

ENERGETIKAI GÉPEK NEM SZABÁLYOS CSAVARFELÜLETEINEK KÖSZÖRÜLÉSE

GRINDING OF NON-EXACT HELICAL SURFACES OF ENERGETIC MACHINES

Dudás László

Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Alkalmazott Informatikai Tanszék, 3515, Magyarország, Miskolc, Egyetemváros út 1, +36 46 565111/1414, iitdl@uni-miskolc.hu

Abstract

The paper deals with the geometric generation of nonconventional grinding wheel surfaces for grinding the rotor of special type pumps, compressors and expansion machines, engines. For the surface generation the Surface Constructor kinematic simulation and modelling software application was used that is originally intended for the development of new types of gears. The paper reviews the Surface Constructor design system, introduces the special aerohydrodynamic machines and the construction of the applied grinding machine, and reviews the grinding wheel surface modelling.

Keywords: *aerohydrodynamic machine, grinding, non-exact helical surface, Surface Constructor.*

Összefoglalás

A cikk nem hagyományos köszörűkorongok felületének geometriai generálásával foglalkozik, melyekkel speciális szivattyúk, kompresszorok és táguló közeggel működő erőgépek, motorok forgó rotorját lehet megköszörülni. A felületgenerálásra a Surface Constructor kinematikai szimulációs és modellező program került alkalmazásra, mely elsődlegesen fogaskerek új típusainak kifejlesztésére lett kialakítva. A cikk áttekinti az Surface Constructor tervezőrendszert, bemutatja a speciális aero-hidrodinamikusan gépeket és az alkalmazott köszörűgép konstrukcióját, és ismerteti a köszörűkorong felületmodellezését.

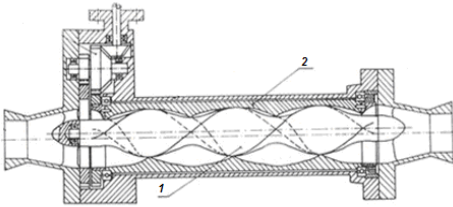
Kulcsszavak: *aero-hidrodinamikusan gép, köszörülés, nem szabályos csavarfelület, Surface Constructor.*

1. Bevezetés

A legújabb szivattyúfejlesztések eredménye egy új típus, amely csak forgó alkatrészeket tartalmaz, hasonlóan a csavar-kompresszorokhoz. A konstrukciót általánosíthatjuk kompresszorokra és táguló közeges erőgépekre, gőzgépekre, motorokra, ha változó emelkedésű csavarfelületet al-

kalmazunk. Ezeket az új típusokat, melyek egy forgó kamrát és abban forgó rotort tartalmaznak, az elmúlt években szabadalmaztatták [9, 10]. Jellemzőjük, hogy a kamra és a rotor között zárt térrészek, üregek alakulnak ki. Amint a forgó alkatrészek mozogni kezdenek, ezek az üregek a forgó alkatrészek tengelyével párhuzamos mozgást végeznek. A résnek a kamra és a rotor között

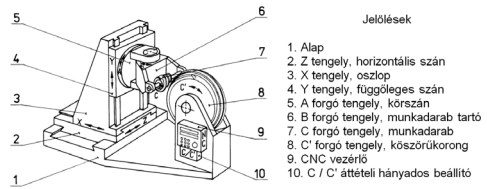
a lehető legkisebbnek kell lennie a lehető legjobb tömítés érdekében. Ez különösen fontos a kompresszorok és a táguló közegek erőgépek esetén, ahol a szomszédos kamrák között jelentősebb a nyomáskülönbség. A légzáró tömítés a vékony kenőfilmmel, annak tehetetlenségével biztosítható, hasonlóan a csavarkompresszoroknál alkalmazott módszerhez [11]. A legcélszerűbb eljárás ehhez a működő felületek köszörülése, de ez problémákat is felvet. Az **1. ábrán** mutatott szivattyú 1 rotorjának egyenletes emelkedésű csavarfelülete esetén a köszörülés hasonló a csigák köszörüléséhez, és megoldottnak vehető. A forgó kamra belső csavarfelületének köszörülése ennél nehezebb, de szintén lehetséges [3]. A szükséges korongfelület profilja meghatározható pl. a HeliCAD [3], vagy a Surface Constructor (SC) [4,5] programok segítségével. Az ily módon adott forgásfelület alakra a korongok leszabályozhatók CNC korongszabályzókkal.



