

POLIMEREK

1. évfolyam 4. szám, 2015. október

MMSZ
Magyar Műanyagipari Szövetség

Kard és Társai Kft. termékkínálata

1124 Budapest, Vércse köz 2/a., Telefon: 1-2247610, fax: 1-2247612
Raktár: 2092 Budakeszi, Fűzfa utca 6., Telefon: 23-452753, fax: 23-457753

www.kardco.hu

Műszaki műanyagok

- * PA 6, 66 töltetlen, üvegszál erősítéses, lángállósított és színezett is
- * POM töltetlen kopolimerek, MFI 9, 14, 27, üvegszál töltéssel is, speciális ütésállósított, antisztatizált és javított kopásállóságú típusok
- * PBT töltetlen és üvegszál erősítésű típusok
- * PC natúr, színezett és erősített változatban, UV stabil kivitelben is
- * ABS normál és transzparens
- * PC/ABS blendek, galvanizálható típusok
- * TPE anyagok széles választéka, SBS, SEBS, TP-V, TPO

Tömegműanyagok

- * PP homo- és kopolimerek, off grade is
- * PE: HDPE, LDPE, off grade is

Prégelőfóliák a CFC-Internationaltól:

dátumozáshoz, termékjelöléshez, dekoráláshoz,
méretre vágva, házhoz szállítva

Vegyisegédanyagok a Buchem Chemietől

csigatisztítók, szerszámtisztítók, karbantartó és
korrózióvédő sprayek, formaleválasztók



Hibajelző-készülékek forgalmazása

HRM – szerszám forrócsatorna elakadás detektáló rendszer

NMM – fröccsgép dűzni ellenőrző rendszer

A készülékek részletes működését tekintse meg honlapunkon.



BARLOG
plastics GmbH



elastron



cfc
INTERNATIONAL

buchem:
CHEMIE+TECHNIK
WWW.BUCHEM.DE

wfplastic
Technology & Service

**Ha alapanyagot keres
forduljon hozzánk,
számíthat gyors, szakszerű segítségünkre!**

FANUC InHouse Show

Kiállítás a termelékenységről, megbízhatóságról és integrációról

- Hogyan működnének az Ön gyárában a FANUC automatizált megoldásai?
- Hogyan dolgozik beavatkozás nélkül a robottal integrált Robodrill szerszámgép?
- Mekkora pontosságra képesek a Robocut huzalszakra gépek?
- Miért tartósan alacsonyak a Roboshot fröccsöntő gép karbantartási költségei?



WWW.FANUC.HU

Október 1-2

MŰANYAG FRÖCCSÖNTÉS

09:00 – 16:00

Október 15-16

FÉMMEGMUNKÁLÁS

09:00 – 16:00



Találkozzon kollégáinkkal személyesen, értekezzen meghívott tanácsadóinkkal és vendéghiállítóinkkal székhelyünkön. Regisztráljon házi kiállításunkra **weboldalunkon**, vagy a **marketing@fanuc.hu** címen!



FANUC Hungary Kft. - Torbágy utca 20.
2045 Törökbálint, MAGYARORSZÁG
Tel: +36 23 332 007 | Fax: +36 23 332 008

Polimerek

A MAGYAR MŰANYAGIPARI SZÖVETSÉG és a magyarországi műanyag- és gumiiparban tevékenykedő vállalatok és intézmények havi műszaki-, tudományos- és marketing folyóirata

Kiadó: MMSZ LAPKIADÓ KFT.,
Ügyvezető igazgató
Farkass Gábor

1119 Budapest, Fehérvári út 83.,
Telefon/fax: 36-1-363-9083
E-mail: lapkiado@huplast.hu

A szerkesztőbizottság elnöke:
Dr. Bárány Tamás

Szerkesztőbizottság tagjai:
Az MMSZ elnöksége

Főszerkesztő:
Balázs Ildikó
Telefon: 36-30-535-3366

Készült a POSSUM KFT. gondozásában.
Felelős vezető: Várnagy László
Telefon: 36-20-934-5318

Polimerek 1(4) 97–128 (2015)
HU ISSN 2415-9492

A szerkesztőség a beérkező kéziratokat szakmailag és nyelvi lektorálja, fenntartja magának a jogot, hogy azokat esetenként tömörített formában adja közre, továbbá a szerzők által képviselt állásponttal nem feltétlenül ért egyet.

A cikkek utánnyomása, sokszorosítása és adatrendszerekben történő megjelenítése csak a kiadó engedélyével lehetséges, amelyeket szabadalmi vagy más védettségre való tekintet nélkül adunk közre.

A folyóirat a kiadótól rendelhető meg, egyes példányok is megvásárolhatók készpénzzel vagy postai utánvétellel.

Előfizetési díj egész évre: 19 900 Ft + ÁFA
Egyes szám ára: 1660 Ft + ÁFA

E számunk hirdetői:

BIESTERFELD INTEROWA GMBH & CO KG
HASCO Kft.
HBH Kft. SETTRAL képviselet
HERRMANN GMBH & CO.
FANUC HUNGARY Kft.
KARD ÉS TÁRSAI Kft.
ULTRAPOLYMERS Kft.

Kedves Olvasó!

Nem csak a szakmabeliek tudják, hogy a gumiipar története meszebbre nyúlik vissza, mint a műanyagiparé. A gumigyártás az „öreg kontinensen” az 1800-as évek elején kezdődött (Magyarországon 1882-re tehető indulása), míg Baekeland csak mintegy 100 évvel később találta fel az első műanyagot (a hőre keményedő fenol-formaldehid gyantát, a bakelitet), amelyet ipari méretekben gyártottak.

A műanyagipar az 1930-as évektől kezdve nagy lépésekkel fejlődött, nemcsak a polikondenzációs műanyagok, de a polimerizációs, poliaddíciós, kopolimerizációs műanyagok is megjelentek. A műanyag- és műkaucsukiparnak újabb fontos – máig tartó –, hatalmas lépcsőt jelentett a sztereoregularitást lehetővé tevő Ziegler-Natta katalizátorok megjelenése. A műanyagféleségek nagy száma, a kibővülő ipari és felhasználási lehetőségek már-már azt a scenáriót vetítették előre, hogy a gumitermékek feleslegessé válnak, a műanyagok mindent letarolnak. (Lásd még poliuretán autoabroncs sztori.) Sok, addig gumiból készült terméket lehetett műanyagtermékekkel helyettesíteni (játék babák, labdák, habosított termékek stb.), de a természetes kaucsuk nagyrugalmas tulajdonságait csak közelíteni lehetett, elérni nem. (Nem üres filozófiai kérdés azonban, hogy a műkaucsukokat – elasztomerek – hová soroljuk. Múgumi, vagy műanyag?)

Lassan azonban kialakult, mely területeken teljesítenek jobban a gumitermékek, és hol a klasszikus műanyagok. Napjainkban szemtanúi vagyunk újabb és újabb szintetikus anyagok megjelenésének, amelyek a klasszikus műanyagok és a gumik határterületeit jelentik.

25 évvel ezelőtt megalakult mind a MAGYAR MŰANYAGIPARI SZÖVETSÉG, mind pedig a MAGYAR GUMIIPARI SZÖVETSÉG. Hogy miért két szövetség egy helyett, annak rengeteg oka van, de első hiúság volt. Mindkét szövetség a szakmabeli cégek érdekképviseleti szervezetévé vált, önállóan végezte feladatait, azonban a polimerek-adta hasonlóság okán 51 éven át MŰANYAG ÉS GUMI című folyóiratban jelentek meg kutatási eredményeik, ipari híreik.

A közös publikációs folyóirat közelebb hozta egymáshoz a két iparág művelőit, és ez a közeledés ma is tart.

A MAGUSZ megalakulása 25. évfordulójának megünneplése is erősítette közeledést.

A POLIMEREK című folyóirat már nevében is visszatükrözi a két iparág hasonlóságát, amely akarjuk, nem akarjuk tény, és fóruma lehet a további szorosabb együttműködésnek.

dr. Palotás László

Polimerek

25 éve alapították a Magyar Gumiipari Szövetséget	101
Zsidai László, Keresztes Róbert Zsolt, Eleőd András: A „stick-slip” jelentősége és tribológiai vizsgálatának lehetséges irányvonalai polimer gépelem alkalmazásokhoz	102
<i>A tribológiai vizsgálatok elterjedése, egyre szélesebb lehetőségeket nyit meg a kopási-súrlódási jelenségek vizsgálatával kapcsolatban. Ez különösen igaz az új szerkezeti anyagként tért hódító műszaki műanyagok esetében, ahol még sok nyitott kérdés megoldása vár a kutatókra. Ilyen részterület a stick-slip problémája, ami számos műszaki hiba okozója világszerte. Munkánk célja a stick-slip jelenség vizsgálati lehetőségeinek bemutatása különböző modell vizsgálati rendszerekben. A rendszerek közös jellemzője az alternáló csúszósúrlódás, eltéréseik méreteikben, a próbatest geometriákban és az érintkezési viszonyokban nyilvánul meg.</i>	
A műanyag hulladék hulladéktátságának megszűnése. Beszámoló az európai szakértői munkacsoport üléséről és a rendelet tervezetéről	111
Másodnyersanyag árak és trendek 2015 szeptemberében	111
Lendvai László, Dr. Kmetty Ákos: Természetes növényi latex és mikro-fibrilláris cellulóz termoplasztikus keményítőre gyakorolt hatásának vizsgálata	113
<i>Munkánk során termoplasztikus keményítő (TPS) alapú, természetes növényi latexszel, illetve cellulózzal adalékolt kompozitokat vizsgáltunk. Az anyagminták ikercsigás extruderrel történő feldolgozását követően elemeztük azok mechanikai, termomechanikai és morfológiai tulajdonságait. Megállapítottuk, hogy a határfelületi adhézió a TPS mátrix és a latex között gyenge, ami az anyag szilárdságát és a nyúlását is csökkenti. A szilárdság csökkenése kompenzálható mikro-fibrilláris cellulóz hozzáadásával.</i>	
Kombinált műszerek gyors ultrahangos kötése	118
<i>Az ultrahang a kombinált műszerek sokrétű kötési feladataira jelent megoldást, mivel a hegesztési feladatok éppen olyan különbözőek, mint a formai megoldások: ezek közé tartozik az átlátszó fedél pormentes összehegesztése az elülső kerettel, a krómozott díszgyűrűk résmentes szegecselése vagy a kijelző üvegek vetemedésmentes illesztése. A különböző pozíciókba eső hegesztési zónákkal rendelkező, bonyolult geometriájú alkatrészek esetében különösen jól használható az ultrahangos hegesztés. A gépek ciklusideje gyakran 10 másodpercnél is rövidebb.</i>	
Új távlatokat nyithat a Polymark eredeti azonosítási technológiája	119
PERT nyertek az EPS termékek	119
Dr. Szabó Gábor, Tóth Levente Ferenc: RDP égésgátló adalékanyaggal ellátott epoxigyanta mátrixú hibrid-nanokompozitok éghetőségi vizsgálata	120
<i>Hagyományos szén-szál/szén nanoszál/szén nanocső erősítésű, epoxigyanta mátrixú, égésgátló hibrid kompozitok éghetőségi vizsgálatához a szén nanoszálakat poli(akril-nitril) prekursorból, elektromos szálképzéssel magunk készítettük el. Viszonyításul hagyományos (UD), szén-szál erősítésű, epoxi mátrixú kompozit, illetve erősítőanyagot nem tartalmazó mintát használtunk. Bizonyos próbatestek esetében a mátrixanyaghoz 0,3 m/m% nanocsövet kevertünk, és/vagy a hagyományos szén-szálrétegek közé nanocsöveket tartalmazó, vagy nem tartalmazó szén nanoszálrétegeket helyeztünk. Összehasonlítottuk a minták UL94 és LOI vizsgálati adatait.</i>	
Molnár Béla, Dr. Ronkay Ferenc: Fröccsöntés során kialakuló szerkezet hatása eredeti és reciklált PET mechanikai tulajdonságaira	124
<i>Különböző molekulatömegű anyagokból különböző falvastagságú termékeket fröccsöntöttünk. A minták morfológiai szerkezetét háromfázisú modellel vizsgáltuk, a mechanikai tulajdonságokat húzó- és ütővizsgálattal határoztuk meg. A vizsgálatokat két időpontban, közvetlenül a gyártás után és két hónap elteltével végeztük. Az eredmények alapján kapcsolatot találtunk a kristályos és többfázisú amorf szerkezet, valamint a szilárdsági jellemzők között. A mechanikai tulajdonságok változásának oka a gyártás utáni két hónapban a kristályos, mobil- és rideg amorf fázisok arányának megváltozása volt.</i>	
Standard hőre lágyuló polimer trendek 2015 szeptemberében	128
Setral kenőanyagok a műanyagiparban	B3

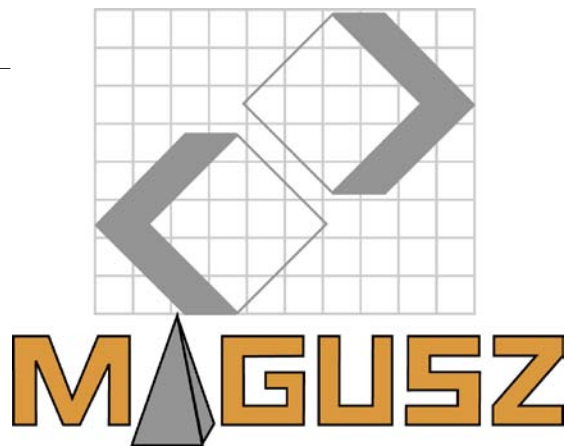
Polimerek

The Hungarian Rubber Association established 25 years ago	101
Zsidai László, Keresztes Róbert Zsolt, Eleőd András: Importance of stick-slip and possible directions of its tribological tests for applications of polymer machine elements	102
<i>Spreading of tribology tests opens up new opportunities in examination of friction and wearing phenomena. This is especially true for engineering polymers as new construction materials where many open questions wait for researchers' answers. Such subfield is the problem of stick-slip causing several machine element damages worldwide. The aim of our work is to present examination options of the stick-slip phenomenon in different model systems. The common feature of these systems is the reciprocating sliding friction, while they differ in its size, specimen geometry and contact relations.</i>	
Plastic wastes are not regarded as rubbish any more. Report on the meeting of the European task force and the draft directives	111
Prices and trends for secondary raw materials in September 2015	111
Lendvai László, Dr. Kmetty Ákos: Effects of natural rubber and microfibrillated cellulose on the properties of thermoplastic starch	113
<i>In this study thermoplastic starch (TPS) based composites were prepared using natural rubber latex (NR) and microfibrillated cellulose (MFC). NR and MFC were incorporated in different amount to examine their modification potential in TPS. Composites were prepared using melt compounding in a twin-screw extruder and characterized afterwards in tensile tests, dynamic mechanical analysis (DMA) and X-ray diffraction. Interfacial adhesion between the components has been analyzed through scanning electron microscopy (SEM). The low adhesion between TPS and NR caused a reduction in both the strength and elongation of the TPS. The strength decrease, however, could be compensated through additional incorporation of MFC.</i>	
Fast ultrasonic bonds in multipurpose instruments	118
<i>Ultrasound provides solution for diverse binding tasks in multipurpose instruments as welding jobs are so much different as form solutions; dust-free welding of transparent lid with the front frame, continuous riveting of chromed decorative rings and distortion-free fitting of displays belong here. Ultrasonic welding is especially advantageous in the case of parts with sophisticated geometry and welding zones in different positions. Cycle period of machines is often within 10 seconds.</i>	
Special identification technology of Polymark may open up new perspectives	119
Success of EPS products in a LAWSUIT	119
Dr. Szabéni György, Tóth Levente Ferenc: Burning behavior testing of RDP flame retardant filled hybrid nanocomposites	120
<i>In our research we have investigated the flammability behavior of carbon fiber/carbon nanofiber/carbon nanotube reinforced hybrid composites. The investigated carbon nanofibers were self-prepared by electrospinning from PAN precursor. The tested samples were prepared by vacuum bag technology. As references unidirectional carbon fiber reinforced epoxy matrix composites and unreinforced resin specimens were used. Some specimens contained 0.3 weight% MWCNT filling in their matrix and carbon nanotube filled and unfilled carbon nanofiber interlayers. UL 94 and LOI tests were performed on the specimens to compare their properties.</i>	
Molnár Béla, Dr. Ronkay Ferenc: The effect of the evolved structure during injection molding on the mechanical properties of virgin and recycled PET	124
<i>In our research injection molded samples were made with different wall thickness and from materials with different molecular weight. The morphological structure were analyzed by using the three-phase model, the mechanical properties were determined with tensile and impact tests. The samples were investigated immediately after the produce, and two months later. We found connection between the crystal/multiphase amorphous structure and the mechanical properties. The changes of mechanical properties in the two months after the produce were caused by change of the ratio of the crystalline, mobile- and rigid amorphous fractions.</i>	
Trends for standard thermoplastic polymer products in September 2015	128
Setral lubricants in the plastics industry	B3

Polimerek

Der Verband der Ungarischen Kautschukindustrie wurde vor 25 Jahren gegründet	101
Zsida László, Keresztes Róbert Zsolt, Eleőd András: Bedeutung des Haft-Gleit-Effekts (Stick-Slip) und mögliche Richtungen seiner tribologischen Prüfung zur Anwendung von Polymer-Maschinenelementen	102
<i>Verbreitung der tribologischen Teste eröffnet neue Möglichkeiten bei der Prüfung der Verschleiß- und Reibungserscheinungen. Es trifft bei den technischen Kunststoffen als neue Konstruktionsmaterialien besonders zu, wo es noch viele offene Fragen gibt. Ein solches Gebiet ist der Haft-Gleit-Effekts, der zu zahlreichen Fehlern führt. Wir stellen die Prüfungsmöglichkeiten der Haft-Gleit-Erscheinung in unterschiedlichen Prüfmodellen vor, deren gemeinsame Eigenschaft die Pendelgleitreibung ist und Abweichungen in ihrer Größe, in der Probekörpergeometrie und den Kontaktverhältnissen bestehen.</i>	
Kunststoffabfall ist kein Müll mehr. Bericht über die Sitzung des europäischen Expertenteams und über den Entwurf der Richtlinien	111
Preise und Trends für Sekundärgrundstoffe im September 2015	111
Lendvai László, Dr. Kmetty Ákos: Einfluss des Naturkautschuks und mikrofibrillierter Zellulose auf die Eigenschaften thermoplastischer Stärke	113
<i>Diese Arbeit wurde der Modifikation von thermoplastischer Stärke durch Zugabe von Naturkautschuk (NR) und mikrofibrillierter Zellulose (MFC) gewidmet. NR (in Latex Form) und MFC wurden in verschiedenen Mengen in TPS in einem Doppelschneckenextruder eingearbeitet. Die Struktur und Eigenschaften der TPS-basierten Composite wurden durch Röntgendiffraktion, Zugprüfung und dynamisch-mechanische Thermoanalyse ermittelt. Die Haftung zwischen den Phasen wurde aus rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen abgeleitet. Die schwache Adhäsion zwischen dem NR und TPS hat zur Abnahme der Festigkeit und Duktilität der jeweiligen Kompositionen geführt. Die Festigkeitsverminderung könnte durch die Zugaben von MFC kompensiert werden.</i>	
Schnelle Ultraschallbindungen in kombinierten Geräten	118
<i>Ultraschall bietet Lösungen für vielartige Verbindungsaufgaben bei kombinierten Geräten, denn die Schweißaufgaben sind genauso unterschiedlich wie die Formlösungen: dazu gehören das staubfeste Schweißen des transparenten Deckels zu dem vorderen Rahmen, die lückenlose Vernietung der verchromten Zierringe oder die verzerrungsfreie Passung der Displayscheiben. Bei Teilen von komplizierter Geometrie und mit Schweißzonen in differenten Positionen ist das Ultraschallschweißen besonders gut verwendbar. Die Zykluszeit der Maschinen ist oft sogar unter 10 Sekunden.</i>	
Die eigenartige Identifikationstechnologie von Polymark kann neue Perspektiven eröffnen.	119
GERICHTLICHER ERFOLG für EPS-Produkte bei einem Prozess	119
Dr. Szabényi Gábor, Tóth Levente Ferenc: Untersuchung des Brandverhaltens von RDP Flammschutzmittel gefüllten Hybridkompositen	120
<i>In dieser Forschung wurde das Brandverhalten der mit Kohlefasern, Kohlenstoffnanofasern und Nanoröhrchen verstärkten Hybridkompositen untersucht. Die verwendeten Kohlenstoffnanofasern wurden von uns aus durch Elektrospinnen hergestellten PAN-Precursors zubereitet. Die untersuchten Kompositproben wurden durch Vakuumsacktechnologie vorbereitet. Als Referenzen wurden von unidirektionalen Kohlenstofffaserverstärkung und epoxy Matrix hergestellten Kompositen und unverstärkten Harzproben verwendet. Einige Kompositproben enthielten 0,3 Gewicht % MWCNT Füllung in ihren Matrix und mit Kohlenstoffnanoröhrchen gefüllten und ungefüllten Kohlenstoffnanofasern in ihren Zwischenschichten. UL 94 und LOI-Tests wurden an den Kompositproben durchgeführt, um ihre Brandverhalten zu vergleichen.</i>	
Molnár Béla, Dr. Ronkay Ferenc: Der Einfluss der bei Spritzgießen entstehenden Struktur auf die mechanischen Eigenschaften des ursprünglichen und recyceltes PET Formteiles	124
<i>In unserer Arbeit haben wir Formteile mit verschiedenen Molekülmassen und Wanddicken spritzgegossen. Die morphologische Struktur wurde mit einem dreiphasigen Modell untersucht und die mechanischen Eigenschaften wurden mit Zugprüfung und Kerbschlagbiegeversuch bestimmt. Die Untersuchungen haben wir in zwei Zeitpunkten durchgeführt, unmittelbar nach der Herstellung und nach zwei Monaten. Wir haben anhand den Ergebnissen Zusammenhänge zwischen den kristallinen und mehrphasigen amorph Struktur, sowie Festigkeitseigenschaften gefunden. Die Ursache für die Veränderung der mechanischen Eigenschaften nach zwei Monaten ist die Veränderung des Verhältnisses von den kristallinen, den mobilen und den rigiden Phasen.</i>	
Trends für thermoplastische Standard-Polymerprodukte im September 2015	128
Setral Schmierstoffe in der Kunststoffindustrie	B3

25 éve alapították a Magyar Gumiipari Szövetséget



Az évfordulón a MAGUSZ jubileumi megemlékezést tartott, amelyen *Balogh István*, a Szövetség elnöke köszöntötte a megjelenteket. Köszöntőjében hangsúlyozta: a magyar gumiipar történelme nem 25 éve, hanem az XIX. század végén kezdődött, 1893-ban, amikor elkezdett termelni az első Gumigyár Magyarországon.

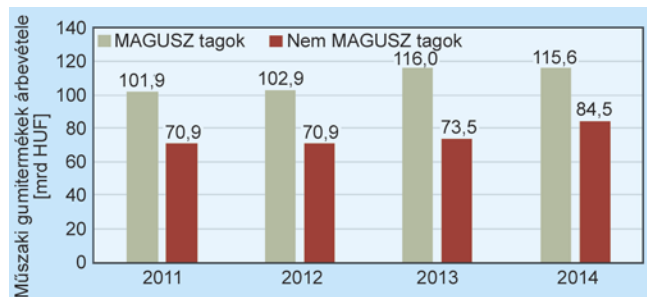


A Magyar Ruggyantaágyár 1893-ban



25 év ipartörténeti szempontból is nagy idő. Éppen egy negyedszázad telt el azóta, hogy a magyar gumiipar meghatározó szereplői, melyek nagy része a TAURUS utódvállalataiból alakult társaságokból állt, 1990-ben létrehozták a MAGYAR GUMIIPARI SZÖVETSEGET-et, amely azóta is a hazai ipari gumitermékeket előállító és kereskedő vállalkozások legátfogóbb érdekviseleti szervezeteként működik.

A gumiipar óhatatlanul is életünk részévé vált az elmúlt év-



A műszaki termékek iparág vállalati árbevételek alakulása 2011–2014 között [mrd HUF]



Balogh István, a MAGUSZ elnöke

században, mindennapi jelentőségéhez nem férhet kétség. Az ágazat által előállított korszerű és innovatív termékek nélkülözhetetlenek életünk szinte minden területén. Az átlagember napi szinten több ezer gumiipari termékkel találkozik a háztartástól a gazdaság minden ágazatában. Napjaink kihívása a környezetvédelem, amely a gumiipar számára nem csak kihívás, hanem a gumiipari hulladékhasznosítás révén új lehetőséget teremt a fenntartható fejlődés érdekében. Ennek a folyamatnak eredménye, hogy a SZÖVETSÉG tagjainak közel egyharmadát adják a gumi-hulladék hasznosítók.

