

A spiroid csiga megmunkálásának továbbfejlesztett vizsgálata

An improved investigation of the machining of the spiroid worm

Dr. h. BALAJTI Zsuzsanna
egyetemi docens

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

Abstract

The conical worm manufacturing on a traditional thread grinding machine requires the worm shaft adjustment in the direction of the thread grinder's trajectory. The worm shaft, set at the half-opening angle of the reference cone, is driven by a drive pin through the lathe dog. The path curve of the axis point of the drive pin is a circle in a plane perpendicular to the main spindle axis, but an ellipse in a plane perpendicular to the axis of the helicoid surface. In this case, due to the changing radius, in addition to the constant peripheral velocity of the main spindle, the angular velocity of the adjusted worm axis changes, which results in the pitch fluctuating during machining. During our investigations so far, the point contact of the edge of the drive fork with the drive pin has been modeled. In this paper, the relationships required for the contact investigation of the lathe dog edge modeled with a curved cylinder and the driving pin are presented.

Keywords: Spiroid worm, driving pin, contact modeling, lathe dog edge, drive pin.

Kivonat

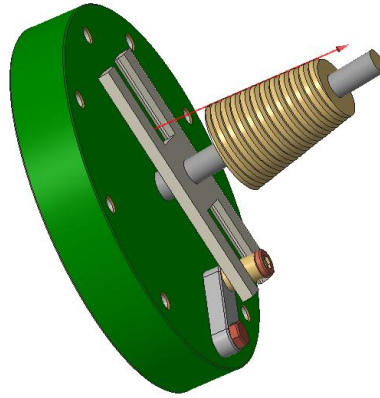
A kúpos csiga megmunkálása hagyományos menetkőszőrűgépen a csiga tengelyének a menetkőszőrű pályájának irányába való elállításával történik. A referenciakúp félnyílásszögével elállított csigatengelyt menesztőcsap hajtja menesztővillán keresztül. A menesztőcsap tengelypontjának pályagörbéje a főorsó tengelyére merőleges síkban kör, viszont a félkúpszögével elállított csigatengelyre merőleges síkban ellipszis. Ebben az esetben a változó rádiusz miatt, a főorsó állandó kerületi sebessége mellett az elállított csigatengely szögsebessége változik, amiből adódóan a csiga menetemelkedése ingadozik a megmunkálás során. Eddigi vizsgálataink során a menesztővilla élének pontszerű érintkezése került modellezésre a menesztőcsappal. Jelen írásban bemutatásra kerül az ívelt hengerrel modellezett menesztővilla élének és a menesztő csapnak az érintkezés-vizsgálatához szükséges összefüggések.

Kulcsszavak: Spiroid csiga, menesztő csap, érintkezés modellezés, menesztővilla éle, menesztőcsap.

1. BEVEZETÉS

A kúpos csiga fogfelületének megmunkálása hagyományos menetkőszőrűvel szükségessé teszi a csigatengelynek a menetkőszőrű pálya irányába a referenciakúp félkúpszögével történő elállítását a tokmány homloksíkjára merőleges helyzetéből [1, 4, 5]. A tengelycsúcs elállítása esetén a csiga hajtása menesztőcsappal történik a tokmány homloklapjára rögzített menesztővillán át az 1. átható módon. Az eddigi kutatásaink során [2] a menesztőcsapnak és a menesztővilla élét egy egyenesként felfogva történt az érintkezés modellezése, melynek megfelelően készültek el a számítások [3, 16]. A mozgásátadás szögösszefüggései a hengeres menesztőcsappal történő menesztés vizsgálatával került meghatározásra. A menesztő csap tengelypontjainak a pályagörbéje a főorsó-tengelyre merőleges helyzetű síkban kör, azonban a félnyílás-szögével elállított kúpos csiga tengelyére merőleges helyzetű síkban ellipszis pálya [1, 2, 3, 4, 5, 16]. A tengelyével elállított kúpos csavarfelület megmunkálásakor a tengelyre merőleges helyzetű síkban az ellipszis pályán folyamatosan változó rádiusz következtében a főorsó állandó kerületi sebessége esetén az elállított kúpos csiga tengelyének a szögsebessége változik, amiből adódóan változik a szögelfordulás is. Mindezek következtében a kúpos csiga menetemelkedése is változik a megmunkálás során más

