

VASÚTI FÉKTUSKÓ KOPÁSI VISELKEDÉSE I. RÉSZ: NUMERIKUS SZIMULÁCIÓ

WEAR BEHAVIOUR OF RAILWAY BRAKES PART I: NUMERICAL SIMULATION

Békési Nándor¹, Váradi Károly¹, Czifra Árpád²

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gép- és Terméktervezés Tanszék

² Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

ABSTRACT

Numerical simulations in tribology are getting more and more common as the performance of the available computational tools (hardware and software) improves. Present study shows an incremental wear simulation technique and its application on a railway brake block – wheel contact. In the simulation procedure the contact pressure is determined by finite element frictional contact calculations, which is then used in the wear equations to get the nodal wear increments. The geometry is changed and the whole model is being remeshed cycle by cycle. This way the amount of wear does not affect the accuracy of the calculations. The results of the simulation are compared with experimental findings in part II.

Páczelt és Mróz [3] modelljükben a súrlódáskor keletkező hő is figyelembe vették, és termo-mechanikai érintkezési számítás mellett nemlineáris, nyírófeszültségtől és csúszási sebességtől függő kopási törvényt alkalmaztak. A kidolgozott modellt egy dobfék- és egy tárcsafék-rendszeren mutatták be. A szerzők felhívják a figyelmet arra, hogy a hőfejlődés miatt bekövetkező hőtágulásnak köszönhető torzulások jelentősen befolyásolhatják az érintkezési viszonyokat és így a kopás folyamatát is.

A cikk első részében bemutatunk egy mérési elrendezést valamint a mérés körülményeit, ezután a mérési konfiguráció kopási szimulációját, annak lépéseit és eredményeit ismertetjük. A cikk második részében a féktuskó kopott felületének mikrotopográfiai vizsgálatát mutatjuk be.

1. BEVEZETÉS

A vasúti fékek két legelterjedtebb típusa a tárcsás és a tuskós fék. A tárcsás fékek esetében egy, a kerék tengelyéhez rögzített tárcsa két síklapjához szorítja hozzá a fékbetétet a fékmechanizmus. Tuskós fékek esetén a féktuskó közvetlenül a kerék palástfelületével érintkezik. Jelen kutatásban a tuskós fékek súrlódási és kopási viselkedését vizsgáltuk a fékezési folyamat közben. A kutatás célja elsősorban a bekopási folyamat vizsgálata volt.

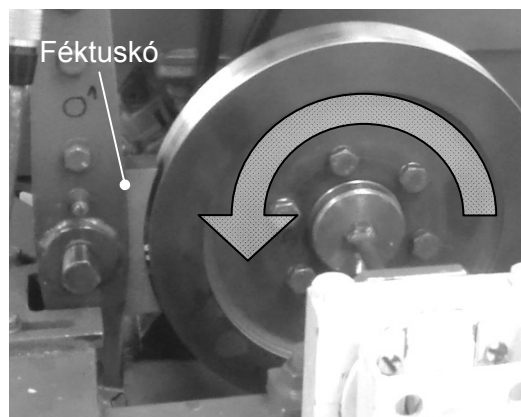
A kopás numerikus modellezésével több kutató is foglalkozott az elmúlt évtizedekben. A Pödra és Andersson [1] által kifejlesztett végeeselemes modellhez kapcsolt kopásszimuláció alapján készül a mai napig a legtöbb végeeselemes kopási szimuláció. Munkájukban a szimuláció első lépésében egy végeeselemes érintkezési számítás futtatnak, amelynek eredményeképp megkapták az érintkező csomópontokat, és az érintkezési nyomáseloszlást. Ennek ismeretében a kopási egyenlet alapján kiszámították a kopási mélység csomóponti növekményét. A következő lépésben a kopási mélységnek megfelelően mozgatták az érintkezési tartomány csomópontjait. Az így kialakult új geometriával ismét végeeselemes érintkezési számítás futtatnak, a ciklus újraindult. Az egymást követő időlépések hosszát a szimulációs folyamat konvergenciájára tekintettel változtatták.

Eleőd és szerzőtársai [2] háromdimenziós végeeselemes modellekkel vizsgálták a száraz súrlódás közben fellépő érintkezési viszonyokat a felületi érdesség figyelembevételével.

