

Kopásvizsgálati eljárás fejlesztése

Kovács Tünde

Ph.D. hallgató

Budapesti Műszaki Főiskola, Anyag-, és Alakítástechnológiai Tanszék

Témavezető: Dr. Dévényi László

Egyetemi docens,

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Anyagtudomány és Technológia Tanszék

Bevezetés

A kopás folyamatának leírására és kvantitatív jellemzésére is számos modell és módszer ismeretes. A koptatóvizsgálatokhoz a legkülönbözőbb elrendezésű berendezéseket, mechanizmusokat alkalmaznak. Kutatómunkánk tárgya a szakirodalomból is ismert, az ún. golyó/sík érintkezés elvén alapuló kopás-vizsgálati módszer alkalmazási feltételeinek illetve korlátainak kritikai elemzése, különös tekintettel a mérési eredmények pontosságára, szóródására és reprodukálhatóságára.

A hagyományos módszer (kísérleti elrendezés) legfőbb hátránya, hogy a vizsgálat folyamán a felületi terhelés, sőt már a normál irányú erő konstans értéken tartása is elvi nehézségekbe ütközik. Ez kedvezőtlenül befolyásolja a vizsgálati eredmények reprodukálhatóságát, negatív hatása a mérési adatok jelentős mértékű szórásában is jelentkezik. Jelen dolgozatban megmutatjuk, hogy a kísérleti berendezés elvi, konstrukciós módosításával lehetőség nyílik a vázolt méréstechnikai problémák többségének kiküszöbölésére, a mérés megbízhatóságának javítására.

A számításokkal elemzett és a gyakorlatban vizsgált elrendezés bizonytalanságainak kiküszöbölésére új konstrukciós elven alapuló kopásvizsgálati elrendezéseket fejlesztettünk ki. Első lépésben egy módosított elrendezést alkalmaztunk, melynél a fordulatszám átadását a meghajtó tengely és a koptatógolyó között kényszerkapcsolattal biztosítottuk. Ezáltal kiküszöböltük a csúszást, a kopási tényező pontosan meghatározhatóvá vált.

Ennek a módosított összeállításnak az a hátránya volt, hogy a golyó nem végezett bolygó mozgást, így a koptatás egyetlen érintkező övezetre korlátozódott. A kopási folyamatot valószínűleg befolyásolta a golyó felületi érdességének megváltozása, ezt az eredmények jelentős szóródása eredményezi.

A tapasztalatok alapján, ezt az összeállítást módosítva készítettük el a következőkben bemutatott elrendezést. A módosított elrendezésnél a koptatógolyó bolygó mozgást végez, ezáltal a felületi érdessége nem változik jelentősen, illetve a golyó kopása is elhanyagolható, viszont megtartja az előző vizsgálati módszerek előnyeit.

1. Golyó/sík érintkezés elvén alapuló lokális kopásvizsgálati eljárás

A golyó/sík érintkezésen alapuló kopás-vizsgálati eljárást egyszerűsége miatt széles körben alkalmazzák. Előnye, hogy a kopási folyamat lokálisan vizsgálható, a folyamat során a kopás előrehaladottságának mértéke – a kísérlet időszakos megszakításával – jól nyomon követhető [1,2,3].

Nyugvó állapotban a terhelést a golyó súlyereje és a golyónak a beállítási szögektől függő beékelődése biztosítja. Meghajtott állapotban az érintkezési felületeken létrejövő súrlódó erők a golyót a beékelődésből kiemelni igyekeznek. Meghajtott állapotban tehát a terhelőerő nagysága a súrlódási együttható által determinált.

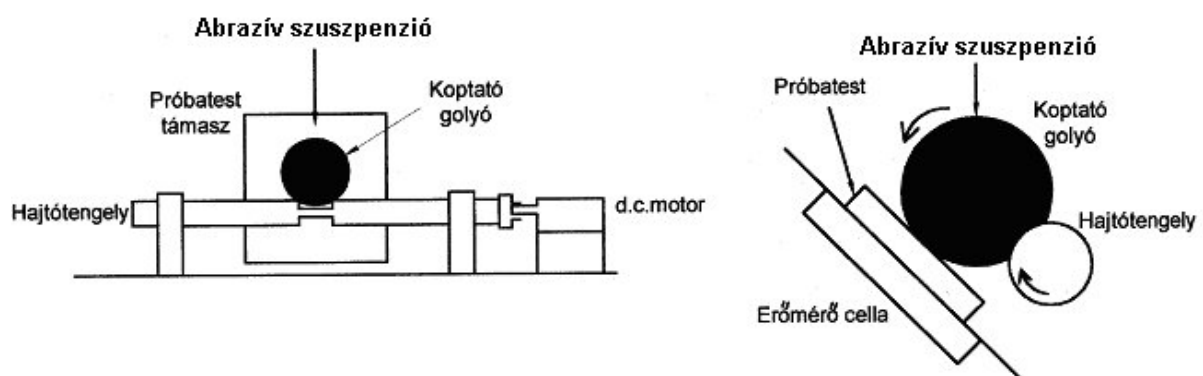
A vizsgálat kezdetén a golyó-sík érintkezés környezetében a fajlagos felületi igénybevétel rendkívül nagy. A meghajtott golyó gömbsüveg alakú kopási nyomot hoz létre, ennek geometriai adataiból becsülhető a kopás mértéke, amelyet a gömbsüveg térfogatával arányos tömegvesztéssel szokás jellemezni.

