



STICK-SLIP LABORATÓRIUMI MÉRŐKÉSZÜLÉK SEGÍTSÉGÉVEL KAPOTT SÚRLÓDÁSI TÉNYEZŐK ADATFELDOLGOZÁSA ÉS KIÉRTÉKELÉSE

DATA PROCESSING AND EVALUATION OF FRICTION FACTORS OBTAINED USING A STICK-SLIP LABORATORY MEASURING DEVICE

Popa-Müller Izolda,¹ Deák Szabolcs²

¹ Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék,
Marosvásárhely, Románia, ipmuller@ms.sapientia.ro

² Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék,
Marosvásárhely, Románia, deaksz94@yahoo.com

Abstract

The aim of the study was to determine the frictional properties of different material pairs using a stick-slip laboratory measuring device. During the measurements the contact of aluminum, steel, tin, copper, brass with a polymer conveyor belt was analyzed. By processing the experimental data, the static and kinetic friction coefficients were determined and compared with values recommended in the literature. For more accurate evaluation, correction procedures were applied in the determination of the friction coefficients.

Keywords: *stick-slip phenomenon, coefficient of friction, data processing, evaluation.*

Összefoglalás

A vizsgálat célja különböző anyagpárok súrlódási tulajdonságainak meghatározása stick-slip laboratóriumi mérőkészülék segítségével. A méréseknél elemeztük az alumínium, acél, ón, vörös- és sárgaréz érintkezését polimer futószalagon. A kísérleti adatok feldolgozásával meghatároztuk a statikus és csúszó súrlódási együtthatókat, majd az eredményeket összehasonlítottuk a szakirodalomban található értékekkel. A pontosabb értékelés érdekében korrekciós eljárást alkalmaztunk a súrlódási együtthatók meghatározásában.

Kulcsszavak: *stick-slip jelenség, súrlódási együttható, adatfeldolgozás, kiértékelés.*

1. Bevezetés

A súrlódás a gépészeti rendszerek egyik alapvető fizikai jelensége, amely jelentős hatással van az alkatrészek működésére és élettartamára.

Kis elmozdulási sebességnél 0.18–180 [mm/min] száraz, határ- és vegyes súrlódási feltételeknél, a súrlódási csúrlók felületeinek mozgását a szakaszos jelenség (stick-slip) követi.

A stick-slip jelenség megmagyarázható a tapadási jelenség és a hegedési pontok létrehozásával [1, 2, 3, 4].

A stick-slip jelenség különösen fontos szerepet játszik a mozgó felületek közötti dinamikus súrlódási folyamatok megértésében [5, 6, 7].

Ez a jelenség a tapadás és a csúszás periodikus váltakozásából adódik, amely rezgéseket és egyenetlen mozgást eredményezhet. A jelenség vizsgálata hozzájárul a különböző ipari berendezések működésének optimalizálásához.

A laboratóriumi stick-slip mérőberendezés alkalmazható különböző anyagpárok vizsgálatára.

A mérések lehetőséget biztosítanak a statikus és a csúszó súrlódási együtthatók meghatározására.

Az eredmények összehasonlíthatók a szakirodalomban található adatokkal, amely segíti a mérési módszerek validálását.

A vizsgálatok hozzájárulnak a súrlódási folyamatok mélyebb megértéséhez és a tribológiai rendszerek fejlesztéséhez.

1.1. Berendezés tervezése

A berendezés egy Dörner márkájú kisebb futószalagból áll, amelyet egy villanymotor hajt meg.

A futószalag egy PVC-bevonatú szövet, hossza 610 [mm], szélessége pedig 155 mm, amelynek maximális teherbírása 36 kg.

A futószalag vázára egy erőmérő cellát rögzítünk, amelyhez egy rugó csatlakozik, és ennek a végére helyezzük el a próbatestet.

Az erőmérő cella csatlakoztatva van egy mérő áramkörhöz és egy mérést végző Arduino-kártyához. Az erőmérő modul rögzítve van a futószalag vázához.

A próbatest egy téglalap formájú, 313 gramm tömegű fa, amelynek az aljára elhelyezzük az 0.5 mm vastagságú fémlamezt, amely a PVC-futószalaggal érintkezik.

A berendezés vázát Bosch-típusú, 45 × 45 alumíniumprofil alkotja. Ezen a vázon helyezkedik el a futószalag (1. ábra).

A tapadási állapot feltétele (2. ábra) alapján:

$$F_r \leq \mu_s \cdot N, \quad (1)$$

ahol: F_r - rugóerő;

N - normálerő;

μ_s - statikus súrlódási együttható.