A hazai gumiipar, túlélve a hitelválságot, újra talpra állt, sok esetben eredményesebb és az európai átlagnál jobb mutatókkal rendelkezik. A magyarországi ipari átlagot tekintve is huzamosabb ideje jó eredményeket mutat, így a nehezebb gazdasági körülmények, valamint a túlszabályozottság ellenére is az új beruházások révén hozzájárul a hazai ipar fejlődéséhez, a kedvező nemzetgazdasági folyamatok kialakításához.

A hazai gumiipar, túlélve a hitelválságot, újra talpra állt, sok esetben eredményesebb és az európai átlagnál jobb mutatókkal rendelkezik. A magyarországi ipari átlagot tekintve is huzamosabb ideje jó eredményeket mutat, így a nehezebb gazdasági körülmények, valamint a túlszabályozottság ellenére is az új beruházások révén hozzájárul a hazai ipar fejlődéséhez, a kedvező nemzetgazdasági folyamatok kialakításához.



A jelenlegi elnök megköszöni dr. Palotás Lászlónak a Szövetségben végzett munkáját



Zsidai László*, Keresztes Róbert Zsolt*, Eleőd András**

A „stick-slip” jelentősége és tribológiai vizsgálatának lehetséges irányvonalai polimer gépelem alkalmazásokhoz

A tribológiai vizsgálatok elterjedése, egyre szélesebb lehetőségeket nyit meg a kopási-súrlódási jelenségek vizsgálatával kapcsolatban. Ez különösen igaz az új szerkezeti anyagként tért hódító műszaki műanyagok esetében, ahol még sok nyitott kérdés megoldása vár a kutatókra. Ilyen részterület a stick-slip problémája, ami számos műszaki hiba okozója világszerte. Munkánk célja a stick-slip jelenség vizsgálati lehetőségeinek bemutatása különböző modell vizsgálati rendszerekben. A rendszerek közös jellemzője az alternáló csúszósúrlódás, eltéréseik méreteikben, a próbatest geometriáikban és az érintkezési viszonyokban nyilvánul meg.

1. BEVEZETÉS, IRODALMI ÖSSZEFOGLALÁS

Amikor két mozgó gépelem felülete csúszóérintkezésbe kerül egymással, a felületeken mozgást akadályozó jelenség lép fel. Ezt a jelenséget súrlódásnak nevezzük, amelyet sokszor rezgések kísérnek, amelyek hanghatással (zörejjel) is járhatnak. A súrlódó felületek dinamikus rendszerben történő vizsgálatából kimutatható hogy a rezgések és a súrlódás egymással szoros kapcsolatban állnak. A súrlódás okozta rezgések időben változóak, nem lineárisak, sztochasztikusak. A vibrációk és rezgések (stick-slip) jelentős problémát okoznak az ipari gyakorlatban, ezért indokolt a stick-slip mind behatóbb tanulmányozása. Ez különösen fontos a súrlódó gépelemek hagyományos alapanyagainak, új fejlesztésű anyagokra (pl. polimerekre) történő kiváltása során, ahol még sok a megválaszolatlan kérdés.

A következőkben áttekintést adunk a stick-slip jelenség mielenlétéről és példákon keresztül bemutatunk számos vizsgálati berendezést és módszert. Reményeink szerint, ezzel számos információkkal szolgálunk mind a tribológiát tanuló diákoknak, mind a gyakorló szakembereknek.

1.1. A STICK-SLIP HATÁS

A hétköznapi szóhasználatban a „stick-slip jelenséget” vagy csak egyszerűen a „stick-slip”-et két egymáson csúszóelem között spontán fellépő „rángatózó” mozgásra értjük.

Jenei [1] szerint az akadozó súrlódási állapot, lassan mozgó gépelemeknél, többek között csúszóvezetékeknél fordul elő. A kis csúszási sebességnek köszönhetően a mozgás egyenlőtlen, lengésszerű vagy ugrásszerű változások sorát mutatja. Az akadozó mozgás oka, hogy a hajtásrendszer rugalmas alakváltozást szenved, egyes súrlódási állapotban a nyugvási és mozgásbeli súrlódási tényezők értéke különböző és a súrlódási té-

nyezők értékének változása a csúszófelület sebességétől nem függ lineárisan. A nyugvásbeli súrlódási tényező függ a két felület összeakadási idejétől. A nyugvásbeli súrlódási tényező mindig nagyobb, mint a mozgásbeli.

Armstrong-Hélouvy [2] az alábbi módon vélekedett a stick-slip hatásról. Amikor a mozgás nagyon kis sebességgel történik, a mozgásban lévő gépelemek akadozó csúszást mutatnak (stick-slip hatás). A lassú mozgás mellé az úgynevezett alternáló mozgás párosul. A stick-slip hatás határozza meg a mozgó mechanizmusok kisebb teljesítmény határait, a legalacsonyabb fenntartható sebességet és a legrövidebb elmozdulási hosszt. Különösen fontos ott feltárni a stick-slip dinamikáját, ahol precíz, finom mozgásokkal működő csúszóelemek üzemelnek.

Általános véleményként elmondhatjuk azt is, hogy a stick-slip viselkedést tovább erősíti a csúszási zónában lévő érintkező felületen létrejövő hullámzó csúszó „slip” és akadozó „stick” mozgások által gerjesztett hőingadozások hatása is.

A mérnöki gyakorlatban a stick-slip legegyszerűbben úgy írható le, hogy a felületek között váltakozva csúszás és akadály jön létre, amelynek oka a súrlódási erő változása. Ez azt jelenti, hogy a nyugvási (statikus) súrlódási tényező nagyobb értéket vesz fel, mint a mozgásbeli (kinetikus) súrlódási tényező.

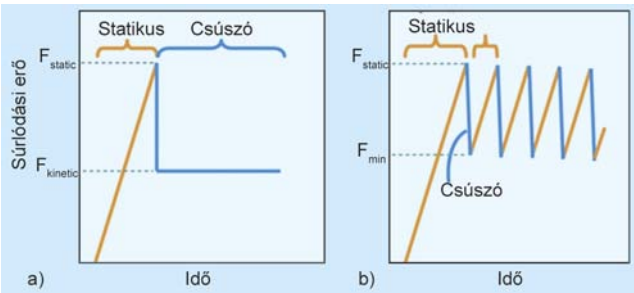
Ha a mozgást biztosító erő elég nagy ahhoz, hogy leküzdje a statikus súrlódási ellenállást, amely a súrlódás természeténél fogva általában nagyobb, mint a kinetikus súrlódási ellenállás, a súrlódási ellenállás csökken így a csúszási sebesség hirtelen megnövekszik.

1.2. STICK-SLIP VAGY NEM STICK-SLIP

Az 1. ábrán két eltérő csúszósúrlódási folyamatot láthatunk. Az 1a. ábrán a megindításkor fellépő statikus súrlódási ellen-

*Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Gépipari Technológiai Intézet, Gödöllő, Zsidai.Laszlo@gek.szie.hu

**BME Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

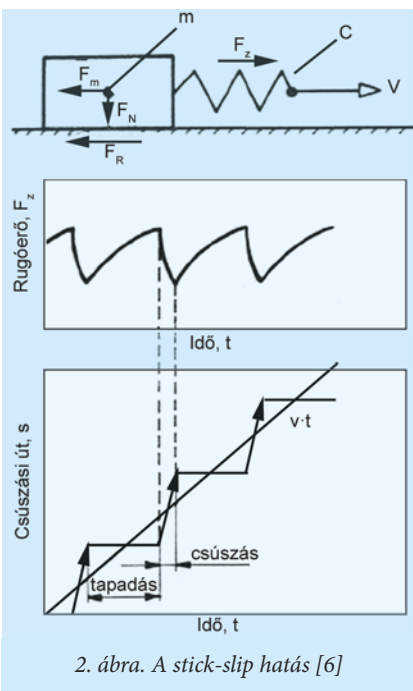


1. ábra. Normál (a) és stick-slip-pel járó (b) csúszósúrlódás statikus és kinematikus súrlódási erőinek lefolyása [3]

állást (F_{static}) leküzdve a csúszás a továbbiakban a mozgásbeli súrlódási ellenállásnak ($F_{kinetic}$) megfelelő érték körül marad, így nem lép fel stick-slip, a csúszás kiegyensúlyozott marad. Az 1b. ábrán ezzel szemben a megindításkor leküzdött tapadási súrlódási erőt követően nem tud stabilan állandósulni a mozgásbeli súrlódási erő, hanem újabb letapadást követően, újból le kell küzdeni a tapadási súrlódási erőt.

A súrlódás akkor akadást mentes, ha a tapadási súrlódási erőt követően a folyamat eléri a kinetikus súrlódási erő értékét. Ha azonban még mielőtt elérné, letapad (F_{min}), akkor nem tud kialakulni a kiegyensúlyozott mozgásbeli súrlódási ellenállás és stick-slip lép fel.

Alapvetően a stick-slip jelenség kialakulásának fő oka a tapadási és mozgási súrlódási ellenállás különbsége [4, 5].



2. ábra. A stick-slip hatás [6]

megcsúszáskor a kinetikus súrlódási tényező (vagy ahhoz tartó érték) váltja fel hirtelen. Ezzel egyre könnyebben szabadul fel a rugó energiája és az egyre könnyedebben mozgatja az F_N tömeget. Az F_N tömeg mozgása közben természetesen a rugóerő is csökken addig, amíg kevesebb nem lesz, mint a kinetikus súrlódási tényező, amikor is a mozgatott tömeg megáll. A

hajtás ugyanakkor tovább húzza a rugót, amely újból növekvő erőt kezd kifejteni a csúszó tömegre és ez a folyamat ismétlődik újra és újra.

Más források is megerősítik, hogy a rugómerevség, az érintkező csúszófelület normál terhelése (test súlya), a letapadás ideje a csúszási zónában (kémiai anyagátviteli hatások és tapadás kialakulása), a csúszási sebesség („slip” fázis), mind hatással vannak a jelenségre [7, 8].

1.3. A STICK-SLIP JELENSÉGET BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

Az akadozó csúszás jelenségének kialakulása többnyire rendszerfüggő, de paraméterfüggő is. Alapvetően adott sebességérték, a kritikus sebesség felett nem tapasztalhatjuk a jelenséget, amit dinamikus vizsgálatokkal is alátámasztották [9].

Továbbá számos olyan paraméter van, ami a stick-slip kialakulásához vezethet. A hőmérséklet is igen jelentős mértékű befolyásoló hatással bír. Az akadozó csúszás kb. $\mu_{(static)} > 0,4$ tapadási súrlódási tényezőnél lép fel. A felületi érdesség jelentősen befolyásolja az akadozó csúszás jelenségét. A felületi terhelés csökkenésével a csúszósúrlódási tényező is csökken. Ellenben a túl sima felületeknél fennáll a letapadás veszélye, ilyen szempontból a kerámiák különösen figyelmet igénylő csoportot képviselnek. A súrlódó rétegek között felhasznált kenőanyagok segítségével csökkenthető, vagy jobb esetben teljesen kiküszöbölhető a csúszólengések [6].

A stick-slip előfordulása gyakoribb, ha a terhelés nem nagy értékű és „lágyan” adja át az erőhatásokat, valamint a relatív csúszási sebesség alacsony [7].

Az akadozó csúszás elkerülhetőségének lehetőségei:

- a hajtás rendszer megfelelő merevsége,
- a rendszer megfelelő csillapítása,
- megfelelő csúszófelület kiválasztása,
- a súrlódó felülethez jól tapadó, megfelelő súrlódási tényezővel rendelkező kenőanyag kiválasztása.

1.4. GYAKORLATI PÉLDÁK

A stick-slip jelenségre számos példát láthatunk az ipari alkalmazásokból. Elsősorban az eltérő rugalmasságú csúszóelem-párok között jelentkezik, mint például a hidraulikus munkahengerek rugalmas tömítéseinél. Szintén gyakori a finom illesztésű csúszóvezetékek esetében, mint pl. a megmunkáló gépek (eszterga, megmunkáló központok). A csúszóvezetékek kenőanyagainak kiválasztásánál ezért fontos szem előtt tartani azok stick-slip csökkentő hatását. A stick-slip jelentős hanghatással is járhat, ez megfigyelhető fékrendszerek működtetésekor, gumiabroncsok csúszásakor, de akár húros hangszerek rezonálásakor is. A legegyszerűbb példák a radírgumi üvegen való csúszásakor keletkező nyikorgó, vagy a kréta táblán mozgatásakor fellépő csikorgó hang.

A stick-slip a felületek atomi szintjén is megfigyelhető akár makroszkopikus eljárásokkal [4, 10], akár FFM (súrlódási erő mikroszkóp) segítségével (Tomlinson modell) [11].

A tömítések és munkahengerek területén a stick-slip főként a lökethosszak végénél, a stop-start helyzetben léphet fel,

és vibrációt, valamint zörejeket okoz. A legtöbbször a tömítések okozzák a stick-slip-et, de más komponensek és gépelemek is kiinduló pontjai lehetnek a káros folyamatnak. A hidraulikus rendszerekben kialakuló stick-slip okai lehetnek [12]:

- anyagduzzadás a tömítéseken, gyűrűkön,
- extrém oldalterhelés,
- pulzáló szelepműködés,
- nem kielégítő folyadékkenés,
- külső csúszófelületek,
- a tömítés túlzott nyomás alatt működik.

Hibás konstrukciós kialakítás is okozhat stick-slip-et, pl. a fékeket tartó lemezek túlzott elvékonyítása károsan csökkentheti a fékberendezés merevségét, ezzel lehetővé teszi fékezéskor a deformációt, majd az ebből származó rezgéseket.

A stick-slip hatás jelentősége az ipari alkalmazásokon túl egyéb más területeken is megjelenik, pl. az állatvilágban a hangképzésnél [13], de stick-slip modellekkel vizsgálják a földrengések kialakulását is [14].

1.5. POLIMEREK STICK-SLIP VESZÉLYE

A korábbiakból is következik, hogy a nagyobb képlékeny alakváltozási képességű csúszó anyagok (pl. gumi, polimer tömítések) fokozottan ki vannak téve a stick-slip veszélynek. Ez különösen igaz, ha az eltérő csúszófelületek felületi jellemzői között jelentős eltérések vannak (keménység, adhéziós hajlam, alakváltozási képesség).

A polimerek (beleértve a műszaki polimereket is) nagyobb rugalmasságuk miatt könnyebben eléri a stick-slip veszélyes állapotot. Korábbi munkánkban [15] rámutattunk arra, hogy a kisebb deformációs képességű (nagyobb rugalmassági modulusú) PETP és POM-H, amelyek ún. „ridegebb” polimerek, alacsonyabb felületi energiával rendelkeznek, ami kisebb letapadási veszélyt, ezzel együtt alacsonyabb súrlódási tényezőt jelent, szemben a PA-dal. A vizsgálatok során kimutattuk, hogy a polimer anyagban belsőleg szétosztott szilárd PTFE kenőanyag csökkenti a stick-slip veszélyt, ugyanakkor a szintén belsőleg elosztott olaj kenőanyag nem mutatott ilyen előnyös jellemzőket.

A polimerek stick-slip veszélyes csúszósúrlódásának csökkentése a megfelelő üzemelési paraméterek és anyagpárosítások megállapítása a tribológiai vizsgálatok feladata.

Az iparban leginkább elterjedt vizsgálatokra és vizsgálóberendezés általában folyamatos, egyirányú csúszósúrlódás (tűtárcsa, hasáb-henger, négy golyós vizsgálatok stb.) előállítására alkalmasak. Valószínűleg ezzel magyarázható, hogy a szakirodalom a legtöbb esetben a már mozgásban lévő felületek közötti, ún. dinamikus súrlódási tényező (μ_{din}) értékeket közli [16].

Szükséges lenne a nyugalmi súrlódási tényező értékek ismerete is. Ezek ismeretében képet kaphatunk az adott polimer, akadósúrlódás (stick-slip) hajlamáról is. A nyugvó és mozgó súrlódási tényezők együttes, folyamatos meghatározására alkalmas vizsgálati modell a különböző frekvencián működtethető oszcilláló, vagy közismert nevén HFRR (High Frequency Reciprocating Rig) [17] vizsgálat. Ide vonatkozó példa kevés

található [15, 18] a polimer tribológiával foglalkozó szakirodalomban. A módszer korlátozott elterjedése a berendezés bonyolultabb felépítésével, ezért a drágaságával, valamint az eredmények bonyolultabb kiértékelésével magyarázható.

2. ALTERNÁLÓ „RECIPROCATING”, NAGYMINTA „LARGE-SCALE” TRIBO VIZSGÁLATI LEHETŐSÉGEK

A próbatetek mérete alapvetően meghatározza a vizsgálóberendezések felépítését is. Beszélhetünk nagyméretű (large-scale) és kisméretű próbatetekkel (small-scale) végzett modell vizsgálatokról.

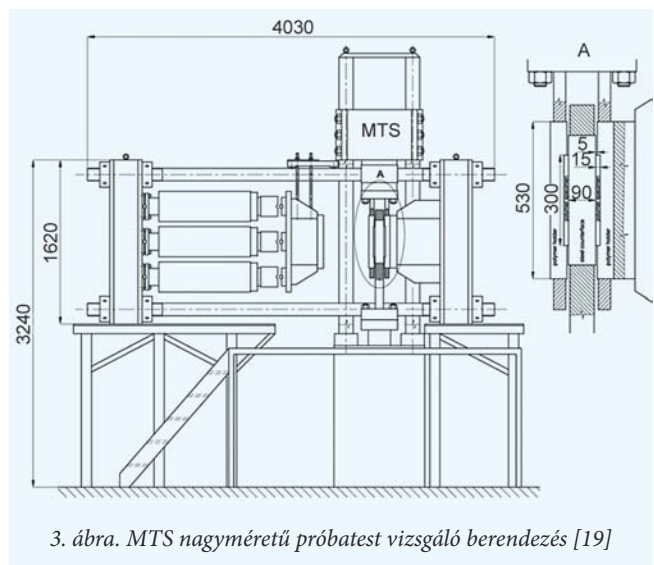
A kisméretű próbatest vizsgálatok gazdaságosságuk, sokrétű használhatóságuk mellett, nem utolsósorban, az ezeket a vizsgáló berendezéseket gyártó és forgalmazó cégek növekvő száma miatt lényegesen elterjedtebbek, mint a többnyire egyedileg, sokszor intézetben belül, konkrét problémák megoldására, jelentős beruházással készített nagyméretű próbatest vizsgáló berendezések.

Ugyanakkor a nagyméretű próbatetekkel végzett súrlódás vizsgálatok geometriai méreteik miatt jobban rámutatnak a tribológiai sajátosságokra, olyan alkalmazások esetén, amelyek speciális esetekre vonatkoznak, pl. extrém viszonyok között nagy terhelésű siklócsapágyazások. Ilyen a berendezéseket egyedileg, konkrét alkalmazások vizsgálatára építenek. E nagyméretű próbatest vizsgáló berendezésekre láthatunk példákat a következőkben.

2.2. MTS FÜGGŐLEGES LÖKETŰ NAGYMÉRETŰ PRÓBATEST VIZSGÁLÓ BERENDEZÉS

A berendezést a GENTI EGYETEM GÉPELEMEK ÉS GÉPGYÁRTÁSTECHNOLÓGIA TANSZÉK anyagvizsgálati laboratóriumában készítették. A nagyméretű próbatest vizsgáló berendezést a 3. ábra szemlélteti.

A rendszer működtetését két hidraulikus kör biztosítja. Az egyik, a terheléshez szükséges hidraulikus kör, 6 darab vízszintes munkahenger, MTS 436 Control Unit és MTS 406 Controller szabályzó egységekkel, a másik kör az acél blokkot



3. ábra. MTS nagyméretű próbatest vizsgáló berendezés [19]

mozgatja függőleges munkahengerrel és MTS 407 Controller szabályzó egységgel. A működtetéshez szükséges hidraulikus nyomás 210 bar. Mindkét részegység terhelhetősége 2500 kN, a maximális vizsgálati sebesség 100 mm/s, az alternáló mozgás legnagyobb amplitúdója 150 mm. A két nagyméretű polimer próbatestet a fix keresztfejen lévő függőleges villában található tartóban helyezkedik el. A próbatestet befogását és méreteit az ábra „A” része szemlélteti.

2.2.1. SÚRLÓDÁSI ERŐ ÉS A SÚRLÓDÁSI TÉNYEZŐ MEGHATÁROZÁSA

Nagyméretű próbatestet vizsgálatok összehasonlítva a kisméretű próbatestet mérésekkel a tisztán statikus és tisztán dinamikus mozgási és terhelési rendszerek kombinációja (egyenes vonalú alternáló mozgás).

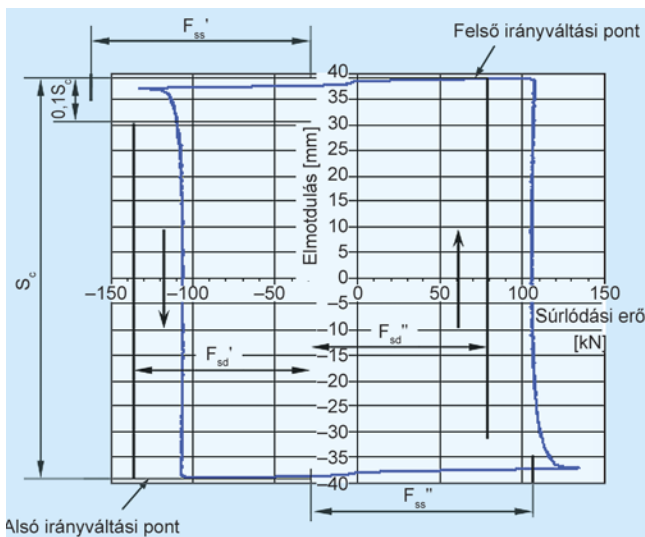
A berendezés kialakításából adódóan egy méréshez két polimer próbatestet használnak, amelyeket az egyenletes alternáló mozgást végző acél blokk két egymással szemközti köszörült oldalfelületéhez szorítanak. Ebből adódóan a nyúlásmérő bélyegekkel mért erő (F_m) a súrlódási erők (F_s) összege.

$$F_s = \frac{F_m}{2} \text{ [N]}$$

ahol F_m a nyúlásmérő bélyegekkel mért erő [N].

Az alternáló csúszómozgás egy ciklusa során mért súrlódási erő értékét az elmozdulás függvényében a 4. ábra mutatja. A vizsgált anyag PA 6G Mg, felületi terhelés 25 MPa, csúszási sebesség 5 mm/s. A súrlódási erő ellentétes előjele az eltérő mozgásirányból adódik. A súrlódási erő jellege alapvetően megegyezik a szakirodalomban tapasztaltakkal. A mozgás megindításához szükséges nagyobb erőt a kezdeti erőcsúcsok jelzik (statikus súrlódási erő), majd a mozgás során csökken és beáll egy közel állandó értékre (dinamikus súrlódási erő).

A teljes mérés során keletkező súrlódási erő meghatározásához ciklusonként mindkét irányhoz tartozóan MATLAB programmal számítanak egy statikus (F_{ss}' , F_{ss}'') és a dynami-



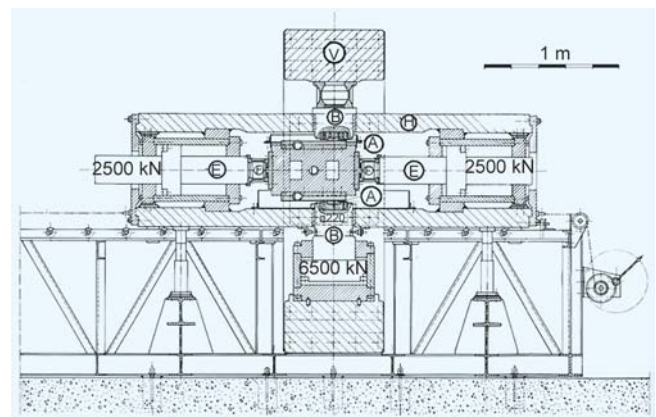
4. ábra. Nagyméretű próbatestet mérési diagram [19]

kus (F_{sd}' , F_{sd}'') súrlódási erőt. Az egy vesszős értékek a lefelé mozgás esetén, míg a kétvesszős értékek a felfelé mozgás esetén számított súrlódási erők:

F_{ss}' a lefelé mozgás esetén ébredő statikus súrlódási erő,
 F_{sd}' az átlagos súrlódási erő lefelé mozgásnál,
 F_{ss}'' a felfelé mozgás esetén ébredő statikus súrlódási erő,
 F_{sd}'' az átlagos súrlódási erő felfelé mozgásnál.

