

Vasúti fékbetét mikrogeometriai vizsgálata

Horváth Sándor, Czifra Árpád

Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
H-1081 Budapest, Népszínház u. 8.
horvath.sandor@uni-obuda.hu

Absztrakt: A felületi mikrotopográfia, különösen annak domináns hullámhossza, kiemelt szerepet játszik a tribológiai folyamatokban. Munkánkban egy vasúti fékbetét topográfiai vizsgálatát végeztük el. A vizsgálatok során paraméter alapú, amplitúdó sűrűség spektrum (PSD) és magasságkülönbség-korreláció (HDCF) analízisen nyugvó módszereket alkalmaztunk a felület domináns hullámhosszának meghatározására. Vizsgálataink az egyes módszerekből nyerhető információk kapcsolatát.

Kulcsszavak: mikrotopográfia; hullámosság; amplitúdó sűrűség spektrumte; magasságkülönbség-korreláció

1. Bevezetés

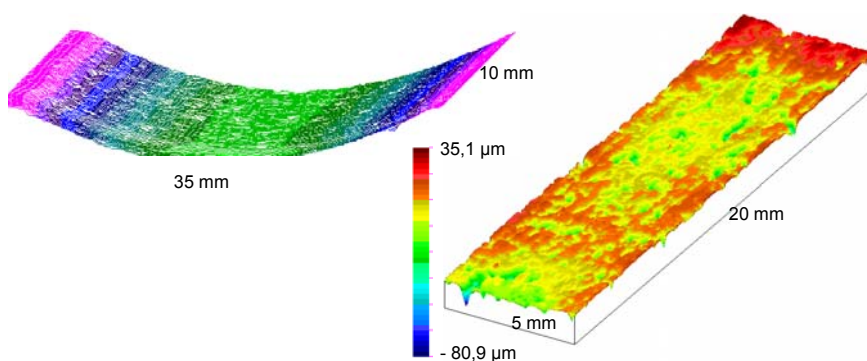
Gépszerkezetek érintkezési, működési tulajdonságait jelentős mértékben befolyásolja a kapcsolódó felületek topográfiája. A szakirodalomban [1] megkülönböztetett névleges, kontúr és tényleges érintkezési tartomány rendre jellemezhető a geometria méreteken, a hullámosság és az érdesség vizsgálatával. A műszaki dokumentációk – a névleges méreteken túl – tartalmazzák a felületi érdességi előírásokat, ugyanakkor számos esetben nem tesznek említést a hullámosságáról [2]. Napjainkban a felületi hullámosság szerepe, különösen a mért hullámossági profilokban, topográfiákban megjelenő periodicitás vizsgálata egyre nagyobb hangsúlyt kap. Ezt jelzi a Német Autóipari Szövetség (VDI) 2002-es ajánlása [3], mely a domináns hullámhosszak azonosítására és értékelésére ad útmutatást.

Munkánkban egy fékpofa domináns hullámhosszának meghatározását tűztük ki célul, a kontúr érintkezési tartományok meghatározására, illetve azért, hogy feltérképezzük azokat a módszereket, amelyek a feladat megoldására alkalmasak lehetnek. A kiértékeléshez a hagyományos paraméter alapú jellemzés mellett amplitúdó sűrűség spektrum (PSD) és magasságkülönbség korreláció (HDCF) analízist is végeztünk.

2. Méréstechnika

A topográfiai méréseket Mahr Perthometer Concept típusú metszettepintós érdességmérőn végeztük. A vizsgált fékpofa $\varnothing 120$ mm sugarú dobot fékezett. A felület hengeressége, és az, hogy a fékezés során a felület jelentősen feldurvult, megnehezítette a mérést és a kiértékelést is. Tekintettel a publikációs mennyiségi korlátokra csak részeredményeket mutatunk be.

Az 1. ábrán a mért felület esetén jól látható a jelentős hengeresség miatti hiba a rá- és lefutási szakaszban. Ezek és a hengeresség eltávolítása után jutottunk el a kiértékelendő topográfiához. A skálán leolvasható értékek (35,1 és $-80,9 \mu\text{m}$) jól jellemzik a felület durvaságát.



