

## GÖRDÜLŐFELÜLETEK HORDKÉPVIZSGÁLATA

Sarka Ferenc

egyetemi docens, Miskolci Egyetem

Gép- és Terméktervezési Intézet

3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [machsf@uni-miskolc.hu](mailto:machsf@uni-miskolc.hu)

### **Absztrakt:**

*A cikk a hordkép vizsgálatok alkalmazási lehetőségeit foglalja össze röviden. A hordkép vizsgálatok a fogaskerékhajtásoknál, támasztógörgők ellenőrzésénél, illetve gördülőcsapágyaknál gyakran alkalmazott vizsgálat. A fogaskerekeknél és a támasztógörgőknél az üzem közbeni, vagy alacsony terhelésű állapotok vizsgálatánál alkalmazzuk, míg a gördülőcsapágyak esetén már a meghibásodások okának felderítésére. A fejezetek során említésre kerülnek a hordképek típusai, a hordképek alakja és méretük meghatározása. Ez a cikk egy több részes cikksorozat bevezetője, mely a hordkép vizsgálat számítógépes lehetőségeit vezeti fel.*

**Kulcsszavak:** fogaskerék, fogaskerékhajtás, gördülőcsapágy, támasztógörgő, hordkép

### **Abstract:**

*This article provides a brief summary of the potential applications of contact pattern examinations. The examination of contact pattern is frequently used test for gear drives, rolling bearings, and checking support rollers. It is used on gear drives and support rollers to test operating conditions, whereas in the case of rolling bearings, the cause of the failure has already been identified. The chapters mention the types of contact patterns, the shape and size of contact patterns. This article is an introduction to a multi-part article series that introduces the computer-based capabilities of contact pattern examination.*

**Keywords:** gear, gear drive, rolling bearing, support rollers, tooth contact pattern, contact pattern

### **1. Bevezetés**

Az egymáson legördülő, vagy csúszva gördülő gépelemek kapcsolódásának vizsgálatára gyakran alkalmazott módszer a hordkép vizsgálat. Leggyakrabban fogaskerékhajtások esetében vizsgáljuk a kialakuló hordképet. Fogaskerékhajtásokon kívül találkozhatunk a hordkép problémájával gördülőcsapágyaknál, illetve támasztógörgőknél is. A gépjárművek gumibroncsainak futófelületén megjelenő kopásnyomok értelmezhetők hordképnek is, mely a futómű beállításának helyességére, vagy az alkalmazott guminyomás megfelelő voltára utal (**1.ábra**). Az érintkezéskor kialakuló lenyomat (hordkép) jól szemlélteti az érintkező elemek között kialakuló érintkezési zónákat. A zónák alakjából, méretéből és helyzetéből a szerkezet szempontjából fontos, tulajdonságra következtethetünk. A cikk a következő fejezetekben rövid irodalmi áttekintést ad a hordkép vizsgálat készítéséről, annak körülményeiről és a kapott eredmény felhasználási lehetőségeiről.



**1. ábra.** A gumibronconson megjelenő hordkép (kopás), a) hibás futómű beállítás, b) túl magas guminyomás eredményeként [9]

## 2. A hordkép vizsgálatokról általánosan

A hordkép vizsgálatokat két jól elkülöníthető csoportba sorolhatjuk, az alkalmazott terhelés alapján. Az egyik csoport, melynél a vizsgálat üzemi körülmények között végzendő, a másik pedig, amikor minimális terheléssel végezzük a vizsgálatot. A hordkép vizsgálat esetén az érintkező felülepárok közül az egyiket festékkal kenjük be (festett elem), míg a másikat tisztán hagyjuk (tisztá elem). Az elemeket egymáshoz érintve a festék átnyomódik a tiszta elemre és ott lenyomatot hoz létre. Az így létrejött lenyomatot nevezzük hordképnek. Ahhoz, hogy a festék a felületeken maradjon, az érintkező elemekről a kenőanyagot el kell távolítani, zsirtalanítani kell azokat. A festék anyaga nem fog tapadni a szennyezett felületekhez, így megakadályozva a hordkép kialakulását a tiszta elemen. Másik lehetőség, hogy a teljes fogazat kerül befestésre és az érintkezési helyekről a festék lekopik, így hozva létre a hordképet (**2. ábra**). Az eddig leírtakból látható, hogy a vizsgálat elvégzése egyszerűnek tűnik, viszont sok esetben üzemi viszonyok között nem, vagy csak nehezen kivitelezhető.