2.2. VÍZSZINTES LÖKETŰ „LARGE-SCALE” TRIBO TESZTER

Az 5. ábrán látható nagyminta vizsgáló berendezés hasonló elven működik, mint az előző MTS triboteszter. A lényeges eltérések a próbadarabok elrendezésében és számában vannak, mivel itt az elmozdulás vízszintes (hosszmérete jelentős) és két-két polimer és acél próbatestet használnak a vizsgálatokhoz. A berendezést nagyterhelésű csúszótámaszok vizsgálatára hozták létre.



5. ábra. Nagyméretű próbadarabok vizsgálatára szolgáló egyedi építésű, berendezés (Forrás: University of Gent, Laboratory of Machines and Machine Construction) [20]

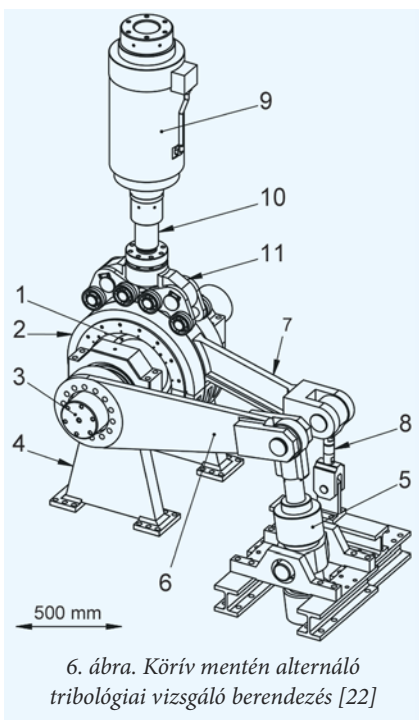
Jellemzői közül kiemelendő a nagy függőleges „V, B” (max. 6500 kN) és vízszintes „H, E” (max. 2500 kN) erő, amit hidraulikus munkahengerek hoznak létre. A befogható próbatetek „A, B” méretei elérik a $\varnothing 220$ mm-t. A maximális csúszási sebesség 6 mm/s, a csúszási úthossz 350 mm-es [20, 21].

2.3. KÖRÍV MENTÉN ALTERNÁLÓ TRIBOTESZTER, FOLYADÉKBAN VÉGZETT VIZSGÁLATOKHOZ

A következő vizsgáló berendezés folyókban és tengervízben működő zsilipkapuk nagyméretű polimer kompozit siklócsapágyainak vizsgálatára készült. A mozgásforma itt is alternáló, azonban az előzőektől eltérően nem sík-sík, hanem henger-henger az érintkező modellforma.

A vizsgálatokat mind száraz, mind folyadék közegben is elvégezhetjük, annak köszönhetően, hogy a berendezés súrlódás vizsgálati tere tömítésekkel zárt kivitelben készült. A berendezés a folyadék folyamatos keringetését is lehetővé teszi a zárt térben, így jól szimulálhatóak az élővízi (édes-, sósvízi) környezetek folyamatosan változó közege.

A súrlódási erő mérése lényegében egy csavaró nyomaték mérés, amelyet erőmérő kar segítségével végzünk. Az alternáló



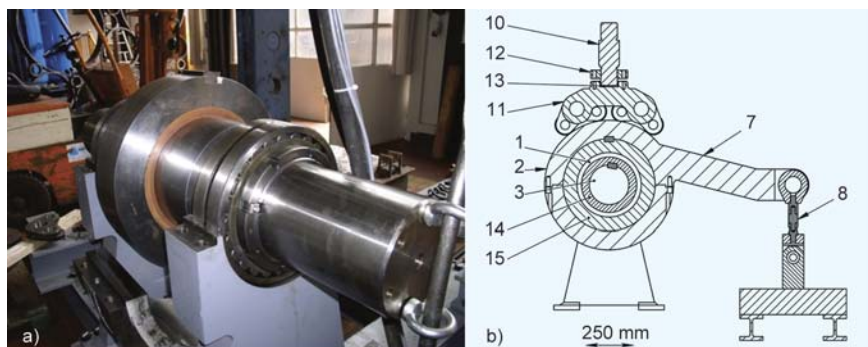
6. ábra. Körív mentén alternáló tribológiai vizsgáló berendezés [22]

gépén, a mérő átalakítón keresztül.

A berendezés a 6. és 7. ábrán látható. Az (1) polimer kompozit siklócsapágy belső átmérője 300 mm, a szélessége pedig 60–300 mm között változhat, a (2) házban kerül rögzítésre és a 42CrMo4 acél ötvözetből készült (3) főtengely körül csúszik. A főtengely két csapágyon támasztott, hajtását a középpontjából kiálló karon (6) keresztül hidraulikus munkahengertől (5) kapja, amelynek maximális nyomóereje 323 kN, húzóereje 190 kN. A (11) önbeálló görgősor a csapágyházra támaszkodva adja át a terhelő hidraulikus munkahenger (9) függőleges, normál terhelését (max. 1500 kN) a csapágyházra, így a csapágyház szabadon elfordulhat a terhelés alatt is [21].

A súrlódás a főtengely erőkaron keresztül történő alternáló forgatásán keresztül jön létre a zárt csapágyházban a kompozit siklópersely (1) és a főtengelyre erősített (14) tengelypalást gyűrű között. A súrlódási erő növekedésével az oda-vissza forgó főtengely, magával forgatja a normál terhelést átadó csapágyházat és a hozzá rögzített mérőkart (7) is, amelynek húzó és nyomóereje az erőmérő célján keresztül (8) mérhető. Mivel a súrlódási erő ebből a lineáris erőből közvetlen nem mérhető ezért ennek pontos meghatározása további (differenciál) számításokat igényel.

A vizsgálat közben lehetőség van a súrlódási hő mérésére is hőérzékelő szenzorokkal. A „nedves” tesztekhez a csapágyház vízzel feltölthető a kétoldali tömítéseknek köszönhetően.



7. ábra. A vizsgáló berendezés főtengelye a rajta lévő polimer siklócsapágyval (a) és a berendezés metszete (b) [22]

ló tengely forgatása számítógép vezérlésű hidraulikus szervóberendezésén keresztül történik. A mérési adatok folyamatosan rögzítésre kerülnek a számítógépen, a mérő átalakítón keresztül.

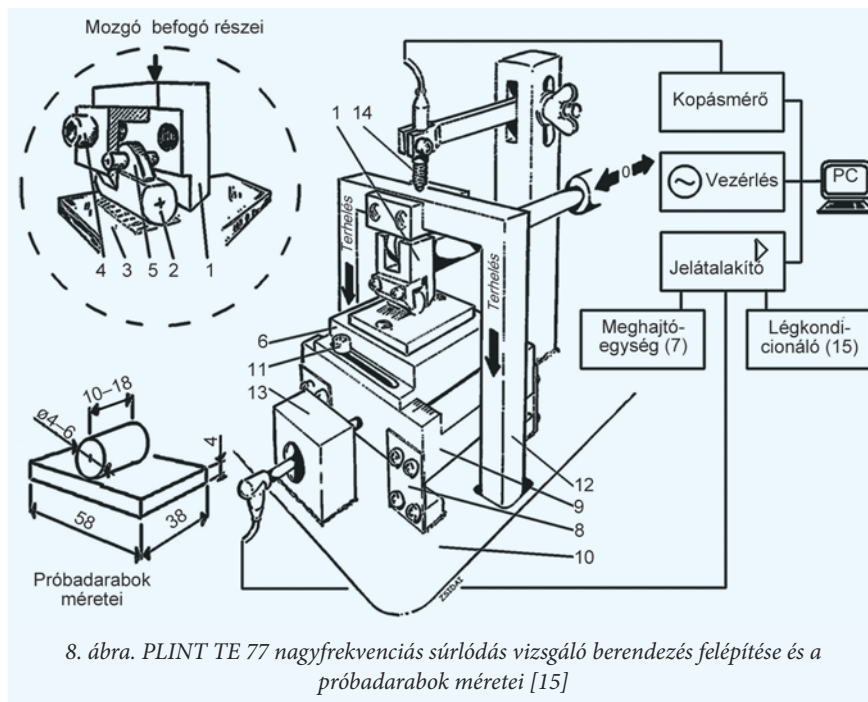
3. ALTERNÁLÓ „RECIPROCATING” KISMINTA „SMALL-SCALE” TRIBO VIZSGÁLATI LEHETŐSÉGEK

Miután a leggazdaságosabb az egyszerű kisméretű próbatesten végzett kísérlet, a különböző tribológiai rendszerek modellezésére számos ilyen módszert dolgoztak ki. Ezek rendszerint könnyen, gazdaságosan és pontosan gyártható sík, henger, kúp, vagy gömbfelületű próbatesteket érintkeztetnek egymással, csúszó, gördülő, csúszva gördülő, állandó vagy változó irányú mozgás mellett, esetleg különböző közegek hatásának kitett állapotban.

3.1. KISMINTA VIZSGÁLÓ RECIPROCATING TRIBO TESZT

A kísérleti berendezés, amit a 8. ábra mutat be, kis amplitúdójú rezgő vizsgálatra alkalmas széles körben használt PLINT tribométer (TE 77 High Frequency Tribotest) [23].

Az ábra bal felső részén látható az alternáló csúszómozgás végző polimer henger próbatest (2), amely az alatta lévő rögzített acél lapon (3) csúszik tengelyére merőleges irányban. A polimer hengert a mozgó befogó fejben (1) két csavar (4) elfordulás mentesen rögzíti, ami biztosítja a tiszta csúszást a



8. ábra. PLINT TE 77 nagyfrekvenciás súrlódás vizsgáló berendezés felépítése és a próbadarabok méretei [15]

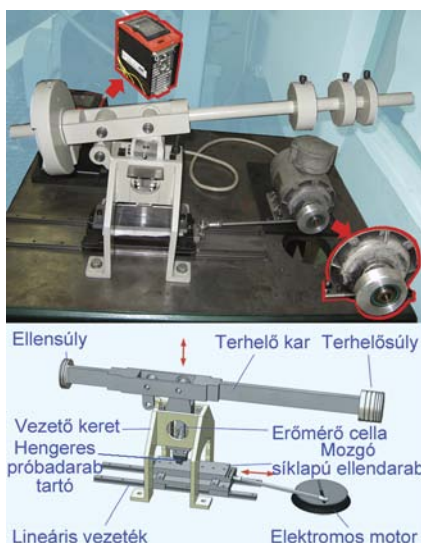
vizsgálat során. Változtatható fordulatszámú motor (7) excenter hajtóművön keresztül váltakozó irányban mozgatja a polimer próbatestet. Az acél ellendarabot a nyugvó tartóhoz csavarok rögzítik. A próbatest keresztirányú helyzetének beállítására csúszóvezeték és (11) rögzítő csavarok szolgálnak. A csúszóvezeték alapját képező alsó részt (9) négy laprugó (8) rögzíti a géptesthez (10). A rugók függőleges irányban merevek, de vízszintesen rugalmasak. Az acéllap vízszintes elmozdulását és az ezt okozó erőhatást (a súrlódási erőt) az elé helyezett piezo-elektromos erőmérő cella (13) érzékeli. A berendezés kézi terhelő rendszerrel van ellátva, mely tartalmazza a terhelő hidat (12), amelyet lefelé (terhelés növeléskor) egy – az ábrán nem jelölt – menetes orsó mozditja el. A terhelés átvitele a mozgó munkadarabra a mozgó befogó fejbe épített görgőkön keresztül történik. Érintés nélküli elmozdulás érzékelő méri a polimer próbatest függőleges elmozdulását az acél lap felé, ami a kopást jelzi (14). A próbatestek méretei szintén láthatóak a 8. ábrán. A hengeres polimer próbatest átmérője, $\phi 6$ mm, hossza $l = 12$ mm, az acél lap méretei $58 \times 38 \times 4$ mm.

3.2. EGYEDI FEJLESZTÉSŰ RECIPROCATING KISMINTA VIZSGÁLÓ TRIBO TEST

A kísérleti berendezés, amit a 9. ábra mutat be, intézetünkben végzett fejlesztés eredménye. Ez az alternáló mozgású (reciprocating) triboteszter a korábbi munkában [18] már bemutatott PLINT tribométerhez (TE 77 High Frequency Tribotest) hasonló működésű, azonos modell rendszert biztosító és a főbb vizsgálati tartományban vele egyenértékűnek tekinthető. Kifejlesztését az indokolta, hogy a PLINT tribométer költséges és jelenleg csak a külföldi partner intézetnél érhető el.

A változtatható fordulatszámú villanymotor tengelyén lévő tárcsa hornyába rögzített csaphoz kapcsolódó tolrúd biztosítja az alternáló mozgást. Állítható a löket és a frekvencia. A vizsgálat alap-dinamizmusát a próbatest alternáló mozgásból eredő gyorsulási és irányváltási szakaszok hozzák létre. Erre szuperponálható a

frekvenciaváltozás. A próbatestek statikus terhelése



9. ábra. Alternáló mozgású (reciprocating) triboteszter (SZIE, Gödöllő) [24]

mérés közben nem változtatható. A rendszer méri a súrlódási erőt, a kopást és a súrlódási hőmérsékletet. A mérést a gép központi mérőrendszere biztosítja. A felépítménnyel a rezgő súrlódó hatásnak kitett tribológiai rendszerek modellezhetők.

A forgó mozgás átalakítására eltérő kulisszák is használhatók, valamint a súrlódó kontaktus kialakítás is lehet illeszkedő vagy nem-illeszkedő. A mérés abrazív közegben vagy abrazív felületekkel is kivitelezhető. A vizsgálati tartományokat az 1. táblázat szemlélteti.

1. táblázat.

Működési feltételek az alternáló felépítménnyel

Normál terhelés	0–200 N
Lökethossz	0–50 mm
Frekvencia	0–30 Hz

A hengeres polimer próbatest befogása a 10. ábrán látható módon, párhuzamos szorítólapok közé szorítással történik. A befogófej lehetővé teszi a kismértékű keresztirányú elfordulást, így a próbatest „önbeálló” módon egyenletesen fekszik fel az acél sík ellendarabra. Ez a megoldás kizárja az oly sokszor mérési hibát okozó ferde kopást és az ezzel járó egyenetlen csúszási felületet.

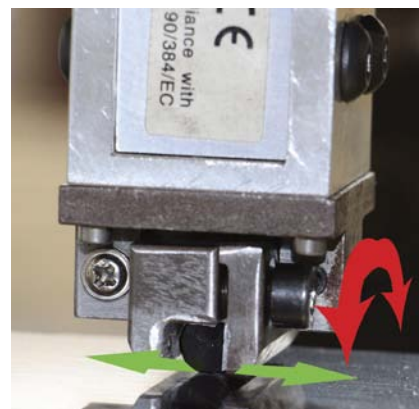
Kisméretű, gyorsan és egyszerűen előállítható próbatestekkel, dinamikus hatások biztosításával a vizsgálati rendszer képes mérni:

- a mozgásbeli súrlódás trendjeit, a hozzá kapcsolódó deformációkat és kopásokat, súrlódási hőmérsékletet,
- a statikus súrlódási erő értékeit,
- a statikus és mozgásbeli súrlódási erő közti különbségeket, a jellemző átmeneteket,
- a stick-slip hajlam és jelenség behatárolását adott rendszerfeltételek esetén,
- a felsorolt tribológiai jellemzőket súrlódási út függvényében.

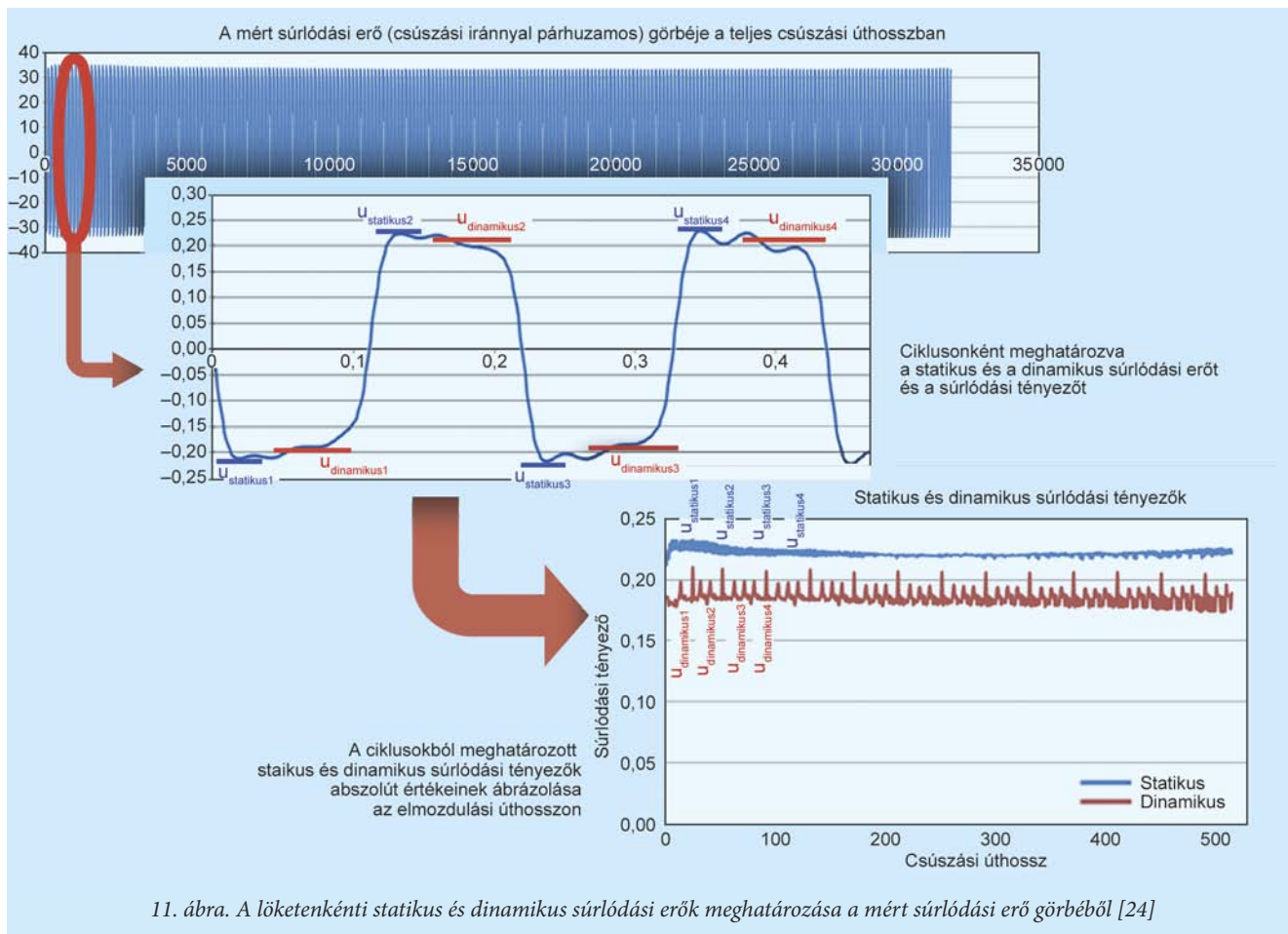
3.2.1. A SÚRLÓDÁSI ERŐK-SÚRLÓDÁSI TÉNYEZŐK MEGHATÁROZÁSA

A súrlódási erőt minden ciklusban az irányváltási helyek között 65 mérési ponttal határoztuk meg. A 11. ábrán nyomon követhetjük a statikus és dinamikus súrlódási tényezők löketenkénti (6 mm) meghatározását az alapadatként mért egybefüggő súrlódási erő ciklusgöréből a csúszási úthossz függvényében.

Az ábrán láthatjuk, hogy a súrlódási erők mért, váltakozó előjelű ciklikus görbéje (ábra felső része) ebben a formában nem alkalmas elemzésre. Ebből a görbéből ciklusonként (ábra középső része) kell kinyernünk az oda, majd vissza löketekhez tartozó indítási maximum (statikus) és mozgásbeli (dinamikus) súrlódási tényezőket.



10. ábra. A hengeres polimer próbatest önbeálló, elfordulás mentes befogása a mérőfejbe (SZIE, Gödöllő) [24]



11. ábra. A löketenkénti statikus és dinamikus súrlódási erők meghatározása a mért súrlódási erő görbéből [24]

A súrlódási erő ellentétes előjelei az eltérő irányú (6 mm lökethosszal oda majd vissza) mozgásból adódnak. Jól látható, hogy a görbe elején, mindkét irányú elmozdulásnál erőcsúcsok jelennek meg, amelyek jelzik a mozgás megindulásához szükséges lényegesen nagyobb erőt (statikus súrlódási erő). Később az erő lecsökken és bizonyos ingadozásokkal behatárolható értékek között marad (dinamikus súrlódási erő).

A feladat megoldására Excel adatkezelő programban készítettünk egy alkalmazást. Ez szűréssel minden ciklusból csak ezt a két súrlódás értéket emeli ki, majd ezeket új adatsorba helyezve két új görbét kapunk (ábra alsó része) minden polimerhez. Az alkalmazás a normál erő (150 N) és a mért súrlódási erőből a Coulomb összefüggéssel egyszerűen számítja a súrlódási tényezőket is. Így a teljes mérés időtartamára kirajzolhatóvá vált a statikus és a dinamikus súrlódási tényezők görbéje, amelyek már szemléletesek és jól használhatók a súrlódási jelenségek értékeléséhez.

A kopás mélységének változását is folyamatosan rögzíthetjük légrésmérővel. Azonban a csúszási úthossz, az alakváltozás és a súrlódási hő fejlődéséből származó lineáris hőtágulás befolyásolhatja a kopás értékek pontosságát.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

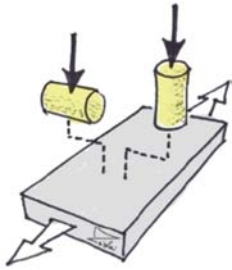
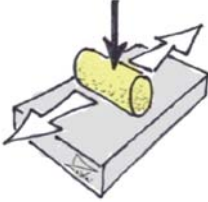
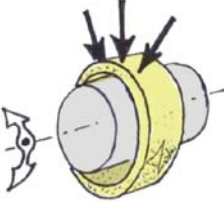
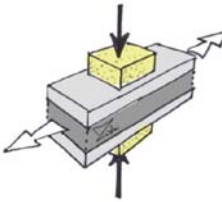
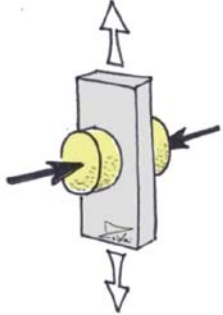
A 2. táblázat összehasonlító áttekintést ad az előzőekben bemutatott berendezések főbb jellemzőiről. A vázlatok a próba-

testek elhelyezkedését, formáját (világos szín polimer szürkés szín acél próbatest) normál terhelések irányát (fekete nyíl) és az elmozdulások irányát (fehér nyíl) jelölik.

A táblázatból jól látható előnyök és hátrányok a nagyminta vizsgálatokra a következők:

- a nagy felületi terhelést nagy normál erő létrehozásával érik el,
- az érintkezési felületek kivétel nélkül illeszkedők „conformal” (sík-síkon, hengerpalást hengerpaláston) ez egyszerűbbé teszi a kopásmérést és a folyamatok értékelését,
- a geometriai méreteik miatt jól közelítik a valós nagyterhelésű alkalmazásokat (felületi tapadás, deformációk, hőelvezetés stb.),
- a geometriai méreteik miatt akár külső közeget is közvetlen juttathatunk a felszínek közé, nincsenek arányossági eltérések (pl. tengervíz-hordalék részecskékkel),
- egy időben több próbatest vizsgálata is elterjedt, bár ez a nagy terhelések-megtámasztások miatt történik, az eredmények egybevetése és a szimmetrikusságot feltételezve végzett elemzése hibákat is magában hordozhat,
- kialakításuk konkrét alkalmazási területre vonatkozik, az eredmények általánosítása kevésbé lehetséges,
- a tribológiai részfolyamatok ellenőrzése, hatásuk szétválasztása körülményes,
- kiépítésük, üzemeltetésük nehézkes és költséges.

