

Miskolci Egyetem



GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR

**A SZÁRMAZTATÁSELMÉLET ALKALMAZÁSA ÉS A NUMERIKUS
MEGOLDÁS ELŐÁLLÍTÁSA GOLYÓS-MENETES
MOZGÁSÁTALAKÍTÓ MECHANIZMUSOKNÁL**
PhD értekezés tézisei

KÉSZÍTETTE:

HEGEDŰS GYÖRGY

okleveles gépészmérnök

SÁLYI ISTVÁN GÉPÉSZETI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA,
GÉPEK ÉS SZERKEZETEK TERVEZÉSE TÉMATERÜLET,
SZERSZÁMGÉPEK TERVEZÉSE TÉMACSOPORT

DOKTORI ISKOLA VEZETŐ:

Dr. habil Tisza Miklós

egyetemi tanár

TÉMATERÜLET VEZETŐ:

Dr. habil Döbröczöni Ádám

egyetemi tanár

TÉMACSOPORT VEZETŐ:

Prof. Emeritus Tajnafői József

a műszaki tudományok doktora

TÉMAVEZETŐ:

Dr. habil Patkó Gyula

egyetemi tanár

TÁRSTÉMAVEZETŐ:

Dr. Takács György

egyetemi docens

Miskolc, 2012

Miskolci Egyetem



GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR

**A SZÁRMAZTATÁSELMÉLET ALKALMAZÁSA ÉS A NUMERIKUS
MEGOLDÁS ELŐÁLLÍTÁSA GOLYÓS-MENETES
MOZGÁSÁTALAKÍTÓ MECHANIZMUSOKNÁL**
PhD értekezés tézisei

KÉSZÍTETTE:

HEGEDŰS GYÖRGY

okleveles gépészmérnök

SÁLYI ISTVÁN GÉPÉSZETI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA,
GÉPEK ÉS SZERKEZETEK TERVEZÉSE TÉMATERÜLET,
SZERSZÁMGÉPEK TERVEZÉSE TÉMACSOPORT

DOKTORI ISKOLA VEZETŐ:

Dr. habil Tisza Miklós

egyetemi tanár

TÉMATERÜLET VEZETŐ:

Dr. habil Döbröczöni Ádám

egyetemi tanár

TÉMACSOPORT VEZETŐ:

Prof. Emeritus Tajnafői József

a műszaki tudományok doktora

TÉMAVEZETŐ:

Dr. habil Patkó Gyula

egyetemi tanár

TÁRSTÉMAVEZETŐ:

Dr. Takács György

egyetemi docens

Miskolc, 2012

A BEMUTATOTT KUTATÓ MUNKA A TÁMOP-4.2.1-08/1-2008-0006, „A MISKOLCI EGYETEM TECHNOLÓGIA- ÉS TUDÁSTRANSZFER CENTRUMÁNAK KIALAKÍTÁSA ÉS MŰKÖDTETÉSE” CÍMŰ, A TÁMOP 4.2.1.B-10/2/KONV, „A FELSŐOKTATÁS MINŐSÉGÉNEK JAVÍTÁSA A KUTATÁS-FEJLESZTÉS-INNOVÁCIÓ-OKTATÁS FEJLESZTÉSÉN KERESZTÜL” CÍMŰ PROJEKTEK RÉSZÉKÉNT VALÓSULT MEG.

A BEMUTATOTT KUTATÓ MUNKA A TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0008 JELŰ PROJEKT RÉSZÉKÉNT – AZ ÚJ MAGYARORSZÁG FEJLESZTÉSI TERV KERETÉBEN – AZ EURÓPAI UNIÓ TÁMOGATÁSÁVAL, AZ EURÓPAI SZOCIÁLIS ALAP TÁRSFINANSZÍROZÁSÁVAL VALÓSULT MEG.

Bíráló bizottság

Elnök:

Dr. Kundrák János DSc, Dr. habil., ME, egyetemi tanár

Titkár:

Dr. Szente József PhD, ME, egyetemi docens

Tagok:

Dr. Mészáros Imre Dr. Ing., PhD, BME, egyetemi docens

Óváriné dr. Balajti Zsuzsanna PhD, ME, egyetemi docens

Dr. Váradi Károly MTA doktora, BME, egyetemi tanár

Hivatalos bírálók:

Dr. Kerényi György PhD, BME, egyetemi docens

Dr. Dudás László CSc, PhD, ME, egyetemi docens

1. IRODALMI ÁTTEKINTÉS, TUDOMÁNYOS ELŐZMÉNYEK

A forgácsolással előállított munkadarab felületét a szerszám származtató felületének eredményeként kapjuk meg, amely a szerszám burkolófelületeként jön létre annak mozgása során. Számos tanulmány foglalkozik a munkadarab felületének származtatásával, melyhez koordinátatranszformációt és differenciálgeometriai megközelítést alkalmaznak. Ezeket a matematikai módszereket fogas- és csigakerék-hajtásoknál több kutató is vizsgálta, ahol a fogfelülethez kapcsolódó felülepár matematikai leírása volt a cél. Térbeli fogazatok kapcsolódási viszonyainak elméletével *T. Olivier* és *H. I. Gohman* foglalkozott. *Olivier* alkalmazta elsőként a származtató felületet a burkolófelület előállításához [44], *Gohman* pedig térbeli fogazatok kapcsolódási viszonyait elemezte analitikus modellen keresztül [22]. Az egyre szélesebb körű eredményeknek köszönhetően arra a következtetésre jutottak, hogy a bonyolult analitikus valamint numerikus számítások helyett a kapcsolódási viszonyokat kinematikai módszerrel vizsgálják, amely leegyszerűsíti a vizsgálatokat. Hatékony és alkalmas módszereket nemzetközi és hazai kutatók is eredményesen kidolgoztak, valamint tovább fejlesztették azokat. A külföldi kutatók közül *Litvin* tudományos eredményeit kell megemlíteni [34]-[39]. Hazai tudományos eredményeket elért kutatók ezen a területen – akiket ki kell emelni – *Szeniczai L.* [49], *Magyar J.* [40], *Tajnaí J.* [50], [51], *Lévai I.* [32], [33], *Bercsey T.* [3]-[8], *Drobní J.* [11]-[13], *Dudás I.* [14]-[17] és *Dudás L.* [18]-[20].

Az elmúlt években a csigahajtások gyártásgeometriájának továbbfejlesztésével *Balajti Zs.* foglalkozott [45], új típusú spiroid hajtások gyártásgeometriáját *Bányai K.* vizsgálta [2].

A generáló felület meghatározására több módszert is kidolgoztak. Az utóbbi években a számítógéppel segített modellezés eszközrendszereinek alkalmazása is előtérbe került. *Kang, Ehmann* és *Lin* az analitikus megoldáshoz egy általánosított forgácsolási CAD modellt állított elő, felhasználva emellett kinematikai és differenciálgeometriai összefüggéseket [30]. *Ivanov* és *Nankov* szintén egy általánosított analitikus módszert dolgoztak ki csavarfelületek megmunkálására forgó szerszámoknál [28], [29]. Abrázív alakos szerszámok profiljának meghatározására alkalmas módszereket több orosz kutató is megvalósított *Makarov* közreműködésével [41], [42]. Precíziós fogaskerék-hajtásokra *Radzevich* végzett hasonló elemzéseket [47].

CAD eszközrendszer alkalmazásával generált felület előállításának egy másik megközelítése *Mohan* és *Shunmugam* nevéhez fűződik [43].

Kagiwada és *Harada* kidolgoztak egy módszert golyósorsó befejező köszörülő megmunkálásához [24], valamint golyósanyákhoz [25] és belső menetes felületekhez [26]. Nagy menetemelkedésű golyósanyák szerszámprofiljának meghatározását is vizsgálták figyelembe véve a szerszámszár és a munkadarab ütközésének elkerülése miatt nem optimális korongdöntési szög hatását [27].

Az irodalomkutatás eredményeinek feldolgozásából egyértelműen kiderül, hogy a legtöbb elemzés a golyósorsót szerszámgépelemként vizsgálja és azt is úgy, mint egy összetett rendszer részét. A gótikus körívvel rendelkező belső menetfelületű munkadarabok – mint a golyósanyák – megmunkálásához szükséges szerszámprofil meghatározásával csak kevés szakirodalom foglalkozik, és ezek többsége is az elmúlt évtizedben íródott. A különböző fogaskerék- és csigahajtásoknál nagyságrendekkel több kutatás foglalkozott a gyártástechnológiai problémák vizsgálatával, ezeknek az eredményei nagyfokú részletességgel megtalálhatók. Az ott levont következtetések részben, vagy egészében érvényesek lehetnek golyósanyák megmunkálására is, azonban a disszertációban alkalmazott modell – a kinematikai módszer helyett – egy újszerű megközelítésben vizsgálja a származtatott szerszámfelület előállítását.

2. A DISSZERTÁCIÓ CÉLKITŰZÉSEI

A szerszámprofil meghatározásához a származtatáselméletet felhasználva egy újszerű megközelítést vezetünk be a származtatott szerszámfelület előállításához. A módszer forgásszimmetrikus szerszámokra más jellegű munkadaraboknál is alkalmazható.

Extrém nagy menetemelkedésű, kis szériaszámú golyósanyáknál a korongdöntési szöget gyakran a szerszám gép mellett, empirikus úton határozzák meg a próbamegmunkálások mérései útján. A golyósanya jellemző méretei alapján szükséges maximális korongdöntési szög meghatározása igen fontos feladat a profiltorzulás miatt. A peremfeltételek ismeretében korongdöntési szög számítását numerikus közelítő eljárással határozzuk meg. A közelítő korongdöntési szög meghatározását *Newton-Raphson* és *Broyden-módszerrel* is elvégezzük és a számítások eredményeit összevetjük. A későbbi számításokat a számítási pontosság és az iterációs számítási műveletigények szempontjából kedvezőbb eljárással fogjuk elvégezni.

A felületek metszeteinek előállítását, a kezdeti értékek figyelembevételével, numerikus módszerekkel kívánjuk meghatározni. A közönséges differenciál-egyenletrendszer *Runge-Kutta módszerrel* oldjuk meg. Az előállított síkmetszetek alapján a szükséges szerszámprofil előállítható. Hagyományos menetkösörűgépek alkalmazásakor – ahol körívprofil szabályozására van csak lehetőség – szükséges a szerszám gép paramétereinek figyelembevételével az optimális szerszámkörív számítása. *CNC* szerszámgépeknél a szerszámprofil előállítása a számított pontok lineáris-, vagy körinterpolációjával valósítható meg.

