

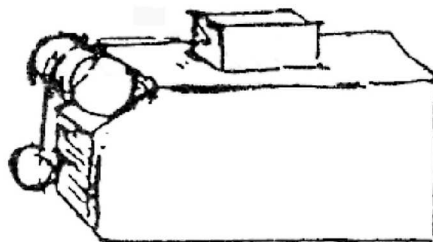
## VÁLASZOK

### Dr. Török Tamás professzor úr bírálatára

Köszönöm az értékes bírálatát, a megfogalmazott kérdéseire az alábbiakban szeretnék válaszolni:

1. A doktori mű 2. oldalán olvasható: „...az anyagminőség meghatározó szerepét a súrlódás és a kopás terén már Leonardo Da Vinci is felismerte.” Kérdezem, hogy a tisztelt Szerző hol bukkant erre a megállapításra?

A súrlódást, mint fizikai jelenséget, már az őskorban is hasznosították. A súrlódás és kopás csökkentése, kezelése a technikai fejlődés során mindig előtérbe került, de Leonardo Da Vinci volt az első olyan dokumentált kutató, aki módszeresen foglalkozott a problémával. Leonardo, bár nem pontosította a súrlódási erő fogalmát, de megalkotta az első súrlódásvizsgáló próbapadot (mai nevén tribométert), amelyet az eredeti formájában ma is használnak a súrlódási tényező meghatározásához [1]. Számos hazai és nemzetközi szakkönyv, jegyzet ismerteti Leonardo munkáját, az 1. ábrán bemutatott rajza világhírű. A tribológia (helyesebben a súrlódással foglalkozó tudományágak, mivel a tribológia műszó csak 1966-ban született) kultúrtörténetét tekintve, D. Dowson „History of Tribology” című könyve [2] a legátfogóbb. Többek között erre is alapozva, magyarul olvashatók Kozma Mihály szakmérnöki jegyzetében [3] (Tribológia alapjai), valamint Valasek István tribológiai kézikönyvében [4] a reneszánsz korának tribológiai vívmányai. Dowson könyvének egész 7. fejezete ezt taglalja, a 126. oldal második bekezdésében pedig az alábbi mondat is olvasható: „.....a 16. századi, gépészeti megoldásokat bemutató könyvek gazdagon tartalmaznak különböző csapágyazásokra vonatkozó elképzeléseket, rajzokat. A csúszó csapágyazásoknál egyre nagyobb mértékben alkalmaztak vasat, acélt, és bizonyítottan érdeklődtek a kis-súrlódású anyagok iránt...”.



1. ábra. Leonardo Da Vinci súrlódás vizsgálati modellje [1]

Leonardo a súrlódás és kopás terén végzett kísérletei alapján törvényeket állapított meg, amit két- három évszázaddal később Amontons és Coulomb definiált. A szakmérnöki jegyzetben olvasható továbbá, hogy „...Leonardo Da Vinci felismerte, hogy a siklócsapágyak működése szempontjából fontos a csapágyanyag minősége, és szintén évszázadokkal korábban tett javaslatot kedvező tulajdonságú csapágyfém összetételére, mint a csapágyfémek felfedezői (Hooke 1684, Babbit 1839). Véleménye szerint a csapágyfém 3 rész rezet és 7 rész ónt tartalmazzon.”

Az említett irodalmakban természetesen az is szerepel, hogy fa/fém/csont/kő súrlódó rendszerekben kenőanyagokat is alkalmaztak, így a növényi olajjal vagy állati zsírral telített farost tekinthető az első tudatos „bio-polimer kompozitnak” a siklócsapágy technikában.