2. táblázat.
A reciprocating vizsgálatok összefoglalása

Megnevezés	Egyedi fejlesztésű kisminta vizsgáló triboteszter	Kisminta vizsgáló reciprocating triboteszter	Körív mentén alternáló triboteszter	Vízszintes löketű „large-scale” triboteszter	MTS függőleges löketű nagyméretű próbatesszt vizsgáló berendezés
Modell-rendszer					
Kontakt felület	Illeszkedő (conformal)/ nem illeszkedő (counterformal)	Nem illeszkedő (counterformal)	Részben illeszkedő (semi-conformal)	Illeszkedő (conformal)	Illeszkedő (conformal)
Normál terhelés/ felületi nyomás	Kis terhelés/ kis vagy nagy felületi nyomás	Kis terhelés/ nagy felületi nyomás	Nagy terhelés/ nagy felületi nyomás	Nagy terhelés/ nagy felületi nyomás	Nagy terhelés/ nagy felületi nyomás
Mozgás-forma	Egyenes vonalú vízszintes alternáló	Egyenes vonalú vízszintes alternáló	Tengely körüli alternáló	Egyenes vonalú vízszintes alternáló	Egyenes vonalú függőleges alternáló
Költség	Alacsony költség	Közepes költség	Nagy költség	Nagy költség	Nagy költség
Megjegyzés	1 darab acél – 1 darab polimer próbatesszt egyidejű vizsgálata	1 darab acél – 1 darab polimer próbatesszt egyidejű vizsgálata	1 darab acél – 1 darab polimer próbatesszt egyidejű vizsgálata valós-hoz hasonló elrendezés	2 darab acél – 2 darab polimer próbatesszt egyidejű vizsgálata	1 darab acél – 2 darab polimer próbatesszt egyidejű vizsgálata

- A kisminta vizsgálatok előnyei és hátrányai a következők:
- a nagy felületi terhelést kis normál terheléssel is elérhetik.
 - az érintkezési felületek nem illeszkedő „counterformal” (henger-síkon, gömb-síkon) ez teszi lehetővé a vonali/pont érintkezést, és így a nagy kezdeti felületi nyomást,
 - a kis geometriai méretek miatt jobban körülhatárolhatóak a folyamatok és a lokális helyek (megolvadás, anyagátvitel, súrlódási hő),
 - a próbatesszt formák, méretek és elrendezések nagy része mára már szabványosított, így az eredmények jól összehasonlíthatók, bizonyos mértékben általánosíthatók,
 - az üzemeltetési, beszerzési és a próbadarab költségek lényegesen alacsonyabbak, mint a nagyminta vizsgálatoknál,
 - a konkrét alkalmazások modellezése azonban nehezebb, mivel a kis méretek miatt számos folyamat (hőelvezetés, súrlódási hő, felületek hatása, rezgések stb.) nem, vagy csak torzult formában vesz részt a súrlódásban, ez külön odafigyelést jelent,
 - külön nehézséget jelent a nem illeszkedő kiinduló felületek folyamatos változása a súrlódás során, amely magával hozza a felületi terhelés, a rugalmas deformáció és a kopásellenállás változását a megtett csúszási úthossz függvényében,
 - külső közeg (szilárd, folyékony) alkalmazása során figyelembe kell venni a csökkentett méretek miatti arányossági problémákat.

Az előbbieket alapján elmondhatjuk, hogy a megfelelő triboteszt választás soktényezős döntés eredménye kell, hogy legyen. A fő kérdések, hogy mihez (konkrét alkalmazás vagy általában anyagpárosítás meghatározása), hol (melyek a külső befolyásoló tényezők: kenőanyag, közeg, időjárás stb.) és mekkora költséggel (saját beruházási lehetőségek vagy bér munka szaklaboratóriummal).

A kutatás a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj (BO/00127/13/6) támogatásával készült, a támogatásért ez úton is köszönetét fejezi ki Zsidai László.

IRODALOM

- [1] Dr. Jenei, I.; Ladányi, G.: Kenésgazdálkodás, Digitális Tankönyvtár, 2013.
- [2] Armstrong-Hélouvry, B.: Stick Slip control in low speed motion, IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 38, No. 10, october 1993.
- [3] Patek, S. N.; Baio, J. E.: The acoustic mechanics of stick-slip friction in the California spiny lobster (Panulirus interruptus), J. Exp. Biol., 210, 3538–3546 (2007).
- [4] Bowden, F. P.; Tabor, D. T.: Friction, an Introduction to tribology. Krieger Publishing Company, Florida (1982).
- [5] Gao, C.; Kuhlmann-Wilsdorf, D.; Makel, D. D.: Fundamentals of stick-slip, Wear, 162–164, 1139–1149 (1993).
- [6] Valasek, I.; Szota, Gy.: A tribológia alapjai, Budapest, Tribotechnik Kft. (Tribológia 1) (2002).

- [7] Heslot, F.; Baumberger, T.; Perrin, B.; Caroli, B.; Caroli, C.: Creep, stick-slip, and dry-friction dynamics: Experiments and a heuristic model, *Phys. Rev. E* 49, 4973 (1994).
- [8] Persson Ruina, A.: Slip instability and state variable friction laws, *Journal of Geophysical Research*, 88. B12 10359-10 (1983).
- [9] Gao, C.; Kuhlmann-Wilsdorf, D.; Makel, D. D.: The dynamic analysis of stick-slip, *Wear*, 173, 1–12 (1994).
- [10] Khurana, A.: Rayleigh-Bénard experiment probes transition from chaos to turbulence, *Phys. Today*, 41, 17 (1988).
- [11] Mate, C. M.; McClelland, G. M.; Erlandsson, R.; Chiang, S.: Atomic-scale friction of a tungsten tip on a graphite surface, *Phys. Rev. Lett.*, 59, 1942 (1987).
- [12] (Parker Hannifin Corp 2015), <http://blog.parker.com/get-rid-of-stick-slip-trouble-with-these-tips>
- [13] Patek, S. N.: Spiny lobsters stick and slip to make sound, *Nature*, 411 (6834): 153–154 (2001).
- [14] Scholz, C. H.: The mechanics of earthquakes and faulting (2 ed.). Cambridge University Press, 81–84 (2002).
- [15] Zsidai, L.; De Baets, P.; Samyn, P.; Kalácska, G.; van Peteghem, A., P.; van Parys, F.: The tribological behaviour of engineering plastics during sliding friction investigated with small-scale specimens, *Wear*, 253, 637–688 (2002).
- [16] Kalácska, G.: An engineering approach to dry friction behaviour of numerous engineering plastics with respect to the mechanical properties, *eXPRESS Polymer Letters*, 7, 199–210 (2013).
- [17] Oláh, Zs.; Szirmai, L.; Resofszi, G.: A new aspect of the evaluation of diesel fuel lubricity properties, 8th International Conference on Tribology, In: Proceedings. 2004. június 3–4. Veszprém 194–197.
- [18] Benabdallah, H.: Friction and wear of blended polyoxymethylene sliding against coated steel plates. *Wear*, 254, 1239–1246 (2003).
- [19] Keresztes, R. Zs.: Műszaki műanyag/acél csúszópárok tribológiai kutatása – polimer/acél fogfelületek súrlódása, PhD értekezés 2009.
- [20] de Baets, P.: Comparison of the wear behaviour of six bearing materials for a heavily loaded sliding system in seawater, *Wear*, 180, 61–72 (1995).
- [21] de Baets, P.: Wear simulation of a sliding system by means of large-scale specimen testing, *Wear*, 173 65–74 (1994).
- [22] van Wittenberghe, J.; Ost, W.; Rezaei, A.; de Baets, P.; Zsidai, L.; Kalácska, G.: Test setup for friction force measurements of large-scale composite bearings, *Experimental Techniques*, jan/febr. (2009).
- [23] Plint: Operating instructions TE 77 high frequency friction machine, Workingham, Berkshire (1995).
- [24] Zsidai, L.; Kalácska, G.: Stick-slip PA és PEEK kompozitok súrlódásánál henger/sík modell vizsgálati rendszerben, *Műanyag és Gumi*, 51, 492–470 (2014).

A 2015. évi megrendelés ára 9900.- Ft+ÁFA, amely 6 lapszámot tartalmaz.

Kedvezmény:

3–5 példány megrendelése esetén: –10%

(így egy példány előfizetése:

8910 Ft+ÁFA/2015.év)

6 vagy több példány megrendelése esetén: –15%

(így egy példány előfizetése:

8415 Ft+ÁFA/2015.év)

Biesterfeld interowa

Your Polymercoach!

NAGYTELJESÍTMÉNYŰ MŰANYAGOK

MŰSZAKI MŰANYAGOK

STANDARD MŰANYAGOK

amorf **részben kristályos**

FLEXIBILIS MŰANYAGOK

DU PONT **PU Solutions Elastogran**

SOLWAY **Santoprene** **vicires**

Chevron Phillips **INEOS** **Olefin & Polymers Europe**

ExxonMobil Chemical **LUVOCOM** **High-performance engineering thermoplastics**

Idemitsu **LG Chem**

INEOS Styrenics **SK chemicals**

RTP **CHIMEI** **BAAE**

Tosaf **KUMHO PETROCHEMICAL**

Biesterfeld Interowa GmbH & Co KG | Lengyel Zoltán – e-mail: zoltan.lengyel@interowa.com
 Mobil-Tel.: +36/30 549 52 72 | Fax: +36/27 355 129
www.interowa.com

A műanyag hulladék hulladékstátuszának megszűnése

Beszámoló az európai szakértői munkacsoport üléséről és a rendelet tervezetéről

Az Európai Bizottság a műanyag hulladék tekintetében folytatni kívánja a hulladékstátusz megszűnése kritériumainak a kidolgozását. 2015. szeptember 10-én Brüsszelben került sor az Európai Bizottság és ennek kutatóintézete munkáját támogató európai szakértői munkacsoport ülésére, amelyen az érintett magyar iparágak képviselőitől beszélgetőtársam, **Toronyi Zoltán**, a HOLOFON ZRT. vezérigazgatója is részt vett.

A találkozó az Európai Bizottság által összeállított rendelettervezet legfontosabb pontjainak az egyeztetését célozta, azonban az ülésen kiderült, a tervezet tárgyalásának további menete, elfogadásra kerülő sorsa meglehetősen bizonytalan. Ennek oka, hogy a rendeletet egy jelenleg jól működő rendszerre próbálnák meg ráhúzni, hiszen Európa legtöbb országában a műanyag hulladékból előállított másodnyersanyagokat (regranulátum, daralék stb.) jelenleg terméknek tekintik. Amennyiben a hulladékstátusz megszűnése tekintetében új kritériumokat vezetnének be, az zűrzavart okozna a rendszer működésében.

Mindezek alapján még olyan döntés is születhet, hogy az Európai Bizottság eláll az európai rendelet kidolgozásának tervétől, vagy a munka folytatása mellett döntenek. Az ülés legfontosabb témája a műanyagtól eltérő összetevőkre vonatkozó határérték meghatározása volt. A Bizottság munkatársai azt kívánták felmérni, hogy milyen érvek szólnak a tervezetben szereplő megoldás mellett, illetve ellen: a tervezet 2%-ban határozná meg a műanyagtól eltérő összetevők legnagyobb megengedett mennyiségét, de ezt meghaladó idegenanyag-tartalom esetén is megengedné a hulladékstátusz megszűnését, feltéve, hogy a hasznosító rendelkezésére áll a megrendelő (feldolgozó) által kiadott és aláírt nyilatkozat arról, hogy az anyagot kizárólag árucikké történő feldolgozásra használják. (2% idegenanyag-tartalom alatt nem lenne szükség a feldolgozó nyilatkozatára.)

A hulladékhasznosító ipar képviselői támogatják, hogy a hulladékstátusz megszűnésének legfontosabb feltétele a kereslet megléte, másrészt a rugalmas kritériumok hozzájárulnak az újrafeldolgozási célkitűzések teljesítéséhez, továbbá a feldolgozóknak nincs hulladékkezelési engedélyük, hiszen jelenleg is terméket vásárolnak.

A Bizottság munkatársai úgy ítélték meg, hogy a szakma alapvetően támogatja a tervezetben javasolt megoldást, de kiegészíteni javasolta egy felső határértékkel, tehát a vevői igazolás csak a 2%-os határérték és a felső határérték közötti idegenanyag-tartalom esetén tenné lehetővé a hulladékstátusz megszűnését.

Az anyag veszélyességére vonatkozó és a vegyi anyag-szabályozással kapcsolatos előírások annak a biztosítását szolgálnák, hogy a hulladékstátusból kikerülő anyag ne legyen veszélyes, illetve megfeleljen a termékekre vonatkozó, az EU vegyi anyag-szabályozásából fakadó követelményeknek. A kritériumcsoporttal kapcsolatban kérdés, hogy az anyag veszé-

lyességét a hulladékok veszélyességére vonatkozó vagy a termékek veszélyességére vonatkozó uniós szabályozásra hivatkozva kellene kizárni.

Kérdés, hogy szükséges-e a vegyi anyag-szabályozással kapcsolatos előírásokra hivatkozni, vagy elegendő lenne csupán annyit kimondani, hogy az anyagnak meg kell felelnie a REACH, a CLP rendelet, valamint a POP követelményeinek.

A kritériumok részletessége, szigorúsága, valamint a jogi szabályozás miatt a másodnyersanyagok hátrányba kerülhetnek az elsődleges alapanyagokkal szemben.

Balázs Ildikó

Másodnyersanyag árak és trendek 2015 szeptemberében

A szűz anyagok frontján tapasztalható árcsökkenés kezdeti jelei úgy tűnik, hogy a standard másodnyersanyagok piacára is kezdtek hatással lenni 2015 szeptemberében. Különösen a PP daralékok és az átlátszó rPET típusok érintettek ebben a versenyben. A csökkenő hulladék árak nem minden esetben tudták pótolni az újrafeldolgozók bevételekiesését. A piaci szereplők az rPE és rPS árakat képesek voltak tartani, így kissé fellellegezhettek, mivel árrésükben némi javulást tapasztalhattak – először ebben az évben. Ennek ellenére, bizonyos engedményeket tenniük kellett, különösen az rLDPE fólia típusoknál.

A lefelé mutató trendek mind az elsődleges, mind a másodlagos piacokon tovább erősödhetnek az elkövetkező hetekben. Az elsődleges piaci árak csökkenése ugyanakkor azt is jelenti, hogy egyre inkább alternatívát fognak jelenteni a kiváló minőségű másodnyersanyagokkal szemben. Az árcsökkenés várhatóan tovább folytatódik.

A 1. táblázatban az egyes másodnyersanyagok árait és azok várható trendjeit mutatjuk be.

1. táblázat.

Másodnyersanyag árak, 2015. szeptember [euró/tonna]

Típus	2015. szeptember			2015. október
	Ár	Változás	Ártartomány	
rLDPE				
Natúr fólia	1100	-20,0	1020-1180	csökkenő
Áttetsző fólia	1,000		960-1040	kis változás
Színezett fólia	945	0	920-970	csökkenő
Sötét fólia	845	-30,0	800-890	csökkenő
Extrúziós fekete	705	0	680-730	csökkenő
Fröccstípus fekete	625	0	570-680	csökken
rHDPE				
930 csótípus fekete	1055	0	1005-1105	csökkenő
Fújtt színezett	860		840-880	csökkenő
fröccstípus fekete	995		960-1030	csökkenő
rPP				
homopolimer fekete	930	-65,0	900-960	csökkenő
kopolimer fekete	965	-50,0	930-1000	csökkenő
rHIPS				
Fekete	980	0	960-1000	csökkenő
rPET				
Átlátszó	975	-50,0	950-1000	élesen csökkenő
Átlátszó pehely	825	-25,0	800-850	csökkenő
Színezett pehely	658	-2,5	635-680	csökkenő

ULTRAPOLYMERS

EUROPEAN POLYMER DISTRIBUTION

A belga Ultrapolymers GROUP NV magyarországi leányvállalata az Ultrapolymers Kft, disztribúcióval és saját termékeinek forgalmazásával áll partnerei szolgálatában.



The strength of chemicals.



PlastiVerd

AsahiKASEI



ASCEND

lyondellbasell

Lucite International



ENPLAST



LANXESS

ULTRAPOLYMERS

samyang

STYROLUTION

Driving Success. Together.

TEIJIN

Human Chemistry, Human Solutions

Termékeink:

Econamid (PA6,PA66), Domamid (PA6,PA66)

PET, PET-G

TENAC (POM homopolymer) TENAC-C (POM copolymer)

VYDYNE (PA66)

Hostalen (HDPE), Lupolen (LDPE, MDPE, HDPE, LLDPE), Lucalen, Purell, Moplen (PP Homopolymer, PP Copolymer, PP Random), Hostalen PP, Metocene, Adstif, Clyrell, Purell

DIAKON (PMMA)

ENSOFT T (SBS), ENSOFT S (SEBS), ENFLEX V (EPDM-), Ravathane (TPU)

OFFGRADE PP, HDPE, LDPE
OFFGRADE, LDPE, PP, HDPE, EDPE,
Ravamid (PA), Scolefin, Mafill (PP compound) Sicoclar (PC/ABS compound)

BR, SBR, SSBR

Különböző műszaki műanyagok: ABS, PC/
ABS, SAN, ASA,
POM, PBT, TPE, PA

Trirex (PC) Triloy (PBT, PC/ABS, PC/PBT, PC/PET) Tribit (PBT)

STYROLUTION PS (HIPS, GPPS), NAS (SMMA), Zylar (MMBS), LURAN S (ASA), LURAN (SAN), Terluran (ABS)

Panlite (PC), Multilon (PC/ABS)

A leggyorsabb kiszolgálás érdekében a fenti termékekből jelentős készlettel rendelkezünk tatal raktárunkban.

Legyen Ön is a partnerünk!

ULTRAPOLYMERS Kft.

Cím: 2890 Tata, Agostyáni út 25.

Telefon: +36 34 487 213 GSM: +36 30 228 6278

Fax: +36 34 487 586

E-mail: info1@ultrapolymers.hu



Műanyaggyártók részére speciális kenőanyagok és karbantartási termékek

Magas hőmérsékletet tűrő kenőanyagok 300°C-ig
Tisztító zsírtalanító szerek
Formaleválasztók, szilikonmentes is
Korrózióvédő anyagok
viasz- és zsírbázisúak

Teljes kenőanyag és karbantartási termék paletta NSF H1 regisztrált termékekből az élelmiszer csomagoló anyagot és orvosi eszközöket gyártók részére.

Információ, szakmai tanácsadás:

HBH Kft. Settral képviselő

1149 Budapest Kövér Lajos utca 15

E-mail: hbh@hbh.hu

Telefon: +36 1 221 3461

Fax: +36 1 221 3351

Mobil: +36 20 355 2147

HASCO
Ermöglichen mit System.

20%
kedvezmény
2015.10.01. és
2015.12.31.
közötti megrendelés esetén



Egyszerűen áttekinthető, egyszerűen kezelhető.

Az új H 1242/... érintőképernyős Multi-forrócsatornás szabályozókészülék nagy fészekszámú alkalmazás esetén is a forrócsatorna gyors és egyszerű beállítását teszi lehetővé.

- Könnyű és felhasználóbarát kezelhetőség
- Paraméterek könnyű átláthatósága
- Zónák csoportbafoglalása színes háttérrel
- Diagnózis-menü egyetlen kattintással
- USB-csatlakozó adatátvitellez

HASCO Austria GmbH
Industriestraße 21, A-2353 Guntramsdorf
T +43 (0)2236 202-0, F +43 (0)2236 202-200
info.at@hasco.com, www.hasco.com

Lendvai László^{*1}, Dr. Kmetty Ákos^{**1,2}

Természetes növényi latex és mikro-fibrilláris cellulóz termoplasztikus keményítőre gyakorolt hatásának vizsgálata

Munkánk során termoplasztikus keményítő (TPS) alapú, természetes növényi latexszel, illetve cellulózzal adalékolt kompozitokat vizsgáltunk. Az anyagminták ikercsigás extruderrel történő feldolgozását követően elemeztük azok mechanikai, termomechanikai és morfológiai tulajdonságait. Megállapítottuk, hogy a határfelületi adhézió a TPS mátrix és a latex között gyenge, ami az anyag szilárdságát és a nyúlását is csökkenti. A szilárdság csökkenése kompenzálható mikro-fibrilláris cellulóz hozzáadásával.

1. BEVEZETÉS

Napjainkban egyre nagyobb figyelmet kapnak azok a kutatások, amelyek a kőolaj alapú polimerekből keletkezett hulladék mennyiségének csökkentésére keresnek megoldást. Ennek szellemében számos publikáció született a megújuló erőforrásból előállított, biológiai úton lebontható polimerek fejlesztésének témakörében. Ezeknek a polimereknek az egyik legígéretesebb képviselője a termoplasztikus keményítő (TPS), amely számos előnyös tulajdonsággal rendelkezik (olcsó, megújuló, nagy mennyiségben rendelkezésre áll stb.) [1]. A hétköznapi életben való elterjedését azonban hátrányos tulajdonságai (kis merevség, szilárdság, vízáteresztő képesség) nagyban akadályozzák. A TPS alapanyaga a keményítő, ami kinyerhető számos, hazánkban is nagy mennyiségben termesztett mezőgazdasági terményből (kukorica, burgonya stb.). A keményítőt hőre lágyuló technológiákkal csak bizonyos feltételek mellett lehet feldolgozni, mivel bomlási hőmérséklete alacsonyabb, mint az olvadási hőmérséklete. Feldolgozásához éppen emiatt nélkülözhetetlen egyrészt lágyítószer (pl. víz, glicerin, szorbitol stb.) hozzáadása, másrészt pedig a megfelelő hőmérséklet és nyíróerők együttes jelenléte [2].

A TPS-ből készült termékek, annak sajátosságaiból kifolyólag szinte kizárólag egyszer használatos eszközök, illetve csomagolóanyagok. Annak érdekében, hogy alkalmas legyen a petrokémiai polimerek egyéb területeken történő kiváltására is, a témával foglalkozó kutatócsoportok jelentős hangsúlyt fektetnek a keményítő alapú kompozitok és blendék fejlesztésére [3–6]. A mechanikai paraméterek módosításának tekintetében két fő irányvonal létezik: a szilárdság és a merevség növelése, valamint a szívósság. Mindkét megközelítés növeli azoknak az alkalmazási területeknek a csoportját, ahol a TPS, mint alternatíva megjelenhet. Az elmúlt évek eredmé-

nyeit megvizsgálva észrevehető, hogy a mikro- és nanoméretű részecskékkel történő szilárdságnöveléssel számos kutatás foglalkozik [7–12]. Az anyagfejlesztéssel foglalkozó kutatók törekednek olyan, a szilárdságot és merevséget javító adalékanyagokat alkalmazni, amelyek maguk is természetes erőforrásokból származnak és a TPS-hez hasonlóan, biológiai úton lebonthatók. Ugyanakkor a szívósság (pl.: természetes gumi) mindaddig a háttérbe szorult [6, 13].

A szilárdság növelésének egy, a fenti szempontrendszernek megfelelő módja mikro-, valamint nanoméretű cellulóz-részecskék, illetve rétegszilikátok erősítőanyagként történő alkalmazása. Ezek megfelelő eloszlásával a TPS-nek mind a mechanikai tulajdonságai, mind pedig gázzáró képessége javítható, ami előnyt jelent pl. csomagolóanyagként történő felhasználásánál. Az ennyire kis méretekkal rendelkező részecskék alkalmazásakor a legnagyobb kihívást azok eloszlása jelent, ezek ugyanis hajlamosak az aggregátum-képződésre. Az aggregátumok felbontására és a részecskék eloszlására elterjedt módszernek számítanak az in situ polimerizáció, az oldószeres és az ömledékes eljárások [14]. Kevésbé szokványos, de az eddigi eredmények alapján hasonlóan hatékony és egyre intenzívebben kutatott mód a vízzel segített (eloszlást javító) ömledékkeveréses technológia [15]. Ennek lényege, hogy az adalékokat vízben, illetve egyéb vizes alapú közegben diszpergálva viszik be az ömledék állapotba hozott, hőre lágyuló polimerbe. Bizonyos esetekben a rendszerbe bejuttatott vizet nem kizárólag az adalékanyagok hordozóközegeként használják, hanem (mint pl. TPS esetében is) egyben a lágyítószer funkcióját is betölti.