gyártásgeometriai nehézségek mellett [6], melynek megoldására az elérési modellen keresztül [7] számos megmunkálást segítő elgondolás jött létre [8, 9, 15, 17]. Több saját fejlesztéssel, számítógépes programmal megmunkált szimulációs eljárás [10, 11, 12, 13] tanulmányozása során került meghatározásra a jelen írásban bemutatott kutatás iránya és eszköztára. Több kiváló mozgásátadó mechanizmusra vonatkozó vizsgálat segítette az analitikus úton történő elemzés kialakítását [14, 17, 18, 19, 20], melyhez komoly matematikai háttérre volt szükség [21]. Jelen írásunkban is, a megelőző kutatásainkhoz hasonlóan az algebrai eszköztárral kibővített és megmunkált konstruktív geometriai módszerekkel fogjuk a vizsgálatokat elvégezni.



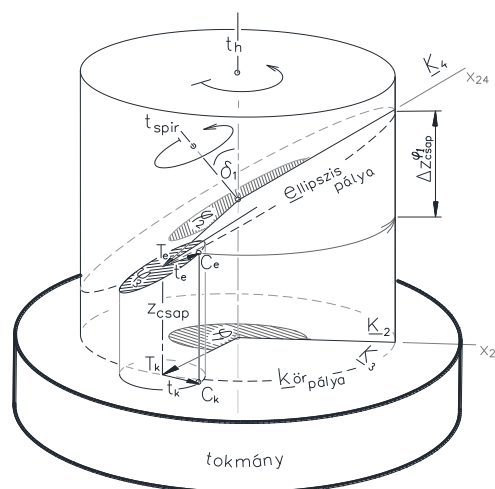
1. ábra

A menesztővilla és tokmánytárcsa homloksíkjának félkúpszöget bezáró helyzete a kúpos csiga megmunkálásához

Az 1. ábrán látható modellen a menesztővilla menesztőcsappal mozgatott éle körív alapú henger.

2. A MENESZTÉS VIZSGÁLATA FORGÁSHENGER ÉS FORGÁSKÚP ALAKÚ MENESZTŐCSAP ESETÉN

A forgáshenger alakú menesztőcsap sugarát jelölje az r_{csap} , a tokmány homloklapjának síkjában lévő T_k tengelypontja által bejárt körpálya sugarát az r_k . A kúpos csiga tengelyének a referenciakúp δ_1 félkúpszögével történő elállítása esetén a φ_1 , φ_2 és a φ_3 szögek között a kapcsolatot a 2. ábra szemlélteti.



2. 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 menesztővilla és a menesztőcsap között pontszerű érintkezés modellezése esetén [2] a C érintkezési pont útját a φ_1 , φ_2 és φ_3 szögelfordulások közötti, 3. ábrán látható összefüggések ismeretében.

A k körpálya pontjai az

$$x_k = -r_k \cdot \sin \varphi_1 \quad \text{és} \quad y_k = r_k \cdot \cos \varphi_1 \quad (1)$$

összefüggésekkel jellemezhetők.

A menesztőcsap T_k pontja által bejárt k körpályának affin megfelelője a T_e pontja által bejárt e ellipszispálya, melynek pontjai a

$$x_e = x_k / \cos \delta_1 = -r_k \cdot \sin \varphi_1 / \cos \delta_1 \quad \text{és} \quad y_e = y_k = r_k \cdot \cos \varphi_1 \quad (2)$$

összefüggésekkel határozhatók meg.

