

SÚRLÓDÁSI TÉNYEZŐ MÉRŐ GÉP VIZSGÁLATA INVESTIGATION OF FRICTION COEFFICIENT MEASURING MACHINE

Juhász Ádám, Dr Bihari Zoltán

MSc szintű Géptervező szakos hallgató, egyetemi docens
Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet

BEVEZETÉS

Napjaink egyik legfontosabb és legnagyobb jelentőséggel bíró kutatási területe a súrlódási tényező minimalizálása, mivel ennek a hatásnak a fellépése jelentős energiaveszteséget okoz. Ahhoz viszont, hogy egy adott súrlódáscsökkentő módszert értékelni tudjunk, szükséges, hogy annak értékét precízen képesek legyünk meghatározni. Célunk a *Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet* laborjában található mozgó súrlódási együttható mérő berendezés vizsgálata, valamint hibafeltárása. A kapott eredmények birtokában lehetőség nyílik az eszköz optimalizálására, vagy adott esetben egy új, más konstrukciójú mérőberendezés koncepciójának kidolgozására.

MOZGÓ SÚRLÓDÁSI TÉNYEZŐ MÉRÉSE [1] [2] [3]

A súrlódás egy közismert fogalom. Ha egy tárgyat egy másikon megpróbálunk elmozdítani, érezzük, hogy erőt kell kifejtenünk. Ennek az erőnek a nagysága meg kell haladja a súrlódó erő nagyságát, hogy az adott testet mozgásba hozzuk.

A szakirodalom kétféle súrlódási tényezőt értelmmez. Az egyik a nyugvó (μ_0), a másik pedig a mozgó (μ) súrlódási tényező.

Ennek értelmében egy adott test nyugalomból való elmozdításához nagyobb erő szükséges, mint annak mozgásban tartásához. Szabatosabban: a mozgásállapot megváltoztatásához nagyobb energia szükséges.

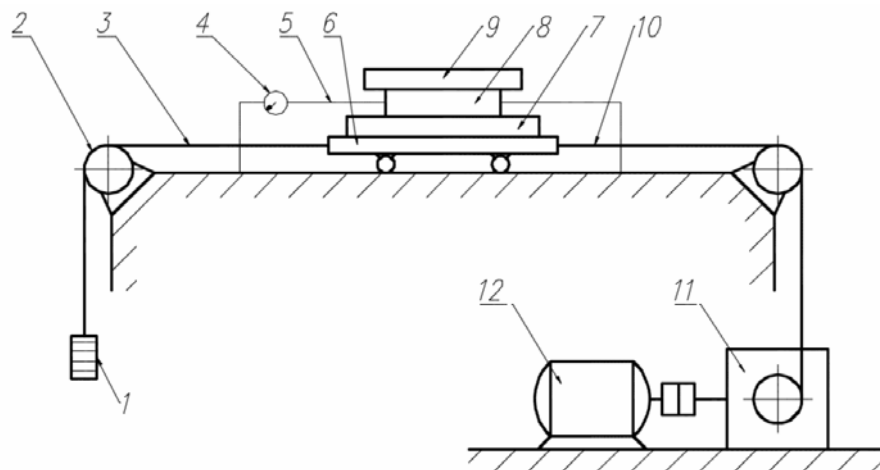
A Coulomb-féle súrlódási törvény kimondja, hogy a súrlódó erő csupán a súrlódási együtthatótól, valamint a súrlódó felületeket összeszorító erő nagyságától függ. Jelen tanulmányban terjedelmi korlátok miatt kizárólag a mozgó súrlódási tényező mérésének kérdését tárgyaljuk.

$$F_s = \mu \cdot F_n \quad (1)$$

A μ súrlódási együttható értéke több tényezőtől is függ:

- az érintkező anyagok szilárdsági tulajdonságaitól;
- a felületek minőségeitől;
- a kenőanyagtól;
- a relatív sebességtől;
- a felületi hőmérséklettől;
- a felületi nyomástól.

Közelítő számításokhoz elegendő az első három tényező figyelembe vétele, mivel ezek határozzák meg döntően a súrlódási együttható értékét. A *Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet* laboratóriumában található egyszerű készülék vázlatát az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra

A vizsgált berendezés elvi ábrája

Az ábra szerint az egyik súrlódó anyag minden esetben egy acéllemez (7), amely rögzített a mérő-kocsihoz (6), a másik anyag pedig e felett, egy huzalokkal rögzített befogó hengerben (8) található. Ez utóbbi próbatest körgyűrű alakú. A keletkező súrlódási ellenállást az (5) jelű mérőhuzal közvetíti a hitelesített ún. mikrométeres dinamométerhez (4), amelyben egy ezredes pontosságú mérőóra méri az acélgyűrű deformációját. A mérő-kocsi állandó sebességgel halad, amelyet a (12) jelű háromfázisú villanymotor biztosít egy $i=16$ áttételű csigahajtóművön (11), és egy vonószinóron (10) át. A motor forgásirányának megváltoztatásával az ellensúly (1), a csiga (2) és a drótkötél (3) biztosítja a mérő-kocsi alaphelyzetbe állását, így a mérés újból kezdődhet.

