

KISMÉRETŰ MŰANYAG FOGASKEREK OSZTÁSHIBÁINAK VIZSGÁLATA

ANALYSING THE PITCH FAULTS OF SMALL PLASTIC GEARS

Marada Imre*, Dr. Bihari János**

ABSTRACT

In our previous research, we have already demonstrated that the measurement of the recirculation torque is a suitable method to investigate the faults of small plastic gears. The recirculation torque is the torque required to rotate the gearbox fitted with the gears under no load. In addition, we have shown how tooth thickness faults can be detected by this method. In this research, we investigated the effect of the pitch faults. To do this, we used SLA 3D printing to produce gears that contained a tooth that was displaced from its original position. The resulting gears were then paired with gears without a fault, and using a torque measuring device we designed, the torque curves were compared to cases where none of the gears contained a faulty tooth.

1. BEVEZETÉS

A kisméretű műanyag fogaskerekek olyan fogaskerekek, amiknek a modulja nem nagyobb 0,5 mm-nél, emellett legnagyobb jellemző méretük sem haladja meg a 30 mm-t. Alapanyaguk valamilyen polimer anyag, általában polioximetilén (POM) vagy poliamid (PA), de egyéb műanyagokat is szoktak használni [1] [2].

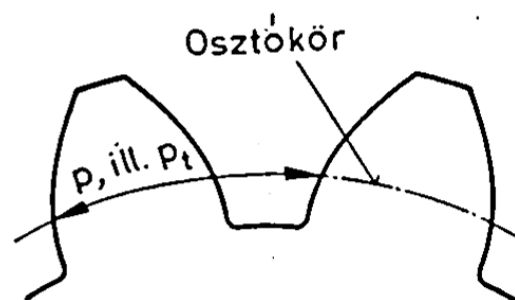
A kisméretű műanyag fogaskerekek hibáinak vizsgálata azért fontos, mert a hibák kihathatnak a fogaskerekek működésére, illetve melegedésére is. Ez utóbbi a műanyag fogaskerekek esetén egy kritikus pont, hiszen a polimerek esetén a szilárdsági jellemzők és a méretek sokkal jobban függenek a hőmérséklettől, mint a fémek esetében [3].

A hibák vizsgálatára az egyik lehetséges módszer az átforgatási nyomaték mérése. Az átforgatási nyomaték az a nyomaték, amely ahhoz szükséges, hogy a kisméretű műanyag fogaskerekekkel szerelt hajtóművek tengelyeit terhelésmentes esetben forgatni tudjuk. Az átforgatási nyomatékot a hajtómű behajtó oldalán mérjük [4].

Az átforgatási nyomaték méréssel egy korábbi kutatás során kimutattuk a kisméretű műanyag fogaskerekek fogvastagsághibáinak hatását. A mérések megmutatták, hogy ha a fog vastagsága csökken a

szabványos értékhez képest, az átforgatási nyomaték is csökken, a fog vastagságának növekedésekor pedig a nyomaték értéke növekedett [5].

A fogazatok egy másik hibája lehet, ha az osztókör osztás eltér a szabványos értéktől. A p -vel jelölt osztás a szomszédos fogak egyoldali fogfelületeinek távolsága az osztókörön ívhosszban értve [6]. Az 1. ábrán az osztás definíciója látható.



1. ábra Az osztás [6]

Ebben a cikkben az osztás hibáinak hatásait vizsgáltuk az átforgatási nyomaték mérésével.

2. A FOGASKEREK

A vizsgálatokhoz használt fogaskerekek geometriáit a KISSSoft szoftverrel állítottuk elő. Ezt követően a Solid Edge CAD tervezőszoftverrel az osztáshibát úgy hoztuk létre, hogy a fogaskerék egyik fogát elforgattuk a fogaskerék tengelye körül.

A vizsgálatokhoz egyféle modul ($m=0,5$ mm) és kétféle fogszámot (30 és 50) választottunk. A hibás fogat úgy forgattuk el, hogy az osztás egyik esetben 0,05, másik esetben 0,1 mm-rel változzon a szabványoshoz képest. A 2. ábra ezt szemlélteti. Az ábrán a fekete nyíl jelöli az elforgatás irányát. Az ábrán található egy I. jelölésű fehér nyíl is. Ez arra szolgál, hogy a cikkben megkülönböztessük a hibás fogaskerék két forgásirányát. A nyíl által mutatott iránynak megfelelő forgásirányt a továbbiakban I. jelöléssel, a nyíl irányával ellentétesen II.-vel fogjuk jelölni.

