



MŰANYAG FOGASKEREK KOPTATÁSÁRA ALKALMAS BERENDEZÉS

A WEAR DEVICE FOR PLASTIC GEARS

Portik Szilveszter,¹ Gergely Attila²

¹ Sapiientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, gépészmérnöki szak, IV. év, Marosvásárhely, Románia, szilviportik@gmail.com

² Sapiientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, Románia, agergely@ms.sapiientia.ro

Abstract

Our goal was to design and build a device that allows the investigation of wear for plastic spur gears. In the initial phase of the design process, cost-effectiveness was at the forefront. The device is part of a license project for the Faculty of Mechanical Engineering at Sapiientia Hungarian University of Transylvania and it will be used for research purposes in the Polymer Technologies Laboratory of the university. The designed test equipment allows the investigation of plastic spur gear wear properties at different loading and rotational speeds.

Keywords: *spur gears, wear, plastic, design.*

Összefoglalás

A kutatás célja egy műanyag fogaskerekek koptatására alkalmas berendezés tervezése, amely segítségével mérni tudjuk a kopás mértékét a terhelés függvényében. További célunk vizsgálni a fogaskerekek élettartamát a fordulatszám függvényében adott terhelés mellett. A tervezés fontos szempontja volt a költséghatékonyság. Ez a berendezés az államvizsga-dolgozatot keretén belül készül el, a Sapiientia EMTE Marosvásárhelyi Karának Gépészmérnöki Tanszékéhez tartozó polimertechnológia-laboratórium számára, kutatási és oktatási célokra. A tervezett berendezés lehetővé teszi a fogaskerék-hajtás tengelytáv-változtatását, továbbá a fordulatszám és a fékezőnyomaték is változtatható.

Kulcsszavak: *fogaskerék, kopás, műanyag, tervezés.*

1. Bevezetés

A fogaskerék egy kör keresztmetszetű hajtáselem, amelynek a felületén fogak vannak. Feladata, hogy egy másik fogaskerékhez kapcsolódva forgatónyomatékot vigyen át két tengely közt. Olyan esetekben, ahol a hajtó és hajtott tengely mozgásának szigorúan összerendeltnek kell lennie, például órákban, műszerekben, szerszámgépekben, a fogaskerekeknek alig van versenytársuk.

Az iparban számos helyen alkalmazhatóak a fogaskerekek, mint például a mezőgazdasági gépek, az autók kapcsoló szekrényében és különböző hajtások működtetéséhez. Nagy terhelhetőségük a felhasználhatóságukat szélesíti. A fogaskerék-

hajtások előnyei között említhetjük a nagy pontosságot, a nagyobb terhelhetőséget és a viszonylag magas fordulatszámon való működést.

A fogaskerekek alapanyagaként leggyakrabban az acélt választják. Fém alapanyag esetén a fogaskerekek igénybevételét és felhasználását figyelembe véve a következő négy alapanyag típus közül választhatunk: ötvözetlen vagy gyengén ötvöztetett acél, nemes acél, betétben edzhető acél és nitridálható acél. Mindegyik alapanyagnak megvannak az előnyei, mint például az edzett acél teherbíróbb, a nitridálható acél segítségével a beragadási teherbírás növelhető, de a legnagyobb teherbírás a betétedzett acéllal érhető el.

A fogaskerek gyártása pontosság és termelékenység függvényében történhet profilozó eljárással, vagyis tárcsamaróval vagy ujjmaróval, illetve lefejtő forgácsolási módszerrel is. A lefejtő fogaskerékgyártásnál megemlíthetjük a fésűs-késnek csigamaróval és metszőkerékkel történő megmunkálását. Ezen eljárások, habár széles körben elterjedtek az ipari közegben, és nagy a termelékenységük, nagy méretű és költséges berendezéseket igényelnek. Ebből kifolyólag egyre több alkalmazásban váltják ki a fémből készült fogaskereket a műanyagból készült fogaskerek.