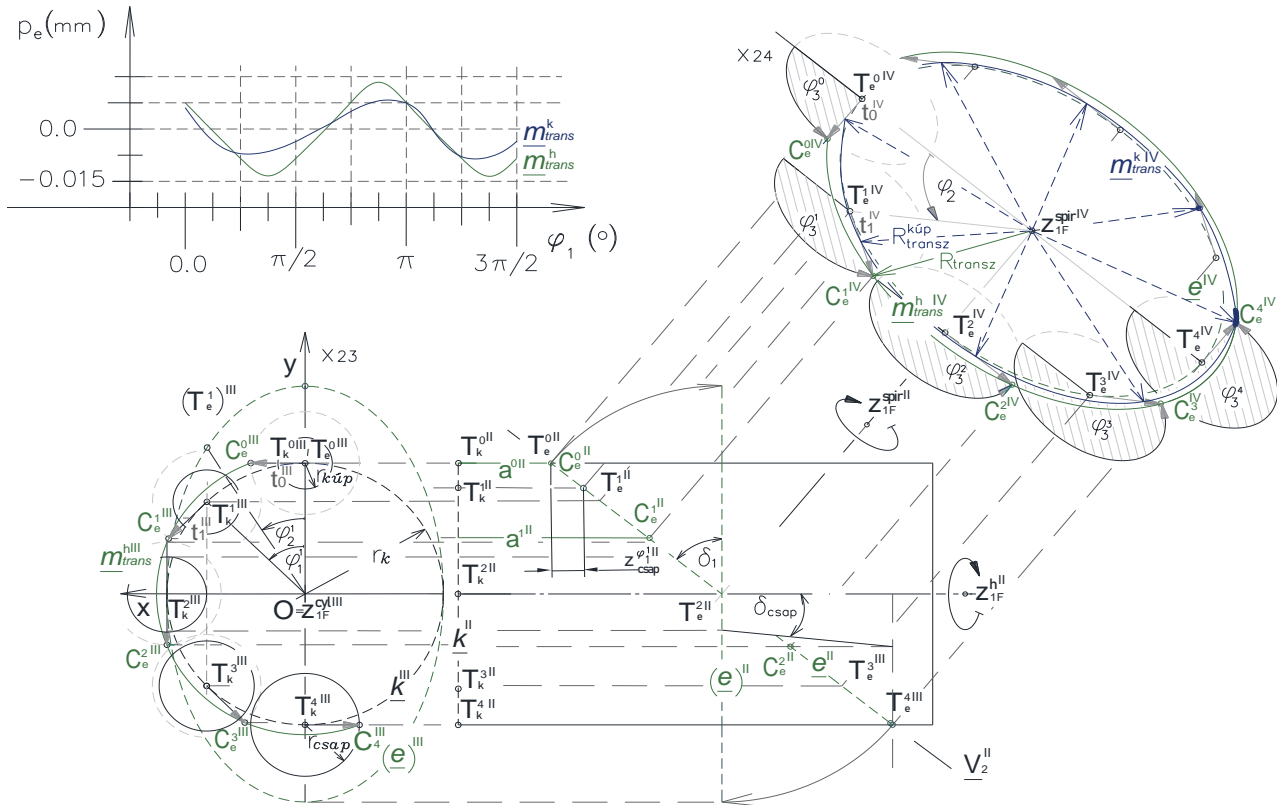
Ezek alapján a φ_1 , φ_2 és φ_3 szögek közti analitikus összefüggések a tengelyelállítás δ_1 szögének függvényében a következő alakban adhatók meg

$$\left. \begin{aligned} \varphi_2 &= \arctg(\operatorname{tg} \varphi_1 \cdot \cos \delta_1) \\ \varphi_3 &= \arctg(-\operatorname{tg} \varphi_1 \cdot \cos^3 \delta_1) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

A menesztőcsap φ_1 szögelfordulása esetén a menesztővillával való C érintkezési pontjának z_{IF}^h irányú elmozdulása a T_e^0 ponthoz viszonyítva a 3. ábra alapján

$$z_{csap}^{\varphi_1} = \operatorname{tg} \delta_1 \cdot r_k \cdot (1 - \cos \varphi_1) \quad (4)$$

nagyságú.



