

KORSZERŰ HAJTÓMŰVEK ELŐÁLLÍTÁSA INTELLIGENS, INTEGRÁLT RENDSZEREKBE – A TERVEZÉSTŐL A MEGVALÓSULÁSIG

MANUFACTURE OF MODERN WORM GEAR DRIVES IN INTELLIGENT INTEGRATED SYSTEMS – FROM DESIGN TO REALIZATION

Dudás Illés

Miskolci Egyetem, Gyártástudományi Intézet, H-3515 Miskolc, Egyetemváros

*Nyíregyházi Főiskola, Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológia Tanszék,
H-4400, Nyíregyháza, Sóstói u. 31/B., illes.dudas@uni-miskolc.hu*

Abstract

At each stage in the process of production of worm gear drives, during design, manufacture and assembly, faults can occur. Modern intelligent integrated systems can handle manufacturing in a versatile and flexible way; they can be efficiently utilized both in design and at the different phases of manufacture to improve product quality. Artificial intelligence and expert systems can now be used in the production of worm gear drives. It is also a good basis for the realization of the holonic manufacturing systems.

Keywords: modern worm gear boxes, integrated manufacturing systems, CAD, CAM, CAQ, CIM

Összefoglalás

A csigahajtások előállításánál a tervezés, gyártás, szerelés folyamatában a marketingtől a késztermék kibocsátásáig bárhol előfordulhat hiba. Az Intelligens Integrált Rendszerek tudják kezelni a rugalmas gyártást és a variációkat is. Így mind a tervezésben, mind pedig a gyártási fázisokban hatékonyan felhasználhatók a minőség javítása érdekében. A mesterséges intelligencia kialakulásával, a szakértői rendszerek elterjedésével megnyílt a lehetőség ezen módszerek alkalmazására a csigahajtások előállításának területén is. Ez jó alapot ad a holonikus gyártórendszerek kialakítására is.

Kulcsszavak: korszerű csigahajtóművek, integrált gyártórendszerek, CAD, CAM, CAQ, CIM

1. Szakértői rendszerek alkalmazása csavarfelületek előállítására

Napjainkban a számítógépes tervezés (CAD), a CNC gépekkel történő gyártás (CAM), a CNC mérőgépekkel történő minősítés (CAQ) magasabb szinten ad lehetőséget a korrekciókra, megfelelő hálózat kiépítése esetén [9,10].

1.1. Csigahajtások gyártási problémái

A jó hatásfokú, nagyteljesítményű, alacsony zajszintű csigahajtások pontos megmunkálása köszörüléssel biztosítható.

A csavarfelületek köszörülésekor az alapvető problémát az okozza, hogy a köszörűkorong kopása miatti átmérőváltozás más korongprofilot kíván meg ugyanazon csavarfelület kialakításához. A másik lé-

nyeges hibalehetőség a szerszámok beállítási hibája mind a csiga, mind a csigakerék gyártása esetén. A hajtópár tagjainak CNC mérőgéppel történő geometriai ellenőrzése, a minősítés eredményének kiértékelése lehetőséget biztosít a hiba okok feltárására, ezáltal a gyártásba történő visszacsatolásra.

Ez különösen a kúpos csigák (spiroidok) gyártása esetén előnyös, mivel a kúpos csavarfelületek esetében a tengely mentén pontról pontra haladva más-más profilú köszörűkorongra lenne szükség az egzakt befejező megmunkálás érdekében.

1.2. A rendszer felépítése

A [9]-ban és az [10]-ben kidolgoztunk egy olyan módszert (általános matematikai modellt), amely a helikoid hajtások, hengeres és kúpos csigák, csigakerekek és szerszámaik tervezése, gyártása és geometriai minősítése területén irányt mutat egy szakértői rendszer tudásbázisának felépítéséhez.

