



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

SZENT ISTVÁN EGYETEM

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

**MŰSZAKI MŰANYAG KOMPOZITOK FEJLESZTÉSE
MEZŐGAZDASÁGI GÉPÉSZETI ALKALMAZÁSOKHOZ**

Doktori (Ph.D) értekezés tézisei

Andó Mátyás

Gödöllő
2010

A doktori iskola

megnevezése: Műszaki Tudományi Doktori Iskola

tudományága: Agrárműszaki Tudomány

vezetője: Dr. Farkas István
egyetemi tanár, DSc
Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar,
Környezetipari Rendszerek Intézet

Témavezető: Dr. habil. Kalácska Gábor
egyetemi tanár, CSc
Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar,
Gépipari Technológiai Intézet

Társ-témavezető: Dr. habil. Czigány Tibor
egyetemi tanár, DSc
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS

A műanyagokat megjelenésük óta egyre szélesebb körben alkalmazzák. A fejlesztéseknek köszönhetően már nem csak alárendelt helyeken használják ezeket, mint például csomagolóanyagként, hanem teherviselő gépelemként is.

Az egyik leggyakrabban alkalmazott műszaki műanyag a poliamid 6 (PA6). Ennek oka, hogy igen jó mechanikai (szilárdság, keménység, szívósság, csillapító képesség) és tribológiai (csúszás, siklási, és kopásállóság) tulajdonságokkal rendelkezik. Ezeknek köszönhetően többek közt csapágyperselyekként, kopó lécekként, különböző görgőkként, fogaskerekeként is használják.

Korábbi magyarországi kutató munka során kidolgozták a magnézium katalizálású PA6 féltermékek (rudak, táblák) ipari gyártástechnológiáját. Ennek az eljárásnak több előnye van az eddig világszerte használt nátrium katalizálású termékkel szemben. A magnézium katalizálású PA6 homogénebb szerkezetű, melynek nagyobb a kristályosodási foka, és kisebb a visszamaradó monomer tartalma. Az ütőmunka értéke magasabb, illetve az abrázios kopásállósága is jobb, mint a hagyományos gyártástechnológiával előállított nátrium katalizálású PA6-é.

Különösen indokolt a szívósabb öntött poliamid 6 anyagok alkalmazása azokon a területeken, ahol az üzemi körülmények az átlagostól eltérnek. Ilyen terület többek közt a mezőgazdasági gépészet, ahol a mezőgazdasági munkák gyakran járnak szélsőséges körülményekkel, melynek hatásait az alkalmazott anyagoknak ki kell bírniuk. Meghatározó jelenség az abrázios koptató hatás, ahol a kopásállóság növelése egyértelműen a gépszerkezet élettartamának növelését jelenti (pl. tároló burkolatok, surrantók). Antisztatikus vagy égésgátolt műanyagok használata elengedhetetlen a robbanásveszélyes helyeken (gabonasilók, műtrágyakezelés berendezései).

A műanyag gépalkatrészek használata agrotechnikai és környezetvédelmi szempontból is jelentős. A mezőgazdasági gépek tömegcsökkentésénél, az öntömeg megtervezésénél fontos eszköz a polimer gépelemek alkalmazása, mert a talajtömörödöttség, talaj-vízháztartás szempontjából a gépi tömeg kritikus, úgymint hajtóanyag-felhasználás és károsanyag-kibocsátás szempontjából is.

Ph.D értekezésem célja a magnézium katalizálású, öntött PA6 féltermékek továbbfejlesztése és vizsgálata, mely alkalmassá teszi a mezőgazdasági rendszerekben való szélesebb körű használatát. Ennek megfelelően a következő fejlesztési irányzatokat határoztam meg:

- növelt szívósság,
- javított abrazív kopásállóság,
- antisztatikus tulajdonság,
- növelt égésgátoltság.

A tulajdonságok javulását úgy kell elérni, hogy az alapanyag eredeti mechanikai tulajdonságai jelentősen ne változzanak meg. Így biztosítható az alkalmazhatóság bővítése (univerzalitás), ami valódi piaci előnyként jelentkezhet.

