

Helikoid hajtópárok legújabb gyártásgeometriai fejlesztései

The newest manufacturing geometry developments of helicoid drive pairs

Dr. h. BALAJTI Zsuzsanna
Egyetemi docens

Miskolci Egyetem, Magyarország, H-3515 Miskolc-Egyetemváros,
Matematikai Intézet, Ábrázoló Geometria Tanszék
zsuzsanna.ovarine.balajti@uni-miskolc.hu

Abstract

The Scientific Worm Research Group operating at the University of Miskolc focuses on the investigation of the contact relations of conical and cylindrical helical drive pairs and the development of the manufacturing geometry of their elements. The first production of a cylindrical worm with a circular arc profile in the axis section in Hungary took place in 1972 at DIGÉP, which has since undergone numerous research developments in the field of worm gear drives with different geometries. This article aims to provide an overview of the latest developments of the Worm Gear Drive Pairs Scientific Research Group.

Keywords: Conical and cylindrical worm gear drives, manufacturing geometry model, threading, wear testing, adjustment, bearing pattern.

Kivonat

A Miskolci Egyetemen működő Csigahajtópárok Tudományos Kutatócsoportjának kiemelt témája a kúpos és hengeres helikoid hajtópárok érintkezési viszonyainak vizsgálata, illetve elempárjainak gyártásgeometriai fejlesztése. A tengelymetszetben körív profilú hengeres csiga gyártása Magyarországon először 1972-ben történt a DIGÉP-ben, melynek azóta számos fejlesztése történt a különböző geometriájú csigahajtások terén. Jelen írás áttekintést kíván nyújtani a Csigahajtópárok Tudományos Kutatócsoport legújabb fejlesztéseiről.

Kulcsszavak: Kúpos és hengeres csiga hajtópárok, gyártásgeometriai modell, menesztés, kopás vizsgálat, beállítás, hordkép.

1. BEVEZETÉS

Napjainkban az új technológiai kutatásoknak egy jelentős része a bonyolult geometriájú mozgásátadó mechanizmusok fejlesztése [1], melynek szignifikáns csoportját alkotják a helikoid hajtópárok [2]. A csigahajtópárok teljesítményét befolyásolja a csiga és a bonyolult geometriájú csigamaróval képezett csigakerék alakja [3]. Ugyanúgy, ahogy a számítási eljárások számítógépesítésével megnő a matematikai jártasság jelentősége [4], az egyre kifinomultabb modellezőszoftverek helyes működtetéséhez is magasabb szintű ábrázoló geometriai ismeretekre van szükség [5]. A Miskolci Egyetemen működő Csigahajtópárok Tudományos Kutató Csoport tevékenységének keretén belül a korszerű csigahajtások esetében a kapcsolódás jellemzőinek komplex vizsgálata, illetve a gyártásgeometriai fejlesztések következtében több új értékes publikáció, tudományos diákköri dolgozat és doktori disszertáció készült, melynek áttekintésére kerül sor a további fejezetekben.

2. A MATEMATIKAI MODELL TOVÁBBFEJLESZTÉSEI

Az állandó menetemelkedésű hengeres és kúpos csigahajtások és elempárjaik megmunkálásának gyártásgeometriai vizsgálatára kifejlesztett Dudás-féle integrált matematikai modell [2] kibővítése készült el újonnan bevezetett koordináta-rendszerek alkalmazásával. A kúpos csiga köszörűkoronggal történő

megmunkálásával egyidejű korongszabályozás mozgásvizonyainak matematikai vizsgálata a lineáris algebra eszközkészletével történt, melynek eredményeként egy újabb PhD disszertáció sikeres védésére került sor [6].

A felületek gyártási folyamatának modellezése és a gyártási hibák egyidejű vizsgálata alapvetően az ábrázoló geometria eszköztárával készült, beleértve a projektív invariánsokat is. A projektív geometria invariánsainak öröklődése okán célkitűzésre került az integrált matematikai modell általánosítása, valamint a kúpos és hengeres helikoidok referenciafelületei közötti projektív kapcsolat létrehozása. Ennek eredményeként megszületett a továbbfejlesztett konstruktív geometriai modell, amelyben a kúpos és hengeres helikoidok referenciafelületei közötti projektív geometriai kapcsolat analitikus formában is bemutatásra került [7], előrevetítve a projektív térmodellre történő kiterjesztést.

