

Műszaki műanyagok tribológiai kutatása különböző rendszerekben

Zsidai László

Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar,
Gépgyártás és Javítástechnológia Tanszék, Gödöllő

Tárgyszavak: súrlódás; kopásmérés; tribológia; gépelemek; bevonatok; műszaki műanyagok; vizsgálóberendezések.

A cikk a 2005 április 28.-i sikeres PhD védés téziszüzetéből készített kivonat, amely röviden összefoglalja a műszaki műanyagok súrlódási-kopási viselkedésének feltárására irányuló kutatásaim eredményeit.

A korrózió és a kifáradás mellett a súrlódás, és az ennek következtében létrejövő kopás tartozik a mozgó gépelemek legjelentősebb elhasználódási mechanizmusai közé, ennek elkerülésére javasolható a polimer gépelemek alkalmazása. Ez tribológiai vizsgálatokat igényelhet, amelyek általánosan elfogadott (szabványosított) laboratóriumi vizsgálatok is lehetnek. Az ilyenekhez kisméretű (small-scale) próbatesteket használnak fel, amelyeknek az előnyei: egyszerű vizsgálóberendezés, kis terhelő erő, kisméretű próbatestek, könnyen beállítható környezeti jellemzők és alacsony költségek. Azonban az általánosan elterjedt laboratóriumi modell-vizsgálóberendezések közül csak kevés teszi lehetővé nagy felületi terhelések alkalmazását, ilyen például a HENGER-SÍK elrendezés. Ide vonatkozó példát keveset találtam a polimertribológiával foglalkozó szakirodalomban.

A korszerű bevonatok tipikus képviselője a gyémántszerű karbonbevonatok (DLC) családjába tartozó DLN bevonat. Kifejlesztése során nagy kopásállóságú, kis felületi adhézióval rendelkező bevonat létrehozása volt a cél. A DLN bevonatok tribológiai jellemzőivel foglalkozó szakirodalom nem tekint vissza hosszú múltra, és napjainkban egyre bővül.

Munkám célja műszaki műanyagok féltermékeiből, illetve kompozitjaikból forgácsolással előállított próbatestek súrlódási és kopási tulajdonságainak vizsgálata különböző rendszerekben. Az eredmények értékelésekor a rendszerhez tartozó jellemzők összehasonlításán kívül célokom a rendszertől független törvényszerűségek értékelése. Az értékelésben és a következtetésekben

megjelenő új információk részben alapkutatói eredmények, részben a mérnöki gyakorlat számára (csapágytechnika, hajtástechnika, csúszóvezetékek stb.) közvetlenül felhasználható ismeretek legyenek. A vizsgált műanyagok kiválasztása elsősorban a műanyag gépelemeket (csapágyakat, fogaskerekeket, csúszóvezetékeket stb.) gyártók és felhasználók igényeinek a felmérése alapján történt.

1. A kutatás módszerei, anyagok

Polimer hengeres próbadarabok

A műszaki gyakorlat igényeinek feltérképezése alapján, a poliamidok közül a **PA 6G** (ERTALON 6 PLA) nátriumos katalizálású típust, a **PA 6G k** (ERTALON LFX) szintén nátriumos katalizálású poliamidot vizsgáltam, amely ásványi olajat (ondina minőség) tartalmaz (egyenletesen diszpergált \varnothing 2–6 μm átmérőjű olajgömbök formájában). Ugyanakkor a poli(oxi-metilén) (poliacétál) a homopolimer **POM-H** (ERTACETAL H) és a poli(etilén-tereftalát) szilárd PTFE (teflon) tartalmú típusa, a **PETP k** (ERTALYTE TX) is szerepelt a mérésekben. A vizsgálatban szerepeltek még a **PA 6G–Mg** (TERAMID) márkanevű anyagok is.

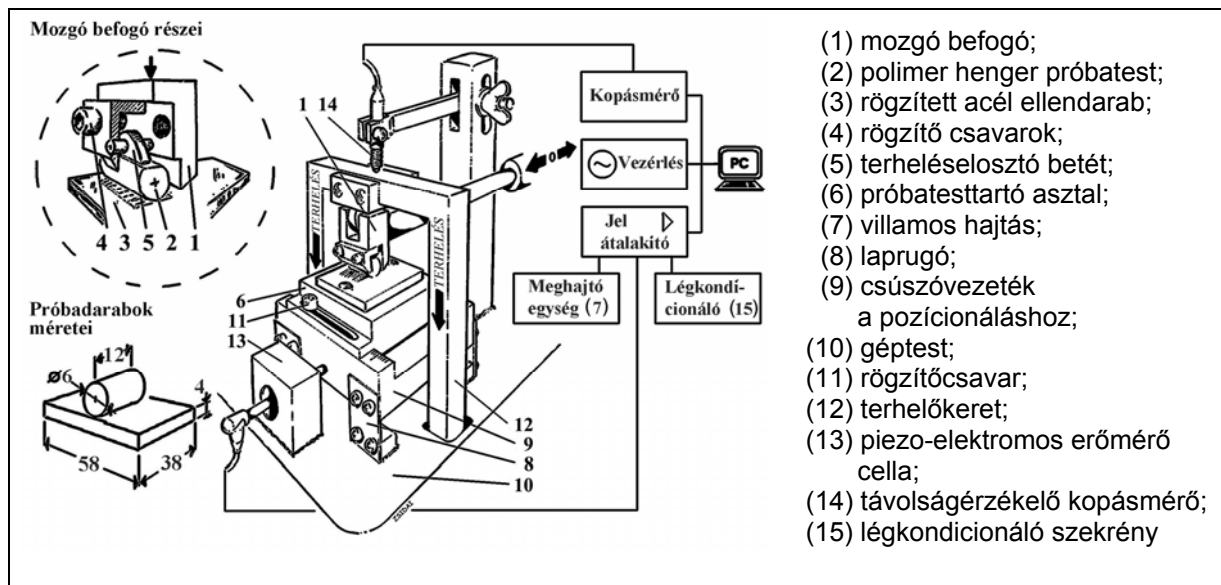
Acél ellendarab HENGER-SÍK és TŰ-TÁRCSA vizsgálatokhoz