Az egyes javított anyagjellemzőket többféle adalékanyaggal is el lehet érni, ezért kutatási céljaim között szerepel:

- Megállapítani, hogy mely adalékanyagok hatékonyak az alpmátrix tulajdonságainak befolyásolására.
- A kiválasztott adalékanyagok mennyiségi hatásának részletes vizsgálata.
- Az egyes receptúrák komplex értékelése és minősítése a kitűzött célok – anyagtulajdonságok – alapján.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

Az anyagfejlesztéshez alapmátrixnak magnézium katalizálású öntött poliamid 6 (PA6) műszaki műanyagot választottam. A kompozitgyártási előkísérletek eredményeit felhasználva (ahol 39 adalékanyagot vizsgáltam) kísérlet tervet készítettem, melynek célja a kiválasztott adalékanyagok pontos hatásainak megismerése. Az adalékanyagok kiválasztásánál figyelembe vettem a mechanikai tulajdonságokat, a speciális tulajdonságokat, az ipari öntéstechnológiához könnyű illeszthetőséget (kutatás gyakorlati hasznosulásának alapja) és a szakirodalomban közölt mérési adatok és a saját adataim közötti ellentmondásokat is (lehetséges újdonság). A kiválasztott adalékanyagokat az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. Kísérleti terv adalékolásai

Vizsgálat tárgya	Adalékolási arányok [%]				
Lágyítóanyag	10	15	20	25	
MoS ₂	2	3			
Grafit	1,5	2	2,5	3	3,5
Montmorillonit	0,5	1	3	6	
Vezetőképes grafit	0,5	1	2	3	4
Vezetőképes korom	0,5	1	1,5	2	2,5

A kísérleti mintákon a következő vizsgálatokat hajtottam végre:

- Szakítóvizsgálat (MSZ EN ISO 527)
- Hajlító vizsgálat (MSZ EN ISO 178)
- Charpy-féle ütővizsgálat (MSZ EN ISO 179)
- Keménységmérés (MSZ EN ISO 868)
- Ütővizsgálat során kialakult töretfelületén SEM mikroszkópos vizsgálat
- Tribológiai vizsgálat (DIN 50322)
- Felületi ellenállásmérés (IEC 60093)
- Éghetőségi vizsgálat (UL-94)

3. EREDMÉNYEK

Ebben a fejezetben összefoglalom a vizsgálati eredményeket, és a kompozit hasznosíthatósági szempontok alapján értékelem az adalékanyagok hatását.

3.1. Montmorillonit adalékanyag

A montmorillonitot azért választottam, mert több cikk is beszámolt arról, hogy égésgátló adalékként hasznosítható poliamidok esetén. Ezek a cikkek nem vették figyelembe azt, hogy valós égési körülmények között a poliamid 6 csepegvé ég, vagyis a montmorillonit égésintenzitást csökkentő hatása nem érvényesül (2. táblázat).

Mérési eredményeim alapján megállapítottam, hogy a montmorillonit tartalom rontja a natúr anyag égésgátló tulajdonságát, ezért az adalék a célját nem teljesítette. A villamos ellenállási mérésekből az is megállapítható volt, hogy a montmorillonit nagyobb felületi ellenállást kölcsönöz a mintáknak, vagyis nem segít az antisztatikus tulajdonság elérésében. Egyedüli javulás a 6%-os minta abrázíós kopásállóságában jelentkezett, ami 33%-kal nagyobb élettartamot jelent az alapanyaghoz képest. Ennél az adalékanyag mennyiségénél a súlyozástól

2. táblázat. Montmorillonit tartalmú minták égési jellemzői

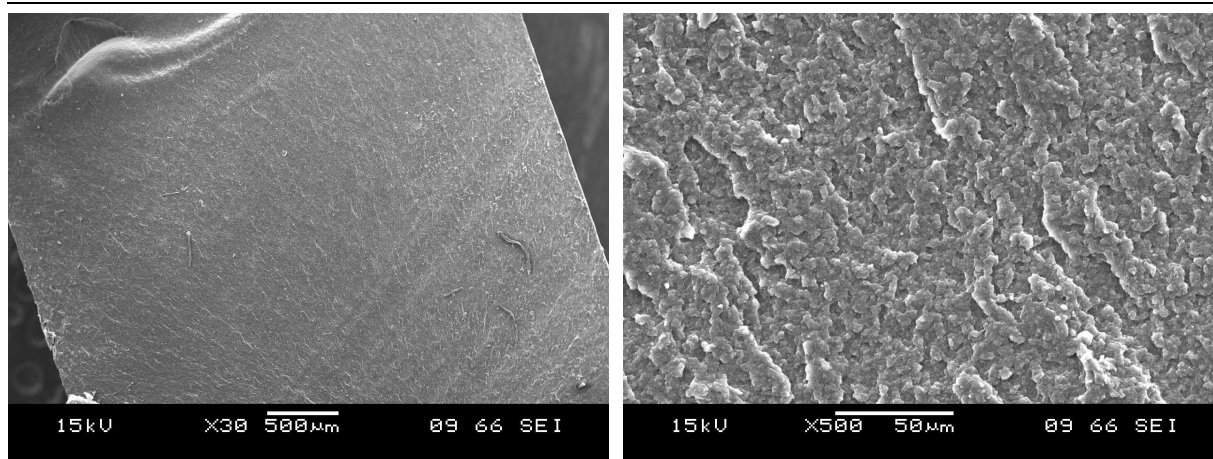
Montmorillonit tartalom [%]	Csoportjel	Megjegyzés
0	HB	2 s-ként csepeg
0,5	HB	2 s-ként csepeg
1	HB	2 s-ként csepeg, 16,4 mm/perc
3	HB	2 s-ként csepeg, 16 mm/perc
6	HB	ritkábban csepeg, 14,8 mm/perc

