

DÖRZSBOLYGÓHAJTÁSOK ÁTTEKINTÉSE

OVERVIEW OF EPICYCLIC TRACTION DRIVES

Németh Géza, egyetemi adjunktus, Dr.habil Döbröczöni Ádám, egyetemi tanár, CSc
Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Tanszék

ABSTRACT

The friction drives require initial tensioning. Their main characteristics are the low noise and vibration as well as the operation without backlash. When there is no spin loss in the drive, the efficiency is excellent, it can be better than that of the gear drives. The torque carrying capacity is improving due to the applied traction oil or grease. This paper overviews the main types of epicyclic traction drives and shows some of the drives having flexible basic element.

1. BEVEZETÉS

A klasszikus tárgyalás szerint a hajtógép és a munkagép között a közlőmű (hajtómű) továbbítja a mechanikai energiát. Mind a hajtógépek, mind a munkagépek folyamatos fejlődést mutatnak, ideértve jelleggörbéik változását is. Az új anyagok és technológiák megjelenése újraértékeli az egyes hajtóművek alkalmazhatóságát. Az optimális működés – a hajtógép és munkagép egymáshoz illesztése - az olcsó kivitel és olcsó üzemeltetés igénye, az elektronika, hidraulika, pneumatika és az új mechanikus elemek integrált alkalmazása új távlatokat nyit a járműiparban, a gyógyászat gépeiben, a mechatronika területén. Az átértékelt mechanikus fokozatmentes hajtóművek új távlatokat hoznak a hajtástechnikában.

2. TÖRTÉNELMI VISSZATEKINTÉS

A dörzshajtások és a bolygóhajtások kialakulása a kerék felfedezéséhez köthető. A járművek ma is nagyrészt dörzshajtás által haladhatnak előre, miközben kerekeik bolygómozgást végeznek. Ilyen értelemben például egy harci szekér olyan egy szabadságfokú, k típusú (külső kapcsolódású) dörzsbolygómű, melyben az alapelemek forgástengelye a Föld középpontján halad át, a napkerék a talaj, a szekérkerék a bolygó elem, a kar pedig a szekér. A kar merevségét a szekérré ható tömegek eredőjének nagysága és iránya határozza meg. A Földhöz kötött koordináta rendszerben a napkerék áll, a bemenő alapelemet – a kart – a lovak forgatják, a nyomatékkal terhelt kimenő elem – a bolygókerék – pedig a bolygómű gyorsító áttételétől függő fordulatszámmal forog.

A dörzsbolygómű erőzáró hajtás, ebből adódóan működése előfeszítő erőt kíván, mely igényt az említett példában a tömegek eredője elégíti ki.