A fogaskerekeket ezután egy SLA 3D nyomtatóval gyártottuk le. Korábbi kutatásaink bizonyították, hogy ez

* PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Intézet

** egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Gép- és Terméktervezési Intézet

a módszer megfelelő pontosságú alkatrészeket eredményez [5].



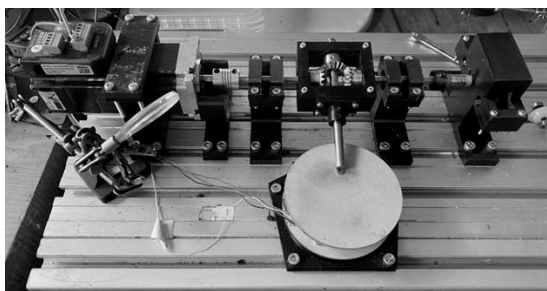
2. ábra Az osztás hibájának szemléltetése

3. A MÉRŐBERENDEZÉS

A mérésekhez egy általunk tervezett nyomatókmérő berendezést használtunk. Az eszköz egy differenciálmű elvén működik. A hajtást egy motor biztosítja. A motor és a mérendő fogaskereket tartalmazó hajtómű közé van beépítve a mérőberendezés, ami három kúpkerékből áll. Az első kúpkerék a meghajtó motor tengelyéhez, a harmadik a hajtómű bemenő tengelyéhez kapcsolódik. A középső fogaskerék szabadon el tud fordulni. A mérés közben a kúpkerékeket tartalmazó egység megbillen és a rajta található mérőtengely egy mérőérzékelőt terhel. A berendezés a 3. ábrán látható.

A mérések során a vizsgált fogaskerékpárok mindig azonos fogszámmal rendelkeztek. Tehát 30 fogú fogaskereket csak másik 30 fogúval párosítva vizsgáltuk. Ugyanez történt 50 fog esetén is.

Az 1 perces vizsgálatokat 12 1/min fordulatszámmal végeztük el. Ezt azért fontos megemlíteni, mert így a vizsgálatok során a hibás fog tizenkétszer került kapcsolatba a másik fogaskerék fogával. Így jó esetben a 60 másodperc alatt a nyomatókgörbén 12 ponton kell eltérést látnunk a nem hibás fogaskerékpárok nyomatókgörbéjéhez képest.



3. ábra A berendezés

4. REFERENCIAMÉRÉSEK HIBA NÉLKÜLI FOGASKEREKEKKEL

A mérések elvégzése előtt olyan vizsgálatokat is el kellett végeznünk, amelyeknél a vizsgált a fogaskerékpár egyik foga sem volt hibás. Erre azért volt szükség, hogy az osztáshibás fogaskerekekkel történő mérésekhez legyenek referencia adataink. A méréseket mindkét fogszám esetén háromszor végeztük el. A három-három

mérés egymástól független volt. A továbbiakban referenciaként szolgáló értékeket az 1. és 2. táblázat tartalmazzák.

1. táblázat Az átfogatási nyomatók hiba nélküli, $z=30$ fogszámú fogaskerékpároknál

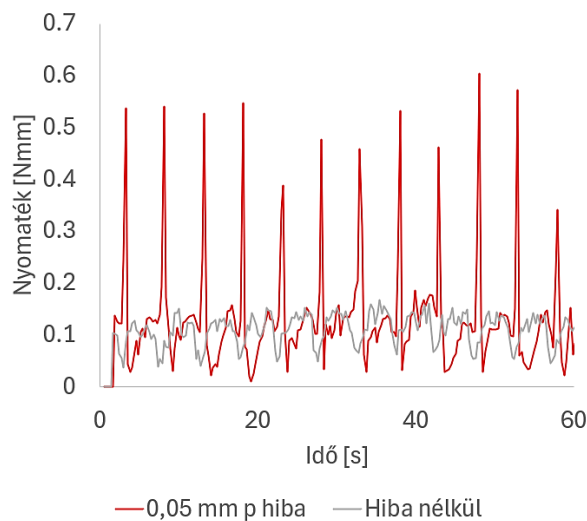
Mérés	Maximum [Nmm]	Átlag [Nmm]	Minimum [Nmm]
Mérés 1	0,16701	0,11043	0,03825
Mérés 2	0,16701	0,10618	0,04855
Mérés 3	0,16554	0,09893	0,03899
Átlag	0,16652	0,10518	0,04193