függően, a mechanikai tulajdonság 3-9%-kal csökkent. Az elért eredmények alapján montmorillonit tartalmú, új piaci termék létrehozását elvettem.

3.2. Lágyítóanyag

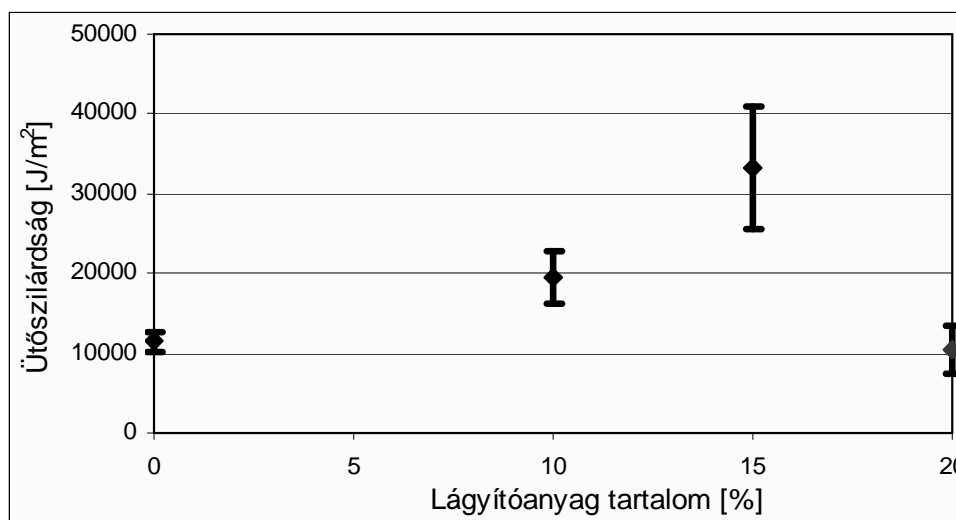
A lágyítóanyag használatának elsődleges célja a mechanikai tulajdonságok megváltoztatása, azon belül is az ütőszilárdság növelése volt. Az öntés során nyilvánvalóvá vált, hogy a 25% adalékanyag tartalom több, mint amit az alapanyag fel tud venni, ezért szemmel látható kiválások jelentek meg. Ennek a mintának a mechanikai tulajdonságai (például, modulusok, húzószilárdság...) lényegesen romlottak, ráadásul az égésvizsgálatoknál is gyenge tulajdonságokat mutatott. 20%-os adalékanyag tartalom esetén a mikroszkópos vizsgálatok alátámasztották (jellegzetes töretfelület) azt a mechanikai tulajdonságokból levont feltételezésemet, hogy a kétfázisú rendszer már ennél az adalékanyag mennyiségénél is megjelenik (1. ábra).

Eredmények



1. ábra. 20% lágyítóanyag tartalmú minta 30× és 500× nagyítású SEM felvétele

15%-os adalékanyag tartalom mellett, sikerült elérni az alapanyagnál 3-szor nagyobb ütőszilárdságot (2. ábra). Ezzel együtt, a rugalmassági modulus (40%-kal) és a húzószilárdság (50%-kal) csökkent. Az is megfigyelhető volt, hogy a felületi ellenállás $10^{10} \Omega$ -ra csökkent, vagyis jó antisztatikus tulajdonságú rendszer jött létre. A rugalmassági modulus csökkenése miatt az abrázíós kopásintenzitás a kétszeresére nőtt. Abrázív tribológiai rendszerben általános használata nem ajánlott, de a Shore-D keménységcsökkenése (12%) miatt olyan tribológiai rendszerekben jó lehet, ahol a felület szemcse-beágyazó képessége alapvető fontosságú.



