

MŰSZAKI FELÜLETEK TRIBOLÓGIAI JELLEMZŐINEK VÁLTOZÁSA FELÜLETKEZELÉS HATÁSÁRA

CHANGES OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF ENGINEERING SURFACES DUE TO SURFACE TREATMENT

*Dr. habil. Czifra Árpád, egyetemi docens, Óbudai Egyetem, Gépészeti és Biztonságtudományi Intézet
czifra.arpad@bgk.uni-obuda.hu*

*Dr. habil. Horváth Sándor, c. egyetemi tanár, Óbudai Egyetem
horvath.sandor@bgk.uni-obuda.hu*

ABSTRACT

Nowadays tribological behaviour of engineering surfaces is in focus of machine design. Surface treatment influence the mechanical properties, the material structure, physical properties and other parameters of surfaces and has significant effect for tribological behaviour. Present work deals with surface roughness of treatment engineering surfaces and – based on parametric characterisation of surfaces – evaluate the tribological changes of microgeometries.

1. BEVEZETÉS

A működéshez optimalizált felületek kialakítása fontos törekvése a tribológiai kutatásoknak. A különböző felületkezelési és bevonatolási eljárások a felületi réteg szövetszerkezeti, mechanikai, fizikai tulajdonságainak megváltoztatása révén igyekeznek a legoptimálisabb tribológiai viselkedést elérni.

A felületkezelések kedvező anyagszerkezeti hatása mellett a felületeken olyan változások is létrejönnek, melyek hatása a tribológiai folyamatok tekintetében kétséges, vagy nem tisztázott. A különböző felületkezelési eljárások megváltoztatják a felület mikrogeometriáját és ezzel együtt egy tribológiai szempontból új mintázatot teremtenek.

A felületi mikrogeometria tribológia folyamatokban betöltött szerepe régóta kutatott terület és mára kialakultak olyan irányelvek, melyek lehetőséget biztosítanak a felület várható tribológiai viselkedésének „becslésére”.

A hordozófelületi görbéhez kapcsolódó paraméterek összefüggésbe hozhatók a működéssel. Az *Rsk* és *Rku* paraméterekkel jól jellemezhető a tribológiai szempontból kedvező platószerű hordozófelület [1, 2]. Ezt a platószerű kialakítást belsőégésű motorok hengerének honolási technológiájánál alkalmazzák, ahol a kedvező hordozófelület kisebb súrlódási tényezőt eredményez [3, 4]. A felületi mintázat jellege – a domináns elemek irányultsága és a

folyadék megtartó képesség érdekében mesterségesen létrehozott kenőanyag „zsebek” – egyaránt jelentősen befolyásolják a működést [5, 6].

Jelen kutatás célja annak megállapítása, hogy a felületkezelés hatására a kezelt felületen milyen geometriai változások jönnek létre. Továbbá cél annak felmérése – a szakirodalmi adatok alapján – hogy az így létrejövő geometriai változások miként befolyásolhatják a felület működésben betöltött szerepét.

2. ELVÉGZETT VIZSGÁLATOK

A vizsgálatokhoz a próbadarabok egy ipari partner megbízásából kerültek hozzánk, aki 1.4742 számú (H-13 anyagminőségű, rozsdamentes, hőálló acél) próbatesteken végeztek kilenc különböző felületkezelési eljárást. Minden darabnál a kiindulási állapot az edzés volt, melyet különböző hőkezelési és/vagy bevonatolási eljárás követett. A minták azonosítóját és a felületkezeléseket az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat. A mintadarabok felületkezelése

	Tulajdonságok	Keménység [HV]
1	Edzett	549
2	Edzett + Plazma nitridált (50µm)	1130
3	Edzett + Plazma nitridált (200µm)	1140
4	Edzett + Cr/CrN	2775,4
5	Edzett + TiN/ALTiN	2938,7
6	Edzett + Plazma nitridált (50µm) + Cr/CrN	2456,9
7	Edzett + Plazma nitridált (50µm) + TiN/ALTiN	2538,6
8	Edzett + Plazma nitridált (200µm) + Cr/CrN	2492,3
9	Edzett + Plazma nitridált (200µm) + TiN/ALTiN	2679,6

A kapott adatok alapján világosan látszik, hogy a különböző felületkezelési eljárások a célul kitűzött kopásállóságot, melyet az 1. táblázatban a keménység jellemez, igen jelentősen befolyásolják.