Az F_n felületeket összeszorító erő nagysága a G súlyterheléssel (9) változtatható. A felületeket összeszorító erő megváltozásával a súrlódó erő is változik, és a próbatesthez kapcsolt dinamométer ezen erővel arányos kitérést mutat, amelyet a kocsi mozgása során kell leolvasni. A súrlódó erő tehát nem más, mint:

$$F_s = A \cdot \Phi \quad (2)$$

ahol:

- A : arányossági tényező, $A = 0,206 \text{ N / osztás}$, amelynek igazolására a következőkben részletesen kitérünk;
- Φ : a műszer kitérése.

Végül az értékek alapján célszerű ábrázolni az $F_s = f(F_n)$ függvénykapcsolatot a mért pontokra fektetett regressziós egyenessel, amelynek iránytangense adja a két vizsgált felület közötti mozgó súrlódási tényezőt:

$$\mu = \tan \alpha = \frac{F_s}{F_n} . \quad (3)$$

ELVÉGZETT MÉRÉSEK KIÉRTÉKELÉSE

A 2015-16 tanév első félévében összegyűjtöttük a Gépészmérnöki alapismeretek tantárgy keretén belül készült hallgatói mérések eredményeit. Az egyes anyagpárookra kapott különböző súrlódási együtthatókat az alábbi *táblázat* tartalmazza.

1. táblázat

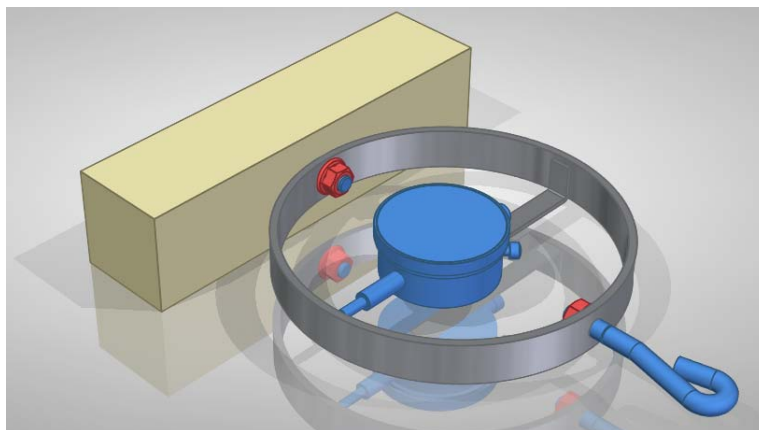
Hallgatói mérések összefoglaló táblázata

	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4
Acél – acél	0,1202	0,1361	0,1336	0,1199
Acél – alumínium	0,1306	0,1795	0,1458	0,1555
Acél – bonamid	0,1857	0,1645	0,2085	0,2047
Acél – textildakelit	0,1601	0,2683	0,3349	0,2741

Az eredmények alátámasztják, hogy a mérés pontatlan, mivel egyes értékek viszonylag nagy szórást mutatnak. Ennek oka lehet az ún. „Stick-Slip”, azaz akadozva csúszás jelensége, amely lehetetlenné teszi a mérőóra pontos leolvasását. Ilyenkor a vizsgált anyagok közt nem valósul meg folyamatos csúszás, ehelyett a két felület egymáson hol odatapad, hol pedig megugrik és csúszik egymáson. Ezt a hatást a felületek minőségének javításával lehetne csökkenteni (Rozsdamentes acéllap alkalmazása).

A DINAMOMÉTER VIZSGÁLATA

A vizsgálat célja, hogy a műszernél már említett, és a gépkönyvben rögzített „A” arányossági tényezőt végeselemes módszer alkalmazásával leellenőrizzük, illetve megvizsgáljuk, hogy az alábbi ábrán látható deformálódó gyűrű rugalmas alakváltozása milyen függvénykapcsolatban van a deformációt létrehozó erővel. A vizsgálatot végeselemes analízis segítségével végeztük el, amelyhez a *Solid Edge ST8* tervezőrendszer *NX Nastran* végeselemes modulját használtuk.