A kopás folyamán a gömbsüveg mentén érintkező felület nagysága fokozatosan növekszik, ebből adódik, hogy a kopás az idő függvényében csökkenő fajlagos felületi terhelés mellett megy végbe. Összehasonlító vizsgálatoknál a koptatás kezdeti szakaszát célszerű vizsgálni, ugyanis ekkor a legnagyobb a koptatóhatás. Nagyobb problémát jelent a kopási úthossz pontos meghatározása, ugyanis a golyó és az állandó fordulatszámmal forgó tengely közötti érintkezés nem stabil, azaz nem csúszás mentes (slip jelenségével lehet számolni).

1.1. Gyakorlatban alkalmazott lokális kopásvizsgálati eljárás bemutatása

Az irodalomból jól ismert [1,2,3] és a gyakorlatban is alkalmazott elrendezésben a koptatógolyót, a forgótengelyen kialakított horony a széleivel érintkezve hajtja meg. Ez nem kényszerkapcsolat ezért a fordulatszám átadása csúszással járhat. Ennek mértéke mérésekkel határozható meg. A normálerő a koptatógolyó súlyától, a beékelődés szögétől, valamint a súrlódási együtthatótól függ. A terhelés a próbatest alatt elhelyezett erőmérő cella segítségével mérhető.

A vizsgálat során különböző abrazív szuszpenziót alkalmazhatnak a súrlódási tényező kvázi állandó értéken tartására.

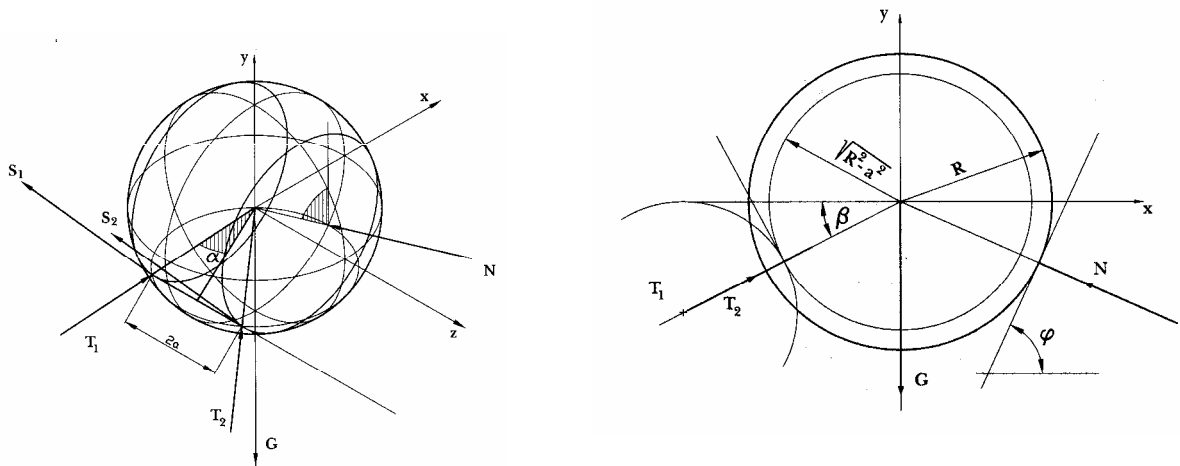


1. ábra

1. számú, koptatási elrendezés [1,2,3]

1.2. Koptatógolyó egyensúlya nyugalmi állapotban és a normálerő számítása a bemutatott elrendezésnél

Az 2. ábráról leolvasható a kísérleti berendezésre és körülményekre vonatkozó legfontosabb geometriai adatok: **a** jelöli a meghajtó hajtó tengely horonyszélességét, **r** a tengely sugarát, **R** a koptató golyó sugarát, φ a próbatest felületének a vízszintes síkkal bezárt szögét, **b** pedig a próbatest felületének és a hajtó tengely középvonalának a távolságát.



2. ábra
Golyó és a hajtótengely elrendezése, nyugalmi állapotban

Az egyes erőket vektorok reprezentálják: \mathbf{G} az m tömegű golyó által létesített súlyerő, \mathbf{N} a próbatest síkfelületén ébredő terhelő erő, \mathbf{T}_1 és \mathbf{T}_2 pedig a hajtó-tengely és a golyó között ébredő támasztó erők vektorai.

A \mathbf{T}_1 és \mathbf{T}_2 támasztóerők az xy középsíkkal bezárt szöge (α), a támasztóerők síkjának a vízszintes koordinátatengellyel bezárt szöge (β). A geometriai viszonyok alapján az \mathbf{N} terhelő erő és a \mathbf{T}_1 és \mathbf{T}_2 támasztóerők N , T_1 és T_2 nagyságát (azaz a vektorok abszolút értékét) az alábbi megfontolások alapján határozhatjuk meg:

A) Egyrészt a geometria adatok alapján könnyen igazolhatók az alábbi összefüggések:

$$b = R + \left(r + \sqrt{R^2 - a^2} \right) \sin(\varphi - \beta) \quad (1)$$

$$\beta = \varphi - \arcsin\left(\frac{b - R}{r + \sqrt{R^2 - a^2}} \right) \quad (2)$$

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{a}{r} \right) \quad (3)$$

B) Másrészt nyugalmi állapotra érvényes az erők egyensúlyára vonatkozó, vektor-egyenlet formájában megfogalmazott

$$\mathbf{T}_1 + \mathbf{T}_2 + \mathbf{G} + \mathbf{N} = \mathbf{0} \quad (4)$$

összefüggés. Ebben az egyes erőket és komponenseiket az alábbi formulák reprezentálják:

$$\mathbf{N} = (-N \sin \varphi, \cos \varphi, 0) \quad (5)$$

$$\mathbf{G} = (0, -mg, 0) \quad (6)$$

$$\mathbf{T}_1 = (T \cos \alpha \cos \beta, T \cos \alpha \sin \beta, -T \sin \alpha) \quad (7)$$

$$\mathbf{T}_2 = (T \cos \alpha \cos \beta, T \cos \alpha \sin \beta, T \sin \alpha) \quad (8)$$

