



Polipropilén és acél felületi érdességének kölcsönhatása száraz súrlódási viszonyok között

Analysis of surface roughness in polymer–steel interfaces during dry friction

¹Kohlheb Róbert, ²Varga Viktória Annamária, ²Réger Mihály, ²Horváth Richárd

¹Óbudai Egyetem, Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, Budapest, Magyarország,
kohlheb.robert@uni-obuda.hu

²Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész- és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest,
Magyarország, horvath.richard@uni-obuda.hu

Összefoglalás

A fém–polimer érintkezések tribológiai viselkedését jelentősen befolyásolja a felületi érdesség. A vizsgálat C45 acél és polipropilén (PP) kölcsönhatását elemzi száraz súrlódás során. Az eredmények szerint az acél felületi érdessége lényegében változatlan maradt, míg a polimer felület jelentősen módosult, és az acél topográfiájához igazodott. A mérések vékony polimer filmréteg kialakulását is jelezték az acél felületén. Megállapítható, hogy a felületi változások aszimmetrikusak, ahol a keményebb anyag határozza meg a lágyabb felület alakulását.

Kulcsszavak: felületi érdesség, acél–polimer tribológia, száraz súrlódás

Abstract

The tribological behavior of metal–polymer contacts is strongly influenced by surface roughness. This study investigates dry sliding between C45 steel and polypropylene (PP). Results show that the steel surface remains largely unchanged, while the polymer undergoes significant modification and conforms to the steel topography. A thin polymer layer is also formed on the steel surface. The findings indicate asymmetric surface evolution, with the harder material governing the transformation of the softer one.

Keywords: surface roughness, metal–polymer tribology, dry friction

1 Bevezetés

A súrlódó felületek topográfiája meghatározó szerepet játszik a tribológiai folyamatokban, mivel az érintkezési mikrogeometria közvetlenül befolyásolja a tapadást, a kopást, a hőtermelést az energiafelhasználást, stb. A felületi érdesség egy súrlódási folyamat során nem statikus tulajdonság, hanem az folyamatosan változik, különösen eltérő keménységű anyagpárok esetén. Amennyiben a felület karakterisztikája a súrlódási folyamat során megváltozik, az nemcsak a tribológiai viselkedést módosítja, hanem visszacsatol az érintkezési mechanizmusra, így a súrlódási együttható, az anyagtranszfer és a kopás intenzitását is befolyásolja. Ezért a felületi érdesség megváltozásának és a súrlódás során ebből adódó tribológiai folyamatok módosulásának megértése alapvető fontosságú lehet pl.: a súrlódás modellezésében, a bevonattervezésben és a súrlódási rendszerek élettartam-

előrejelzésében.

A keménységben nagyon eltérő ún. „puha-kemény”, anyagpárok tribológiai vizsgálata fontos kutatási terület [1][2], ezért ebben a cikkben az érdességi paraméterek változását vizsgáljuk a kopás-súrlódás hatására kemény (C45, acél) és puha (polipropilén) esetében.

2 Anyagok és módszerek

2.1 Vizsgált anyagok és vizsgálati eszközök

A súrlódási kísérletben köszörült felületű C45 acél próbatestet (18 mm×18 mm×150 mm) és esztergált polipropilén (PP) (Ø =15 mm) anyagpárt használtunk. Az alkalmazott C45 acél kémiai összetételét tömegszázalékban megadva az alábbi táblázat tartalmazza.

1. táblázat C45 acél kémiai összetétele (m/m%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
0,42-0,50	0,40	0,50-0,80	0,045	0,045	0,40	0,10	0,40

A súrlódás előtti és a súrlódási folyamat utáni felületek érdességi paramétereit érdességmérő berendezéssel állapítottuk meg, a felületek további jellemzése elektronmikroszkóppal történt. Az acélfelületen a súrlódási folyamat során kialakuló átmeneti filmréteg jellemzését ellipszométer berendezéssel végeztük.