Golyósorsóknál szükséges a teljes profil köszörülése, azonban a működés során a golyók az előfeszítés hatására a gótikus körív méreteinek megfelelően egy ún. kontaktcsavarvonalon futnak (miközben eltekintünk a rugalmas deformációtól és feltételezzük, hogy merev testként viselkednek). A pontosabb megmunkálási eredmények érdekében a szerszámprofil meghatározását úgy kell elvégezni, hogy annak hibája a kontaktpontokban minimális legyen, figyelembe véve a golyósanyára előírt pontossági tűrések értékeit is.

A numerikus eljárások, számítások megoldását *MATLAB* szoftverrel végezzük el, a szimbolikus matematikai összefüggéseket és egyenleteket *MUPAD* és *MAPLE* szoftverekkel ellenőrizzük. A *MATLAB* szoftverhez fejlesztett grafikus felhasználói felület (*MATLAB GUI*) segítségével a kapott eredmények vizuálisan is ellenőrizhetővé válnak.

Mivel egy golyósanyánál a számított szerszámprofil a szerszám kezdeti méreteire érvényes, ezért szükséges a megmunkálások során a szerszámkopás figyelembevétele. A köszörűkorong D_k átmérőjének csökkenése a szerszámprofil újbóli meghatározását vonhatja maga után. A fogásvétel (x_e) növekedéséből eredően változhat a korongdöntési szög is (csökkenő γ_k). A szerszámprofilok meghatározását parametrikus *CAD* rendszer programozásán keresztül is megoldjuk. A *CAD* rendszer által szolgáltatott eredményt a numerikus eljárással meghatározott megoldással utólag összevetjük.

A fenti célkitűzések megvalósításakor a gótikus körívű menetprofillal ellátott golyósanyák befejező köszörülő megmunkálásához szükséges szerszámprofil pontosabb meghatározására lesz lehetőség. A grafikus felhasználói felületnek és a *CAD* rendszernek köszönhetően a kapott eredmények megjelenítése és további ellenőrzése könnyebben elvégezhető. Az esetleges módosításokra még a tervezési fázisban lehetőség nyílik, csökkentve ezzel a hibalehetőséget.

A parametrikus tervezőrendszerrel meghatározott, különböző szerszámméretűkhöz tartozó szerszámprofilok gyorsan előállíthatók, új golyósanyánál és szerszámméreteknél a paraméterek állításával a megváltozott eredmények szinte azonnal rendelkezésre állnak.

Mindkét módszer előnye, hogy a felületet leíró egyenletek megadásával lehetőség adódik más profilú munkadarabok szerszámprofiljának meghatározására is.

3. A FELADAT MEGOLDÁSÁNAK MÓDSZEREI

A *Tajnaíró-féle* származtatáselemtől [50], [51] kiindulva megalkottunk egy matematikai modellt, mely alkalmas a szerszámprofil közelítő pontjainak meghatározására. A modell a származtató felület (munkadarabfelület) és a tengelyszimmetrikus forgó szerszám egy célszerűen kiválasztott szerszámszíkjának metszeteit határozza meg diszkrét szöghelyzetekben.

A szerszámprofil származtatásához meghatároztuk a profil előállításához szükséges paramétereket. A korongdöntési szög számítását egy nemlineáris egyenletrendszer megoldásaként állítottuk elő, a megoldáshoz *Newton-Raphson* iterációs eljárást alkalmaztuk. A származtató felület és a szerszámsík metszeteit az átfogási szöggel jellemzett tartományon belül kerestük. Az átfogási szög meghatározását nemlineáris egyenletek *Newton-Raphson* módszerrel előállított megoldásai alapján számítottuk.

A felület-felület metszetének meghatározására többféle matematikai módszert is kidolgoztak [31], [48]. A numerikus módszerrel előállított szerszámprofil meghatározásához a diszkrétációban a homotópiás kontinuitási módszert alkalmaztuk [1], [52]. Az előállított kezdeti érték feladatát *Runge-Kutta* típusú eljárással oldottuk meg a megfelelő kezdeti értékek meghatározása után. Az előállított metszeti pontokat közelítő ellipszisívvel írtuk le, az ellipszisívek geometriai paramétereinek meghatározását egy numerikusan stabil sajátértékfeladat megoldásaként határoztuk meg [21], [23], [46]. A rendelkezésre álló pontfelhőből célszerűen felírt szűrési feltételekkel meghatároztuk a közelítő szerszámprofil előállításához szükséges származtatott pontokat.

Megvizsgáltuk az alámetszési határpontokat, melyek meghatározását egy közelítő ellipszisív és egy harmadrendű *Bezier* görbe metszéspontjaként állítottunk elő. Az alámetszési tartományon a szerszámprofil szakaszonként interpoláló harmadrendű *Bezier* görbékkel, az alámetszési tartományon túl aproximációs ellipszisívvel írtuk le. További vizsgálatokat végeztünk körprofilú szerszámok profiljainak meghatározására *legkisebb négyzetek módszerével* [9].

A származtató felület szimmetria tulajdonságait kihasználva további egyszerűsítéseket vezettünk be, melynek eredményeként a szerszámprofil származtatását célszerű a gótikus munkadarabprofil egyik felületén végrehajtani. A disszertációban előállított szerszámprofilokat az egyszerűsített származtatási számításokkal határoztuk meg.