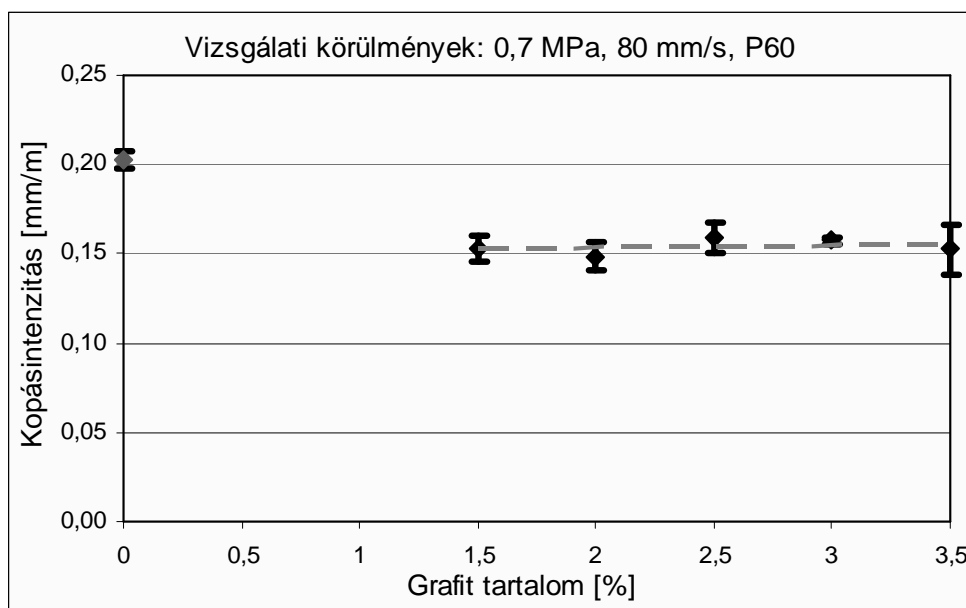
2. ábra. Lágyítóanyag tartalmú minták fajlagos ütőszilárdsága

10%-os adalékolás esetén a minta tulajdonságai hasonlóan változnak, mint 15%-os adalékolás esetén, de ezek a változások jóval kisebbek. A 10%-os adalékolás esetén a minta mechanikai tulajdonságai inkább a natúr anyag tulajdonságára hasonlítanak. Ütőszilárdsága 70%-kal nagyobb, húzószilárdsága viszont 13%-kal csökkent. Az antisztatikus tulajdonságot nem javította a 10% adalékanyag és az abrázíós kopásintenzitás is 33%-kal emelkedett. Az égési tulajdonságok mind a 10, mind a 15%-os adalékolás esetén romlottak.

Az elért eredmények alapján, lágyítóanyag tartalmú új piaci termék létrehozása lehetséges. 10% adalékolás esetén jobb ütőszilárdsággal, de rosszabb abráziós kopásállósággal és égési tulajdonsággal kell számolni. 15% esetén lényegesebb jobb ütőszilárdsággal és jó antisztatikus tulajdonsággal, de rosszabb egyéb mechanikai, égési és abrázív tribológiai tulajdonságot kapunk.

3.3. Grafit adalékanyag

A grafitot azért választottam, mert javítja a tribológiai és villamos tulajdonságokat. Ennek megfelelően az abráziós kopásintenzitás 25%-kal csökkent (3. ábra). Az villamos tulajdonságok az adalékanyag tartalom növelésével javultak. 2,5% grafit tartalom esetén már jó antisztatikus tulajdonságú öntött poliamid 6-ot kapunk. További adalékolás esetén elérhető az ESD tulajdonság felső határa is ($10^9 \Omega$ nagyságrendű felületi ellenállás). A szakítószilárdság 10-15%-kal, az ütőszilárdság 15-25%-kal csökkent, de a hajlító rugalmassági modulus 5-15%-kal növekedett. Az összegzett mechanikai tulajdonságokban ez 5-8%-os csökkenést jelentett. A grafit adalékolás az villamos és a tribológiai tulajdonságok javításán túlmenően az égési tulajdonságokat is javította, vagyis az eredetileg HB besorolású öntött poliamid 6 helyett ezek az anyagok V-2 – eggyel jobb – minősítést kaptak.



