

KISMINTA FÉKTUSKÓ HŐTANI ANALÍZISE

THERMAL ANALYSIS OF A BRAKE BLOCK MODEL

Liktor Balázs*, Dr. Váradi Károly**

ABSTRACT

The contact and thermal behavior of a railway braking unit with block brakes has been studied. Using smaller test block formerly measured on existing test equipment [1]. Based on this data heat power was applied on the surfaces in contact to study the joint effects of contact and thermal states.

1. BEVEZETÉS

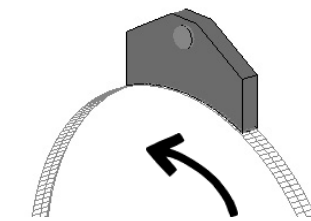
A fékrendszerek működésének egyik vizsgált jellemzője a kerék-féktuskó kapcsolat, hiszen a súrlódás, kopás és magas hőmérsékletek együttes hatása erősen megváltoztatja a mechanikai viselkedést. A jelenség teljes körű vizsgálata érintkezési, hőtani és kopás szimulációt igényel, így például a súrlódás keltette hő pontos modellezése még a mai számítástechnikai kapacitásokkal is nehézkes, ezért közelítő módszerek használata indokolt.

Vizsgálatunk célja, hogy fékezés közben a kerék és a féktuskó között lezajló érintkezési és hőtani folyamatokat egy mérésekhez használt kisminta féktuskó modelljén szimuláljuk a kopás elhanyagolásával. A szimulációk során először meghatározzuk a féktuskó "bekopás" utáni lehetséges belső sugarát a lehűlés után, majd ezt kiindulási adatnak felhasználva egy korábban elvégzett mérés [2] eredményeit kívánjuk reprodukálni, azaz egy újabb fékezést szimulálni.

2. MODELL FELÉPÍTÉSE

A vizsgálatokhoz egy kisminta féktuskó modelljét használjuk (1. ábra). A vele közvetlen kapcsolatban álló alkatrészek (kerék, függesztő csap) ideálisan merev testekként vannak figyelembe véve.

A kidolgozott végeelem modell egyidejűleg határozza meg az érintkezési tartományt és a hőfejlődést, illetve azok folyamatos kölcsönhatását (kapcsolt analízis).



1. ábra: A modell elrendezése

2.1. ANYAGJELLEMZŐK

A megfelelő pontosság érdekében a tuskó alkalmazott anyagjellemzőinek egy részét a ΔT hőmérséklet függvényében adjuk meg.

- Rugalmassági modulus hőmérsékletfüggése:

$$E = -0,00002\Delta T^2 - 0,0272\Delta T + 103 \text{ [GPa]} \quad (1)$$

- Lineáris hőtágulási együttható hőmérsékletfüggése:

$$\beta = 0,55 \cdot 10^{-8}\Delta T + 0,00001014 \left[\frac{1}{K} \right] \quad (2)$$

- Hővezetési tényező hőmérsékletfüggése:

$$\lambda = -0,00004\Delta T^2 - 0,0025\Delta T + 48,115 \text{ [W/mK]} \quad (3)$$

- Fajhő hőmérsékletfüggése:

$$c = 0,0008\Delta T^2 + 0,295\Delta T + 521,1 \text{ [J/kgK]} \quad (4)$$

- Poisson tényező: 0,25

- Sűrűség: 7150 [kg/m³]

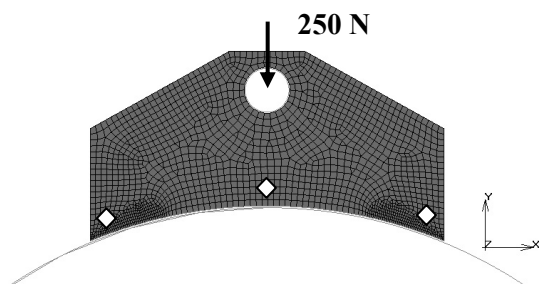
2.2. PEREMFELTÉTELEK

A számítási idő csökkentésére a modell szimmetriatulajdonságait kihasználva, az analízis csak fél modellt vesz figyelembe (fél modell vastagsága: 20 mm). A szimmetriasíkra eső csomópontok elmozdulása z (mélység) irányban zérus.