3. GÉPELEMOK ÁLTALÁNOS FEJLŐDÉSE

Egy gépelem fejlődési folyamata jól mutatja az általános műszaki fejlődés törvényszerűségeit. A nagy tengelytávolságú erőzáró szalaghajtások kezdetben a természetes marhabőr adottságaira épülve fejlődtek. A kedvezőtlen anyagi és keresztmetszeti tulajdonságokat a mesterséges alapanyagú ékszíjakkal és ékhatással javították, majd a lapos szíj funkcióinak rétegekre történő szétosztásával a többrétegű lapos szíjak sikeresen nyerték vissza korábbi alkalmazási területük nagy részét. Közben az alakzáró szalaghajtások választéka is bővült. Hasonló fejlődés figyelhető meg a kis tengelytávolságú alakzáró és erőzáró hajtások versenyében. A fogaskerék bolygóművek kis méretben nagy teljesítmény átvitelére képesek, nagy áttételű hajtásként terjedtek el, velük a dörzshajtások – dörzsbolygóművek, globoid hajtások, golyós variátorok, stb., – a teljesítményhajtásokban nem versenyezhetek. A fogazott elemek helyes kapcsolódásának feltétele az elemek megfelelő merevsége volt. Egy új elv – a kapcsolódó elemek valamelyikének hajlékony kialakítása – egyidejűleg növelte a hajtás kinematikai áttételét és teljesítménysűrűségét. Előnyös tulajdonságokkal a dörzshajtások is bőven rendelkeznek, ezek kidomborításával egyre inkább szerepet kapnak. Egyszerűségük, csendes járásuk, holtjátékmentes működésük közismert. A geometriai csúszásokat elkerülő kialakítás igen jó hatásfokot eredményez. Ma már a reopektikus viselkedésű kenőanyagok sikeresen választják el a több ezer MPa pontszerű terhelésű edzett acélfelületeket, így teljesítménysűrűségük is javul. Az újabb igények is – mint például a fokozatmentes sebességváltás – könnyebben kielégíthetők velük. A kerékpárok majd' százéves agyváltója napjainkig szinte kizárólag az egyre bonyolultabb – és drágább – fogaskerék bolygóműveken alapul, de már megjelennek azok a dörzshajtások, részben a már említett újabb tulajdonságú kenőanyagoknak köszönhetően, melyek a sebességváltás finomítását nem a fokozatok számának növelésével, hanem egyszerűen, fokozatmentes sebességváltással valósítják meg.

4. ÍGÉRETES HAJTÁSOK

Egy új elgondolás sikeres alkalmazója az által is igyekszik találmányának jelentőségét hangsúlyozni, hogy dicső elődök dokumentált munkáiban mutatja ki saját ötletének csíráit. A bolygóművek területén rengeteg sikeres szabadalom született az ipari forradalom óta, és napjainkban is folytatódni látszik ez a folyamat. Sikeres, mivel az elgondolás jönnek bizonyult műszaki és gazdasági szempontból egyaránt. Pl. C. W. Musser hullámhajtóműve Hooke rugalmasságtanán alapul. A dörzshajtások hasonló gazdagsággal bírnak. A kettős összekapcsolásával születő megoldások az egyedek kedvező tulajdonságait tükrözik.

A legnagyobb lehetőségek talán a járműiparban rejlenek. Tekintsük a már említett kerékpár agyváltó fokozatmentes változatát. Ez egy golyós variátor, mellyel állítólag már Leonardo da Vinci is foglalkozott. A vilamos motorral hajtott kerékpárok szabályozása megoldott, de egy állandó áttételű, a terheléssel arányos előfeszítő erőt biztosító lassító hajtás javítja a terhelhetőséget.

A szerszámgépiparban az egyre nagyobb forgácsoló sebességek lehetősége nagy fordulatszámú főtengelyeket igényel. A gyorsító áttételeket dörzshajtásokkal célszerű megvalósítani, hiszen a kis nyomatékátvitel igény könnyen kielégíthető ezzel a csendes járású, rezgés- és holtjátékmentes hajtással.

5. DÖRZSBOLYGÓMŰ RENDSZEREZŐ SZEMPONTOK

A teljesség igénye nélkül az eddig megvalósult hajtásokat jól lehet osztályozni a geometria, a kinematika, a dinamika és az anyag, mint rendszerező szempontok szerint.

Geometria alatt főként az egymással súrlódásos kapcsolatba kerülő alapelemek és közvetítő elemek (legtöbbször bolygókerekek) elrendezésével és kialakításával foglalkozunk. A geometriai csúszás egyértelműen az elemek geometriájának függvénye, a deformációs csúszást inkább az anyagi tulajdonságok befolyásolják.

A kinematikán belül a ki és bemenő elemek mozgásformáival, a szabadságfokokkal és az áttétellel foglalkozhatunk. Tisztán forgó mozgásátvitelnél a kinematikai áttétel nagysága, előjele, iránya (lassító vagy gyorsító) és állandósága szerint lehet megkülönböztetni a hajtásokat. Az áttétel változtatása legtöbbször fokozatmentesen valósul meg, külső szabályozóelemen keresztül.