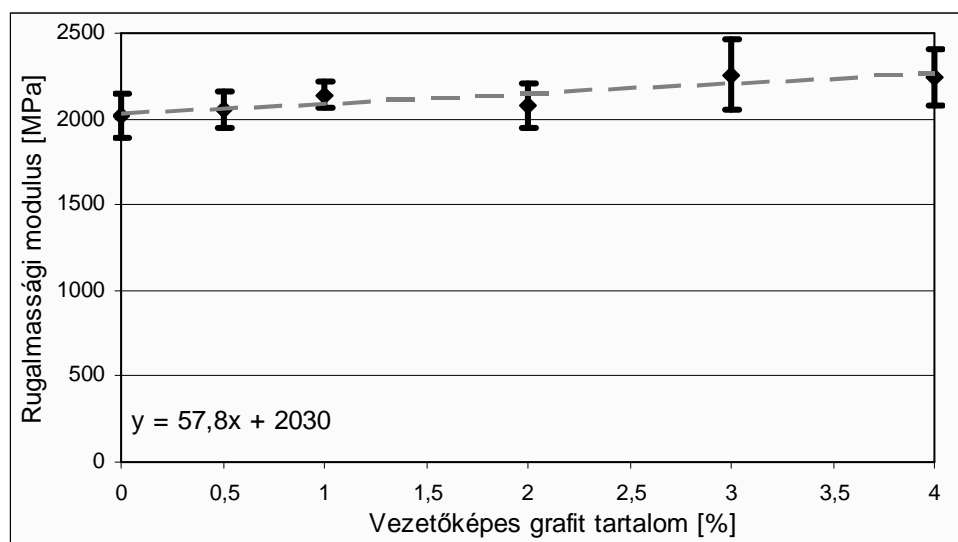
3. ábra. Grafit tartalmú minták abráziós kopásintenzitása

A vizsgálatok alapján 3% adalékolás esetén már ESD tulajdonságot, javított abráziós kopásállóságot és égésállóságot kapunk, miközben a mechanikai tulajdonságok csak korlátozottan csökkennek. A javított tulajdonságok miatt ezt a terméket sikeres fejlesztésnek ítélem.

3.4. Vezetőképes grafit adalékanyag

Vezetőképes grafitot azért választottam, mert rendkívül jó villamos tulajdonságokat mutatott az előkísérletek során. Vizsgálataim szerint a 3% és a 4%-os minta, normál és nedves állapotban rendkívül alacsony felületi ellenállású ($10^7 \Omega$ nagyságrend), emiatt ezek az anyagok már az ESD csoportba tartoznak. Száraz állapotban a felületi ellenállásuk kicsit nagyobb ($10^9 \Omega$ nagyságrend), vagyis ebben az esetben is még ESD tulajdonságúak.

Vezetőképes grafit a tribológiai tulajdonságokat nem változtatja meg lényegesen, vagyis gyakorlati szempontból nem okoz jobb abrázíós kopásállóságot. Az égési vizsgálatok tanulsága szerint kis adalékanyag tartalom esetén (0,5-1%) javítja, nagyobb adalékanyag tartalom mellett nem rontja az égési tulajdonságokat. A grafithez képest a minták hajlítószilárdsága kisebb mértékben csökken (5-10%) és a hajlító rugalmassági modulus mellett a húzó rugalmassági modulus is javul (5-10%) (4. ábra). Az összegezett mechanikai tulajdonságokban ezért csupán 2-6%-os csökkenés adódik. Az elért kiváló villamos tulajdonságok miatt a 3% vezetőképes grafit tartalmú mintát szintén sikeres fejlesztésnek ítélem.

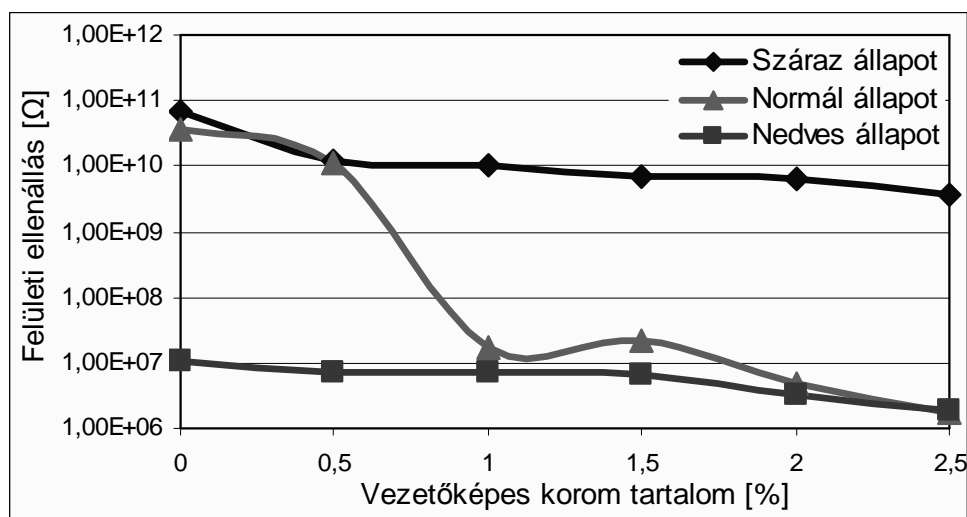


4. ábra. Vezetőképes grafit tartalmú minták rugalmassági modulusa

3.5. Vezetőképes korom adalékanyag

Vezetőképes kormot szintén a villamos tulajdonságok javítása miatt választottam. 1% adalék elégséges ahhoz, hogy normál és nedves állapotban ESD tulajdonságú anyagot kapjunk (5. ábra).