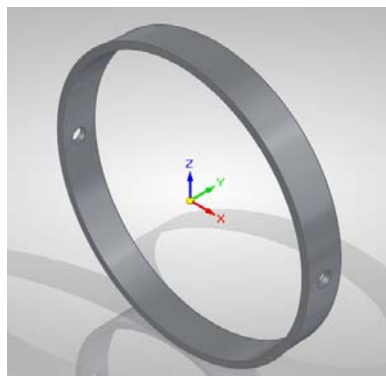


2. ábra

A vizsgált szerkezeti rész

A 2. ábrán látható az ún. mikrométeres dinamométer. Ez közvetett úton képes a rá ható erő mérésére oly módon, hogy az ábra bal szélén látható horgos csavart húzóerővel terheljük, amely az acél mérőgyűrűben – a terhelőerő vektorára merőleges síkban – kontrakciót, azaz keresztmetszet-csökkenést okoz, majd ezt az elmozdulást egy mérőóra számszerűsíti. A mérőberendezés gépkönyvében rögzített műszerállandó értéke: $A = 0,206 \text{ N/osztás}$. A műszer hosszú évtizedes múltja során számos kisebb-nagyobb változtatáson, tökéletesítésen ment keresztül, amelyek során ezen műszerállandó újraszámítása nem történt meg. Így tekinthető ez a vizsgálat a műszer egyfajta újra hitelesítésének is.

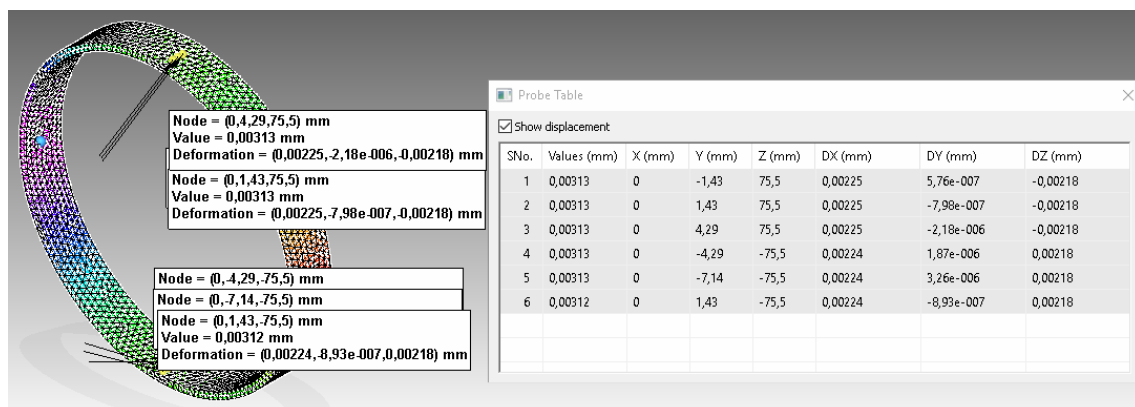
A végeselemes vizsgálatot kizárólag a mérőgyűrűre korlátoztuk. A beállított peremfeltételek szerint a 3. ábrán látható alkatrészt a bal oldali furaton rögzítjük fix – azaz zérus szabadságfokú – megfogással. Az állandó terhelőerő a másik, jobb oldali furaton keresztül, X-irányban hat a gyűrűre, amelynek nagyságát 0,1 N és 50 N között változtattuk.



3. ábra

A koordinátarendszer definiálása

A következő ábrán a különböző erők hatására fellépő elmozdulások láthatóak. Megjegyzendő, hogy a DZ oszlopok (Z-irányú elmozdulás a releváns) három negatív és három pozitív értéket tartalmaznak. Az előjel annak a függvénye, hogy pozitív vagy negatív Z-irányban lévő csomópontokról van szó, így a tényleges elmozdulás egy pozitív és egy negatív érték abszolút értékeinek összegeként áll elő. Terjedelmi korlátok miatt csak egy futtatási eredményt mutatunk be, nevezetesen az 1N terhelőerőre vonatkozót.



4. ábra

1 N hatására jelentkező elmozdulások

A teljes vizsgálat-sorozat eredményeit – terjedelmi korlátok miatt – táblázatos formában közöljük, kiegészítve a számított műszerállandóval.

