccsöntő gép) is. Ezen feldolgozás-technológiai módszer lényege az, hogy a viszonylag alacsony hőmérsékletű polimerömledék egy megfelelően kiképzett szűkülő (konvergens profilú) csatornán keresztül áramlik be a szerszám alakadó üregébe. A szűkülő csatornában felgyorsuló ömledékben a polimerláncok megnyúlnak és az áramlás irányába rendeződnek. Az orientált polimerláncok kötegeket alkotva kristályosodási centrumokat ún. sorgócokat hoznak létre, amelyek az ömledék orientált kristályosodását váltják ki. Fröccsöntés esetén a kristályosodás sebességét nagy utónyomás alkalmazásával növelik meg. Mivel

nyomás hatására megemelkedik a termodinamikai egyensúlyi olvadáspont (T_m°), egy adott feldolgozási hőmérséklet (T_{mas}) esetén a kristályosodás hajtó ereje — azaz a tényleges túlhűtés mértéke ($\Delta T = T_m^\circ - T_{mas}$) — és ezért a kristályosodás összességére is az utónyomás emelésével növekszik. Ezzel az eljárással előállított polietilén [2, 3], illetve polipropilén [2, 4–6] termékek jellegzetes „shish-kebab”, vagy cilindrites szerkezettel rendelkeznek.

Jelen közleményünkben egy önerősítéses fröccsöntési vizsgálatosorozat eredményeit foglaljuk össze, amelyben modellanyagként az izotaktikus polipropilén (IPP) és a poliamid-12 (PA-12) keverékét alkalmaztuk. A keverék komponenseinek olvadáspontja közel esik egymáshoz, ami lehetővé teszi az önerősítéses eljárás egyik alapvető követelményének teljesülését, nevezetesen a komponensek olvadáspontjának közelébe eső feldolgozási hőmérséklet alkalmazását. Közleményünkben beszámolunk az önerősített keverékek előállításáról, mechanikai, termomechanikai, termooptikai és szerkezeti vizsgálatáról.

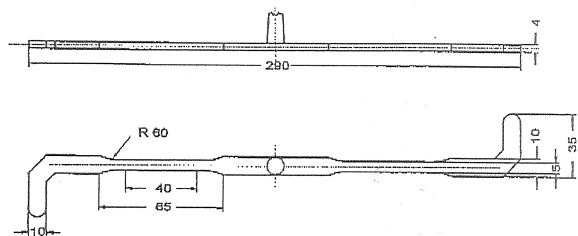
3. Kísérleti rész

Munkánkban izotaktikus polipropilén (IPP) és a poliamid-12 (PA-12) különböző összetételű keverékeit vizsgáltuk. Az IPP komponensként a Vestolen P 9000 (MFI = 1,7 g/10 min, 230°C-on és 5 kg terhelésnél), poliamid komponensként pedig a Vestamid L 2140 (MFI = 10,3 g/10 min) kereskedelmi granulátumot választottuk. Mindkét termék a HÜLS cég gyártmánya. A keverékek PA-12 tartalma 2, 5, 10, 20 és 50 tömeg % volt. A keverékeket a továbbiakban PP-PA-X jelöléssel különböztetjük meg egymástól, ahol X a PA-12 tömegszázalékban kifejezett koncentrációját jelzi. A fröccsöntött keverékek esetén jelezzük, hogy hagyományosan (h) vagy önerősítéses (δ) módszerrel dolgoztuk fel. A komponensek granulátumainak mechanikai keverékét

* Budapesti Műszaki Egyetem, Műanyag- és Gumiipari Tanszék, H-1521 Budapest

** Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Kunststofftechnik, D-91058 Erlangen, Am Weichselgarten 9

Leistritz típusú kétcsigás extruderben kompaundáltuk és regranuláltuk, és ezeket használtuk fel a fröccsöntési kísérletekhez. Az önerősített próbatesteket Engel CC-90 fröccsöntő gépen állítottuk elő. A fröccstermék alakja és méretei az 1. ábrán látható, amely képet ad a szerzőszám geometriájáról is. A feldolgozás-technológiai paramétereket az 1. táblázatban adjuk meg.



M - 670/2 - 1

1. ábra. Az önerősítéses fröccsöntéssel előállított próbatestek alakja és méretei

1. táblázat.
Feldolgozási paraméterek a hagyományos és az önerősítéses technológia esetén

paraméter	hagyományos technológia	önerősítéses technológia
anyag hőmérséklet, °C	260	164 – 200
szerzőszám hőmérséklet, °C	40	60
fröccssebesség, cm ³ /s	13 – 20	127
fröccsnyomás, bar	800 – 930	2000
utónyomás, bar	800 – 930	1500 – 1750
utónyomási idő, s	40 – 45	15 – 50
hűlési idő, s	10 – 20	5 – 20

A különböző összetételű keverékek kristályosodási és olvadási görbéit DuPont 9900 DSC-készülékkel regisztráltuk $V_c = V_h = 10$ K/min hűtési, illetve fűtési sebességgel. A vizsgálatokhoz a keverékek granulátumából és az önerősítéses előállított minta héjrétegéből és középvonalából kivett hosszirányú metszeteket használtunk fel.