A geometriában bekövetkezett változások megállapítására a Mahr típusú, GD120-as vonatóval ellátott, MFV-250 tapintójú (csúcshöge: 90° , csúcshugara: $5\mu\text{m}$) mérőberendezést használtuk. Az előzetes mérések során megállapítottuk, hogy a darabok érdessége jelentősen eltér, ami azt jelentette volna, hogy a szabványoknak megfelelő vontatási hosszok eltérő méréseket eredményeztek volna. A jobb összehasonlíthatóság érdekében azonos határhullámhosszú ($\lambda_c=0,25\text{ mm}$) méréseket végeztünk $1,75\text{ mm}$ mérési hosszban. Minden darab esetén $15-15$ mérést végeztünk el egymásra merőleges irányban. A darabokon nem volt megfigyelhető jellemző irányultság, így a két irányban elvégzett mérés azt is hivatott volt kideríteni, hogy ilyen jellegű eltérés megfigyelhető-e.

Az R_a , átlagos érdesség tekintetében a két mérési irányban a legnagyobb eltérést a 9. jelű darabnál találtuk. Itt az egyik irányban a paraméter átlaga a 15 mérésből $R_a=0,178\ \mu\text{m}$ (szórása $0,029\ \mu\text{m}$), míg a másik irányban $R_a=0,201\ \mu\text{m}$ (szórása $0,043\ \mu\text{m}$). A nagyobb érdességi paraméter esetén a nagyobb szórás jelzi, hogy egy-két kiugró érték tolta el a paraméter értékét. A többi felületnél jelentős, kimutatható eltérés nem volt tapasztalható, így a továbbiakban a $15+15=30$ mérés átlagát vesszük figyelembe az egyes felületek jellemzése során.

A kiértékeléseket az alábbi paramétereken végeztük el:

- R_a , átlagos érdesség, mely a legismertebb, leggyakoribb érdességi paraméter.
- R_z , érdesség magasság, mely a profilon megjelenő minimum-maximum távolságokat jellemzi.
- R_p , átlagos csúcsmagasság, mely a csúcszóna magasságát jellemzi. Értéke fontos lehet a kopásintenzitás szempontjából, különösen a bekopási szakaszban.
- R_v , átlagos völgymélység. Ez a paraméter a kenőanyag-, illetve kopadék-megtartó képességet jellemzi.
- R_{sk} , magasságeloszlás asszimetriája (skewness), mely a felület hordozó képességét mutatja. Negatív értéke platószerű hordfelületre utal.
- R_{ku} , magasságeloszlás csúcsossága (kurtosis), mely a felület

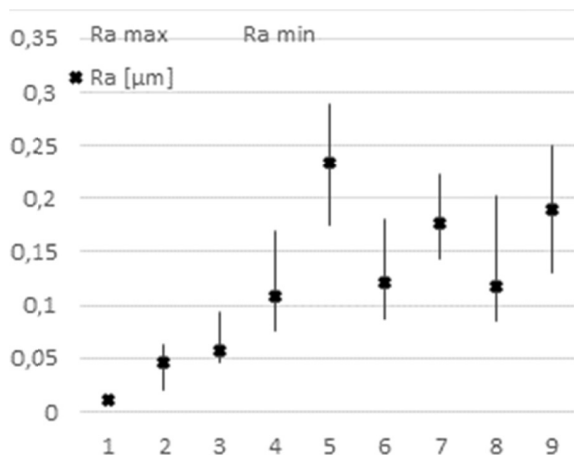
„egyenletességére” utal. 3-nál nagyobb érték kiugró csúcsokat, völgyeket jelent.

- W_a , átlagos hullámosság. A kontúrérintkezés meghatározó paramétere.

Az egyes paraméterek értelmezését az ISO 4287 szabvány tartalmazza [7].