**2. ábra.** A kialakult hordkép a fogfelületen (a lekopott terület) [10]

## 2.1. Minimális terheléssel végzett vizsgálat

A hordkép vizsgálatot, amennyiben lehetőség van rá, minimális terhelés mellett kell elvégezni. A terhelésnek azt az értéket kell elérni, melynél a kapcsolódó felületek a kapcsolódási folyamat során, végig kapcsolódásban legyenek, ne alakuljon ki szétválás és újbóli érintkezés. Fogaskerékhajtásoknál ezt úgy érik el, hogy alacsony nyomatékkal (sokszor kézi erővel) forgatják meg a hajtóművet és a hajtott keréken enyhe fékezést alkalmaznak. Leggyakrabban a hajtómű forgó elemeinek tehetetlenségi nyomatékából származó terhelés is elegendő a vizsgálat elvégzéséhez. Az ebben az esetben kialakuló hordkép nagymértékben eltérhet (és gyakran el is tér) a terhelés alatti állapottól. A terhelés nélküli hordkép vizsgálatra gyakran (például kúpkerékeknel) speciális vizsgálóberendezéseket használnak. Az alacsony terheléssel végzett vizsgálatokat két további csoportba tudjuk rendszerezni. Ezeket pillanatnyi- és összegzett hordképnek nevezzük. Pillanatnyi hordkép esetén az összeszerelt hajtómű nagykeréke csak egyet fordul, míg az összegzett hordkép esetén a hajtóművet hosszabb ideig forgatjuk.

## 2.2. Üzemi terheléssel végzett vizsgálat

Az üzemi terhelés mellett végzett vizsgálatok esetén számítani kell arra, hogy a terhelés mértékétől függően az érintkező felületek rugalmas deformációt szenvednek. A deformáció hatására a két felület közé juttatott festék a nagyobb felületi nyomású helyeken kiszorulhat a felületek közül. Az alkalmazott festék állagát (sűrűségét, viszkozitását) tekintve, inkább pasztának tekinthető, mint a hagyományos értelemben vett festéknek.

## 3. Támasztógörgők hordképe és vizsgálata

Támasztógörgők beállítása esetén hasznos módszer a hordkép vizsgálata. Például dobkemencék támasztó görgőinek (vagy másként futógörgőinek) vizsgálatakor a terhelés nélküli vizsgálat gyakorlatilag nem kivitelezhető. A **3. ábra** egy dobkemence támasztógörgőjét mutatja. A dobkemencék támasztó/futógörgőinek terhelése elsődlegesen nem a kemencébe bejuttatott anyag adja, hanem a kemence teste (pajzs, falazat), vagyis már a szerkezet saját súlya is igen jelentős terhelést képes a görgőkre helyezni. Gyakran a kemencébe juttatott anyaggal nem is számolunk a görgők terhelésekor. Mivel csak üzemi körülmények között van lehetőség (és értelme) a dobkemencék görgőinek hordkép vizsgálatára, a vizsgálat eszközt is ennek megfelelően kell megválasztani. A körülményekről általánosan elmondható, hogy az üzemet gyakran magas hőmérséklet és lassú forgási sebesség jellemzi. A legtöbb festék anyaga magas hőmérsékleten már nem használható, a lobbanáspontjuk (gyulladáspontjuk) akár alatta is lehet a technológiai folyamatot jellemző hőmérsékletnek, mely komoly balesetekhez is vezethet. Ilyen esetben ólom huzalos próbát szoktak végezni. Az ólom egy igen lágy fém, mely könnyen deformálódik a hengerek között. Az ólomhuzalt a támasztógörgők közé vezetik, párhuzamosan a görgők tengelyével. A huzal az erőhatások következtében nagymértékű maradó alakváltozást szenved (kilapul). A lapulás mértéke attól függ, hogy milyen erőhatás érte az ólom huzalt. A görgők azon részén, ahol nagyobb erőhatás adódik át, ott a lapulás mértéke nagyobb lesz. Amennyiben az ólomhuzal hosszában közel azonos mértékű lapulást szenvedett el, akkor a görgők beállítása jónak mondható, vagyis az érintkező görgők tengelyei közel párhuzamosak egymással.



