

A SÚRLÓDÁSI TÉNYEZŐ PONTOS MEGHATÁROZÁSÁT BEFOLYÁSOLÓ KÖRÜLMÉNYEK VIZSGÁLATA GYŰRŰ ZÖMÍTÉSÉNÉL

EXAMINATION OF THE BOUNDARY CONDITIONS IN DETERMINATION OF THE FRICTION COEFFICIENT BY RING UPSETTING

Szerencsés Ádám¹, Gonda Viktor²

Óbudai Egyetem, BGK-AAT, 1081, Magyarország, Budapest, Népszínház utca 8;
Fax: +36-1-6665494, levelezési cím: ¹szerencses.adam@gmail.com
²gonda.viktor@bgk.uni-obuda.hu

Abstract

Ring upsetting is widely used for the determination of the friction coefficient. While the measurement is easy to carry out, many factors affect the accuracy of the results. In the present paper, we examine the effecting factors, and evaluate them by considering the error they introduce in the results. We carried out both finite element simulation and experiments on Al and Cu specimens with various boundary conditions.

Keywords: material testing, ring upsetting, measurement error, lubrication condition, friction coefficient.

Összefoglalás

A gyűrű geometriájú próbtest zömítése egy igen széleskörűen elterjedt módja a súrlódási mérőszámok meghatározásának. A vizsgálat egyszerűsége mellett azonban sok tényező befolyásolhatja a mérés kimenetelét. Jelen dolgozat ezeknek a tényezőknek a feltárására irányul, valamint rangsorolásukra az alapján, hogy milyen mértékben visznek hibát a kiértékelésbe. A kísérletet Al és Cu próbatestekkel különböző peremfeltételek mellett végeztük el, végeselemes modellel segítettük a kiértékelést.

Kulcsszavak: anyagvizsgálat, gyűrűzömítés, mérési hiba, kenési feltétel, súrlódási együttható.

1. Bevezetés

A képlékenyalakításnál a súrlódási viszonyok kiemelt fontossággal bírnak. A súrlódási mérőszámok meghatározására többféle vizsgálat létezik: a szalaghúzó próba, nyújtva hajlító próba, valamint a gyűrűzömítő vizsgálat [1]. A gyűrűzömítő vizsgálat egyszerűen végrehajtható, viszont eredményeinek jóságát befolyásolja, ha a súrlódó felületek eltérő felületi minőséggel rendelkeznek, és/vagy a kenés helyes

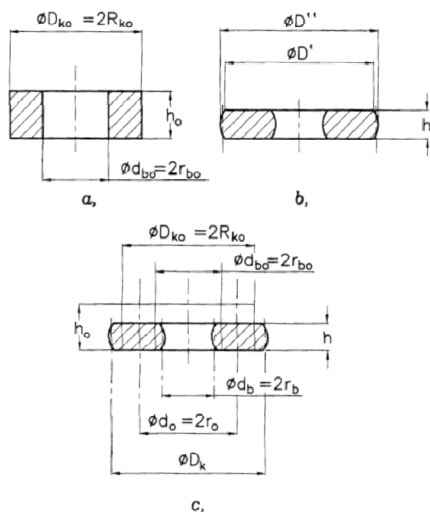
kivitelezésében hibát vétünk. Ezen peremfeltételek hatását vizsgáljuk kísérleti úton és végeselemes szimuláció segítségével.