A polimer fogaskerek egyedülálló előnyökkel rendelkeznek a fém fogaskerekkel szemben. Megemlíthetjük a magas hatásfokot, a csendes működést, a külső kenés nélküli működést, valamint az alacsonyabb előállítási költségüket. Viszont az egyik legfontosabb következménye a használatuknak a jelentős tömegcsökkenés [1]. Ennek köszönhetően, például az autópárházban és a repülőiparban, de a háztartási és különféle berendezésekben is előszeretettel használják.

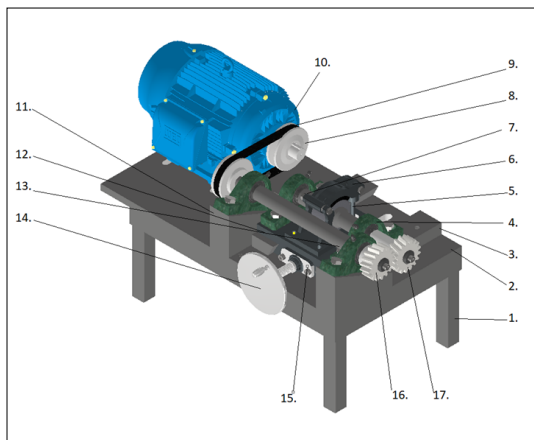
A műanyagból készült fogaskerek gyártására több technológia is létezik. Alacsony darabszám esetén a forgácsolási eljárások is használatosak, viszont a fröccsöntés gazdaságos gyártást biztosít nagy darabszámok esetén. Az elmúlt 10-15 évben azonban a 3D nyomtatási technológia egyre népszerűbb a polimer alkatrészek gyártásában. A 3D-nyomtatás a műanyag fröccsöntéssel szemben akkor költségkímélő, ha a gyártási mennyiség 1000 egység alatt van. A technológiát számos iparágban alkalmazták.

A műanyagból készült fogaskerek hátrányai között megemlíthetjük az alacsonyabb terhelhetőséget, továbbá a fogaskerék-hajtás működése során megjelenő súrlódás hatására felmelegednek, így gyorsabban kopnak el. A szakirodalom alapján a fröccsöntött fogaskerek és a 3D-nyomtatott fogaskerek között nagy különbség alakul ki a kopást illetően. 5 Nm terhelésnél a fröccsöntött fogaskerek akár 2,4 millió ciklust is kibírnak. Ezzel szemben a 3D-nyomtatott fogaskerek már 0,018 millió ciklust után tönkremennek. A kopás három különálló fázisra osztható, egy bejáratási időszakra, egy lineáris kopási periódusra és egy végső, gyors kopási időszakra. A tönkremenetelt minden esetben a magas hőmérséklet okozta [2, 3].

2. Fogaskerek koptatására alkalmas berendezés

2.1. A koptatóberendezés működése és 3D-modellje

A tervezett fogaskerék-koptató berendezés 3D-modellje az 1. ábrán látható. A vizsgált fogaskereket (16) és (17) a hajtott tengelyre (7), illetve a hajtótengelyekre (13) kell felhelyezni. A fogaskerek a tengelyre a nyomtató reteszkötések segítségével továbbítják. A hajtótengely (13) forgó mozgását egy monofázisú motor (10) biztosítja. A fordulatszám-szabályzást egy inverter használata segíti elő. A tengelytávot 50 és 125 mm közti intervallumban változtathatjuk egy orsóra rögzített hajtókarral (14) és a mozgatható asztalra (12) rögzített anya (15) segítségével. A tengelyek golyóscsapággal (4) vannak rögzítve. A minimális tengelytáv elérése érdekében a hajtótengely csapágait meg kellett emelni és dönteni a hajtott tengely csapágaihoz képest, mivel a lefogócsavarok akadályozták volna a tengelyek forgását. Ezért döntött tartószerkezetet (11) alakítottunk ki, amelyet az alaplapra rögzítettünk. A hajtott tengelyen (7) egy féktárcsa (6) található, amelyhez egy fékbetét kapcsolódik, így létrehozva a fékező hatást. A fékezőnyomaték különböző tömegek alkalmazásával jön létre. A megoldás biztosítja, hogy az üzemi hőmérséklet elérése után a nyomaték állandó marad.