1. ábra. A FORCYL cég által gyártott vízszivattyú

A változó emelkedésű csavarfelület-ekkel jellemezhető rotorfelületek köszörülése az irodalomban [2] ismertetett speciális köszörűgépet és technológiát igényli. A **2. ábrán** látható köszörűgépek konstrukció kúpos csigák és globoid csigák köszörülése esetén is eredményesen alkalmazható az elméletileg pontos köszörült felület elérésére. Ezen felületek elméleti pontosságú megköszörülése az utóbbi időkig megoldatlan volt, csak speciális esetekre, pl. evolvens kúpos csavarfelületekre, létezett elméleti pontosságú megoldás. A probléma abból

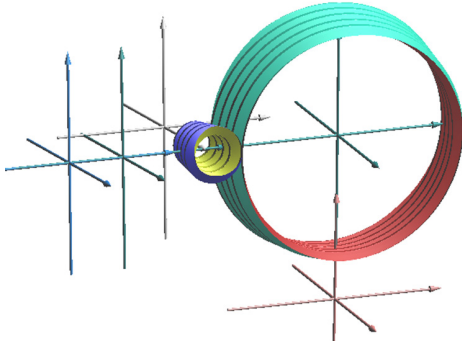
ered, hogy a hagyományos, forgásfelület alakú köszörűkorong nem képes az alakját köszörülés közben a szükséges mértékben változtatni. A nem egyenletes emelkedésű vagy változó átmérőjű csavarfelületek köszörülése azonban igényli ezt a képességet, mivel a csavarfelület és a korong érintkezési görbéje és ennek következtében az igényelt korongalak pillanatról pillanatra változik. Mivel a hagyományos forgásfelületű köszörűkorongok merevek, egy megoldás lehetséges az [1] által ismertetett folyamatos korongszabályozással, amikor is a korong kismértékű alakmódosulását a köszörülés folyamata során az azzal együtt végzett folyamatos CNC korongszabályozással érik el. Ez a technológia kis sorozatok gyártása esetén előnyös, mivel a korongelhasználás jelentős. Egy másik, a szerző találmányában ismertetett megoldás azt a felismerést használja ki, hogy a nem egyenletes csavarfelület eltérő részeivel a korong eltérő felületrészeit kell kapcsoltatni. Egy ilyen korong alakját a csavarfelületről visszaburkolással lehet előállítani, egy szintén nem egyenletes csavarfelületre emlékeztető felület formájában. A burkolási folyamatnál általában 1:1 áttételt alkalmazunk.



2. ábra. Nem egzakt csavarfelületek elméleti pontosságú köszörülésére alkalmas köszörűgép konstrukciója

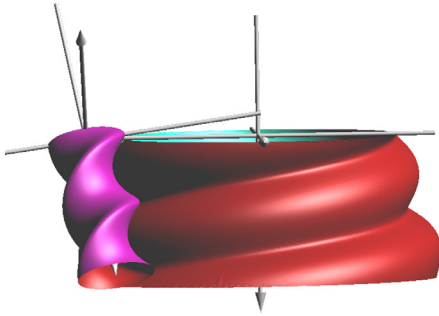
A módszer alkalmazását spiroid, azaz kúpos alaptestű csiga köszörülése esetére a **3. ábra** mutatja, az új köszörűgép kinematikai elrendezését használva. Ebben az esetben a számított köszörűkorong-felület egy Reishauer típusú csigakorongra emlékeztet, de lényegi különbség, hogy az itt mutatott

korongfelület önmagában nem elcsavarható működő felület.



