

## Forgattyús tengely siklócsapágyzásának tribológiai vizsgálata

Papp Szonja

Miskolci Egyetem, MSc Gépészmérnök hallgató, szony97@gmail.com

### Összefoglaló:

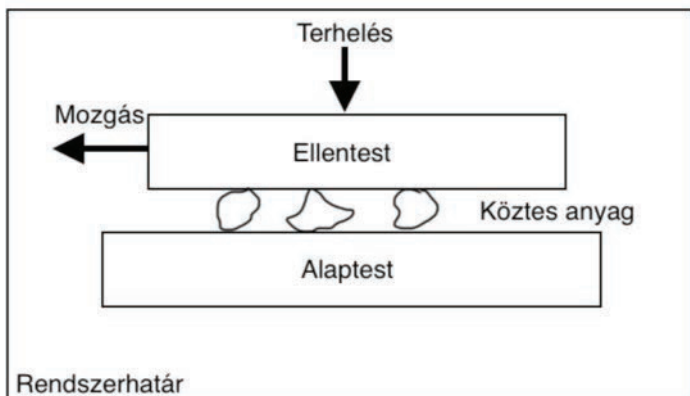
Az cikk témája forgattyús tengely siklócsapágyzásának tribológiai vizsgálata Tribology Simulator nevű szimulációs programmal. A vizsgálat során meg kell határozni a rendszerben jelenlévő kenési állapotot, a vizsgált csapágy szilárdságtani tulajdonságait, valamint a vizsgálati paramétereit. A betáplált adatokból a szoftver futtatásával eredményt kapunk a működés során fellépő erőkről, kopási mintákról.

### Kulcsszavak:

tribológia, siklócsapágy, szimuláció, kopásvizsgálat

### 1. Tribológiai rendszer

Egy adott rendszer abban az esetben tekinthető tribológiai rendszernek, amennyiben a folyamatban jelen van legalább két egymáshoz képest elmozduló, érintkező felület. Kijelölünk egy rendszerhatárt, ezzel elkülönítve a rendszert a környezettől. A felületek érintkezésénél létrejövő kopási és súrlódási folyamatok miatt elkerülhetetlen a veszteség kialakulása (1. ábra). [1]



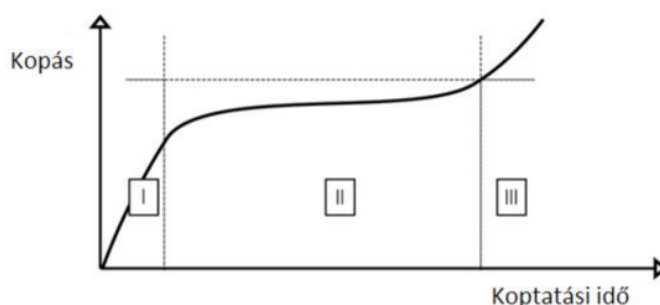
1. ábra. A tribológiai rendszer sematikus ábrája [1]

#### 1.1. Kopás

A kopás a szilárd felületeken létrejövő anyagvesztés és deformitás, melyek mechanikai vagy kémiai behatás során keletkeznek. A különböző alkatrészek érintkezéséből adódó kopás csökkentésével növelhető azokélettartama. A várható kopási folyamat

leírására alkalmas az általános kopásdiagram (2. ábra) [2]

- I bejáratási szakasz
- II állandósult kopás
- III túlkopás (berágódás)

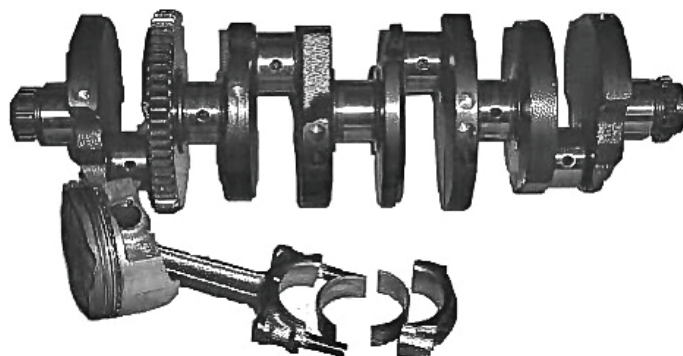


2. ábra. Jellegzetes kopásgörbe [3]