A szakértői rendszer struktúrája [22]

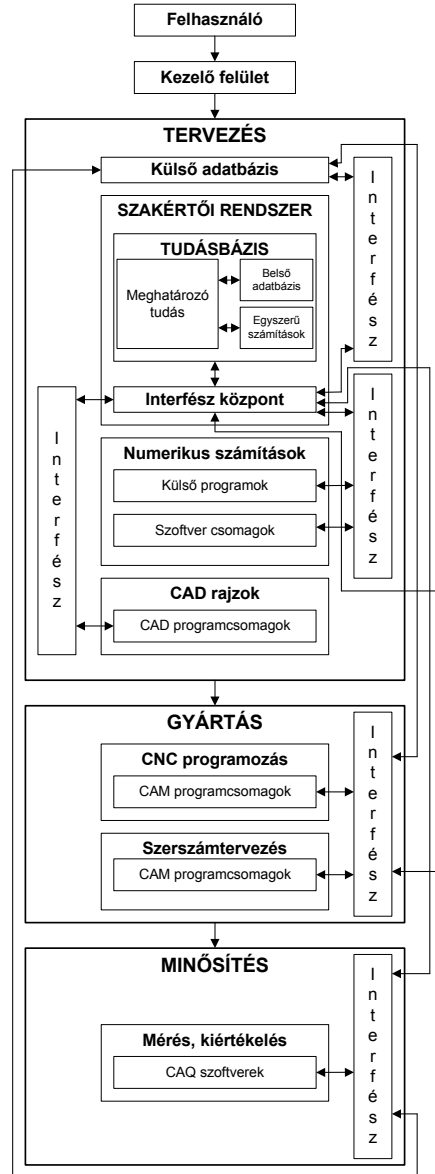
A rendszernek a következő tevékenységeket kell integrálnia:

- koncepcionális tervezés: a tervezés, specifikációk eredményei, stb.,
- részletes tervezés: analízis, anyagválasztás, rajzok, stb.,
- gyártás: szerszámozás, CNC programozás, stb.,
- mérés, ellenőrzés.

Mindezeket a feladatokat elvégző rendszerelemeket öt kategóriába (alapvető funkcionális egységbe) lehet sorolni:

- tudásbázis,
- numerikus számítások,
- adatkezelés, adatbázis,
- grafikus megjelenítés, rajzolás,
- az eszközök vezérlése (gépek, meghajtók, stb.).

Ezt a felépítést mutatja a **1. ábra**. A szakértői rendszer, mint egy koordinátor vezérli a többi elemet.



1. ábra. A szakértői rendszer felépítése a csigahajtások tervezésére

1.3. A teljes eljárás tartalma

Az Intelligens Integrált Rendszer (a csigahajtásokra vonatkozóan) a következő feladatokat oldja meg.

Tervezési specifikációk (konceptcionális tervezés)

A felhasználó először megadja a tervezési specifikációkat.

- bemenő fordulatszám, sebesség, kinematikai áttétel, átviendő teljesítmény, tengelyhelyzetek, tengelytáv, stb.

A program ezek alapján változatokat ajánl:

- modul, fogszámok, stb.

Részletes tervezés

- anyagválasztás (anyag adatbázisból),
- alapvető geometriai adatok meghatározása (**2. ábra**), ezek alapján geometriai tervezés, kapcsolódásvizsgálat és feszültség analízis (kapcsolódásból véges elemes módszerrel),
- a csiga és a kerék részletes terve.

A terv ellenőrzése

Ha valamely eredmény nem felel meg, módosítás következik.

CAD rajz készítése

Az eredmények alapján CAD rajz készül a csigáról és a csigakerékről, melyeket adatbázisba mentenek (emlék).

Rapid-Prototyping eljárással modell készítése

Gyártás

- a szerszámok meghatározása, mind a csiga, mind a kerék gyártásához,
- CNC program generálása,
- korongprofil meghatározása (lefejtő CNC program generálás),
- egyéb adatok (pl. csigakerék marás beállítási adatai).

Mérés

A kiinduló adatok alapján adott felület CNC mérése, hibák elemzése és vissza-

csatolása a gyártási folyamatba (pl. korongprofil, gép- és szerszámbeállítások, stb.)