A fenti képletekben N a próbatest felületére merőlegesen ható erő nagysága, T pedig a tengelyről a golyó felületére ható támasztó erők nagysága. Az egyensúlyi egyenletből az erők x , y és z irányú komponenseire rendre az alábbi összefüggések adódnak:

$$2T \cos \alpha \cos \beta - N \sin \varphi = 0 \quad (9)$$

$$N \cos \varphi - mg + 2T \cos \alpha \sin \beta = 0 \quad (10)$$

$$T \sin \alpha - T \sin \alpha = 0 \quad (11)$$

A első két egyenlet alapján a próbatest felületére ható erő N nagyságára

$$N \cos \varphi - mg + \frac{N \sin \varphi}{\cos \beta} \sin \beta = 0 \quad (12)$$

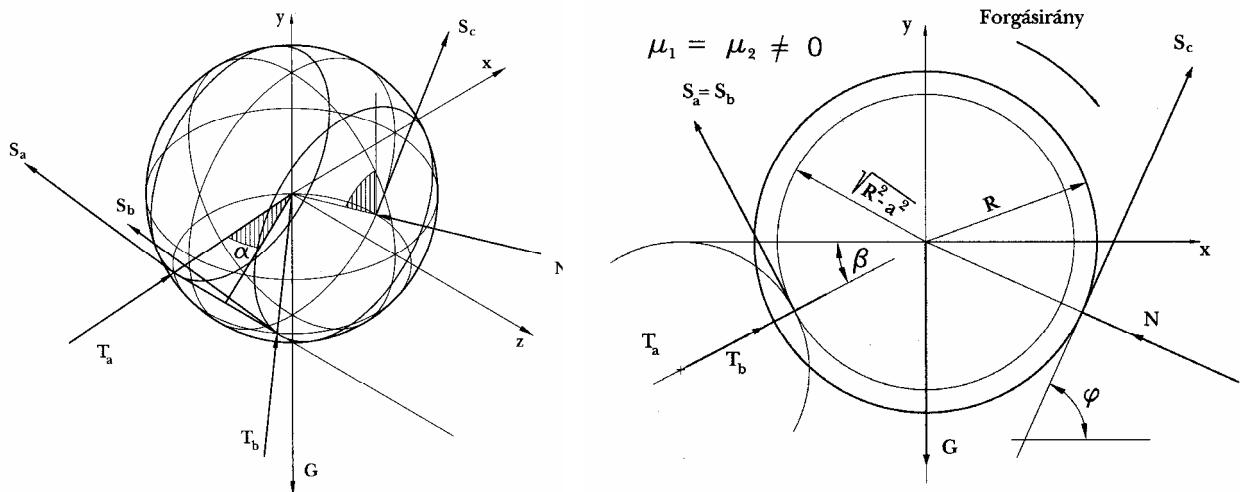
összefüggést kapjuk, ebből meghatározható a próbatest felületére merőlegesen ható erő N nagysága:

$$N = \frac{mg}{\cos \varphi + \sin \varphi \operatorname{tg} \beta} \quad (13)$$

Mint megállapítható, nyugalmi állapotban, (amikor is $\mu=0$), a koptató normálerő nagysága arányos a golyó m tömegével.

1.3. A koptatógolyó egyensúlya meghajtott állapotban és normálerő számítása

Feltételeztük, hogy a kopásvizsgálat folyamán (azaz meghajtott állapotban) a hajtótengely hornyának élein μ_1 ill. μ_2 súrlódási együttható nagysága, továbbá a golyó és a próbatest érintkezési tartományában $\mu_3 > 0$ a súrlódási együttható. Ez esetben az N koptató normálerő N nagysága az alábbi megfontolások alapján számítható (3. ábra). [5]



3. ábra

A golyó és a hajtótengely elrendezése meghajtott állapotban

Jelölje \mathbf{T}_a , \mathbf{T}_b a meghajtó tengely élein ébredő támasztó erőket, \mathbf{T}_c pedig a koptatott felületről a golyóra ható támasztó erőt. A támasztó erőkhöz súrlódási erők rendelhetők hozzá. Jelölje \mathbf{S}_a , \mathbf{S}_b a meghajtó tengely és a golyó érintkezési pontjaiban ható súrlódási erőket, \mathbf{S}_c pedig az \mathbf{N} normálerő támadáspontjában (a golyó és a próbatest között ébredő) súrlódási erőt. A \mathbf{S}_a , \mathbf{S}_b súrlódási erők nagysága rendre $S_a=T\mu_1$ illetve $S_b=T\mu_2$. Továbbiakban feltételeztük, hogy az μ_1 és μ_2 súrlódási együtthatók, a szimmetrikus terhelési viszonyok miatt azonos nagyságúak, nevezetesen $\mu_1=\mu_2=\mu_{12}$. Ebből szükségképpen adódik, hogy $S_a=S_b=T\mu_{12}$. A fenti megfontolások alapján az erők egyensúlyára felírható a

$$\mathbf{G} + \mathbf{T}_a + \mathbf{T}_b + \mathbf{T}_c = \mathbf{0} \quad (14)$$