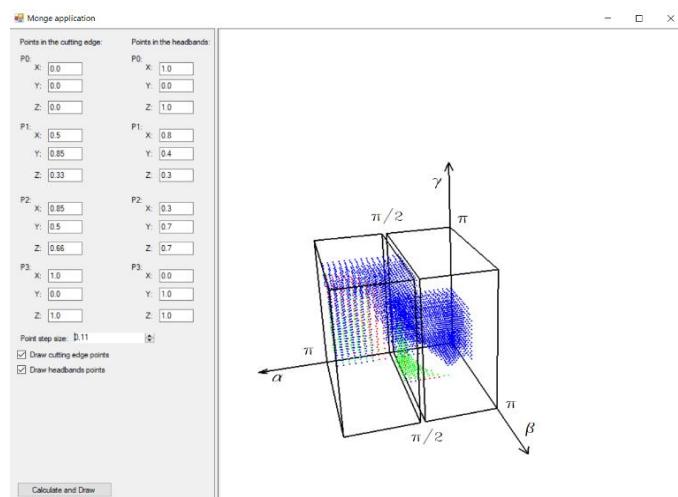
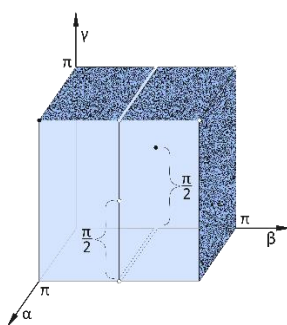
Az állandó menetemelkedésű hengeres és kúpos helikoid hajtópárok számítógépes konstruktív geometriai és analitikus hibrid modellje a továbbfejlesztett, változó tengelytávú konstruktív geometriai modellre épült, melynek eredményeként egy újabb PhD disszertáció született [8].

3. A GEOMETRIAILAG HELYES GYÁRTÁS ESZKÖZTÁRÁNAK FEJLESZTÉSE

A csiga hajtópárok elemeit megmunkáló szerszámainak a technológiai korlátokkal történő gyártása, valamint a kopása, az ebből szükségszerűen következő újra-élezése és a korlátozott pontosságú gépbeállítások a legyártott fogfelületek torzulását, alakhibáját okozhatják.

3.1. A továbbfejlesztett konstruktív geometriai térmodellben készült fejlesztések

A hengeres és kúpos csigákhoz kapcsolódó csigakerekek sorozatgyártása esetén alkalmazott szerszám a lefejtő csigamaró, ami rendkívül bonyolult geometriájú, és kiemelkedően drága szerszám. A maró geometriájának kialakítása során célszerű lehetővé tenni, hogy minél többször újra-élezhető legyen. Ennek a kialakítása nemcsak rendkívüli gyártásgeometriai ismereteket igényel, de a komoly gépészeti, technológiai, és nem utolsósorban ábrázoló geometriai, valamint matematikai ismereteket is megkívánja [9]. A két kamerával történő szerszámél vizsgálat elméleti alapjait a Monge-tégla kifejtésének gondolata adta. A Monge ábrázolás elméleti elemzése alapján a szerszámélgörbe kopásvizsgálatához a rekonstruálhatóság biztosítására a helyes kameraállások kritériumainak matematikai meghatározása az ábrázoló geometria törvényszerűségeire alapozva történt. Az ugyanazon pozícióba történő beállításhoz az aktuálisan vizsgált maró-fog lábhenger görbéje biztosított kopásmentes támpontot. A helyes kameraállások meghatározásához a Monge téglá bijektív tartományainak trigonometrikus összefüggésekkel meghatározott határfelületeire alapozva, az egyenlőtlenségek közös megoldáshalmazának a pontja képezik.

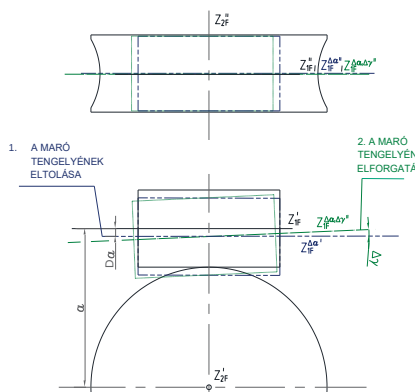


1.a) ábra A Monge-tégla belső és felületi pontjai

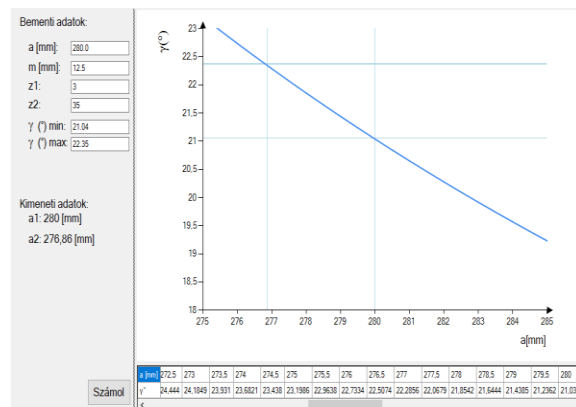
1.b) ábra A Monge téglá tartományait határoló felületek pontjai a maró beállításához zölddel és a vágóél kopásméréséhez kékkel jelölve