A dinamikához tartozik az erőzáró hajtások működéséhez elengedhetetlen előfeszítő erő biztosításának módja (gravitációs erővel, rugalmasan előfeszített elemeken keresztül, az egyik hajlékony kialakítású alapelem rugalmas előfeszítésével, a nagy rugalmasságú anyagból (elasztomer) készült alapelem rugalmas alakváltoztatásával, ékhatással befedített görgővel, stb.) melyek

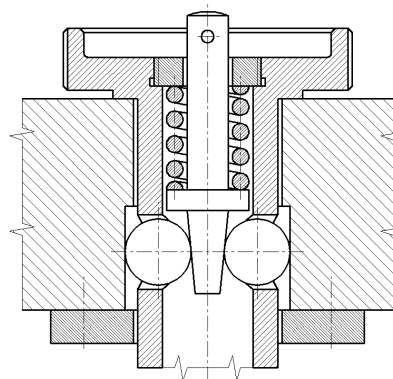
közül a terheléssel arányos előfeszítő erőt biztosítók jelentik az igazi megoldást, hiszen a csapágyakat csak az éppen szükséges mértékben terhelik.

Létrehozható olyan önszabályozó hajtás is, melyben az áttétel változása a külső terhelés változására következik be. Hasonlóképpen a nyomatékátadást a behajtó tengely forgásiránya vagy fordulatszáma is befolyásolhatja. Az elemek közötti egyenletes terhelésszétosztás, a hajtás teljesítménysűrűsége és hatásfoka is a dinamika része.

Anyag alatt minden egyes gépelem anyagát, anyagi tulajdonságát értjük. Így foglalkoznunk kell az elemek anyagi szerkezetével, mechanikai tulajdonságaival (szilárdság, keménység, rugalmasság), az elemek kölcsönhatásakor észlelhető jellemzőkkel (rugalmas alakváltozás, érintkezési feszültség, kopás, súrlódási tényező, kenési állapot) és a kedvező tulajdonságokat biztosító technológiákkal (szálerősítés, alakítás, hőkezelés). Gépelem alatt nem csak a kézzel fogható, szilárd halmazállapotú elemet értjük, hanem mindent, amely a helyes működés feltétele. Ilyen értelemben a kenőanyag is ide tartozik, hiszen e nélkül a hajtás működésképtelen.

6. ÁLLANDÓ ÁTTÉTELŰ DÖRZSBOLYGÓMŰVEK

A műszeriparban finombeállító hajtásként gyakran alkalmaznak dörzsbolygóműveket. Az 1. ábrán látható változat kb típusú, egy szabadságfokú. A napkerék kúpos, melyet rugó szorít egy cső (a kar) furataiban elhelyezett golyók (a bolygó elemek) közé. Ezek nekifeszülnek a ház furatának (álló gyűrűkeréknek). A hajtás kimenő eleme a kar, melyet közvetlenül is hajthatunk a rovátkolt peremén keresztül.

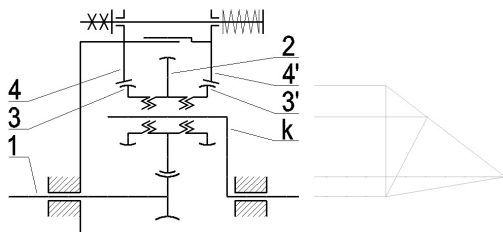


1. ábra. Finombeállító (kb) hajtás [1]

Ugyanezt az elvet használja egy orvosi műszer – protézis – szelep állító hajtása. Villamos motor fordulatszámát módosítja $i = 12$ áttétellel. A bolygó elemek 3 mm külső átmérőjű műszercsapágyak, lazán illeszkednek a kar csapjaihoz. A kúpos napkerék peremes műszercsapágyon keresztül kapja előfeszítését, az álló gyűrűkerék szintén kúpos kialakítású.