A szerszámprofil származtatását CAD rendszerhez fejlesztett számítógépes programmal is megvalósítottuk, mely képes a profil meghatározását szilárdtest *boolean* műveletek és határfelületek metszeteinek képzésével is előállítani.

A program grafikus felületen keresztül a felhasználó által bevitt – a munkadarabra és köszűrűkorongra jellemző – paramétereknek megfelelően automatikusan generálja a származtatott szerszámprofilot.

A numerikus eljárással és a CAD alkalmazással származtatott szerszámprofilokat különböző méretű golyósanyákra meghatároztuk és vizsgáltuk az azok közötti eltéréseket is.

A numerikus eljáráshoz a *MATLAB*, a szimbolikus műveletek előállításához, ellenőrzéséhez a *MAPLE*, illetve a *MUPAD* matematikai szoftvereket használtuk. A CAD alkalmazással származtatott szerszámprofil előállításához a *CATIA V5* integrált tervezőrendszert alkalmaztuk.

A saját fejlesztésű programokat a *MATLAB* programozási nyelvén, illetve *Visual Basic for Application* fejlesztői környezetben valósítottuk meg.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

T.1. A Tajnafői-féle származtatáselméletből kiindulva megalkottam egy a golyósanyák köszörülésének leírására alkalmas matematikai modellt. A tengelyszimmetrikus származtatott felület profilpontjait a származtató felület és a szerszám szimmetriasíkjának diszkrét szögelfordulásakor előállított felület-felület metszeteiből állítottam elő, ahol a profilpontokat az egyes metszeti görbék metszéspontjai és a metszeti görbék kitüntetett pontjai definiálják. Megállapítottam, hogy az előállított modell jól használható olyan megmunkálási feladatokra, ahol a kapcsolódó felületepárok egyike a megmunkálás során folyamatos forgó főmozgást végez [K-5], [K-7], [K-8], [P-6].

T.2. Meghatároztam a golyósanyák menetfelülete és a köszörűszerszám érintkezésekor kialakuló térbeli geometriai paramétereket hengeres és kúpos szerszámszárakra. Ezek alapján kollíziós számításokat végeztem a szerszámszár-munkadarab ütközésének meghatározására. A számítással kapott eredményeket elemezve meghatároztam egy előre definiált hiba mellett a numerikus eljárások iterációinak számát. Előállítottam az iterációs eljárások kezdeti értékeinek számításához szükséges egyenleteket [P-3].

T.3. A matematikai modellnek megfelelően felírtam a golyósanya belső menetes felületének és a szerszám szimmetriasíkjának paraméteres egyenleteit. Az egyenleteket felhasználva a numerikus kontinuitási módszerből kiindulva előállítottam a származtató felület és a szerszámsík metszeteit. A metszeti görbék ismeretében definiáltam a szerszámprofil szükséges pontjait. Meghatároztam az alámetszési határpontot, a végleges közelítő szerszámprofil az alámetszési határpont alatt szakaszonként illesztett Bezier görbékkel, az alámetszési határpont fölött ellipszisívvel írtam le [K-5], [K-7], [K-8], [P-7].

T.4. Körprofilú szerszámszabályozó készülékeknél a profil előállítás változatait elemezve a legkisebb négyzetek módszerét alkalmazva meghatároztam az alámetszési határpont fölötti profilpontokat közelítő körívek paramétereit. A törésmező és a kapcsolószög ismeretében felírtam a három pontra illesztett körívek jellemző geometriai tulajdonságait. Megállapítottam, hogy a legkisebb négyzetek módszerével előállított approximációs körívprofilok kedvezőbb megoldást adnak a három pontra illesztett köríveknél [P-6].

T.5. A numerikus származtatást felhasználva megalkottam egy automatizált számítógépes eljárást – továbbiakban CAD eljárás – a szerszámprofil meghatározásához. A szerszámprofilokat szilárdtest- és felületmodellező technikákkal is meghatároztam. Összehasonlítottam a numerikus és a CAD eljárással előállított különböző méretű golyósanyákra érvényes szerszámprofilokat. Megvizsgáltam a két módszerrel előállított eredmények közötti eltéréseket. Megállapítottam, hogy mindkét módszer alkalmas a szerszámprofil meghatározására, továbbá a numerikus eljárás kedvezőbb az eredmény pontosságát és annak számítási időigényét tekintve [K-4], [P-5].

5. NEW SCIENTIFIC RESULTS

T.1. A mathematical model has been developed which is adapted for the description of ballnut grinding based on the *Tajnaľi* derivation theory. The profile points of rotational symmetry derived surface were generated from the surface-surface intersections of the generating surface and the median plane of the tool in discrete angle positions, where the profile points were defined by intersection points of the adjacent intersection curves and by marked points of the intersection curves. It has been pointed out that the developed model is capable of modelling such a manufacturing process where one of the conjugated surface pairs performs continuous rotational motion during manufacturing [K-5], [K-7], [K-8], [P-6].

T.2. In the followings the evolving spatial geometrical parameters for cylindrical and conical quill on contact of thread surface of ballnuts and grinding tool have been determined. Furthermore calculations for the determination of toolholder-workpiece collision on the basis of these parameters have been performed. On the basis of the calculated results the iteration number of numerical algorithm by a predefined error has been established and the required equations for the calculations of initial values of iterative algorithms have been set up [P-3].