A polimer próbatetek ellenfelülete nemesített 40CrMnNiMo8 (BÖHLER M238 ECOPLUS, DIN 12738) ötvözött szerkezeti acél. Jellemzői: keménysége 300 HV; rugalmassági modulusa $E=210\text{GPa}$. A HENGER-SÍK vizsgálatoknál az acéllapok felülete kétféle. A próbatetek felét finoman köszörülték ($R_a=0,1-0,3\approx R_z = 0,6-1,6\ \mu\text{m}$, továbbiakban ezt a felületet „D” betűvel jelölöm), a többi felületet köszörülés után políroztam ($R_a = 0,02-0,08\approx R_z = 0,1-0,4\ \mu\text{m}$, továbbiakban ezt a felületet „S” betűvel jelölöm).

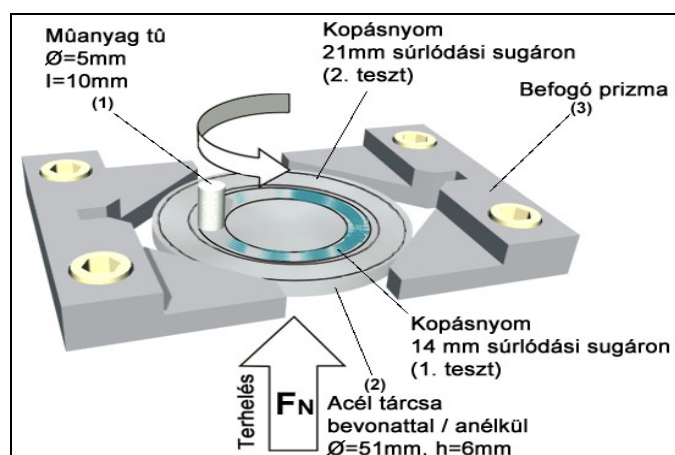
A RŰD-TÁRCSÁN mérésekhez acél (a HENGER-SÍK vizsgálatokkal megegyező anyagminőség) ellentárcsát használtam, amelyek egy részét DLN bevonattal láttam el, másik része DLN bevonat nélkül készült. A DLN 180 az oxigént tartalmazó DLC bevonatok széles típusválasztékának Si hozzáadásával készített változata 2 μm vastagsággal és 1500 HV keménységgel.

Berendezések

A kísérleti berendezés, amelyet az 1. ábra (a) része mutat be, kis amplitúdójú rezgő vizsgálatra alkalmas széles körben használt PLINT tribometer (TE 77 High Frequency Tribotest). A próbatetek méretei szintén láthatóak az 1. ábrán.



1/a ábra PLINT TE 77
 nagyfrekvenciás súrlódásvizsgáló berendezés felépítése
 és a próbadarabok méretei



1/b ábra A próbatestek
 elhelyezkedése és mérete a TŰ-TÁRCSA vizsgálati
 rendszerben

Vizsgálati paraméterek

A HENGER-SÍK rendszerben a ténylegesen értékelt méréseket számos próbamérés előzte meg a konkrét vizsgálati beállítások meghatározására, amelyeket az *1. táblázatban* láthatunk.

Vizsgálati paraméterek

Vizsgálati paraméterek	I. kategória		II. kategória	
Acél ellendarab felületi érdessége, R_z [μm]	0,1–0,4	0,6–1,6	0,1–0,4	0,6–1,6
Vizsgálat időtartama, t [óra]	2		1	
Terhelés, F_N [N]	100		200	
Elmozdulás frekvenciája, f [Hz]	30			
Sebesség, v [m/s]	0,27			
Lökethossz, s [mm]	4,62			
Relatív páratartalom, RH [%]	50			
Környezeti hőmérséklet, T [$^{\circ}\text{C}$]	30			

2.1 TÚ-TÁRCSA modell vizsgálati eszközök, vizsgálati paraméterek

Ebben a modellrendszerben a vizsgálatok fő célja a kisméretű polimer próbatestek acéllal és DLN (gyémántszerű karbon bevonat) bevonattal szembeni csúszósúrlódási jellemzőinek meghatározása volt.

Berendezés

A 1. ábra (b) része mutatja a laboratóriumi mérőberendezés (WAZAU TRM 1000 tribométer) vázlatát a fő elemekkel, ezek elrendezésével (szabvány: ASTM 699-95a). A vizsgálatok alatt a fém ellentárcsa adott pontján mértem a súrlódó tárcsa hőmérsékletét, amit a későbbiekben tárcsahőmérsékletnek nevezek.

Vizsgálati paraméterek

A konkrét vizsgálati paraméterek a 2. táblázatban láthatók. Mindkét kategóriában két súrlódási sugáron végeztem a vizsgálatokat tárcsánként.

TÚ-TÁRCSA vizsgálati paraméterek

VIZSGÁLATI PARAMÉTEREK	I. kategória	II. kategória
Lemez/tárcsa R_z felületi érdessége, [μm]	0,04–0,08	
Vizsgálat időtartama, t [óra]	1	
Terhelés, F_N [N]	10 ($\approx 0,5$ MPa)	35 ($\approx 1,78$ MPa)
Sebesség, v [m/s]	1	0,5
Relatív páratartalom, RH [%]	50	
Környezeti hőmérséklet, T [$^{\circ}\text{C}$]	20–25	
Súrlódási sugár, r [mm]	14, 21	