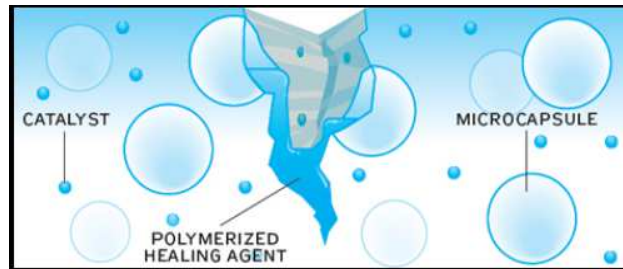
Dolgozatomban a fenti tribológia-történeti ismereteket a terjedelmi és tartalmi korlátok miatt egy rövid mondatban összegeztem: „...*az anyagminőség meghatározó szerepét a súrlódás és a kopás terén már Leonardo Da Vinci is felismerte.*”

## 2. „Önjavító és öngyógyító tribológiai rendszerek” kutatása és fejlesztése, példán keresztül.

A súrlódás és kopás folyamatának aktív befolyásolására a kontakt-zónában a kenéstechnika mellett más eszközök is léteznek, ilyenek az önjavító vagy gyógyító megoldások, amelyek érzékelik a környezeti behatásokat, változásokat (erők, feszültségállapot, extra hőmérséklet, deformációk) és reagálnak rá. Jelen esetben úgy, hogy pl. fékezze a mikro-repedések terjedését, csökkentse a feszültségi állapotot, vagy extra kenőanyagot termeljen, kenőhatást fejtsen ki. Az ötlet – mint oly sokszor a műszaki gyakorlatban – a természet megoldásaira alapoz (pl. a sérült emberi bőr gyógyulása, az erekben és szövetekben történő válaszreakciók). A legegyszerűbb megoldások közé tartoznak azok a szilárd vagy folyékony kenőanyaggal társított polimerek, melyekben egy minimális kopási intenzitás szükséges a kenőanyagok felületre jutásához és a kenőhatás kifejtéséhez. Ilyen anyagok pl. a MoS<sub>2</sub> és kenőolaj tartalmú poliamid 6 kompozitok is.

Fejlettebb megoldást jelent a kétkomponensű aktív védekezés az alapanyagban, melynek alapja White és társainak szabadalma [5]. Ha pl. egy kemény, abrazív részecske megkarcolja a felületet és barázdát vagy mikro-repedést eredményez, a repedés lezárható aktívan. Ehhez három anyagra van szükség: alapanyag, reaktív (ragasztó) anyagot tartalmazó mikrokapszula és katalizátor. A repedés a mikrokapszulákat felsérti és a kétfajta töltő komponens reakcióba lép. A keletkező „ragasztó” (nemcsak adhéziósan, de kovalens kötéssel is kötődhet a

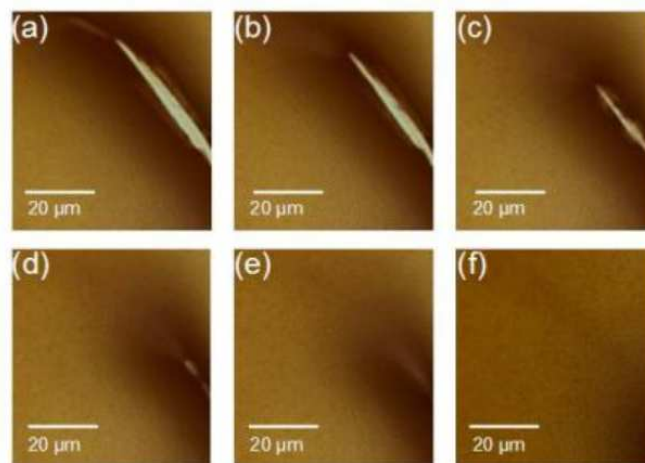
mátrixban) térfogatnövekedés mellett kitölti a repedés csúcsát és rögzíti azt. A 2. ábra egy ilyen rendszert mutat. (forrás: <http://xaide.ro/blog/?p=31>, 2014.02.14.) Ezek a megoldások még jórészt kísérleti stádiumban, folyamatos fejlesztés alatt állnak, ezért viszonylag kevés anyagi rendszer összetétele ismert, a sikeres anyagfejlesztések eredményeit pedig jórészt szabadalmak védik.



2. ábra. Repedést, karcot öngyógyító anyagszerkezet (alapanyag, ragasztó mikrokapszulában, katalizátor)

Ilyen elven működő anyagi rendszert fejlesztettek és kutattak pl. a BME Polimertechnika Tanszéken is, ahol alaplátrixnak epoxigyantát használtak, amelybe a térhálósító katalizátor is került. A mátrixba adalékolt mikrokapszulák fala karbamid-formaldehid (PUF), magja pedig diciklopentadién (DCPD) volt. Czeller Anna magyar nyelven is publikálta ezzel az öngyógyító kompozittal végzett kísérleti eredményeit [6].