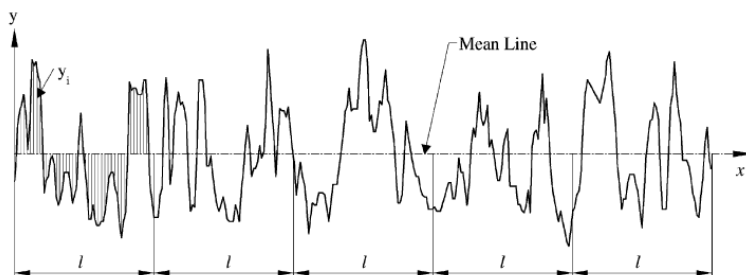
2.2 Vizsgált felületi érdességi paraméterek

A felületi érdesség változásának értékeléséhez az Ra és Rz paraméterek lettek kiválasztva [3][4].

Az Ra paraméter az átlagos érdességet írja le, és jól mutatja a súrlódás hatására bekövetkező általános simulást vagy durvulást. Az Ra (1. ábra) matematikai definíciója, valamint annak digitális implementációja az alábbi módon számítható [5]:

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad (1)$$

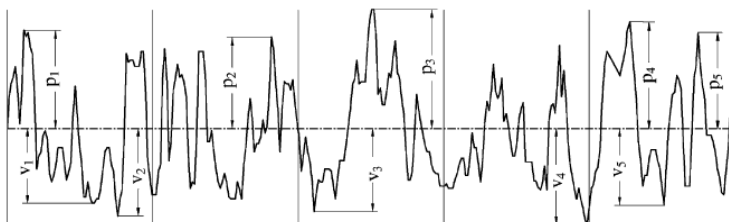
$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (2)$$



1. ábra Az átlagos érdességi paraméter jellemzése [5]

Az Rz paraméter a csúcs–völgy különbséget reprezentálja (2. ábra), így érzékenyen reagál a mikrogeometria alakváltozására. Meghatározása az alábbi módon történik:

$$Rz_{ISO} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n p_i - \sum_{i=1}^n v_i \right) \quad (3)$$



2. ábra Az érdességmagasság (Rz) paraméter jellemzése [5]

3 Eredmények

A vizsgálatok egy egyedi gyártású és tervezésű súrlódásmérő berendezésen történt, melyet szabadalom véd. A vizsgálatokat a súrlódási vizsgálatok előtt (nyers darabokon) és a súrlódási folyamat után végeztük el. Az anyaggárók közötti felületi nyomás 5 MPa volt, a súrlódási sebesség 50 mm/min. A súrlódási hossz 100 mm a súrlódási tesztek 20-szor ismételtük meg, míg az anyaggárók összejáródtak.

3.1 Vizsgált érdességi paraméterek változásai

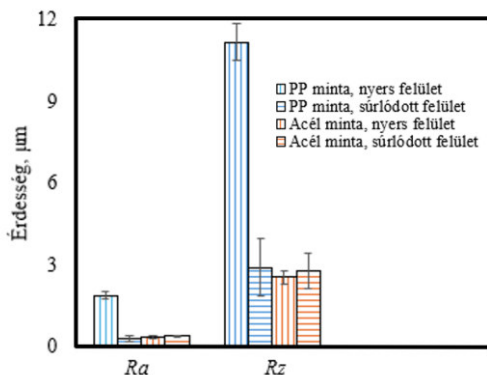
A felületi érdesség méréseket az alábbi beállításokkal végeztük, a vonatkozó szabványok alapján [6][7]: szűrési paraméter: $\lambda_c = 0,8$ mm; alaphossz: $l_r = 0,8$ mm; értékelési hossz: $l_n = 0,8$ mm $\cdot 5 = 4$ mm; mérési hossz (rá és túlfutással): $l_t = 4,8$ mm.

Az 1. táblázat a polimer-acél anyaggáron végzett érdességmérés eredményeinek átlagát és szórását ismerteti nyers és vonszolás-súrlódás utáni állapotban. Minden mérést hatszor végeztünk el, a táblázat ezeknek a méréseknek az átlagát és szórását ismerteti.

