

## CNC TECHNOLOGIA KOMPLEX PROFILÚ ÉS VÁLTOZÓ EMELKEDÉSŰ CSIGÁK GYÁRTÁSÁRA

## CNC TECHNOLOGY FOR VARIABLE PITCH AND VARIABLE SCREW PROFILE WORMS MANUFACTURING

Gyenge Csaba<sup>1</sup>, Olah László<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Emeritusz egyetemi tanár Kolozsvári Műszaki Egyetem, Románia, gyenge\_cs@yahoo.com*

<sup>2</sup>*PhD. Fejlesztő mérnök ROTORCRAFT AG, Svájc, olahlasz@gmail.com*

### Abstract

Some new gearboxes use different type of variable pitch and variable screw profile surface section worms. In this paper we present the geometry of helically surfaces used at these transmissions and one new CNC machining technology developed by our team. The experimental researches was realized at Direct-Line Ltd.in Budapest.

**Keywords:** *gearing, precision turning, CNC manufacturing*

### Összefoglalás

Számos korszerű fogaskerékajtásban gyakran használnak különleges, változó emelkedésű és változó profilú csigákat. A cikk keretében ismertetjük ezeknek a csigáknak a geometriai meghatározását, valamint az általunk kidolgozott CNC technológiát, melyet a Budapesti Direct Line Kft. Ultraprecíziós laboratóriumában kísérleteztünk ki.

**Kulcsszavak:** *fogaskerekek, ultraprecíziós gyártás, CNC technológia*

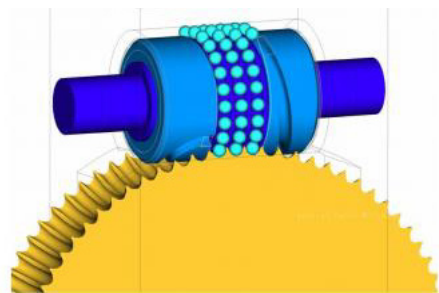
### 1. Bevezető

Általában a golyós mechanizmusok tulajdonsága abban rejlik, hogy a két szilárd test közötti erőátvitel egy másik szilárd test közvetítésével történik, csúszás nélkül.

A golyós fogaskerékajtások elve az 1930-ban szabadalmazott golyós csavarhajtásokon alapszik, amelyeket egyre gyakrabban alkalmaznak a szerszámgépek szerkezetében.

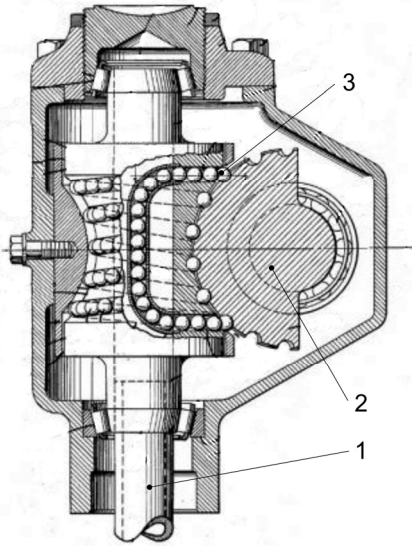
A golyós csigahajtás abban különbözik a hagyományos csigahajtásoktól, hogy a csiga hagyományos csavarfelülete helyett egy körív keresztmetszetű csavarfelület van kialakítva, és ebbe golyók vannak he-

lyezve. Ugyanúgy a csigakerék fogárka szintén körív alakúra van kiképezve, és a relatív mozgás a golyókon keresztül valósul meg (1. ábra).

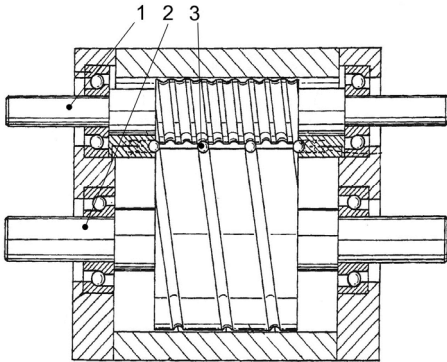


1. ábra. A golyós csigahajtás elve [2]

A golyós átviteli lehetőségeket különböző különleges hajtóműveknél is alkalmazták (2. és 3. ábra).



2. ábra. Globoid golyós hajtómű



3. ábra. Párhuzamos tengelyű hajtómű

A megfelelő szerkesztés és gyártás céljából Bogár István mérnök kifejlesztett egy matematikai modellt, amelyet megfelelő változtatásokkal mi is alkalmaztunk.