F_s statikus súrlódási erő összefüggése:

$$F_s = \mu_s \cdot N \quad (2)$$

A csúszás egyenlete (3. ábra) alapján:

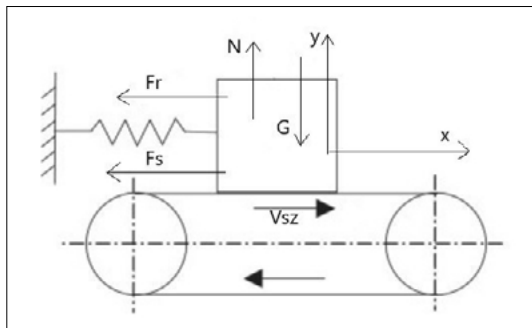
$$F_{cs} - F_r = m \cdot a \quad (3)$$

$$F_{cs} = \mu_k \cdot N, \quad (4)$$

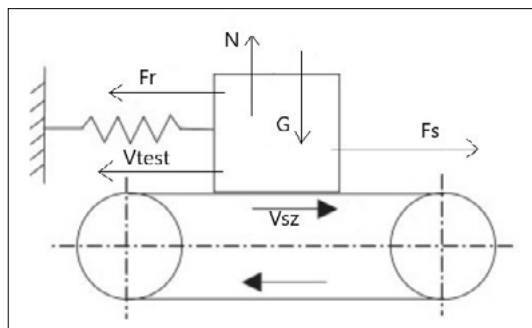
ahol: F_{cs} csúszó súrlódási erő,

m - próbatest tömege,

μ_k - kinetikus súrlódási együttható.



2. ábra. Az erők hatása tapadás esetén



3. ábra. Az erők hatása csúszás esetén

2. A súrlódási tényező meghatározása

A mérési folyamat során folyamatosan rögzítettük a súrlódási erő változását, amelyből meghatározható volt a tapadási és csúszási állapothoz tartozó erő. A műanyag felületén a CuZn-, Cu-, Al-, Sn- és FeC-anyagok stick-slip tapadási és csúszási súrlódási együtthatóját határoztuk meg.

A szakaszos csúszás feltétele:

$$\mu_s / \mu_k \geq 1 \quad (5)$$

A statikus súrlódási együttható meghatározásában a maximális erőt használjuk közvetlenül a csúszás előtt (1. táblázat).

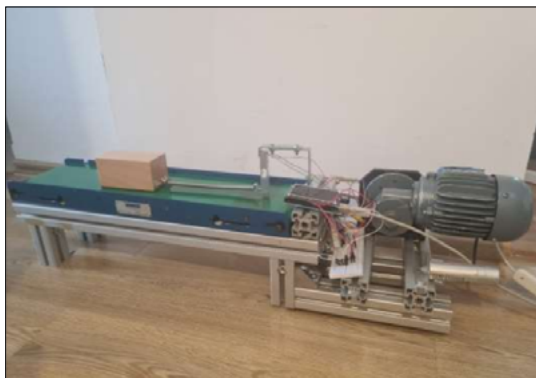
A kinetikus súrlódási együttható esetében az átlagolt erőt használjuk csúszás közben (1. táblázat).

A mért maximális erőértékek felhasználásával meghatároztuk a statikus és a kinematikus súrlódási együtthatókat. A súrlódási tényezők számítására felhasználtuk az (1...5) egyenleteket.

2.1. Kísérleti eredmények

A szakaszos csúszás feltétele teljesül, 2. táblázat.

A mérések során az erő időbeli változása (4., 5., 6., 7., 8. ábra), látható különböző anyagpárok érintkezésénél.