Ez azért is előnyös, mert 1% adalékanyag esetén a mechanikai tulajdonságok kevésbé változnak (0-1%). A minta rugalmassági modulusa növekedett (6-7%), míg az ütőszilárdság (10%) csökkent. A tribológiai tulajdonságokat – hasonlóan, mint a vezetőképes grafit – ez sem módosította jelentősen. Az égésgátoltság viszont romlott a HB kategórián belül, ezek a próbatestek nem alszanak ki maguktól. A minimális adalékanyaggal elért kiváló villamos tulajdonságok, és a



5. ábra. Vezetőképes korom tartalmú minták felületi ellenállása

kisarányú mechanikai tulajdonságok változása alapján az 1%-os koromtartalmú adalékolást sikeres fejlesztésnek ítélem.

3.6. Molibdén-diszulfid adalékanyag

A molibdén-diszulfidot azért választottam, mert kisarányú adalékolás mellett is javítja a tribológiai tulajdonságokat. Azonban abráziós környezetben nem volt kimutatható lényeges kopásállóság javulás, így elsődleges célját nem teljesítette. A vizsgálatok szerint az villamos tulajdonságokra sincs lényeges hatással. A rugalmassági modulusok 10-10%-kal növekedtek, de az ütőszilárdság 20%-kal csökkent. Az égési vizsgálatok alapján az anyag a V-2 kategóriába sorolható. Molibdén-diszulfid adalékolása a felállított vizsgálati rendszer alapján nem célszerű, mert a grafit jobb tulajdonságokat eredményez.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Komplex szempontrendszer alapján elemeztem a magnézium katalizálású öntött poliamid 6 mátrixú kompozit tulajdonságait, amely egyszerre kezeli a mechanikai, az anyagszerkezeti, a villamos, az abrazív tribológiai és az égési vizsgálatok eredményeit. Megállapítottam, hogy a magnézium katalizálású öntött poliamid 6 mezőgépeszeti (növelt szívósság, jobb abráziós kopásállóság, antisztatikus tulajdonság, hatékonyabb égésgátoltság) felhasználására legjobban megfelelő szerkezeti anyagot eredményező összetétel: 3% grafitot, 3% vezetőképes grafitot, 1% kormot vagy 10% lágyítóanyagot is tartalmaz.
2. Kimutattam, hogy a magnézium katalizálású öntött poliamid 6-nál a dialkoholból (poli-etilénglikol) és a diizocianátból álló lágyítóanyag az ütőszilárdság széles határok közötti (ridegtől a szívóság) módosítására alkalmas. Így 15% társítás esetén az ütőszilárdság háromszorosa lesz a referencia anyagénak. Ennél nagyobb lágyítóanyag tartalom felett, azonban már megindulnak az anyagszerkezeti kiválási folyamatok.
3. Felületi ellenállás méréseim alapján kimutattam, hogy a magnézium katalizálású rendszerben az olvadt kaprolaktámban 3% vezetőképes grafit, vagy 1% vezetőképes korom hozzáadása felett a felületi ellenállás 4 nagyságrenddel csökken. Ezek az anyagok már az elektrosztatikai disszipatív (ESD) csoportba tartoznak.
4. Tribológiai vizsgálataim alapján megállapítottam, hogy a hagyományos grafitpor (1,5-3,5%) jelentősen (30%-kal) növeli a próbatestek abráziós kopási élettartamát. Ezzel szemben kimutattam, hogy a vezetőképes grafit hozzáadása nem jár az abrazív tribológiai tulajdonságok egyértelmű javulásával. Megállapítottam továbbá, hogy a nátrium katalizálású öntött poliamid 6 anyagoknál a tribológiai tulajdonságok megváltoztatására elterjedten használt molibdén-diszulfid a magnézium katalizálású rendszerekben ugyancsak nem jár az abrazív tribológiai tulajdonságok javulásával.
5. Égésvizsgálataim (UL-94) alapján megállapítottam, hogy a szakirodalomban általánosan égésgátlásra ajánlott montmorillonit agyagásvány nem fejt ki égésgátló hatást a magnézium katalizálású öntött poliamid 6-ra. Továbbá a 6% adalékanyag tartalom már jelentősen növeli a tűz terjedésének kockázatát is.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Sikeres anyagfejlesztési folyamat eredményeként kiválasztottam 5 receptúrát, mely célirányosan alkalmassá teszi a magnézium katalizálású öntött poliamid 6-ot mezőgazdasági felhasználásra:

- 3% grafit,
- 3% vezetőképes grafit,
- 1% korom,
- 10% lágyítóanyag,
- 15% lágyítóanyag.