Kiegészítő vizsgálatok

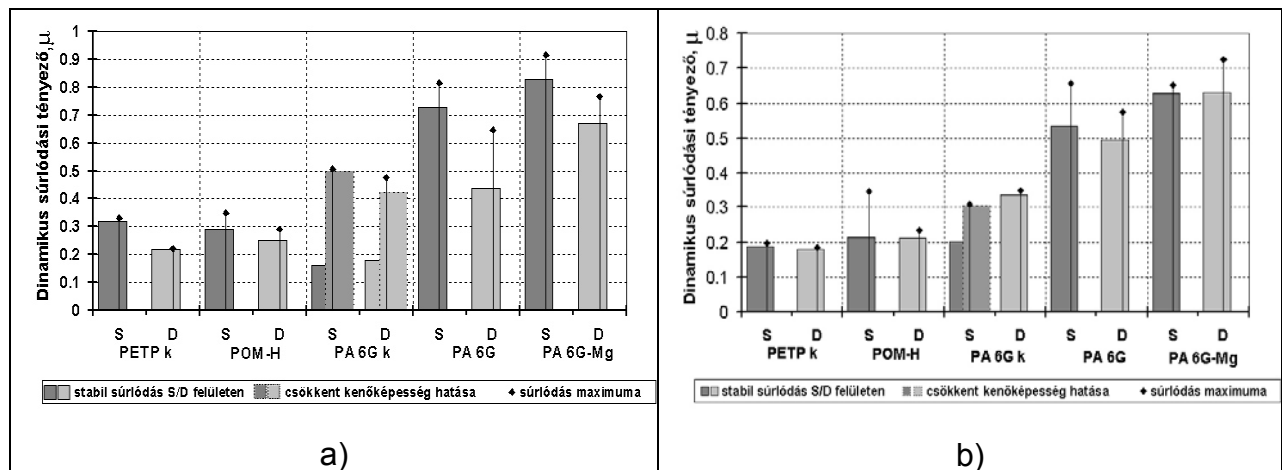
A felületre tapadt folyadékcsepp érintkezési szögének mérésére a közismert Sessile Drop (SD) eljárást alkalmaztam. Vizsgálataim során két eltérő folyadékot, vizet és diiodometánt (CH_2I_2) külön-külön alkalmaztam csepp formájában a felületi energia diszperziós és poláris összetevőjének meghatározásához. Ezek összegzésével határoztam meg a teljes felületi energia értékét.

A súrlódási vizsgálatokat követően a csúszási felületeket is feltérképeztem arra vonatkozólag, hogy milyen mértékű polimerletapadás jött létre rajtuk a csúszósúrlódás során. A felületekről azok tanulmányozásához mindkét vizsgálati csoportban készültek felvételek (példa: 4. ábra (b) része). Eltérő módon (két eltérő súrlódás előtti, R_{z1} és az azt követő, ugyanazon a helyen mért R_{z2} értékének különbségével, és az érdességi profil kirajzolásával) végeztem el a rétegvastagságok vizsgálatát.

3. Vizsgálati eredmények

3.1 Polimerek acélfelületen vizsgált csúszósúrlódási és kopási eredményei, HENGER-SÍK laboratóriumi modellrendszerben

Az I. és a II. kategóriában mért dinamikus súrlódási tényezők értékeit a 2. ábra foglalja össze. Minden műanyagnál az első oszlop a sima ($R_z = 0,1-0,4 \mu\text{m}$), a második oszlop pedig az érdes ($R_z = 0,6-1,6 \mu\text{m}$) fémfelületen mért dinamikus súrlódási tényezőt jelöli. Minden esetben az oszlopok magassága a súrlódási tényező uralkodó értékét képviseli, ugyanakkor a mérési idő alatt mutatott maximális súrlódási tényezőt az oszlop feletti fekete ponttal jelöltem.



2. ábra. Eltérő polimerek dinamikus súrlódási tényezői eltérő érdességnél

(a) I. Kategóriában mérve (csúszási úthossz 2000 m, $F_N = 100 \text{ N}$, felület:

„S” ($R_z = 0,1-0,4 \mu\text{m}$) és „D” ($R_z = 0,6-1,6 \mu\text{m}$)

(b) II. Kategóriában mérve (csúszási úthossz 1000 m, $F_N = 200 \text{ N}$, felület:

„S” ($R_z = 0,1-0,4 \mu\text{m}$) és „D” ($R_z = 0,6-1,6 \mu\text{m}$)

A súrlódás során létrejött teljes méretcsökkenés és az ebből számított fajlagos kopásértékek a 3. táblázatban láthatók.

3. táblázat

A teljes méretcsökkenésből számított fajlagos kopás 2000 m csúszási úton 100 N terhelésen, és kopás 1000 m csúszási útra, 200 N terhelésen

Normál terhelés, (N)	Felületi minőség	PETP k		POM-H		PA 6G k		PA 6G			PA 6G-Mg
		Kopás, (μm)	Fajlagos kopás, ($\text{mm}^3 \text{N}^{-1} \text{m}^{-1}$)	Kopás, (μm)	Fajlagos kopás, ($\text{mm}^3 \text{N}^{-1} \text{m}^{-1}$)	Kopás, (μm)	Fajlagos kopás, ($\text{mm}^3 \text{N}^{-1} \text{m}^{-1}$)	Kopás, (μm)	Fajlagos kopás, ($\text{mm}^3 \text{N}^{-1} \text{m}^{-1}$)	Kopás, (μm)	Fajlagos kopás, ($\text{mm}^3 \text{N}^{-1} \text{m}^{-1}$)
100	S	37	$1,46 \times 10^{-6}$	8	$1,51 \times 10^{-7}$	78	$4,79 \times 10^{-6}$	162	$1,35 \times 10^{-5}$	101	$6,29 \times 10^{-6}$
	D	30	$1,02 \times 10^{-6}$	27	$8,99 \times 10^{-7}$	479	$6,35 \times 10^{-5}$	267	$2,72 \times 10^{-5}$	129	$9,13 \times 10^{-6}$
200	S	22	$6,54 \times 10^{-7}$	13	$3,02 \times 10^{-7}$	64	$3,3 \times 10^{-6}$	65	$3,33 \times 10^{-6}$	177	$1,45 \times 10^{-5}$
	D	25	$8,21 \times 10^{-7}$	18	$4,72 \times 10^{-7}$	141	$1,04 \times 10^{-5}$	294	$3,29 \times 10^{-5}$	706	0.000113

Az ábrázolt értékek mindegyike a háromszor ismételt azonos jellemzőkön végrehajtott mérés átlagát jelöli.