A fáziskontraszt felvételek Axiphot (Zeiss) mikroszkópon készültek. A termooptikai vizsgálatokhoz a mikroszkópra Mettler FP-82 fűthető és hűthető tárgyasztalt szereltünk fel. A folyékony nitrogénben lehűtött és Zwick ütőhajlító berendezésen roncsolt minták törésfelületeiről a SEM felvételeket Cam Scan (Elektronen Optic Serv.) berendezésen készítettük.

A húzó vizsgálatokat Zwick-UPM 1465 szakítógépen végeztük. 20 mm/min deformációsebességgel vettük fel a feszültség-nyúlás diagramokat. A húzó modulusz (E) értékeket a 0,05 és 0,25 % relatív megnyúlás és a hozzájuk tartozó feszültségértékek alapján számítottuk, ebben a mérési szakaszban a deformációsebesség 2 mm/min volt.

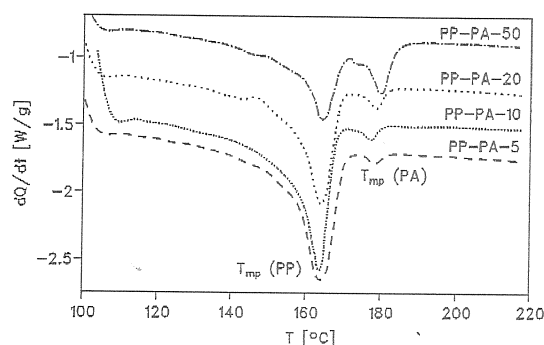
Az ütőhajlító szilárdságot a fraktogramok (erő-elmozdulás diagramok) regisztrálására alkalmas, műszerezett Charpy féle (Zwick) berendezésen 2 J méretű kalapáccsal határoztuk meg -30°C -ra lehűtött mintákon.

A DMTA vizsgálatokat Polymer Laboratories gyártmányú készüléken végeztük torziós igénybevétel mellett.

4. Kísérleti eredmények és értékelésük

4.1. A IPP és PA-12 keverékek kristályosodásának és olvadásának jellegzetességei

Az IPP és a PA-12 inkompatibilis polimerek keverékei az optikai vizsgálatok szerint heterogén szerkezetűek. A keverékek kalorimetriás módszerrel regisztrált olvadási görbéit a 2. ábrán mutatjuk be. A felvételeken látható, hogy az egyes komponensekhez rendelhető olvadási és kristályosodási csúcsok helyzete a hőmérséklet skálán gyakorlatilag független az összetételtől, csupán a csúcsok intenzitása, illetve a görbe alatti terület változik a komponensek arányának függvényében. Az olvadáspontok függetlensége az összetételtől azt igazolja, hogy a komponensek két önálló kristályos fázist képeznek és együttkristályosodásukra (elegykristályképződés) nincs lehetőség. A 2. táblázatban a különböző összetételű keverékek kristályosodási és olvadási görbéi alapján meghatározott jellemzőket foglaltuk össze. A 2. táblázatban megadjuk a keverékek egyes komponenseihez rendelhető kristályosodási hő értékeket [$\Delta H_c(\text{PP})$ és $\Delta H_c(\text{PA})$] és csúcshőmérsékleteket [$T_{cp}(\text{PP})$, illetve $T_{cp}(\text{PA})$], valamint a komponensek olvadási csúcsának hőmérsékletét [$T_{mp}(\text{PP})$, illetve $T_{mp}(\text{PA})$], továbbá a keverékek teljes olvadáshőjét [ΔH_m]. Mivel az IPP és a PA-12 olvadási görbéi részben átfedik egymást (2. ábra), az egyes komponensek olvadáshő értékeit pontatlanul lehet meghatározni a görbe felbontása alapján. Ezért ezek bemutatásától eltekintünk. A 2. táblázat adatai alapján megállapítható, hogy az IPP és a PA-12 szeparáltan kristályosodik a keverékekben. A PA-12 kristályosodási tartománya 150°C környezetében van az adott hűtési sebesség mellett függetlenül a keverék összetételétől. A IPP kristályosodási tartománya, illetve a csúcshőmérsékletek lényegesen alacsonyabban helyezkednek el a hőmérséklet skálán ($107 - 117^\circ\text{C}$) az adott hűtési sebesség mellett és kis



