FIA TAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2004. március 26-27.

GOLYÓ/SÍK ÉRINTKEZÉS ELVÉN ALAPULÓ LOKÁLIS KOPÁSVIZSGÁLATI ELJÁRÁS ALKALMAZÁSI FELTÉTELEINEK ELEMZÉSE

Kovács Tünde¹, Dr. Dévényi László²

Abstract

We analysed the conditions of ball-plane impact in wear- testing method, the limits of this method, especially its influence upon the exactiveness and reproductiveness of measuring results. We provide with calculations, that the traditional method's (experiniental distribution) main problem is that the warranty of constant load during this analysis meets theoretical obstacles. We showed that with the schematic modification of the experimental equipment we can avoid the mentioned measuring problems and improve the confidentiality of the measurement.

Összefoglaló

Elemeztük az ún. golyó/sík érintkezés elvén alapuló kopás-vizsgálati módszer alkalmazási feltételeit, a módszer korlátait, különös tekintettel a mérési eredmények pontosságára és reprodukálhatóságára. Számításokkal igazoltuk, hogy a hagyományos módszer (kísérleti elrendezés) legfőbb hátránya, hogy konstans terhelőerő garantálása a vizsgálat folyamán elvi nehézségekbe ütközik. Megmutattuk, hogy a kísérleti berendezés célszerű konstrukciós módosításával lehetőség nyílik a vázolt méréstechnikai problémák kiküszöbölésére, a mérés megbízhatóságának javítására.

1. Bevezetés

A koptatóvizsgálatokhoz a legkülönbözőbb elrendezésű berendezéseket, mechanizmusokat alkalmaznak. A kopás folyamatának leírására, kvantitatív jellemzésére is számos modell és módszer ismeretes. Vizsgálódásunk 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 és reprodukálhatóságára.

A hagyományos módszer (kísérleti elrendezés) legfőbb hátránya, hogy konstans terhelőerő garantálása a vizsgálat folyamán 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.

2. 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 [3,4]. 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 igen 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 csuszás mentes (slip jelenségével lehet számolni).

2.1. A koptatógolyó egyensúlya nyugalmi állapotban és a normálerő számítása

Az 1. 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.

1. ábra A 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 síkfelületét merőlegesen 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 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:

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

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

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

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

$$\mathbf{T}_1 + \mathbf{T}_2 + \mathbf{G} + \mathbf{N} = \mathbf{0}$$

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

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

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

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

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

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:

$$2T \cos \alpha \cos \beta - N \sin \varphi = 0$$

$$N \cos \varphi - mg + 2T \cos \alpha \sin \beta = 0$$

$$T \sin \alpha - T \sin \alpha = 0$$

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

$$N \cos \varphi - mg + \frac{N \sin \varphi}{\cos \beta} \sin \beta = 0$$

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

$$N = \frac{mg}{\cos \varphi + \sin \varphi \tan \beta}$$

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

2.2. 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 meggondolások alapján számítható. 2.ábra

2. ábra A golyó és a hajtótengely elrendezése meghajtott állapotban

Jelölje T_a , T_b a meghajtó tengely élein ébredő támasztó erőket, T_c pedig a koptatott felületről a golyóra ható támasztó erőt. A támasztó erőkhöz súrlódási erők rendelhetők hozzá. Jelölje S_a , S_b a meghajtó tengely és a golyó érintkezési pontjaiban ható súrlódási erőket, S_c pedig az N normálerő támadáspontjában (a golyó és a próbatest között ébredő) surlódási erőt. A S_a , 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 meggondolások alapján az erők egyensúlyára felírható a

$$\mathbf{G} + \mathbf{T}_a + \mathbf{T}_b + \mathbf{T}_c = \mathbf{0} \tag{1}$$

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

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

összefüggés adódik, ahol T a korábban definiált T_1 és T_2 támasztó erők nagyságával, N az ismeretlen N normálerő nagyságával, S_c pedig az S_c súrlódási erő nagyságával azonos. A fenti összefüggések felhasználásával

$$2T \cos \alpha \cos \beta - 2S_c \sin \beta - N \sin \varphi + \mu_3 N \cos \varphi = 0 \quad (3)$$

$$-mg + 2T \cos \alpha \sin \beta + 2S_c \cos \beta + N \cos \varphi + \mu_3 N \sin \varphi = 0 \quad (4)$$

egyenletek adódnak eredményül. Figyelembe véve, hogy S_c a (2) egyenletből kifejezhető,

$$S_c = \frac{R\mu_3}{2\sqrt{R^2 - a^2}} N = \frac{\mu_3}{2 \cos \alpha} N \quad (5)$$