A golyós hajtóművekben alkalmazott hengeres vagy kúpos csigák geometriája nagyon különbözik a hagyományostól. Általában a csavarfelületek fogárokprofilja és

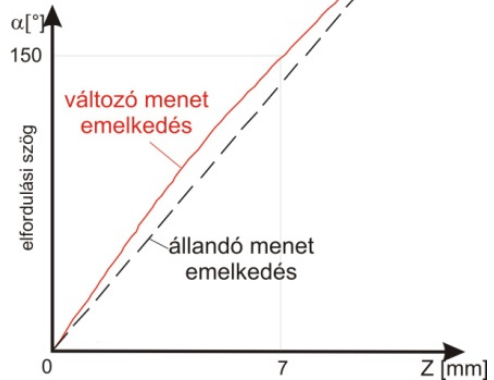
menetemelkedése tengelyirányban változik. A következőkben részletesebben ismertetjük e csigák geometriáját és utána az általunk kifejlesztett technológiát.

## 2. A változó emelkedésű csigák geometriája

A geometria ismertetését egy konkrét nagy pontosságú golyós hajtómű esetén végezzük. A ProEngineer program segítségével szerkesztett 3D-s modell a 4. ábrán, a menetemelkedés diagramja pedig az 5. ábrán látható.

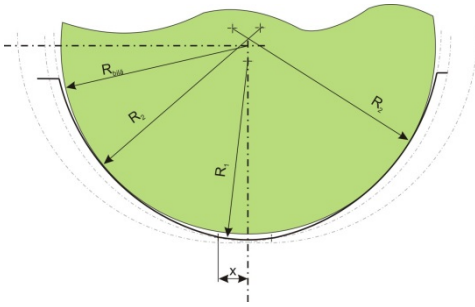


4. ábra. A különleges csiga térbeli rajza.

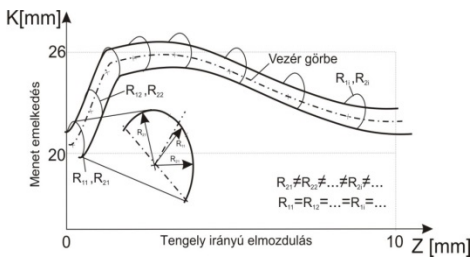


5. ábra. A menetemelkedési diagramok

Amint a 6. ábrán látható, a csavarmenetárok keresztmetszete kiszélesített körív alakú. A profilt meghatározó sugarak állandóan változnak a tengely hosszában a csavarvonal mentén (7. ábra).



6. ábra. A csavarárok normálmetszete.



7. ábra. A fogárok keresztmetszetének változása a csavarvonal menién

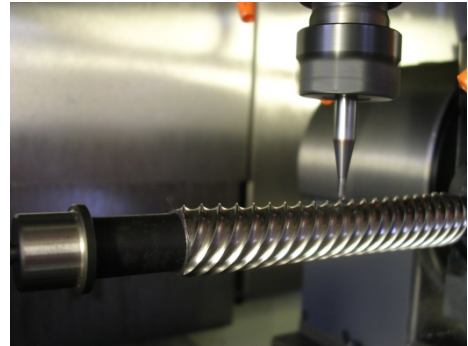
A legördülés alatt az árokban elhelyezett golyók között egy kis hézag kell legyen. Annak érdekében, hogy a befutásnál és a kifutásnál ez a hézag ne csökkenjen nullára, a csavarvonal emelkedése befutásnál és kifutásnál fokozatosan nő és így el lehet kerülni a golyók egymásba ütközését, ami zajjal és gyors kopással járna.

### 3. A különleges csigák megmunkálása

Tekintettel a fent említett mértani jellemzőkre, ezeket a csigákat csak olyan megmunkáló egységen lehet kivitelezni, amely az általános forgácsolási feltételek mellett biztosítja a menet és profil állandó változását. Kutatásaink keretében két megmunkálási lehetőséget vizsgáltunk: ultraprecíziós esztergálás (8. ábra) és ujjmaróval való marás (9. ábra).



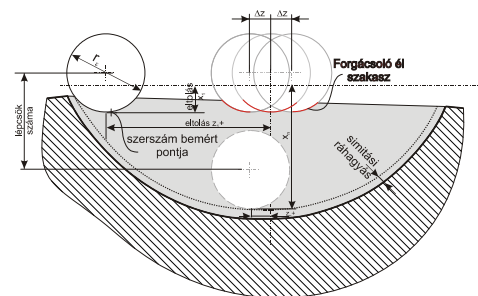
8. ábra. Az esztergáláshoz szükséges mozgások.