Hasonló öngyógyító eredményt értek el a Deakin University kutatói (Ausztrália), ahol polimer nanokompozittal érték el az öngyógyuló mechanizmust. A polimer összetételt szabadalmaztatták. Egy karcolt súrlódási nyom pár perc alatt begyógyul a felületi sérülést követő válaszreakciók által (3. ábra.).



3. ábra. Polimer nanokompozit mikrokarc begyógyulása (Deakin University, Ausztrália) forrás: <http://www.deakin.edu.au/research/ifm/research/self-healing.php>, 2014.02.14.

(a) 2, (b) 10, (c) 20, (d) 40, (e) 60 and (f) 90 másodperc elteltével

További példaként említhető, hogy a Royal Society of Chemistry honlapján a 2011 novemberi hírekben (forrás: <http://www.rsc.org/chemistryworld/News/2011/November/09111101.asp>) japán fejlesztési eredményt ismertettek, ahol térhálós kovalens kötésre alkalmas gél beépítésével érik el a sérült (törött, elvált) felületek újra kapcsolódását.

Tribológiai kutatási területen nem ismeretlen a fél-intelligens, szenzorikán alapuló öngyógyítás, ahol valamilyen mért jellemző (pl. hőmérséklet növekedés) határértéke indít be egy „gyógyulást” katalizáló folyamatot. Ilyen kísérleteket terveztek pl. antiszztatikus vagy Esd anyagokkal, ahol külső potenciálkülönbség mozdítja el az elektronfelhőt, ezzel aktiválva a gyógyító adalékot.

A fejlesztés az öngyógyító anyagok terén folyamatos, de az alapelv nem változik: védekező mechanizmust kell az alapanyagba juttatni, ami a káros hatást kompenzálja.

### 3. Kötések szerepe (H kötés, Van Der Waals)

*„Kedvező körülmények között a két közeledő atomot egy közös proton ( $H^+$  ion) kapcsolja össze, amely erős és stabil kötést biztosít”. Kérdezem, hogy milyen „két közeledő” atomra gondoljak, és ehhez kapcsolódóan jellemezze röviden a hidrogénkötés és a Van der Waals kötés közötti különbséget tribológiai szempontból.*

Polimer anyagszerkezeti kutatásokat nem végeztem, nem a szakterületem, de az idézett mondat fontos a súrlódás adhéziós komponensének megértéséhez. A polimerek súrlódási jelenségét számos szakirodalom tárgyalja (hivatkozva a disszertációban), de a dolgozatomban én terjedelmi korlátok miatt nem tértem ki minden részletre. A polimerek a súrlódó rendszerekben érintkezhetnek másik polimerrel, fémmel, fával, stb, melyet kiegészíthet a kenőanyag is, mely jelentősen befolyásolja az adhézió jelentőségét. Az esetek jelentős részében ionos közegek is megtalálhatók a kontakt-zónában. Buckley [7] és Bely [8] publikált megállapítását - melyre a feltett kérdés vonatkozik - tovább erősíti Sinha [9] „Polymer Tribology” könyvének 3-7. oldalán leírt rész, miszerint a polimer/fém vagy polimer/polimer súrlódó rendszerekben a súrlódás tapadási komponense három fő erőből származik. Előfordulhat lüktető kovalens kötés kialakulása, ha a kapcsolódó felületek atomjainak távolsága nem haladja meg az 5 nm-t. Ettől egy nagyságrenddel gyengébb, de meghatározó kötési jelenség a hidrogénkötés kialakulása. A hidrogénkötés (mely másodlagos kémiai kötés) kialakulásához egy nagy elektronegativitású, kis méretű és nem kötő elektrópárral

rendelkező elem atomja szükséges, amelyhez közvetlenül kapcsolódik egy hidrogénatom, vagy  $H^+$ . Elsősorban három elem képes ilyen kötés kialakítására, a fluor, az oxigén és a nitrogén, melyek gyakori elemek a polimereknél. A hidrogénatom és egy másik F, O, N tartalmú molekulaláncban lévő nem kötő elektronpár alakítja ki a datív kötést (egy-egy irodalmak gyenge kovalens hatásként jellemzik). Hidrogénkötés kialakítására alkalmas hidrogén a sűrűlódó rendszerekben nem elsősorban a stabil  $CH_2$  csoportokból, hanem más funkcionális - pl. a CONH, amid – csoportból aktiválódhat. Az itt lévő H már nem olyan stabil, mint a  $CH_2$  kötés esetén, és képes külső hatásra (energia bevitelre) elektront leadni, az így keletkező aktív  $H^+$  már kötésre kész.