3. EREDMÉNYEK

A vizsgált felületek kiértékelésének első lépése az átlagos érdesség és az érdességmagasság paraméterek vizsgálata volt. Az átlagos érdességet (a mért értékek tartományának feltüntetésével) az 1. ábra mutatja. A legfinomabb felület az edzett „referencia” darabnál mértük. A nitridálás során a felület durvult (2. és 3. darab), majd a felületi bevonatok tovább rontották az érdességet. A bevonat típusok tekintetében (króm-nitrid vagy titán-nitrid) nem egyértelmű a hatás. A relatív szórás viszonylag nagy, minden esetben $14-26\%$ közötti. Kivételt csak a legdurvább, 5. felület jelent, ahol a relatív szórás mindössze $7,8\%$.



1. ábra. Felületkezelt darabok átlagos érdessége

Az R_z paraméter tekintetében a R_a -hoz teljesen hasonló jellegű diagramot kapunk. Érdekes viszont megnézni az R_z/R_a paraméterek arányát. Ezt az értéket a szakirodalom (ld. [8]) 4 és 7 közé tesz a megmunkálás jellegétől függően. Esetünkben ettől jelentős eltérést tapasztalunk. Az 1.-3. jelű daraboknál $7-8$ közötti értékek jelennek meg, míg a bevonatolt darabok esetén ez az arány $8,9$ és $12,2$ között változik. Ez nyilvánvalóan a megszokottól eltérő tribológiai viszonyokat jelent.

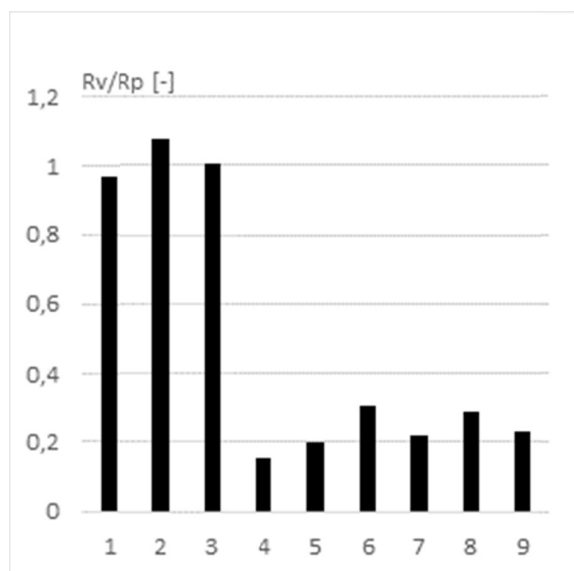
Ezen tribológiai viszonyok jellemzésére két paraméterpárt alkalmaztunk. Egyrészt megvizsgáltuk a völgy és csúcszóna arányát (R_v/R_p), másrészt elkészítettük a felületkezelési eljárások topológiai térképét (a topológiai térkép értelmezését ld.: [9]).

Az R_v (völgymélység) és R_p (csúcsmagasság) paraméterek értékeit a 2. táblázat foglalja össze. A két paraméter arányát a 2. ábrán láthatjuk.

2. táblázat. R_v és R_p paraméterek mintadarabonként

	Völgymélység R_v [μm]	Csúcsmagasság R_p [μm]
1	0,040	0,041
2	0,170	0,158
3	0,206	0,205
4	0,166	1,063
5	0,345	1,743
6	0,355	1,159
7	0,327	1,458
8	0,324	1,114
9	0,367	1,570

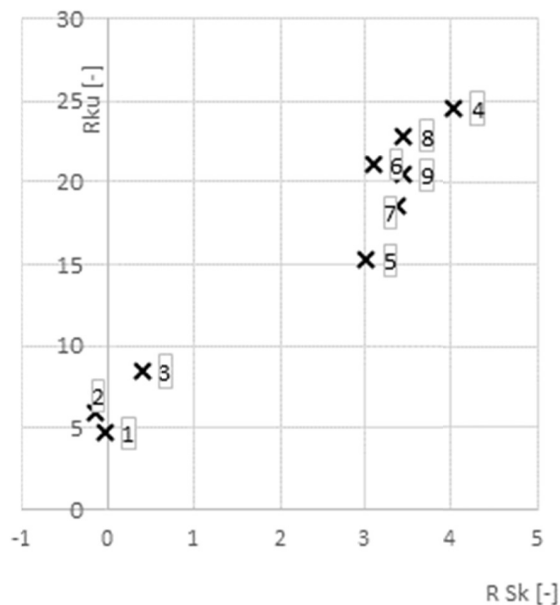
Tribológiaiailag kedvező felületről akkor beszélünk, ha a völgyek domináns szerepet töltenek be, míg a csúcszóna platószerű kialakítású. Ebben az esetben a kedvező hordozófelület relatíve „nagy” valódi érintkezési tartományt és ezzel kedvező teherelosztást biztosít, míg a mély völgyek kenőanyag és kopadék tároló kapacitást jelentenek. Az általunk vizsgált felületek esetén erről szó sincs. Az 1.-3. daraboknál még 1 körüli értéket kapunk az R_v/R_p arányra, de a bevonatolások a kedvező 1 fölötti értékek helyett jóval ez alatt maradnak.