2. táblázat Az átfogatási nyomatók hiba nélküli, $z=50$ fogszámú fogaskerékpároknál

Mérés	Maximum [Nmm]	Átlag [Nmm]	Minimum [Nmm]
Mérés 1	0,39362	0,23171	0,10913
Mérés 2	0,37155	0,19241	0,07971
Mérés 3	0,38749	0,22879	0,0981
Átlag	0,38422	0,21764	0,09564

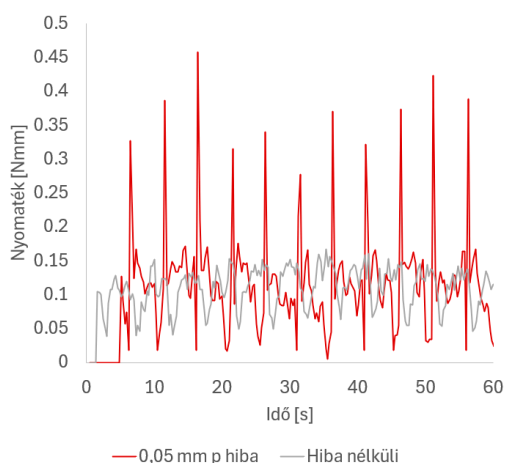
5. A MÉRÉSEK

A méréseket minden esetben 3-3 fogaskerékpáron végeztük el.



4. ábra A nyomatóki görbe $z=30$, 0,05 mm osztáshiba és I. forgásirány esetén

A $z=30$ fogszám esetén a 0,05 mm-es osztáshibánál, ha a hibás fogaskerék az I. forgásirányban forog, azt tapasztalhatjuk, hogy amikor a hibás fog lép kapcsolatba, a nyomatók jelentősen megnő, majd hirtelen lecsökken. Ez azzal magyarázható, hogy a csökkentett osztású résznél a foghézag is lecsökken a szabványoshoz képest, míg a fog másik oldalán a foghézag a szabványos érték fölé kerül. A nyomatókgörbét a 4. ábra mutatja.

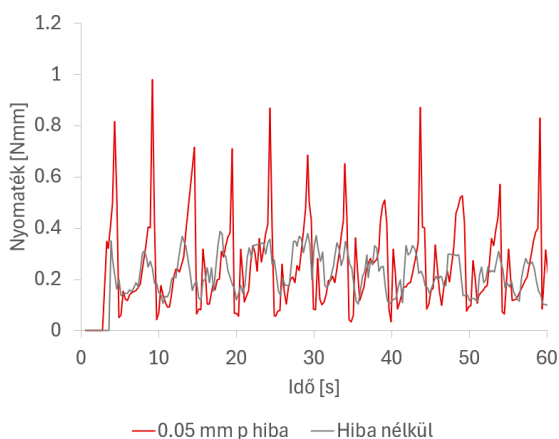


5. ábra A nyomatéki görbe $z=30$, 0,05 mm osztáshiba és II. forgásirány esetén

II. forgásirány diagrammja az 5. ábrán látható. Ebben az esetben az I. forgásiránnyal ellentétes folyamat zajlik le. A nyomaték jelentősen lecsökken, majd megnő. A kiugró értékek nagysága nagyjából megegyezik az I. forgásirány esetén tapasztalttal. Ezeket a referenciaértékektől eltérő nyomatékokat a 3. táblázat foglalja össze.