A 2. ábra kinematikai vázlaton mutat be egy kettős

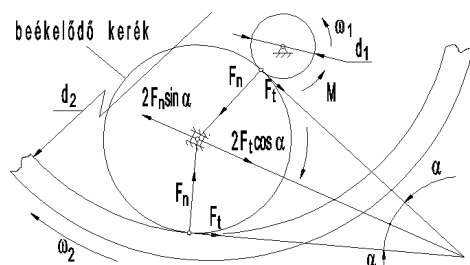
bolygókeres hajtást. Az ipari hajtóműsaladót $i = 30$ áttétel mellett $1 \dots 300$ kW teljesítmény átvitelre tervezték, traktációs olajkenéssel. A bolygókerék kisebb tagja osztott, és körmös kapcsolattal kapcsolódik a nagyobb, napkerékkel érintkező elemhez. A nyomaték növekedésével a kettős bolygókerék elemeinek távolsága növekszik, így biztosítva a normálerőt a kúpos álló gyűrűkerekkel való érintkezésben. A bolygókerék lazán illeszkedik a karhoz, mely a kihajtó elem. Az érintkezési feszültséget a kapcsolódó felületek görbületeinek egymáshoz illesztésével csökkentik. Belátható, hogy a súrlódó elemek között terheléssel arányos előfeszítő erő alakul ki.



2. ábra Kettős bolygókeres ($k+b$) hajtás [2]

Az előbbi két példa ötvözete a Timken csapágycég kb típusú hajtása [4], melyben a napkerék és a bolygókerék egyaránt osztott. A napkerék kettős csonkakúpja a nagyobb átmérővel van egymásnak fordítva, és terhelőnyomaték hatására egy csavarvonal mentén axiálisan távolodik. A kúppal kapcsolódó hengeres bolygókerék a 2. ábrabeli megoldáshoz hasonlóan kúpos gyűrűkerekkel kapcsolódnak. A bolygókerék a karhoz sugárirányban lazán illeszkedik. A gyűrűkerek axiális közelítését nem rugó előfeszítés, hanem terhelőnyomatékkal arányos axiális erő biztosítja.

Az állandó áttételű dörzsbolygó-művek területén számos szabadalom született az elmúlt években. Ezek mindegyike a fogazott elemű hajtásokhoz hasonlóan épül fel. A jó hatásfok érdekében a geometriai csúszásokat kerüljük, és igyekeznek az előfeszítő erőt a terheléshez igazítani. Megjelentek azok a hajtások is, melyek központi kerek excentrikusan helyezkedik el a gyűrűkerékben. A közvetítő elemek közül egy nagyobb és kettő kisebb. Az egyik kisebb kerék elmozduló, rugalmasan előfeszített, és a 3. ábrán látható módon beékelődik, ha a napkeréknek megfelelő a forgásiránya. A külső terheléssel arányos előfeszítő erő automatikusan jön létre.

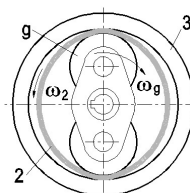


3. ábra Beékelődő görgős hajtás [4]

7. VÁLTOZTATHATÓ ÁTTÉTELŰ DÖRZSBOLYGÓMŰVEK

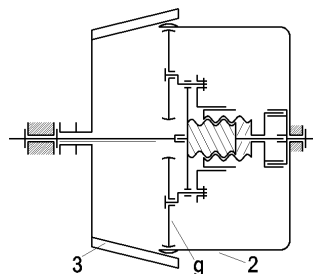
Nagyon változatos megoldások jelentek meg a variátorok területén, ezeket leginkább az egymáson legördülő elemek alakja szerint csoportosítjuk. A fokozatmentes áttétel változtatás a tengelyek eltolásával vagy elfordításával, illetve a legördülő sugár változtatásával valósítható meg. Léteznek hajlékony alapelemű hajtások a variátorok között is, itt csak ezekkel kívánunk foglalkozni.