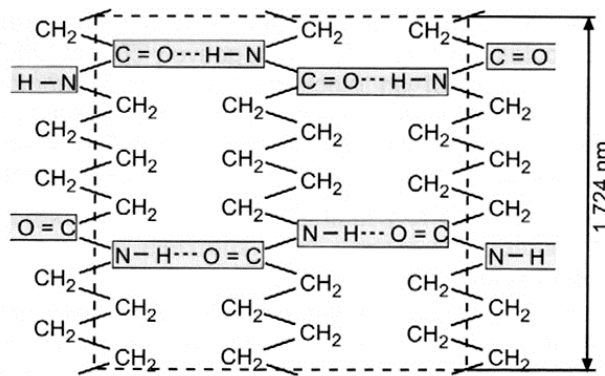
A Van der Waals erő másodlagos kémiai kötés, a hidrogénkötésnél gyengébb kapcsolat. Lezárt elektronhéjú atomok vagy molekulák között alakul ki 1 - 100 nm távolságban, energiája az elsőrendű kötések energiájának kb. huszadrésze. A molekulák közötti kötés, azaz vonzás alapja a molekulán belüli töltésszimmetria, az eltérő töltésű dipólusok vonzása.

A fenti megállapítások jelentős része Sinha [9] könyve mellett Yamaguchi [10] könyvének 1.4. fejezetében is olvasható.

Mindamellet, hogy a leggyengébb kötésnek minősül, tribológiai szempontból a Van der Waals kötések is kritikusak, főleg a hőre lágyuló polimereknél. A sűrűlódási hő hatására kettős jelenség érvényesül: a molekulák közti hőmozgás nagyobb, a molekulaláncok közti távolság nő, így a Van der Waals kötések a sűrűlódó felületek molekulái között kisebb szerepet játszanának. De a hőmérséklet növekedése a mechanikai tulajdonságok gyengülésével a tényleges érintkezési zóna növekedését, a mikrogeometriák közelebb kerülését eredményezi, mely a kovalens kötés kialakulásához is vezethet, továbbá a másodlagos kötések is erősítheti. A tapasztalat ezt igazolja: eredő hatásként általában nő az adhézió a hőmérséklet emelkedésével.

Összegezve: a polimerek sűrűlódásánál kialakuló tapadási zónák elnyírásához szükséges erő (a sűrűlódás adhéziós komponense) az időben dinamikusan változó kötések elszakításához kell. Az érintkezési zónában, üzemszerű alkalmazás során, a hidrogén- és a Van der Waals kötések elnyírása a jellemző, de ritkán kialakulhatnak lüktető kovalens kötések is. Ha a sűrűlódás adhéziós komponensét meghatározó két másodlagos kémiai kötést a kötéserősség szempontjából vizsgálom, akkor a hidrogénkötések létrejötte a sűrűlódó felületek molekulái között a sűrűlódás, de leginkább a kopás szempontjából kedvezőtlenebb. A disszertációban ismerttettem, hogy pl. azonos molekulaszervezetek sűrűlódásánál – pl. PA6/PA6 kapcsolatban – a sűrűlódási tényező igen magas is lehet (0,6 feletti), ami jelentős részben az amid csoport

(CONH) miatt létrejövő hidrogénkötéseknek tulajdonítható. A jelenséget a 4. ábra is mutatja [11].



