

KISMÉRETŰ MŰANYAG FOGASKERÉK-HAJTÓMŰVEKRE HATÓ KÜLSŐ HATÁSOK VIZSGÁLATA

RESEARCH OF THE EFFECT OF REACTIVE LOADS ON SMALL PLASTIC GEAR DRIVES

Dr. Bihari János, egyetemi tanársegéd, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet

BEVEZETÉS

A kisméretű műanyag fogaskerekekkel szerelt hajtóművek jellemző tulajdonságaiból fakadóan olyan terhelések is veszélyeztethetik a hajtómű épségét, amelyeket más esetekben nem, vagy kevésbé fontos tényezőként veszünk figyelembe. Ilyen terhelések tipikusan azok, amelyek a hajtómű fogaskerekeinek fokozott melegezését okozzák a hajtómű álló helyzetében, valamint azok, amelyek a hajtott oldal forgatásakor terhelik a fogazatokat.

ABSTRACT

In the application fields of small plastic gear drives, the effect of the reactive loads and the reversing the energy chain often presents a danger. I confirmed with measures, that in such cases the acting turn-back torque by multiple-stage drives can cause overload or fatal damage on the last stage of a drive.

DEFINÍCIÓK

Kis méretű fogaskerék: evolvens profilú, külső, egyenes fogazatú fogaskerék, amelynél a modul $m \leq 0,3$ mm.

Műanyagok, ebben a cikkben: fogaskerekek gyártásához általánosan használt 80 – 85 N/mm² folyási feszültségű, min. 50% szakadási nyúlású és a 3200 – 3000 N/mm² rugalmassági modulusú poliamidok, valamint 70 N/mm² folyási feszültségű, 30 % szakadási nyúlású és 3000 N/mm² rugalmassági modulusú POM alapanyagok.

1. A KISMÉRETŰ MŰANYAG HAJTÓMŰVEK NÉHÁNY JELLEMZŐ TULAJDONSÁGA

A probléma megértéséhez tekintsük át az ilyen hajtóművek néhány jellemző tulajdonságát és felhasználási területét. Műanyagból fröccsöntéssel jelentősen egyszerűbb lépcsős kereket gyártani, mint a fém alapanyagokból, ezért a tervezők gyakran élnek ezzel a

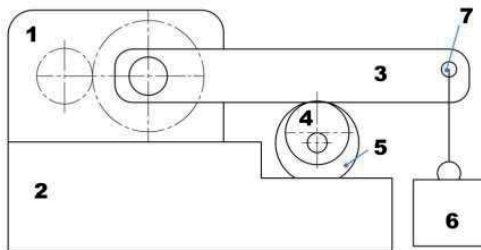
megoldással. Mivel így kis terheléseknél, amelyek nem igényelnek nagy teherbírású csapágyazásokat, jelentős helyet lehet megtakarítani, az ilyen hajtóművek gyakran szokatlanul sok, akár 6 – 14 lépcsőt is tartalmaznak. Az ilyen hajtóműveknél szokásosan megengedhető terhelések, és főként a megengedhető költségek miatt a hajtóművek csapágyazásai egyszerű kivitelűek, a csapágyak és a tengelyek illesztését pedig nem az optimális működés és élettartam, hanem a gyárthatóság határozza meg. Ugyanez igaz a fogaskerekek tűréseire is. Ebből fakadóan az ilyen hajtóművek veszteségei viszonylag, vagy abszolút mértékben is nagyok.

A nagy áttételeknek és a nagy veszteségeknek köszönhetően ezek a hajtóművek azonban alkalmasak lehetnek tartó funkció ellátására, azaz visszaforgatásukhoz az adott méreteknel jelentősnek számító forgatónyomatéokra van szükség. Ilyenkor a motor tehetetlenségi nyomatékát kihasználva elhagyhatók pl. a tartófékek pozicionálásra szolgáló hajtóműveknél, vagy léptetőmotorok esetén nincs szükség áramfelvételre a tartott helyzetben. Tipikus alkalmazások ilyen esetekre a légttechnikai berendezések terelőlemezei, a gépjárművek tükörállító szerkezetei, vagy a különböző pozicionáló hajtóművek.