2. A C45-PP anyaggár érdességi paraméterei és azok szórása a súrlódási vizsgálatok előtti (nyers) és a súrlódási vizsgálatok utáni állapotban

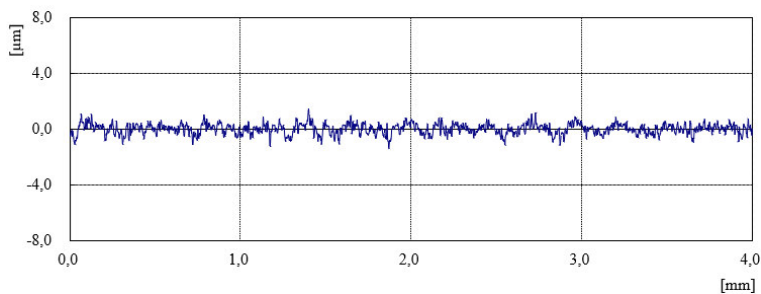
	$Ra, \mu m$	$sRa, \mu m$	$Rz, \mu m$	$sRz, \mu m$
PP, nyers felület	1,862	0,125	11,153	0,672
PP, súrlódott felület	0,303	0,104	2,903	1,031
C45, nyers felület	0,350	0,041	2,531	0,236
C45, súrlódott felület	0,371	0,033	2,770	0,632

A mérési eredmények (1. táblázat) alapján kijelenthető, hogy az acél próbatest vizsgált érdességi mérőszámai nem változtak a vonszolás-súrlódás hatására, viszont a polimer minta érdességi paraméterei, mind a négy vizsgált jellemző tekintetében az acél minta mérőszámaihoz igazodtak (3. ábra).

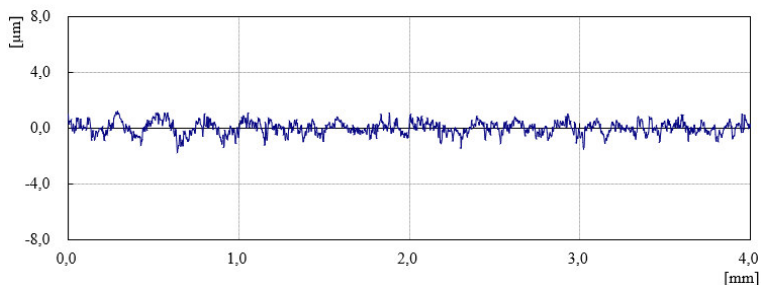


3. ábra Mért érdességi paraméterek a nyers és vonszolt minták felületén (1. táblázat alapján)

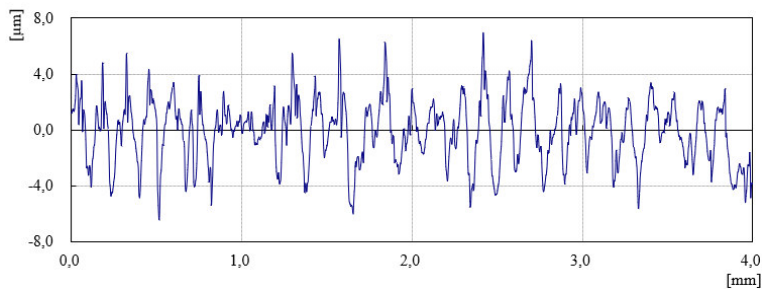
Az érdességi profilok részletesebb vizsgálatát mutatja a 4. ábra, melyen az acél és a polimer anyagpár nyers és súrlódás utáni állapota látható, a profilok elemzése alapján is kijelenthető, hogy a súrlódás következtében az acél próbatest érdességi profilja változatlan maradt a súrlódási effektus után is, míg a polimer minta érdességi profilja a súrlódási folyamat következtében (ahogy az a mért érdességi paraméterekből is látszik) hasonló profilt vesz fel, mint az acél érdességi profilja.