Az előírt tűréshatáron kívüli kopás mérése esetén a szerszám újra-élezése, majd a maró beállítása válik szükségessé. A maró beállítási paramétereit közötti függvénykapcsolat meghatározása minden tengelymetszetben körív profilú hengeres csiga és a hozzá kapcsolódó fogaskerék esetén került felírásra,

mely által a maró pontos beállításával elkerülhető a geometriai viszonyokra érzékeny kerék-fogfelület tőrés határon túli torzulása [10].

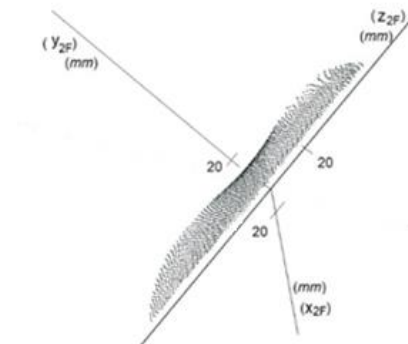


2.a) ábra *Az újra-élezett maró beállítása*



2.b) ábra A γ emelkedési szög és az a tengelytáv közötti függvénykapcsolat

A megváltozott geometriai és technológiai feltételek hatásának vizsgálata és kiértékelése is publikálásra került a megmunkált csigakerék fogfelületre vonatkozóan [8].

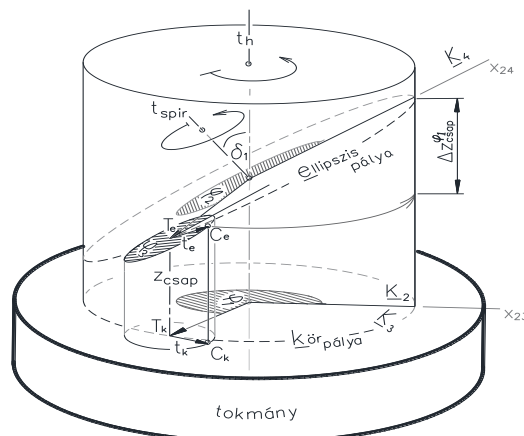


3. ábra Kerék fogfelületi pontok térbeli elhelyezkedése a kiértékeléshez a K_{2F} koordináta-rendszerben

Az alámetszés elkerülésének meghatározása mátrix algebrai úton került meghatározásra a tengelymetszetben körív profilú hengeres csiga hajtások gyártástechnológiai tervezéséhez [11].

3.2. Az integrált matematikai gyártásgeometriai modellben készült fejlesztések

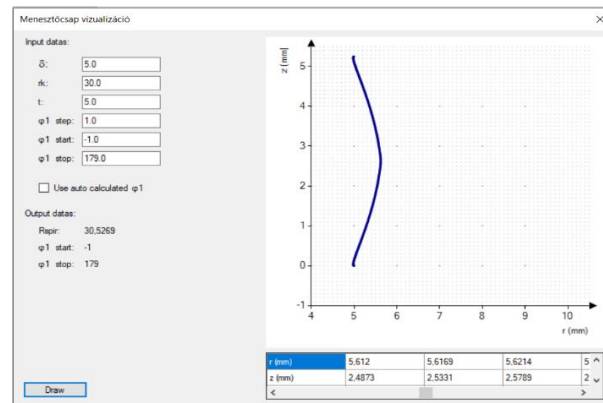
A kúpos csiga tengelycsúcs elállítása esetén a csiga hajtása menesztőcsappal történik a tokmány homloklapjára rögzített menesztővillán át. A mozgásátadás szögösszefüggései a hengeres menesztőcsappal történő menesztés vizsgálatával került meghatározásra [6].