A természetes gumi (NR) szintén megújuló polimer, amelynek rugalmassága és hidrofób jellege szöges ellentétben áll a TPS merevségével és hidrofil viselkedésével. A két anyag

*PhD hallgató, lendvai@pt.bme.hu, **adjunktus, tudományos segédmunkatárs

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, ²MTA–BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport

megfelelő társításával a mechanikai tulajdonságok és a vízfelvétel jól szabályozható lenne. Ennek gátat szab a TPS és az NR gyenge kompatibilitása. Terhelés hatására az egyébként is gyenge adhéziós kapcsolat ráadásul könnyen megszakad az eltérő Poisson tényezők miatt.

Kísérleteink során glicerinnel és vízzel lágyított termoplastikus keményítőt hoztunk létre. Természetes gumi alapú kaucsuklatex adagolásának hatását elemeztük a létrehozott minták morfológiai és mechanikai tulajdonságaira. Megvizsgáltuk továbbá, hogy milyen hatása van a TPS-re a latex és mikro-fibrilláris cellulóz együttes adalékolása, kihasználva a latex víztartalmát a mikroméretű részecskék eloszlásakor. A keverékek létrehozásakor kerültek a kompatibilizáló anyagok használatát, azaz az alkalmazott adalékanyagok TPS-re gyakorolt közvetlen hatását vizsgáltuk.

2. FELHASZNÁLT ANYAGOK, VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

Kísérleteinkhez *Hungramid F Meritena 100* típusú élelmiszeripari kukoricakeményítőt (BRENNTAG HUNGÁRIA KFT.), elővulkanizálatlan természetes gumi alapú kaucsuklatexet (VARIACHEM KFT.), valamint *B 600* jelzéssel ellátott mikro-fibrilláris cellulózt (JRS-ARBOCEL®) alkalmaztunk. A keményítő feldolgozásához szükséges lágyítószerként desztillált vizet, valamint 99,5%-os tisztaságú glicerint (CSEPP BT.) használtunk. Mindezek mellett a feldolgozást segítő csúsztatószerként, magnézium-sztearátot (ICC-CHEMOL KFT.) adagoltunk a rendszerbe.

Feldolgozást megelőzően a keményítőt 30°C-on 50%-os relatív páratartalom mellett MEMMERT *HCP 153* típusú klímakamrában kondicionáltuk. Az extrúziós műveletet LABTECH SCIENTIFIC *LTE 26-44* moduláris ikercsigás berendezéssel hajtottuk végre (csigaátmérő 26 mm, *L/D* arány 44). Az extrudálás során az egyes zónák hőmérsékletei 85–120°C-ig terjedtek, a csiga fordulatszámát 75/percre állítottuk be. A létrejövő vizsgolt eltávolítását az extruderre felszerelt kigázósító zónával oldottuk meg. A kísérleteink során létrehozott anyagminták összetételét az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat.
A vizsgált minták összetétele

Minta megnevezése	Keményítő [m%]	Glicerín [m%]	Latex [m%]	Cellulóz [m%]
TPS	80	20	–	–
TPS_LAT_5	76	19	5	–
TPS_LAT_10	72	18	10	–
TPS_LAT_20	64	16	20	–
TPS_LAT_CEL	64	16	10	10

A keményítőhöz lágyítóként adagolt glicerín arányát (1:4) előzetes kísérletek, valamint szakirodalmi források alapján határoztuk meg. Az egyes anyagmintákhoz különböző mennyiségű természetes latexet adtunk. Ennek mennyiségét úgy állítottuk be, hogy a rendszerbe bevitt természetes cisz-1,4 poli-izoprén aránya (tehát a latex, annak víztartalmát levonva) a glicerinnel lágyított keményítőhöz képest rendre 0, 5, 10, és 20 m% legyen. Az egyik minta esetében további 10 m% mik-

ro-fibrilláris cellulózt adtunk a rendszerhez. A feldolgozás elősegítése céljából a minták tartalmaztak továbbá desztillált vizet. A víz mennyiségét (víz:TPS = 1:6) az 1. táblázatban szereplő teljes összetételre vonatkoztatva határoztuk meg, abba belekalkulálva a latex víztartalmát is.

Első lépésként minden összetevőt (beleértve a glicerint és a vizet is) manuálisan előkevertünk, létrehozva az ún. „szárazkeveréket” (1. ábra), amelyet ezután már közvetlenül az extruderbe töltöttünk.



1. ábra. Az összetevőket tartalmazó „szárazkeverék”

Az extrudálást követően a létrehozott szálakat (2. ábra) granuláltuk, majd *TEACH-LINE PLATEN Press 200E* típusú présen 130°C-on 100 bar nyomás mellett lapokká formáltuk. Az ilyen módon létrehozott lapokból golyós prés segítségével vágunk ki az egyes vizsgálatokhoz (szakító stb.) szükséges próbatesteket. A TPS tárolási ideje jelentősen befolyásolja annak mechanikai tulajdonságait a benne lejátszódó retrogradációs folyamatok (dehidratáció általi újrakristályosodás, amely ridegdedéssel jár) miatt. A retrogradáció hatása az idő függvényében egyre kevésbé szignifikáns. A próbatesteket ebből kifolyólag minden esetben 4 hónapig kondicionáltuk (30°C-on 50% relatív páratartalom mellett), hogy a mérési eredményeket ezek a folyamatok már kevésbé befolyásolhassák.



2. ábra. Extrúzióval folytonosan előállított TPS előgyártmány

A TPS alapú minták mechanikai tulajdonságainak meghatározásához *ZWICK Z020* típusú univerzális szakítógépen végeztünk szakítóvizsgálatokat 5 mm/perc keresztfejsébséggel 30 mm-es befogási hossz mellett. A vizsgálatokhoz MSZ EN ISO 8256-2000 szabványnak megfelelő (3. típusú) geometriájú próbatesteket használtunk. Az előállított anyagmintákon dinamikus mechanikai vizsgálatot (DMA) végeztünk, amelyet egy *DMA Q800* típusú berendezésen hajtottunk végre. A pró-

batesteket húzó elrendezéssel vizsgáltuk. A mérés során beállított mérési frekvencia 1 Hz, az előterhelés 0,1 N volt, az amplitúdó pedig a próbatest 0,04%-os deformációjának felelt meg. A vizsgált tartomány -100 és 120°C közé esett. A mérés során az anyag túlzott kiszáradását T-szilox típusú szilikonzsírral történő bevonással akadályoztuk meg [16]. A próbatestek morfológiáját azok szakadási felületeinek vizsgálatával végeztük. Ehhez egy JEOL JSM 6380LA típusú pásztázó elektronmikroszkópot (SEM) használtunk. Az anyagmintákat a töretfelületre gőzölögtetett aranyréteggel tettük elektronmikroszkópiára alkalmassá. A minták kristályos szerkezetét röntgendiffrakcióval tanulmányoztuk. Ehhez SIEMENS D500 készüléket használtunk.

3. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK

Munkánk első szakaszában a mechanikai paramétereket vizsgáltuk az adalékanyagok függvényében. Ennek eredményeit a 2. táblázatban összesítettük. Mind a húzószilárdság, mind pedig a rugalmassági modulus az előzetesen elvárt módon fokozatosan csökkent a hozzáadott latex mennyiségének függvényében. A 20 m% latexet tartalmazó minták húzószilárdsága közel a felére (7,9-ről 4,2 MPa-ra), merevsége pedig alig harmadára (0,3-ről 0,09 GPa-ra) csökkent az adalékokat nem tartalmazó TPS-hez képest. Várakozásainkkal ellentétben a maximális erőhöz tartozó nyúlás már 5 m% latex hatására drasztikus esést mutat, a kezdeti 29,2-ről 5,1%-ra csökkent. A latex mennyiségének növelésével ugyan nő ez az érték, de a legmagasabb latex tartalom esetén is csupán 11,1%-ot mutat.

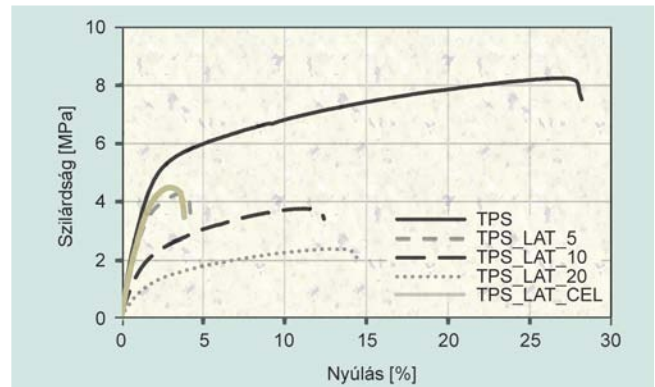
2. táblázat.

A létrehozott anyagminták mechanikai tulajdonságai

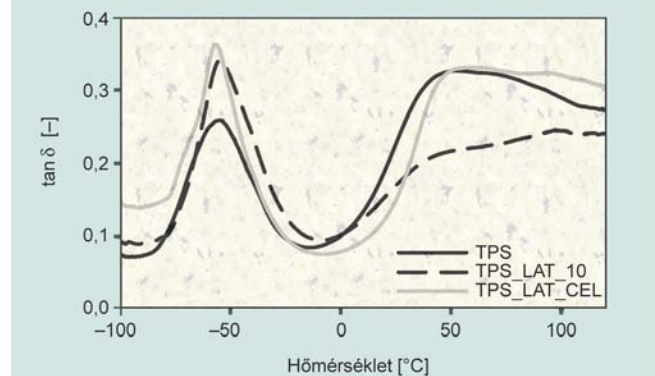
Minta megnevezése	Húzószilárdság [MPa]	Rugalmassági modulus [GPa]	Nyúlás _{F_{max}} [%]
TPS	7,9±0,6	0,30±0,04	29,2±4,9
TPS_LAT_5	4,6±0,5	0,32±0,02	5,1±1,7
TPS_LAT_10	3,6±0,4	0,19±0,02	9,8±1,7
TPS_LAT_20	2,2±0,1	0,09±0,01	11,1±2,0
TPS_LAT_CEL	4,2±0,3	0,31±0,03	3,1±0,5

Mikro-fibrillaris cellulóz hozzáadásával a merevség és a szilárdság részben kompenzálható, azonban a kiinduló értékektől még így is elmarad, a nyúlás pedig még tovább esik ennek hatására. A nyúlás csökkenése valószínűleg a TPS mátrix és a természetes gumi közötti gyenge határfelületi adhézió következménye, ilyen módon a poliizoprén fázisok jelenléte sokkal inkább hibahelyként szolgál, mintsem szívósító adalékként. A cellulóz az elvárt módon viselkedik, a merevség és szilárdság növelése mellett csökkenti a nyúlást, tehát ridegebbé teszi az anyagot. Az egyes anyagmintákhoz tartozó jellegzetes szakítógörbék a 3. ábrán láthatók.

A DMA mérés során felvett diagram (4. ábra) bemutatja a vizsgált anyagminták veszteségi tényezőjét ($\tan \delta$) a hőmérséklet változásának függvényében. A görbék jellege hasonló a szakirodalomban bemutatottakéhoz [3, 17]. Megfigyelhető, hogy a vizsgált tartományban két lényeges csúcs jelenik meg

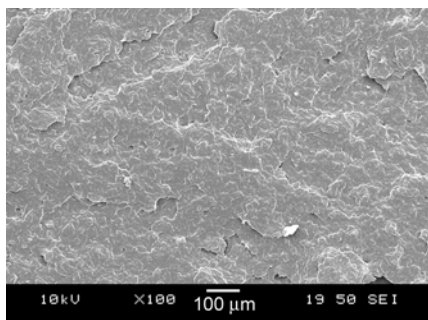


3. ábra. Az egyes anyagminták jellegzetes szakítógörbéi

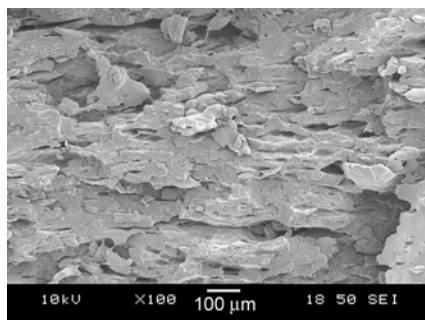


4. ábra. A veszteségi tényező alakulása a hőmérséklet függvényében

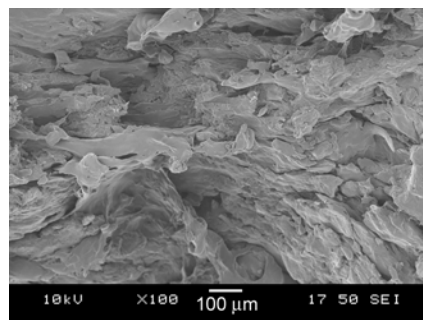
valamennyi minta esetén. Angles és társai [18] már az ezredforduló környékén kimutatták DSC mérések eredményei alapján, hogy a glicerinnel lágyított termoplasztikus keményítő heterogén szerkezetű polimer. Állításuk szerint a TPS két fázisból áll, amelyek közül az egyik (α) összefüggős és keményítőben gazdag. A másik fázis glicerinnel gazdag (β), ez egymástól elszeparált térrészek formájában jelenik meg a TPS-en belül. Kimutatták, hogy a különböző fázistípusok egymástól függetlenül üvegesedési átmenettel rendelkeznek. Az elmúlt évtizedben ezt számos kutatás alátámasztotta mind DSC, mind pedig DMA mérések eredményei alapján. Az alacsonyabb hőmérséklettartományban ($\sim -55^\circ\text{C}$) jelentkező csúcs köthető a glicerinnel gazdag fázisok üvegesedési hőmérsékletéhez ($T_{g\beta}$), míg a magasabb tartományban ($+40$ – 100°C) megjelenő csúcs a keményítőben gazdag fázis üvegesedési átmenetét ($T_{g\alpha}$) jelzi. Az általunk mért görbéken megfigyelhető, hogy $T_{g\beta}$ az egyik felhasznált adalékanyag hatására sem mutatott szignifikáns változást, viszont a hozzá tartozó veszteségi tényező értéke a latex jelenléte esetén megnőtt. A magasabb hőmérséklettartományokat megvizsgálva látható, hogy latex adalékolásával az α átmenet intenzitása jelentősen megváltozik, a hozzá tartozó veszteségi tényező csökken. A jelenségek egy lehetséges magyarázata, hogy a természetes gumi a TPS keményítőben gazdag fázisaiba ágyazódott be az extrúzió során, ezáltal csökkentve azok nedvességfelvétel képességét. A víz valószínűsíthetően a β típusú fázisokban halmozódott fel. Mikro-fibrillaris cellulóz hozzáadásával a glicerinnel gazdag tér-



5. ábra. A TPS referencia minta szakadási felületének SEM felvétele



6. ábra. A TPS_LAT_10 jelzésű minta szakadási felületének SEM felvétele



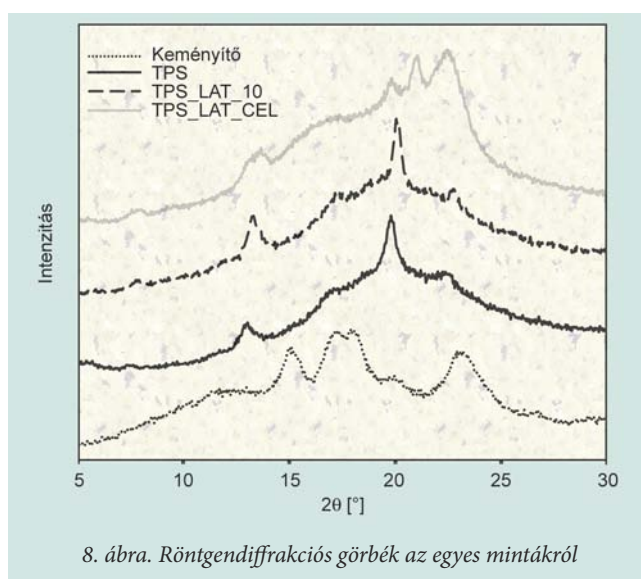
7. ábra. A TPS_LAT_CEL jelzésű minta szakadási felületének SEM felvétele

részek vesztéségtényezője nem változott, míg a keményítő alapú fázisok a tiszta TPS-hez hasonló karakterisztikára álltak vissza.

Az előállított anyagminták morfológiáját elektronmikroszkópiával vizsgáltuk. SEM felvételek alapján összehasonlítottuk a szakadási felületeket. A referenciához (5. ábra) hasonlítva elemeztük az NR (6. ábra), valamint a mikro-fibrilláris cellulóz (7. ábra) eloszlását a TPS mátrixban.

Az azonos nagyítás mellett készített elektronmikroszkópi felvételeken jól megfigyelhető a töretfelületeken bekövetkező változás a latex és a cellulóz hatására. Míg az adalékanyagokat nem tartalmazó TPS (5. ábra) szakadási felülete folytonos, addig a 10 m% NR tartalmú minta (6. ábra) szakadozott, destrukturált jelleget mutat. A keményítő és a poliizoprén fázisok jól elkülönülnek, a határfelületek gyakran elválnak egymástól, az adhézió tehát nem megfelelő, a kompatibilizálás hiánya szembetűnő. Ez jó összhangban van a szakítóvizsgálatok eredményével. Megállapítható, hogy a határfelületi adhézió hiánya mellett, a poliizoprén fázisok mérete is messze meghaladja a várakozásokat (1–2 μm), amely a TPS-ben való gyenge eloszthatóságra utal. Az NR-t és cellulózt egyaránt tartalmazó minták (7. ábra) hasonló jelleget mutatnak, a töredezettség ezúttal még intenzívebb. A rendszerbe bevitt cellulóz részecskék a keményítő és a poliizoprén fázisokban, valamint a közöttük lévő határfelületeken egyaránt megfigyelhetők. A TPS mátrixban a cellulóz részecskék eloszlása megfelelőnek tűnik, ami betudható többek közt a latex víztartalmának is. A cellulóz ezúttal is jó adhéziót alakított ki a mátrixszal, ez egybevág korábbi kutatásainkkal.

A kristályos szerkezet vizsgálatához a röntgendiffraktogramokat (8. ábra) készítettünk mind a keményítőről, mind pedig a latexszel, illetve cellulózzal adalékolt mintákról az adalékanyagok hatásának elemzéséhez. A legszembetűnőbb változás a kukoricakeményítő és a TPS között figyelhető meg. A szemcsés keményítőhöz tartozó görbén három lényeges csúcs látható (~15, ~17,5 és ~23°), ami a gabonafélék tipikus „A” típusú kristályosságát jelzi. Észrevehető, hogy a lágyítás és a feldolgozás folyamata a keményítő kristályos szerkezetét jelentősen megváltoztatja. A tiszta TPS görbében a korábbi csúcsok eltűntek, megjelent helyettük egy-egy csúcs 13 és 20°-os diffrakciónál. Ezek a termoplasztikus keményítőre jellemző V_H kristályosságot jelzik [19]. A 10 m% NR-t tartalmazó minta



8. ábra. Röntgendiffrakciós görbék az egyes mintákról

diffraktogramján az elvártaknak megfelelően nem jelent meg új csúcs a tiszta TPS-hez képest, hiszen az NR amorf. A mikro-kristályos cellulózt is tartalmazó mintákon egy újabb csúcs jelenik meg, amely egyértelműen a mikro-fibrilláris cellulóz jelenlétének tudható be.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk során latexszel, valamint mikro-fibrilláris cellulózzal adalékolt biológiai úton lebontható, termoplasztikus keményítő alapú kompozitokat állítottunk elő. A latex és a cellulóz TPS-re gyakorolt hatását vizsgáltuk kompatibilizáló anyag alkalmazása nélkül, alapkutatóként az adalékanyagok eloszlását extrúziós kompaundálással valósítottuk meg. Az egyes anyagminták latex tartalma rendre 0, 5, 10 és 20 m% volt, létrehoztunk továbbá egy olyan mintát ahol a természetes gumi mellé mikrocellulózt adtunk. Morfológiai, mechanikai és röntgendiffrakciós vizsgálatokat végeztünk az előállított próbatesteken. Bemutattuk, hogy a kaucsuk rugalmas viselkedése és a gyenge határfelületi adhézió a TPS bázisú rendszerek szilárdságának és merevségének csökkenéséhez vezet. A maximális erőhöz tartozó nyúlás értéke 5 m% NR hozzáadásával drasztikusan csökkent, ám növelve annak mennyiségét a nyúlás is fokozatosan nőtt. Ez jó alapot ad további munkánkhoz, ugyanis amennyiben a kompatibilitási problé-

mákat – a környezetet nem károsítva – ki tudjuk küszöbölni, úgy a jelek szerint kiváló szívóssággal bíró kompozitot hozhatunk létre. Megvizsgáltuk továbbá cellulóz és az NR latex párhuzamos adalékolásának lehetőségét, hogy szilárd és egyben szívós lebomló polimert kaphassunk. Eredményeink alapján a cellulóz jelenléte a szilárdság növelése mellett, még NR alkalmazásával párhuzamosan is, fokozott elridedést okoz.

A kutatás az Országos Tudományos Kutatási Alap 109409 számú témája, valamint a TÁMOP 4.2.4.A/1-11-1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése országos program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. A munka szakmai tartalma kapcsolódik a „Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen” című projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását az Új Széchenyi Terv TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 programja támogatja.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Nafchi, M. A.; Moradpour M.; Saeidi, M.; Alias, A. K.: Thermoplastic starches: Properties, challenges and prospects, *Starch*, 65, 61–72 (2013).
- [2] Stepto, R. F. T.: The processing of starch as a thermoplastic, *Macromolecular Symposia*, 201, 203–212 (2003).
- [3] González, K.; Retegi, A.; González, A.; Eceiza, A.; Gabilondo, N.: Starch and cellulose nanocrystals together into thermoplastic starch bionanocomposites, *Carbohydrate Polymers*, 117, 83–90 (2015).
- [4] Qiao, X.; Jiang, W.; Sun, K.: Reinforced thermoplastic acetylated starch with layered silicates, *Starch – Stärke*, 57, 581–586 (2005).
- [5] Nasri-Nasrabadi, B.; Behzad, T.; Bagheri, R.: Preparation and characterization of cellulose nanofiber reinforced thermoplastic starch composites, *Fibers and Polymers*, 15, 347–354 (2014).
- [6] Trovatti, E.; Carvalho, A. J. F.; Gandini, A.: A new approach to blending starch with natural rubber, *Polymer International* (2014).
- [7] Xie, F.; Pollet, E.; Halley, P. J.; Avérous, L.: Starch-based nanobiocomposites, *Progress in Polymer Science*, 38, 1590–1628 (2013).
- [8] Soykeabkaew, N.; Laosat, N.; Ngaokla, A.; Yodsuan, N.; Tunkasiri, T.: Reinforcing potential of micro- and nano-sized fibers in the starch-based biocomposites, *Composites Science and Technology*, 72, 845–852 (2012).
- [9] Cao, X.; Chen, Y.; Chang, P. R.; Muir, A. D.; Falk, G.: Starch-based nanocomposites reinforced with flax cellulose nanocrystals, *Express Polymer Letters*, 2, 502–510 (2008).
- [10] Cyras, V. P.; Manfredi, L. B.; Ton-That, M.-T.; Vázquez, A.: Physical and mechanical properties of thermoplastic starch/montmorillonite nanocomposite films, *Carbohydrate Polymers*, 73, 55–63 (2008).
- [11] Karimi, S.; Dufresne, A.; Md. Tahir, P.; Karimi, A.; Abdulkhani, A.: Biodegradable starch-based composites: effect of micro and nanoreinforcements on composite properties, *Journal of Materials Science*, 49, 4513–4521 (2014).
- [12] Müller, P.; Kapin, É.; Fekete, E.: Effects of preparation methods

on the structure and mechanical properties of wet conditioned starch/montmorillonite nanocomposite films, *Carbohydrate Polymers*, 113, 569–576 (2014).

- [13] Mondragón, M.; Hernández, E. M.; Rivera-Armenta, J. L.; Rodríguez-González, F. J.: Injection molded thermoplastic starch/natural rubber/clay nanocomposites: Morphology and mechanical properties, *Carbohydrate Polymers*, 77, 80–86 (2009).
- [14] Tjong, S. C.: Structural and mechanical properties of polymer nanocomposites, *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 53, 73–197 (2006).
- [15] Karger-Kocsis, J.; Kmetty, Á.; Lendvai, L.; Drakopoulos, S.; Bárány, T.: Water-assisted production of thermoplastic nanocomposites: A Review, *Materials*, 8, 72, 95 (2015).
- [16] Rodríguez-González, F. J.; Ramsay, B. A.; Favis, B. D.: Rheological and thermal properties of thermoplastic starch with high glycerol content, *Carbohydrate Polymers*, 58, 139, 147 (2004).
- [17] García, N. L.; Ribba, L.; Dufresne, A.; Aranguren, M.; Goyanes, S.: Effect of glycerol on the morphology of nanocomposites made from thermoplastic starch and starch nanocrystals, *Carbohydrate Polymers*, 84, 203–210 (2011).
- [18] Anglès, M. N.; Dufresne, A.: Plasticized Starch/unicin Whiskers Nanocomposites. 1. Structural Analysis, *Macromolecules*, 33, 8344–8353 (2000).
- [19] van Soest, J. J. G.; Vliegthart, J. F. G.: Crystallinity in starch plastics: Consequences for material properties, *Trends in Biotechnology*, 15, 208–213 (1997).