1. ábra. A fogaskerek koptatására alkalmas berendezés 3D-modellje: 1 – vázszerkezet, 2 – alaplap, 3 – fecskefarok-vezeték, 4 – csapágyak, 5 – súlytartó rúd, 6 – fékrendszer, 7 – hajtott tengely, 8 – szíjtárcsa, 9 – szíj, 10 – motor, 11 – tartószerkezet, 12 – csúszóasztal, 13 – hajtótengely, 14 – hajtókarr, 15 – mozgató anya, 16, 17 – tesztelendő fogaskerek

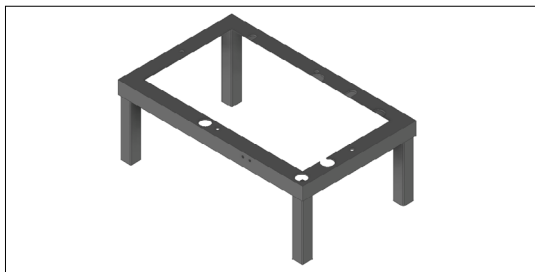
2.2. A koptatóberendezés felépítése

2.2.1. Vázszerkezet

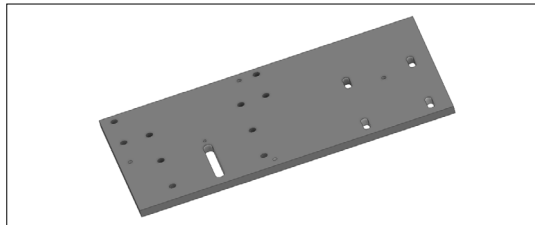
A tervezett berendezés alapját egy vázszerkezet alkotja, amely a **2. ábrán** látható. A szerkezet lábai $25 \times 25 \times 2.5$ mm-es zártszelvényből és a felső része $30 \times 30 \times 3$ mm-es szögacélból készült el hegesztéssel. A vázszerkezet magassága 160 mm, hossza 430 mm, és szélessége 265 mm. A tartószerkezet felső részén található furatok a csavarfejek helyét biztosítják, amelyek az alaplaphoz rögzített tartozékok csavarkötéséből jelennek meg. A vázszerkezetet az alaplappal 4 darab M8-as csavarral tudjuk a helyére csavarozni, amelyeket méretre vágunk.

2.2.2. Alaplap

A berendezés alapja egy 12 mm vastag fémlemez, amelynek a méretei: 490 mm hosszú és 265 mm széles. Az alaplap a vázszerkezethez van rögzítve. Az alaplapon helyezkednek el a berendezés további elemei, melyeket M8 $\times$ 25 csavarkötéssel rögzítettünk az ISO 4762 szabvány szerinti belső kulcsnyílású csavarral. Ez az illesztés lehetővé teszi, hogy utólagosan pozicionálni lehessen az alkatrészeket. Továbbá látható az alaplapon egy kanális, amelynek szélessége 14 mm és hosszúsága 80 mm. Ennek szerepe a súlytartó rúd szabad elmozgását biztosítja a tengelytáv változtatásakor. Továbbá, található rajta négy rövid kanális, amely a motor és a hajtótengely közti szíj feszítésére használható. Az alaplap 3D-modellje a **3. ábrán** látható.