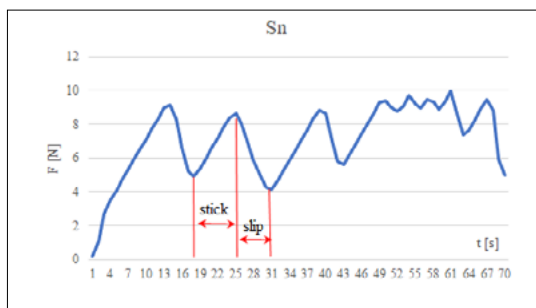
1. ábra. A tervezett berendezés

1. táblázat. A mért erők értékei

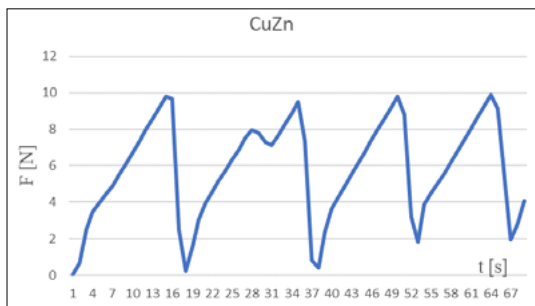
Mért erő [N]				
CuZn	Cu	Al	Sn	FeC
0.01	0.22	0.07	0.13	0.3
0.64	1.8	0.13	1.02	0.41
2.49	3.21	0.13	2.69	0.12
3.45	3.85	0.06	3.51	0.08
3.94	4.47	1.42	4.11	0.1
4.43	5.09	3.06	4.73	0.93
4.92	5.71	3.86	5.35	2.42
5.5	6.33	4.4	5.95	3.07
6.1	6.94	4.96	6.54	3.6
6.71	7.53	5.46	7.14	4.11
7.32	7.85	5.87	7.75	4.35
7.94	7.28	6.1	8.35	4.37
8.55	6.06	6.21	8.94	4.11
9.17	5.07	6.22	9.14	3.62
9.8	4.97	6.22	8.26	3.31
9.67	5.5	6.18	6.62	3.43
2.49	6.12	6.16	5.21	3.8
0.25	6.73	6.14	4.89	4.1
1.57	7.33	6.09	5.37	4.25
3.04	7.95	6.04	5.99	4.22

2. táblázat. A súrlódási tényezők átlagértékei

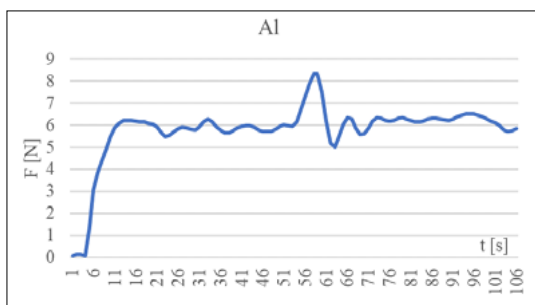
Anyag	CuZn	Cu	Al	Sn	FeC
anyag [kg]	0.43	0.45	0.43	0.43	0.47
justabikus 1	2.30	1.65	1.49	2.19	0.96
μ kinetikus1	0.97	1.21	1.43	1.45	0.80
justabikus 2	1.86	1.96	1.42	1.92	0.93
μ kinetikus2	1.74	1.35	1.40	1.23	0.85
justabikus 3	2.23	2.14	1.50	2.08	1.00
μ kinetikus3	0.67	1.35	1.40	2.02	0.84
átlag tapadás	2.13	1.92	1.47	2.06	0.96
átlag csúszás	1.13	1.30	1.41	1.57	0.83
arány	1.89	1.47	1.05	1.32	1.16



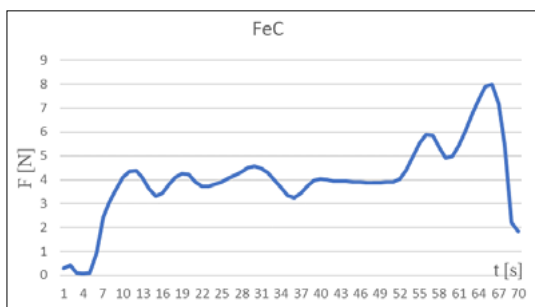
4. ábra. Az Sn-PVC esetében az erő változása az idő függvényében, kenőanyag nélkül



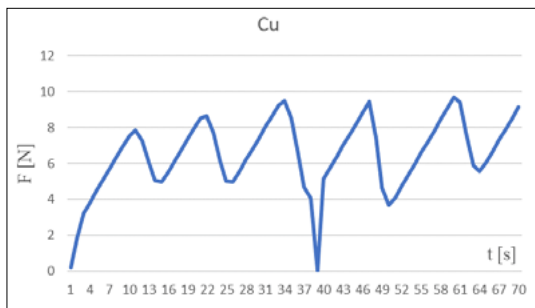
5. ábra. A CuZn-PVC esetében az erő változása az idő függvényében, kenőanyag nélkül



6. ábra. Az Al-PVC esetében az erő változása az idő függvényében, kenőanyag nélkül



7. ábra. A FeC-PVC esetében az erő változása az idő függvényében, kenőanyag nélkül