2. Elméleti háttér

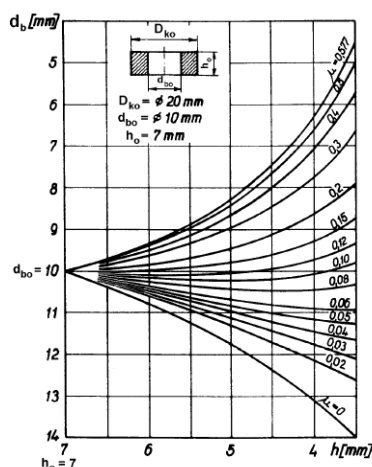
2.1. A gyűrűzömítő vizsgálat

A súrlódási tényező meghatározására szolgáló gyakori vizsgálat a gyűrű alakú darabok zömítő vizsgálat. Egy hengeres gyűrűt két síklap között axiális irányban „ h_0 ”-ról „ h ” magasságra zömítve, a külső és

belső átmérőjének megváltozása a szerszámmal érintkező felületek között ébredő súrlódás nagyságától függ.



1. ábra. A gyűrű kiinduló (a,) és zömítés utáni (b, c,) geometriája és méretei.



2. ábra. Burgdorf-nomogram

Ha a súrlódási tényező kicsi, akkor a gyűrű belső átmérője gyakorlatilag nem változik, ellenben a külső átmérő jelentősen növekszik. Kedvezőtlen súrlódási viszonyok mellett a külső átmérő kevésbé nő, a belső átmérő csökken. Tehát a „h”

magasságra zömített gyűrű geometriája hordozza a súrlódási viszonyokra vonatkozó információt.

2.2. A zömítés utáni méretek

A zömítés során a gyűrű külső és belső palástfelületei a súrlódás miatt hordósodnak. A próbatest zömítés előtti és utáni geometriája az 1. ábrán látható.

A „h” zömítési magassághoz tartozó idealizált (hordósodás nélküli állapothoz tartozó) geometriai méretek, valamint a semleges (helyben maradó) réteg helyzete a térfogat állandóság felhasználásával határozható meg az alábbi képletek felhasználásával az 1. ábra geometriai jelöléseivel. Az idealizált külső átmérő, D_k :

$$D_k = \frac{2 \cdot D'' + D'}{3} \quad (1)$$

Az idealizált belső sugár, r_b :

$$r_b = \sqrt{R_k^2 - (R_{ko}^2 - r_{bo}^2) \frac{h}{h_o}} \quad (2)$$

A semleges réteg sugara, r_o :

$$r_o = \sqrt{\frac{R_{ko}^2 \cdot h_o - R_k^2 \cdot h}{h_o - h}} \quad (3)$$

2.3. A súrlódási mérőszámok meghatározása

A gyűrű feszültség- és alakváltozás analízise alapján határozhatók meg a súrlódási jellemzők [1]. Zárt alakban csak a Kudo-féle súrlódási szám számítására vonatkozó képlet írható fel, Coulomb-féle súrlódási tényező, μ , csak numerikus integrálás segítségével számítható. A mért geometriai méretekből a μ súrlódási tényező egyszerű és gyors meghatározását teszi lehetővé a Burgdorf-nomogram, amely a 2. ábrán látható, adott kiinduló méretekkel rendelkező gyűrű zömítése során alkalmazható.

3. A kísérlet leírása

3.1. A kísérlet célja

Vizsgálatunk célja, hogy megállapítsuk, hogyan befolyásolja a gyűrűzömítő vizsgálat eredményét, ha a próbatest felületein eltérnek a súrlódási viszonyok.

3.2. A vizsgált paraméterek

Próbatest anyagminősége:

Alumínium (Al) és Réz (Cu).

A keményfém nyomólap felülete:

Sima, érdes.

Az alkalmazott kenőanyag:

Molibdén-diszulfid (MoS_2) és Molykote (**1. táblázat**).

3.3. A mérés menete

A zömítést mind a két felsorolt anyagminőségnél elvégeztük különböző kenési feltételek mellett. Az első mérés során, hagyományos módon, a gyűrű mindkét felületét kentük. Ezek lesznek az összehasonlítások alapjai. A második mérésnél csak az egyik oldalt kentük, így annak sima, a másik oldalnak pedig kenőanyagmentes, érdes felületet biztosítottunk. Az alumínium gyűrűknél két különböző kenőanyaggal is végrehajtottuk a kísérletet a második esetre vonatkozóan. Összesen 7 mérési esetet határoztunk meg (**1. táblázat**: 1-7. sorszám).