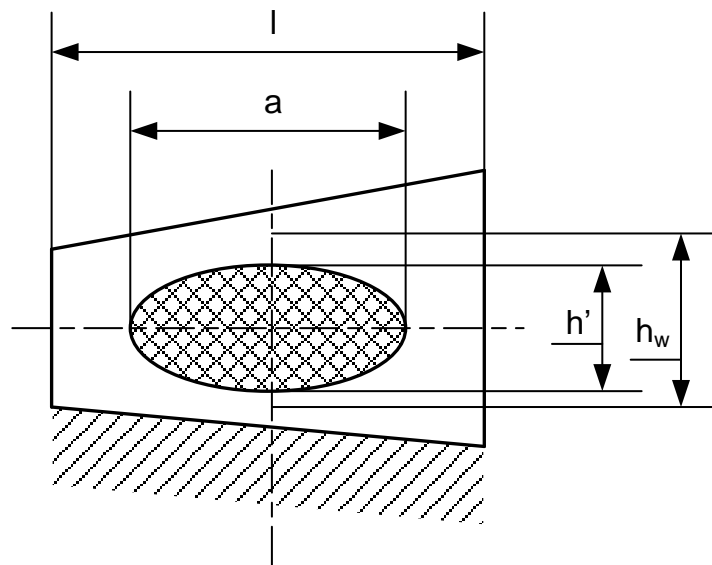
3. ábra: Dobkemence támasztó/futógörgője

#### 4. Gördülőcsapágyak hordképe

A gördülőcsapágyak esetében, mint ahogyan minden gördülő pár esetében, beszélhetünk hordképről. Mivel a gördülőcsapágyak futópályáira és gördülőtesteire a belátás igen korlátozott, a csapágyak hordképét szétszerelt állapotban vizsgáljuk. A vizsgálatok elvégzése többnyire már valamilyen meghibásodás miatt történik. Sok csapágytípus esetén a gördülőcsapágyat csak roncsolással lehet elemeire bontani, vagyis a csapágy visszaépítése már nem lehetséges. A csapágyak helyes hordképét vizsgálni közvetlenül nem lehet, a beépítés, a működés és az alkalmazott konstrukció kialakítása az, melyekkel hatással lehetünk a hordképre és ezáltal a számítások alapján elvárt élettartamra [1]. A gördülőcsapágyak gyártói katalógusaikban közlik, hogy milyen műszaki paraméterekkel (mérettűrés, helyzettűrés, alaktűrés, felületérdesség, keménység, merevség) kell rendelkeznie a csapágyat fogadó elemeknek (ülék, persely). Ezeket betartva a csapágyak a kívánt hordképpel fognak működni. A kiszerelt csapágyak futópályáinak szemrevételezésével megállapítható, hogy a hordkép az előírt optimális volt-e, illetve az eltérések alapján a hiba oka is jó eséllyel megállapítható. A [6], [7], [8] irodalom részletesen taglalja az egyes futópályán megjelenő elváltozásokat és azok okait.

## 5. Fogaskerékhajtások hordképe

A hordkép vizsgálata a fogaskerék hajtásoknál a legelterjedtebb és a leggyakrabban alkalmazott. A fogaskerek hordképénél két típust különböztetünk meg. Az egyik a teljes hordkép, a másik a lokalizált hordkép. Az, hogy egy fogaskerékhajtás esetén milyen hordképet kell létrehozni, az sok tényezőtől függ (pl.: terhelés nagysága, terhelés mértékének változása, forgásirány változása, tengely merevsége, csapágyak merevsége, gyártás és szerelés pontossága, stb.). A hordkép nagyságát a fogfelület méreteihez viszonyítva százalékban adjuk meg, a **4. ábra** jelöléseivel írható (1) és (2) összefüggések [2].