A kutatási eredményeim alapján megkezdődött a grafit, illetve a vezetőképes korom tartalmú, magnézium katalizálású öntött poliamid 6 féltermékek gyártása és forgalmazása.

A téma továbbvitelének lehetőségei:

- Valós körülmények között végzendő tribológiai vizsgálatok, pl. szállítószalag görgői, további anyagmozgató gépek vezetőlécei, külső környezettel érintkező műanyag fogaskerékpárok. Jelenleg a mezőgazdaságban számtalan műanyag csúszó elemet használnak. A javított abráziós kopásállóságú PA6 (3% grafit) ezeken a helyeken nagyobb élettartam jelentkezhet.
- Villamos és tribológiai tulajdonságok ellenőrzése valós körülmények között, pl. terménykeverő gépek belső borításának cseréje, ami több előnnyel járhat: olcsóbb előállítás, hosszabb élettartam, jobb működési körülmények. A javított villamos tulajdonságok miatt a beépíthetőség már lehetséges ilyen berendezésekben, azonban a valós működési jellemzők nem ismertek.
- További adalékanyagok például expandált grafit vizsgálata. Az expandált grafit javíthatja az égési tulajdonságokat. A csepegés megszüntetése és V-1-es kategória elérése rendkívüli piaci előnyt biztosíthat az öntött PA6-nak.
- Szén nanocső adalékanyag hatásának komplex vizsgálata. Közel 3000 mérés kellő alapot nyújt arra, hogy a szén nanocső adalékolásának pontos hatását meg tudjam állapítani (pl. el tudjam választani a grafit adalékanyag hatását a szén nanocsőtől), továbbá az előállítási költségek figyelembevételével életképessége is jobban megítélhető.
- Acél – műanyag (pin on disk) csúszópárok vizsgálata. E vizsgálattal az eredmények kiterjeszthetők más ipari alkalmazásokra is.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A szakirodalom áttanulmányozása alapján, azonosítottam 35 adalékanyagot, melyet a fröccsöntésnél és a nátrium katalizálású öntött poliamid 6-nál az egyes tulajdonságok megváltoztatására használtak. Ezek az anyagok alkalmasak lehetnek a következő – főként mezőgépeszeti üzemi körülményeket jellemző – célok elérésére:

- jobb tribológiai tulajdonság – nagyobb abrázíós kopásállóság,
- javított villamos tulajdonságok – antisztatikus, vagy ESD tulajdonság,
- jobb égésgátlás,
- javított mechanikai tulajdonságok – megnövelt szívósság.

A kiválasztott adalékanyagokkal, a gyártó-fejlesztő céggel közösen elvégzett előkísérletek a szükséges műveletek (pl. elosztatás) kidolgozása és a hatékony adalékanyagok kiválasztása volt a fő feladat. Ezek közül kiválasztottam azokat, melyek képesek a magnézium katalizálású öntött poliamid 6 alapmátrixszal megfelelő kompozitot létrehozni. Az előkísérletek alapján azonosítottam hat (lágýítóanyag, molibdén-diszulfid, grafit, montmorillonit, vezetőképes grafit és vezetőképes korom) hatékonyan használható adalékanyagot.

A kitűzött céloknak és az előkísérletek tapasztalatainak megfelelően kidolgoztam egy komplex anyagvizsgálati és értékelési rendszert. A rendszer alapján eldönthető, hogy egy adalékanyag az ipari követelményeknek megfelelő szerkezeti anyagot eredményez-e. A szakirodalom, a kiválasztott adalékanyagok és a vizsgálati rendszer ismeretében felállítottam egy kísérlettervet, mely alkalmas arra, hogy a kiválasztott adalékanyagok optimális mennyisége meghatározható legyen.

Következő lépésként az öntött kísérleti mintákból szabványos próbatesteket munkáltam ki, majd több mint 2800 szabványos szakító, hajlító, Charpy-féle ütőmunka vizsgálatot, Shore-D keménységmérést végeztem el, pásztázó elektronmikroszkópos felvételeket készítettem, felületi ellenállást, abrazív tribológiai jellemzőket határoztam meg és égési vizsgálatokat csináltam.

A mérési eredményeket a statisztikai módszerekkel dolgoztam fel, majd az egyes adalékanyagok hatására vonatkozóan összefüggéseket (pl. húzási rugalmassági modulus alakulása a lágýítóanyag tartalom függvényében) állapítottam meg, melyek korábban ismeretlenek voltak a magnéziumos katalizálású öntött poliamid 6 alapmátrix használata esetén. Ezzel párhuzamosan az adalékok hatására bekövetkezett változások okait is feltártam.