összefüggés. Az $\mathbf{M} = (M_x, M_y, M_z)$ nyomatéki vektorra hasonlóképpen érvényes az $\mathbf{M}=\mathbf{0}$ alakú egyensúlyi egyenlet. A nyomatéki vektor két első komponense zérus, azaz $M_x=M_y=0$. A harmadik komponensre azonban az

$$M_z = R\mu_3 N - 2S_c \sqrt{R^2 - a^2} = 0 \quad (15)$$

összefüggés adódik, ahol T a korábban definiált \mathbf{T}_1 és \mathbf{T}_2 támasztó erők nagyságával, N az ismeretlen \mathbf{N} normálerő nagyságával, S_c pedig az \mathbf{S}_c súrlódási erő nagyságával azonos. A fenti összefüggések felhasználásával

$$2T \cos \alpha \cos \beta - 2S_c \sin \beta - N \sin \varphi + \mu_3 N \cos \varphi = 0 \quad (16)$$

$$-mg + 2T \cos \alpha \sin \beta + 2S_c \cos \beta + N \cos \varphi + \mu_3 N \sin \varphi = 0 \quad (17)$$

egyenletek adódnak eredményül. Figyelembe véve, hogy S_c a (15) egyenletből kifejezhető,

$$S_c = \frac{R\mu_3}{2\sqrt{R^2 - a^2}} N = \frac{\mu_3}{2 \cos \alpha} N \quad (18)$$

ekkor a (3) és (5) egyenletek felhasználásával a

$$2T \cos \alpha = \frac{\frac{\mu_3}{\cos \alpha} \sin \beta + \sin \varphi - \mu_3 \cos \varphi}{\cos \beta} N \quad (19)$$

összefüggéshez jutunk. Végül is a (17) formula alapján a normálerő N nagyságára

$$N = \frac{mg}{C \sin \beta + \frac{\mu_3 \cos \beta}{\cos \alpha} + \cos \varphi + \mu_3 \sin \varphi} \quad (20)$$

egyenletet kapjuk, ahol

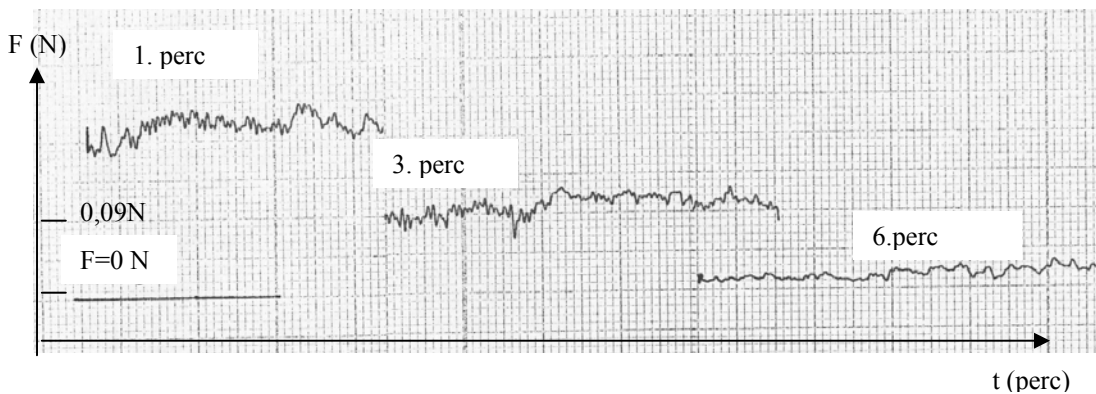
$$C = \frac{\frac{\mu_3}{\cos \alpha} \sin \beta + \sin \varphi - \mu_3 \cos \varphi}{\cos \beta} \quad (21)$$

definíció szerint. Az elvégzett számítások alapján arra következtethetünk, hogy a normálerő nagysága függ a μ_3 súrlódási tényező mindenkori értékétől. E nem kívánatos körülmény azzal jár, hogy a kísérletek folyamán mindenképpen számolni kell a normálerő esetleges változásával, ingadozásával.

2. A számítások kísérleti ellenőrzése

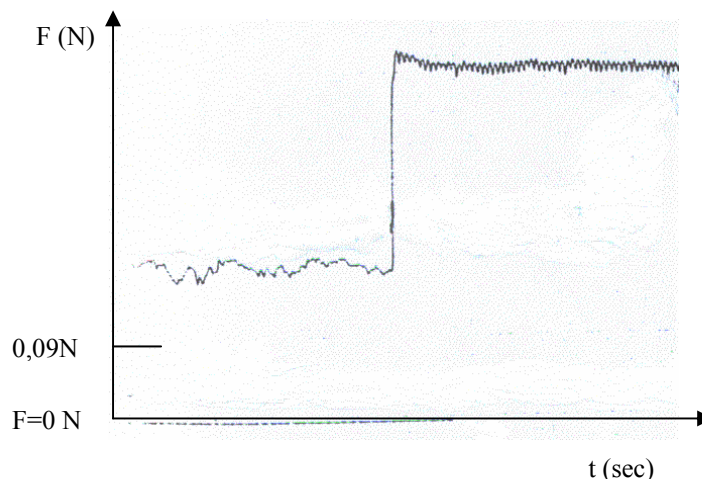
A koptatási kísérleteket a 1. ábrán bemutatott koptató berendezéssel végeztük. A vizsgálatokhoz az erőmérőre felfogott $\varnothing 10 \times 3$ (mm) méretű próbatesteket használtuk. A koptatást $\varnothing 20$ mm, GO3 anyagú golyóval végeztük. Az erőjelet 10 N méréshatárú nyúlásmérő bélyeges erőmérő rendszerrel regisztráltuk az idő függvényében.