4.ábra. Poliamid 6 molekulaláncok között kialakuló hidrogén kötés [11]

#### 4. „Kontaktzóna környezetében létrejövő hővillanások keletkezése”.

A súrlódás legyőzésére mechanikai munkát, energiát kell fordítani, mely jelentős részben hővé alakul a súrlódás érintkezési zónájában. A kapcsolatban álló felületek nem egyforma mértékben, de melegednek. A tribológiai rendszer elemeinek tulajdonságaitól, a rendszer szerkezetétől függően hőáramok indulnak meg. Stabil körülmények között a hőegyensúly kialakulása bekövetkezik. Bushan [12] is hangsúlyozza, hogy a kontaktzóna hőtani jellemzésére, a jelenségek feltérképezésére vonatkozóan Block [13] és Jaeger [14] hőforrás modellekre alapozott munkássága megalapozó és meghatározó. Elsősorban fémes kontaktusokra végeztek elemzéseket, de utóbb polimerek, kerámiák esetén is igazolták a jelenségeket. Valasek [15] „Súrlódás és kopás” című cikkében szintén a fenti alpművek, valamint a 70-es és 80-as évek eredményeinek összefoglalásával ismerteti a legfontosabb hőtani jelenségeket. Számos nemzetközi szakcikk mellett e terület eredményeit tömören összegzi Ludema [16] 1996-os könyve is.

Megállapítható, hogy a súrlódási hő viszonylag kis területen keletkezik, ezért a helyi hőmérsékletnövekedés jelentős lehet. A súrlódó felületeken megkülönböztetünk átlagos- és egyedi felületi érdességeken ébredő hővillanásokat.

Az átlaghőmérséklet az anyag tömbi tulajdonságai mellett a felület általános és tartós állapotával – pl. oxid és szorpciós rétegek, szennyezettség, - van kapcsolatban. Fémek esetén megállapították, hogy a hővillanások a diszkrét érintkezési pontokon, illetve pontok között

jönnek létre. Akár 1000°C is keletkezhet, bár egyes irodalmak szerint a 2000°C is [17] elképzelhető, pl. a könnyen oxidálódó alumínium esetén. Ez a fém helyi elgőzölgését, akár plazmaállapot kialakulását is eredményezheti. A hővillanások időtartamát pedig  $3 \times 10^{-3}$  másodpercnél is kisebbnek találták.

A hővillanásoknak meghatározó szerepük van a kemiszorpciók kenőfilm kialakulásában (katalizálásában), a kenőfilm deszorpciójában és/vagy elpárolgásában, továbbá a metallurgiai transzformációkban is. Az első egyértelműen hasznos, a második káros, a harmadik a körülményektől függően lehet hasznos vagy káros.....[15].

Összegezve: a súrlódási folyamatba bevitt mechanikai munka hővé alakul egy viszonylag kis területen, az érintkezési zónában. A hő egy része a tribológiai rendszerre jellemző átlaghőmérsékleteket eredményezi, míg egy része a rendszeren belüli dinamikus hőáramokon, hővillanásokon keresztül nyilvánul meg.

Polimerek esetén is igaz a jelenség. DeBruyne [18] előadásában és szakmai képzési anyagában a termoplasztok kopási folyamatának elemzésénél tért ki a jelenségre. Egy polimer/fém kapcsolatban, a műanyagban keletkező súrlódási hő sokkal inkább képes elvezetődni a jobb hővezetési képességgel bíró fém irányába. DeBruyne, tapasztalatai szerint, a fémekhez képest kisebb hőmérsékletű, hosszabb időtartamú és kiterjedtebb zónában keletkező (már csak azért is, mert nincsenek olyan éles asperit kapcsolatok, mint fém/fém kontaktusban) „heat-flash” jelenséget tételezett fel. Ez a 100 - 400°C körüli jelenség generálja a polimer/fém kapcsolatban - főleg a súrlódás kezdeti szakaszán - a polimer transzfer-film kialakulását.

A hővillanások jelenségét kimutatták kísérleti úton, pl. átlátszó felületek és infravörös kamera használatával, de az utóbbi időben számos hőtani-matematikai modell is született a „flash-temperature” analitikus számítására különböző anyagok, idealizált érdesség-geometriák és eltérő hőforrások feltételezésével. Erre vonatkozó példaként említem Bushan [12] „Modern Tribology Handbook” egyes kötetének 6.1. táblázatát (4. ábra). Van Beek „Advanced Engineering Design” könyvében [19] az 5.4. fejezetben további részletek és minta példák állnak rendelkezésre a hőpartíció és hőmérséklet számításra, elemezve pl. a pin-on-disc és ball-on-disc súrlódó rendszereket.