2. Intelligens automatizálás a csigahajtások tervezésében, gyártásában

A nagyteljesítményű hajtópárok tervezése és gyártása mindig újabb és újabb problémákat vet fel mind a konstrukciós, mind pedig a technológiai tervezés területén. Az egyenes fogú hengeres fogáskerékpároktól kezdve a felhasználói igények növekedésével a legkülönbözőbb hajtópár típusok jelentek meg, melyekkel szemben újabb követelményeket támasztottak:

- kinematikai (metsződő tengelyű, kitérő tengelyű hajtások), teljesítménynövelés, zajszintcsökkentés stb [4, 5, 12, 13, 15, 18].

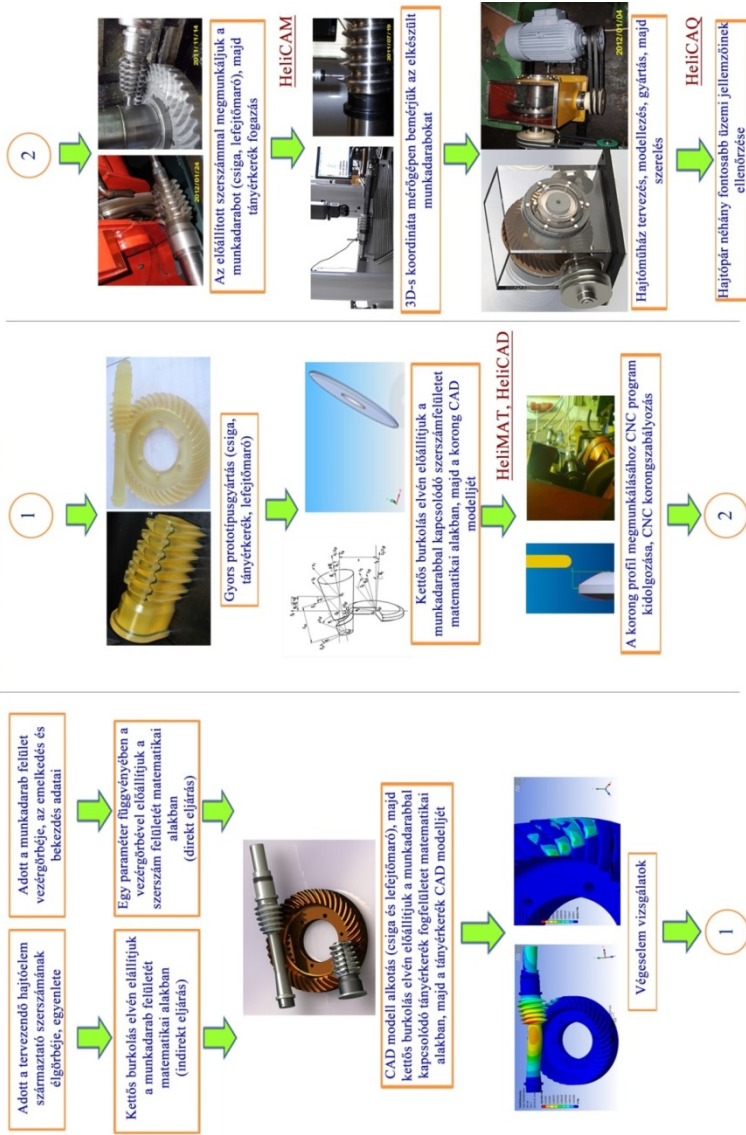
A tervezés és gyártás bonyolultsága az oka annak, hogy e téma terület - csigahajtópárok gyártása intelligens rendszerben - más területek intelligens automatizáltságához képest lemaradt, annak ellenére, hogy a fogazatokat megmunkáló szerszámgépek automatikus üzeműek. Ez a potenciális előny indokolja azt, hogy a terméktervezés, a gyártástervezés és a gyártás többi összetevője is az intelligens automatizálás rendszerében történjen (**3. ábra**) [9, 10, 20].