A kísérletek eredményei az előzetes számításokat igazolták. Száraz zsírtalanított állapotban a golyó meghajtása bizonytalan. A golyó akadozva forog igen erősen változó slippel. Ennek következtében a terhelőerő is ingadozó (4/a. ábra). Kopás közben kenőanyag vagy abrazív emulzió (gyémántpaszta vagy alumínium oxid) adagolása esetén a terhelőerő szintén jelentős ingadozást mutat (4/b. ábra). Ezt az ingadozást [1] I. M. Hutchings néhány százalékknak tekinti cikkében, ennek mértéke azonban méréseink szerint jóval nagyobb.



4/a. ábra

Zsírtalanított felületen végzett száraz koptatás esetén a regisztrált terhelőerő az idő függvényében. Az erő az idő függvényében változik, tehát a súrlódási tényező is változik



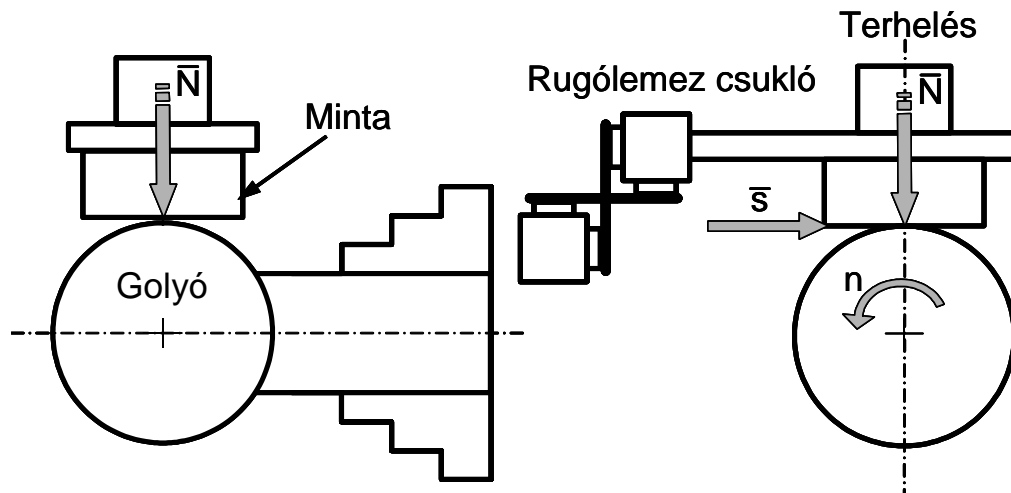
4/b. ábra

A regisztrált terhelőerő változása kenőanyagcsepp hatására

A vízszintes egyenes az $F=0$, erő bázisvonala. A normálerő egy csepp kenőanyag hatására ugrásszerűen nő. Megállapítható tehát, hogy a súrlódási tényező is változik.

3. A kísérleti elrendezés célszerű módosítása

A számításokkal elemzett és a gyakorlatban vizsgált I. elrendezés bizonytalanságainak kiküszöbölésére új konstrukciós elven alapuló kopásvizsgáló berendezést fejlesztettünk ki. Az elrendezést a 5. ábra mutatja be, ahol N terhelésből adódó konstans normálerő, S a súrlódási erő, n pedig a tengely fordulatszáma.



5. ábra
II. számú, módosított elrendezés [4]

Az új berendezés jellegzetessége, hogy a golyót kényszerhajtással forgatjuk meg, így a kopási úthossz pontosan számítható [4].

A kopási úthossz és a kopási tényező számítására alkalmazott összefüggések:

Gömbfüveg mélysége, h (mm):

$$h = R - \sqrt{R^2 - r^2} \quad (22)$$

Kopási térfogat, V_v (mm³):

$$V_v = \frac{h \cdot \pi}{6} \left(\frac{3}{4} d^2 + h^2 \right) \quad (23)$$

Kopási úthossz, S (m):

$$S = n \cdot 2R \cdot \pi \cdot t \quad (24)$$

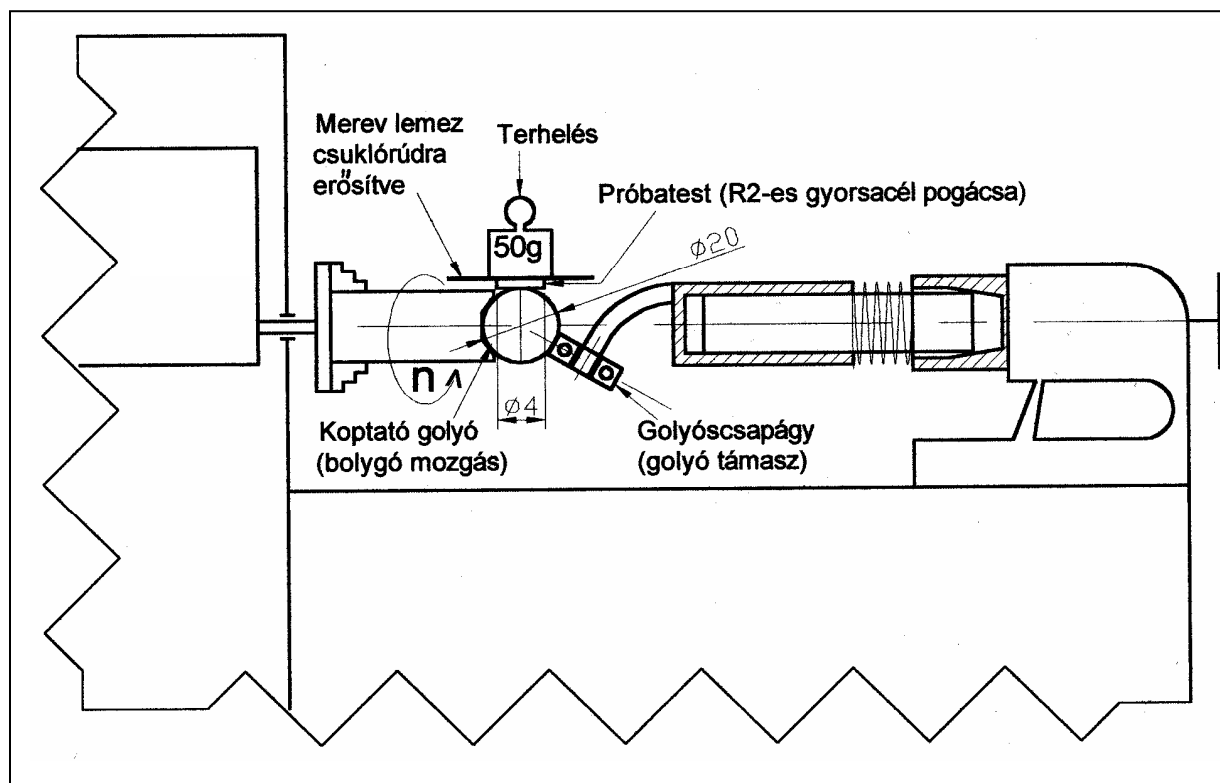
Kopási tényező, K (mm³/Nm):