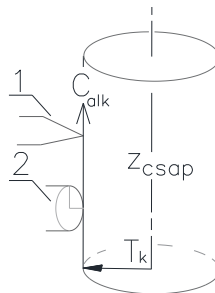
3. ábra

A menesztőcsap elmozdulásából származó φ_1 , φ_2 , φ_3 szögelfordulások, a z_{csap} tengelymenti elmozdulás, valamint a δ_{csap} félnyílásszög közti összefüggések vázlatos szemléltetése, valamint a hengeres és kúpos menesztőcsappal történő mozgásátadás esetén a menetemelkedési hibák zölddel és kézzel jelölt összevetése

A menesztővillának és a henger, illetve kúp alakú menesztőcsapnak az érintkezését pontszerű érintkezésként értelmezve az elvégzett vizsgálatok által kimutatásra került menetemelkedés változása a 3. ábrán látható.

A mozgásátadásra vonatkozó vizsgálatoknak a hengeres menesztőcsappal érintkező egyenessel modellezett a menesztővilla él esetének (4. ábra 1. élmódel) kielemezése után a további kutatás általunk választott iránya a menesztővilla élének lekerekített modellezése (4. ábra 2. élmódel).

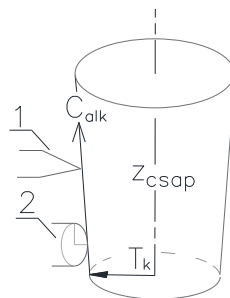
A menesztővilla élének lekerekítése esetén a hengeres menesztőcsap a $C_{alk}(\varphi_1)$ kontakt pontokban érintkezik a körív alapú egyenes körhenger lekerekítésnek ugyanazon alkotójával. A menesztővilla lekerekített élének a csap tengelyével párhuzamos, egybevágó metszetei ellipszisek 4. ábra 2-es eseteiben látható módon, és minden helyzetben mindkét körhengernek ugyanazon hengeralkotója érintkezik, ami azt jelenti, hogy a menetemelkedési fluktuáció a menesztővilla élének lekerekített modellezésével nem változik.



4. ábra A henger és kúp alakú menesztőcsap érintkezésének vázlata az egyenessel modellezett élű (1. eset), illetve a lekerekítéssel modellezett „élű” (2. eset) menesztővillával

A mozgásátadásra vonatkozó vizsgálatoknak a forgáskúp alakú menesztőcsappal érintkező egyenessel modellezett a menesztővilla él esetének (5. ábra 1. éltmodell) kielemezése után a menesztővilla élének lekerekített modellezésével folytattuk a kutatást (5. ábra 2. éltmodell).

A menesztővilla élének lekerekítése esetén a kúpos menesztőcsap a $C_{alk}(\varphi_1)$ kontakt pontokban érintkezik a körív alapú egyenes körhenger lekerekítésnek ugyanazon alkotójával. A menesztővilla lekerekített élének a csap tengelyével párhuzamos, egybevágó metszetei ellipszisek az 5. ábra 2-es eseteiben látható módon, és minden helyzetben mind a körhengernek, mind a körkúpnak ugyanazon alkotój érintkeznek.



5. ábra A henger és kúp alakú menesztőcsap érintkezésének vázlata az egyenessel modellezett élű (1. eset), illetve a lekerekítéssel modellezett „élű” (2. eset) menesztővillával

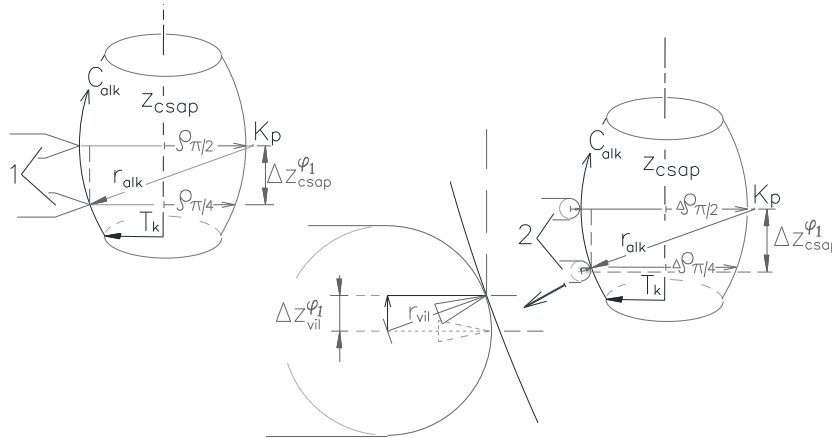
Mindez azt jelenti, hogy a menetemelkedési fluktuáció a menesztővilla élének lekerekített modellezésével nem változik. Változás a menetemelkedési fluktuációban akkor várható, ha a menesztővilla görbeív alapú hengerrel modellezett hajtó élének más és más hengeralkotón lévő görbeívpontjával érintkezik. Ezért a további vizsgálatokat változó érintkezés esetén érdemes folytatni.