Bár a teljes tervezés folyamatától elszakadni nem lehet, az alábbi elemek közül csak néhányal tudunk e helyen foglalkozni az intelligens automatizálás szemszögéből.

A teljes tervezés folyamata:

- piackutatás, terméktervezés specifikációja, konceptcionális tervezés, részletes tervezés, gyártás
- értékesítés, stb.

Csavarfelületek előállítása intelligens integrált gyártórendszerben
Prof. Dr. Dudás Illés



2. ábra. CIM rendszer a csavarfelületek előállítására

Számítógépes tervező munkahely a munkadarab felület vezergörbéje, az emelkedés és a bekezdés adataiból kiindulva alkalmas a munkadarabmal kapcsolódó szerzámmártaó felület, mint kétfős változó függvény előállítására (**direkt módszer**), valamint a szerzámmártaó legyártásához szükséges CNC

korongszabályozó berendezés input adatainak mindenkor generálására. Ezáltal a tervezés és gyártás CAD/CAM integrációja valósul meg, amely CAQ fázissal is kiegészíthető.

A tervező munkahely a CAD fázisban olyan feladat megoldására is képes, amikor

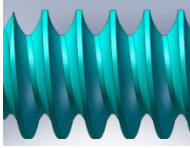
adott a tervezendő hajtóelem (csiga) szár-
mazzató szerszámának felülete ill. élgörbéje
és kettős burkolás elvén előállítandó a
munkadarab felülete, mint kétváltozós
függvény (**indirekt eljárás**).

A CNC köszörűkorong lefejtő készülék
a CAD/CAM CAQ integráció kulcseleme,
amely megteremti a CIM rendszerbe épít-
hető köszörű gyártócella létrehozásának lehe-
tőségét. Ennek elvi felépítését a **2. ábra**
szemlélteti.

Alapadatok a matematikai elemzések-
hez:

Tengelymetszetben körív profilú henge-
res csiga kétparaméteres vektor – skalár
függvénye [9]:

$$\left. \begin{aligned} x_{1F} &= -\eta \cdot \sin \vartheta; \\ y_{1F} &= \eta \cdot \cos \vartheta; \\ z_{1F} &= p \cdot \vartheta - \sqrt{\rho_{ax}^2 - (K - \eta)^2} \\ t_{1F} &= t_{sz} = 1. \end{aligned} \right\} \text{jobb profil} \quad (1)$$

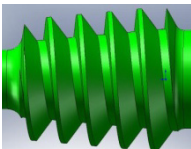


Általános vonalfelületű kúpos csavarfe-
lület kétparaméteres vektor – skalár függ-
vénye [9, 16]:

$$\vec{r}_{1F} = \begin{bmatrix} -B_1 \cdot \sin \vartheta + r \cdot \cos \vartheta \\ B_1 \cdot \cos \vartheta + r \cdot \sin \vartheta \\ u \cdot \sin \beta + p_a \cdot \vartheta \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

A fenti általános alak:

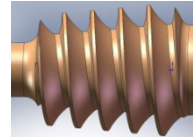
$$\left. \begin{aligned} r &= 0 \text{ esetén archimedesi,} \\ r &= r_a = p_a \cdot \text{ctg} \beta - p_1 > 0 \text{ esetén evolvens,} \\ 0 < r &= r_D < r_a \text{ esetén konvolut csavarfelületet ad.} \end{aligned} \right\}$$



Tengelymetszetben körív profilú kúpos
csiga kétparaméteres vektor – skalár függ-
vénye [6,7]:

- előrehajtás oldal:

$$\left. \begin{aligned} x_{1F} &= -\eta \cdot \sin \vartheta \\ y_{1F} &= \eta \cdot \cos \vartheta + p_r \cdot \vartheta \\ z_{1F} &= p_a \cdot \vartheta + \sqrt{\rho_{ax}^2 - (K_e - \eta)^2} \\ t_{1F} &= t_{sz} = 1 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$



3. Bonyolult felületpárok előállítá- sa holonikus gyártórendsze- rekben

A holonikus gyártórendszerek informá-
ciós kapcsolatát mutatjuk itt be a bonyolult
felületpárok esetére, a bonyolult felületpá-
rok (kúpos vagy hengeres csigahajtópár)
megmunkálására alkalmas holonikus gyár-
tórendszer példájaként. A gyártórendszert
egy központi számítógép felügyeli (4. ábra).