9. ábra. A váltakozó profilú és emelkedésű csiga marása egy 5 tengelyű megmunkáló központban

A fogárok kialakítását két műveletben valósítottuk meg: nagyolás és simítás.

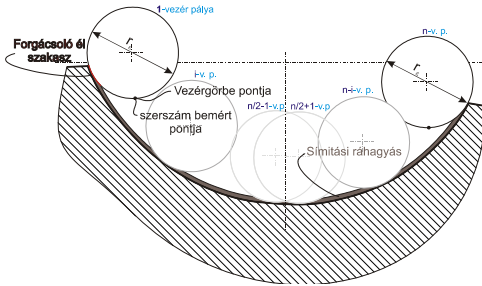
Nagyoláskor az anyag eltávolítását lépcsősen végeztük (10. ábra).



10. ábra. A nagyolás stratégiája

Amint az ábrán látható, a nagyolt fogárok profilja a ráhagyásnak megfelelő egyenlő távolságban követi a végső profilt.

Simításkor a szerszám váltakozva folytonosan követi a fogárok két oldalát (11. ábra).



11. ábra. A simítási művelet stratégiája

#### 4. A programozáshoz szükséges adatok meghatározása és feldolgozása

Ahhoz, hogy egy különleges csavarfelület a fent említett technológiával lehessen megvalósítani, pontosan meg kell határozni numerikusan-pontszerűen is a normálmetszetét és a többi paraméterét.

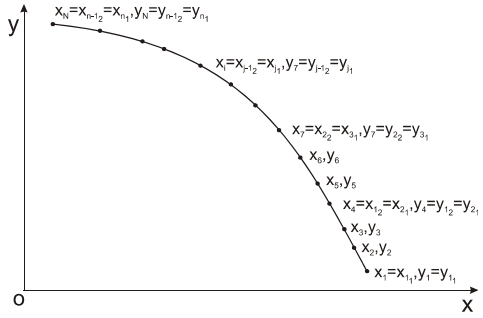
Mivel a szerszám gép programozási lehetőségei korlátozottak, a profilokat megközelítő görbékkel kellett helyesíteni. Számunkra az archimedesi spirálisokkal való megközelítés volt megfelelő.

A fogárok normálmetszeti profil pontonkénti meghatározása a következő halmazokkal fejezhető ki:

$$X = \{X_1, (\dots), X_N\} \tag{1}$$

$$Y = \{Y_1, (\dots), Y_N\}$$

Ezeket a halmazokat felbontottuk  $n$  alhalmazzra, és az így kapott eredményekkel a 12. ábrán látható görbemeghatározás látható.



12. ábra. A profil n pontonkénti meghatározása

A következőkben meg kellett határozni azokat az archimedesi spirálisokat, amelyek megfelelő pontossággal közelítik meg a pontonkénti profilt.

Ennek érdekében az archimedesi spirális poláris egyenletét használtuk:

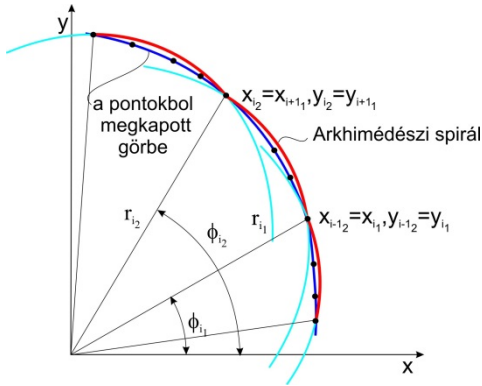
$$r = a + b\varphi \tag{2}$$

Az  $i$ -vel jelzett alhalmaz számára a spirális paraméterei a következő egyenletekkel határozhatók meg:

$$a_i = \frac{-\sqrt{(X_i^2 + Y_i^2)(X_{i-1}^2 + Y_{i-1}^2)} \arctg\left(\frac{Y_i}{X_i}\right) + (X_i^2 + Y_i^2) \arctg\left(\frac{Y_{i-1}}{X_{i-1}}\right)}{\sqrt{X_{i-1}^2 + Y_{i-1}^2} \left( \arctg\left(\frac{Y_{i-1}}{X_{i-1}}\right) - \arctg\left(\frac{Y_i}{X_i}\right) \right)}$$

$$b_i = \frac{\sqrt{X_i^2 + Y_i^2} - \sqrt{X_{i-1}^2 + Y_{i-1}^2}}{\arctg\left(\frac{Y_i}{X_i}\right) - \arctg\left(\frac{Y_{i-1}}{X_{i-1}}\right)} \tag{3}$$

Az  $X_i, Y_i$  alhalmazzal meghatározott profil megközelítése archimedesi spirálisokkal a 13. ábrán látható.