3.2. Műanyagok eltérő felületeken vizsgált súrlódási és kopási eredményei TÚ-TÁRCSA modell rendszerben

A 3. ábrán összegzem az 1m/s-10 N terhelésen (I. kategória) vizsgált műszaki műanyagok dinamikus súrlódási jellemzőit, a) DLN és b) acélfelületen mérve, az ábra c) és d) része pedig ugyanezen felületeknek és mérési kategóriáknak megfelelően mutatja a tárcsatest és a súrlódó felület véghőmérsékletét.

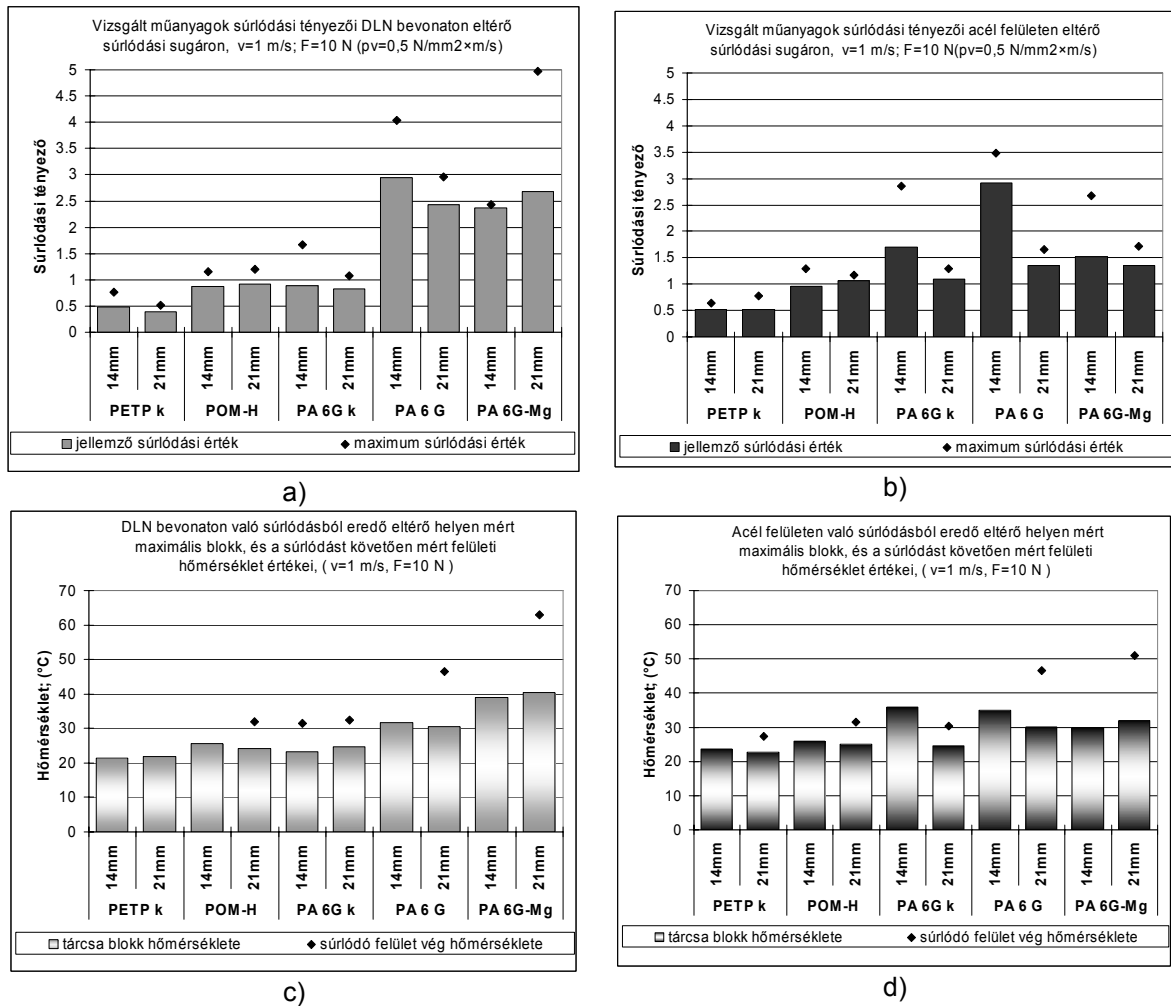
Hasonló módon az oszlopmagasságokkal ábrázoltam a vizsgálat alatt folyamatosan a tárcsa adott pontjában mért testhőmérséklet által elért maximális értéket. Az oszlopok felett látható ponttal a mérés megállítását követően a súrlódási nyomban (felületen) mért hőmérsékleteket ábrázoltam.

4. Eredmények

A műanyag henger-acél sík páron (cylinder on plate) váltakozó irányú csúszómozgás mellett végzett kutatásaim alapján a következőket állapítottam meg:

- A csúszósúrlódási tényezők a vizsgálat kezdetén csak kismértékben ($\mu_{\text{kezdeti}} = 0,15-0,25$) térnek el egymástól, majd – a műanyag típusától függően – változnak. Az egyes polimertípusoknál jelentősen eltér az ál-

landósult – steady-state – állapot eléréséhez szükséges csúszási úthossz.