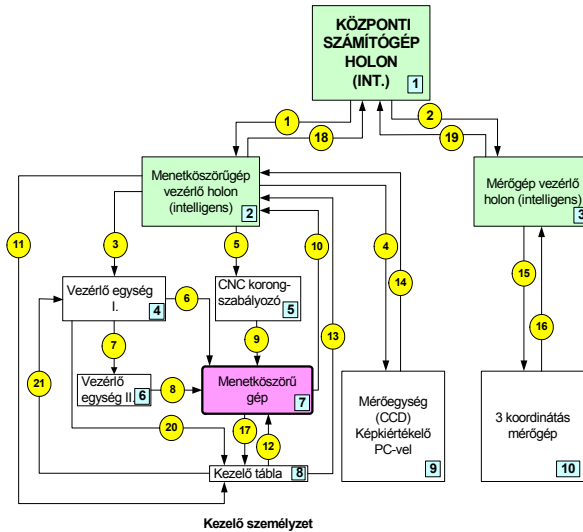
A holonikus gyártórendszerekben meg-
van a lehetőség a következő előnyök szol-
gáltatására:

- A holonikus gyártórendszerek képesek a gyors ön rekonfigurációra válaszul a változásra és a bizonytalanságra mely elválaszthatatlan a XXI. századi gyártási környezetben.
- Az emberek szerepe határozottan számításba van véve a holonikus gyártórendszerek architektúrájában, így a vállalatok használhatják az emberek intellektuális képességeit és rugalmasságát.
- Az emberi és a gépi intelligencia holonokká való alakítása és az azokhoz tartozó együttműködő viselkedés lehetővé teszi a „virtuális vállalatok” kiala-

kítását mind a cég határain belül és kívül is.

Továbbá, a holonikus gyártórendszerek jelentik és magukba foglalják a következőket [19]:

- A vállalat különféle **forrásainak integrációja** és rendszerre decentralizációja.
- **Emberi integráció.**
- **Együttműködés.**
- **Modularitás.**
- **Fejlesztés.**



4. ábra. A helikoid felületek holonikus rendszerének struktúrája [13]

A 4. ábrán a struktúra elemeit téglalapokkal szemléltettük, míg a közöttük lévő információs kapcsolatokat (nyílhegyben végződő) folytonos vonalakkal ábrázoltuk. Az elemeket négyzetbe tett számokkal, míg az információs csatornákat körbe írt számokkal azonosítottuk. Az egyes elemek funkciói az információs kapcsolatok vonatkozásában az alábbiak :

Központi számítógép holon 1

- A matematikai modell alapján az aktualizált paraméterek felhasználásával előállítja az elméleti felület egyenletét,
- Előfeldolgozást végez:
 - a menetkösörű gép 7 vezérléséhez,
 - a CNC korongszabályozó 5 vezérléséhez,

- a 3 koordinátás mérőgép 10 vezérléséhez,
- a CCD kamerával rendelkező mérőegység 9 részére,
- A kösörűkorong lefejtésének minimalizálása alapján optimalizálja a menetkösörű gép 7 és a lefejtő berendezés mozgásait,
- Feldolgozza a 3 koordinátás mérőgép 10 és a CCD kamerával és képkértékelő szoftverrel rendelkező mérőegység 9 által szolgáltatott eredményeket, szükség esetén korrekciót hajt végre a menetkösörű gép 7 és a lefejtő berendezés vezérlő egységéhez 4 ,
- Elvégzi a szükséges dokumentálásokat.