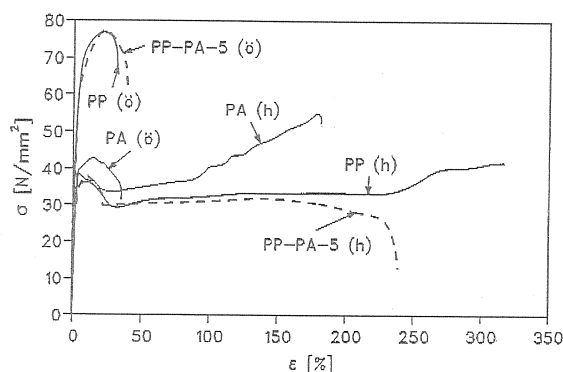
M - 670/2 - 2

2. ábra. Az IPP és a PA-12 különböző összetételű keverékeinek olvadási görbéi ($v_c = v_h = 10^\circ\text{C}/\text{min}$)

mértékben a magasabb hőmérsékletek felé tolódnak el a PA-12 koncentrációjának növelésekor. Ebből — összhangban egyes irodalmi adatokkal [7] — arra lehet következtetni, hogy a kikristályosodott PA-12 enyhe göcképző hatást gyakorol az IPP kristályosodására. Az IPP kristályosodási hője a keverék összetételének megfelelően változik. A PA-12 kristályosodási hője azonban elmarad a keverék összetétele alapján számított értéktől. A keverékben jelenlévő ömledék állapotú IPP tehát részlegesen elnyomja a PA-12 kristályosodását. A keverékek kristályosodási és oladási jellegzetességei megfelelnek az inkompatibilis rendszerek esetén tapasztaltaknak, azonban a komponensek kis mértékű kölcsönhatása is kimutatható. Az önerősítéses fröccsöntéssel előállított mintákból kivett metszetek olvadásgörbéi (első olvasztás) a 2. ábrán láthatókhöz hasonlóak, az IPP-komponens oladási csúcsa azonban kissé eltolódik a magasabb hőmérsékletek felé és egy magasabb hőmérsékletű váll szuperponálódik az alapcsúcsra. Összhangban korábbi megfigyeléseinkkel [6] az alapcsúcs a hajtogatott láncú, a magas hőmérsékletű váll pedig a nyújtott láncú krisztallitok oladásához rendelhető, amelyek nyújtó igénybevételnek kitett ömledékben lejátszódó kristályosodás során keletkeztek.

4.2. Az önerősített keverékek előállítása és mechanikai jellemzői

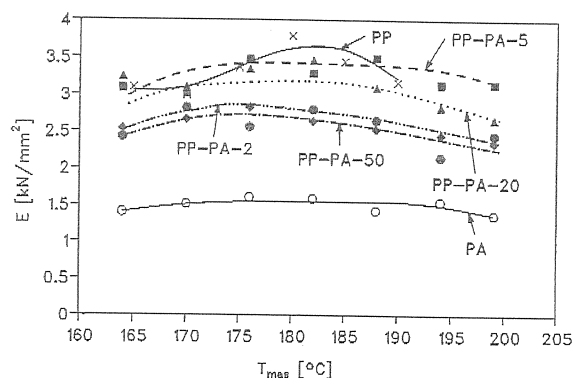
A fröccsöntés során alkalmazott paramétereket az 1. táblázatban foglaltuk össze. Az önerősítéses fröccsöntés során az ömledék hőmérsékletét (T_{mas}) a komponensek olvadáspontjának közvetlen környezetében (164 és 200°C között) változtattuk, míg a hagyományos feldolgozás esetén $T_{mas} = 260^\circ\text{C}$ volt. Az önerősítéses fröccsöntéssel feldolgozott IPP és a keverékek nagy moduluszú és nagy szilárdságú termékek. A hagyomá-



3. ábra. Az IPP, a PA-12 és keverékek feszültség-nyúlás diagramjai (a h és ö jelölés a hagyományos, illetve az önerősítéses fröccsöntésre utal)

2. táblázat.
A IPP-PA12 keverékek kristályosodási és oladási jellemzői (hűtési és fűtési sebesség $v_c = v_h = 10^\circ\text{C}/\text{min}$)

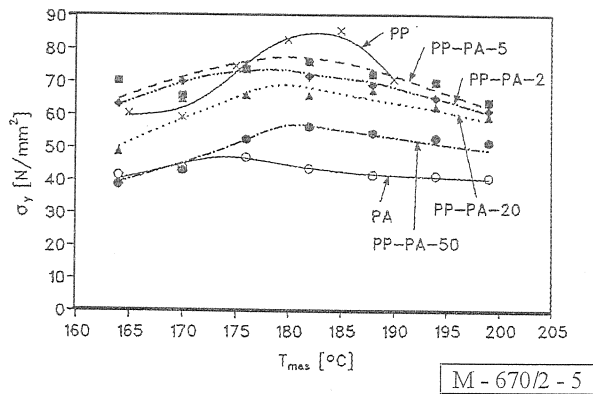
minta	$T_{cp}(\text{PP})$ °C	$T_{cp}(\text{PA})$ °C	$T_{mp}(\text{PP})$ °C	$T_{mp}(\text{PA})$ °C	$\Delta H_c(\text{PP})$ J/g	$\Delta H_c(\text{PA})$ J/g	ΔH_m J/g
IPP	107,2	—	164,0	—	89,9	—	91,5
PP-PA-5	111,3	150,1	163,6	178,0	84,7	0,3	90,3
PP-PA-10	113,8	151,8	164,5	177,8	81,1	0,8	81,1
PP-PA-20	114,2	149,3	163,9	178,4	73,2	3,4	77,8
PP-PA-50	117,0	148,7	164,0	179,6	45,1	21,3	78,7
PA-12	—	149,8	—	179,4	—	44,3	33,1