3. ábra. Spiroid csigához generált köszörűkorong a speciális köszörűgép koordináta-rendszerében

Ezzel az új technológiával, mely a munkadarabot teljes hosszában egyszerre köszörüli, és nem alkalmaz a munkadarab menet-árkában történő előtolást, a hagyományos szabályos csavarfelületek, csigák vagy szivattyúrotorok köszörülése szintén lehetséges.



4. ábra. FORCYL-típusú rotor teljes szélességű köszörülésének modellezése

A 4. ábra egy ilyen rotorköszörülésre ad példát. A módszer előnye az elméleti pontosságú köszörülés lehetősége nem szabályos helicoid felületű munkadarabok esetén is, azonban hátránya a bonyolult és drágán előállítható, bár nagy felületének kö-

szönhetően tartós pontosságú köszörűkorong előállítás. Hasonlóan a köszörűgép is a drága szerszámgépek csoportjába tartozik. Ezekből eredően a technológia alkalmazása csak nagy sorozatok esetén gazdaságos.

2. Nem egyenletes emelkedésű csavarfelületek köszörülése

Az új, innovatív kompresszorok és tágló közeggel működtetett erőgépek rotorja és forgókamrája nem egyenletes emelkedésű csavarfelületekkel rendelkeznek. Az energiaátalakítás irányát a gép forgó részeinek forgásiránya dönti el, megváltoztatva pl. kompresszorból expanziós gép lesz. Mivel ezen gépek konstrukciója meglehetősen új, először ennek bemutatása következik. A rotor és a forgókamra párhuzamos forgási tengelyekkel rendelkeznek és azonos irányba forog, de nem azonos fordulatszámmal. Az 5. ábrán láthatjuk a felépítést egy nyitott kamrájú modellen. A kamra és a rotor nagyon kis hézagtól eltekintve vonalak mentén érintkeznek, ily módon zárt üregeket közrefogva. Az üregek térfogata a nem egyenletes emelkedésű csavarfelületek alkalmazása miatt változik, és a gép működése közben a tengelyekkel párhuzamos haladásuk közben nő, illetve csökken, forgásiránytól függően. Növekedés esetén expanziós erőgépként, csökkenés esetén kompresszorként alkalmazható. A kompresszió-, illetve expanzióhányados a geometria által meghatározott, nem függ a fordulatszámától. Az üregek térfogatának tengely menti változását tág határok között változtathatjuk a gép méretezésével. A kamra és a rotor forgásának összehangolását közöttük kialakított kinematikai kapcsolattal, pl. fogaskerekekkel érhetjük el.

A forgókamra köszörülése, illetve finommegmunkálása a rotor köszörülésétől a felület belső elhelyezkedése miatt több problémát vet fel, de pl. a rotorral azonos geometriájú 'köszörűkoronggal', vagy

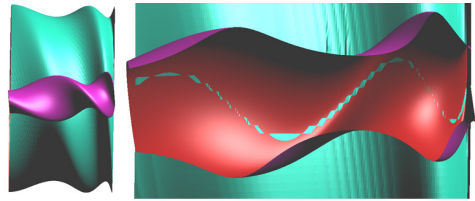
hónoló szerszámmal elvégezhető. Ekkor kihasználható, hogy a nem egyenletes emelkedés miatt a szerelés is könnyebb a kamra tengelyvonalán átmenő osztósíkkal megosztott két félből való gyártása esetén. Mindenesetre a kamra finommegmunkálása további elemzést kíván, amellyel itt nem foglalkozunk, figyelmünket a rotor köszörülésére irányítjuk. A rotor köszörülése még a javasolt köszörülési technológia és köszörűgép alkalmazása mellett is kérdéses, mert fennáll az alámetszés veszélye. Az egyenletes emelkedésű csigák köszörülésével szerzett korábbi tapasztalatokból az tűnik célszerűnek, hogy a köszörűkorongot a legkisebb emelkedésnek megfelelő bedöntési szöggel állítsuk be. A köszörülési folyamat modellezése az SC szoftverrel történt. A korong felületét a rotor felületével burkolva generáltuk, 1:1 fordulatszám-viszony beállítása mellett. Ekkor a korong és a rotor érintkezési pontjaiban a két test érintkezési pontjainak kerületi sebessége közel ellentétes irányú, a sebességek abszolút értéke megközelítően összegződik, megfelelő köszörülési sebességet eredményezve, mely a fordulatszámmal állítható. Ebben a származtató mozgásban a származtatófelület és a származtatott felület konjugált felületpárt alkot, a rotor egy pontja a korong egy pontját állítja elő, azzal kapcsolódik. A megmunkálás geometriai korrektségének, alámetszés- és ráhagyásmentességének ellenőrzésére két eljárás kínálkozott:

- az érintkezési vonalak megjelenítése és ellenőrzése;
- az $R=R(\Phi)$ függvények megjelenítése és elemzése.

Az érintkezési vonalak segítségével történő ellenőrzés esetén a felület-felület érintkezést kell látnunk a burkolás minden pillanatában. Az élfelületek kapcsolódás éllel történő felületsúrolást jelentene, nem burkolást, vagy felület általi elburkolás is előfordulhat. Mindkettő az alámetszések speciális esete, és nem kívánatos a köszörü-

lési megmunkálás közben. Az érintkezési vonal ellenőrzésének egy pillanatát mutatja az **5. ábra** jobb oldala. Az alámetszés lehetőségé miatt az érintkezési vonal folytonossága lényeges. Egy szakadás, vagy ugrás az érintkezési görbén azt jeleznél, hogy az átugrott szakasznak megfelelő felületrész nem lesz pontosan megköszörülve. Az ábrán látható tökéletes eredmény elérése érdekében a beállításoknál több próba is történt, és elsősorban a korongbedöntési szög finom beállítása volt fontos.

Az érintkezési vonal általi ellenőrzéssel az a gond, hogy egy teljes korongfordulat minden egyes pillanatában el kell végezni. Amint az **5. ábrán** is látható, az ellenőrzés megfelelő nézési irány- és nagyításbeállítást kíván minden pillanathoz.



5. ábra. A rotorhoz számított korong, balra, valamint az érintkezési vonal ellenőrzésének egy pillanata $\Gamma = 5$ fokos bedöntési szögnél

Annak ellenére, hogy az SC felhasználói interfésze ebből a szempontból a hasonló 3D szoftverek között is az egyik legkényelmesebben kezelhető, az ellenőrzési folyamat időigényes és fárasztó. Szerencsére az SC rendelkezik egy egyedi megjelenítési képességgel.

Az $R=R(\Phi)$ függvények megjelenítési lehetősége az SC program kizárólagos képessége. A függvények és a módszer részletes leírása a [6]-ban megtalálható, de az itt bemutatandó ábrák értelmezéséhez egy rövid áttekintést itt is adunk. Az $R=R(\Phi)$ függvények megjelenítése a rotor és a korong relatív kinematikai viszonyát használja alapinformációként, és a korong felületének

és a köszörűgép beállítási jellemzőinek optimalizálásához, melyet a relatív sebességek terében végez el. A relatív sebességvektorok helyett a mozgáspálya-vonalakat alkalmazza, mivel azok a sebességvektorok tartóvonalai, és emiatt párhuzamosak azokkal. Ezek a mozgáspályák játsszák a központi szerepet a szerző eredeti Elérés modell nevű kapcsolódásgeometriai elméletében, melyet a [6] eleméz részletesen.