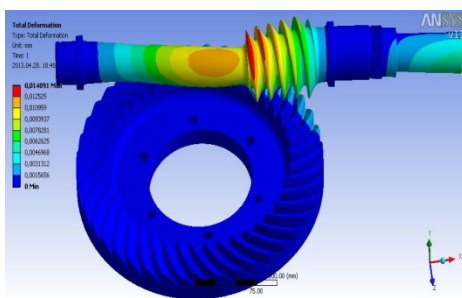
Menetköszörűgép vezérlő holon **2**

- a központi számítógép holontól **1** kapott adatok alapján vezérli a menetköszörű gép **7** és a CNC korongszabályozó **5** berendezés mozgását,
- a korongkopást figyelő CCD kamerával és képkéértékelő szoftverrel rendelkező mérőegységtől **9** érkező információkat összehasonlítja a központi számítógép holontól **1** kapott adatokkal és eltérés esetén korrekciót végez.

Mérőgép vezérlő holon **3**

- a központi számítógép holontól **1** kapott adatok alapján (elméleti felület) a szükséges pontokra vezérli a tapintót,
- a mért pontok előfeldolgozását követően az eredményeket a központi számítógép holon **1** felé továbbítja.

Az előbbi fő funkciók a kiemelt elemek esetében mindenképpen intelligens berendezéseket kívánnak meg. Természetesen a központi számítógép holon **1** által végzett előfeldolgozások, eredmény feldolgozások egy része leadható a többi vezérlő felé, amennyiben azok megfelelő intelligenciával rendelkeznek. Holonikus gyártórendszerben ezt a feltételt mind a menetköszörűgép vezérlő holon **2**, mind a mérőgép vezérlő holon **3** teljesíti.



5. ábra. Tengelymetszetben körív profilú kúpos csigahajtóár végeelem vizsgálata

A holonikus rendszer része a végeelem vizsgálat. Az **5. ábra** az általunk tervezett és gyártott ívelt spiroid hajtás deformáció vizsgálatát mutatja.



5. ábra. Új geometriájú kúpos csiga határfok mérés és zaj- és rezgésdiagnosztikai vizsgálata (DifiCAD Kft., Miskolc)

4. Következtetések

A korábbi kutatásaink eredményeként sikerült egy olyan általános CIM rendszert, illetve holonikus gyártórendszert kialakítani, amelyben típustól függetlenül, bármilyen fogazott kapcsolódó párt, illetve hajtóművet a tervezéstől a megvalósulásig meg tudunk oldani. A lényeges elemek közül a köszörűgép fejlesztése folyamatosan történik, a korongszabályozót, ívelt profilú csigahajtást, a spiroid hajtást, kúpos ívelt csigahajtást szabadalmaztattuk. A rendszer lényegét a DIFI-CAD Mérnökirodánál Miskolcon megépítettük és üzemeltetjük.

A témavezetéssel készült doktori (Ph.D.) disszertációk kapcsolódnak a témához: [1, 3, 6, 8, 15].

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Balajti Zs.: *Kinematikai hajtópárok gyártásgeometriájának fejlesztése*, Ph.D. értekezés, Miskolc, Miskolci Egyetem, 2007.
- [2] Bányai, K., Dudás, I.: *Analysis of the spiroid driving having new production geometry*, Production Process and Systems, A publication of the University of Miskolc, Miskolc, volume 1 (2002), pp. 177-184.