**TABLE 6.1** Expressions for Maximum Flash Temperature Rise for Various Heat Source Distributions

Shape of Heat Source	Heat Flux Distribution	Figure No.	Maximum Flash Temperature Rise (Steady State)		
			Stationary or Low Speed Pe < 0.1	High Speed Pe > 10	Approximate Expression for All Velocities
Band	Uniform	6.7	$\frac{2qb}{k\sqrt{\pi}}$	$\frac{2qb}{k\sqrt{\pi Pe}}$	$\frac{2qb}{k\sqrt{\pi(1+Pe)}}$
Square	Uniform	6.10a	$\frac{1.122qb}{k}$	$\frac{2qb}{k\sqrt{\pi Pe}}$	$\frac{2qb}{k\sqrt{\pi(1.011+Pe)}}$
Circular	Uniform	6.5	$\frac{qa}{k}$	$\frac{2qa}{k\sqrt{\pi Pe}}$	$\frac{2qa}{k\sqrt{\pi(1.273+Pe)}}$
Circular	Parabolic	6.10b	$\frac{3\pi\bar{q}a}{8k}$	$\frac{2.32\bar{q}a}{k\sqrt{\pi Pe}}$	$\frac{2.32\bar{q}a}{k\sqrt{\pi(1.234+Pe)}}$
Elliptical	Uniform	6.10c	$\frac{qa}{k\sqrt{Se}}$	$\frac{2qa}{k\sqrt{\pi Pe}}$	$\frac{2qa}{k\sqrt{\pi(1.273Se+Pe)}}$
Elliptical	Semi-ellipsoidal	6.10d	$\frac{3\pi\bar{q}a}{8k\sqrt{Se}}$	$\frac{2.32\bar{q}a}{k\sqrt{\pi Pe}}$	$\frac{2.32\bar{q}a}{k\sqrt{\pi(1.234Se+Pe)}}$

4. ábra. Flash-temperature számítás eltérő hőforrások és érdesség-geometriák feltételezésével

Az analitikus számítások mellett a hővillanások során keletkező hő hőmérsékleti és geometriai eloszlását numerikus szimulációkkal a BME-n folyó tribológiai kutatások és PhD munkák is fémjelzik.

5. *A vizsgált acélféleséget és a vizsgált műszaki műanyagokat tekintve hogyan értékeli a Szerző a levegő (oxigén, nedvesség) oxidáló képességét, illetve hatását a súrlódás közben kialakuló adhéziós és egyéb kölcsönhatásokra.*

A vizsgálati rendszereimben reprodukálható, összehasonlító méréseket végeztem, úgy, hogy jellemző mérnöki megoldások üzemi körülményeit közelítsem (terhelés, sebesség, külső hőmérséklet, felületi érdesség, stb.). A vizsgálat előtti próbatetek tisztítása megtörtént. A mérések indításának pillanatát jellemző tisztaságot a rendszer jellemzőjének tekintem, csakúgy, mint a légkondicionált helységben beállítható hőmérsékleti és légnedvesség értékeket. Ez a rendszerjellemző minden egyes méréssorozat esetében kifejti adott hatását, amivel külön nem foglalkoztam, mert a mérési eredmények összehasonlíthatóságát nem befolyásolta.