T.3. According to the mathematical model, the implicit equations of the inner thread surface of ballnut and the tool median plane have been established. Applying the implicit equations, the intersections of generated surface and the tool median plane on the basis of the numerical continuity method have been determined. In knowledge of the intersection curves, the essential profile points of the tool have been determined. Then the undercutting term was investigated; the final approximating tool profile was defined by piecewise interpolating *Bezier* curves under, and ellipse arc beyond the undercutting limit point [K-5], [K-7], [K-8], [P-7].

T.4. The approximating arcs' were investigated. By analysing the methods of profile dressing on arc profile form dressing and applying the *linear least squares method*, the approximating arcs' parameters of the profile points beyond the undercutting limit point have been determined. The proper geometrical parameters of profile arcs fitted through three points have been described in knowledge of the tolerance and contact angle. It has been pointed out that the generated approximating profile arcs give better results by linear least squares method than arcs fitted through three points [P-6].

T.5. An automated computer algorithm has been developed– henceforth *CAD algorithm* – for determination of the tool profile based on the numerical derivation. Tool profiles were generated by solid- and surface modelling techniques. Tool profiles generated by numerical and *CAD* algorithm have been compared on different ballnut sizes. Differences between the results generated by the two methods have been analysed. It has been pointed out that both methods are capable for determination of the tool profiles and the numerical algorithm is better according to accuracy of the result and its computation time [K-4], [P-5].

6. A DISSZERTÁCIÓHOZ KAPCSOLÓDÓ JELENTŐSEBB PUBLIKÁCIÓK

Konferencia és egyéb előadások

Idegen nyelvű

- [E-1] Gy. Hegedűs, Gy. Takács: *Issues of the orientation of return guide in ballscrews*, MicroCAD 2003, International Scientific Conference 6–7. March 2003, Miskolc, Section K: Machine and structure design
- [E-2] Hegedűs Gy., Patkó Gy., Takács Gy.: *Ball screw recirculating part analysis*, IV. International Conference of PhD Students University of Miskolc, 14. August 2003, Section D2: Engineering Science
- [E-3] Hegedűs Gy., Patkó Gy., Takács Gy.: *Determination of Tool Profile for Ballnut Grinding by Numerical Methods*, 13th International Conference on Tools, ICT 2012, 27-28 March, 2012, Miskolc, Hungary
- [E-4] Hegedűs Gy., Patkó Gy., Takács Gy.: *Determination of Tool Profile for Ballnut Grinding by Surface-Surface Intersections*, XXVI. MicroCAD International Scientific Conference, University of Miskolc, 29-30 March, 2012, L1 section: Production Engineering and Manufacturing Systems

Magyar nyelvű

- [E-5] Hegedűs Gy., Takács Gy.: *Golyós–menetes hajtások számítógépes geometriai analízise*, Géptervezők és Termékfejlesztők XVIII. Országos Szemináriuma, Gép és terméktervezés szekció, Miskolc, 2002. november 7–8.
- [E-6] Hegedűs Gy., Patkó Gy., Takács Gy.: *Az axiális tájolás és hibaanalízise golyósorsóknál*, XI. Nemzetközi Gépész Találkozó – OGÉT 2003, 2003. május 10., Minőségbiztosítás és környezetvédelem, közlekedéstechnika szekció
- [E-7] Hegedűs Gy., Takács Gy., Patkó Gy.: *Golyósorsó visszavezető tag vizsgálata*, A Szerszámgépek Tanszéke 40 éves jubileuma alkalmából rendezett szakmai szimpózium, 2003. október 17.
- [E-8] Hegedűs Gy.: *Váltópályák közelítése numerikus módszerekkel*, Doktoranduszok Fóruma, Gépek és szerkezetek tervezése szekció, Miskolci Egyetem, 2003. november 6.
- [E-9] Hegedűs Gy., Patkó Gy., Takács Gy.: *Váltópálya vizsgálata golyósorsó esetén*, XII. Nemzetközi Gépész Találkozó – OGÉT 2004, 2004. április 24., Általános gépészet II. szekció
- [E-10] Hegedűs Gy., Patkó Gy., Takács Gy.: *Golyós–menetes hajtások pontosságnövelésének kérdései*, A MeAKKK II. Szemináriuma, Miskolci Egyetem, 2005. február 25.
- [E-11] Hegedűs Gy., Patkó Gy., Takács Gy.: *Golyósanya köszörűkorong–profil meghatározása CAD alkalmazással az alakítási mechanizmus alapján*, XIII. Nemzetközi Gépész Találkozó – OGÉT 2005, 2005. április 30., CAD szekció
- [E-12] Hegedűs Gy.: *Golyósanya belső menetes felületének megmunkálására alkalmas szerszámprofil meghatározása CAD alkalmazással*, 2011. április 8., GTE Gyártási Rendszerek Szakosztályi ülés, Miskolci Egyetem
- [E-13] Hegedűs Gy., Patkó Gy., Takács Gy.: *Szerszámbefogó-munkadarab ütközésvizsgálata golyósanya köszörülésekor*, Géptervezők és Termékfejlesztők XXVII. Szemináriuma, Miskolc, 2011. november 10-11.