4. ábra. A Young modulusz (E) alakulása az önerősítéses fröccsöntés során alkalmazott anyaghőmérséklet (T_{mas}) függvényében

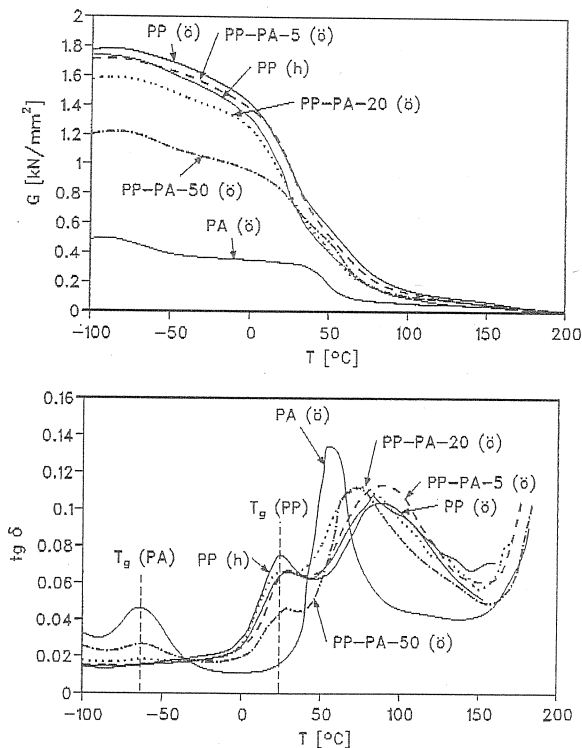
nyos és az önerősítéses technológiával feldolgozott IPP és IPP-PA keverék mechanikai tulajdonságainak összehasonlítása céljából a 3. ábrán néhány jellegzetes feszültség-nyúlás diagramot mutatunk be. Látható, hogy az önerősített termékek húzószilárdsága kiemelkedően nagy, és — eltérően a hagyományos módon feldolgozottól — viszonylag kis deformáció értékeknél, nyakképződés nélkül roncsolódnak. A T_{mas} hatása a különböző összetételű keverékek a modulusz (E) és a húzószilárdság (σ_T) értékeinek alakulására a 4. és az 5. ábrán látható. A görbéknek gyengén kifejezett maximuma van $T_{mas} = 180^\circ\text{C}$ környezetében. Az önerősített IPP mechanikai jellemzőinek értéke ($E \approx 3 \text{ kN}/\text{mm}^2$, $\sigma_T \approx 80 \text{ N}/\text{mm}^2$) több mint kétszerese a hagyományos körülmények között feldolgozott termékekének ($E = 1,3 \text{ kN}/\text{mm}^2$, $\sigma_T = 34 \text{ N}/\text{mm}^2$). A minorfázist alkotó PA-12 szilárdsági jellemzői viszont csupán kis mértékben növelhetők önerősítéssel. Így, a tiszta PA-12 komponens hagyományos feldolgozása esetén $E = 1,3 \text{ kN}/\text{mm}^2$, illetve $\sigma_T = 34,0 \text{ N}/\text{mm}^2$ értékeket mértünk, önerősítéses fröccsöntéssel pedig mindössze $E \approx 1,4 \text{ kN}/\text{mm}^2$, illetve $\sigma_T \approx 40 \text{ N}/\text{mm}^2$ értékre lehetett a szilárdsági jellemzőket megnövelni (3. ábra). A keverékek szilárdsági jellemzői (E , σ_T) a PA-12 mennyiségének növelésével fokozatosan csökkennek, de 5–10% PA-12 koncentráció tartományban közel állnak az önerősített IPP mátrixon mért értékekhez. A PA-12 mennyiségének növelése

azért csökkenti a keverékek szilárdsági jellemzőit, mert a minorfázisban az önerősítés csak kis mértékű. Meg kell jegyeznünk, hogy az adott geometriájú szerszám alkalmazásakor a hagyományos feldolgozás esetén ($T_{mas} = 260^\circ\text{C}$) is kisebb-nagyobb mértékben orientált termék keletkezik az ömledékgyorsító szerszámkiképzés miatt és ezért a mechanikai jellemzők kissé meghaladják a szokásos módon (pl. a Campus szerszámiban) előállított próbatesten mért értékeket.