Annak érdekében, hogy a tuskó viselkedését a mérési elrendezéshez igazítsuk, a tuskót tartó csap elmozdulását y irányban korlátozzuk. A tuskóra $F_t=500$ N erő hat, ami a fél modell esetén $F_t=250$ N (2. ábra).

*MSc hallgató

**DSc, tanszékvezető egyetemi tanár, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gép- és Terméktervezés Tanszék



2. ábra: Terhelés definiálása, a hőmérséklet lekérdezési helyek bejelölésével

2.3. HŐTANI MODELL

A háló felépítése 8 csomópontos téglá elemekkel történt. Átlagos elemméret: 1,5 [mm]

A vizsgálat során a kerék forgását, valamint az érintkezési kapcsolatok közötti súrlódást is figyelembe vesszük. Az elemek közötti súrlódási tényező $\mu=0,384$ és a csúszási sebesség $v=11,4$ [m/s].

Kiindulási modellünk egy a kerék sugarával (121 mm) megegyező futófelületű tuskót feltételez. Annak érintkező felülete teljesen összekopott a kerékkel és hőmérséklete 400 °C (mérések alapján állandósult esetben). A tuskót ezután visszahűtve, a kapott belső sugarat további vizsgálatok alapjául használjuk. A tuskó futófelületének így kapott sugara 120,456 mm.

A kezdeti érintkezési tartomány az átmérő különbség miatt a tuskó széleire tolódik. Itt lép fel Q_1 és Q_2 hőfejlődés. Az összes keletkező hőteljesítmény 20%-a a kerék irányába terjed, míg a fékezett kerék felveszi a keletkező hő 80%-át. (A fenti hőpartíciót a tuskó sarokponti környezetben mért hőmérsékletek alapján becsültük meg.)

A következő összefüggések a teljes modellre vonatkoznak a tuskó oldalán 20% hőpartíciót figyelembe véve:

$$\begin{aligned} Q \cdot 0,2 &= (Q_1 + Q_2) \cdot 0,2 = \\ &= \mu \cdot v \cdot F_t \cdot 0,2 = 0,384 \cdot 11,4 \cdot 500 \cdot 0,2 = \\ &= 437,7 \text{ [W]} \end{aligned} \quad (4)$$

A modell hőtani peremfeltételei:

- Hőátadási tényező: 20 [W/m²K] a levegővel érintkező részeken, míg 100 [W/m²K] a furat belső felületén a további hűtés közelítő figyelembevételére.
- Környezeti hőmérséklet: 20 [°C].

A forgás miatt a belépő élen nagyobb, a kilépő élen pedig kisebb felületi nyomások ébrednek, így a fejlődő hőmennyiséget ez alapján szét kell osztani a két fél között. Ennek megfelelően a jobb szélén a tuskóra jutó hő 56%-át, a bal szélén 44%-át adjuk.

A kerék forgása miatt az érintkezési tartományok eltolódnak, aszimmetrikusak lesznek, viszont ez a megváltozás nem függ a kerék sebességétől.

A kerék 100 másodpercig forog. A 100. másodpercben a forgást leállítva 6000 másodpercig vizsgáltuk a lehűlést.