$$K = \frac{V}{S \cdot N} \quad (25)$$

A módszer egyetlen hátránya az, hogy a golyó nem végez bolygó mozgást, így a koptatás egyetlen érintkező övezetre korlátozódik ezért minden méréshez új golyót kell alkalmazni. A koptató erőt súlyterhelés biztosítja, kiegyenlített csuklós tartón keresztül, így az N normálerő nagyságát kizárólag a súlyerő határozza meg. A gömbsüveg térfogatából a szokásos módon (23) számítható a kopási tömegvesztés.

4. A II. koptatási elrendezés továbbfejlesztése

A II. elrendezés hátránya volt az I. irodalmi berendezéssel szemben, hogy a golyót a csúszásmentes fordulatátadás miatt kényszerrel rögzítettük, ezáltal a golyó mindig azonos főkörön érintkezett a próbatesttel. A kényszerkapcsolat helyett egy olyan fordulatszámot jól, lehetőség szerint minimális csúszással átadó kapcsolatra volt szükség mely lehetővé teszi a golyó bolygó mozgását. Ezt úgy oldottuk meg, hogy a golyót a főorsóba fogott rúd végén kialakított kúpos fészekkel való érintkezés hajtja meg, támaszként pedig egy forgó csapágyat alkalmaztunk. A koptatógolyó bolygó mozgást képes végezni. Ezáltal a golyó kopása elhanyagolható, felületi érdessége gyakorlatilag nem változik.



6. ábra
III. koptatási elrendezés

5. A módosított elrendezések összehasonlítása

Próbatest (minta) paraméterei: $\varnothing 10 \times 3$ mm , R2-es gyorsacél pogácsa

Az R2 próbatest kémiai összetétele:

C %	Si %=	Mn %	P %	S %
0.74-0.84	0-0.4	0-0.4	0-0.03	0-0.03
Cr%	Mo %	Ni %	V %	Al %
3.8-4.6	0.7-1	0-0.4	1.2-1.5	0.-0.1
Cu %	W %	Ti %	Co %	Pb %
0.-0.3	17.5-19	0.-0.05	4.5-5.5	0.-0.15

Keménysége: 934HV

Kísérleti körülmények:

- helyiség hőmérséklete: $T=20^{\circ}\text{C}$
- terhelés: $N = m \cdot g = 0,05[\text{kg}] \cdot 9,81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] = 0,49[\text{N}]$
- fordulatszám: $n = 900 \left[\frac{1}{\text{min}} \right]$

A fordulatszámot E3N-01 típusú esztergagép segítségével biztosítottuk.

- koptatási időtartam: $t = 15[\text{min}]$
- golyó átmérő: $D = 20[\text{mm}]$
- golyó anyaga: GO3

HV=63HRC

5.1. A II. és a III. koptatási kísérlet eredményeinek összehasonlítása

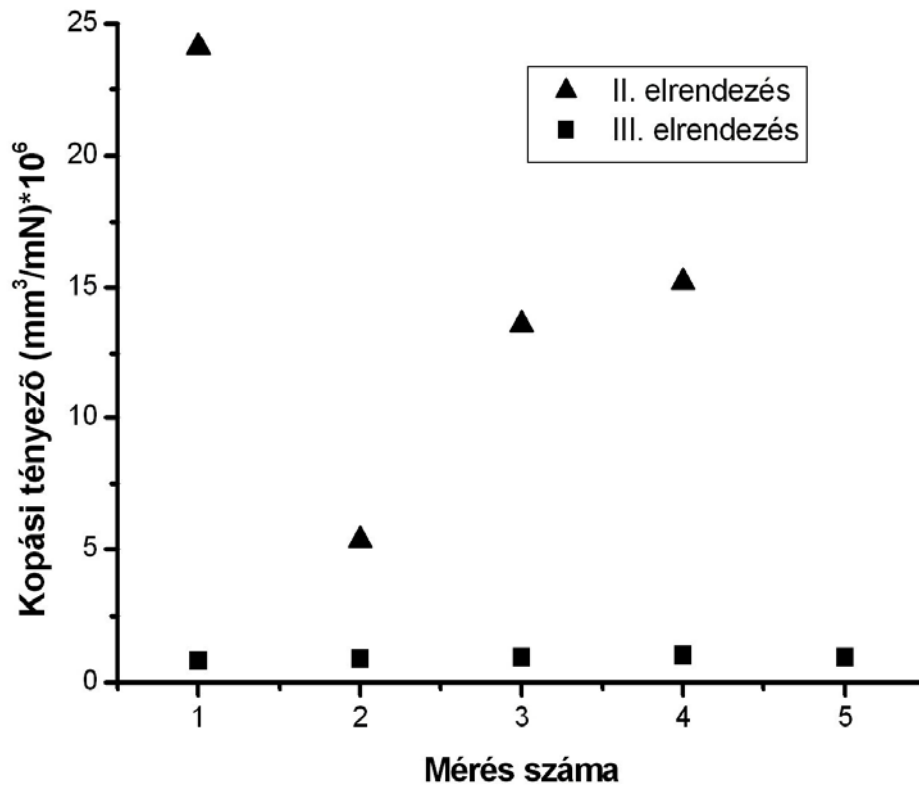
1. táblázat
A II-es és III-as elrendezésű koptató vizsgálatok eredményei