M - 670/2 - 5

5. ábra. A húzószilárdság (σ_y) alakulása az önerősítéses fröccsöntés során alkalmazott anyaghőmérséklet (T_{mas}) függvényében



M - 670/2 - 6

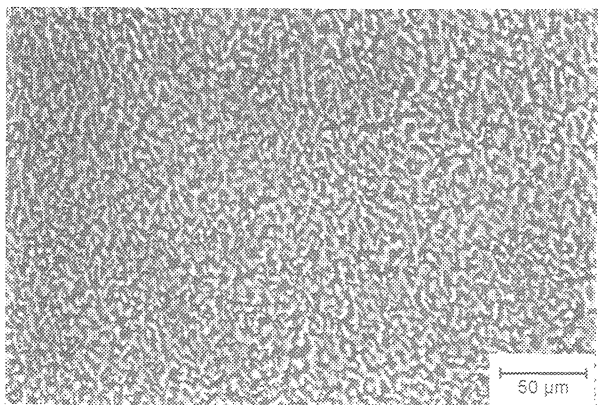
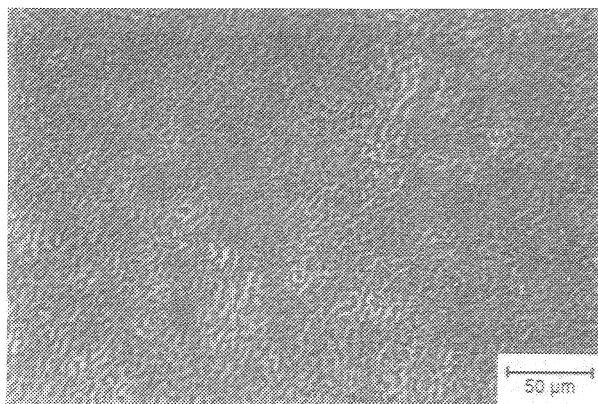
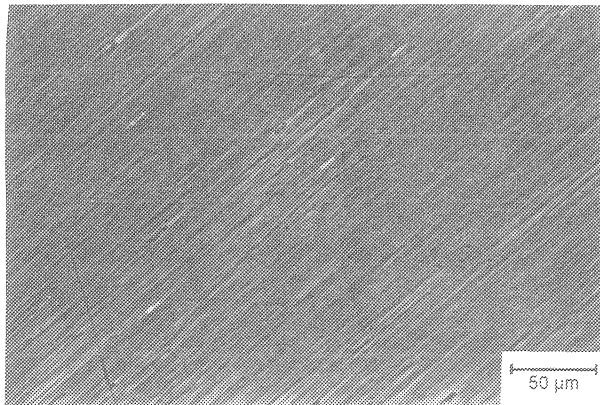
6. ábra. A torziós dinamikus modulusz (a) és a veszteségi szög (b) hőmérsékletfüggése önerősítéssel (ö) és hagyományosan (h) feldolgozott különböző összetételű keverékek esetén

A keverékek mechanikai tulajdonságainak hőmérsékletfüggését DMTA módszerrel határoztuk meg. Torziós üzemmódot alkalmaztunk azért, hogy információt kapjunk egyrészt a mechanikai jellemzők alakulásáról a fröccsöntésre merőleges irányban, másrészt pedig a fázistapadás mértékéről. A torziós dinamikus modulusz (G) és a veszteségi szög ($\text{tg}\delta$) hőmérsékletfüggését a 6. ábrán mutatjuk be. Látható, hogy az önerősített keverékek dinamikus modulusza tiszta komponensekre jellemző érték között helyezkedik el és az összetétel függvényében közel additíven változik. Ez azt igazolja, hogy a keresztirányú mechanikai jellemzők és a fázistapadás kielégítően magas szinten van. A keverékeken megfigyelhető veszteségi maximumok helye a hőmérsékletskálán, amely az üvegesedési hőmérsékleteket jelzi, egybeesik a tiszta komponensekre jellemző hőmérséklettel ($T_g(\text{PP}) = 25^\circ\text{C}$), illetve $T_g(\text{PA}) = -60^\circ\text{C}$), és csupán a csúcsintenzitás változik a keverék összetételének függvényében. Ez az IPP és a PA-12 amorf fázisainak teljes összeférhetetlenségét bizonyítja. Megjegyezzük, hogy az IPP és a keverékek DMTA görbéin 50°C felett megjelenő széles veszteségi csúcs (6b. ábra) az IPP kristályos fázisában fellépő relaxációs folyamatokhoz (β -relaxáció) rendelhető.

4.3. Az önerősített keverékek szerkezete

Az önerősített termékek előállításának technológiai paraméterei mellett feldolgozott IPP-PA-12 keverékek speciális fázis-morfológiával rendelkező nagy szilárdságú és nagy moduluszú termékek, amelyekben a diszpergált fázis fibrillák formájában oszlik el az önerősített mátrixban. A fibrilláris fázis-morfológiát a fény- és az elektronmikroszkópos felvételek, egyértelműen igazolják (7. és 8. ábra). A minorfázis szálszerű eloszlása a mátrixban a hosszirányú metszetek fáziskontraszt felvételein és a minták törési felületéről készített SEM felvételek alapján egyértelműen megállapítható 0 – 20% PA-12 koncentráció esetén. A fröccsöntés irányára merőleges síkokból kivett (kereszt irányú) metszetekről készített fáziskontraszt felvételek szerint a poliamid fibrillák egyenletesen oszlanak el a minták keresztmetszetében (7b. ábra). A SEM felvételek szerint a fibrillák átmérője 1 – 2 μm (8b. ábra). A hagyományos fröccsöntési technológiával előállított termékben viszont a poliamid kis mértékben eltorzult gömböcskék formájában diszpergálódik a mátrixban (8c. ábra). A diszpergált részecskék mérete szintén 1 – 2 μm mérettartományba esik. A fentiekben bemutatott fázismorfológiai vizsgálatok alapján megállapítható, hogy az önerősített polimerkeverékek „in situ” termoplasztikus kompozitoknak tekinthető műanyagrendszerek. A PP-PA12-50 jelű keverékekben „mátrix a mátrixban” típusú fázismorfológia alakul ki, azaz mindkét komponens folytonos fázist képez. Ezt a 7c. ábrán bemutatott fáziskontraszt felvétel valószínűsíti. A hosszirányú mikrometszetek polároptikai vizsgálata szerint a hagyományosan feldolgozott termékek jellegzetes héj-mag szerkezetűek [8]. Az önerősített