2. A VISSZAHATÓ TERHELÉSEK LEHETSÉGES HATÁSAI

Problémát itt az jelent, ha a tartott elemre tartósan ismétlődő terhelés hat. Ez származhat például légttechnikai rendszerekben ventilátorok által keltett lüktető légáramból, vagy járművek esetén a jármű rezgéseiből és a járművet érő lökésekből. Ilyenkor az ismétlődő terhelés főként az utolsó lépcső kapcsolatban

lévő fogait terheli. Az 1. ábrán bemutatott egyszerű tesztpad az ilyen terhelések szimulálására szolgál. Az 1 jelű hajtómű a 2 állványon van rögzítve. A hajtómű kimenő tengelyéhez csatlakozik a 3 jelű kar. A 4 jelű excenter a kart emeli fel olyan módon, hogy alaphelyzetben a kar és az excenter között hézag van, azaz a terhelést a kar és az arra felfüggesztett 6 jelű súly biztosítja, az excenter pedig időszakosan megszünteti a terhelést.

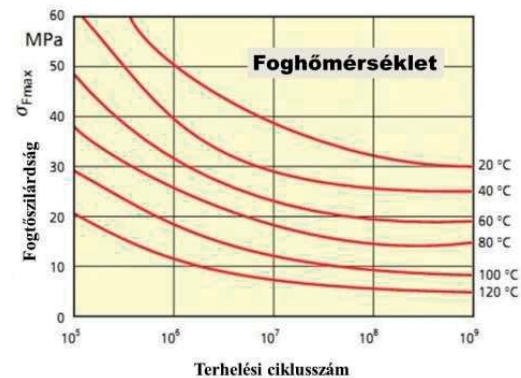


1. ábra: tesztpad a visszaható terhelések vizsgálatához

A tesztpadon elvégzett mérések kimutatták, hogy 21 °C környezeti hőmérsékletnél már 2/s ismétlési frekvencia esetén is 7 °C hőmérséklet-emelkedés következhet be a hajtómű utolsó fogaskerékpárján, amely nem hagyható figyelmen kívül a tervezés során, mivel mind a fogazatok szilárdságára, mind a működési hézagokra jelentős hatással van. A problémát a tűrészési sajátosságok miatt nem mindig lehet a méretezés, vagy az anyagválasztás optimalizálásával kezelni, ilyenkor szükség lehet kiegészítő megoldások beépítésére, pl. a mozgatott elem reteszelésére.

A szobahőmérsékleten végzett mérések azonban kizárólag arra alkalmasak, hogy igazolják a jelenség létezését és veszélyes mértékét. Ahhoz, hogy pontos képet kapjunk a hőmérséklet emelkedéséről egy adott hajtómű esetén, szimulálnunk kell a hajtómű jellemző alkalmazási területein előforduló hőmérsékleteket. Ez azért fontos, mert az ilyen egységekben általánosan használt műanyagok szilárdsága már a normál környezetben előforduló maximális hőmérsékletek esetén is jelentősen csökkenhet a szobahőmérséklethez képest, a nap közvetlen sugárzásának kitett hajtóműveknél pedig kritikus csökkenés is

előfordulhat. A 2. ábra egy PA6 alapanyag esetén mutatja be a fogtőszilárdság csökkenését a hőmérséklet függvényében [1].



2. ábra: a fogtőszilárdság és a hőmérséklet összefüggése [1]

A csökkenő szilárdság nagyobb elmozdulásokhoz vezet, ami az anyag nagyobb belső súrlódásaival jár, így a visszaható terhelések hatásából származó melegedés is nagyobb lehet. Ez a hatás két okból veszélyes. Az egyik, hogy a kapcsolatban lévő fogak szilárdsága olyan mértékben csökken, hogy már a tartott elem tartásához szükséges erő álló helyzetben is károsítja a fogakat, a másik pedig, hogy a működési hézagok elfogynak a hőtágulás miatt, a fogazat megfeszül, és a hajtómű ismételt elindításakor károsodnak a fogak.

Ezért a kutatásaim következő lépése egy olyan kamra megépítése, amelyben 80 °C hőmérsékletig lehet vizsgálni az ilyen terhelések hatásait. A 80 °C hőmérsékletet az indokolja, hogy a mindennapi környezetben körülbelül ez az a hőmérséklet, amely a nap közvetlen sugárzásának kitett, sötét színű tárgyak, pl. személygépkocsik tükörházainak vagy műszerfalainak belső terében kialakulhat.