1. ábra

A mért topográfia és a topográfia egy kiemelt része a hengeresség leszűrése után

3. Kiértékeléstechnika

A kiértékelés során az ISO 4287 szerint értelmezett 2D-s érdességi és hullámossági paramétereket alkalmaztuk a topográfiai kiemelt profiljaira. A felület domináns hullámhosszának meghatározására az érdességi és hullámossági profilon értelmezett „a profilelemek közepes hullámhossza” (RSm , WSm) paramétert használtuk, mely definíció szerint:

$$RSm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{si} \quad (1)$$

ahol X_{s_j} a profil és a középvonal olyan két metszéspontjának a távolsága, amelyek között a profilnak csak egy kiemelkedése és egy bemélyedése található.

A PSD alapú kiértékelés során Fourier-transzformáció segítségével a geometriai térből frekvenciatérbe lépünk át.

Egy valós 2D-s $z(x)$ függvény (tekintsük az érdességmérésből származó profilt) Fourier transzformáltja diszkrét formában az alábbiak szerint írható fel:

$$F(q_p) = \Delta x_i \sum_{i=1}^M z(x_i) e^{-j2\pi q_p x_i} \quad (2)$$

ahol, q_p a p -edik frekvencia, $z(x_i)$ az x_i helyen lévő magasságkoordináta, M a profil pontjainak száma; Δx_i a mintavételi lépésköz. A transzformáció eredménye egy komplex függvény, melynek amplitúdóját (az adott q_p -hez tartozó komplex vektor abszolút értéke) ábrázoljuk. Ezt hívjuk PSD-nek.

Az eredmények megjelenítése többféle módon is történhet. Egyik lehetőség a hullámhossz függvényében ábrázolni a PSD amplitúdót, a másik elterjedt ábrázolási mód a frekvencia függvényében logaritmikus léptékben történő ábrázolás. Munkánk során a hullámhossz függvényében történő megjelenítési módot alkalmaztuk.

A magasság-különbség korreláció a felületnek többek között a jellegzetes hullámhosszát igyekszik megjeleníteni. Klüppel és társai [4] által gumi sűrűlódási modellekben használt magasságkülönbség korrelációs függvény az (3) szerint értelmezhető, ahol λ a hullámhossz, $z(x)$ az x helyen értelmezett magasságkoordináta, $z(x + \lambda)$ az $(x + \lambda)$ helyen értelmezett magasságkoordináta, $\langle \cdot \rangle$ átlag a teljes x tartományra.

$$C_z(\lambda) = \left\langle \left((z(x + \lambda) - z(x))^2 \right) \right\rangle \quad (3)$$

A magasságkülönbség értékeket a hullámhossz logaritmikus léptékű függvényében alkalmazva olyan görbéhez jutunk, melynek lineáris szakasza a felület fraktál dimenziójával, míg a görbén megjelenő töréspont a domináns hullámhosszal van összefüggésben (részleteket ld. [4]). A bemutatott felület domináns hullámhosszának vizsgálatát seletelő technikával is elvégeztük, ezen eredmények [5]-ben megtalálhatók.

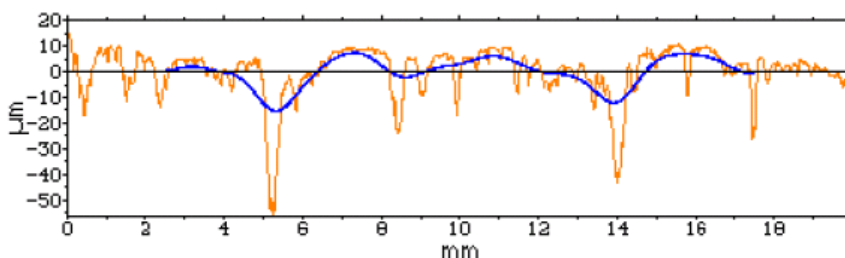
4. Eredmények

A parametrikus kiértékelést (ISO 4287 szerint) a hengerességtől szűrt topográfia profiljain végeztük el. Az 1. táblázat néhány szüretlen profilra vonatkozó (P), érdességi (R) és hullámossági (W) paramétert foglal össze. A kiértékelt profilok 2000 mérési pontot tartalmaztak, a szűrés a szabványban előírt 2,5 mm-es cut-off-al történt, azaz a 2500 μm -nél nagyobb hullámhosszúságú profilelemek alkotják a

hullámossági profilt, az ennél kisebbek az érdességét. A két profil összege a szűretlen (P) profilt adja vissza.