**4. ábra:** A fogaskerék százalékos hordképének értelmezése [2]

A foghossz irányában:

$$s_l = \frac{a}{l} \cdot 100\% \quad (1)$$

A fogmagasság irányában:

$$s_h = \frac{h'}{h_w} \cdot 100\% \quad (2)$$

ahol:

- a: a hordkép hossza,
- l: fogszélesség,
- h': a hordkép magassága,
- h<sub>w</sub>: a működő fogmagasság.

A teljes hordképet a fogaskerékajtásoknál alárendelt helyeken, vagy nagyon pontos gyártás és merev csapágyazás esetén, illetve kinematikai hajtásoknál alkalmazzuk. A lokalizált hordkép előállítására költséges, ezért csak igényes alkalmazásoknál (például járműipar) kerül használatra.

A gyártási és szerelési hibák következtében kialakuló fogirányhiba, tengelytáv hiba, illetve tengelyszög hiba miatt, a tervezéskor meghatározott lokalizált hordkép a fogfelületen eltolódhat az ideális pozícióból [5]. Amennyiben az érintkezési zóna egy része lekerül a fogfelületről, a maradék érintkezési felület már kisebb mértékű, mint a szükséges lenne. A felület csökkenésének hátrányos következménye lesz, hogy a feszültség megnő, mivel ugyanazt a terhelést kisebb felületen kell továbbítani. A megnövekedett feszültség a súlyosabb esetben fogtörést okoz.

## 6. Összefoglalás

Az előző fejezetek alapján megállapíthatjuk, hogy a hordkép vizsgálat egy sok információt hordozó vizsgálati lehetőség, akár a fogaskerékajtásokra gondolunk, akár a gördülőcsapágyakra, vagy a támasztógörgőkre. A hordképek kialakulásának helyét nagyban befolyásolja a kapcsolódó elemek tengelyeinek beállítási pontossága. Több szabvány is foglalkozik azzal, hogy a kialakult hordkép formája, milyen tengelyhibák esetén jön létre [3,4]. Ezek ismeretében a szükséges irányú beavatkozás megtehető a hajtásoknál. A beavatkozás mértéke már nehezebben meghatározható, itt a kísérlet az mely megoldást kínál a kívánt hordkép elérése. A kísérletek költségének csökkentése végett egy lehetséges módszer a végeselemes módszer alkalmazása, mely képes az egyes elemek deformációinak figyelembe vételével meghatározni a kialakuló hordképet. A cikksorozat következő részei a hordképek végeselemes vizsgálati lehetőségeit kívánja elemezni, több különböző hajtástípus esetén.

## 7. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## Irodalom

- [1] Zsáry Árpád (1989) Gépelemek I., ISBN: 963 19 4585 5, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest
- [2] Erney György (1983): Fogaskerekek, ISBN 963 10 5089 0, Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- [3] American National Standard: Design Manual for Bevel Gears, ANSI/AGMA 2005-D03
- [4] American National Standard: Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth, ANSI/AGMA 2001-D04
- [5] J.B. Amendola - J.B. Amendola III. – D. Yatzook: Longitudinal Tooth Contact Pattern Shift, Gear Technology, 2012 May, pp. 62-67, ISSN 0743-6858
- [6] SKF 6000HU főkatalógus, 2006, Sweden.
- [7] SKF bearing maintenance handbook, ISBN 978-91-978966-4-1, 2011, SKF Group.
- [8] SKF Csapágy-karbantartási kézikönyv, 2005, Terítéka Kft.
- [9] <https://automax.hu/autogumi-hirek/serulesek-hibak-az-autogumin-okok-es-elkerulesi-modok/100>
- [10] [https://www.pirate4x4.com/tech/billavista/Gear\\_Setup/](https://www.pirate4x4.com/tech/billavista/Gear_Setup/)