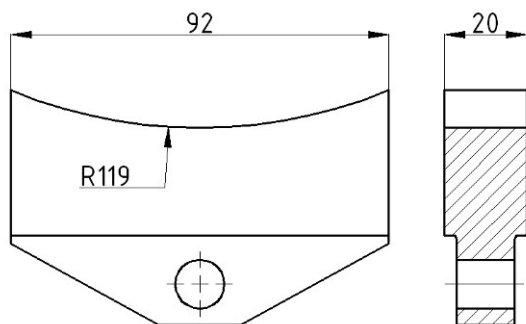
2. MÉRÉSI ELRENDEZÉS

A BME Vasúti Járművek és Járműrendszer-analízis Tanszék munkatársai méréseket végeztek egy görgős súrlódásvizsgáló mérőberendezésen (1. ábra). A mérés során a vasúti kerék 1:4 méretarányú modelljét a 2. ábra szerinti féktuskó fékezte. A hengeres kerék átmérője 242 mm. A vizsgált féktuskó anyaga P10 öntöttvas, a kerék A38 acél.

A mérés $t = 100$ s ideig tartott. A kerék állandó $v = 40$ km/h kerületi sebességgel forgott, a féktuskót $F_n = 500$ N nagyságú normálerő szorította a kerékhez. A mérés során erőmérő cellákkal mértük a tuskóra ható normális és tangenciális irányú erőket, és kiszámítottuk a súrlódási tényezőt.



1. ábra. A mérési elrendezés



2. ábra. A vizsgált féktuskómodell geometriája [mm]

A bemutatott mérési elrendezésen egy másik mérést is végeztünk, a fajlagos kopási tényező meghatározása érdekében. A féktuskó komplex geometriája és érintkezési viszonyai miatt ugyanis nehéz pontosan meghatározni a kopott anyag mennyiségét. Ebben a mérésben a forgó kerékhez egy 5 mm x 10 mm keresztmetszetű úgynevezett próbapálcát szorítottunk, és folyamatosan mértük a pálcá radiális irányú elmozdulását (kopáselmozdulás). Ebből az elmozdulásból következtetni lehet a kopás mennyiségére. A próbapálcá anyaga megegyezett a féktuskóéval. A próbapálcát – mivel jóval kisebb névleges felületen érintkezik a kerékkel – $F_n = 75$ N erővel szorítottuk a kerékhez. A kerék forgási sebessége azonos a féktuskós mérésben alkalmazottal.

3. A MÉRÉSEK EREDMÉNYE

A súrlódási tényező mért átlagos értéke $\mu = 0,38$ lett. A féktuskó kopott felületét mutatja a 3. ábra. Bal- és jobboldalt a kopott tartományok, míg belül a kopás nélküli felületrész látható.

A kopott felületen megfigyelhető, hogy csak a féktuskó két vége kopott, hiszen a féktuskó és a kerék sugara közötti különbség miatt kezdetben csak a féktuskó két vége érintkezett a kerékkel, majd a kopás következtében kezdett a féktuskó közepe felé terjedni az érintkező terület. Az is látszik a képen, hogy a féktuskó két vége eltérő mértékben kopott be. Ez a jelenség ismert, a súrlódás miatt kialakuló aszimmetrikus érintkezési nyomáeloszlás hatására a kopás is aszimmetrikus lesz.

A próbapálcával mért kopáselmozdulás időbeli lefutását mutatja a 4. ábra.

A kopáselmozdulás mért értékei alapján meghatároztuk a fajlagos kopási tényezőt ($t_1 = 200$ s-től $t_2 = 700$ s-ig terjedő, állandósultnak feltételezett időszak alapján):

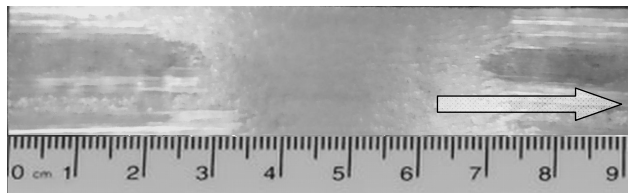
$$W_s = \frac{\Delta V}{F_n v \Delta t} \quad (1)$$

ahol F_n a normálerő, v a csúszási sebesség, Δt a csúszási idő és ΔV a kopott térfogat:

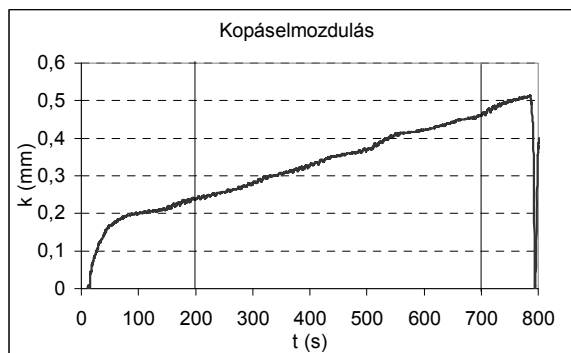
$$\Delta V = ab(k_2 - k_1) \quad (2)$$

ahol a és b a próbapálcá szélessége és magassága, k_1 és k_2 a kopáselmozdulás a $t_1 = 200$ s és a $t_2 = 700$ s időpillanatban.