3. A MENESZTÉS VIZSGÁLATA KÖRÍV ALKOTÓJÚ MENESZTŐCSAP ESETÉN

A körív alkotójú forgástest alakú menesztőcsap érintkezésének vázlata a menesztővilla egyenessel, illetve a lekerekített éle esetén a 6. ábrán látható. A menesztőcsap profilkörének középpontját K_p , sugarát r_{alk} jelölje a 6. ábrán látható módon. A menesztővilla egyenessel modellezett éle és a menesztőcsap érintkezése esetén (6. ábra 1. eset) a C_{alk} érintkezési pontra illeszkedő, a menesztővilla lapjával párhuzamos, azaz a kúpos csiga tengelyére merőleges síkban a menesztőcsap síkmetszetei olyan ellipszisek, melyeknek a fél kis- és nagytengelyei

$$\left. \begin{aligned} b &= \rho(\varphi_1) \\ a &= \rho(\varphi_1) \cdot \cos \delta_1 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

nagyságúak a menesztőcsap T_k tengelypontjának φ_1 szögelfordulása függvényében.



6. ábra A körív profilú menesztőcsap érintkezésének vázlatja az egyenessel modellezett élű (1. eset), illetve ellipszis lekerekítéssel modellezett élű (2. eset) menesztővillával

A menesztőcsap metszet ellipsziseinek középpontjai a menesztőcsap tengelyének a (4)-es összefüggés szerint meghatározott magasságú T_e pontjainak e ellipszis pályáján helyezkednek el kúpos csiga tengelyére merőleges síkban. Az e pályájának a T_e pontbeli érintőinek, mint a metszetellipszisek sugarainak végpontjai képezik a mozgásátadás m_{transz} görbéjét.

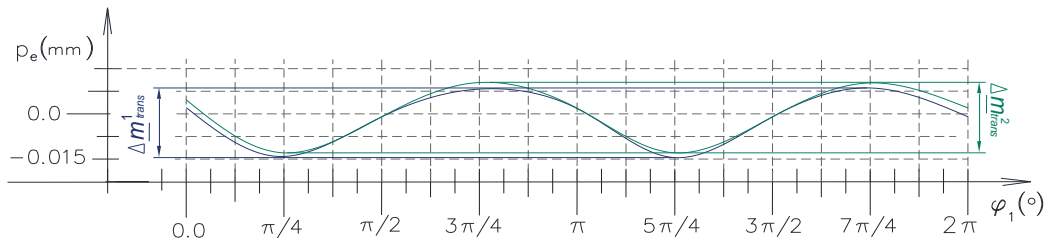
A vizsgálat következő lépésében a menesztővilla élét olyan (5)-ben meghatározott ellipszishez hasonló ellipszis ívvel került modellezésre, melynek a menesztőcsap tengelyével párhuzamos síkmetszete kör.

A lekerekített éllel történő modellezés esetében a $C_{alk}(\varphi_1)$ érintkezési pont z_{csap} irányú magassága a $\varphi_1 = \pi/2$ helyzetéhez viszonyított változás mértéke

$$\Delta z_{vil}(\varphi_1) = \Delta z_{csap}(\varphi_1) \cdot \frac{r_{alk}}{r_{vil}} \quad (6)$$

Mindezek következtében változik a körív profilú forgástest alakú menesztőcsap metszetellipszisének a kis-és nagytengelye az egyenes élű menesztővillával történő vizsgálat ugyanezen φ_1 értékhez tartozó helyzetben megállapíthatóhoz képest, továbbá változik a mozgásátadó görbe is.