A 4. ábra egy elasztomer anyagú hullámkeres hajtást mutat. A generátor görgőinek sugárirányú állításával hozható létre a nyomatékátvitelhez szükséges normálerő a 2 és 3 jelű elem között. A normálerő növelésével a gyűrűkerék helyi nyúlását hozzuk létre, és ezáltal növelhető a hajtás névleges, ~ 13 -as áttétele, hiszen a lassító áttétel nagysága az egymáson legördülő kerületek különbségével fordítottan arányos.



4. ábra Dörzshullámhajtómű vastagfalú elasztomer hullámkerékkel

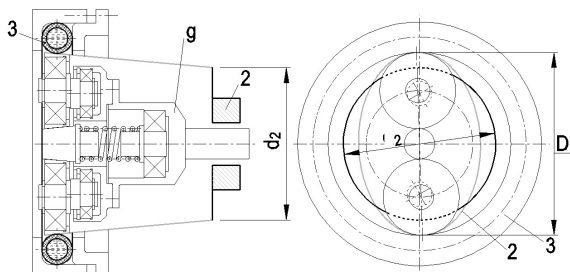
Az 5. ábra ötletét egy orosz nyelvű szakirodalom adta. Axiális kiegyenlítő tengelykapcsolón és egy nagy emelkedésű csavarorsó – anya kapcsolaton keresztül görgős hullámgenerátort hajtunk. A g görgők excenter tengelyen helyezkednek el, excentrikus állításukat fogaskerék – fogasív kapcsolat végzi. A fogaskerék a behajtó tengelyen (csavaranyán) helyezkedik el. A görgők sugárirányú elmozdulását, és ezzel a hajlékony kerék (2) alakváltozását a merev kúpos kerék (3) korlátozza. Az áttétel változtatása a merev kerék axiális elmozdításával, külső vezérlő elemén keresztül valósul meg. A hajtás alkalmas a terheléssel arányos előfeszítő erő biztosítására.



5. ábra Dörzshullámhajtómű terheléssel arányos előfeszítéssel

A merev házba behelyezett, folyadékkal töltött, 3 jelű erősített rugalmas tömlő axiális összenyomása teszi

lehetővé a kinematikai áttétel változtatását a 6. ábra hajtásában. Az excenter tengelyen elhelyezett kúpos generátor görgőket egy rugó terhelésű kúpos napkerék nyomja a vékonyfalú, pohár alakú hullámkerékhez. A hullámkerék a tömlőn gördül le. A hajtás bemenő eleme a generátor tengely, kimenő eleme pedig a hullámkerék. Az így megvalósuló áttétel a tömlő axiális összenyomásával növelhető. Jelentős áttétel növelés érhető el, ha a hajtás bemenő elemének a napkereket választjuk.



6. ábra Dörzshullámhajtómű tömlő betéttel [5]

"A bemutatott kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg."

13. IRODALOM

- [1] Bárány, N. (ed.), Finommechanikai kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974., pp.41., 588p.
- [2] DEYUAN, Y., JINGJING, G., XIAOHONG, Z., New Symmetrically Loading Epicyclic Traction Drive Reducer, Journal of Beijing University of Astronautics, 1999. Vol. 25 Issue (2) p.229-231.
- [3] Xiaolan Ai, Planetary traction Drive Transmission, Patent no.: US 6,689,008 B2, 2004.
- [4] OTAKI, R., MACHIDA, H., Study of the Traction Drive Transmission Using Wedge Action, Proceedings of the JSME International Conference on Motion and Power transmission, Fukuoka, Japan, 2001, p882-887.
- [5] Németh G. & Péter J., Continuously Variable Epicyclic Traction Drive, *International Journal of Advanced Engineering* 5(2011) No.1, p47-56. ISSN1846-5900.