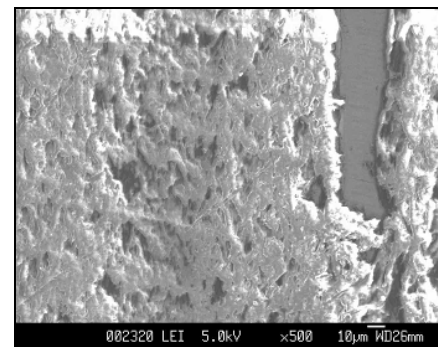
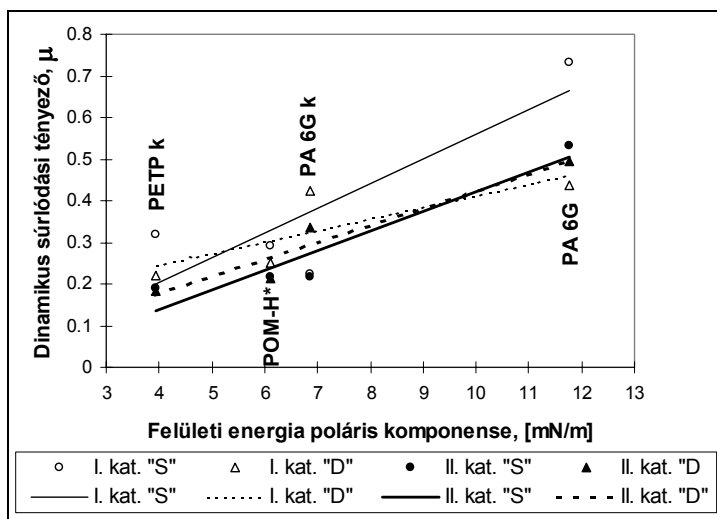
3. ábra. Eltérő polimerek 1m/s csúszási sebességen, 10 N terhelésen, 14 vagy 21 mm súrlódási sugáron mért dinamikus súrlódási tényezője és hőmérsékletei $R_z = 0,04-0,08 \mu\text{m}$ felületi érdességnél (I. kategória)

- DLN bevonaton mért súrlódási tényezők és azok maximális értékei,
- acélfelületen mért súrlódási tényezők és azok maximális értékei,
- DLN bevonattal ellátott tárcsában keletkező adott ponton mért (test) hőmérséklet maximuma, és a súrlódási nyomokban mért felületi véghőmérséklet,
- acéltárcsában keletkező adott ponton mért (test) hőmérséklet maximuma, és a súrlódási nyomokban mért felületi véghőmérséklet.

– A csúszósúrlódási tényezők változásának jellege és a stabilizálódott súrlódási tényező értéke függ az acél ellenfelület érdességétől és a terheléstől. Érdesebb felületen ($R_z = 0,6-1,6 \mu\text{m}$), valamint nagyobb

terhelésen (FN=200 N) a súrlódási tényező kisebb. Ettől csak a kenőolajat tartalmazó poliamid tér el, ahol nagyobb terhelésen a súrlódási tényező a durvább felületen nagyobb lett, mint a simább (Rz = 0,1–0,4 μm) felületen. Kisebb terhelésen (FN = 100 N) nagyobb az eltérés a simább és a durvább felületen mért súrlódási tényezők között, ami arra utal, hogy ott erősebben érvényesül a csúszó felületek között kialakuló adhézió hatása.

- A statikus súrlódási tényezőre általában igaz, hogy minden vizsgálati beállítás mellett a teljes mérési időtartamban 55–65%-kal haladja meg a dinamikus súrlódási tényező értékét, és jól követi annak lefutását.
- Szoros összefüggés van a műanyagok felületi energiája és súrlódási tényezője között: a nagyobb poláris felületi energia komponenshez magasabb súrlódási tényező tartozik (4. ábra a) része).
- Szoros összefüggés van a súrlódás során, az acél ellenfelületen kialakult műanyagréteg és a súrlódási tényező között. Ott, ahol magas szinten állandósult a súrlódási tényező (9. ábra (b) része), az acélfelületen durva, vastag műanyagréteg alakult ki.



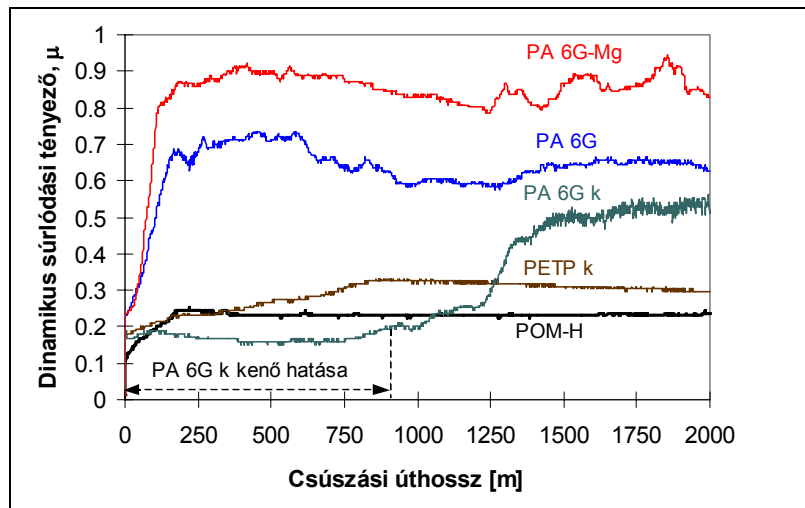
b)

a)

4. ábra A mérések eredményeként kapott dinamikus súrlódási jellemzőket a poláris felületi energiák függvényében ábrázoltam (a) PA 6G az acél „S” felületén 500-szoros és PA 6G k (b)

- A polimerbe bevitt kenőanyag hatékonysága a súrlódás csökkentésében függ a kenőanyag típusától. A PTFE – mint szilárd polimer kenőanyag – a teljes súrlódási folyamatban hatékony maradt. A kenőolaj-tartalom a súrlódás kezdeti szakaszában tartotta kis értéken a súrlódá-

si tényezőt, amely a súrlódás előrehaladtával magasabb szinten állandósult (5. ábra). Az olaj hatékonysága függött a felületi érdességtől. A durvább acélfelületen hamarabb kezdett növekedni a súrlódási tényező, mint a simább felületen: kis terhelésen ($F_N=100\text{N}$) a növekvő súrlódási tényező értéke megközelíti a kenőanyag nélküli kivitel értékét. Ebben az esetben a súrlódási tényező növekedése ellenére az olaj megakadályozta, hogy az acélfelületen jelentős műanyagréteg alakuljon ki.