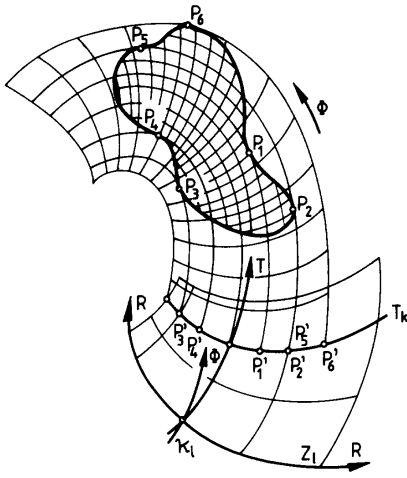
2.1. Az $R=R(\Phi)$ függvények megjelenítése

A legtöbb modern fogaskerékfejlesztő szoftver a Tooth Contact Analysis (TCA) módszert alkalmazza a kapcsolódás jóságának biztosítására. Ez a módszer magába foglalja a felületek közötti hézag függvényének meghatározását a hordkép megjelenítéséhez, és egyaránt alkalmas konjugált és modifikált, hordósított vagy profillenyesést alkalmazó fogaskerekre esetén. Képes az átviteli függvény és a hordkép megjelenítésére, azaz nagyon erőteljes eszköz. Lásd például [7,8]. Ez a módszer azonban a kapcsolódó felületek előzetes megadását igényli.

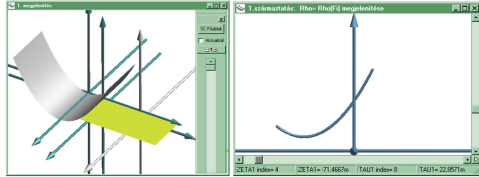
Az SC programban rendelkezésre álló módszer esetén a fejlesztés a mozgáspályák segítségével történik, és a kapcsolódás jellemzőinek javítását és az alámetszések és elmetzések elkerülését a generált felület meghatározása nélkül végezhetjük. A hivatkozott irodalmakból ismert, hogy az $R=R(\Phi)$ függvények kiválóan alkalmasak a lokális alámetszések és a globális elmetzések feltárására. Ezek a jelenségek nagyon veszélyesek nemcsak a fogazatok érintkezésénél, hanem a fogfelületek, burkolt felületek megmunkálásánál is. Elkerülésük az SC rendszerben alkalmazott $R=R(\Phi)$ függvényekkel könnyű. A jó érintkezést egy adott kapcsolódási pontban egy globális maximum pont jellemzi az $R \rightarrow \max!$ extrémumirány választása esetén, és egy globális minimumpont jellemzi az

$R \rightarrow \min!$ extrémumirány választása mellett. A problémás lokális alámetszési helyeket vízszintes érintőjű inflexiós görbealakzat jelzi. A lokális maximummal rendelkező görbék gyakran eredményeznek globális elmetzést, ha a maximumszint Φ vonala távolabb elmetezi a függvénygörbét. Ez megfigyelhető a **6. ábrán**, amikor a P2 pontot érintő Φ pályavonal metszi a származtatott test metszévonalát a nagyobb Φ értékénél. Egyetlen $R=R(\Phi)$ függvénygörbe a származtatott felület egyetlen keletkező pontját jellemzi. Ha a származtatott felület teljes T - Z tartományát fel szeretnénk tární a keletkezett pontok kapcsolódásának jósága szempontjából, akkor ehhez az SC-ben erre a célra kialakított vizsgálóablakot használhatjuk, mely a **7. ábrán** a jobb oldalon látható. A bal oldal egy lineáris mozgást végző parabolahenger által burkolt sík keletkezését mutatja. Az egyszerű példában a származtatott felület metszetgörbéje éppen a származtatott felületparabola alkotója. Az ablak lehetőséget ad a függvénygörbék $R=R(\Phi, T)$, vagy $R=R(\Phi, Z)$ seregének felületszerű megjelenítésére is. Amíg a függvényeknél a \cap , illetve a \cup alak a kedvező, extrémumirányválasztástól függően, a görbeseregek alkotta vizsgálófelületeknél hegygerinc, illetve völgyalakzat jelzi a hibátlan, alámetszésmentes származtatást. (Az SC az RHO, TAU, ZETA neveket alkalmazza az Elérés modellben alkalmazott R, T, Z helyett.)