4. ábra A menesztőcsap T_k tengelypontjának φ_1 szöggel történő elfordulásából származó φ_2 és φ_3 szögelfordulások, valamint a z_{csap} tengelymenti elmozdulás közti összefüggések szemléltetése

A menesztőcsap alkotó görbéjének geometriai kialakítása a mozgásátadás folyamatának az ábrázoló geometria eszköztárával történő meghatározása az euklideszi szerkesztési lépések útján történt [12], mely alapján annak az explicit formája

$$\left. \begin{aligned} r_{pin}^{\varphi_1} &= \sqrt{(x_c^{\varphi_1} - \sin \varphi_1 \cdot r_c)^2 + (y_c^{\varphi_1} - \cos \varphi_1 \cdot r_c)^2} \\ z_{pin}^{\varphi_1} &= \operatorname{tg} \delta_1 \cdot r_c \cdot (1 - \sin \varphi_1) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$



5. ábra A menesztőcsap alkotó görbéje

Egy kúpos csiga hajtópár matematikai úton történő számítógépes, és additív eljárással 3D-s nyomtatott modellje készült el egy OTDK-n kitüntetett Tudományos Diákköri dolgozatban leírt módon [13]. Jelenleg is egy további Tudományos Diákköri Kutatás van folyamatban a kúpos csiga gyártásgeometriájának fejlesztésére vonatkozóan [14].

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Benotsmane R., Dudás L., Kovács Gy. *Newly Elaborated Hybrid Algorithm for Optimization of Robot Arm's Trajectory in Order to Increase Efficiency and Provide Sustainability in Production*. Sustainability 2021, 13, 8193.
- [2] Dudás I. 2004. *The Theory & Practice of Worm Gear Drives*. Kogan Page US. Sterling. USA. ISBN 1 9039 96619 9. p. 320.
- [3] Máté M., Tolvaly-Roşca F., Hodgyai N., Egyed-Faluvégi E. *A csigamaró-homlokfelület köszörülésének valós modellje*. OGÉT 2022, XXX. Nemzetközi Gépészeti Találkozó, Székelyudvarhely, Románia, ISSN 2068-1267, 73-79. old.
- [4] Körei A., Szilágyi Sz. *Displaying Parametric Curves with Virtual and Physical Tools*. Teach. Math. 2022, 25, pp.: 61–73.
- [5] Máté M., Tolvaly-Roşca F., Hodgyai N., Drăgoi M.V. *A new approach of defining the grinding wheel profile of the Gear Hob's Rake Face*. In Proceedings of the IEEE Joint 22nd International Symposium on Computational Intelligence and Informatics and 8th International Conference on Recent Achievements in Mechatronics, Automation, Computer Science and Robotics (CINTI-MACRo 2022), Budapest, Hungary, 21–22 Nov. 2022.
- [6] Mándy Z. *Csavarfelületek előállításának intelligens gyártórendszere és geometriailag helyes megmunkálása*. Ph.D disszertáció, Miskolc, Magyarország, 2022. 105 old.
- [7] Balajti Zs. *Generalization Process of the Integrated Mathematical Model Created for the Development of the Production Geometry of Complicated Surfaces*. Symmetry 2024, 16, 1618. <https://doi.org/10.3390/sym16121618>
- [8] Ábel J. *Csigahajtópárok gyártásgeometriájának számítógépes konstruktív geometriai és analitikus fejlesztése*. Ph.D disszertáció, Miskolc, Magyarország, 2023. 99 old.
- [9] Balajti Zs., Ábel J.: *The bijective part of the Monge cuboid for the mapping of the helix and a spatial curve arc*. 7th ICGG, moNGeometrija 2020, 18-20. Sept. 2020, Belgrade, Szerbia, ISBN 978-86-6060-046-4, pp.: 63-74.
- [10] Balajti Zs., Ábel, J.: *Examination for post-sharpening adjustment of cutting edge of a worm gear hob with circle arched profile in axial section*. 31th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing FAIM2021, Procedia Manuf. 55, pp.: 260-265. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2021.10.03>
- [11] Balajti Zs. *Determination of Undercutting Avoidance for Designing the Production Technology of Worm Gear Drives with a Curved Profile*. Machines 2023, 11, 56. <https://doi.org/10.3390/machines11010056>
- [12] Balajti Zs., Mándy Z. *Proposed solution to eliminate pitch fluctuation in case of conical screw surface machining by apex adjustment*. Procedia Manuf. 2021, 55, 266–273. DOI10.1016/j.promfg.2021.10.038
- [13] Molnár Anna. *Tengelymetszetben körív profilú kúpos csiga hajtópár konstruktív-geometriai modellezése a CAD CREO tervezőprogrammal*. OTDK kitüntetési TDK dolgozat, Miskolc, 2022, 26 old.
- [14] Guba Dániel. *Kúpos helikoid felület gyártásgeometriai approximációjának konstruktív-geometriai modellezése és elemzése a CAD CREO tervezőprogrammal*. TDK dolgozat (feladat folyamatban), Miskolc, 2025.