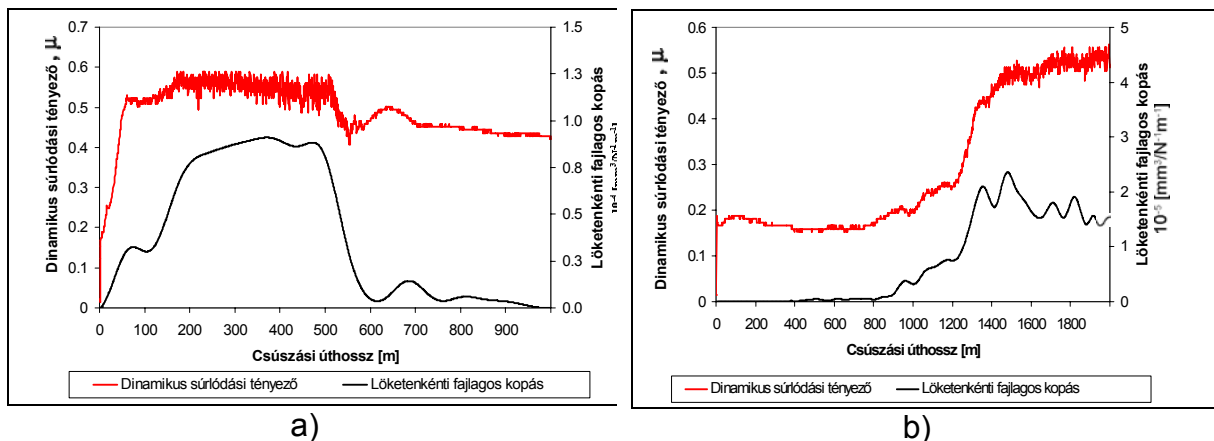
5. ábra Eltérő műanyagok dinamikus súrlódási tényezői S felületen, 100N terhelésen mérve (minden anyagnál három ismételt mérésből kiemelt egy-egy példa görbe látható)

A felületen képződött polimerréteg és a kopás között a következő összefüggéseket találtam:

- Ha nem képződik durva polimerbevonat az acél ellenfelületen, a műanyagok kopása nem követi azt a tapasztalati összefüggést, hogy a kopás arányos a terheléssel és a csúszási úttal. Egy kivételtől (POM H sima felületen) eltekintve, a fajlagos kopás ($dV F_N^{-1} L^{-1}$) 100 N terhelésen 2000 m csúszásút alatt nagyobb lett, mint 200 N terhelésen, 1000 m csúszásút alatt.
- A durvább ellenfelületen csúszó műanyagok kopása, egy kivételtől eltekintve (PETP k, $F_N=100\text{ N}$) mindig nagyobb, mint a simább felületen csúszóké, ami arra utal, hogy a kis felületi érdességek ellenére is fontos szerepet játszik a kopás kialakulásában a felületi érdesség okozta alakváltozás. A PETP k eltérése abból adódhat, hogy PTFE film kerül a felületre, és ez csökkenti a felületi érdességek hatását.

Összefüggést találtam a súrlódás és a kopás között:

- Annak ellenére, hogy nincs általában szoros összefüggés a súrlódás és a kopás között, a mérési eredmények azt mutatják, hogy kisebb terhelésen nagyobb a súrlódási tényező, és ott nagyobb a fajlagos kopás is, ha nem alakul ki durva műanyagréteg az acél ellenfelületen. Jól szemlélteti ezt a 6. ábra (a) és (b) része, amelyek bemutatják a súrlódási tényező és a vizsgálat alatt folyamatosan mért kopásból és alakváltozásból számított löketenkénti fajlagos kopás változását a mérés folyamán. Ahol a súrlódás csökkent, ott csökkent a kopás is. Ahol a durva felrakódott polimerréteg miatt megnövekedett a súrlódási tényező, növekedett a kopás is.



6. ábra (a) PA 6G $F = 200$ N terhelésen és „D” felületi érdességen (291. számú mérés) (b) PA 6G k $F = 100$ N terhelésen és „S” felületi érdességen (91. számú mérés) dinamikusan súrlódási tényezőjének és a löketenkénti fajlagos kopásának változása a csúszási út függvényében

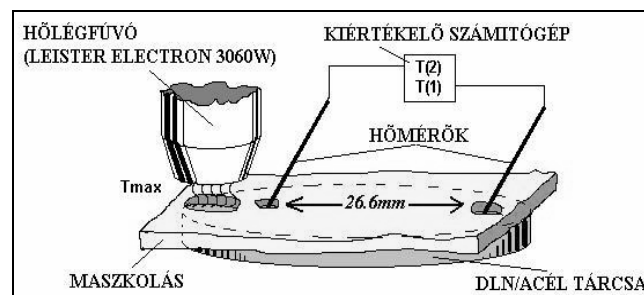
- A kutatási rendszerben a súrlódás és kopás között összefüggések igazolják, hogy az öntött poliamid 6-os anyagminőségben belül a gyártástechnológia befolyásolja az anyag tribológiai tulajdonságait: a súrlódási tényező változása a kopás jelentős változását idézte elő a natúr töltetlen mátrixú anyagnál (PA 6G) és az olajadalékot tartalmazó kompozitnál (PA 6G k) egyaránt. A súrlódás stabil szakaszán a fajlagos kopás kicsi. PA 6G-Mg esetében nem állapítható meg szoros összefüggés a kopás és a súrlódás között.