2. ábra. Völgymélység/csúcsmagasság arány

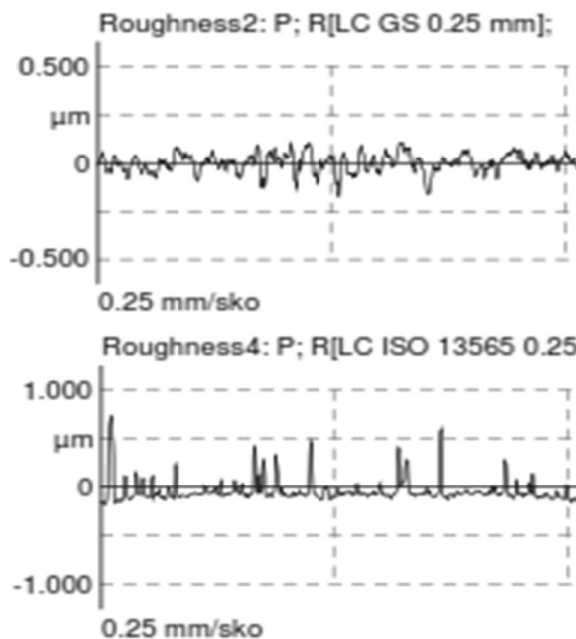
Az R_{sk} - R_{ku} topológiai térkép ugyancsak a hordozófelületi viszonyokról tájékoztat. Ezen térképen a negatív R_{sk} -val rendelkező, viszonylag alacsony (3 alatti) R_{ku} értékkel bíró felületek a kedvezőek. A 3. ábra az R_{sk} - R_{ku} topológiai térképet mutatja a 9 vizsgált darab

esetén feltüntetve az egyes darabok azonosítóját. Negatív R_{sk} értékkel mindössze a referencia felület és az 50 μm vastagságú plazma nitridált felület rendelkezik (1. és 2. azonosító), de az R_{ku} érték ezeknél a felületeknél is meglehetősen magas. A bevonatolt felületek kivétel nélkül a pozitív ferdeségi tartományban vannak és kiemelkedően magas R_{ku} értékkel rendelkeznek



3. ábra. R_{sk} - R_{ku} topológiai térkép

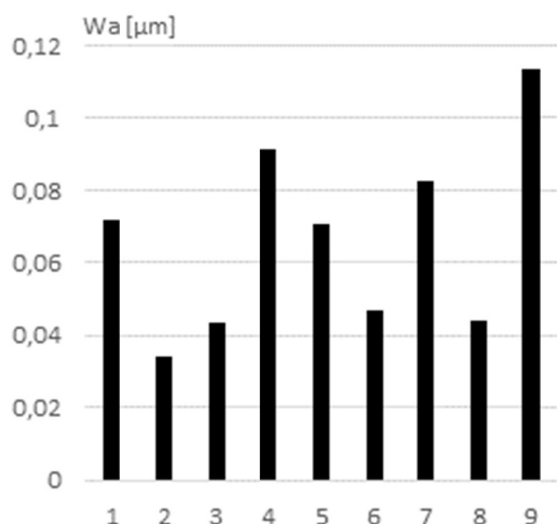
A legkedvezőbb (2.) és a legkedvezőtlenebb (4.) darabról készült érdességprofil részleteket mutat a 4. ábra.