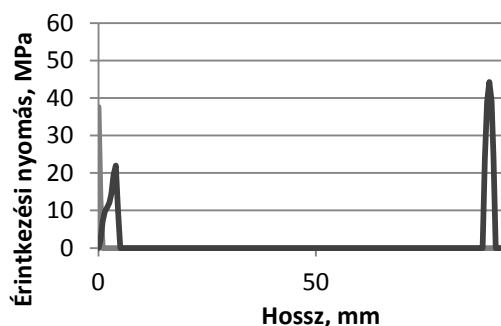
3. A FÉKEZÉSI FOLYAMAT ÉRINTKEZÉSI ÉS HŐTANI EREDMÉNYEI

3.1. ÉRINTKEZÉSI EREDMÉNYEK

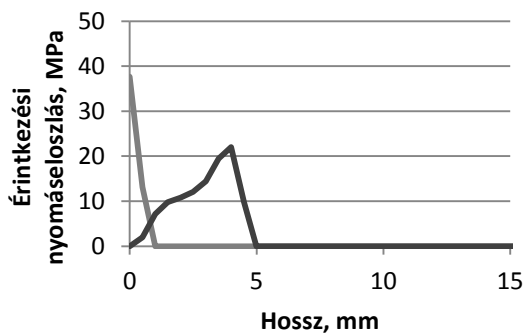
A kerék forgása során a súrlódás és az erőegyensúly megteremtése miatt az érintkezési tartományok a tuskó két szélén nem lesznek azonosak. A belépő oldalon nagyobb, míg a kilépő oldalon kisebbek lesznek a felületi nyomások (3. ábra), ennek megfelelően a két szélén eltérő az ébredő hőmérséklet is.

A hőmérséklet emelkedésével az érintkezési tartományok mind beljebb mozdulnak a hőtágulási viselkedés miatt. A hőtágulás során kismértékben "kinyílik" a tuskó.

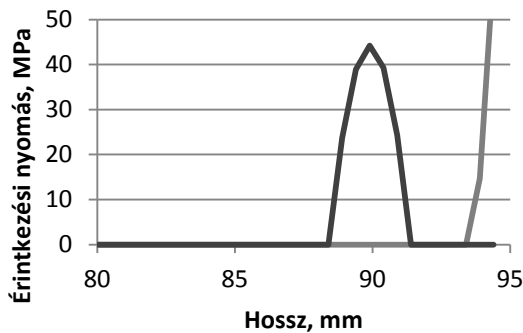
A 3-5. ábrán látható, hogy a belépő oldalon (jobb oldal) nagyobb a terhelés.



3. ábra: Érintkezési nyomások 10.(szürke) és 100.(fekete) sec. -ban a potenciális érintkezési tartományon

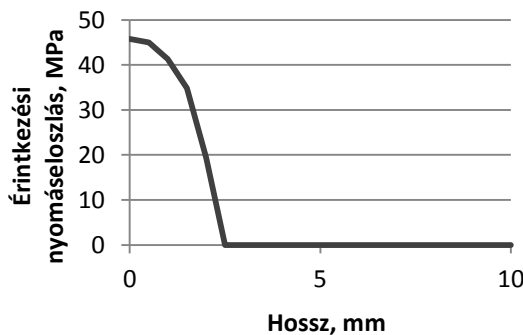


4. ábra: Érintkezési nyomáseloszlás a 10.(szürke) és 100.(fekete) sec.-ban a potenciális érintkezési tartomány bal oldalán



5. ábra: Érintkezési nyomáseloszlás a 10.(szürke) és 100.(fekete) sec.-ban a potenciális érintkezési tartomány jobb oldalán

Kereszt irányban (jobb oldalon) az érintkezési nyomás a szimmetriasík oldalán a legnagyobb, majd a modell pereme előtt zérusra csökken (6. ábra).