	Jel	Golyó átmérő (mm)	Terhelő erő (N)	Kopási idő (perc)	Fordulat-szám (f/perc)	Kopás mélység h (mm)	Kopási térfogat V (mm ³)	Kopás-nyom d (mm)	Kopási út S (m)	Kopási tényező (mm ³ /mN)
II. elrendezés	II/1	20	0,49	15	900	0,017866	0,010017	1,195	847,8	24,1*10⁻⁰⁶
	II/2	20	0,49	15	900	0,008409	0,002219	0,82	847,8	5,34*10⁻⁰⁶
	II/3	20	0,49	15	900	0,013399	0,005635	1,035	847,8	13,6*10⁻⁰⁶
	II/4	20	0,49	15	900	0,014188	0,006318	1,065	847,8	15,2*10⁻⁰⁶
III. elrendezés	III/1	20	0,49	15	900	0,003252	0,000332	0,51	847,8	0,799*10⁻⁰⁶
	III/2	20	0,49	15	900	0,003381	0,000359	0,52	847,8	0,864*10⁻⁰⁶
	III/3	20	0,49	15	900	0,003512	0,000387	0,53	847,8	0,932*10⁻⁰⁶
	III/4	20	0,49	15	900	0,003646	0,000417	0,54	847,8	1,00*10⁻⁰⁶
	III/5	20	0,49	15	900	0,003512	0,000387	0,53	847,8	0,932*10⁻⁰⁶

A táblázat értékeiből a két koptatási elrendezéssel végzett kísérletek mérési eredményeiből számított kopási tényező értékeinek szórása:

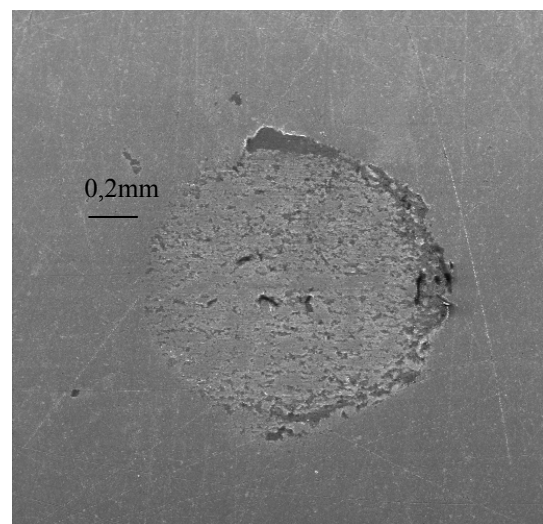
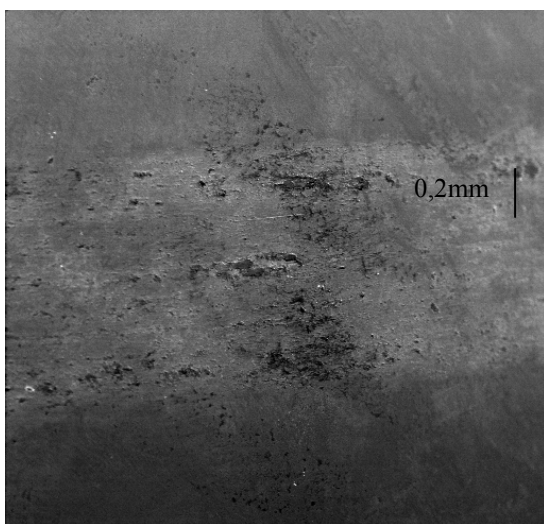
Szórás értéke II. elrendezés esetén: $S_{II}=7,69474 \cdot 10^{-6}$