Az (1) alapján $W_s = 2,7E-14$ m³/Nm-re adódott. A kopási szimulációkban ezt az értéket használtuk fel a kopásnövekmény meghatározásához.



3. ábra. A féktuskó kopott felülete



4. ábra. A próbapálcán mért kopáselmozdulás időbeli lefutása

4. KOPÁSSZIMULÁCIÓ

Végeselemes (VE) módszeren alapuló növekményes kopásszimulációs eljárást dolgoztunk ki, amelyben a súrlódásos érintkezési VE számítás eredményeképp meghatározott érintkezési nyomáeloszlás alapján az Archard-féle lineáris kopásmodell [1] szerint számítjuk az érintkezési tartomány i -dik csomópontjában a kopásnövekményt:

$$\Delta h_i = W_s p_i v \Delta t \quad (3)$$

ahol W_s fajlagos kopási együttható,
 p_i az i -dik csomópont érintkezési nyomása,
 v a csúszási sebesség,

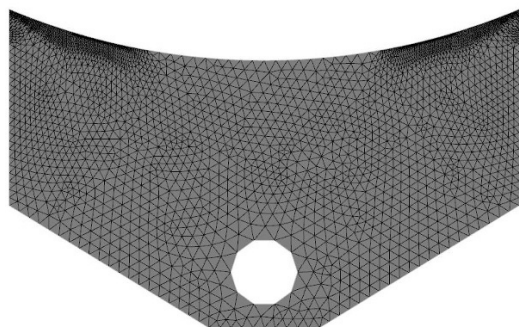
Δt a csúszási idő növekménye.

A kopásszimulációs technika eddig hasonló a Pödra-féle módszerhez [1], ám az általunk kidolgozott eljárás általánosabban használható. A Pödra-féle módszer ugyanis – mivel csupán a „felső”, érintkező csomópontok mozgásával modellezi a kopás miatt bekövetkező geometriaváltozást – korlátozott, hiszen a kopás hatására egyre laposabb lesz az érintkezési tartományhoz legközelebb eső elemréteg, amely csökkenti a számítás pontosságát, de még így is csupán a felső elemréteg magasságánál kisebb kopás modellezésére alkalmas. Ezt a korlátot sikerült az általunk kifejlesztett módszerrel átlépni: az érintkezési tartomány csomópontjainak mozgása után ugyanis újrahálózuk a teljes modellt, így az érintkezési számítások során minden lépésben „friss”,

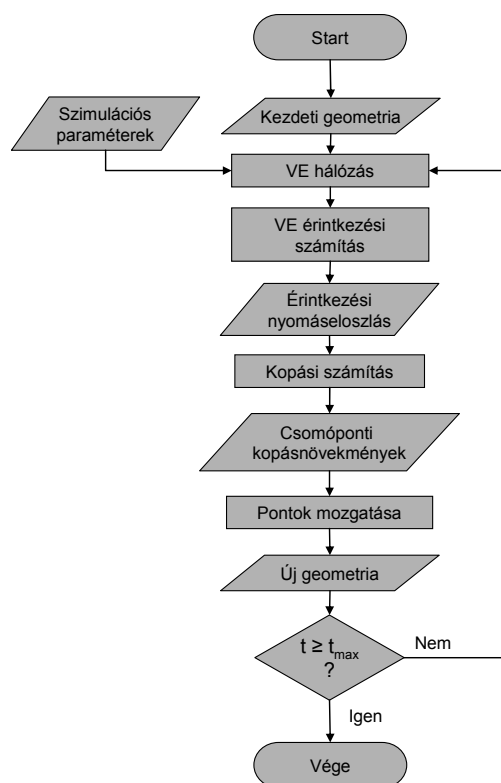
nem torzult elemekből álló hálóval számolhatunk. A kopás szimuláció folyamatát a 6. ábra mutatja.

Az érintkezési számításokhoz elkészítettük a féktuskó kétdimenziós sík alakváltozású VE modelljét, változó elemmérettel (5. ábra). A várható érintkezési tartomány közelében az átlagos eleméhhossz $150\ \mu\text{m}$, míg a távolabbi területeken $3\ \text{mm}$. A kereket ideálisan merev testként modelleztük. A féktuskó anyagjellemzői: $E = 1,0231\text{E}+11\ \text{Pa}$, $\nu = 0,25$. A kerék és a féktuskó között a mért eredményeknek megfelelő $\mu = 0,38$ értékű súrlódási tényezőt írtunk elő.