Az m_{transz} görbe pontjainak a csiga tengelyétől mért távolságával képezve kerül bemutatásra a menetemelkedési fluktuáció a pontszerű érintkezés és az ívelt élű menesztővilla esetén a 7. ábrán.



7. ábra A körív profilú menesztőcsappal történő mozgásátadás fluktuációja az egyenes élű menesztővilla esetén a kézzel jelölt m_{transz}^1 görbével, és a lekerekített élű menesztővilla esetén a zölddel jelölt m_{transz}^2 görbével

A 7 ábrán látható vizsgálat szerint az m_{transz}^2 görbe pontjainak a csiga tengelyétől mért távolságainak fluktuációja nagyobb, mint az m_{transz}^1 görbe pontjainak a fluktuációja, ami alátámasztja a további ívelt „élű” menesztővillával való mozgásátadás vizsgálatainak szükségességét.

4. ÖSSZEGZÉS

A kúpos csiga tradicionális menetkösörűvel történő megmunkálásakor a mozgásátadás során a menesztőcsap és menesztővilla érintkezési pontjának pályagörbéje a főorsó tengelyére merőleges síkban kör, a csiga tengelyére merőleges síkban ellipszis, melynek következtében a csiga működő felületén menetemelkedési fluktuáció lép fel. A két pályagörbe és a forgáshenger alakú menesztőcsap metszetgörbéje közti szögelfordulások és az érintkezési pontok tengelyirányú elmozdulásai közötti kapcsolatok feltárára kerültek a menesztővilla egyenes élű modellezése esetében. Átgondolásra került, hogy az egyenes alkotójú menesztőcsap hajtása esetén a menetemelkedési fluktuáció nem változik a folyamatnak az egyenes élű és a