2. táblázat

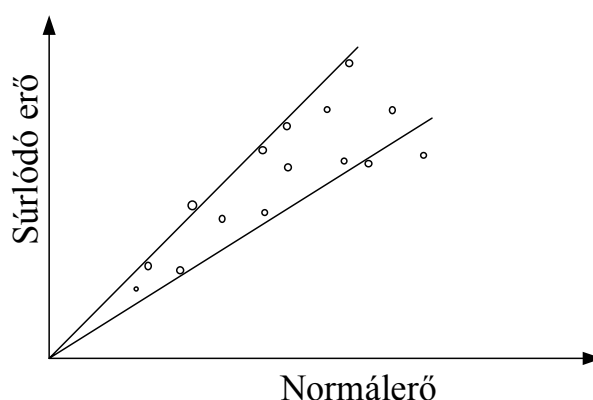
A végeelemes vizsgálat eredménye

Terhelőerő [N]	Elmozdulás /DZ kétszerese/ [mm]	Műszerállandó [N/osztás]
0,1	0,000436	0,22935
1	0,00436	0,22935
5	0,0218	0,22935
10	0,0436	0,22935
50	0,218	0,22935

A táblázatból megállapítható, hogy a kontrakció mértéke a terhelőerővel – a vizsgált tartományon belül – egyenesen arányos, tehát lineáris. Azonban látható, hogy a kapott műszerállandó eltérést mutat a kiinduló értékhez képest ($A = 0,206$ N/osztás). Az eltérés ugyan nem tűnik jelentősnek, viszont a vizsgálat során fellépő kis erők mérésekor észlelhető a különbség, így a mérőberendezés jelen esetben nem szolgáltat hiteles és precíz eredményeket.

JAVASLAT A BERENDEZÉS KORSZERŰSÍTÉSÉRE

Mint ahogy korábban is láthattuk, a mérések során rengeteg olyan, előre nem látható vagy számítható tényező adódhat, amely kisebb vagy nagyobb mértékben befolyásolhatja a mérés eredményét. Ennek orvoslására célszerű lenne a mozgó súrlódási tényezőt anyagpárok esetén nem egy konkrét értéként, hanem egy tartománnyal jellemezni, kapcsolódva ezzel a szakirodalmakban megtalálható túl-ig határok között megadott értékekhez (5. ábra).



5. ábra

A javasolt súrlódási együttható tartomány

ÖSSZEFOGLALÁS, TOVÁBBLÉPÉS LEHETŐSÉGEI

A végeselemes vizsgálat megállapította, hogy a gépen alkalmazott műszerállandó értéke vélhetően helytelen, a műszerállandót a műszer gépkönyvében jelen vizsgálat eredményét felhasználva kellene módosítani, illetve méréssel igazolni (kalibrálni). Ezt az ún. kalibrálást egyszerű kivitelezni egy nyúlásmentesnek tekinthető acélhuzal, valamint különböző etalon súlyok segítségével.

A vizsgálat tárgyát képező mérőberendezés pozitívumaként említendő meg, hogy az alkalmazott dinamométer valóban jellemezhető és számszerűsíthető egy konkrét műszerállandóval, mivel a mérőgyűrű keresztmetszet-változása még 50 N erő esetén – ami valóságos vizsgálati körülmények között sohasem lép fel – is lineárisnak bizonyult.

A mérés szempontjából azt tekinthetnénk ideálisnak, ha a terhelőerő által létrejövő súrlódó erő a vizsgálat során időben állandó lenne, viszont ez az alábbi tényezők miatt nem valósulhat meg tökéletesen:

- „Stick-Slip” jelensége;
- az érintkező anyagok egyenetlen felületminősége;
- a mérőkocsi akadozva halad előre – ennek oka, hogy a kocsi síneken gördül, így a kerekek súrlódása nem egyenletes, így „hol könnyebben, hol nehezebben” gördül előre;
- a mérőhuzal kis mértékű rugalmas nyúlása;
- a szerkezet működése közben fellépő rezgések.

Végül, a teljesség kedvéért a mérőóra hibáját is számításba lehet venni.

Véleményünk szerint ez a berendezés demonstrációs és oktatási célokra messzemenően megfelel, viszont a kialakításából adódóan a mérési eredmény hitelességét befolyásoló tényezők nagy száma halmozódik a kinematikai láncon, mire a mérőegységhez ér.

A továbbiakban egy teljesen új konstrukciójú, illetve más elven működő vizsgáló berendezés megtervezését tűztük ki célul.

IRODALOM

- [1] **Súrlódás, közegellenállás**, https://www.mozaweb.hu/Lecke-FIZ-Fizika_9-10_2_Surlodas_Kozegellenallas-100014 (2015. 12. 10.)
- [2] **A mozgás örök ellensége: a súrlódás**, <http://vilaglex.hu/Fizika/Html/Surlodas.htm> (2015. 12. 10.)
- [3] **Mozgó súrlódási tényező mérése**, http://web.uni-miskolc.hu/gepelemek/tantargyaink/001b_gepeszmernoki_alapismeretek/1.meres-mozgosurlodas_segedlet.pdf (2015. 12. 10.)

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.