4. ábra. Plazma nitridált (2. jelű, fent) és króm-nitrid bevonatú (4. jelű, lent) felületek érdességi profiljai

A két profil jelentősen eltér egymástól. A 2. jelű felületen viszonylag kedvező hordozófelületet és jó kenőanyagelsozó zónát figyelhetünk meg, míg a 4. darab esetén a túszerűen kiugró érdességcsúcsok nagyon kedvezőtlen bekopási viselkedést vetítenek előre: A kis csúcsokon nagy érintkezési feszültség alakulhat ki, mely a kemény „tüske” lepattozását eredményezheti, ami a tribológiai rendszerben maradvá további komoly abrázív károsodások forrása lehet.

Vizsgálataink utolsó része a kontúrintékezési tartományt meghatározó hullámossági paraméterekre esett. Az adatokat összevetve az 1. ábrán szereplő átlagos érdességgel meglepő eredményeket láthatunk. Egyrészt fontos kiemelni, hogy minden esetben az Ra értékével összevethető mértékű hullámosságot tapasztalunk, ami igen kedvezőtlen. Másrészt a hullámosság értékét a felületkezelési technológia nem befolyásolja jelentősen, sőt több esetben a referencia felülethez (1.) képest jelentős javulás figyelhető meg.



5. ábra. A vizsgált felületek átlagos hullámossága

4. KÖVETKEZTETÉSEK

Vizsgálataink eredményeiként az alábbi következtetésekre jutottunk:

- A felületkezelés nagyon jelentősen befolyásolja a felület mikrogeometriáját. Különösen domináns változásokat tapasztalhatunk bevonatolt felületek esetén
- A bevonatolt felületek teherviselő felülete és kenőanyagmegtartó képessége geometriai szempontból rossz: kiemelkedő, hegyes csúcsok jellemzik a felületet, melyek 4-5-szöröse a völgyek mélységének. Ez kedvezőtlen tribológiai viselkedést eredményezhet.

- A kontúr érintkezési tartományt befolyásoló hullámosság tekintetében a felületkezelési bevonatolási technológia nem okoz jelentős változást, sőt egyes esetekben csökkenti is a bevonatolt felület átlagos hullámosságát, ami kedvezőbb teherviselést eredményez.

5. IRODALOM

- [1] Marko Sedlacek, Bojan Podgornik, Joze Vizintin: Correlation between standard roughness parameters skewness and kurtosis and tribological behaviour of contact surfaces, Tribology International 48 (2012) 102–112
- [2] I. Barányi, R. Keresztes, Z. Szakál, G. Kalácska: Prediction of Surface Roughness Parameters by New Experimentally Validated Modelling Algorithm under Abrasive Condition; Acta Polytechnica Hungarica 13:(7) pp. 197-208. (2016)
- [3] Ryk, G., Kligerman, Y., Etsion, I.: Experimental Investigation of Laser Surface Texturing for Reciprocating Automotive Components Tribology Transactions, Vol. 45, Iss. 4., (2002) p. 444-449
- [4] Mezghani S., Demirci I., El Mansori M., Zahouani H.: Energy efficiency optimization of engine by frictional reduction of functional surfaces of cylinder ring-pack system, Tribology International, Vol. 59., (2013), p. 240-247
- [5] A.A.G. Bruzzone, H.L. Costa: Functional characterization of structured surfaces for tribological applications, Procedia CIRP 12, 456–461 (2013)
- [6] Grabon, W., Waldemar, K., Pawlus, P., Ochwat, S, Improving tribological behaviour of piston ring-cylinder liner frictional pair by liner surface texturing, Tribology International, Vol 61. (2013) p. 102-108
- [7] DIN-EN-ISO 4287: Geometrische Produktspezifikationen (GPS) Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren Benennungen, Definitionen und Kenngrößen der Oberflächenbeschaffenheit, Deutsche Fassung EN ISO 4287 : 1998
- [8] Palásti K B, Sipos S., Czifra Á.: Rz = 4*Ra és egyéb érdességi értelmezések a forgácsolt felületek értékelésében, Gyártóeszközök, szerszámok, szerszámgépek 2012:(1), pp. 20-24. (2012)
- [9] Horváth Richárd, Czifra Árpád, Drégelyi-Kiss Ágota: Effect of conventional and non-conventional tool geometries to skewness and kurtosis of surface roughness in case of fine turning of aluminium alloys with diamond tools, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 78:(1-4) pp. 297-304. (2015)