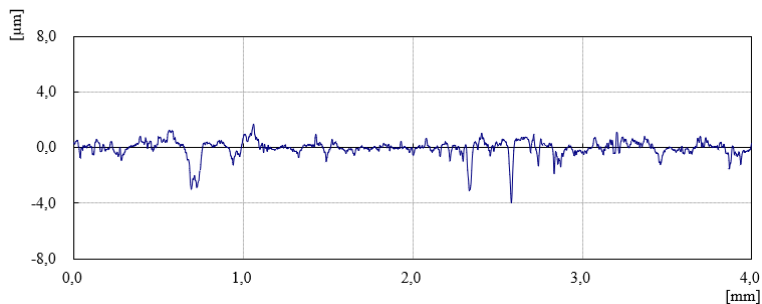
a) Acél próbatest nyers (köszörült) felületének profilja a súrlódási vizsgálatok megkezdése előtt



b) Acél próbatest felületi profilja a súrlódási vizsgálatok után



- c) Polimer minta nyers (keresztesztergált) felületének profilja a súrlódási vizsgálatok megkezdése előtt



- d) Polimer minta felületi profilja a súrlódási vizsgálatok után

4. ábra Mért érdességi profilok a nyers és vonszolt acél-polimer minták felületén

4 Konklúzió

A fém-polimer súrlódópárok tribológiai viselkedése nagymértékben függ súrlódó párok felületi érdességétől. A bemutatott vizsgálat C45 (1.0503) acél és polipropilén (PP) súrlódási jelenségeit elemzi a súrlódásnak kitett anyagpár felületi jellemzői szempontjából. A cikkben ismertetett súrlódási kísérletek eredményei azt mutatták, hogy:

- a súrlódási folyamat alatt az acél próbatest vizsgált érdességi paraméterei (R_a – átlagos felületi érdesség, R_z – érdességmagasság) lényegében változatlanok maradtak, a vonszolás-súrlódás hatására,
- a polimer minta érdességi paraméterei a vonszolás-súrlódás hatására az acél minta mérőszámaihoz igazodtak,
- a polimer átmeneti film kialakulása arra utalhat, hogy a súrlódási zónában a polimer nemcsak deformálódik, hanem részben kitöltheti a fém felületi völgyeit,
- a fém-polimer (kemény-lágy) súrlódópárok esetén a felületek felületi érdességének egymásra hatása aszimmetrikus – a keményebb anyag (C45) alakítja a lágyabb (PP) felületet –, amelyet a súrlódási modellezésben és kopás-előrejelzésben figyelembe lehet venni.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki Péter Petriknek (Scientific Advisor and Head of Department Institute of Technical Physics and Materials Science HUN-REN Centre for Energy Research) az ellipszometriás mérésekben nyújtott segítségével.

5 Hivatkozások

- [1] Menezes, P. L., Kishore, Kailas, S. V., & Lovell, M. R. (2015). Influence of surface texture and roughness of softer and harder counter materials on friction during sliding. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 24(1), 393-403. <https://doi.org/10.1007/s11665-014-1304-1>
- [2] Voyer, J., Klien, S., Velkavrh, I., Ausserer, F., & Diem, A. (2019). Static and dynamic friction of pure and friction-modified PA6 polymers in contact with steel surfaces: influence of surface roughness and environmental conditions. *Lubricants*, 7(2), 17. <https://doi.org/10.3390/lubricants7020017>
- [3] De Chiffre, L., Lonardo, P., Trumpold, H., Lucca, D. A., Goch, G., Brown, C. A., ... & Hansen, H. N. (2000). Quantitative characterisation of surface texture. *CIRP annals*, 49(2), 635-652. [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)63458-1](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)63458-1)
- [4] Whitehouse, D.: Surfaces and their measurements, Taylor and Hobson Ltd., 2002.
- [5] Gademawla, E. S., Koura, M. M., Maksoud, T. M., Elewa, I. M., & Soliman, H. H. (2002). Roughness parameters. *Journal of materials processing Technology*, 123(1), 133-145. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00060-2](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00060-2)
- [6] ISO 21920-2:2021 Geometrical product specifications (GPS) — Surface texture: Profile, Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters
- [7] ISO 16610-21:2025 Geometrical product specifications (GPS) — Filtration Part 21: Linear profile filters: Gaussian filters