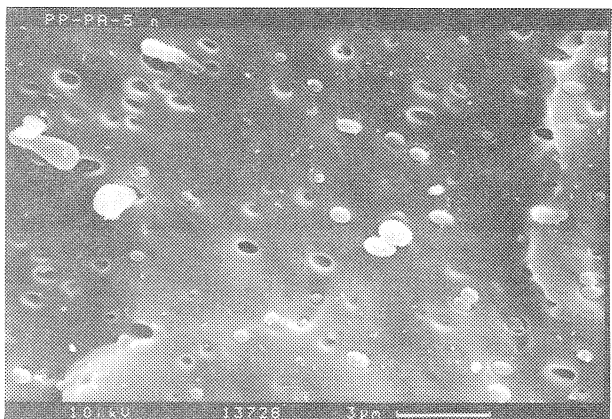
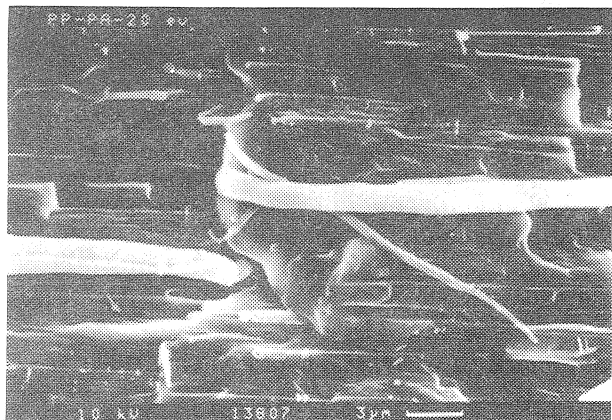
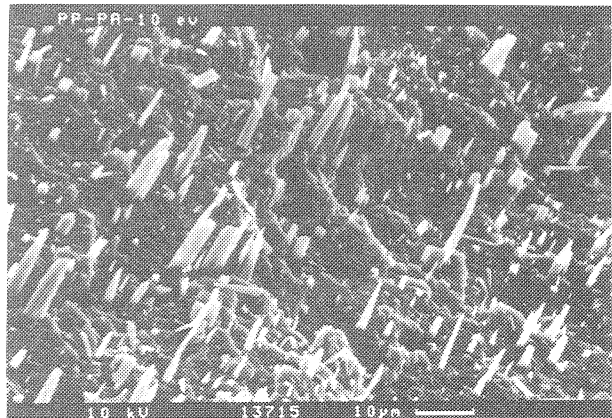
mintákban viszont a sferolitos mag nem alakul ki, a minta negatív kettőtörésű, homogén szerkezetű és a hagyományosan feldolgozott minták héjrétegére emlékeztető képet mutat. Ezek a megfigyelések azt igazolják, hogy az IPP-mátrixot a fröccsöntés irányába elhelyezkedő cilindretek építik fel, amelyeket az ömledék nyújtó, illetve nyíró igénybevételének hatására nagy sűrűségben keletkezett sorgócok indukáltak [6]. Ezt megerősítik a szerkezeti memória-effektuson alapuló termooptikai vizsgálatok is, miszerint az olvadáspont fölé melegített mintákban a termikusan stabilis sorgó-



M - 670/2 - 7

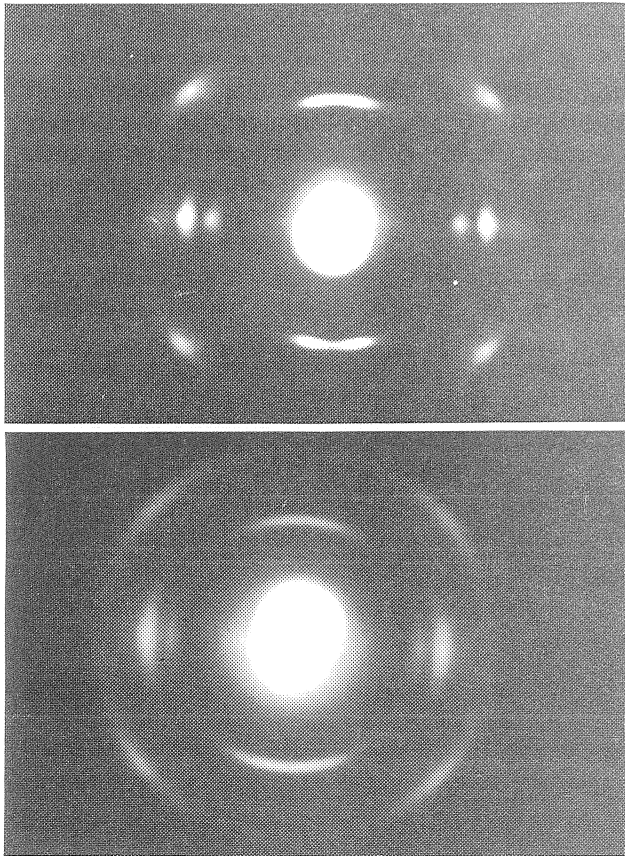
7. ábra. Az önerősített mintákból hossz- és keresztirányban kivett metszetekről készített fáziskontraszt felvételek a – PP-PA-10, hosszirány, b – PP-PA-10, keresztirány, c – PP-PA-50, keresztirány