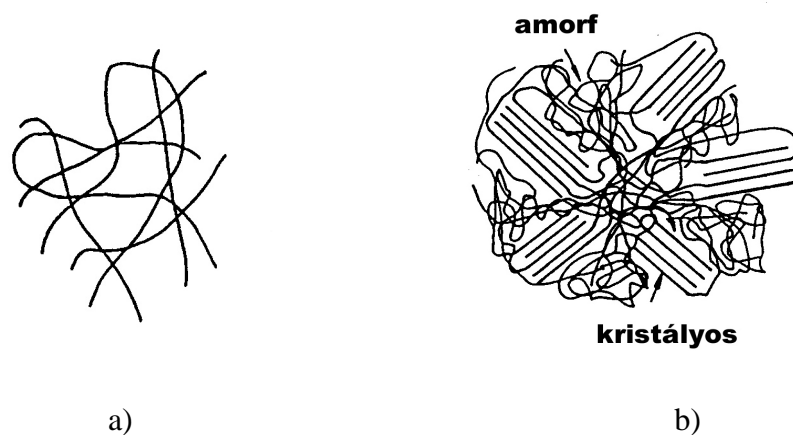
Az a tény jól ismert a szakirodalomból, hogy az oxidáció, a felületi oxid- és szennyeződésekől származó szorpciós rétegek az egyes anyagok adhéziós hajlamát csökkentik, mivel egy alacsonyabb energiaszintű állapotot képviselnek. Az is tény, hogy a kezdeti, kontroll állapothoz képest az eltérően alakuló súrlódási hő eltérő oxidációs folyamatot eredményez, mivel a növekvő hőmérséklet katalizálja az oxidációs jelenségeket. Ezt a tény a vizsgálati folyamat eredményének, a rendszer részének tekintetem.

A súrlódás adhéziós komponensét erősen befolyásoló felületi energia mérését elvégeztem azoknál a méréseknél, ahol azonos alapanyagok (Pl. PA6E) esetén NPIII módosított felületeket is vizsgáltam.

A súrlódás deformációs komponensére elvileg szintén hatással lehet egy új réteg megjelenése a mikrogeometriában, hiszen a mechanikai jellemzői szinte biztosan eltérnek az alapanyagétól. A gyakorlatban én nem mértem, nem bontottam fel a súrlódást komponenseire, az eredő eredményt a vizsgálati rendszerben definiáltam – ezért volt fontos a mérnöki alkalmazások minél jobb közelítése a rendszerben – így az oxidáció, a nedvességtartalom és egyéb légköri szennyezők hatását rendszerjellemzőként kezeltem.

*6. „az amorf műanyagok kopás- és karcállóság (részecske leválás) tekintetében nem vehetik fel a versenyt a részben kristályos anyagokkal”, mely megállapításról kérnék valamivel egzaktabb körülírást.*

A megállapítás mérnöki tapasztalat a gyakorlatból, de a DSM EPP mérnöki továbbképző anyagában [17] és előadásaiban is kifejtette DeBruyne, hogy anyagszerkezeti okokra vezethető vissza a jelenség. A hőre lágyuló amorf műanyagok polimerláncai között a másodlagos kémiai kötések gyengébbek (5./a. ábra), mint a részben-kristályos polimereknél (5./b. ábra), ahol a molekulaláncok közelsége többszörös másodlagos kötésre ad lehetőséget. Ez a mikrogeometria viselkedésében, a részecske leválásban is jelentkezik. Elsősorban a gyengébb mechanikai jellemzők eredményezik a könnyebb karcoldást (maradó alakváltozás) és kopadék (részecske leválás) keletkezést, melyet az amorf anyagok hőérzékenysége is fokoz.



5. ábra. Amorf és részben kristályos polimer molekula láncszerkezet szimbolikus rajza [17]

7. „Kezeletlen és PIII-val kezelt PA6 minták felületi összetétele”, a 76. oldalon), melyeket ugyanakkor nem találtam elégségesen összecsengőnek a műben hivatkozott [Kalácska G. et al 2012] közlemény 1. táblázatában közöltekkel (G. Kalácska et al. / Wear 290-291 (2012) 66-73). Mivel ezekkel a mérési adatokkal kapcsolatosan téziseket (Doktori munka összefoglalójának a 3.4. fejezete, „Ionimplantált polimer felületekkel kapcsolatos új eredmények (tézisek)”: 2., illetve a 2./a, 2/b, 2/c altézisek) is megfogalmazott a Szerző, kérem e felvetésemre adott szíves magyarázatát.

Az észrevétel teljesen megalapozott, sajnos egy olyan kiadói hiba történt a „Wear” (Elsevier Kiadó) folyóiratnál, amit nehezen lehet megmagyarázni.