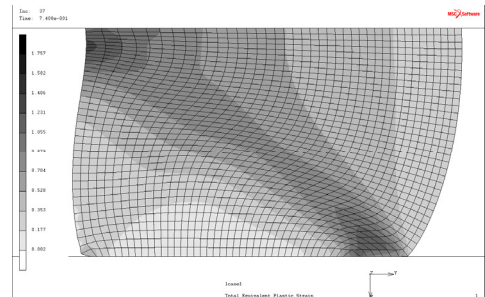
4. Végeselemes szimuláció

A végeselem analízis során a réz próbatestek 6. és 7. sorszámú zömítését modelleztük. Tengelyszimmetrikus síkbeli modellt hoztunk létre. A próbatestet rugalmas-képlékeny keményedő anyag-moddellel, a szerszámokat merev testként modelleztük. Súrlódási modellre a Coulomb-féle modellt alkalmaztuk, a súrlódási együttható értékei: a sima, kent felületen $\mu_{\text{felső}} = 0,04$, az érdes felületen $\mu_{\text{alsó}} = 0,5$. A szimulációból kapott eredmények 8. (6. alapján) és 9. (7. alapján) sorszámot kapták az **1. táblázat**ban. A deformált gyűrű az **1.b ábrán** definiált

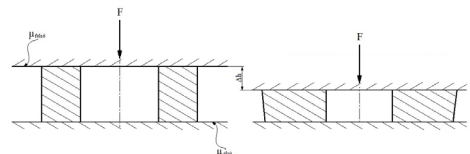
geometriai adatait kiolvastuk a programból, ezek a mért értékek oszlopokban szerepelnek.

Az **3. ábrán** a 8-as számú eset szimulációs eredménye látható. Megfigyelhetjük a gyűrű keresztmetszetében a geometria torzulását. Az ábra szürkeárnyalatai az összehasonlító alakváltozás értékeit jelölik, az értékek 0 és 1,8 között alakulnak, a világosabbtól a sötét színek felé növekednek.

A felső felülethez közeli anyagrész a kis súrlódás miatt x-irányában (a **3. ábrán** jobbra) mozdul el, belső átmérő növekszik. Az alsó, érdes felületen a nagy súrlódás miatt gátolt az anyagrészek elmozdulása, a palástfelülethez közeli anyag fordul rá a nyomólapra, helyileg a belső átmérő növekedését okozva. A zömítettség növekedésével a gátolt elmozdulású anyagrészek hatása lesz a meghatározó, így a belső átmérő csökken.



3. ábra. Az összehasonlító alakváltozás értékei



4. ábra. Kúposág a kedvezőtlen kenésnél

5. Eredmények

Megfigyelhető, hogy ha a próbatest felületein eltérő a súrlódás, akkor a zömített darabok nem hordósodnak, hanem kúpos alakot vesznek fel (**4. ábra**). Ez annak tudható be, hogy a különböző felületeken

eltérő nagyságú a súrlódási együttható értéke, azaz zömítés közben a radiálisan elmozduló anyagrészek fékezettsége az érdeesebb nyomólapon nagyobb.