cokon az eredeti szerkezet közel maradéktalanul újrakristályosodik visszahűtéskor. A termooptikai vizsgálatok során az is megfigyelhető, hogy a komponensek olvadáspontja fölé kimelegített mintákban a minorfázis ömledék állapotú fibrillái fokozatosan cseppekre esnek szét (break up). Az önerősített IPP-mátrix nagyfokú orientáltságát a keverékekről készített röntgendiffrakciós felvétel igazolja (9a. ábra). A poliamidfázis gyenge reflexiói vonalai ellenére valószínűsíthető a fibrilláris formában diszpergált poliamid fázis kisebb mértékű orientációja.



M - 670/2 - 8

8. ábra. A fröccsöntött keverékek törési felületéről készített SEM felvételek a – PP-PA-10, önerősített, b – PP-PA-20, önerősített, c – PP-PA-5, hagyományosan feldolgozott



M - 670/2 - 9

9. ábra. Az önerősített (a) és a hagyományosan feldolgozott (b) PP-PA-20 keverék röntgendiffrakciós felvétele

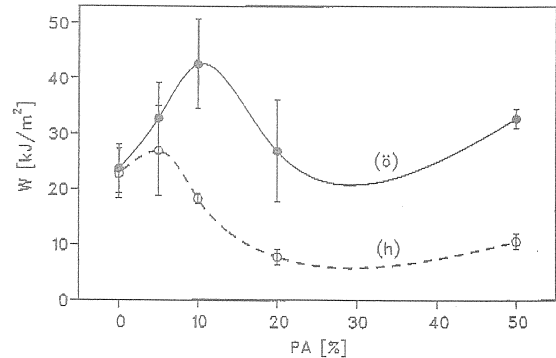
A hagyományos technológiával feldolgozott termék lényegében az izotróp anyagokra jellemző röntgendiffrakciós képet ad (9b. ábra) [9]. A szerkezet-vizsgálatok megerősítik a jelen vizsgálatok alapjául szolgáló azon feltételezésünket, hogy a minorfázis fibrilláris alakja az IPP-mátrix nyújtással indukált gyors kristályosodásának következtében rögzítődik az önerősítéses fröccsöntési eljárás alatt.

4.4. Az önerősített keverékek törésmechanikai jellegzetességei

Az önerősített IPP-PA12 keverékek — összevetve a hagyományos módon feldolgozottakkal — kiváló ütőhajlító szilárdsággal rendelkeznek. Az önerősített keverékek szobahőmérsékleten nem törnek, csupán áthúzódnak a kitérítési felületek közötti résen a vizsgálat során. A folyékony nitrogénben lehűtött minták ridegen roncsolódnak és a törési munka kis mértékben csökken a PA-12 koncentrációjának növekedésekor. A -30°C -on végzett mérések szerint az önerősített és a hagyományos módon feldolgozott IPP-en mért repesztő munka (W) közel azonos értéken van ($22 - 23 \text{ kJ/m}^2$). A repesztő (más szóval a repedést iniciáló) munka értékét a maximális feszültség eléréseig tartó görbeszakasz alatti terület alapján számítottuk. Az IPP-PA keverékek repesztő

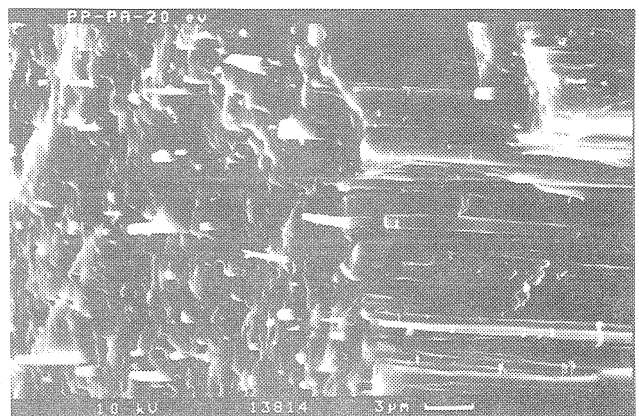
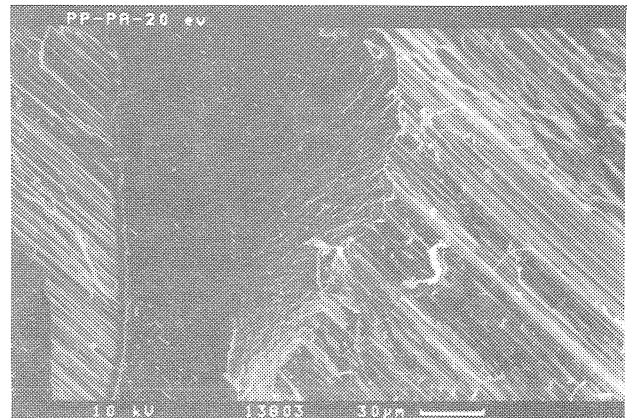
munkája a PA koncentráció függvényében maximumos lefutású görbét ad. A maximum 10% PA koncentrációnál van, itt a repesztő munka közel kétszerese az önerősített IPP-en mért értéknek (10. ábra).