Megrendelőlap

Megrendelem a POLIMEREK műanyagipari szakmai folyóirat 2015. évi számaitpéldányban az MMSZ Lapkiadó Kft.-től (1119 Budapest, Fehérvári út 83., telefon/fax: 36-1-363-9083, e-mail: lapkiado@huplast.hu).

A cég neve:

.....

Telephelye:

Postázási címe:

.....

Számlázási cím:

.....

Dátum:

.....

.....

.....

.....

cégszerű aláírás

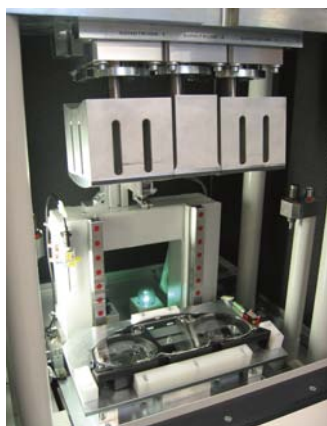


Kombinált műszerek gyors ultrahangos kötése



Az ultrahang a kombinált műszerek sokrétű kötési feladataira jelent megoldást, mivel a hegesztési feladatok éppen olyan különbözőek, mint a formai megoldások: ezek közé tartozik az átlátszó fedél pormentes összehegesztése az elülső kerettel, a krómozott díszgyűrűk résmentes szegecselése vagy a kijelző üvegek vetemedésmentes illesztése. A különböző pozíciókba eső hegesztési zónákkal rendelkező, bonyolult geometriájú alkatrészek esetében különösen jól használható az ultrahangos hegesztés. A gépek ciklusideje gyakran 10 másodpercnél is rövidebb.

Az autó egyedi és összetéveszthetetlen arcát a hűtőrácsból, a lökhárítóból és az első lámpákból felépülő orrkialakítás határozza meg. A belső térben ehhez hasonló szerep jut a kombinált műszernek. Meghatározza a jármű egyéni jellegét. A formatervező szabad kezet kap a belső kialakítás tekintetében, így a fejlesztőmérnökök kénytelenek meghatározni az optimális hegesztési geometriát, hogy egyrészes fedőüveget vagy több lencsét célszerű-e az elülső keretre vagy az egyes szegmensekre hegeszteni.

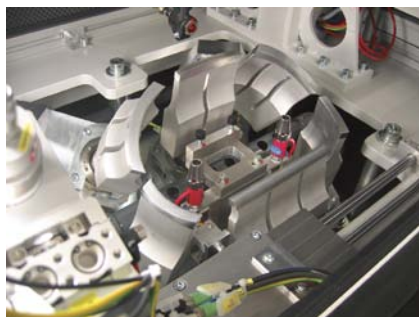


1. ábra. Munkatér kombinált műszerrel

lakulása nélkül, szálmentesen alakul ki nagy szilárdság. Az energia-bevitel célirányosan a kifejezetten az ultrahangos hegesztéshez kialakított kötési zónákban történik, ez megakadályozza az alkatrészek nem kívánt deformációját. Az ultrahangos hegesztésnél nincs szükség segédanyagokra, például ragasztóra és csavarokra. A műanyagok speciális kondicionálására sincs szükség. Az ultrahangos eljárás az összepattintott alkatrészekkel ellentétben zajmentes csatlakozást biztosít, és megtakarítja a drága szerszámkonstrukciók költségét. A véges elemes módszer segítségével még a nehezen hozzáférhető kötési pontokhoz és háromdimenziós kontúrokkal rendelkező alkatrészfelületekhez is fejleszthetők megfelelő hegesztő szerszá-

mok (szonotródák), amelyek biztonságos gyártást tesznek lehetővé.

Különleges műszaki részletmegoldást jelent a szonotródák HERRMANN ULTRASCHALL által kifejlesztett és már számos helyen alkalmazott precíziós befogása. Ez a kifejezetten a teljes 20 kHz-es ultrahangos rezgőrendszer merev rögzítésére használt technológia a szonotródák precíz pozicionálását teszi lehetővé egymástól csupán 0,2 mm távolságban a kombinált műszerek részben komplex háromdimenziós kontúrjai mentén (2–4. ábra). Az álló szonotródákat a technológia gyakran az alkatrész készülőeként használja. Egy kiöntőgyantából készült bélyeg közelíti meg a fedőüveget, és végzi el a hegesztőmozgást. A beépítési helyzetől függően azonban a szonotródák fent is beépí-



2. ábra. Kombinált műszer szonotródái

thetők rögzített módon, ebben az esetben a kombinált műszer a behelyező szerkezettel együtt lenről közelíti meg a szonotródákat.

A kombinált műszerek ultrahangos hegesztése ma már nem korlátozódik a fedőüvegek rögzítésére; a díszítőelemek, például a krómgyűrűk és a teljes fedőkeretek és kijelző üvegek is a rutinfeladatok közé tartoznak. Ezeknél az alkalmazásoknál rend-



3. ábra. Helyére illesztett kombinált műszer



4. ábra. Szonotródák merev befogási technikája

amely semmi esetre sem bonyolultabb, mint más kötési eljárás, de a biztos siker alapvető feltételét jelenti. A jó ultrahangos hegesztő berendezés gyártó cég feladatai közé tartozik az alapos előzetes tanácsadás és az ügyfél kompetens támogatása az implementáció során.

HERRMANN ULTRASCHALLTECHNIK GMBH & CO.
astrid.herrmann@herrmannultraschall.com,
www.herrmannultraschall.com

Új távlatokat nyithat a Polymark eredeti azonosítási technológiája

A POLYMARK CONSORTIUM közzétette előzetes műszaki eredményeit az élelmiszerekkel való érintkezésre engedélyezett kémiai jelölők sikeres fejlesztéséről. A csomagolások jelölési eljárása és az érzékelési technológia alkalmas nagy sebességű válogatáshoz.

Az Európai Bizottság által finanszírozott hároméves projekt célja olyan új technológia kifejlesztése volt, amely lehetővé teszi a polimerek, köztük a PET, értékes műanyag hulladék áramban való azonosítását és válogatását. Ez segíti az újrahasznosítókat abban, hogy az élelmiszerekkel és a nem-élelmiszerekkel érintkező PET polimereket hatékonyabban tudják megkülönböztetni, miközben teljesítik az élelmiszerekkel érintkező reciklált PET felhasználásának uniós követelményeit. A technológia más célokra is használható.

„18 hónapi munka és az Európai Bizottság júniusban kiadott pozitív felülvizsgálata után, örömmel mutatjuk be a POLYMARK projekt első műszaki eredményeit”, mondta el *Patrick Peuch* a PETCORE EUROPE vállalatától. „Kutatási partnereink sikeresen kifejlesztették a teljes technológiai csomagot. Ezeknek az eredményeknek a nyilvános publikálásával, egyetértésben a POLYMARK CONZORCIUM-mal és az Európai Bizottság engedélyével, arra törekszünk, hogy az érdekelt felek lehető leg szélesebb köre tudomást szerezzen erről a fejlesztésről a gyorsabb kivizsgálás és a hosszabb távú tervezés érdekében.”

Az elkövetkezendő másfél évben a POLYMARK az üzemi körülmények közötti technológiai léptéknövelésre és az eredmények közzétételére fog fókuszálni, valamint a potenciális felhasználók számára workshopok és tréningek keretében mutatja be az eljárás előnyeit.

A POLYMARK honlapján (www.polymark.org) közzétett jelentés teljes egészében tartalmazza az előzetes műszaki eredményeket. Összefoglalva, kiemeli a PET palackok rugalmas, bevonat-alapú jelölésére alkalmas prototípus sikeres kifejlesztését, részletezi az élelmiszerekkel érintkező kémiai jelölők és polimer mátrixok alkalmazható kombinációit. Bemutatja a válogatást követően a jelölő eltávolítását, hogy a marker felhalmozódását és ehhez kapcsolódóan a hamis érzékelés lehetőségét hosszú távon csökkentse. A jelölési eljárással párhuzamosan fejlesztették a nagy sebességű válogatásra alkalmas érzékelő technológiát, ennek előzetes eredményei is szerepelnek a jelentésben.

A Polymark-ról

A POLYMARK egy hároméves kutatási projekt, amelyet az Európai Bizottság finanszírozott az Európai Unió Hetedik Keretprogramján belül (FP7/2007-2013, engedélyszám: 311777).

A PET csomagolóanyagra azért esett a választás, mert kiemelkedő teljesítménnyel rendelkezik a termékek biztonságos szállításában, 100%-ban újrahasznosítható és újrafelhasználható.

A POLYMARK célja, hogy növelje ennek az értékes forrásnak az újrahasznosításából és újrafelhasználásából származó értékét, ugyanakkor az élelmiszerekkel érintkező alkalmazásokban kielégítsék a reciklált PET használatára vonatkozó EU-s követelményeket. A kifejlesztett technológia sikeresen különbséget fog tenni az élelmiszerekkel és a nem-élelmiszerekkel érintkező műanyagok között, amelynek célja tovább optimalizálni a nagy értékű hulladékarámot, végső soron növelni ezeknek az anyagoknak az értékesebb felhasználását.

A POLYMARK tagjai: PETCORE EUROPE, EUROPEAN FEDERATION OF BOTTLED WATERS (EFBW), EUROPEAN ASSOCIATION OF PLASTICS RECYCLING AND RECOVERY ORGANISATIONS (EPRO), PLASTICS RECYCLERS EUROPE (PRE), UK HEALTH AND ENVIRONMENTAL RESEARCH INSTITUTE (UK-HERI), FRAUNHOFER INSTITUTE FOR PHOTONIC MICROSYSTEMS (IPMS), SESOTEC GmbH, COLORMATRIX EUROPE LTD és 4PET RECYCLING.

Polymark sajtóközlemény

PERT nyertek az EPS termékek

New York Fellebbviteli Bírósága a múlt héten úgy döntött, hogy érvényteleníti a város azon rendeletét, amely betiltotta az étel- és italszállításra alkalmazott egyutas EPS (habosított polisztirol) termékeket. A bíróság bizonyítottan tekintette, hogy a habosított PS 90% arányban újrahasznosítható. A bíróságot meggyőző érvelés része volt, hogy az újrahasznosítással foglalkozó PRI cég 5 évre érvényes 160 USD/t árat ajánlott a hulladékszelektiót végző cégnek a kemény és lágy PS hab átvételére. Becslések szerint New Yorkban évente mintegy 30 000 t PS hab hulladék képződik. New York város döntéshozói jelenleg mérlegelik, hogy fellebbezzenek-e a bírói döntés ellen.

PIE [232276-0], 2015.09.28.

Dr. Szebényi Gábor*, Tóth Levente Ferenc**

RDP égésgátlóval töltött epoxi hibrid-nanokompozitok éghetőségi vizsgálata

Hagyományos szén-szál/szén nanoszál/szén nanocső erősítésű, epoxigyanta mátrixú, égésgátló hibrid kompozitok éghetőségi vizsgálatához a szén nanoszálakat poli(akril-nitril) prekursorból, elektromos szálképzéssel magunk készítettük el. Viszonyításul hagyományos (UD), szén-szál erősítésű, epoxi mátrixú kompozit, illetve erősítőanyagot nem tartalmazó mintát használtunk. Bizonyos próbatetek esetében a mátrixanyaghoz 0,3 m/m% nanocsövet kevertünk, és/vagy a hagyományos szén-szálrétegek közé nanocsöveket tartalmazó, vagy nem tartalmazó szén nanoszálrétegeket helyeztünk. Összehasonlítottuk a minták UL94 és LOI vizsgálati adatait.

1. BEVEZETÉS

A műszaki termékek fejlődése folyamán az egyik leglátványosabb eredményt az anyagtudomány területén érték el az elmúlt évtizedekben. Újításai szinte minden iparágban nyomon követhetők, az orvostudománytól kezdve a járműfejlesztéseken és az elektrotechnikán át egészen a csomagolóanyag gyártásig. Egyre nagyobb jelentőséggel bírnak a társított anyagok, kompozitok is, amelyek – a cikkben is használt – polimer alkotók esetén, kis sűrűségű rendszereket alkotnak.

Változatosságuknak köszönhetően a hibrid kompozitok manapság egyre elterjedtebbek. Ennek egyik fő oka, hogy a többféle erősítő- és/vagy mátrixanyag használatával – megfelelő társítás esetén – mindegyik alkotó előnyös tulajdonsága egymást erősítve megjelenthet, és az ilyen társított anyagoknak rengeteg kombinációját lehet elkészíteni a felhasználás feltételeitől függően.

A nano-erősítőanyagokat tekintve, figyelemre méltó a szén nanorészecskék rendkívüli rugalmassága, hajlékonysága, nagy szakítószilárdsága, hőstabilitása és jó elektromos tulajdonságai [1]. Ha ezeket a részecskéket egyéb alkotókkal társítjuk – hibrid nanokompozitokat létrehozva –, akkor újabb lehetőségek állnak rendelkezésünkre az egyre növekvő piaci igények kielégítésére.

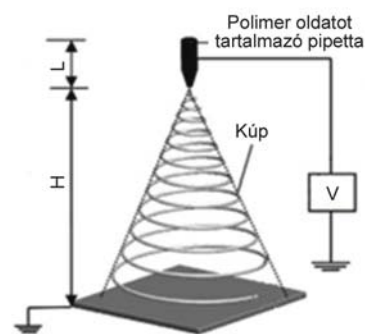
A szén nanocsövekhez könnyen hozzá lehet jutni, számos cég foglalkozik gyártásukkal, de a szén nanoszál rétegek esetében ugyanez már nem mondható el, ezek előállítására még kutatási fázisban van, ezért érdemes erre részletesebben is kitérni. A poli(akril-nitril) alapanyagú szén nanoszál rétegek gyártásának három fő lépése – a hagyományos szén-szálgyártáshoz hasonlóan – a szálképzés, a stabilizálás és a karbonizálás. Nanoszál gyártás esetében elterjedt szálképző eljárás az elektrosztatikus szálképzés (angol nevén electrospinning), amellyel

– elektrosztatikus erők segítségével – folyamatos szálakat lehet előállítani a 10 nm–1 µm közötti átmérő tartományban [2–4].

Az elektrosztatikus szálképzés bemutatását a BAJI és munkatársai által alkalmazott technológia ismertetésével érdemes kezdeni. Ennek lényege, hogy a bevezetett magasfeszültség a polimer oldatot olyan ultrafinom szálakká alakítja át, amelyeknek az átmérője nanométeres nagyságrendbe esik. A berendezéshez szükséges egy polimer oldatot tartalmazó pipetta vagy fecskendő, egy feszültségforrás, valamint egy földelt, vezetőképes ernyő, ami felfogja és összegyűjti a létrehozott szálakat. Az előbb említett fecskendő tüje, mint egy elektróda, elektromosan feltölti a polimer oldatot, míg az ezzel ellentétes elektróda a szálgyűjtőhöz van csatlakoztatva [4].

Az 1. ábra szemlélteti a berendezés vázlatát, ahol L a pipetta hossza, H a csúcs és a gyűjtő közötti távolság, V pedig a feszültségforrást szimbolizálja. A polimer oldatot tartalmazó sugár a pipetta csúcsából kiindulva tölcser alakú pályán halad végig, egészen addig, amíg a szálgyűjtőre fel nem tapad szál formájában. A szálak orientációja véletlenszerű, nem mutat rendezettséget [4].

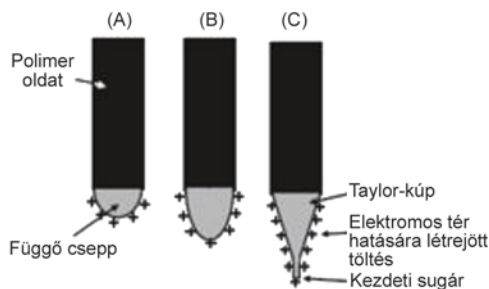
A nagy térerősségű elektrosztatikus tér hatására az oldat – ami az elektródának köszönhetően töltéssel rendelkezik – a földelt fém gyűjtőlemez felé gyorsul. Kis elektrosztatikus tér-



1. ábra. Elektromos szálképző berendezés vázlat [4]

*adjunktus, **gépészmérnök, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Polimertechnika Tanszék, levente8912@gmail.com

erő esetén, az oldat felületi feszültségének köszönhetően, a pipetta csúcsán megjelenő csepp nem fog leesni. Ahogy az elektromos térerősség növekszik, a folyadék felszínén létrejövő feszültségek taszítani fogják egymást, és ezzel nyírófeszültséget hoznak létre. Ezek a taszító erők a felületi feszültséggel ellentétes irányban hatnak, aminek eredményeképpen a függő csepp kúp formájúra fog nyúlni, ez a felület jelenti a kezdeti állapotot. Az ún. Taylor-kúp létrejöttét a 2. ábra szemlélteti. Amikor a feszültség eléri a kritikus értéket, az erők egyensúlya megszűnik, és egy töltött sugár kiáramlik a kúpformájú csepp csúcsából, és tölcser alakú pályán halad végig. A kialakult sugár átmérője – a hossz növekedése mellett – csökken egészen addig, amíg lerakódik a szálgyűjtőre [4].



2. ábra. Taylor-kúp kialakulásának illusztrációja, (A) Az elektromos tér felületi töltést hoz létre a polimer oldatban. (B) A függő csepp nyúlása, (C) a töltések közt kialakuló taszítás hatására, a függő csepp Taylor-kúp formáját vesz fel. A kúpból egy apró folyadékszál kezd el növekedni [4]

Miután megtörtént a PAN szálak előállítás elektrosztatikus szálképzéssel, a stabilizálás következik levegő atmoszférában, végezetül nitrogén atmoszférában kell karbonizálni a félkész szálakat. Az elkészült szénszálak mechanikai tulajdonságai a prekursor anyagától, valamint a stabilizálás és a karbonizálás paramétereitől függenek.

A stabilizálás lépése nélkülözhetetlen a megfelelő minőségű szénszálak előállításához. Ennek folyamán 250–280°C-on hőkezeli a szálakat. Az ekkor lejátszódó kémiai reakciók hatására egy termikus szempontból stabilabb szerkezet alakul ki, ennek köszönhetően a nanoszálak nem olvadnak meg, nem tapadnak egybe a karbonizáció hatására. Ennek oka, hogy a stabilizációkor lejátszódó ciklizáció, dehidrogenizáció és kettős kötések létrejötte miatt a molekulák között úgynevezett ciklizált gyűrűs, vagy más néven létrapolimer szerkezet alakul ki, amely igen ellenálló a magas hőmérséklettel szemben. Az utána következő karbonizálás hőmérséklettartománya 800–3000°C közötti [5, 6].

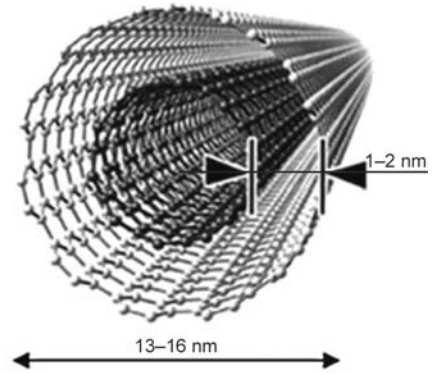
2. KÍSÉRLETI RÉSZ

2.1. Felhasznált anyagok

A kompozit minták mátrixanyagának MR-3012 típusú epoxi gyantát választottunk, amelyhez MH-3111 térhálósítószeret kevertünk 100:116 tömegarányban. Az epoxi gyanta mátrixanyagot a későbbiekben E-vel jelöljük.

Erősítőanyagként ZOLTEK Panex 35 UD300 típusú, unidirekcionális fektetett kelmét alkalmaztunk, ezt nevezzük a to-

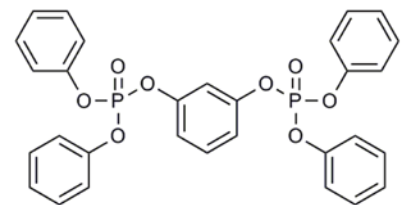
vábbiakban hagyományos erősítésnek, és H-val jelöljük. Nanoerősítésként BAYTUBES C 150 HP típusú, többfalú szén nanocsövet (3. ábra) és szén nanoszálrétegeket választottunk (rendre C-vel és S-sel jelölve). A szén nanoszál rétegeket magunk állítottuk elő elektrosztatikus szálképzés, stabilizálás, majd karbonizálás útján. A nanoszálak alapanyaga poli(akrilonitril), amit dimetil-formamidban oldottunk fel. Bizonyos minták esetében a szén nanoszál rétegek alapanyagához szén nanocsöveket is hozzáadtunk, amennyiben a szén nanoszálak nem tartalmaznak nanocsövet azt 0-val jelöljük [7].



3. ábra. Többfalú szén nanocsövek [8]

Égésgátlóként

10,8 m/m% foszfortartalmú REO-FOS RDP (rezorcin bisz(difenilfoszfát)) folyékony halmazállapotú, foszfátészter típusú adalék-



4. ábra. Az RDP szerkezeti képlete [9]

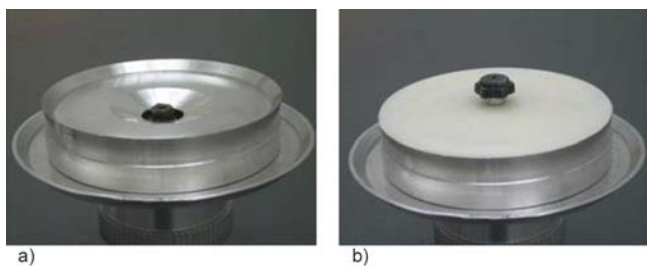
anyagot alkalmaztunk (4. ábra). Az egyes mintákhoz annyi égésgátlót tettünk, hogy 3 m/m% foszfor tartalmat biztosítsunk. Ez az RDP 10,8 m/m%-os foszfortartalmát tekintve 21,6 m/m% adalékanyagot jelent [9]. Jelölése F.

2.2. MINTAKÉSZÍTÉS

2.2.1. Szén nanoszál rétegek előállításának folyamata

Korábbi tanszéki fejlesztések [10] eredményeként a nanoszál rétegeket magunk állítottuk elő. Alapanyagként 12 m/m%-os dimetil-formamid oldatot készítettünk, amely a PAN-ra vonatkoztatva 2 m/m% nanocsövet tartalmaz adott minták esetében. A nanocsövek egyenletes eloszlását és az agglomerátumok méretének minimalizálását ultrahangos keverőkészülékkel (BANDELIN ELECTRONIC UW 2200) biztosítottuk.

Az elkészített oldatból a nanoszálak előállításához egy – korábban a BME POLIMERTECHNIKA TANSZÉKEN kifejlesztett és szabadalmaztatott [10] – elektrosztatikus szálképző berendezést használtunk, amelynek alapját egy elektromos motorral hajtott forgó fej adja. Ebbe a fejbe egy elektromos szempontból szigetelt csövön keresztül érkezik a PAN oldat egy fecskendőből, amit adagoló készülékben helyezünk el. A hengersizmetrikus, külső átmérőjénél peremmel rendelkező fejre hasonló méretű fedél illeszthető, így az érkező oldat csak a perem és a tányér közötti résen tud kiáramlani (5. ábra). Tápegység segítségével két elektróda között elektrosztatikus teret tudunk

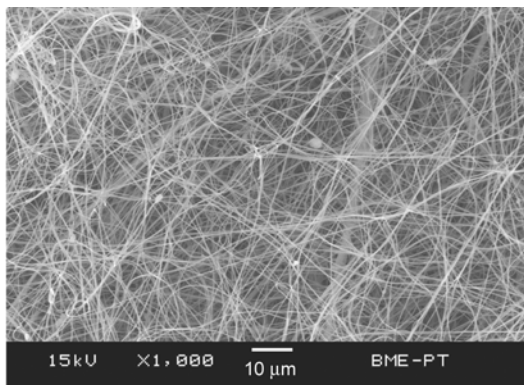


5. ábra. Elektrosztatikus szálképző berendezés peremes feje fedél nélkül (a) és fedéllel (b)

létrehozni, az egyik elektróda a fej fölé elhelyezett, állítható magasságú fémlap, míg a másik maga a fej, ezek között – a tápegység kivezetéseit hozzájuk kötve – elektrosztatikus tér alakul ki. Ennek köszönhetően a résen kiáramló oldat tölcser alakú pályán végighaladva a fémlap felé indul meg. A fémlap elé elhelyezett polipropilén szövetre csapódik le elektromos tér hatására az oldat nanoszál formájában, mielőtt a fémlaphoz érne. A polipropilén hordozó textilra két oldalról egy-egy hengerre van felcsavarva. Az egyik hengerrel lehet adagolni a szövetet, a másikra pedig a már nanoszál réteget tartalmazó anyag tekerckelhető. Ez a megoldás biztosítja a folyamatos szálképzés lehetőségét. A két forgó henger sebessége elektromos motorral állítható.