5. ábra. A zömített darabok felül- és alulnézete

1. táblázat. A kísérlet eredményei

Sor-szám	Anyagm-nőség	Kenés	Mért értékek				Számított értékek				Nomogramról leolvasott értékek	
			H [mm]	D' [mm]	D'' [mm]	d _s [mm]	D _s [mm]	r _s [mm]	r _s [mm]	m [-]	$\mu [-]$ (d _s mért értékhez tartozó)	$\mu [-]$ (D _s mért értékhez tartozó)
1.	Al	Mindkét oldal kent (MoS ₂)	5,2	22,7	23,15	10,09	23,00	5,59	2,61	0,0210	0,12	0,04
2.	Al		4,6	23,71	24,48	10,02	24,22	5,71	3,34	0,0292	0,12	0,03
3.	Al	Felső oldal kent (MoS ₂), alsó érdes	5,3	22	23,13	9,78	22,75	5,51	2,87	0,0284	0,16	0,02
4.	Al		4,05	24,34	25,23	8,66	24,93	5,08	4,89	0,1106	0,2	0,1
5.	Al	Felső oldal kent (Molykote), alsó érdes	4,35	23,26	24,49	9,05	24,08	4,93	5,12	0,1565	0,2	0,13
6.	Cu	Felső oldal kent (Molykote), alsó érdes	4,4	23,23	24,5	9,44	24,08	5,06	4,90	0,1271	0,16	0,13
7.	Cu	Mindkét oldal kent (Molykote)	4,45	24,23	24,55	10,56	24,44	5,60	3,72	0,0425	0,08	0,04
8.	Cu	Szimuláció, felső oldal jól kent (μ=0,04), alsó érdes (μ=0,5)	4,41	22,26	24,35	9,32	23,65	4,56	5,67	0,294	0,19	0,2
9.	Cu	Szimuláció, mindkét oldal jól kent (μ=0,04)	4,48	24,36	24,57	11,38	24,5	5,74	3,31	0,029	0,03	0,03

A belső átmérők alakulása szabad szemmel is jól látható a súrlódási értékek függvényében (5. ábra). Az 1., 2. és 7. számú gyűrűnél megfigyelhető, hogy a belső átmérő nem-, vagy csak kis mértékben nőtt, a többi darabnál viszont csökkent. Ebből előre becsülhető, hogy a felsorolt gyűrűknél a súrlódási együttható kis értéket vett fel, a többinél pedig nagyobb értékekre számíthatunk.

A kísérletek és a szimulációk eredményei összesítve az 1. táblázatban láthatók.

6. Az eredmények értékelése, következtetések

Az idealizált kenési feltételekhez meghatározott képleteket használva a mind a két kenési esetre, a réznél azt tapasztaljuk, hogy a súrlódási együtthatók számított és mért értékből kapott eredmények között minimális az eltérés. Az alumínium próbatestek egyenetlen alakváltozása miatt a két érték között többnyire egy nagyságrenddel kisebb lett a számított értékhez tartozó súrlódási együttható.

Az alumíniumnál kipróbált kétféle kenőanyag közel ugyanazt a súrlódási együttható értéket adta.

A megfelelő, kétoldali kenés biztosításával a súrlódási együttható közel a harmadára csökkent az "elrontott" kenési állapothoz képest.

A rossz kenési viszonyok ingadozó, eltérő, hibás értékeket adnak. Ezt jól látni az alumínium 3. számú gyűrű zömítésénél, ahol a vele azonos körülmények között zömített 4. számú gyűrűtől nagytérben eltérő eredményeket kaptunk. Összevetve a jól kent 1. számú gyűrű adataival, irreális, ellentmondásos értéket kapunk, mivel a kapott súrlódási együtthatóra kisebb érték adódott, amikor annak nagyobbak kellett volna lennie az érdes felület miatt.

Összehasonlítva a kiértékelt súrlódási együttható értékeit azonos és eltérő súrlódási viszonyok mellett réz próbatest és Molykote kenőanyag használatakor (6. és 7. eset) a „rossz kenés” extrém esetén meghatározott 0,13-as érték több mint 3x nagyobb a jó 0,04-es értékhez képest. Ez a legrosszabb esetet jelenti, tehát legnagyobb eltérés 0,1 tekinthető a hiba felső határának.

Szakirodalmi hivatkozás

[1] dr. Horváth László: *Képlekenyalakítás alapfogalmai*. Elektronikus jegyzet, Óbudai Egyetem, 2003, 30-35. oldal.