- [3] Bányai, K.: *Hengeres csigák gyártásgeometriája és ellenőrzése*, Egyetemi doktori értekezés, Miskolc, 1977.
- [4] Bercsey, T.: *Toroid hajtások elmélete*. Kandidátusi értekezés, Budapest, 1977.
- [5] Orbán, Gy., Bitay, E.: *Kitérő tengelyű kúpkérek-hajtások egymást burkoló fogfelületeinek meghatározása a főpont figyelembevételével*. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka II. Románia, 1997.03.21-1997.03.22. ISBN:973-98092-2-7 Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 1997. pp. 105-108.
- [6] Bodzás, S.: *Kúpos csiga-, tányérkerék- és szerszám felületek kapcsolódásának elemzése*, Ph.D. értekezés, Miskolci Egyetem, 2014., p. 154., Doktori témavezető: Prof. Dr. Dudás Illés, DOI 10.14750/ME.2014.006
- [7] Bodzás, S., Dudás, I., Horváth, R., Dudás, I. Sz., Mándy, Z.: *Measuring and analysis of noise level of a new geometric, arched profile conical worm gear drive in axial section*, Machine Design, Volume 5, Numbers 2, 2013, Novi Sad, Szerbia, pp. 75 – 78., ISSN 1821-1
- [8] Csóka, L.: *Csigakerék lefejtőszerszámok gyártásgeometriája*, Egyetemi doktori értekezés, ME, 1990,
- [9] Dudás, I.: *The Theory & Practice of Worm Gear Drives*. Kogan Page US, Sterling, USA, 2004. ISBN 1 9039 96619 9.
- [10] Dudás, I.: „*Csavarfelületek gyártásának elmélete*”. Akadémiai doktori disszertáció, Miskolc, 1991.
- [11] Dudás, I.: *Számjegyvezérlésű köszörűkorong-profilozó berendezés, és eljárás annak szakaszos, illetve köszörülés közbeni folyamatos vezérlésére*. Találmány lajstromszáma: 207 963, 1988. 09. 21. (OTH)
- [12] Dudás, I., Drobní, J., Ankli, J., Garamvölgyi, T.: *Berendezés és eljárás főmetszetben ívelt profilú csigahajtópár geometriailag helyes gyártására alkalmas köszörűkorong profilozására*. Szolgálati találmány, szabadalmi lajstromszám: 170118. Szabadalmi bejelentés napja: 1983. 12. 27.
- [13] Dudás I., Cser I.: *Gépgyártástechnológia IV., Gyártás és gyártórendszerek tervezése 2. kiadás*, Műszaki Kiadó, Budapest, 2010., pp. 339, ISBN 978-963-16-6517-8
- [14] Dudás, I., Bodzás, S., Dudás, I. Sz., Mándy, Z.: *Konkáv menetprofilú spiroid csigahajtópár és eljárás annak köszörüléssel történő előállítására*, Szabadalmi bejelentés napja: 2012.07.04., Szabadalmi lajstromszám: 229 818
- [15] Dudás, L.: *Kapcsolódó felületepárok gyártásgeometriai feladatainak megoldása az elérés modell alapján*, Kandidátusi értekezés, Budapest, TMB, 1991., p.144., 2005. 06. 29.
- [16] Hegyháti, J.: *Untersuchungen zur Anwendung von Spiroidgetrieben*. Diss. A. TU. Dresden, 1988. p. 121.
- [17] Lévai I.: *Fogazatok kapcsolódásának kinematikai elmélete és alkalmazása hipoidhajtások tervezésére*, Akadémiai doktori értekezés, Miskolc, 1980. 1/153.
- [18] Litvin, F. L., Fuentes, A.: *Gear Geometry and Applied Theory*, Cambridge University Press, 2004., ISBN 978 0 521 81517 8
- [19] Kádár, B., Monostori, L.: *Holonc Manufacturing Systems, Manufacturing Systems with Distributed Intelligence*, Chapter in: Practical Applications of Artificial Intelligence, Ed.: M. Horváth, T. Szalay, Lecture Notes, Gábor Dénes Technical High School, pp. 89 – 102 (In Hungarian)
- [20] Molnár J.: *A megmunkáló rendszer elmozdulékonyságából származó megmunkálási hiba meghatározásának kísérleti-analitikai módszere*, Egyetemi doktori értekezés, Miskolc, 1969. p.67.
- [21] Pálffy K., Prezenszky T., Csibi V., Antal B., Gyenge Cs., Balogh F.: *Fogazott alkatrészek tervezése, szerszámok és gyártása*, Glória Kiadó, Kolozsvár, 1999.
- [22] Su, D., Dudás, I.: Development of an intelligent Integrated System approach for design and Manufacture of worm gears proceedings, 9th International Conference on Tools, 3-5. 09. 1996. Miskolc, Hungary