- [E-14] Hegedűs Gy., Takács Gy., Patkó Gy.: *A származtatáselmélet alkalmazása és a numerikus megoldás előállítása golyós menetes mozgás-átalakító mechanizmusoknál*, Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának Gépszerkezettani Tudományos Bizottság – Mechanizmusok Albizottsága előadói ülése, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Budapest, 2012. május 9.
- [E-15] Hegedűs Gy., Takács Gy., Patkó Gy.: *Golyósanya szerszámprofiljának közelítése ellipszisívvel*, Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2012, 2012. május 10., Szolnoki Főiskola
- [E-16] Hegedűs Gy., Takács Gy., Patkó Gy.: *A megmunkálási pontosság hatása a kapcsolószögű golyósorsóknál*, Mechatronikai és Logisztikai Kiválósági Központ Disszeminációs Konferenciája, Miskolc, 2012. május 25.
- [E-17] Hegedűs Gy., Takács Gy., Patkó Gy.: *Szerszámprofil származtatása CAXx alkalmazással*, Mechatronikai és Logisztikai Kiválósági Központ Disszeminációs Konferenciája, Miskolc, 2012. május 25.
- [E-18] Hegedűs Gy., Takács Gy., Patkó Gy.: *Golyósanya szerszámprofiljának meghatározása hagyományos furatköszörűnél*, Mechatronikai és Logisztikai Kiválósági Központ Disszeminációs Konferenciája, Miskolc, 2012. május 25.
- [E-19] Hegedűs Gy., Takács Gy., Patkó Gy.: *Gótikus körívprofilú golyósanya szerszámprofiljának közelítése ellipszissel*, Mechatronikai és Logisztikai Kiválósági Központ Disszeminációs Konferenciája, Miskolc, 2012. május 25.

Konferencia kiadványokban megjelent cikkek

Magyar nyelvű lektorált

- [K-1] Hegedűs Gy., Patkó Gy., Takács Gy.: *Az axiális tájolás és hibaanalízise golyósorsóknál*, XI. Nemzetközi Gépész Találkozó – OGÉT 2003, 182–185, (ISBN 973–86097–2–0)
- [K-2] Hegedűs Gy., Patkó Gy., Takács Gy.: *Váltópálya vizsgálata golyósorsó esetén*, XII. Nemzetközi Gépész Találkozó – OGÉT 2004, 124–128, (ISBN 973–86097–9–8)
- [K-3] Hegedűs Gy., Patkó Gy., Takács Gy.: *Golyós–menetes hajtások pontosságnövelésének kérdései*, Mechatronika, Anyagtudomány, Miskolc, Vol. 1, No. 2 (2005), 131–138, ISSN 1589–827X
- [K-4] Hegedűs Gy., Patkó Gy., Takács Gy.: *Golyósanya köszörűkorong–profil meghatározása CAD alkalmazással az alakítási mechanizmus alapján*, XIII. Nemzetközi Gépész Találkozó – OGÉT 2005, 160–163, (ISBN 973–7840–03–8)
- [K-5] Hegedűs Gy., Patkó Gy., Takács Gy.: *Szerszámprofil meghatározása numerikus módszerekkel golyósanya-köszörülésnél*, XX. Nemzetközi Gépész Találkozó – OGÉT 2012, 173–176, (ISSN 2068-1267)

Idegen nyelvű lektorált

- [K-6] Gy. Hegedűs, Gy. Takács: *Issues of the orientation of return guide in ballscrews*, MicroCAD 2003, International Scientific Conference 6–7. March 2003, Miskolc, Section K: Machine and structure design, 37–42, (ISBN 963 661 557 8)
- [K-7] Hegedűs Gy., Patkó Gy., Takács Gy.: *Determination of Tool Profile for Ballnut Grinding by Surface-Surface Intersections*, XXVI. MicroCAD International Scientific Conference, University of Miskolc, 29-30 March, 2012, (ISBN 978-963-

661-773-8), CD kiadvány, L1 section: Production Engineering and Manufacturing Systems

- [K-8] Hegedűs Gy., Patkó Gy., Takács Gy.: *Determination of Tool Profile for Ballnut Grinding by Numerical Methods*, Proceedings of 13th International Conference on Tools, 2012, pp.:221-224., (ISBN 978-963-9988-35-4)

Magyar nyelvű nem lektorált

- [K-9] Hegedűs Gy.: *Váltópályák közelítése numerikus módszerekkel*, Doktoranduszok Fóruma, Gépek és szerkezetek tervezése szekció, Miskolci Egyetem, 2003. november 6., Gépészmérnöki Kar Szekciókiadványa, 96–102,

Idegen nyelvű nem lektorált

- [K-10]Hegedűs Gy., Patkó Gy., Takács Gy.: *Ball screw return guide analysis*, IV. International Conference of PhD Students University of Miskolc, Engineering Science II., 89–94, (ISBN 963 661 591)