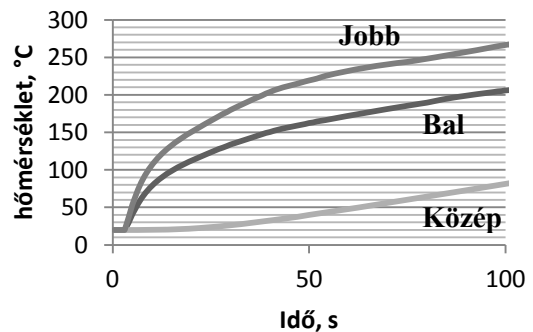
6. ábra: Érintkezési nyomáseloszlás z irányban a 100. sec-ban

3.2. HŐTANI EREDMÉNYEK

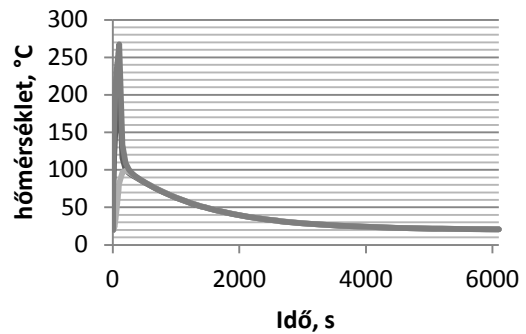
A hőmérsékleti képen (7. ábra) látható, hogy a tuskó két széle melegszik fel leginkább (400 °C az érintkezési tartományban). A hőmérsékletek lekérdezése szélén és közepén az érintkezési tartomány fölött 5 mm-rel történt (10a. ábra), mivel a mérés során a szenzorok helye is itt volt

kialakítva [2]. A 7. ábrán a legmagasabb hőmérséklet a jobb oldalon ébred.

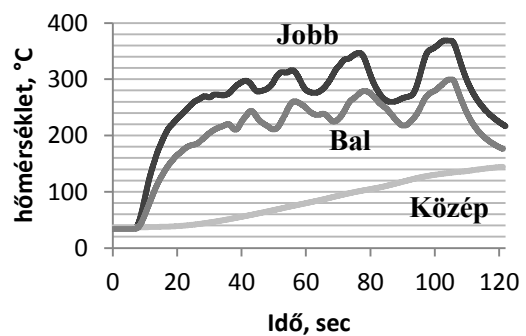
A 8. ábra a 6000 sec.-os tartományban mutatja a felmelegedést illetve a lehülést.



7. ábra: Hőmérséklet időbeli alakulása (felmelegedési szakasz, 0-100 sec, a három vizsgált pontban)

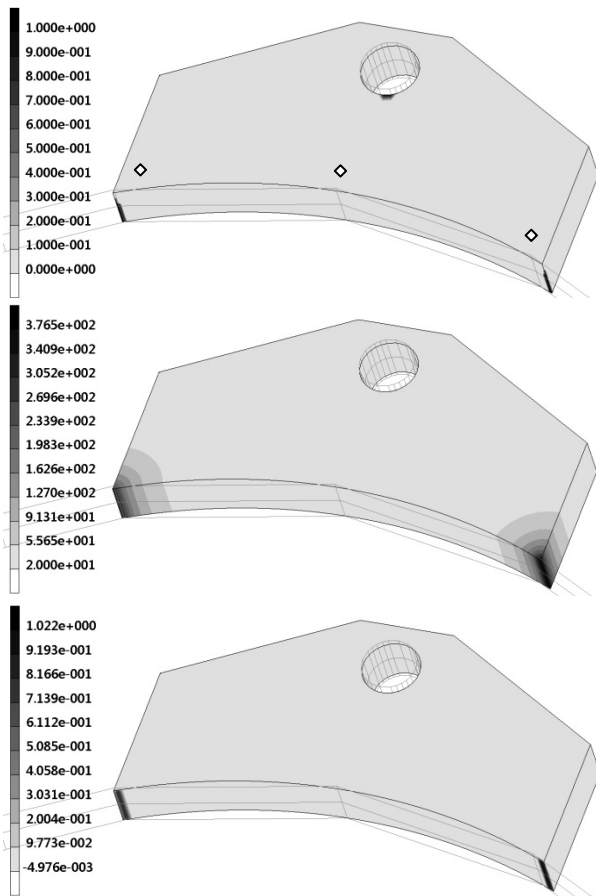


8. ábra: Hőmérséklet időbeli alakulása (felmelegedési és lehülési szakasz, 0-6000 sec)