A bemutatott berendezéssel a 35 ml/h adagolási sebességgel áramoltatott oldatot 55 kV feszültségű elektromos térbe juttattuk. A fej és a gyűjtőlemez közötti távolság 20 cm, ami kb. 2,5 kV/cm töltéssűrűséget jelent.

Az eljárással olyan nanoszálrétegeket (6. ábra) lehet gyártani, amelyben a nanoszálak folytonosak, nem rendelkeznek kitüntetett irányval, tehát elhelyezkedésük véletlenszerű.



6. ábra. PAN nanoszálakról készített SEM kép

Az alapanyag, majd a nanoszál előállítás után a stabilizálást 280°C-on, 17 percig, levegő atmoszférán hajtottuk végre NABERTHERM L9/11/C6 típusú laboratóriumi kemencében.

Utolsó lépés a nitrogén atmoszférában történő karbonizálás, ami BTU ENGINEERING alagút-kemencében történt. A kemence négy elszigetelt fűtőzónából áll, mindegyik hőmérséklet beállítható. A kemence teljes hosszán futószalag halad végig, a stabilizált mintákat erre kell elhelyezni. A szalag haladási irányával megegyezően a fűtőzónákat a következő hőmérsék-

letekre állítottuk: 200, 650, 830 és 200°C. A szalag áthaladási ideje 25 perc, ami azt jelenti, hogy ennyi ideig tartott a minták karbonizálása.

2.2.2. VÁKUUMZSÁKOS TECHNOLOGIA

A kompozit mintákat vákuumzsákos technológiával készítettük, amelynek lényege, hogy a kelme rétegeket egyesével átimpregnáljuk gyantával, majd egymásra fektetjük. A letépo szövettel és gyanta elvezetővel ellátott mintát vákuumzsákba helyezünk, amelyet légmentesen leszigetelünk és vákuumszivattyúval megszívunk. A vákuum a gyantában levő légbuborékok mennyiségét csökkenti, valamint a rétegeket egymáshoz préseli, ezáltal javul a rétegek közötti adhézió.

2.3. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

2.3.1. UL 94 éghetőségi vizsgálat

A vizsgálat két részből áll, először egy 120 mm-es próbatestet vízszintesen fogunk be. A szabad végénél 45°-os szögben Bunsen-éggel 30 másodpercig gyújtjuk, ha a láng eléri az első, illetve a tőle 80 mm-re levő második jelet, akkor kiszámítható a lángterjedés sebessége. Abban az esetben, ha nem éri el a második jelölést, függőleges helyzetben kell a próbatestet megvizsgálni. Ekkor alulról 10 másodpercig 45°-ban gyújtjuk a darabot, ha nem gyullad meg a minta, akkor még egyszer ennyi ideig láng alá helyezzük. A mérések alapján a próbatestet különböző éghetőségi kategóriákba soroljuk, amelyek a HB < V-2 < V-1 < V-0 irányban javulnak.

2.3.2. LIMITÁLT OXIGÉN INDEX (LOI) VIZSGÁLAT

Ezzel az eljárással azt vizsgáljuk, hogy O₂/N₂ gázelegyből mi az a legkisebb oxigén koncentráció, amikor a minta tetején meggyújtott láng folyamatosan képes égni. Ha a levegő 21 V/V%-os értékénél kisebb lesz az adott anyag oxigén indexe, akkor az könnyen éghetőnek tekinthető. A mérések a MÜ-KI OXINDEX berendezésén készültek.

3. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

Mindkét éghetőségi vizsgálatot nyolcféle min-

1. táblázat.

A vizsgálatokhoz felhasznált minták

Minta típusa	Kompozit alkotói
EF	epoxi + folyadék (RDP) éghetőségtől
ECF	epoxi + szén nanocső + folyadék (RDP) éghetőségtől
EHF	epoxi + hagyományos szénzál (UD) + folyadék (RDP) éghetőségtől
EHCF	epoxi + hagyományos szénzál (UD) + szén nanocső + folyadék (RDP) éghetőségtől
EHSF	epoxi + hagyományos szénzál (UD) + szén nanoszál szén nanocsővel + folyadék (RDP) éghetőségtől
EHSOF	epoxi + hagyományos szénzál (UD) + szén nanoszál nanocső nélkül + folyadék (RDP) éghetőségtől
EHCSF	epoxi + hagyományos szénzál (UD) + szén nanocső + szén nanoszál szén nanocsővel + folyadék (RDP) éghetőségtől
EHCSOF	epoxi + hagyományos szénzál (UD) + szén nanocső + szén nanoszál nanocső nélkül + folyadék (RDP) éghetőségtől

tán végeztük el, referenciaként töltetlen, szálerősítés nélküli epoxigyantát, és ennek nanocsöves változatát is vizsgáltuk. A további hat típus mindegyike nyolc réteg unidirekcionális szénszál kelme erősítést is tartalmaz. Azoknál a mintáknál, amelyeknek a mátrixába szén nanocsöveket is kevertünk, a koncentráció minden esetben 0,3 m/m% volt. A minták 3 m/m% foszfort tartalmaznak. Szén nanoszál rétegekkel megerősített próbatetek esetében a nanoszál rétegek a hagyományos (UD) rétegek közé, és a próbatetek alsó és felső felületére lettek elhelyezve, tehát egy minta összesen 9 réteg szén nanoszálás paplant tartalmazott. Az elkészített mintákat az 1. táblázat szemlélteti.

3.1. UL 94 ÉGHETŐSÉGI VIZSGÁLAT

A vízszintes vizsgálatok során a második jel előtt kialudt a láng, tehát a besorolás megállapításához függőleges vizsgálatokra volt szükség, ezek eredményeit a 2. táblázat szemlélteti.

Az EHF HB besorolást ért csak el, viszont figyelemre méltó, hogy ennek a mintának a nanoszálás változatai jobb besorolást kaptak. Az EHSF és EHS0F típusú próbatest V-1 lett függetlenül attól, hogy a nanoszál tartalmazott-e nanocsövet, míg az EHCSF és EHCS0F típusú minta már V-0 minősítésű lett.

Mind a nyolc minta előnye viszont, hogy az alattuk elhelyezett vattát nem gyújtották meg, nem csöpögve égnék.

Ezek alapján kimondható, hogy az RDP típusú égésgátlóval ellátott nanocsöveket és nanoszálakat is tartalmazó minták, UL 94-es besorolás alapján, égésgátlási szempontból megfelelőek, V-0 besorolást szereztek.

3.2. LIMITÁLT OXIGÉN INDEX (LOI) VIZSGÁLAT

A minták mérési eredményeit a 2. táblázat foglalja össze. Hagyományos szénszálakat is tartalmazó mintákhoz különböző nanoerősítéseket adagolva nem változik jelentősen az oxigénindex, mindegyik 39–42 V/V% közé esett. A várt módon jelentősebb különbséget lehetett felfedezni a hagyományos szénszálakat tartalmazó, illetve nem tartalmazó minták között, a hagyományos szénszálerősítést tartalmazók javára.

2. táblázat.

UL 94 és LOI vizsgálat eredményei

Minta jele	UL 94 fokozat	Oxigén index [V/V%]
EF	HB	32
ECF	HB	33
EHF	HB	42
EHCF	HB	42
EHSF	V-1	39
EHS0F	V-1	40
EHCSF	V-0	39
EHCS0F	V-0	39

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Égésgátló, szénszál/szén nanocső/szén nanoszál erősítésű

kompozitokat készítettünk rezorcin bisz(difenilfoszfát) (RDP) égésgátló alkalmazásával. A nanoszál rétegeket magunk állítottuk elő PAN prekursorból elektrosztatikus szálképzés, stabilizálás és karbonizálás útján.

A mérési eredmények szerint, az RDP égésgátló és nanoszál, nanocső között szinergizmus figyelhető meg, ugyanis az RDP tartalmú próbatetek UL 94 besorolása HB-ről V-1-re javult nanoszálak alkalmazásakor, nanocső és nanoszál együttes jelenlétekor pedig V-0 kategóriát ért el. Oxigén indexük a hagyományos szénszálakat is tartalmazó minták esetében 39–42 V/V% közé esik, ami jelentősen csökkent gyújthatóságra utal.

A cikk a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíj Támogatásával készült. A szerzők köszönettel tartoznak dr. Molnár Kolosnak és dr. Toldy Andreának – a BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM, POLIMERTECHNIKA TANSZÉK munkatársainak –, valamint Szolnoki Beátának, a BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM, SZERVES KÉMIA ÉS TECHNOLÓGIA TANSZÉK munkatársának, a kutatómunka során nyújtott segítségükért. A kutatást az ORSZÁGOS TUDOMÁNYOS KUTATÁSI ALAPPROGRAMOK (OTKA K100949) támogatta.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Hembam, K. P. S. S.; Rao, G. M.: Structural and surface features of multiwall carbon nanotube, Applied Surface Science, 257, 5503–5507 (2011).
- [2] Shu-ying, G.U.; Qi-lin, W. U.; Jie, R. E. N.: Preparation and surface structures of carbon nanofibers produced from electrospun PAN precursors, New Carbon Materials, 23 (2), 171–176 (2008).
- [3] Nataraj, S. K.; Yang, K. S.; Aminabhavi, T. M.: Polyacrylonitrile-based nanofibers – A state-of-the-art review, Progress in Polymer Science, 37, 487–513 (2012).
- [4] Baji, A.; Mai, Y-W.; Wong, S-C.; Abtahi, M.; Chen P.: Electrospinning of polymer nanofibers: Effects on oriented morphology, structures and tensile properties, Composites Science and Technology, 70, 703–718 (2010).
- [5] Wang, M.; Wu, Q.; Li, K.; Wu, Y.; Liu, H.: Optimization of stabilization conditions for electrospun polyacrylonitrile nanofibers, Polymer Degradation and Stability, 97, 1511–1519 (2012).
- [6] Ko, T-H.; Day, T-C.; Perng, J-A.: The characterization of PAN-based carbon fibers developed by two-stage continuous carbonization, Carbon, 31, 765–771 (1993).
- [7] Molnár, K.; Szabó, G.; Szolnoki, B.; Marosi, Gy.; Vas, L. M.; Toldy, A.: Enhanced conductivity composites for aircraft applications: carbon nanotube inclusion both in epoxy matrix and in carbonized electrospun nanofibers, Polymers for Advanced Technologies, 25, 981–988 (2014).
- [8] Reilly, R. M.: Carbon Nanotubes: Potential Benefits and Risks of Nanotechnology in Nuclear Medicine, The Journal of Nuclear Medicine, 48, 1039–1042 (2007).
- [9] Szolnoki, B.: Új, égésgátló epoxigyanták és kompozitjaik kifejlesztése, PhD értekezés, BME, 2014.
- [10] Molnár, K.: Elektro-szálképzett nanoszálás szerkezetek és kompozitjaik, PhD értekezés, BME, 2013.

Molnár Béla*, Dr. Ronkay Ferenc**

Fröccsöntés során kialakuló szerkezet hatása eredeti és reciklált PET mechanikai tulajdonságaira

Különböző molekulatömegű anyagokból különböző falvastagságú termékeket fröccsöntöttünk. A minták morfológiai szerkezetét háromfázisú modellel vizsgáltuk, a mechanikai tulajdonságokat húzó- és ütővizsgálattal határoztuk meg. A vizsgálatokat két időpontban, közvetlenül a gyártás után és két hónap elteltével végeztük. Az eredmények alapján kapcsolatot találtunk a kristályos és többfázisú amorfszerkezet, valamint a szilárdsági jellemzők között. A mechanikai tulajdonságok változásának oka a gyártás utáni két hónapban a kristályos, mobil- és rideg amorf fázisok arányának megváltozása volt.

1. BEVEZETÉS

A poli(etilén-tereftalát) ma a legelterjedtebb italcsomagoló anyag. Rohamos elterjedésének főbb okai a kis sűrűsége (~1,35 g/cm³), jó ütésállósága és kiváló optikai tulajdonsága [1]. Csomagolóanyagként a palackok rövid életciklusú (általában egyszer használatos, „eldobható”) termékek. Ennek, és a ma is egyre növekvő felhasználásnak köszönhetően nagy mennyiségű hulladék keletkezik, aminek begyűjtésére és újrahasznosítására egyre nagyobb figyelem irányul. A PET hulladék legfőbb felhasználási területei a szál- és a csomagolóanyag gyártás (1. ábra), ezen belül is a „palackból-palack” technológia. Emellett gyártnak belőlük lemezeket, szalagokat, és kis mennyiségben egyéb műszaki és általános célú termékeket [2].

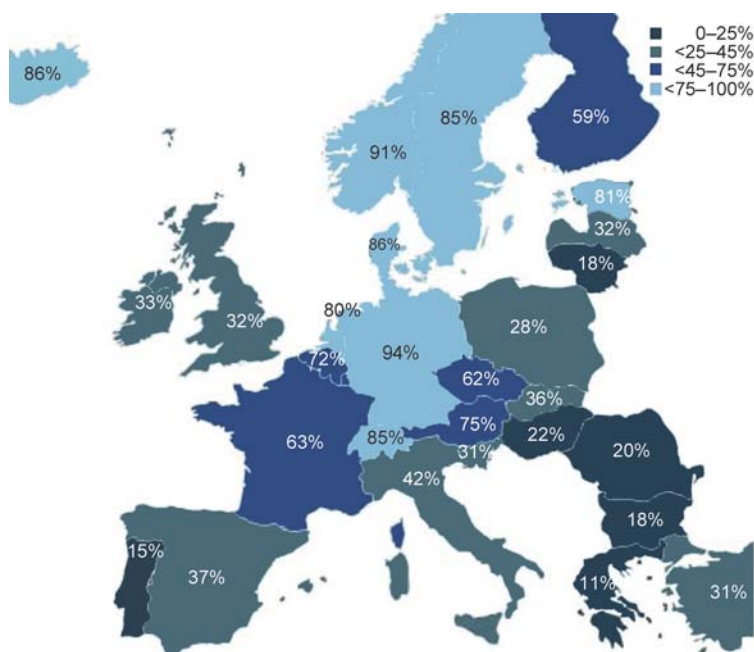
Magyarországon 2005 és 2013 között a PET (és PETG) felhasználás évi 45 kt-ról 80 kt-ra nőtt. Ez éves szinten kb. 4,4 kt növekedés, ami főként annak köszönhető, hogy jelentős mennyiségű ásványvizet termelünk és palackozunk [5]. A 2. ábra a PET pa-

lackok visszagyűjtési arányát mutatja Európa egyes országai-ban [6].

A PET reciklátum szálgyártás és „palackból-palack” technológiák alapanyagaként történő felhasználása mellett ígéretes és érdekes felhasználási terület lehet a műszaki műanyagként történő alkalmazása. A PET jó műszaki műanyag, azonban az újrafeldolgozás során (extrudálás és fröccsöntés) komoly probléma a mechanikai tulajdonságok romlása, elsősorban a nagymértékű ridegedés. Ez az anyag morfológiai szerkezetével (pl.: molekulaláncok hossza, orientációja, kristályos szerkezet) hozható összefüggésbe, amelyre több paraméter (pl.: a feldol-

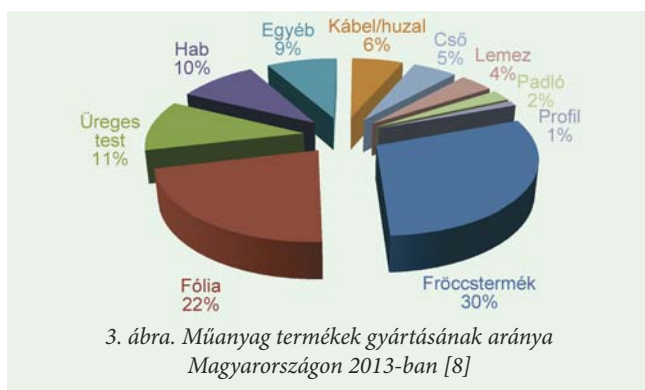


1. ábra. Reciklált PET csomagolóanyagok [3, 4]



2. ábra. PET palack visszagyűjtési arányok Európában [6]

*okleveles gépészmérnök, **egyetemi docens, ronkay@pt.bme.hu, BME, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék



3. ábra. Műanyag termékek gyártásának aránya Magyarországon 2013-ban [8]

gozás során kialakult nyírások) is hatással lehet. A polimer termékek közel harmada, ezen belül pedig a műszaki termékek nagy része, fröccsöntéssel készül (3. ábra). Az így gyártott alkatrészek mechanikai tulajdonságai jelentősen függenek a termék geometriájától (falvastagságok), a feldolgozás során alkalmazott paraméterektől (pl.: feldolgozási hőmérséklet, hűtési paraméterek), illetve az ezek hatására kialakult morfológiai szerkezettől. Ezért fontosak a készterméken vagy ahhoz hasonló geometriájú fröccsöntött próbatesteken végzett vizsgálatok, különösen reciklált PET esetén, ahol az alapanyag és a termék tulajdonságai a gyártás után az idő függvényében is változhatnak [7].

Az újabb kutatásokban a PET-et nem két-, hanem háromfázisú morfológiai modellel vizsgálják. Eszerint a kristályos fázis mellett megtalálható amorf fázis két különböző viselkedésű részre osztható: a rideg amorf fázis (RAF), amit közvetlenül a kristályos rész melletti molekulák, molekularészek alkotnak. Ez a rész kevésbé mozgékony, mint a mobil amorf fázis (MAF), ami a hagyományos értelemben vett amorf rész. A két-féle amorf rész jellemzői és a termék mechanikai tulajdonságaira gyakorolt hatásaik is eltérőek [9, 10].

Kutatásunk célja különböző paraméterekkel fröccsöntött PET minták morfológiai és mechanikai tulajdonságainak vizsgálata, és e tulajdonságok közötti kapcsolatok feltárása. A morfológiai szerkezet mechanikai jellemzőkre gyakorolt hatásának megismerése segítheti az anyag viselkedésének alaposabb megértését.

2. KÍSÉRLETI RÉSZ

2.1. Felhasznált anyagok és módszerek

A kísérletekhez NeoPET 80 (NEO GROUP, Litvánia) granulátumot használtunk (továbbiakban: PET), amelynek határviszkozitása (IV) az adatlap szerint 0,8 dl/g, saját mérésünk szerint 0,79 dl/g. A reciklált anyag modellezéséhez eredeti granulátumból extrudálással regranulátumot készítettünk, így rövidebb molekulaláncú, degradált alapanyagot kaptunk, (továbbiakban: RPET), amelynek IV értéke 0,58 dl/g. A kereskedelmi reciklált PET darálékkal ellentétben így teljesen homogén anyagot kapunk, ezzel kizárhatók a szennyezők miatt esetlegesen bekövetkező anyagszerkezeti változások, amelyek hatással lehetnek a mechanikai tulajdonságokra.

Az alapanyagokat fröccsöntés előtt HERAEUS UT20 levegőcirkulációs szárítószekrényben 120°C-on, 4 órán át szárít-

tottuk. A fröccsöntés során 1, illetve 2 mm vastag lapokat (80 mm×80 mm) gyártottunk, amelyekett a folyási út mentén 10 mm-es szeletekre vágunk. Az így kapott mintákon morfológiai és mechanikai vizsgálatokat végeztünk két időpontban: közvetlenül a gyártás után, illetve két hónap elteltével.

A minták határviszkozitását PSL Rheotek RPV-1 számítógép vezérelt, optikai szenzoros, automata oldat-viszkozitásmérővel határoztuk meg (4. ábra). Az alkalmazott oldószer fenoltetraklórétán 60:40%-os elegye, a vizsgálati hőmérséklet 30°C, a koncentráció 0,5 g/dl.



4. ábra. PSL Rheotek RPV-1 berendezés

A próbatestek morfológiai jellemzőit TA INSTRUMENTS DSC Q2000 típusú DSC berendezéssel határoztuk meg. A mérés során egy fűtési szakaszt alkalmaztunk 20–290°C között, 10°C/perc fűtési sebességgel. A vizsgálat során az anyagok jellemzésére a háromfázisú modellt alkalmaztuk. A kristályos fázis részarányát az (1) összefüggéssel határoztuk meg:

$$KRF = \frac{\Delta h_m - \Delta h_{cc}}{\Delta h_m^0} \quad (1)$$

ahol Δh_m a minta tömegre fajlagosított olvadáshője [J/g], Δh_{cc} a minta hidegkristályosodása leadott tömegre vonatkoztatott hő [J/g], Δh_m^0 a 100%-ban kristályos PET olvadáshője (140,1 J/g) [7].

Az üvegesedési átmenetnél mért fajhőváltozások segítségével meghatározható, hogy az egyes mintákban mekkora mennyiségű mobilis amorf fázis (MAF) található. A MAF mennyiségét a (2) összefüggés segítségével számoltuk:

$$MAF = \frac{\Delta c_p}{\Delta c_p^0} \quad (2)$$

ahol Δc_p a mért fajhőváltozás [J/(g·°C)], Δc_p^0 a teljes mértékben amorf PET fajhőváltozása az üvegesedési átmenetnél (0,405 J/(g·°C)) [7].

A mintákban található rideg amorf fázisok (RAF) részarányának meghatározása a (3) összefüggéssel történt:

$$RAF = 1 - MAF - KRF \quad (3)$$

ahol RAF a rideg amorf fázis részaránya a mintában [-], MAF a mobilis amorf fázis részaránya mintában [-], KRF a kristályos részarány a mintában [-].

A húzószilárdságot és -moduluszt ZWICK Z20 berendezéssel határoztuk meg, 5 mm/perc húzási sebességgel és 40 mm-es befogási hosszal, szobahőmérsékleten.

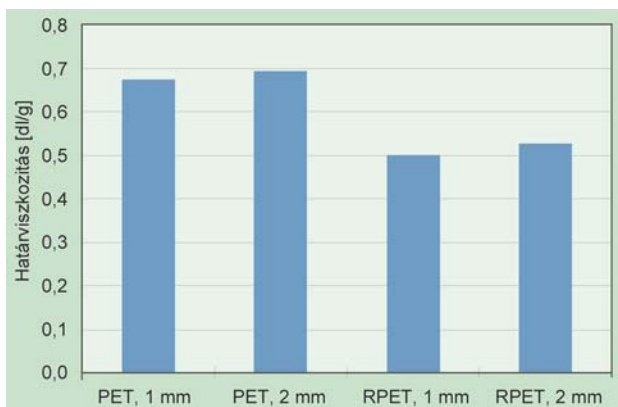
Az anyagok ütőszilárdságát Charpy-féle ütvehajlító vizsgálattal állapítottuk meg, 2 J-os kalapáccsal, 64 mm-es támaszközzel, szobahőmérsékleten.

2.2. EREDMÉNYEK

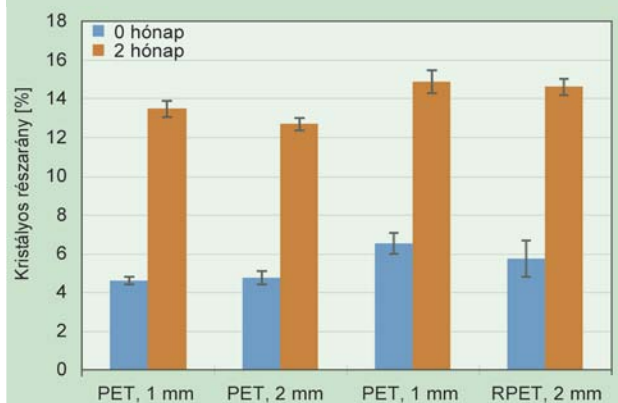
A minták fröccsöntés utáni határviszkozitását az 5. ábra mutatja. Az eredeti anyag IV értéke a fröccsöntés során ~0,69 dl/g-ra csökkent, a reciklálté ~0,51 dl/g-ra. A fröccsöntés során fellépő nyírás következtében az alapanyag jelentős mértékű degradációt szenvedett. A vastagabb termékek esetén mindkét alapanyagnál a szerszámban fellépő kisebb nyírás miatt az IV csökkenés minimális mértékkel, 0,02 dl/g-mal kisebb volt, mint a vékony termékekénél.