1. táblázat
Érdességi, hullámossági és szűretlen paraméterek

| | | 1. profil | 25. profil | 50. profil |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------|------------|------------|
| Átlagos érdesség | Pa [μm] | 7,91 | 8,22 | 6,61 |
| | Ra [μm] | 5,90 | 3,92 | 2,62 |
| | Wa [μm] | 4,61 | 6,31 | 5,25 |
| Maximális egyenletlenség | Pt [μm] | 59,28 | 68,45 | 76,73 |
| | Rt [μm] | 48,16 | 44,35 | 32,23 |
| | Wt [μm] | 21,85 | 40,63 | 46,38 |
| A profilelemek közepes hullámhossza | PSm [μm] | 1276 | 1789 | 1320 |
| | RSm [μm] | 742 | 583 | 757 |
| | WSm [μm] | 4463 | 3753 | 4182 |



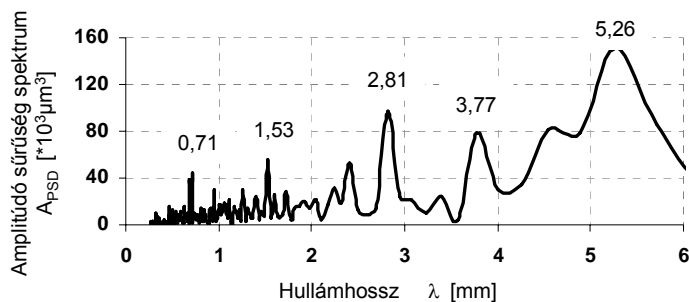
2. ábra

A felület egy szűretlen profilja és hullámossága

A három vizsgált profil PSm, WSm és RSm paramétereinek átlaga rendre: 1462 μm , 4133 μm és 694 μm . Ezzel három domináns hullámhosszt definiáltunk. A 2. ábra szemlélteti a szűretlen és a hullámossági profilt egy mérés esetén. A profil elemzése során megállapíthatjuk, hogy a lokális „hibák” komoly torzító hatást fejtenek ki a szűrésre (ú.n. deep volley effect), de a szűretlen profil esetén is elmozdítják azt a középvonaltól, befolyásolva a profilelemek közepes hullámhosszát. Érdeemes felfigyelni arra is, hogy a paraméter alapú szemlélet a kiemelt három profil esetén jelentős eltéréseket ad, de nagyságrendileg azonos értéket kapunk a P, W, R profilok elemzésével.

A topográfia kiemelt profiljaira elvégeztük a PSD analízist. A 25. profil amplitúdó sűrűség spektrumát mutatja a 3. ábra, a 2. táblázat a domináns hullámhosszakat foglalja össze. Megállapítható, hogy a PSD analízis részletesen feltárja a vizsgált profil hullámhossz információit, de éppen a sok adat értelmezése miatt válik nehezkessé a kiértékelés. A 3 profil első domináns hullámhosszának átlaga 843 μm , ami lényegesen nagyobb, mint a korábban meghatározott RSm paraméter

(694 μm), bár nagyságrendileg hasonló eredményt jelent. Az 1380 μm -es második domináns hullámhossz igen közel esik a PSm paraméterhez (1462 μm), de megítélését rontja, hogy a 3 profil esetén jelentős eltérés mutatkozik (akárcsak PSm értékében). A PSD analízis talán legmegbízhatóbbnak tűnő domináns hullámhossz értéke a 2857 μm -es harmadik domináns hullámhossz. Ennek azonban nem találjuk megfelelőjét a parametrikus elemzésben. A további hullámhosszak megítélése bizonytalanná válik, de feltételezhetünk egy 3770 μm -es negyedik és kb 4800 μm -es ötödik domináns hullámhosszt is.