A vizsgálóablak a származtatott felület pontjainak keletkezését jellemző $R=R(\Phi)$ függvénygörbék vizsgálatához a következő kényelmes lehetőséget nyújtja: az ablak a T - Z tartománynak is megfelel egyben, és bármely pontjára kattintva, az azon T - Z értékekhez tartozó $R=R(\Phi)$ görbe jelenik meg.



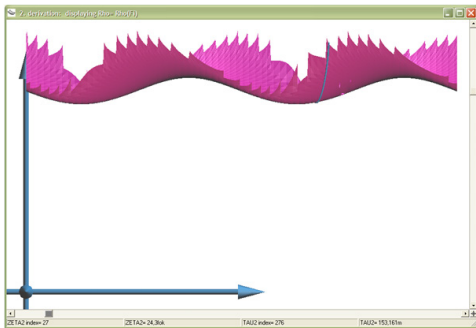
6. ábra. Az $R = R(\Phi)$ függvény kialakulása: a származtató test metszete a $T=const$; $Z=const$ görbe vonalú koordináta-felületeken



7. ábra. A parabolikus felület általi burkoláskor a keletkezett sík egy pontját a jobb oldali vizsgálóablakban látható parabola alakú metszetgörbe jellemzi a TAU-ZETA tartomány adott pontjában

A kurzor mozgásával lenyomott egérgomb mellett a felület tetszőleges tolokákra kattintva egy $R = R(\Phi, T)$ vagy $R = R(\Phi, Z)$ felület jelenik meg, mely alakját változtatja, ha a tolokát mozgatjuk, így módon a görbeseregek által jellemzett burkolási folyamat minőségének ellenőrzésére könnyű lehetőséget adva, pontjához tartozó függvénygörbe könnyen megjeleníthető, a $T-Z$ tartomány letapogatható. Az alsó vagy a jobb oldali tolokákra kattintva egy $R=R(\Phi, T)$ vagy $R=R(\Phi, Z)$ felület jelenik meg, mely alakját változtatja, ha a tolokát mozgatjuk,

ily módon a görbeseregek által jellemzett burkolási folyamat minőségének ellenőrzésére könnyű lehetőséget ad, amint a 8. ábrán látható. A problémás részeken a hegygerinc-, vagy völgyalakzatok torzulnak, és inflexiós alakzatok, lokális minimumok, illetve maximumok is megjelennek a felületeken, az alámetszések és elmetzsések könnyű detektálhatóságát nyújtva.



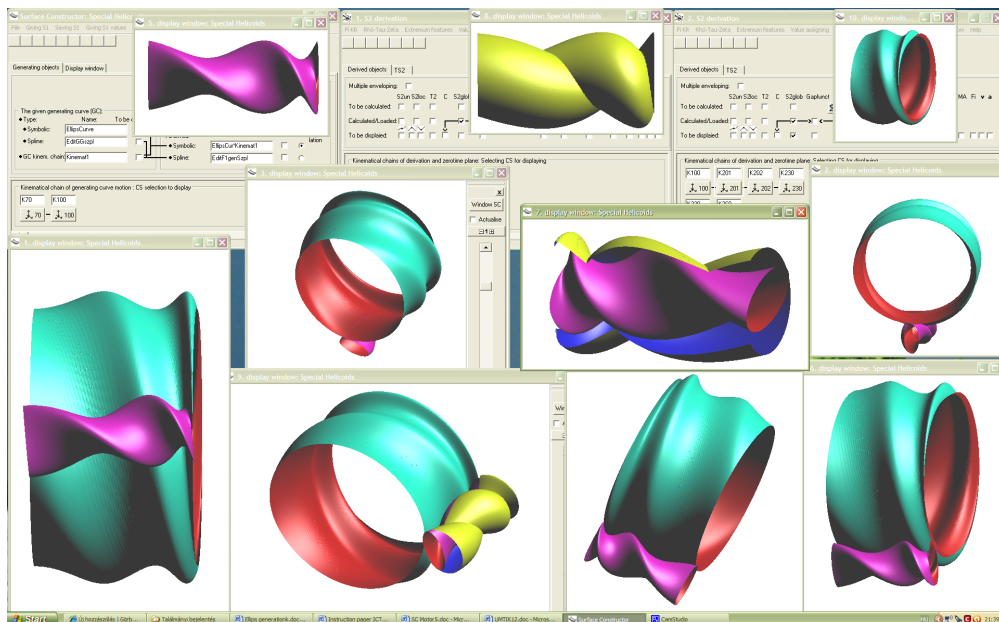
8. ábra. $R=R(\Phi)$ függvények seregeként kialakuló felület