A bejáratási szakasz során az érintkező felületek „összekopnak”. A folyamat során kezdetben intenzív kopás figyelhető meg, majd idővel ez csökken, és belépünk az állandósult kopás szakaszába. Ebben a kvázi lineáris szakaszban éri el az alkatrész a bejáratott, használat kész állapotot egészen a túlkopás állapotáig. Berágódás esetén a felület kopási intenzitása hirtelen megnő, mely meghibásodáshoz vezet.

### 2. Forgattyús tengely szerepe

A forgattyús tengely fő feladata a forgó mozgás egyenes vonalú alternáló mozgássá alakítása, vagy ennek fordított alkalmazása. Általános felhasználása belsőégésű motorokban történik, amelyeknél a dugattyúk egyenes vonalú mozgását alakítja forgó



3. ábra. Forgattyús tengely felépítése

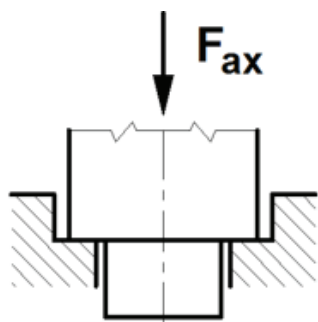
mozgássá. A tengely különleges kialakítása miatt tengelyirányban nem helyezhető fel csapágy, valamint nagy és váltakozó dinamikus terhelés jön létre működésnél. Ezek alapján olyan csapágyra van szükség, ami egyszerűen beépíthető, vagyis osztható, és nagy a radiális terheléssel szembeni ellenálló képessége. Így a forgattyúkar és forgattyúcsap közé siklócsapágy beépítése szükséges, amely általában bi-metálból vagy tri-metálból készül (3. ábra) [4]

### 3. Csapágyak szerepe

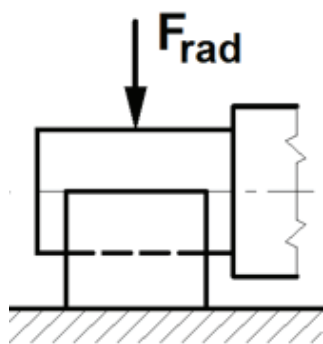
A csapágyak olyan gépelemek, amelyek tengelyek, forgó alkatrészek alátámasztásául szolgálnak, úgy, hogy a forgó mozgást minél kisebb ellenállás mellett, minél pontosabb vezetéssel biztosítsák. A csapágyba illeszkedik a tengelycsap. A csapágyaknak általában különböző terhelésekből adódó nagy erőket kell felvenniük, melyek származhatnak a forgó alkatrész súlyából, a kiegyensúlyozatlanságból származó forgó és alternáló tömegegerőkből, vagy akár a gép működése folyamán fellépő más hatásokból is [5].

A csapágyak csoportosítása történhet működési elv és a terhelés iránya szerint. Terhelés iránya alapján megkülönböztetünk:

- Axiális (4. ábra),
- Radiális (5. ábra),
- Axiális és Radiális erők felvételére alkalmas csapágyakat.



4. ábra. Axiális terhelés



5. ábra Radiális terhelés

Működési elv szerint a csapágyak típusai lehetnek:

- Gördülőcsapágy
- Mágneses elven működő csapágy
- Rugalmas csapágy
- Siklócsapágy

#### 3.1. Gördülőcsapágy

A gördülőcsapágyaknak két fő csoportját különböztetjük meg, a golyóscsapágyakat, valamint a görgőscsapágyakat, melyeknek terhelhetősége nagyobb. A gördülőcsapágyak fő jellemzői, hogy a csapágy erőfelvétele gördülő testeken keresztül megy végbe. Nagy előnye, hogy a gördülési súrlódás jelentősen kisebb ellenállással bír, mint a csúszási súrlódás.