3. ábra

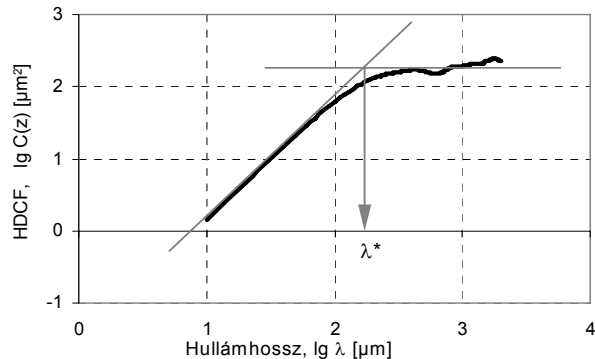
A felület egy profiljának PSD görbéje

2. táblázat

Domináns hullámhosszak PSD és HDCF analízisből

| | 1. profil | 25. profil | 50. profil |
|--|-----------|------------|------------|
| PSD analízissel számolt domináns hullámhosszak [μm] | 850 | 710 | 970 |
| | 1120 | 1530 | 1490 |
| | 2940 | 2810 | 2820 |
| | 4880 | 3770 | 3770 |
| | | 5260 | 4540 |
| HDCF domináns hullámhosszai [μm] | 700 | 520 | 1300 |

A HDCF analízis egyetlen jellemző hullámhosszt ad. A 4. ábra a 25. profil magasságkülönbség korrelációs függvényét mutatja, míg a HDCF-ből számolt eredményeket a 2. táblázat foglalja össze. A magasságkülönbség korrelációs ábráról leolvasott λ^* érték a felületet jellemző domináns hullámhossz félhullámhosszával egyezik meg. A HDCF eredmények leginkább az RSm értékekkel és a PSD analízis első domináns hullámhossz értékeivel vethetők össze. Érdekes észrevenni, hogy mindhárom esetben a 25. profil adja a legkisebb, míg az 50. profil adja a legnagyobb értéket. A három vizsgálat esetén a 3 profilt jellemző RSm, első PSD domináns hullámhossz és a HDCF domináns hullámhossz értékek átlaga rendre 694, 843 és 840 μm . Sajnos az eredmények megítélését rontja, hogy igen jelentős szórást mutatnak.



4. ábra

A felület egy profiljának HDCF görbéje

Következtetések

A vasúti fékpofoa vizsgálati eredményei az alábbiakban foglalhatók össze:

Az eltérő módszerekkel végzett elemzések hasonló eredményeket adtak, de együttes használatuk szükséges a megbízható kiértékeléshez.

A paraméter alapú jellemzés a különböző profilokon kellő biztonsággal (kezelhető mértékű szórással) adta a jellemző hullámhosszakot, de a WSm és RSm paraméterek függése a szűréstől rontja az eredmények megbízhatóságát.

A PSD analízis egy-egy profilon részletes elemzést képes elvégezni, de az eredmények értékelése komoly szakmai tapasztalatot kíván.

A HDCF technika a felületre jellemző legkisebb domináns hullámhosszt adja.

Hivatkozások

- [1] Johnson K. L.: Contact mechanics, Cambridge University Press (1985)
- [2] Horváth, S.: A felületi hullámosság 2D-s és 3D-s jellemzése, a működési tulajdonságokra gyakorolt hatásának vizsgálata és elemzése, ZMNE, PhD értekezés, Budapest, 2008
- [3] VDA 2006, Oberflächenbeschaffenheit, Regeln und Verfahren zur Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit (2002)
- [4] Klüppel, M., Müller, A., Le Gal, A., Heinrich, G.: Dynamic contact of tires with road tracks, Meeting of the Rubber Division, American Chemical Society, San Francisco, April 28-30, 2003
- [5] Horváth, S., Czifra, Á.: A felületi mikrotopográfia domináns hullámhosszának vizsgálata OGÉT XVIII. Nemzetközi Gépész Találkozó, Nagybánya, 2010. április 23-25, pp. 186-189