A konkrét köszörűkorong-felületre elvégzett ellenőrzés az adott köszörűgép beállítási adatak mellett mindenhol kedvező $R=R(\Phi)$ függvényalakokat jelzett, ami a generált köszörűkoronggal történő köszörülés geometriai hibátlanságát mutatta.

A számított köszörűkoronggal elvégzett megmunkálási szimulációt is mutatja az SC tervezőszoftverről készített pillanatkép a 9. ábrán.

3. Összefoglaló

A cikkben elemzésre került az újfajta forgó rotorral rendelkező erőgépek rotorjának köszörülése geometriai szempontból. A tapasztalat szerint a változó emelkedésű csavarfelülettel rendelkező rotorok is elvi pontossággal megköszörülhetők egy speciális eljárás és az ahhoz szükséges köszörűgép alkalmazásával. A köszörűkorong működő felületének generálásakor alámetszés- és elmetzsésmentes kialakítást céloztunk



9. ábra. Az SC tervezőrendszer a kompresszor és a köszörűkorong felületének modellezése közben

meg, melyet sikerült elérni. Az ellenőrzéshez az SC programba beépített $R=R(\Phi)$ függvényvizsgálót alkalmaztuk.

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Mechanikai és Logisztikai Kiválósági Központ keretében valósult meg.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Dudás, I.: *Grinding possibilities of the conical worm of spiroid driving pairs*. Proc. microCAD'96 International Computer Science Conf., Miskolc, Hungary, sect. F, 1996. 33–38.

[2] Dudás, L.: *Grinding machine, for grinding non-surface of revolution surfaces, especially conical and globoid worms*. Hungarian patent HU P9003803, 1992.

[3] Dudás, L.: *Resolution of geometrical problems of contacting surfaces using the Reaching Model*. Thesis for Candidate of

Technical Science Degree, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, 1993.

[4] Dudás, L.: *Advanced software tool for modelling and simulation of new gearings*. Int. J. Des. Eng. vol. 3, 2010. 289–310.

[5] Dudás, L.: *Gear investigations based on Surface Constructor kinematical modelling and simulation software*. Proc. UMTIK 2010 14th Int. Conf. Mach. Des. & Prod., Güzelyurt, T.R. Northern Cyprus, 731–742.

[6] Dudás, L.: *Modelling and simulation of a novel worm gear drive having point-like contact*. Proc. TMCE 2010 Symp., Ancona, 685–698.

[7] Lunin, S.: *Interactive visualization with parallel computing for gear modeling*. Letölthető: <http://www.zakgear.com/Parallel.html>, Letöltve: 2012.febr.19.

[8] Lunin, S.: *New discoveries in WN gear geometry*. Letölthető: <http://www.zakgear.com/WN.html>, Letöltve 2012.febr.19.

[9] Micro Europe Kft: *A Sokszögmegmunkálás élvonalában*. Letölthető: <http://www.microeurope.hu/indexsziv.html>, Letöltve 2012.febr.19.

- [10] Murrow, D., Giffin, R. G: *Axial flow positive displacement turbine*. U.S. Pat. 2009/0226336 A1
- [11] Stosic, N., Smith, I. K., Kovacevic, A:

Opportunities for innovation with screw compressors. Proc. IMechE, J. Proc. Mech. Eng., Letölthető: <http://www.staff.city.ac.uk/~ra601/oportsvi.pdf>, Letöltve 2012. febr.19.