#### 3.2. Mágneses elven működő csapágyak

A mágneses elven működő csapágyak lényege, hogy a csap és a csapágy között létrejövő rést egy vezérelt elektromágnes biztosítja, melynek pozitív következménye képpen a csap és csapágy között nincs fizikai kontaktus, ezáltal csökkentve minimálisan a súrlódási erőt, valamint kivárva a mechanikai kopás jelenlétét. A mágneses csapágyak képviselik a legnagyobb sebességet elbíró csapágyakat, ugyanis nincs maximálisan megengedett relatív sebességük.

#### 3.3. Rugalmas csapágyak

A rugalmas csapágyak nem alkalmasak forgó mozgás megvezetésére. Feladatuk kis szögelfordulás biztosítása kis ellenállással egy rugalmas elem közbeiktatásával. Nagyon alacsony és kiszámítható súrlódási erőt biztosítanak, és egyszerűségük miatt meglehetősen olcsók.

#### 3.4. Siklócsapágyak

A siklócsapágyak, vagy más néven csúszócsapágyak a legegyszerűbb csapágykialakítással rendelkeznek. A csap és a csapágy között csúszó súrlódás jön létre. Egyszerű szerkezetüknek köszönhetően rendkívül gazdaságos a használatuk, valamint könnyen javíthatók. A gördülőcsapágyakhoz képest egy sokkal simább, csendesebb futást biztosítanak. Nagy hátrányuk azonban az elemek között fellépő nagy súrlódási erő és kopás, ami miatt fontos az optimális csapágyanyag megválasztása és a megfelelő kenés biztosítása.

#### 4. Siklócsapágyak optimális anyagösszetételei

A siklócsapágyakat olyan anyagokból kell elkészíteni, melyek képesek nagy erőket felvenni, kicsi a súrlódási együtthatójuk, ellenállóak a megemelkedett hőmérséklettel szemben és korrózióállóak. Ezen szempontok figyelembevételével kell kiválasztani a megfelelő csapágy anyagot. Felhasználási területtől függően a legkülönbözőbb anyagokból választhatunk [6].

##### 4.1. Bi – material

A bi – material, vagyis két anyagból álló csapágyaknál a külső, nagy terheléseket felvevő felületet fémből, míg a belső, csappal érintkező felületet műanyagból készítik. Az ellenálló külső fém héj képes nagyobb terheléseket is felvenni, míg a kevésbé strapabíró, belső műanyag hüvely kisebb súrlódásának köszönhetően simább járást és kisebb kopást eredményez.

##### 4.2. Fehérfém

Rendkívül előnyös tulajdonságokkal rendelkeznek a lág, szárazon is jó súrlódási jellemzőkkel bíró fehérfémekből készült csapágyperselyek. Ezek a fehérfém perselyek készülhetnek ónból, ólomból vagy akár antimon ötvözetéből.

##### 4.3. Grafit

A grafit szilárd kenőanyagként viselkedik, ebből következtethetően meglehetősen jó választás siklócsapágy anyagának. Vegyítetlen formában akár nedves körülmények melletti használatra is alkalmas.

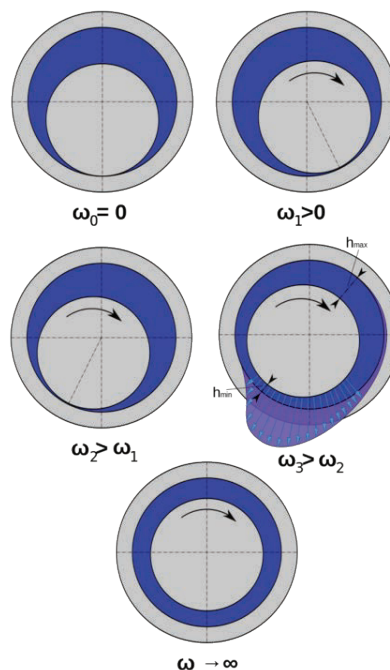
##### 4.4. Plasztik

Manapság a műanyag csapágyak meglehetősen nagy népszerűségnek örvendenek, mivel nem igényelnek kenőanyagot, nem korrodálódnak, kicsi a tömegük és nem szükséges karbantartás. Azonban hátrányaik is akadnak. A hőtágulási együttható változása nem lineáris, valamint nagy tartományban mozog, ezért tervezésnél bonyolult vele számolni. A nem rendeltetésszerű használatból adódóan rendkívül gyorsan melegeznek.