lekerekített élű menesztővillával történő modellezése esetén. Feltárássra került, hogy a körív profilú menesztőcsappal történő menesztés esetében a menesztővilla élének egyenessel történő modellezése és a lekerekített éllel történő modellezése során a pontos geometriai elemzés a menetemelkedési fluktuáció vonatkozásában eltérést mutat.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka a Miskolci Egyetemmel együttműködési megállapodásban lévő DifiCAD Mérnökiroda támogatásával valósulhatott meg.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Balajti, Zs. *Kinematikai hajtópárok gyártásgeometriai fejlesztése*. PhD disszertáció, Miskolc, 126. old. 2007.
- [2] Balajti Zs., Mátyás Z., Dudás I. *Kúpos csavarfelület csúcstelállítással való megmunkálásának konstruktív geometriai elemzése menetemelkedési probléma kiküszöböléséhez*, OGÉT, XXVIII. Nemzetközi Gépészeti Konferencia, 2020, ISSN 2668-9685, 21-24. old.
- [3] Balajti Zs., Mátyás Z. Proposed solution to eliminate pitch fluctuation in case of conical screw surface machining by apex adjustment, *PROCEDIA MANUFACTURING* 2021, 2351-9789, 55. pp.: 266-273.
- [4] Dudás, I. *The Theory & Practice of Worm Gear Drives*, Kogan Page US. Sterling, USA, 2000.
- [5] Dudás I., Bodzás, S., Mátyás, Z.: *Solving the pitch fluctuation problem during the manufacturing process of conical thread surfaces with lathe center displacement*, *International Journal Advanced Manufacturing Technology*, DOI 10.1007/s00170-013-5010-1
- [6] Dudley, D. W. *Gear Handbook*. The Design, Manufacture, and Application of Gears, McGraw-Hill, New York, 1962.
- [7] Dudás, L. *The effect of worm profile on contact lines*. *microCAD*, XXIV. International Scientific Conference 2010, ISBN:978 963 661 919 0, Miskolc, Hungary, pp.: 39-44.
- [8] Hollanda D., Máté M., Tolvaly-Rosca F. *Kúpfogaskerék fogprofil mérőkészülék*, OGÉT, XXVIII. Nemzetközi Gépészeti Konferencia, 2020, ISSN 2668-9685, 21-24. old.
- [9] Bucur Bogdan, Máté Márton. *Theoretical Peculiarities Regarding the Definition and Representation of the Rolling Surfaces by a Bevel Worm Gear with the Crown Gear of Inverted Conicity*. The 5th International Conference on Interdisciplinarity in Engineering: Industrial Management and Engineering in a Changing Technological Environment, Marosvásárhely, Románia : Petru Maior University, (2011) pp. 165-169. , 5 p.
- [10] Dezső G., Szigeti F. *A műszaki szimulációs módszerek helye a mérnökképzésben*, *Műszaki Tudományos Közlemények (HU)* 6., 2017., ISSN 2393 – 1280, pp.: 63-71.
- [11] Tolvaly-Rosca F., Máté M., Forgó Z. Pásztor J. *CAD Solution to Determine Points from Chipping Tool Solid Model Cutting Edges*, *MŰSZAKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK (EN)* 2020., 12 : 1 pp.: 67-70.
- [12] Popa-Müller I., Tolvaly-Rosca F. *A körív alakú kúpkerék generálásának szimulálása a Gleason fogazógépen, a generáló síkkerék segítségével*, XVII OGÉT, Gyergyószentmiklós, 2009, ISSN 1454-0746, pp.:331-335.
- [13] Popkonstantinovic B, Stojicevic M, Jeli Z, Obradovic M, Popa D L. *Simulation and Motion Study of Mechanical Integrator 3D Model*. *FME Transactions*, 2019, Vol. 47, No.2. pp.: 299-303.
- [14] Bercsey, T., Horák, P. *Modelling of the contact and tribological relations of spatial gear pairs*, *International Conference on Gears*, München, 2002., ISBN: 3-18-091665-6, pp.: 91-105.
- [15] Hodgyai N., Máté M., Tolvaly-Rosca F., Dragoi M. V.: *Peculiarities of the Grinding Process of a Gear Hob Helical Rake Face*, *Acta Universitatis Sapientiae, Electrical and Mechanical Engineering*, 13 (2021) 39-51. DOI: 10.2478/auseme-2021-0004.
- [16] Mátyás Zoltán: *Csavarfelületek előállításának intelligens gyártórendszere és geometriailag helyes megmunkálása*, Phd Disszertáció, Miskolc 2006, 106. oldal
- [17] Máté, M., Hollanda, D., Faluvégi, E. *Arkhimédész-féle spirál fogvonalú hengeres fogaskerekek tangenciális eltolásos lefejtésének kinematikája egyparaméteres burkolás esetében*, OGÉT 2014, XXII. Nemzetközi Gépészeti Találkozó, Kolozsvár, Románia, EMT, ISSN 2068-1267, pp. 244-248.
- [18] Máté M., Tolvaly-Rosca F., Gyéresi H. A., Hodgyai N., Egyed-Faluvégi E. *Származtató felületek görbületváltozása lefejtőmegmunkálások során*, OGÉT 2022, XXX. Nemzetközi Gépészeti Találkozó, Székelyudvarhely, Románia, EMT, ISSN 2068-1267, 66-72. old.
- [19] Máté M., Tolvaly-Rosca F., Hodgyai N., Egyed-Faluvégi E. *A csigamaró-homlokl felület köszörülésének valódi modellje*, OGÉT 2022, XXX. Nemzetközi Gépészeti Találkozó, Székelyudvarhely, Románia, EMT, ISSN 2068-1267, 73-79. old.
- [20] Kelemen, Cs., Máté, M. *An Analysis of Manufacturing Precision of Involute Worms Using a Kinematical Model*, *Műszaki Tudományos Közlemények*, 2021., Vol. 14. pp.: 44–50.
- [21] Vadászné Bognár, G. *Matematika informatikusok és műszakiak részére 2.*, Miskolci Egyetemi Kiadó, Magyarország, ISBN: 9636615764, p. 347. 2003.