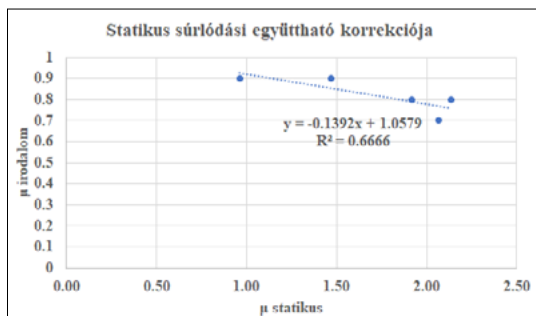
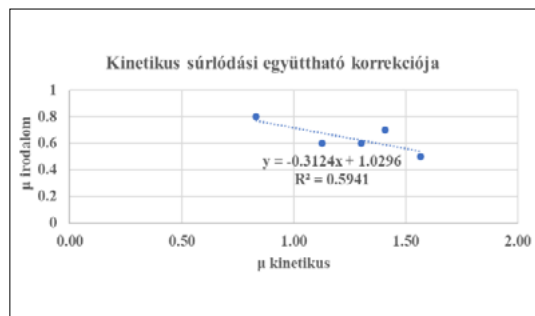
8. ábra. A Cu-PVC esetében az erő változása az idő függvényében, kenőanyag nélkül

3. táblázat. Összehasonlítás a mért és az irodalomban használt tapadási súrlódási tényezők között

	átlag tapadás	irodalmi adat	
CuZn	2.13	0.8	r
Cu	1.92	0.8	0.8161
Al	1.47	0.9	
Sn	2.06	0.7	
FeC	0.96	0.9	

4. táblázat. Összehasonlítás a mért és az irodalomban használt csúszási súrlódási tényezők között

	átlag csúszás	irodalmi adat	
CuZn	1.13	0.6	r
CuZn	1.30	0.6	0.7708
Al	1.41	0.7	
Sn	1.57	0.5	
FeC	0.83	0.8	

**9. ábra.** Tapadási súrlódási együttható korrekciója**10. ábra.** Kinetikus súrlódási együttható korrekciója

A grafikonokon periodikus erőingadozás figyelhető meg, amely a tapadás- és csúszásjelenség jelenlétére utal. Egyes anyagok esetén az erőcsúcsok és a minimumok különböző amplitúdóval jelentkeznek, ami az eltérő súrlódási tulajdonságokra utal. Az szelénium esetében az erőingadozás viszonylag egyenletes, míg a CuZn-nél nagyobb amplitúdójú kilengések figyelhetők meg. Az alumíniumnál az erőváltozás kisebb ingadozást mutat, ami stabilabb csúszási viselkedést jelez. A statikus súrlódási erő nagyobb, mint a csúszó súrlódási erő, ezért a rendszer periodikusan tapadási és csúszási fázisok között váltakozik. Az acél esetében az erő változása egyenletesebb, kisebb amplitúdójú ingadozások figyelhetők meg, ami stabilabb csúszási folyamatot és kisebb stick-slip hatást jelez. A réz esetében az erő fokozatos növekedését a tapadási szakaszban figyelhetjük meg, majd hirtelen lecsökken a megcsúszás során, ami nagyobb súrlódási ingadozásra utal.

2.2. Az adatok feldolgozása

A kísérleti eredményeket összevetettük az irodalomban ajánlott súrlódási tényező-értékekkel. Az eltérések vizsgálata érdekében korrekciós görbéket állítottunk fel a statikus és kinematikus súrlódási együtthatók esetében. A lineáris regressziós elemzés segítségével meghatároztuk a mért és

az irodalmi értékek közti kapcsolatot, (9. ábra), (10. ábra), amely lehetővé tette a mérési eredmények pontosítását.

3. Következtetések

A berendezés lehetővé tette, hogy különböző anyagpárok között jelentős eltéréseket figyeljünk meg a súrlódási viselkedés tekintetében.

A vizsgálatok igazolták, hogy a berendezés alkalmas a stick-slip súrlódási tényezők és folyamatok elemzésére.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Kozma M.: *Tribológia*. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2001.
- [2] Pavelescu D., Muşat M., Tudor A.: *Tribologie*. Ed. Didactică şi pedagogică, 1977.
- [3] Kozma M.: *Gépelemek 9. Tribológia, síklócsapágys*. Budapesti Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Kar, Műegyetemi Kiadó, 1995.
- [4] Valasek I.: *Tribológiai kézikönyv*. Tribotechnika Kft., Budapest, 1996.
- [5] Zsidai L., Keresztes R. A.: „Stick-slip” jelentősége és tribológiai vizsgálatának lehetséges irányvonalai a polimer alkalmazásokhoz. *Polimerek*, 1/4. (2015) 102–110.
- [6] Neale M. J.: *Tribology Handbook*. Londra, 1973.
- [7] Vámos E.: *Tribológiai kézikönyv. Gépek és gépelemek súrlódása, kopása, kenése*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983.