3. táblázat Az átfogatási nyomaték referenciaértékektől eltérő értékeinek maximuma, átlaga és minimuma 0,05 mm osztáshiba esetén, $z=30$ fogszámú fogaskerékpárokra

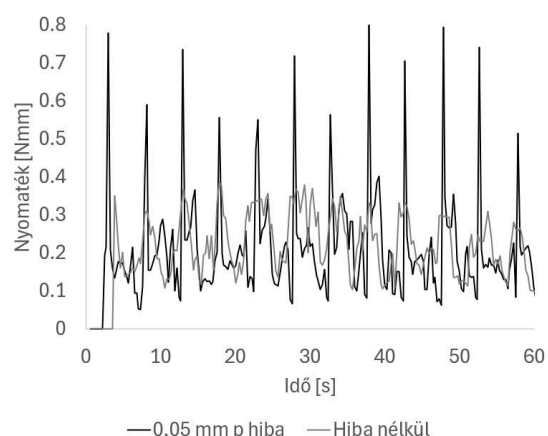
	Maximum [Nmm]	Átlag [Nmm]	Minimum [Nmm]
Csökkentett osztás	0,6364	0,4511	0,2774
Növelt osztás	0,0345	0,0244	0,0103



6. ábra A nyomatéki görbe $z=50$, 0,05 mm osztáshiba és I. forgásirány esetén

A $z=50$ és 0,05 mm osztáshiba esetén is ugyanazt figyelhető meg, mint $z=30$ esetén. A különbség csak a hibás fognál tapasztalható nyomaték nagyságában van.

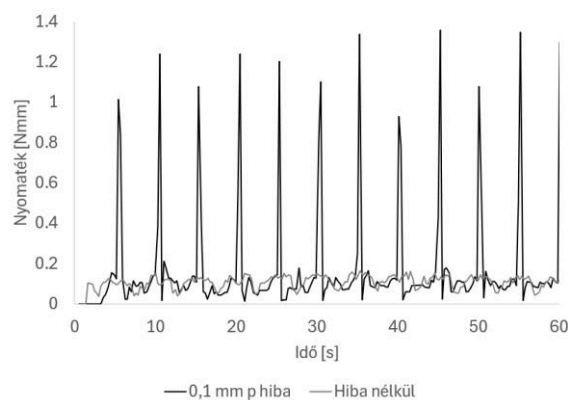
Ezeket az értékeket a 4. táblázat tartalmazza. Az I. forgásirányt a 6. ábra, a II. forgásirányt a 7. ábra mutatja.



7. ábra A nyomatéki görbe $z=50$, 0,05 mm osztáshiba és II. forgásirány esetén

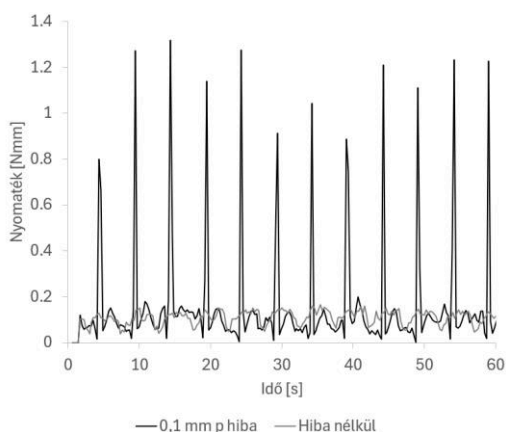
4. táblázat Az átfogatási nyomaték referenciaértékektől eltérő értékeinek maximuma, átlaga és minimuma 0,05 mm osztáshiba esetén, $z=50$ fogszámú fogaskerékpárokra

	Maximum [Nmm]	Átlag [Nmm]	Minimum [Nmm]
Csökkentett osztás	0,9798	0,6761	0,5039
Növelt osztás	0,0919	0,0677	0,0343



8. ábra A nyomatéki görbe $z=30$, 0,1 mm osztáshiba és I. forgásirány esetén

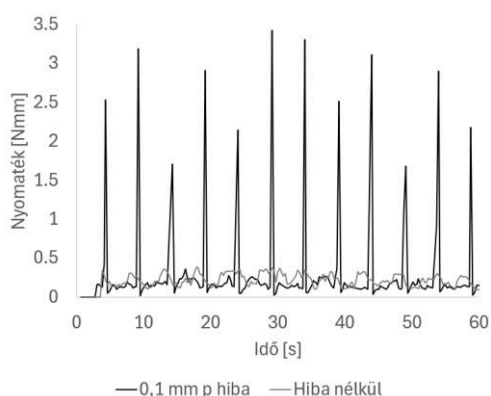
A $z=30$ és 0,1 mm osztáshibával rendelkező fogaskerekek esetén ugyanazt a jelenséget tapasztaltuk, mint 0,05 mm-es hiba esetén. Azonban mivel itt az osztáshiba nagyobb volt, így a hibás fog kapcsolódásakor mért nyomatékok és a referenciaértékek különbsége is nagyobb lett. Ezeket az értékeket az 5. táblázat tartalmazza. A nyomatékgörbét a 8. és 9. ábra mutatja.