A műanyag rúd-acél síktárcsa páron (pin-on-disc) egyirányú csúszómozgással végzett kutatásaim alapján a következőket állapítottam meg:

- A súrlódási tényező függ a műanyaggal párosított ellenfelület típusától: a DLN bevonatú acélfelületen csúszó műanyag súrlódási tényezője határozottan eltér a tiszta acélfelületen csúszó azonos műanyag súrlódási tényezőjétől annak ellenére, hogy a felületek érdessége között nincs jelentős különbség. Kivétel a PTFE adalékolású PETP, ahol mindkét terhelésen ($F_N=10$ és 35 N) közel azonos a súrlódási tényező, amely az ellenfelületeken kialakult vékony polimerfilm eredménye.
- A műanyagok súrlódási ellenállása összefügg az acél és DLN felületeken kialakult polimerfilm-réteggel. A mérési eredmények és fényképfelvételek tanúsítják, hogy ahol alacsony a súrlódási tényező, ott vékony, szinte elhanyagolható a letapadt polimerfilm. Nagyobb súrlódási tényezők esetén vastagabb, durvább letapadt műanyagréteg képződik az ellenfelületen.

A felületi energia és a hővezetés hatását a következőkben mutattam ki:

- Az acélfelületre felvitt DLN bevonat kisebb felületi energiával rendelkezik, ami általában csökkenti a súrlódás adhéziós komponensét. Ezt a hatást az üzemi körülmények – pl. a hővezetési viszonyok – befolyásolják. Az egyes műanyagok súrlódási viselkedése a DLN felületen ket-tős: a POM-H és PTFE adalékolású PETP esetén érvényesül a kisebb felületi energia kedvező hatása, míg a Mg-mal és a Na-mal katalizált öntött poliamid 6 típusok esetében az üzemi körülmények (hővezetés) hatása a meghatározó.
- Mérési módszert dolgoztam ki (7. ábra) annak igazolására, hogy a kutatási rendszerben használt DLN bevonatú acéltárcsa hőelvezető képessége rosszabb, mint a nem bevont acélé. Ennek hatására a poliamidok súrlódási tényezői magasabbak (8. ábra).

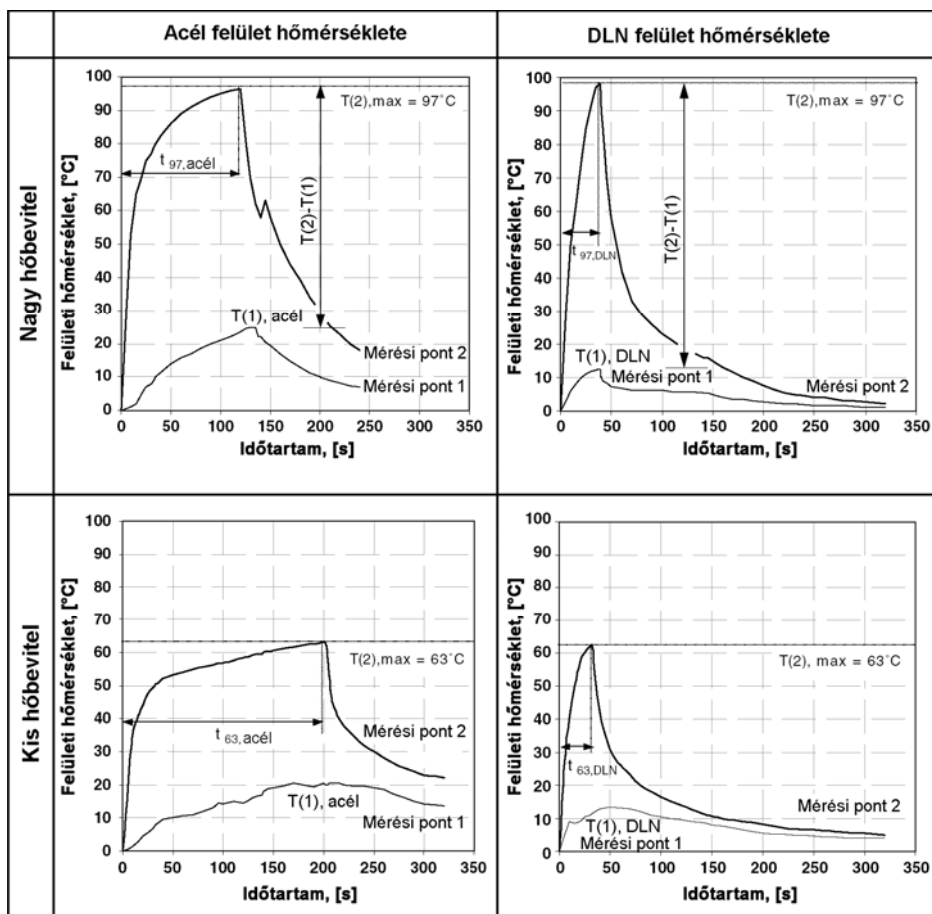


7. ábra Gyorsvizsgálati módszer annak meghatározására, hogy mely tárcsának rosszabb a hővezetése (T_{max} - maximális hőmérséklet a hőbevitel helyén, $T(2)$ - hőbevitelhez közelebb mért hőmérséklet, $T(1)$ - hőbeviteltől távolabb mért hőmérséklet)

7. Következtetések, javaslatok

Az elvégzett vizsgálatok alapján röviden tekintsük át azokat összefüggéseket, amelyek segítséget jelenthetnek a gyakorlati alkalmazások terén:

- A vizsgált anyagok közül a PTFE adalékolású PETP (PETP k) és a POM-H a legalkalmasabb nagy felületi nyomással szembeni sikló-csapágyanyagnak, mivel alacsony súrlódási tényező mellett kopásálló is.
- A felületi érdességek és a súrlódási tényezők feltételeznek egy optimális felületi érdességet, amely PETP k és POM-H esetében kisebb, mint PA-nál. A fajlagos kopás poliamidok esetében nagyobb, érdesebb felület mellett.
- A poliamidok belső olajkenésének hatékonysága eltér a PETP k szilárd PTFE tartalmának hatékonyságától. A kenés hatékonysága PA 6G k esetében erősen függ a terheléstől és a felületi érdességtől, végső esetben meg is szűnhet. Az olajjal szemben a PTFE szilárd kenőanyag súrlódásra gyakorolt hatása sokkal stabilabb. Feltehetően a szilárd kenőanyag felszínre jutásával PTFE film képződik, amely lényegesen csökkenti a súrlódást és a stick-slip hatást.
- PA 6G-Mg és PA 6G esetében leolvadások voltak megfigyelhetők a nagy terhelés alatt érdes felületen végzett méréseknél, ami a műanyag túlterhelésére utal. Ugyanakkor az olajadalékolású PA 6G k esetében nem tapasztaltam leolvadást.
- A kenőhatás megszűnése PA6G k esetében szintén az anyagra értelmezhető túlterhelést jelenti, mivel megszünteti az olaj kenési mechanizmusát. Ugyanakkor a szilárd kenőanyag (vizsgálataimban PTFE) folyamatosan kifejti kedvező hatását, nagy terhelésen is.
- A vizsgálatokból kiderült, hogy a DLN felület hővezetése elmarad az acélé mögött, és ez kedvezőtlenül hat a PA 6G és PA6G-Mg súrlódására. A polimerátvitel és a megolvadások mértéke nagyobb hőmérsékleten tovább növekszik, elősegítve az erős adhézióval járó polimer/polimer súrlódó párok kialakulását.
- Megállapítható, hogy a gyémántszerű karbonbevonatok (DLN) előnyösen alkalmazhatók PETP k POM-H, PA 6G k esetében. Ezen műanyagok súrlódása alacsony szinten marad, így az ellenfelület hőelvezetési jellemzői kisebb szerepet kapnak. Az adott rendszerben a súrlódási jellemzőket elsősorban a felületek adhéziós jellemzői határozzák meg.



8. ábra Az eltérő hővezetés vizsgálatának eredményei DLN bevonattal ellátott és bevonat nélküli acéltárcsa esetében

A téma által felvetett, további kutatási területeket érintő javaslatok:

- A tribológiai vizsgálatok egyik alapterülete a kopásmérés. Vizsgálataimban felvettem a nem illeszkedő (counterformal) érintkezésnél végzett kopásmérés problémáit, amelyek a műanyag deformációjára vezethetők vissza. Jövőbeli feladatként megoldási eljárás kidolgozása javasolt, amely lehetővé teszi a mért kopásértékek pontosítását, az anyagtól és a kopásmélységtől függően.
- A DLN bevonatok meglévő kedvező tulajdonságainak (nagy keménység, jól irányítható felületi érdesség, alacsony felületi energia) mind szélesebb körű kihasználása érdekében indokolt lenne javítani a DLN-nel bevont felület hővezetési jellemzőin. Megoldásként felmerülhet a felület hűtése, a megfelelő beépítés és konstrukciós kialakítás, esetleg a DLN bevonat összetételének a módosítása. Ugyanakkor további vizsgálatok szükségesek, a hővezetési probléma okainak pontos meghatározásához.

Kutatómunkámat segítette az OMFB Tét B-9/98, az OTKA T 32590, T 42511 és a Tét B-1/04 számú kutatási projekt.

Röviden...

Zene a falakból

A falból, a mennyezetből, a padlóból áradó zenéhez szükséges berendezéseket a PUR-habot feldolgozó Puren GmbH (Überlingen), a Siemens AG (München) elektronikai vállalat és a Bayer (Leverkusen) anyagkutatói közösen dolgozták ki.

A fürdőszobai csempékből Händel „Vízi zenéjét” hallgathatjuk zuhanyozás alatt vagy a „Jurassic park”-ot nézve a TV-ben dinoszauruszok léptei düböröghetnek a mennyezetből. Ezekhez az élvezetekhez a Siemens szabadalma alapján gyártott rezgő felületek – hangfalak – segítségével juthatunk. A Desmophen és Desmodur poliuretánból (Bayer) készített 7 mm vastag lapokat a hátoldalukon levő hanggenerátor rezegteti. Ez a fal a Siemens digitális technológiájával hűen közvetíti az eredeti hangzást akkor is, ha kárpittal, gipsszel, vagy csempével borítják. A hang nem egy kiválasztott pontból szól, mint egy szokásos hangszóró esetén, hanem az egész felületről. Ez azért lehetséges, mert a vibráló felület hangkibocsátási szög szélessége kétszerese a hagyományos hangszóróénak. A purSonic bevezetési ára 8000 EUR körül van.

(*Modern Plastics International*, 34. k. 9. sz. 2004. p. 16.)

MŰANYAG ÉS GUMI	
a Gépipari Tudományos Egyesület, a Magyar Kémikusok Egyesülete és a magyar műanyag- és gumiipari vállalatok havi műszaki folyóirata	
A 2005. májusi-júniusi szám tartalmából	
május	június
Polimerbetongyár Sümegen	Beruházások a BorsodChemnél 2003–2006 között
A Budaplast Rt. termékei a mély- és közműépítés, valamint a szennyvíztisztítás területén	Polimerhulladékok ártalmatlanítása szuperkritikus vízzel
Tojásszelvényű üvegszál-erősítésű homoktöltésű poliészter csatornacsövek anyagösszetételének és mechanikai tulajdonságainak kapcsolata	Környezettudatos műanyag hulladék-hasznosítás: energiatakarékos termelés, feldolgozás és gyártmányfejlesztés
A 7. Chemexpo Hungaroplast és Hungarorubber szakkiállításainak tapasztalatai	A CoolClean Ipari Tisztítási Szolgáltató és Kereskedelmi Kft. szárazjeges tisztítási tapasztalatai a műanyag- és gumiiparban
3P gyanták nedvességfelvételének vizsgálata	Folyékony tömítések – új lehetőségek a tömítéstechnikában
Rétegek közötti szilárdság vizsgálata ELS típusú üveg/poliészter kompozit próbatesteken	Szárazjeges tisztítás mint technológiai eljárás és műanyagipari alkalmazása
Textilüveg termékek továbbfejlesztése és erősítő hatása	Visszaváltható PET palackok tönkremeneteli okainak elemzése
Szerkesztőség: 1371 Budapest, Pf. 433. Telefon: (36-1) 210-7819, 201-201/1451 Telefax: (36-1) 202-0252	