3. A VISSZAFORGATÁSI NYOMATÉKOK, MINT VESZÉLYES TERHELÉSEK

A visszaható terhelések másik veszélyes formái a visszaforgatási nyomatékok, amelyek a hajtómű kihajtó tengelyére hatnak. Ezek nagyobb méretű, és nem műanyag hajtóművek esetén ritkán veszélyesek, ezért általában nem is vizsgáljuk a fogazatokat ilyen szempontból. A kisméretű műanyag hajtóműveket azonban gyakran építik be olyan helyekre, ahol ezek a

terhelések relevánsak lehetnek. Tipikusan ilyenek a gyermekjátékok, valamint minden olyan alkalmazás, ahol könnyű, de nagy kart biztosító elemeket mozgatnak, amelyeket karbantartáskor vagy tisztításkor a munkát végző személyzet könnyen elmozdíthat. Ilyen esetekben a hajtómű jellemzően nagy belső veszteségei miatt az utolsó lépcső fogazatait a normál forgásirányban fellépő, és így a tervezéskor figyelembe vett erőknél jelentősen nagyobb erők terhelhetik. Ennek bizonyítására méréseket végeztem, amihez először a kereskedelmi forgalomban kapható kész hajtóműveket, majd az egyértelműbb eredmények érdekében erre a célra „tenyésztett” hajtóműveket használtam.

Sorszám	Áttétel	M motor	M hajtómű	M motor+hajtómű
1.	1 : 48	< 0,1 Ncm	0,5 Ncm	2 Ncm
2.	1 : 125	< 0,1 Ncm	0,7 Ncm	5,2 Ncm
3.	1 : 300	< 0,1 Ncm	1,5 Ncm	16,8 Ncm
4	1: 825	0,1 Ncm	8,3 Ncm	114 Ncm

1. táblázat: a visszaforgatási nyomaték mérési eredményei a kereskedelmi forgalomban kapható hajtóműveken

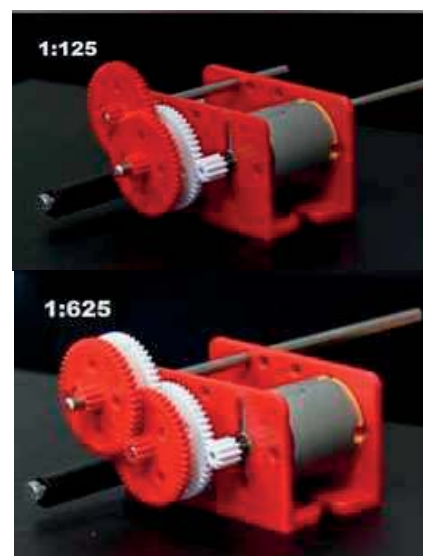
A kereskedelmi forgalomban kapható hajtóművek mérésének eredményeit az 1. táblázat tartalmazza. A hajtóműveket PCE-TM 80 statikus digitális nyomatékmérővel mértem, ahol ez lehetséges volt, folyamatos forgatással, majd a kapott mérési görbén olvastam le a jellemző maximális értékeket. Magyarázatot kíván az előző mondatban szereplő „ahol ez lehetséges volt” kifejezés. A legnagyobb áttételű hajtómű esetében a motorral együtt végzett ellenirányú forgatás nem lehetséges. Az 1. táblázatban a 4. sor utolsó oszlopában szereplő érték a műszer mérési határa. Ezt egy kissé meghaladó nyomatékkal forgatva a hajtómű kihajtó tengelyét az utolsó lépcső fogaskerekei károsodnak (3. ábra). A műszer alsó mérési határa 0,1 Ncm, ezért ahol ezt nem érte el a motor forgatásához szükséges nyomaték, ott csak <0,1 Ncm érték van megadva. A táblázatból az is látható, hogy a hajtóművek veszteségei jelentősen nagyobbak a várhatónál. Az elvégzett mérésekből azonban még nem célszerű messzemenő

következtetéseket levonni, mert a hajtóművek kialakítása és megmunkálási pontossága nem azonos, az utóbbi nem is ismert. Azt azonban jól mutatták ezek a mérések, hogy a nagy áttételűnél a hajtómű belső ellenállása jelentősen nagyobb lehet az egyéb, külső fogazású fogaskerekeket tartalmazó hajtóművekhez képest.