A kidolgozott vizsgálat rendszer alapján több szempontot figyelembe véve értékeltem az egyes adalékanyagok hatásait. Ennek eredményeként meghatároztam az adott vizsgálati körülmények között optimális adalékanyag mennyiségeket; melyek a következők: 3% grafit, 3% vezetőképes grafit, 1% korom, 10% és 15% lágýítóanyag.

7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

Lektorált cikk idegen nyelven:

1. Andó M., Kalácska G., Czigány T.: The effects of humidity on surface resistance of magnesium catalyzed cast polyamide 6, R & D Mechanical Engineering Letters, Release of Trans-Trio Sciences, Gödöllő 2009, pp. 120-125
2. Andó M., Kalácska G., Czigány T.: Shore D hardness of cast PA6 based composites, R & D Mechanical Engineering Letters, Release of Trans-Trio Sciences, Gödöllő 2009, pp. 42-46
3. Andó M., Kalácska G., Czigány T.: Cast Polyamide 6 Polymer Composites for Agricultural Machine Applications, Hungarian Agricultural Engineering, Gödöllő 2008, pp. 67-69
4. Andó M., Kalácska G., Czigány T.: High Conductive Graphite Additives for Magnesium Catalyzed Cast PA6 Polymer Matrix, Sustainable Construction & Design, 2010, vol. 1, pp.86-90
5. Andó M., Kalácska G., Czigány T.: Electrical Properties of Magnesium Catalyzed Cast PA6 Semi-finished Products, Journal of Thermoplastic Composite Materials, SAGE, (megjelenés alatt)

Lektorált cikk magyar nyelven:

6. Andó M., Kalácska G., Czigány T.: Magnézium katalizálású öntött poliamid 6 antisztatikus tulajdonságainak fejlesztése, GÉP, Budapest 2009/8, LX. évf., 19-22 o.
7. Andó M., Kalácska G., Czigány T. Sárosi Gy.: Öntött poliamid 6 kompozitok vizsgálata és anyagfejlesztése mezőgazdasági gép alkalmazásokhoz, GÉP, Budapest 2009/4-5. LX. évf., 79-84 o.
8. Andó M.: Öntött poliamid 6 nanokompozitok mechanikai és tribológiai tulajdonságainak kutatása, Műanyagipari Szemle 3 (1), Quattroplast Kft. Budapest 2006, 85-92 o.

Idegen nyelvű konferencia kiadvány:

9. Andó M., Kalácska G., Czigány T.: Development and Examination of different cast polyamide 6 composites, Synergy and Technical Development, Gödöllő 2009, 06-199, pp. 1-6
10. Andó M., Kalácska G., Czigány T.: Antistatic Characteristics of Cast PA6 Containing Graphite Additives Scientific Bulletin Serie C, Volume XXII, International Multidisciplinary Conference 21-22 May 2009, Nyíregyháza, Hungary 2009, pp. 13-16

11. Andó M., Kalácska G., Czigány T.: Cast Polyamide 6 Polymer Composites for Special Application, 14th „Building Services, Mechanical and Building Industry days” International Conference, Debrecen, Hungary, 30-31 October 2008, pp. 296-303
12. Andó M., Kalácska G., Czigány T.: Development of Technical Polymer Composites for Agricultural Engineering Application, Gépészet 2008, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest 2008, G-2008-K-07, pp. 1-7

Magyar nyelvű konferencia kiadvány:

13. Andó M., Kalácska G., Czigány T.: Magnézium katalizálású poliamid 6 kompozit fejlesztése, Erősített Műanyagok 2008 Nemzetközi BALATON Konferencia, Keszthely 2008, 1-9 o.
14. Andó M., Kalácska G., Czigány T.: Műszaki műanyag kompozitok fejlesztése, XIII. Nemzetközi Tudományos Konferencia. Kolozsvár, Erdélyi Múzeum-Egyesület 2008, 1-4 o.
15. Andó M., Kalácska G., Czigány T.: Öntött poliamid 6 kompozitok vizsgálata és anyagfejlesztése, MTA AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás. Gödöllő, SZIE Gépészmérnöki Kar – FVM Mezőgazdasági Gépesítési Intézet, 2008, 1. kötet 251-255 o.
16. Kalácska G., Andó M., Deák F., Sárosi Gy.: Öntött poliamid 6 alapú nano- és mikro kompozitok fejlesztése különleges gépészeti alkalmazásokhoz, MTA AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás. Gödöllő, SZIE Gépészmérnöki Kar – FVM Mezőgazdasági Gépesítési Intézet, 2007, 3. kötet 195-199 o.