Lektorált folyóiratban megjelent cikkek

- [P-1] Hegedűs Gy., Takács Gy.: *Golyós–menetes hajtások számítógépes geometriai analízise*, GÉP, LIII. évfolyam, 2002/ 6–7., pp.: 34–37., (ISSN 0016–8572)
- [P-2] Hegedűs Gy., Tajnafői J., Patkó Gy., Takács Gy.: *Visszavezető–tag tájolása golyósorsók esetén*, GÉP, LIV. évfolyam, 2003/3–4., pp.: 13–16., (ISSN 0016–8572)
- [P-3] Hegedűs Gy., Patkó Gy., Takács Gy.: *Szerszámbefogó-munkadarab ütközésvizsgálata golyósanya köszörülésekor*, GÉP, LXII. évfolyam, 2011/9-10, pp.: 72-75., (ISSN 0016-8572)
- [P-4] Hegedűs Gy., Takács Gy., Patkó Gy.: *A megmunkálási pontosság hatása a kapcsolószögre golyósorsóknál*, GÉP, LXIII. évfolyam, 2012/3, pp.: 59-62., (ISSN 0016-8572)
- [P-5] Hegedűs Gy., Takács Gy., Patkó Gy.: *Szerszámprofil származtatása CAxx alkalmazással*, GÉP, LXIII. évfolyam, 2012/3, pp.: 63-66., (ISSN 0016-8572)
- [P-6] Hegedűs Gy., Takács Gy., Patkó Gy.: *Golyósanya szerszámprofiljának meghatározása hagyományos furatköszörűnél*, GÉP, LXIII. évfolyam, 2012/3, pp.: 67-70., (ISSN 0016-8572)
- [P-7] Hegedűs Gy., Takács Gy., Patkó Gy.: *Gótikus körívprofilú golyósanya szerszámprofiljának közelítése ellipszissel*, GÉP, LXIII. évfolyam, 2012/3, pp.: 71-74., (ISSN 0016-8572)

7. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Eugene L. Allgower, Kurt Georg: *Introduction to Numerical Continuation Methods*, SIAM, 1987
- [2] Bányai K.: *Új típusú spiroid hajtások gyártásgeometriája, elemzése*, PhD értekezés, Miskolci Egyetem, 2007
- [3] Bercsey, T.: *Csigahajtópárok kapcsolódási viszonyainak számítógépes szimulációja és optimalása*, MicroCAD '90, Miskolc, 1990
- [4] Bercsey, T.: *Globoid csiga és sík fogfelületű hengeres kerék kapcsolódási viszonyainak vizsgálata*, Egyetemi doktori értekezés, Budapest, 1971
- [5] Bercsey, T.: *Toroidhajtások elmélete*, Kandidátusi értekezés, Budapest, 1977
- [6] Bercsey, T.; Horák, P.: *A new tribological model of worm gear teeth contact*, ASME 7th International Power Transmission and Gearing Conference, San Diego, 1996. Proceedings, pp. 147–152
- [7] Bercsey, T.; Horák, P.: *Error analysis of worm gear pairs*, 4th World Congress on Gearing and Power Transmission 16–18. 03. 1999. CNIT–PARIS
- [8] Bercsey, T.; Groma I.: *Csavarfelületek geometriai hibáinak modellezése*, Géptervezők és Termékfejlesztők Országos Szemináriumának kiadványa, Miskolc, 2006/8–9 1. kötet LVII évfolyam 57–60
- [9] N. Chernov, C. Lesort: *Least squares fitting of circles*, Journal of Mathematical Imaging and Vision, 23 (2005), 239–251.
- [10] N. Chernov, A. Al-Sharadqah: *Error analysis for circle fitting algorithms*, Electronic Journal of Statistics, 3 (2009), 886–911.
- [11] Drobni, J.: *Az ívelt profilú hengeres csigahajtások számítása*, NME Gépelemek Tan-székének Közleményei, 194. szám 1968
- [12] Drobni, J.: *Köszörülhető globoid csigahajtások*, Kandidátusi értekezés, Budapest, 1968
- [13] Drobni, J.; Szarka, Z.: *A korlátozott fogérintkezési mező kialakítása különféle csiga-hajtásoknál*, II. Fogaskerék Konferencia, Budapest, 1969. Formation of restricted tooth contact region in case of different worm drives, 2nd Conference on Gears, Budapest, 1969
- [14] Dudás, I.; Dudás, L.: *CAD/CAM system for geometrically exact manufacturing of helicoid surfaces*, ICED 90 Dubrovnik, Proceedings of ICED'90 Vol.4. 28–31. 08. 1990, 1839–1846
- [15] Dudás, I.: *Csavarfelületek gyártásának elmélete*, Akadémiai doktori disszertáció, Miskolc, 1991
- [16] Dudás, I.: *Manufacturing of Helicoid Surfaces in CAD/CAM Systems*, International Conference On Motion and Power Transmission, MPT '91, Hiroshima, November 23–26, 339–344
- [17] Dudás, I.: *The Theory and Practice of Worm Gear Drives*, Kogan Page US., USA, 2004
- [18] Dudás, L.: *Kapcsolódó felületek gyártásgeometriai feladatainak megoldása az elérési modell alapján*, Kandidátusi értekezés, Budapest, TMB, 1991, 144p.