Az önerősített keverékekből előállított próbatestek törési folyamata jellegzetes lefutású. Az ütő-hajlító vizs-



M - 670/2 - 10

10. ábra. A repesztő munka (W) alakulása a PA-12 koncentráció függvényében önerősített (ö) és hagyományosan feldolgozott (h) keverékek esetén



M - 670/2 - 11

11. ábra. A törési front lépcsős terjedését bemutató SEM felvétel (a) és a törési lépcső kinagyított képe (b)

gálatok során a törésfront az ütésnek kitett felületen, azaz a nyomó igénybevétel szenvedő zónában alakul ki. A keverékek roncsolódása során a törésfront kezdetben az ütés irányába terjed, majd bizonyos mélység elérése után a szálak irányát követi kisebb lépcsőkben, amint ez a törésfelületről készített SEM felvételek alapján megállapítható (11. ábra). Ennek következtében a repedésterjedési munka, illetve az ütő-hajlító munka (azaz a teljes törési munka) jelentős értéket ér el. A fibrilláris fázismorfológiával rendelkező önerősített keverékek részletes törésmechanikai vizsgálatáról, amely bemetszett próbatesteken jelenleg folyamatban van, egy későbbi közleményünkben számolunk be.

5. Összefoglalás

Az izotaktikus polipropilén (IPP) és a poliamid-12 (PA-12) keverékeit az önerősítési technológiának megfelelő fröccsöntési paraméterek mellett (alacsony ömledék hőmérséklet, nagy utónyomás, konvergens kiképzésű szerszám) feldolgozva, speciális fázismorfológiával rendelkező, nagy szilárdságú és nagy moduluszú termékeket állítottunk elő, amelyekben a diszpergált fázis orientált fibrillák formájában oszlik el az önerősített mátrixban. Az optikai mikroszkópos (polároptika és fáziskontraszt), valamint SEM felvételek tanúsága szerint a diszpergált fázis egyenletesen oszlik el a mátrixban. Ezek a termékek in situ termoplasztikus kompozitoknak tekinthető műanyagrendszerek. Az önerősített keverékek szilárdsági értékei mintegy kétszerese a hagyományos körülmények között feldolgozottakénak. Az ultravékony fibrillák formájában diszpergált PA-12

fázis növeli a keverékek ütőhajlító szilárdságát és megváltoztatja a törés mechanizmusát.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki az Országos Tudományos Kutatási Alapnak és a Deutsche Forschungsgemeinschaft-nak a munka pénzügyi támogatásáért.

Irodalomjegyzék

- [1] Varga, J.; Breining, A.; Ehrenstein, G. W.: *Műanyag és Gumi* 34/1 11 – 16 (1997).
- [2] Ehrenstein, G. W. (Ed.): *Technologie der Eigenverstärkung von Thermoplasten. Tagungshandbuch des Kolloquium 26/27. 2. 1987, Universität-Gesamthochschule Kassel, 1987.*
- [3] Ehrenstein, G. W.: *Angew. Makromol. Chem.*, 175 187 (1990).
- [4] Song, J.; Prox, M.; Weber, A.; Ehrenstein, G. W.: *Self-Reinforcement of Polypropylene. In „Polypropylene: Structure, Blends and Composites” Ed. by J. Karger-Kocsis, Chapman and Hall, London, 1994. pp. 271 – 291.*
- [5] Chwalisz, L.; Ehrenstein, G. W.: *In „Technologie der Eigenverstärkung von Thermoplasten”, Ed. G.W. Ehrenstein, Tagungshandbuch des Kolloquium 26/27. 2. 1987, Universität-Gesamthochschule Kassel, 1987, pp. 93 – 110.*
- [6] Varga, J.; Ehrenstein, G. W.; Maertin, C.: *Magyar Kémiai Folyóirat*, 95 416 (1989).
- [7] Wittmann, J. C.; Lotz, B.: *J. Polymer Sci. Polymer Phys.* 24 1559 (1986).
- [8] Varga, J.: *J. Materials Sci.*, 27 2557 (1992).
- [9] Bodor, G.: *A polimerek szerkezete. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1992. VII. fejezet.*