2. ábra. A vázszerkezet 3D-modellje



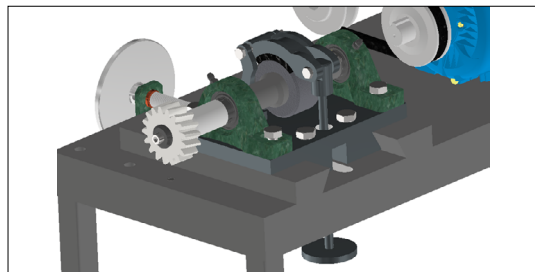
3. ábra. Az alaplap 3D-modellje

2.2.3. A mozgatható asztal

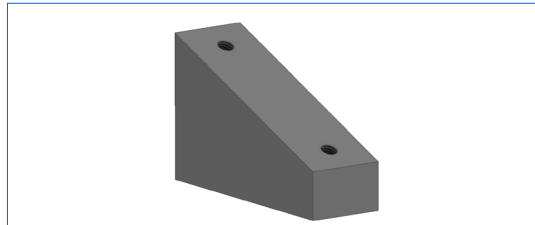
A hajtott tengely egy mozgatható asztalra van rögzítve, és egy orsó segítségével beállíthatjuk a kívánt tengelytávot. A szerkezet minden része fémből készült és a megmunkálás marógéppel történt. A mozgást egy M14 $\times$ 110 orsó hozza létre, amely az asztalra rögzített anyában fordul el. Ezáltal létre hozza a lineáris elmozdulást. Az asztal három részből tevődik össze. Az alaplappal párhuzamosan, a két állószerkezet között 270 mm távolságra, két 220 mm hosszú, 45 mm széles és 21 mm magas párhuzamos fecskefarok található, amelyek három-három csavarkötéssel vannak rögzítve. Hosszanti irányba, belülről az alsó rész irányába egy 30° levágást végeztünk. Az asztal erre a két fecskefarokra fekszik fel. A mozgó asztal alatt továbbá két rövidebb fecskefarok található, a következő méretekkel: 130 mm hosszú, 45 mm széles és 20 mm magas. Ennek a módszernek köszönhetően az asztal csak a hosszanti tengely irányába tud elmozdulni. Az asztal két szélére kerül felszerelésre a hajtott tengely csapágyházai. A mozgó asztal 3D-modellje a **4. ábrán** látható.

2.2.4. Tartószerkezet

A hajtott tengely pozicionálása a minimális tengelytáv elérése érdekében szükséges. A pozicionálást az **5. ábrán** látható két tartóelem biztosítja. Az elemek 40 mm vastag lemezből készültek. A munkadarabok alapanyaga fémhulladék, ami csökkenti az előállítási költséget. Emellett a megmunkálást is én végeztem el egy marógépen.



4. ábra. A mozgatható asztal 3D-modellje



5. ábra. A tartószerkezet 3D-modellje

A tartószerkezet felső síkja 23° szögeltéréssel helyezkedik az alaphoz képest, így gátolva meg a tengelyek és a csapágyházak ütközését a minimális tengelytáv beállítása esetén. Ezt az alaphoz két M10x30-as csavarkötés segítségével lehet rögzíteni. A felső részén is van két M8x30-as furat, melyek segítségével a csapágyházat rögzítjük.

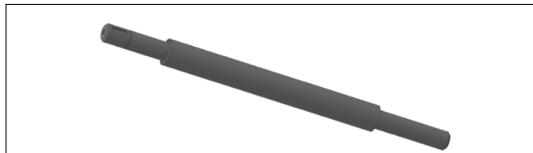
2.2.5. Tengelyek

A berendezéshez két tengely tartozik. A tengelytáv minimalizálása érdekében a hajtótengely csapágyait a hajtott tengely csapágyai közé helyeztük el. Mindkét tengely C45-ös anyagból készült esztergálással. A tengelyek hossza 331 mm. A hajtótengely szíjhajtás segítségével kapcsolódik a motorhoz. A fogaskerek reteszkötés által továbbítják a fogatónyomatékot a tengelyekre, továbbá M6x20 csavarkötés biztosítja az állandó pozicionálást axiális irányba. A csapágyháztól mérve a fogaskerék 10 mm távolságra helyezkedik el. A két csapágyház közti távolság 201,5 mm. A hajtótengelyen a fogaskerék 42,7 mm-re helyezkedik el a csapágytól. Ennek a tengelynek az ellenkező végén található egy központosító furat. A hajtótengely 3D-modellje a **6. ábrán** látható.