A disszertációban közölt adatok a kezeletlen és NPIII kezelt PA6 esetében helytállóak, a magyarázó szöveggel összhangban vannak, a téziseket alátámasztják. A „Wear”-ben megjelent cikk magyarázó szövege is korrekt, de nincs összhangban a megjelent végső cikk 1. táblázatának adataival. Ezek a hibás táblázati adatok csak a végső jóváhagyásunk után, a cikk tördelésénél keletkezettek, ugyanis archiváltam azt a kiadó által generált és általunk feltöltött pdf fájlt, ami a bírálati folyamatra ment. Ebben még jól szerepelnek a táblázat kifogásolt adatai, összhangban vannak a magyarázó szöveggel, továbbá a bírálatok sem érintették a tartalmát. A véglegesen elfogadott, többször átnézett – és akkor még hibátlan – cikk a végső tördelésnél tartalmilag is sérült az 1. táblázat vonatkozásában.

E bírálati válaszokhoz csatolom a szerzőtársaimmal helyesen feltöltött cikk „Wear” által generált pdf fájlt.

Köszönöm Dr. Török Tamás professzor úrnak értekezésem támogatását, és tisztelettel kérem a bírálataira adott válaszaim elfogadását.

Kalácska Gábor

### **Irodalmi hivatkozások**

[1] Leonardo da Vinci: Notebooks, translated into English by Edward MacCurdy, Jonathan Cape, London, 1938.

[2] D. Dowson (1979): History of Tribology. Longman. London. Második kiadás 1998. ISBN-13: 978-1860580703

[3] Kozma Mihály (1997): Tribológia alapjai. Szakmérnöki jegyzet. Veszprémi Egyetem. Budapest 1997.

[4] Valasek István (1996): Tribológiai kézikönyv. Tribotechnik Kft. Budapest. ISBN: 9630298368

[5] White S.R., Sottos N.R., Geubelle P.H., Moore J.S., Sriram S.R., Kessler M.R., Brown E.N. (2003): Multifunctional autonomically healing composite material, US:6518330-B2, USA

[6] Czeller A. (2011): Önjavító polimerek fejlesztése. Műanyagipari Szemle. (Fiatalok fóruma). 2011. 01. HU ISSN 1785-7856.  
<http://www.muanyagipariszemle.hu/2011/01/onjavito-polimerek-fejlesztese-17.pdf> pp 1 – 13.

[7] Buckley D.H. (1981): Surface effects in adhesion, friction, wear, and lubrication. Elsevier, 1981 p. 631.

[8] Bely V.A., Sviridenok A.I., Petrokovets M.I., Savkin V.G. (1982): Friction and wear in polymer-based materials. Pergamon Press. p. 416.

- [9] Sinha K.S., Briscoe B.J.: Polymer Tribology. Imperial College Press. ISBN-13 978-1-84816-202-0
- [10] Yamaguchi Y. (1990): Tribology of plastic materials. Amsterdam: Elsevier.
- [11] Ehrenstein G. W. (2001): Polymeric Materials. Structure – Properties – Applications. Hanser Publishers, Munich. ISBN 3-446-21461-5
- [12] Bhushan B. (2001): Modern Tribology Handbook. Volume One. CRC Press LLC. ISBN 0-8493-8403--6
- [13] Blok H.A. (1937): Theoretical study of temperature rise at surface of actual contact under oiliness lubricating conditions. Proceedings General discussion on lubrication and lubricants. I.Mech.E. London, pp 222-235.
- [14] Jaeger J.C. (1942): Moving sources of heat and the temperature of sliding contacts. Proc. R. soc. NSW, 76, pp 203 - 224
- [15] Valasek I. (1988): A tribológia fél évszázados fejlődése: Súrlódás és Kopás. GÉP XI. 11. pp 427 – 440.
- [16] Ludema K.C. (1996): Friction, Wear, Lubrication. CRC Press Inc. ISBN 0-8493-2685-0
- [17] Ember M., Jánossy Gy., Szijjártó O. (1983): Mezőgazdasági gépek javítása. Mezőgazdasági kiadó, Budapest. ISBN 963-231-418-2
- [18] DeBruyne F. (1999): Technical training on engineering plastics. International training course, Manuscript, DSM EPP, Tielt, Belgium.
- [19] Van Beek A. (2006): Advanced Engineering Design. Lifetime performance and Reliability. TU Delft. ISBN-13: 978-90-810406-1-7