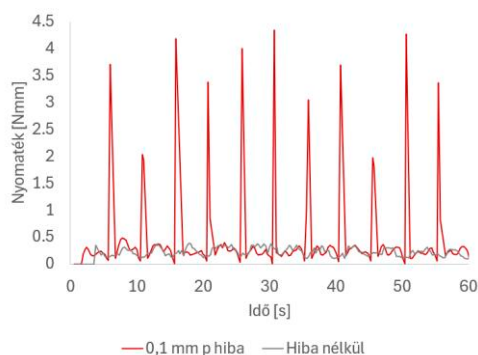
9. ábra A nyomatéki görbe $z=30$, 0,1 mm osztáshiba és II. forgásirány esetén

5. táblázat Az átfogatási nyomaték referenciaértékektől eltérő értékeinek maximuma, átlaga és minimuma 0,1 mm osztáshiba esetén, $z=30$ fogszámú fogaskerékpárokra

	Maximum [Nmm]	Átlag [Nmm]	Minimum [Nmm]
Csökkentett osztás	1,3604	1,1121	0,7181
Növelt osztás	0,0333	0,0207	0,0022



10. ábra A nyomatéki görbe $z=50$, 0,1 mm osztáshiba és I. forgásirány esetén



11. ábra A nyomatéki görbe $z=50$, 0,1 mm osztáshiba és II. forgásirány esetén

A $z=50$ fogszám és a 0,1 mm-es osztáshiba esetében is ugyanazt tapasztaljuk, mint a hasonló fogszámú és kisebb osztáshibás méréseknél. Annyi a különbség ismételtlen, hogy a hiba növekedésével a referenciaértékektől eltérő értékek különbsége is nagyobb a referenciaértékekhez képest, mint kisebb hiba esetén. Ezeket az értékeket a 6. táblázatban foglaltuk össze. A mérések nyomatékgörbéit a 10. és 11. ábrák mutatják be.

6. táblázat Az átfogatási nyomaték referenciaértékektől eltérő értékeinek maximuma, átlaga és minimuma 0,1 mm osztáshiba esetén, $z=50$ fogszámú fogaskerékpárokra

	Maximum [Nmm]	Átlag [Nmm]	Minimum [Nmm]
Csökkentett osztás	4,9896	3,3206	1,6824
Növelt osztás	0,0736	0,0449	0,0111

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Ebben a cikkben kisméretű műanyag fogaskerekek osztáshibáit vizsgáltuk az átfogatási nyomaték mérésével. Ehhez olyan fogaskereket gyártottunk, melyek egyik foga tangenciális irányban el lett forgatva. A mérések azt mutatták, hogy az osztás csökkenésével az átfogatási nyomaték növekszik, az osztás növekedésével pedig csökken.

7. SUMMARY

In this article, the pitch faults of small plastic gears were analysed by measuring the drag torque. For this purpose, gears were manufactured with one tooth slightly moved in the tangential direction. The measurements showed that as the pitch decreases, the torque increases and as the pitch increases, the torque decreases.

8. IRODALOM

- [1] VDI 2731 Mikrogetriebe, Grundlagen. BeuthVerlag, Berlin, 2009.
- [2] JIS B 1759:2019 (JGMA/JSA) Estimation of tooth bending strength of cylindrical plastic gears, Japanese Standards Association, Tokyo, 2020.
- [3] VDI 2736 Thermoplastische Zahnräder, BeuthVerlag, Berlin, 2014.
- [4] BIHARI J.: Kisméretű műanyag fogaskerekes hajtások hibái, GÉP 65:(2), pp: 19 – 22, 2014.
- [5] MARADA I., BIHARI J.: Measuring the effects of faults for the rotational characteristics of small plastic gears, JOURNAL OF PHYSICS-CONFERENCE SERIES 2848: 1 p. 012010, 2024, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2848/1/012010>
- [6] ERNEY GY.: Fogaskerekek, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983.