-
- [19] Dudás, L.: *New possibilities in Computer Aided Design of Gear Mesh*, Publ. Univ. of Miskolc, Series C, Mechanical Engineering. Vol. 49. (1999) pp. 39–47
- [20] Dudás, L.: *New way for the innovation of gear types*, *Engineering the Future*, Chapt. 6. Sciyo, Croatia, 2010, ISBN 978–953–307–210–4 pp.111–140
- [21] W. Gander, G. H. Golub, R. Strebler: *Least-squares fitting of circles and ellipses*, BIT Numerical Mathematics, 1994, Volume 34, Number 4, 558–578
- [22] H. I. Gohman: *Theory of Gearing Generalized and Developed Analytically*, Odessa, 1886
- [23] R. Hal, J. Flusser: *Numerically stable direct least squares fitting of ellipses*, The Sixth International Conference in Central Europe on Computer Graphics and Visualization (1998), Volume 21, Issue 5, 125–132
- [24] Harada H., Kagiwada T.: *Method for ball screw generation without form-dressing*, Mechanical systems machine elements and manufacturing, JSME Int J Ser C (1996), 39(4), 871–877
- [25] Harada H, Kagiwada T, Uraike T.: *Method for ball-nut generation without form dressing*, Trans JSME Ser C (1999), 65 (639), 4521–4526
- [26] Harada H, Kagiwada T, Imada R, Iida S.: *Computer-aided female screw grinding without form dressing*, Trans JSME Ser C (1999), 65 (635), 2933–2939
- [27] Harada H., Kagiwada T.: *Grinding of high-lead and gothic-arc profile ball-nuts with free quill-inclination*, Precision Engineering 28 (2004), 143–151
- [28] V. Ivanov, G. Nankov, V. Kirov: *CAD orientated mathematical model for determination of profile helical surfaces*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 38 (8) (1998), 1001–1015
- [29] V. Ivanov, G. Nankov: *Profiling of rotation tools for forming of helical surfaces*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 38 (9) (1998), 1125–1148
- [30] S. K. Kang, K. F. Ehmann, C. Lin: *A CAD approach to helical groove machining—I. mathematical model and model solution*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 36 (1) (1996), 141–153
- [31] K.-Y. Lee, D.-Y. Cho, T.-W. Kim: *A tracing algorithm for surface-surface intersections on surface boundaries*, Journal of Computer Science and Technology Volume 17, Number 6, 843–850
- [32] Lévai, I.: *Kitérő tengelyek közt változó mozgásátvitelt megvalósító – egyeneselű szer számmal lefejtethető-fogazott kerekek*, Kandidátusi értekezés, Budapest, 1966
- [33] Lévai I.: *Hipoidhajtások tervezésének alapjai*, Egyetemi Kiadvány, 1994
- [34] Litvin, F. L., De Donno, M.: *Computer methods in applied mechanics and engineering*, Gear Research Laboratory, Department of Mechanical Engineering, University of Illinois at Chicago, IL 60607–7022, USA, 1997
- [35] Litvin, F. L.: *Development of Gear Technology and Theory of Gearing*, NASA Reference Publication 1406, Chicago, 1998.
- [36] Litvin, F. L.: *A fogaskerékkapcsolás elmélete*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1972
- [37] Litvin, F. L. – Kim, D. H.: *Computerized Design, Generation and Simulation of Meshing of Modified Involute Spur Gear With Localized Bearing Contact and Reduced Level of Transmission Errors*, *Journal of Mechanical Design*, Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, 119 (1997), 96–100

- [38] Litvin, F. L. – Kin, V.: *Computerized Simulation of Meshing and Bearing Contact for Single-Enveloping Worm-Gear Drives*, Journal of Mechanical Design, Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, 114 (1992), 313–316
- [39] Litvin, F. L. – Seol, I. H.: *Computerized Determination of Gear Tooth Surface as Envelope to Two Parameter Family of Surfaces*, Computer Methods in Applied Mechanics Engineering, 138 (1996), 213–225
- [40] Magyar J.: *Csavarfelületű elemek kapcsolódása*, Budapest, 1958, Kandidátusi értekezés
- [41] V. M. Makarov, K. A. Chernyshov: *Shaping a Toothed Surface by Means of an Abrasive Wheel*, Russian Engineering Research 28 (10), (2008), 994–997
- [42] V. M. Makarov, A. S. Kosterin: *Simulation of the Working Surface of a Grinding Wheel in Complex Gear Cutting*, Russian Engineering Research 28 (10), (2008), 1125–1128
- [43] L. V. Mohan, M. S. Shunmugam: *CAD approach for simulation of generation machining and identification of contact lines*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 44 (7–8) (2004), 717–723
- [44] T. Olivier: *Théorie géométrique des engrenages*, Párizs, 1842
- [45] Óváriné Balajti Zs.: *Kinematikai hajtópárok gyártásgeometriájának fejlesztése*, PhD értekezés, Miskolci Egyetem, 2007
- [46] M. Pílu, A. Fitzgibbon, R. Fisher: *Ellipse-specific direct least-square Fitting*, IEEE International Conference on Image Processing, Lausanne, September 1996
- [47] S. P. Radzevich: *Determining the Shape of Working Teeth Surfaces in Disk Shavers for the Manufacture of Precision Gears*, Russian Engineering Research 29 (2), (2009), 205–209
- [48] Chaman L. Sabharwal: *A fast implementation of surface/surface intersection algorithm*, Proceeding SAC '94 Proceedings of the 1994 ACM symposium on Applied Computing, 333–337
- [49] Szeniczai L.: *Csigahajtóművek*, Budapest, 1957, Műszaki Könyvkiadó
- [50] Tajnafői J.: *Szerszámgépek mozgásleképező tulajdonságainak elvei és néhány alkalmazása*, Kandidátusi értekezés, Kézirat, Miskolc, 1965
- [51] Tajnafői J.: *Mechanizmusok származtatáselméletének alapjai és hatása a kreatív gondolkozásra. (Diszkrét és végtelen megoldáshalmazok szemléletére és a funkcióösszevonás elveire épülő tervezési módszerek.)*, Doktori értekezés, Miskolc, 1991
- [52] Hakan Tiftikci: *Applications of Numerical Continuation, ODE-IVP Approach*, Application Demonstration, Application Center, Maplesoft, www.maplesoft.com