Szórás értéke III. elrendezés esetén : $S_{III}=7,78826 \cdot 10^{-8}$



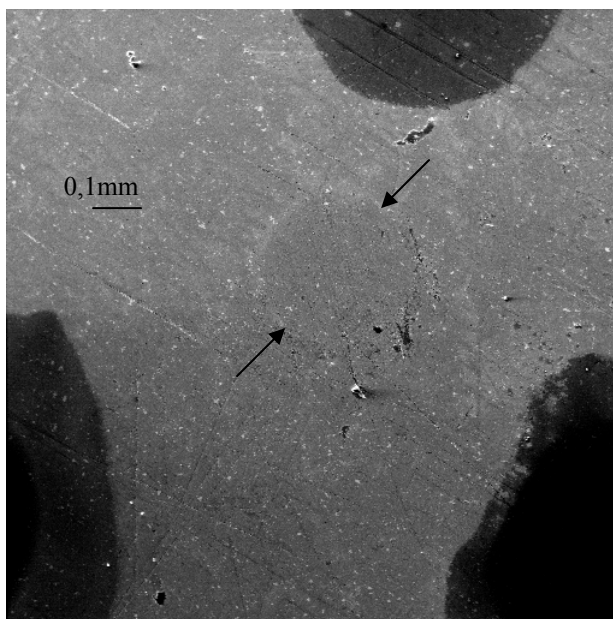
7. ábra
A mérési eredmények szóródása

A 1. táblázat és a 7. ábra alapján megállapíthatjuk, hogy az azonos körülmények mellett végzett kísérletek eredményei különböző szóródást mutatnak. A II. elrendezésű koptatóvizsgálat esetében, melynél a golyó kényszerrel volt rögzítve a kopási tényező eredményei erősen szóródnak. Valószínűleg azért, mert a koptatógolyó felületi érdessége a koptatás során változott (8.ábra). A III. elrendezésű koptatóvizsgálat esetében az eredmények szórása két tizedessel kisebb, mint az előző eljárás esetén. Meg kell jegyeznünk, hogy ebben az esetben a golyó, bolygó mozgást végzett, a felületi érdesség változása gyakorlatilag elhanyagolható. A próbatesten felületén keletkezett kopásnyom is lényegesen kisebb (9.ábra).



8. ábra

Elektronmikroszkópos felvételek 25kV, 50 szeres nagyítás mellett, a II. elrendezéssel végzett kísérlet golyójának kopásban részvevő főköréről és a próbatesten keletkezett kopásnyomról



9. ábra

Elektronmikroszkópos felvételek 25kV, 50 szeres nagyítás mellett, a III. elrendezéssel végzett kísérletben a próbatesten keletkezett kopásnyom

A II. elrendezésű vizsgálatok során kapott kopási tényező értékek jóval magasabbak voltak, mint a III. elrendezésű vizsgálatok esetén, azonos vizsgálati paraméterek mellett. Ez a különbség valószínűleg ugyanazzal a jelenséggel magyarázható, mint az eredmények viszonylag nagy szóródása, vagyis a II. elrendezésben a koptatógolyó felületi érdessége a kopásban részvevő főkörön jelentősen megváltozott.

Összefoglalás

Számos lokális kopásvizsgálattal foglalkozó cikkben megtalálható az I. elrendezésű kopásvizsgálati eljárás, amelyet mind elméleti, mind kísérleti szempontból elemeztünk. A vizsgálatok eredményeként megállapítottuk, hogy az I. elrendezésű koptatóvizsgálat csak számos bizonytalansági tényezővel együtt alkalmazható. A gyakorlatban nem alkalmazzák száraz koptatásra ezt az eljárást, de abrazív szuszpenzió adagolásával sem állítható be konstansra a normálerő, ezenkívül a golyó fordulatszáma, ezáltal a kopási úthossz sem határozható meg egyértelműen.

Az általunk módosított II. jelű koptató elrendezésnél már kiküszöböltük ezeket a bizonytalansági tényezőket, ezáltal a vizsgálat alkalmassá vált száraz kopás vizsgálatára, valamint a fordulatszám pontos ismeretében a kopási tényező értéke is pontosan meghatározható lett. Az elrendezés hibája, hogy a golyó a kényszerkapcsolat miatt mindig azonos felületével koptatja a próbatestet, így a golyó felülete is kopik. A golyó felületi érdessége a kopásvizsgálat során az idő függvényében változik. Ez a változás nehezen vehető

figyelembe a kopási folyamat szempontjából, ezért célszerűnek látszott ezt a hibát kiküszöbölni.

A III. jelű koptató berendezésnél nincs golyó kényszerkapcsolat, a fordulatszám átvitelére új megoldást dolgoztunk ki (6. ábra). Ennél az elrendezésnél is felmerül a kérdés, hogy a meghajtó fordulatszám mekkora csúszással adódik át a koptatógolyónak. A III. elrendezésű készülékkel vizsgálatokat végeztünk, az eredmények igen kis szórással azonos értékeket adtak, így megállapíthatjuk, hogy ha volt is valamennyi csúszás a vizsgálat során, az nem okozott lényeges hibát.

A három vizsgálat eredményei alapján száraz kopás mellett a III. elrendezésű konstrukciót tekintjük alkalmasnak a lokális kopásvizsgálatok végzésére.

Irodalomjegyzék

- [1] K.L. Rutherford, I.M. Hutchings: A micro-abrasive test, with particular application to coated systems, Surface and Coatings Technology 24 March 1995. p.1-9.
- [2] J. Richter, I. M. Hutchings, T. W. Clyne, D. N. Allsopp, X. Peng: Tribological characterization of diamond like-speed steels, Material characterization 45, 2000. p.233-239.
- [3] R. Colaco, R Vilar: Abrasive wear of metallic reinforced materials, Wear 255, 2003. p.643-650.
- [4] T. Kovács, L. Kuzsella, L. Dévényi: Hypereutectic Al-Si-Ni alloy wear resistance function of the forming grade and comparison of aluminium and steel, microCad Miskolc, 2004.
- [5] Kovács T. Dévényi L.: Golyó/sík érintkezés elvén alapuló lokális kopásvizsgálati eljárás alkalmazási feltételeinek elemzése, FMTÜ Konferencia, Kolozsvár 2004. p.155-162.
- [6] I.M.Hutchings: Tribology:Friction and wear of engineering materials, 1992.Great Britain