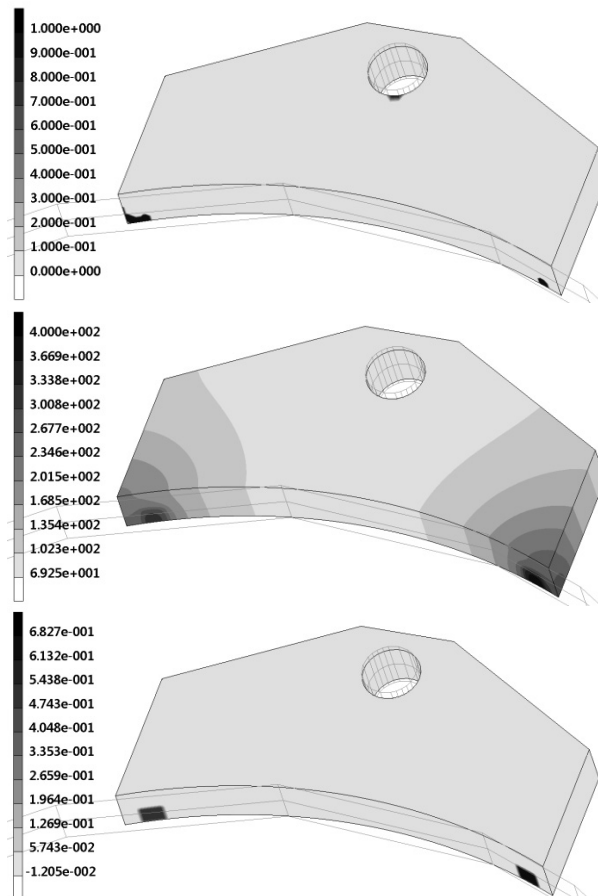


9. ábra: Hőmérséklet időbeli alakulása a mérések szerint (felmelegedési szakasz, 0-100 sec, a három vizsgált pontban)

A kisminta féktuskó ugyanilyen körülmények között végzett vizsgálatával összehasonlítva (9. ábra) megállapítható, hogy a szimuláció jellege helyes és a méréseknek megfelel.



10. ábra: a) Érintkezési tartományok (hőmérséklet lekérdezési helyek jelölve) b) Hőmérsékleteloszlás [°C] c) Hőfluxus; (10.sec)



11. ábra: a) Érintkezési tartományok b) Hőmérsékleteloszlás [°C] c) Hőfluxus; (100.sec)

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A szimuláció eredményeit vizsgálva világossá válik, hogy a potenciális érintkezési tartományon milyen sajátos jelenségek mennek végbe.

Az egyik ilyen jelenség az érintkezési tartományok kisebb vándorlása. Ez azért következik be, mert a hőfejlődés helyén a felület kissé "kidudorodik" és mert a hőtágulástól a tuskó kissé "kinyílik". A vizsgálat során a hőforrás 100 másodperc alatt csak kismértékben tolódik a potenciális érintkezési tartomány közepe felé, mivel a modell nem veszi figyelembe a kopást.

A második észrevétel, hogy a súrlódás miatt a jobb és bal széleken nem lesz egyenlő mértékű a nyomáseloszlás és a hőfejlődés. Ez egyértelműen a súrlódás miatt következik be a kerék forgása során. A jobb oldal átlagosan 10%-kal nagyobb terhelést kap.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

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.

6. IRODALOM

- [1] SZŰCS, J. - VÁRADI, K. - ZOBORY, I. - SZABÓ, A.: Féktuskó-kerékabroncs kapcsolat kopási viselkedése, GÉP, A Gépipari Tudományos Egyesület folyóirata, 2010/11 LXI. évfolyam, 28-32. old.
- [2] SZŰCS, J. – Féktuskó hőtani és kopásvizsgálata, Diplomaterv, 2009