#### 5. Siklócsapágy működési mechanizmusa

A siklócsapágnál a tengelycsap nyugalmi állapotban a csapágy aljára fekszik fel (6. ábra). Indításkor kezdetben száraz súrlódást kell a csapágnak le-

küzdenie, ugyanis csapágygyűrű belső felületén fekvő csap kiszorítja a rétegek közül a kenőanyagot. A sebesség növelésével a tengelycsap felkúszik a csapágy falán, gördülés során folyamatosan maga alá kenve a kenőanyagot, melynek hatására a falon való gördülés fokozatosan átvált csúszássá. A maga alá bevitt kenőanyagban olyan hidrodinamikai erők lépnek fel, melynek hatására a tengely elmozdul, és a sebesség növekedésével a forgás közel excentrikussá válik. Ekkor éri el a csapágy az üzemi állapotot [7].

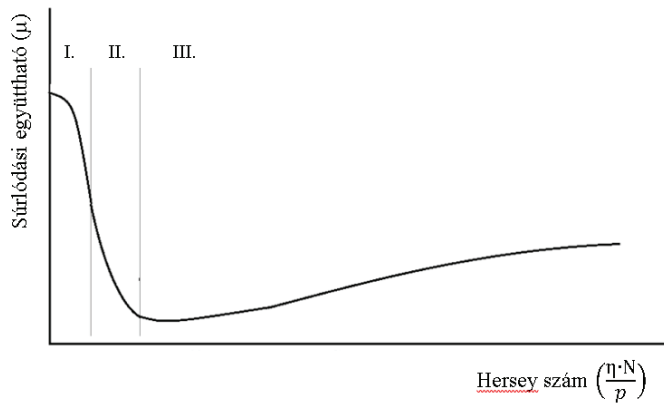


6. ábra. A siklócsapágy jellemző állapotai az életciklusa során.

A forgás megszűnésével a tengelycsap visszakerül a kiindulási állapotba. Mivel a kezdeti határréteg súrlódás a nagy súrlódási együttható miatt jelentős veszteségekhez vezet, előfordulhat olyan helyzet, hogy energiatakarékosság szempontjából optimális a csapágy állandó működtetése a leállítás és újraindítás helyett. A Stribeck diagram (7. ábra) szemlélteti a siklócsapágy üzemeltetése során fellépő állapotokat, melyen jól látható az indításkor tapasztalható megnövekedett súrlódási együttható.

- I Határréteg súrlódás
- II Vegyes súrlódás
- III Hidrodinamikussúrlódás

A Stribeck görbe szemlélteti a súrlódási együttható és a Hersey szám kapcsolatát [8]. A Hersey szám egy dimenziótlans, kenési állapotot leíró paraméter:



7. ábra. Stribeck görbe

$$\text{Hersey szám} \left( \frac{\eta \cdot N}{p} \right)$$

1. képlet

ahol:

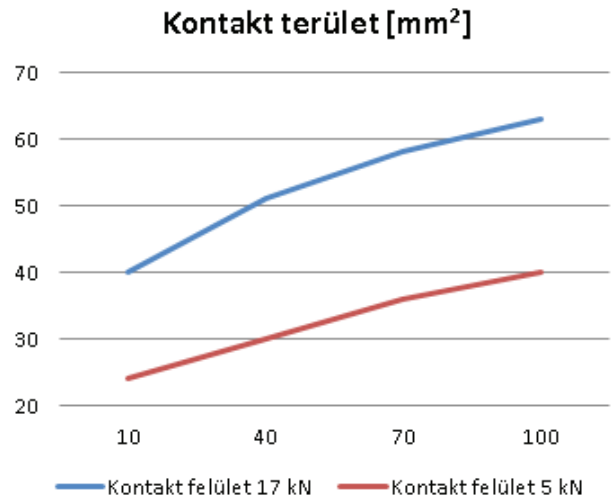
$\eta$ : dinamikai viszkozitás,  
 $N$ : a folyadék sebessége,  
 $p$ : kontaktnyomás.