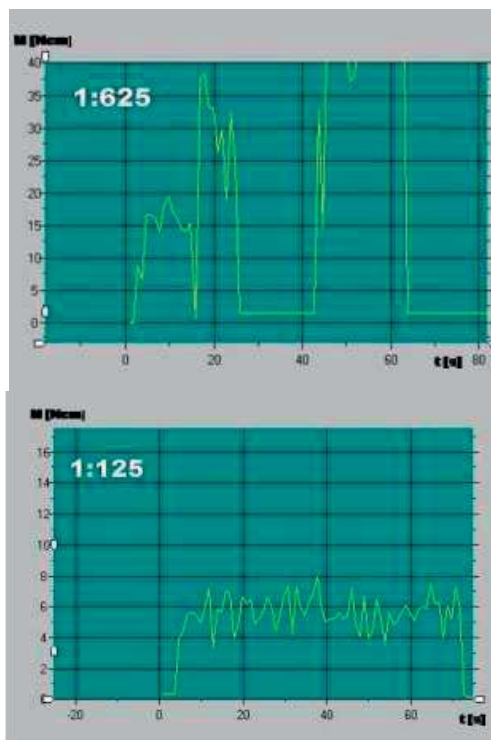
3. ábra: fogaskerék károsodása visszaforgatáskor (20x nagyítás)

A vizsgálatokat ezután elvégeztem olyan hajtóművekkel is, amelyek azonos, ismert paraméterű fogaskerekeket és azonos tengelyeket tartalmaztak, valamint a csapágyazások is azonosak voltak bennük. A 4. ábrán látható két példa két azonos elemekből felépített, de eltérő áttételű hajtóművet mutat. A sötét színű fogaskerekek rögzítve vannak a tengelyeken, a világos színűek el tudnak fordulni rajta.



4. ábra: két hajtómű a visszaforgatási nyomaték méréséhez

Ezeknél a hajtóműveknél nem csak az átforgatási nyomaték maximumát regisztráltam, hanem a forgatás folyamatát is. Így egyértelműen kimutatható volt, hogy az áttétel növelésekor a visszaforgatáshoz szükséges nyomaték nem az áttétel növelésével arányosan, hanem annál nagyobb mértékben nő, és a terhelés a gyártási pontatlanságokból adódóan nem egyenletes, hanem változik. A 4. ábrán látható két egységhez tartozó mérési görbéket mutatja az 5. ábra.



5. ábra: a visszaforgatási nyomaték mérési görbéi két különböző áttételű hajtóműnél

A görbék megfelelő értékeléséhez tudni kell, hogy az 1:625 áttételű hajtóművet valójában nem lehet visszafelé teljesen körbeforgatni az utolsó lépcső károsodása nélkül, egy fordulaton belül többször is kritikusra nő a terhelés. A nagyon alacsony értékek abból adódnak, hogy a mérőműszer tokmányában megcsúszik a hajtómű tengelye.

A kísérletek eredményeit áttekinthető, hogy az energialánc megfordításának hatásával számolni kell akkor, ha a hajtómű a felhasználási területén az ilyen jellegű hatásoknak ki lehet téve. Ugyanakkor az is látható, hogy a hajtómű ellenállásának mértéke nem csak az áttételtől

és a motor által kifejtett ellenállástól függ, hanem a hajtómű elrendezésétől és belső hatásfokától, súrlódási viszonyaitól is. Az energialánc megfordulását okozó hatás mértéke pedig a hajtómű beépítési jellegzetességeinek függvénye. Ha a külső erő (jellemzően a felhasználó) nagy, biztonságos fogást nyújtó karon tudja visszafelé forgatni a hajtóművet, akkor a normál irányú energialánc teljesítményéhez képest jelentősen nagyobb teljesítményt tud kifejteni, ilyenkor az utolsó, vagy utolsó két lépcsőt ennek megfelelően kell megtervezni. Ezért ezeket az eseteket mindig egyedileg kell vizsgálni, véleményem szerint általános számítási módszer a probléma megoldására nem javasolható. A tervező feladata annak a megítélése, hogy az ilyen terhelések hogyan kerülhetők el, azaz hogy milyen kiegészítő elemekkel, vagy milyen, a szerkezet többi elemét érintő konstrukciós megoldásokkal kerülhető el a hajtómű túlterhelése.

4. IRODALOM

[LI01] LICHARZ GMBH: *Konstruieren mit technischen Kunststoffen*. Licharz GmbH, Buchholz, Németország, 2016.

A cikkben/előadásban/tanulmányban 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.

The described article/presentation/study was carried out as part of the EFOP-3.6.1-16-2016-00011 “Younger and Renewing University – Innovative Knowledge City – institutional development of the University of Miskolc aiming at intelligent specialisation” project implemented in the framework of the Széchenyi 2020 program. The realization of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.