A 6. ábra a minták kristályos részarányát szemlélteti. A közvetlenül gyártás után mért értékeknél látható, hogy az eredeti anyagból készült minták kristályossága kb. 4,5%, a reciklált anyagból készült mintáké pedig 5,5–6,5%. Az eltérést a molekulatömeg különbség okozhatja, mivel a reciklált anyag rövidebb molekuláncái könnyebben rendeződnek kristályos formába. Ez az eltérés két hónap elteltével is tapasztalható, a reciklált minták kristályossága kb. 2%-kal nagyobb, mint az eredeti alapanyagból készültéké. A PET minták kristályos részaránya 0 és 2 hónap között háromszorosára, az RPET mintáké két és félszeresére növekedett. Ez a folyamat az utó-kristályosodás, ami során valószínűsíthetően nem keletkeznek új kristályok (nincs göcképződés), hanem a meglévő kristályok méretei növekednek.

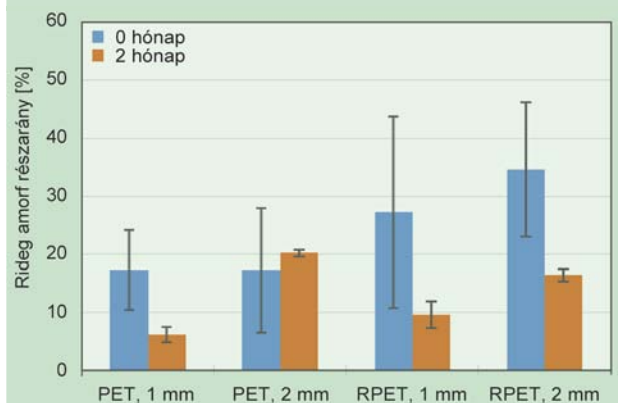
A 7. ábra a minták rideg amorf részarányát szemlélteti. Közvetlenül a gyártás után az RPET minták rideg amorf részaránya nagyobb, mint a PET mintáké. Ez a kristályos részarányal, illetve a kristályos részek felület/térfogat arányával van összefüggésben. A RAF a kristályos és amorf részek határfelületén helyezkedik el, tehát több kristály esetén a nagyobb felület/térfogat arány miatt nagyobb lesz a RAF mennyisége. Két hónap elteltével a rideg amorf részarányok egy minta kivételével jelentősen csökkentek. Ez a kristályos részarány vizsgálatánál említett utó-kristályosodással magyarázható: a kristályos részekhez közeli molekulák, a rideg amorf fázis nagy része a kristályokhoz kapcsolódik, növelve azok méretét és részarányát. A 2 mm-es PET minta esetén tapasztalt növekedés oka az lehet, hogy a rideg amorf fázis nem csak a kris-



5. ábra. A minták IV értékei fröccsöntés után



6. ábra. A minták kristályos részaránya közvetlenül a gyártás után és két hónap elteltével



7. ábra. A minták rideg amorf részaránya közvetlenül a gyártás után és két hónap elteltével

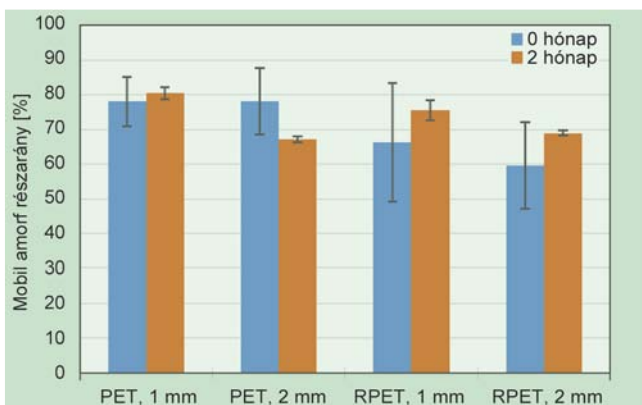
tályos részarányt növelheti rendeződéssel, hanem a mobilis amorf fázist is, illetve a mobilis amorf részek is rideggé válhatnak bizonyos rendeződések következtében.

A minták mobilis amorf részarányát mutatja a 8. ábra. Az RPET minták esetén a nagyobb kristályosságnak, és ezzel párhuzamosan nagyobb RAF részarányának köszönhetően a mobilis amorf fázis mennyisége kisebb, mint az eredeti anyagból készült minták esetében. A gyártás után két hónappal három esetben nőtt, egy esetben pedig csökkent a MAF mennyisége.

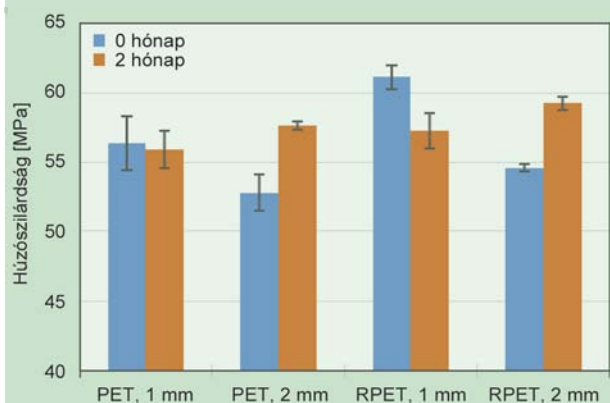
A növekedés a *RAF* jelentős csökkenésére vezethető vissza. A 2 mm vastag PET mintánál tapasztalható csökkenés oka a *RAF* változásánál már említett hatás, miszerint a *RAF* átalakulása az utókristályosodás során a kristályosságot növeli, másrészt viszont a mobil amorf részek is átalakulhatnak bizonyos esetben rideg amorfá, ezáltal összességében a *RAF* mennyisége növekedhet.

A 9. ábra a minták húzószilárdságát szemlélteti. Közvetlenül a gyártás után a szilárdságra mind az alapanyag, mind a termék vastagsága hatással van. Azonos vastagságú minták esetén az RPET minták szilárdsága 8–10%-kal, míg azonos alapanyagúak esetén a vékonyabb minták szilárdsága kb. 10%-kal nagyobb. Két hónappal a gyártás után az értékek minden minta esetén közel azonosak (56–59 MPa), illetve itt már azonos alapanyag esetén a vastagabb minták szilárdsága nagyobb. A gyártás után a vékony minták szilárdsága csökkent, a vastagoké nőtt. A kristályos, mobil amorf és rideg amorf részarány a gyártás után jelentősen függött a minták vastagságától, azonban ezek változásának jellege az időben ugyanaz volt mindkét vastagságnál. Ebből arra lehet következtetni, hogy a szilárdsági értékek változása nem a kristályos és amorf részarányoktól, hanem a fröccsöntés során kialakult szerkezettől (pl. a mag-héj rétegek vastagsága és aránya, orientáció) függ.

A 10. ábra a húzó rugalmassági moduluszt szemlélteti.



8. ábra. A minták mobil amorf részaránya közvetlenül a gyártás után és két hónap elteltével

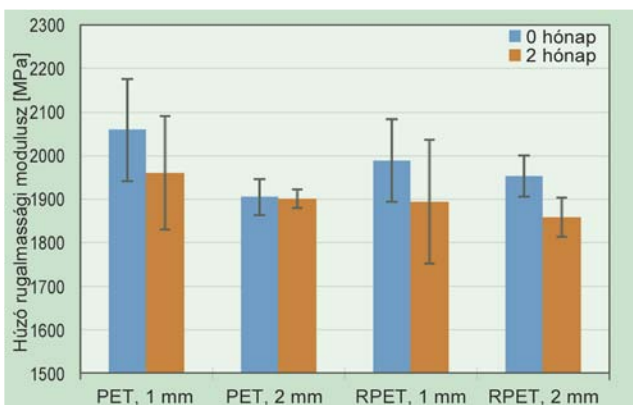


9. ábra. A minták húzószilárdsága közvetlenül a gyártás után és két hónap elteltével

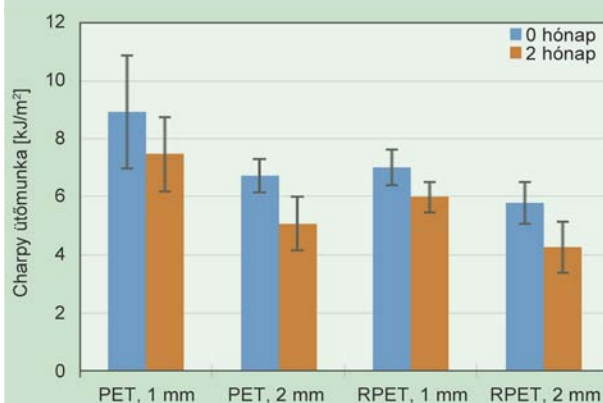
Közvetlenül a gyártás után azonos alapanyag esetén a vékonyabb minták modulusza kisebb, mint a vastagoké. A gyártás után két hónappal a modulusz értékek minden minta esetén csökkentek, ami valószínűleg a rideg amorf részarány csökkenésére, ezáltal pedig a mobil amorf részarány növekedésére vezethető vissza. PET 2 mm-es minta esetén az idővel nem változik a modulusz, amit az okozhatott, hogy ennél a mintánál a *RAF* kis mértékben növekedett, illetve a *MAF* csökkent.

A 11. ábra a minták Charpy-féle ütőszilárdságát mutatja. Azonos alapanyag esetén a vékony minták ütőmunkája 20–30%-kal kisebb, mint a vastagoké. Két hónap elteltével minden próbatest ütőmunkája kisebb, mint közvetlenül a gyártás után. A vékony minták esetén a csökkenés 18%, a vastagoknál 35%. Az ütőmunka csökkenése összefüggésbe hozható a kristályosság növekedésével. A kristályos részarány és a kristályos részek méretének növekedése miatt az anyag ridegebbé válik, mivel a kristályos részekben található molekulák mozgása gátolt.

Az eredeti és a reciklált anyagból készült minták esetében is megfigyelhető, hogy a gyártás utáni két hónapban a rugalmassági modulusz és az ütőmunka is csökken. Ez a látszólagos ellentmondás a háromfázisú modell alkalmazásával megszüntethető, ha a modulusz változását a mobil amorf, az ütőmunka változását pedig a kristályos részarány változásával hozzuk összefüggésbe.



10. ábra. A minták húzó rugalmassági modulusza közvetlenül a gyártás után és két hónap elteltével



11. ábra. A minták ütőszilárdsága közvetlenül a gyártás után és két hónap elteltével

3. ÖSSZEFOGLALÁS

PET fröccsöntése során kialakult különböző molekulaszervezeteket elemeztük háromfázisú modellel, és ennek hatását vizsgáltuk a mechanikai tulajdonságokra. Különböző molekulatömegű anyagokból fröccsöntöttünk eltérő falvastagságú termékeket, amelyek szerkezetét és tulajdonságait közvetlenül a gyártás után, valamint két hónap elteltével mértük. A minták kristályos részaránya két hónap után – az utókristályosodásnak köszönhetően – minden esetben több mint kétszeresére nőtt. A folyamat során a rideg amorf fázisban található molekulák rendeződése növelte a kristályosságot. A rideg amorf részarány csökkenésével párhuzamosan a mobil amorf fázis mennyisége nőtt.

A minták húzószilárdsága a gyártás utáni két hónapban a vastagságtól függően eltérően változott. Mivel a morfológiai tulajdonságok változásánál ez a jelenség nem tapasztalható, ezért a szilárdság változására a termék vastagsága, és az emiatt kialakuló különböző mag-héj szerkezetek változása jelentősebb hatással van, mint a kristályos részarány változása. A húzó rugalmasság modulusz és az ütőmunka csökkent a gyártás utáni két hónapban. Az anyag háromfázisú modellel való vizsgálata után elmondható, hogy az ütőmunka a kristályos részarány növekedésével csökken, a modulusz pedig a mobil amorf részarány növekedésével magyarázható. Az eredményekből a PET morfológiai és mechanikai tulajdonságai közötti kapcsolatok jobban megérthetőek, ami segítséget nyújt ahhoz, hogy megfelelő technológia alkalmazásával a hulladék PET a ma már egyre elterjedtebb, palack alapanyagként történő felhasználása mellett műszaki anyagként is széles körben használható másodlagos alapanyag legyen.

A szerzők köszönettel tartoznak a JÁSZ-PLASZTIK KFT.-nek a határvizkozitációs (IV) mérések elvégzéséhez biztosított laboratóriumi háttérért. A kutatás az Országos Tudományos Kutatási Alap (OTKA K 109224) által biztosított forrásból valósult meg.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Awaja, F.; Pavel, D.: Recycling of PET, European Polymer Journal, 41, 1453–1477 (2005).
- [2] Welle, F.: Twenty years of PET bottle to recycling – An overview, Resources, conservation and recycling, 55, 965–875 (2011).
- [3] <http://www.thefreerangechicken.com> (2015. január 22.).
- [4] <http://www.nestle-waters.com> (2015. január 22.).
- [5] Buzási, Lné.: A műanyag csomagolószerszám-gyártás helyzete Magyarországon, Műanyag és Gumi, 51, 214–216 (2014).
- [6] <http://www.nestle-waters.com> (2015. január 22.).
- [7] Badia, J. D.; Strömberg, E.; Karlsson, S.; Ribes-Greus, A.: The role of crystalline, mobile amorphous and rigid amorphous fractions in the performance of recycled poly (ethylene terephthalate), Polymer Degradation and Stability, 97, 98–107 (2012).
- [8] Buzási, Lné.: Műanyag-feldolgozás Magyarországon 2013-ban, Műanyag és Gumi, 51, 245–253 (2014).
- [9] Rastogi, R.; Vellinga, W. P.; Rastogi, S.; Schick, C.; Meijer, H. E. H.: The three-phase structure and mechanical properties of poly(ethylene terephthalate), Polymer Physics, 42, 2092–2106 (2004).

Standard hőre lágyuló polimer trendek 2015 szeptemberében

Szeptember első harmadában az európai poliolefin gyártóknak le kellett mondaniuk a tavasz óta felhalmozott rekord árrésük kis részéről. A legtöbb esetben a polietilén és a polipropilén áresése nagyjából egy harmaddal meghaladta a saját monomereknek az árcsökkenését. Meg kell jegyezni azonban, hogy a gyártók még mindig messze vannak attól, hogy elérjék a „szegénységi küszöböt”. A PVC gyártók – akik eddig is küzdöttek – sokkal inkább hajthatatlanok az árréseik védelmében, és valójában sikerült is korlátozniuk az árcsökkentéseket. A legtöbb polisztirol beszállító is mérsékelte árait, összhangban a sztírol monomer árak csökkenésével, bár az egyik gyártó, korlátozott termelési kapacitással, jobban ellenállt, és eddig sikerült kordában tartania a magasabb minőségű típusoknál az áresést.

Egyetlen kivétel lenne a további áresésre, különösen a poliolefineknél, ha a feldolgozók nagymértékben visszafognák rendeléseiket. Sok függ attól, hogy milyen mértékű lesz a széles körben várt árcsökkenés az októberi etilén és propilén szerződésekből, illetve, hogy mikor lesznek ezek rögzítve. Bárhogyan is, a gyártók reményeinek ellenére nem tűnik úgy, hogy a kereslet növekedni fog, sem ebben a hónapban, sem az év végéig.

Az 1. táblázatban az egyes hőre lágyuló polimerek árait és azok várható trendjeit mutatjuk be.

1. táblázat.

Hőre lágyuló polimer árak, 2015. szeptember [euró/tonna]

Típus	Trend 2015 szeptember			Kitekintés, ártrendek
	Ár	Változás	Ártartomány	
LDPE				
Fólia	1540	-120	1535–1545	csökken
Fröccstípus	1515	-120	1490–1540	csökken
LLDPE				
Fólia (butén C4)	1590	-120	1580–1600	csökken
Fólia (hexén C6)	1615	-120	1600–1630	csökken
Fröccstípus (butén C4)	1560	-120	1550–1570	csökken
HDPE				
Fúvási célra	1580	-90	1565–1595	stabil
Fújó fólia	1555	-90	1545–1565	stabil
Fröccstípus	1525	-105	1495–1555	stabil
EVA				
Vinil-acetát 18%	1775	-90	1730–1820	stabil
PP				
Homopolimer, fröccstípus	1385	-140	1360–1410	stabil
Homopolimer, extrúziós	1405	-140	1385–1425	stabil
Kopolimer, fröccstípus	1415	-140	1395–1435	stabil
Kopolimer, fólia	1450	-140	1430–1470	stabil
S-PVC				
Alap	1005	-45	958–1052	stabil
PS				
Általános célra	1720	-90	1700–1740	stabil
Ütésálló	1810	-90	1790–1830	stabil
Ütésálló, fólia/lemez	1800	-90	1770–1830	stabil
EPS				
Szigetelés	1495	-85	1455–1535	stabil
Csomagolás	1560	-100	1550–1570	stabil



kenőanyagok a műanyagiparban



A SETRAL CHEMIE GmbH RÖVID TÖRTÉNETE

A SETRAL CHEMIE GmbH elődjét 1969-ben Franciaországban, Strasbourgban SETRAL S.A. néven alapította Jean-Leon Spehner, Jean-Pierre Lepre és Guy Grospretre. A SETRAL fő célkitűzése alapításának pillanatától a különböző gyártási folyamatok zökkenőmentessé tétele nagy teljesítményű kenőanyagokkal.

Jelentős változást hozott a cég életében, hogy 1985-ben Karl-Heinz Hensel vette át a céget. Vezetésével új lendületet kapott a kutatás, a termékfejlesztés, új kutató laboratóriumot létesítettek, fejlesztették az üzemeket, korszerű berendezéseket és korszerű technológiákat telepítettek. 1988-ban új gyárat helyeztek üzembe Franciaországban, Romanswiller-ben. 1990-ben egy második fejlesztő laboratóriumot rendeztek be.

A SETRAL CHEMIE mindig nagy súlyt helyezett a minőségmenedzsmentre. Már 1997-ben megszerezte az ISO 9001 tanúsítást, 2008-ban egész éves szervező, fejlesztő és oktató munkát követően a vállalat megszerezte a DIN EN ISO 1401 szerinti tanúsítást is.

A SETRAL CHEMIE évek óta nagyon fontosnak tartja a kemikáliák és a környezet felelősségteljes kezelését. Naprakészen teljesíti a REACH (Kémiai Anyagok Nyilvántartása, Értékelése, Engedélyezése és Korlátozása) Európai Uniói szabályozás feltételeit.

Újabb minőségi előre lépést jelentett, hogy 2012-ben megkezdődött a H1 termékcsalád kiterjesztése és teljessé tétele. 2015-ben új gyártóhelyet hoztak létre, kizárólag a H1 termékek gyártására.

A SETRAL CHEMIE GmbH mára Németország második legnagyobb speciális kenőanyagokat fejlesztő és gyártó vállalata lett.

SETRAL KENŐANYAGOK MAGYARORSZÁGON

A HBH Kft. 2003 óta képviseli a SETRAL CHEMIE GmbH-t Magyarországon.

A SETRAL CHEMIE igen fontosnak tartja az értékesítésben résztvevők képzését. Rendszeres tanfolyamokon oktatja a képviselők munkatársait, megismertetve az új termékeket és az új felhasználási területeket.

A HBH Kft.-nél vegyész-mérnök végzettségű, tribológiához értő munkatárs foglalkozik a partnerek kenéstechnikai problémáival, a megfelelő megoldás kiválasztásával, a termékek ajánlásával.

A bonyolultabb kérdések megválaszolására az anyacég laboratóriumi és szakemberei készséggel állnak a magyar ügyfelek rendelkezésére.

A SETRAL CHEMIE a műanyagiparon kívül a legtöbb iparág részére fejleszt kenőanyagokat. Ilyenek csak példaként említve az élelmiszer-, a gyógyszer-, a cement-, az autó- és az üvegipar.

A cég különleges feladatokra és a szokásostól eltérő igény-

bevételre is fejleszt kenőanyagokat. Ilyenek pl. magas vagy extrém alacsony hőmérséklet, magas fordulatszám, nagy terhelés, agresszív környezet, radioaktív sugárzás stb.

SPECIÁLIS KENŐANYAGOK A MŰANYAGIPARBAN

A megfelelő kenőanyagok kiválasztásával szinte minden felhasználó a költség-haszon-hatékonyság hármassá törekszik. A SETRAL CHEMIE speciális kenő- és karbantartási anyagait nem csak a műanyag fröccsöntők és a szerszámkészítők alkalmazhatják, hiszen a műanyagipar minden területén, így a granulátum-, kompaund- és a fóliagyártás során is elősegítik a biztonságos termelési folyamatot.

A műanyaggyártóknak ajánlott termékpaletta vezető terméke a SYN-setral-INT/300 speciális, magas hőmérsékletet (300°C) tűrő zsír, amelyet kimondottan a kilökö tüskék kenésére javasolunk, mert nem hordódik ki, ezáltal nem szennyezi a munkadarabot, és elegendő rendkívül csekély mennyiségben használni.

A termékpalettában található még egyéb paszták és zsírok, korrózióvédő anyagok, formaleválasztók, szilikonmentes változatban is, és többféle lassan, illetve gyorsan elpárolgó tisztító-zsírtalanító szer.

Azok a felhasználók, akik élelmiszeripari csomagolóanyagokat vagy orvosi eszközöket gyártanak, szintén megtalálják a speciális igényeiket kielégítő teljes kenő- és karbantartási anyag szortimentet a SETRAL portfóliójában. Az élelmiszerbiztonságra tekintettel csak olyan kenőanyag alkalmazható, amely kielégíti az USDA (U.S. Department of Agriculture) világszerte elfogadott követelményeit. E szerint a H1 regisztrált kenőanyagoknak, amelyek alkalmoszerű érintkezése az élelmiszerrel nem zárható ki, az emberre ártalmatlannak kell lennie. A SETRAL GmbH komplett palettát ajánl a H1 regisztrált termékekből a kenőzsíroktól a nagy teljesítményű tisztító-zsírtalanítóig.

2003 óta, amióta a HBH Kft. képviseli a SETRAL CHEMIE-t Magyarországon, több mint 200 elégedett vevője van a cégnek. Közöttük kb. 50 műanyagipari vállalkozás, sokan közülük több mint 10 éve használnak valamilyen SETRAL terméket.

Végezetül, a teljesség igénye nélkül, elnézést kérve a meg nem említettektől, hadd álljon itt néhány partnerünk: AE PLAST Kft., BERICAP Bt., DISPOMEDICOR Rt., FLEXTRONICS INT. Kft., GENERAL PLASTICS Kft., GYŐRI PLAST Kft., IL-PE Kft., LEGO MANUFACTURING Kft., KALOPLASZTIK Kft., PEPPERL+FUCHS Kft., QUADRANT Kft., WOCO IPARTECHNIKA Kft., ZOLLNER Kft.



The World's No. 1 Trade Fair for Plastics and Rubber



2016

19 – 26 October
Düsseldorf
Germany

Tisztelt Partnerünk!

A legnagyobb műanyagipari szakkiállításon, 2016. október 19–26-ig megrendezendő düsseldorfi K-2016 vásáron a Magyar Műanyagipari Szövetség ismét egységes, nemzeti standdal való megjelenést tervez és szervez, amelyre – az előzetes regisztrációs lehetőséget kihasználva – a Szövetség egy 120 m² standot regisztrált ez év májusában, melynek betöltésére várjuk a kiállítóként megjelenni szándékozó vállalkozások jelentkezését.

A vásár általában már a jelentkezéskor is jelentősen túlfoglalt, az MMSZ nemzetközi kapcsolatai révén reálisnak látja a korábbihoz képest igényesebb kiállítási megjelenést (2013-ban 60 m²!).

Szövetségünk idén is nagy intenzitással dolgozik a Nemzeti Kereskedőház támogatásának megszerzésén.

Várjuk jelentkezésüket, igény esetén részletes tájékoztató anyagot küldünk.

MAGYAR MŰANYAGIPARI SZÖVETSÉG

1119 Budapest, Fehérvári út 83.

Telefon/fax: +36 1 363 9083

info@huplast.hu

www.huplast.hu