6. Tribológiai szimuláció

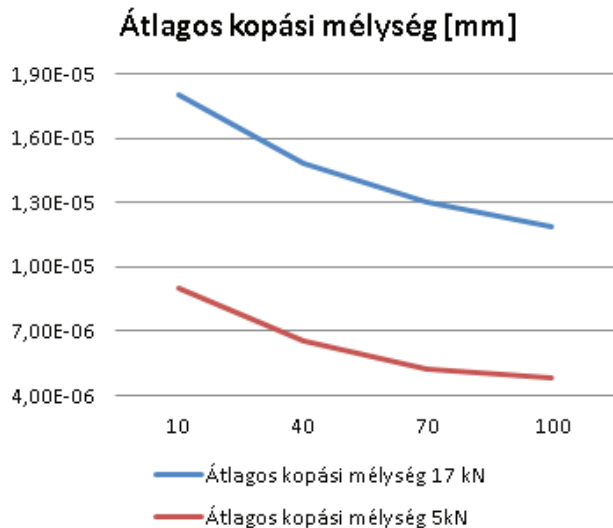
A kopás szimulációját a Tribology Simulator nevű szoftver segítségével végeztük el. A szoftver a leggyakrabban előforduló tribológiai érintkezési feladat szimulációjára alkalmas. A szimulátor fő funkciója a vegyes kenési körülmények közt érintkező kontaktfelületek között fellépő súrlódás számítása, amikor a terhelést részben a kenőanyag, részben pedig a közvetlenül érintkező felületek veszik fel. [9] Az eredmény kiértékelésénél a csapágyban bekövetkezett változásokat vizsgáltuk idő és terhelés függvényében. Mivel egy forgattyús tengely dinamikus terhelése a forgattyúkar és tengely által bezárt szög tekintetében változó, a szimulációt két különböző terhelés mellett futtattuk. Hozzávetőlegesen 17 kN terhelés lép fel abban az esetben, amikor a dugattyú működésbe lép. Ez a körülfordulásnak csupán rövid részét teszi ki, kb 10°. A működés során az átlag terhelés a tengelyen 5 kN, ezzel a faktorial végeztük a második szimulációt. Az így kapott eredményekből megállapítható, milyen mértékben befolyásolják a csapágy kopását a különböző terhelések.

7. Eredmények kiértékelése

Az alábbiakban láthatóak az Tribology Simulatorban kapott eredmények összesítései diagram formátumban: Az eredmények alapján látható, hogy nagyobb terhelés esetén a kopási folyamat gyorsul, ezáltal az



8. ábra Érintkező felület nagysága



9. ábra Átlagos kopási mélység

érintkező terület megnő (8. ábra). A csapágy felületén aránytalanul eloszló terhelés miatt fontos vizsgálni a különböző kopási mintákat, a várható élettartam számítása végett.

Irodalomjegyzék

[1] Blau PJ.: Tribosystem analysis, 2016.  
 [2] Chattopadhyay R.: Surface Wear – Analysis, Treatment and Prevention, 2001.  
 [3] BME Járműgyártás és –javítás Tanszék: Károsodás (letöltés ideje: 2020.04.02.)  
 [4] [http://www.dansmc.com/bush\\_plain\\_bearings.htm](http://www.dansmc.com/bush_plain_bearings.htm) (letöltés ideje: 2020.04.02.)  
 [5] Pattantyús Gépész- és Villamosmérnökök Kézikönyve 2. kötet. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1961.  
 [6] Dean RR, Evans CJ: Plain bearing materials, 2003.  
 [7] Williams J. A.: Engineering Tribology, 1994.  
 [8] <https://www.tribology-abc.com/abc/stribeck.htm> (letöltés ideje: 2020.04.02.)  
 [9] Tribology Simulator User Manual, www.tribonet.org, 2018.