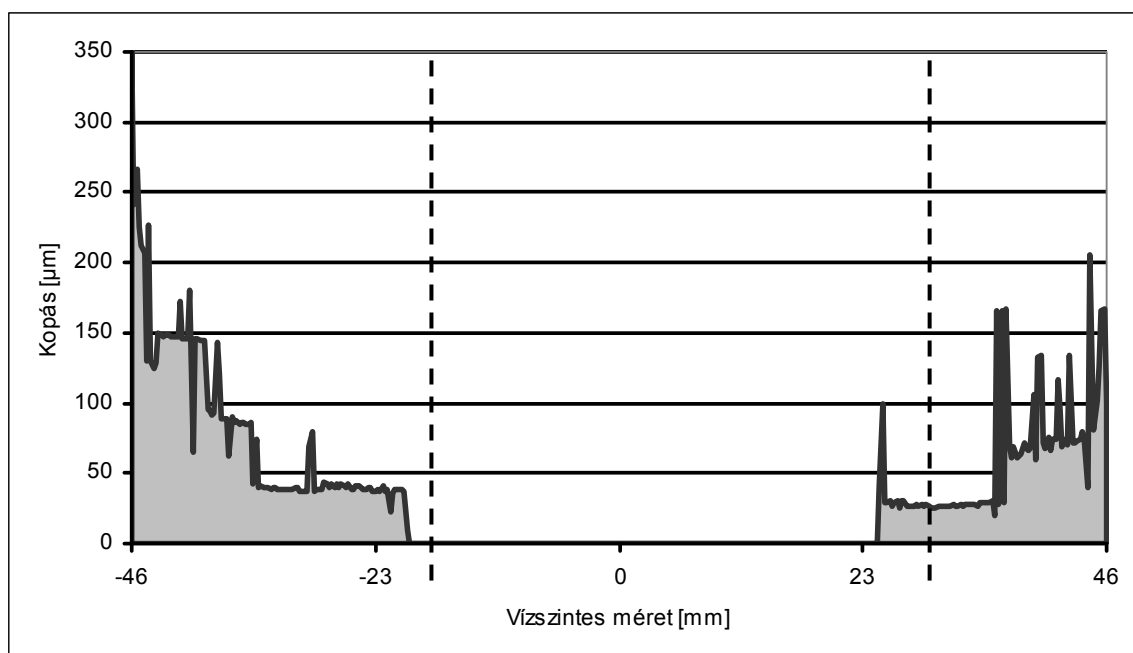
A kopásszimulációt $\Delta t = 1\ \text{s}$ időnövekménnyel végeztük el, tehát összesen 100 egymást követő lépésben modelleztük a mérést.



5. ábra. A féktuskó 2D VE modellje



6. ábra. A kopásszimuláció folyamata



7. ábra A számított kopáseloszlás a tuskó hossza mentén (szaggatott vonalak jelölik az érintkezési tartományok határát a kísérlet szerint)

5. A SZIMULÁCIÓ EREDMÉNYEI

A viszonylag rövid idejű mérés és az azt modellező szimuláció során a kopás mértéke szabad szemmel nem, vagy csak alig látható, ezért a kopott alak és az eredeti geometria különbségét ábrázoltam a féktuskó hossza mentén. A 7. ábra a kopásszimulációval kiszámított kopás eloszlását mutatja. Az eredményeken jól látszik a kopás aszimmetriája: a mérés után megfigyelt kopott felülethez hasonlóan a számított eredményben is a bal oldal kopott be jobban, a két oldal közötti eltérés azonban valamivel kisebb mint a mérés során tapasztalt. A baloldali kopásnyom 26,2 mm, a jobboldali pedig 21,3 mm méretű. Megállapítható, hogy a bemutatott szimulációs módszerrel jól modellezhető a féktuskó bekopása. Jelen eredményeknél még pontosabb eredményeket kaphatunk a hőfejlődés hatásának figyelembevételével.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönik Dr. Szabó András, egyetemi docens, Dr. Zobory István, egyetemi tanár és a Vasúti Járművek és Járműrendszer-analízis Tanszék munkatársai segítségét a mérések elvégzésében.

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a "Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását az Új Széchenyi Terv TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 programja támogatja.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Pödra, P., Andersson, S.: Simulating sliding wear with finite element method. *Tribology International* 32 (1999) 71–81. (doi:10.1016/S0301-679X(99)00012-2)
- [2] Eleőd A., Devecz J., Balogh T.: Numerical modelling of the mechanical process of particle detachment by finite element method, *Periodica Polytechnica Transportation Engineering* 28:(1-2) (2000) 77-90.
- [3] Páczelt, I., Mróz, Z.: Variational approach to the analysis of steady-state thermo-elastic wear regimes, *International Journal for Numerical Methods in Engineering* 81 (2010) 728-760.
- [4] Archard, J.F.: Contact and rubbing of flat surface, *Journal of Applied Physics*. 24 (1953) 981–988.