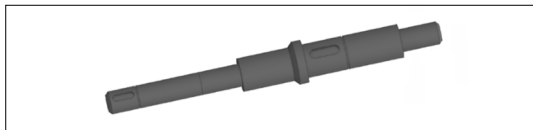
A hajtott tengely esetében egy rövidebb hosszát (249,75 mm) adtunk meg. A két tengelyre rögzített fogaskereknek ugyanabban a síkban kell elhelyezkedniük. A fogaskerék rögzítésére szintén reteszkötéses és rögzítőcsavart alkalmaztunk. A csapágy a tengely végétől 69,75 mm-re helyezkedik el. A két csapágy közti rész 120 mm, amelynek a közepén egy 30 mm széles fékezőtárcsa fog elhelyezkedni. A féktárcsát szintén egy reteszkötéssel biztosítjuk. A tengely másik vége a csapágy felfogatására alkalmas. Ezen a tengelyvégen szintén egy központosító furat található. A hajtott tengely 3D-modellje a **7. ábrán** látható.

2.2.6. Fékezett mechanizmus

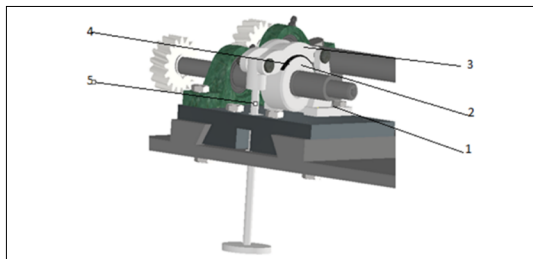
A fékezőmechanizmus öt részből áll: egy állványból (1), amely a féktárcsa (2) két oldalánál 57 mm magaságban feltámasztja a fékbetétet tartó elemet (3), amelyre egy fékbetét (4) van rögzítve. A nagyobb felület megteremtése érdekében a fékpofa 100° -ban követi a tárcsa ívét. A fékezőnyomatékot a fékezőrúdra (5) helyezett terhelő tömegek segítségével lehet biztosítani. Azért esett a választás erre a módszerre, mert ez bizonyult a legegyszerűbb olyan módszernek, amelynek segítségével állandó fékezőnyomatékot tudunk biztosítani egy bizonyos hőmérséklet után. A fékezőmechanizmus a **8. ábrán** látható.



6. ábra. A hajtótengely 3D-modellje



7. ábra. A hajtott tengely 3D-modellje



8. ábra. A fékezőmechanizmus 3D-modellje

3. Következtetések

Sikeresen megtervezünk egy, a műanyag fogaskerek koptatására alkalmas berendezést. A 3D-modellezés segítségével sikerült azonosítani a tervezési hibákat. Ezeket a hibákat már a tervezési fázisban ki is tudtuk javítani, amellyel el tudtuk kerülni a hibás vagy nem megfelelő alkatrészek gyártását. A gyártást teljes egészében én végeztem el saját műhelyben. A legtöbb esetben a megmunkáláshoz marógépet és esztergát használtam. Ez kiváló lehetőség volt arra, hogy betekintést nyerhessek egy komplex feladat kivitelezésébe. A gyártás során is voltak apró módosítások, amelyekkel jobb eredményt értem el.

Szakirodalom

- [1] Mao K., Li W., Hooke C. J., Walton D.: *Friction and Wear Behaviour of Acetal and Nylon Gears*. Wear, 267/1. (2008) 639-645.
<https://doi.org/10.1016/j.wear.2008.10.005>
- [2] Ye Z., Chris P., Ken M., Simon L.: *A Physical Investigation of Wear and Thermal Characteristics of 3D Printed Nylon Spur Gears*. Tribology International, 141. (2020) 105953.
<https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.105953>.
- [3] Ye Z., Ken M., Simon L., Akeel S., Guotao M.: *A Parametric Study of 3D Printed Polymer Gears*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 107. (2020) 4481-4492.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-020-05270-5>