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

$$2T \cos \alpha = \frac{\frac{\mu_3}{\cos \alpha} \sin \beta + \sin \varphi - \mu_3 \cos \varphi}{\cos \beta} N \quad (6)$$

összefüggéshez jutunk. Végül is a (4) formula alapján a normálerő N nagyságára

$$N = \frac{mg}{C \sin \beta + \frac{\mu_3 \cos \beta}{\cos \alpha} + \cos \varphi + \mu_3 \sin \varphi} \quad (7)$$

egyenletet kapjuk, ahol

$$C = \frac{\frac{\mu_3}{\cos \alpha} \sin \beta + \sin \varphi - \mu_3 \cos \varphi}{\cos \beta} \quad (8)$$

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.

3. A számítások kísérleti ellenőrzése

A koptatási kísérleteket a 3. ábrán bemutatott koptató berendezéssel végeztük. A vizsgálatokhoz az erőmérőre felfogott Ø10x3 (mm) méretű próbatesteket használtuk. A koptatást Ø20 mm, GO3 anyagú golyóval végeztük. Az erőjelet 10 N méréshatárú nyúlásmérő bélyeges erőmérő rendszerrel regisztráltuk az idő függvényében.

3. ábra Koptatási elrendezés [4]

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. Kenőanyag vagy abrazív emulzió (gyémántpaszta vagy alumínium oxid) alkalmazása esetén a terhelőerő szintén jelentős ingadozást mutat 4/b ábra.

4/a. ábra Zsírtalanított felületen végzett száraz koptatás esetén a regisztrált terhelőerő az idő függvényében. Az erő az idő függvényében növekszik, 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.

4.A kísérleti elrendezés célszerű módosítása

A számításokkal elemzett és a gyakorlatban vizsgált 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 Módosított elrendezés [2]

Az új berendezés jellegzetessége, hogy a golyót kényszerhajtással forgatjuk meg, így a kopási úthossz pontosan számítható [2].

Gömbfüvэг mélysége, h (mm):

$$h = R - \sqrt{R^2 - r^2} \quad (9)$$

Kopási térfogat, V_v (mm³):

$$V_v = \frac{h \cdot \pi}{6} \left(\frac{3}{4} d^2 + h^2 \right) \quad (10)$$

Kopási úthossz, S (m):

$$S = n \cdot 2R \cdot \pi \cdot t \quad (11)$$

Kopási tényező, K (mm³/Nm)

$$K = \frac{V}{S \cdot N} \quad (12)$$

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 golyó tömege (súlyerő) határozza meg. A gömbsüveg térfogatából a szokásos módon (12) számítható a kopási tömegveszteség.

5. Összefoglalás

Részletesen elemeztük az ún. golyó/sík érintkezés elvén alapuló kopás-vizsgálati módszer alkalmazási feltételeit, a módszer korlátait, különös tekintettel a mérési eredmények pontosságára és reprodukálhatóságára. Számításokkal igazoltuk, hogy a hagyományos módszer (kísérleti elrendezés) legfőbb hátránya, hogy konstans terhelőerő garantálása a vizsgálat folyamán elvi nehézségekbe ütközik. Megmutattuk, hogy a kísérleti berendezés célszerű konstrukciós módosításával lehetőség nyílik a vázolt méréstechnikai problémák kiküszöbölésére, a mérés megbízhatóságának javítására.

Irodalom

- [1] I.M.Hutchings: Tribology:Friction and wear of engineering materials, 1992.Great Britain
- [2] T. Kovács, L. Kuzsella, L. Dévényi: Hypereutectic Al-Si-Ni alloy wear resistance function of the forming grade and comparison of alumínium and steel, microCad Miskolc, 2004.
- [3] R. Colaco, R Vilar: Abrasive wear of metllic reinforced materials, Wear 255, 2003. p.643-650.
- [4] J. Richter, I. M. Hutchings, T. W. Clyne, D. N. Allsopp, X. Peng: Tribological characterization of diamond like-speed steels, Material characerization 45, 2000. p.233-239.

Kovács Tünde főiskolai adjunktus, Ph.D. hallgató

BMF, Anyag és Alakítástechnológiai Tanszék

Budapest 1081 Népszínház u. 8

tel: (+36-1) 314-1438

kovacs.tunde@bgk.bmf.hu