13. ábra. Az  $X_{i_1}, Y_{i_1}$  és  $X_{i_2}, Y_{i_2}$  pontokat összekötő archimédészi spirális

A programozáshoz szükséges pontok meghatározása érdekében eleinte a kónuszos csavarfelület paramétereit kell ismerjük, éspedig:

- csiga maximális átmérője:  $X_f$ , mm;
- a csiga tényleges hossza:  $Z_f$ , mm;
- a csavarfelület menetemelkedése:  $K$ , mm/ford;
- a csavarfelület bekezdési szöge:  $SF$ .

A fenti paraméterek numerikus meghatározása céljából a következő algoritmust fejlesztettük ki:

$$X_f = 2 \cdot \sqrt{X_{i_2}^2 + Y_{i_2}^2} \quad (4)$$

$$Z_f = Z_{i_2} \quad (5)$$

$$\varphi_{i_2} = a \cos \frac{X_{i_1} \cdot X_{i_2} + Y_{i_1} \cdot Y_{i_2}}{\sqrt{X_{i_1}^2 + Y_{i_1}^2} \cdot \sqrt{X_{i_2}^2 + Y_{i_2}^2}} \quad (6)$$

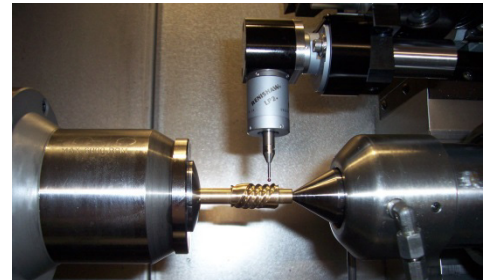
$$Z_{i_2} = |Z_{i_1} - Z_{i_2}| \quad (7)$$

$$K_{i_2} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \Delta Z_{i_2}}{\varphi_{i_2}} \quad (8)$$

A számításokat többször meg kell ismételni, és ennek érdekében kidolgoztunk egy programot a Mathcadban.

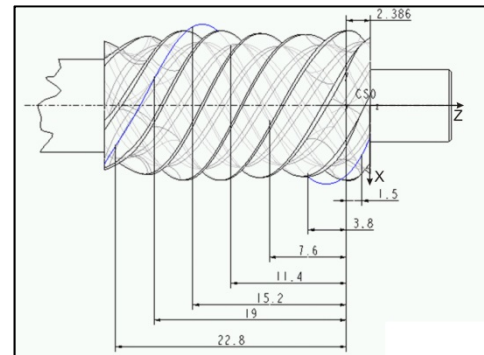
## 5. A megvalósított csiga ellenőrzése

Mivel a komplex változó emelkedésű és változó profilú csigafelület nem volt ellenőrizhető hagyományos mérőműszerekkel, a használt megmunkálóközpont RENISHAW-féle mérőegységét használtuk, amely micron pontosságot biztosít (14. ábra).



14. ábra. A csiga mérése a RENISHAW egységgel

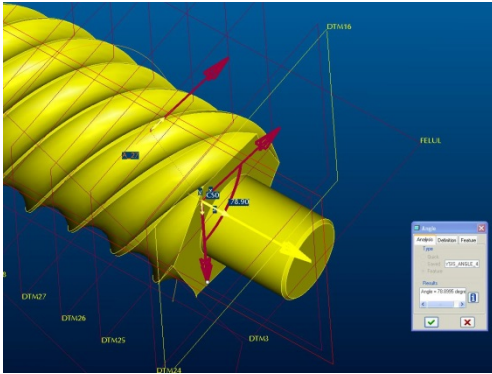
A méréshez meg kellett szerkeszteni a munkadarab 3D-s modelljét, amely segítségével meghatároztuk a mérési pontokat (15. ábra).



15. ábra. A mérési pontok meghatározása

A pontokat a munkadarab koordináta-rendszerében kellett megadni. Ennek érde-

kében a ProEngineer programot használtuk (16. ábra).



16. ábra. A felület meghatározó pontjainak a koordinátái

## 7. Következtetések

Összehasonlítva a megvalósított csiga geometriáját és pontossági paramétereit a hagyományos módszerekkel megvalósíthatóakkal, arra a következtetésre jutottunk, hogy a kifejlesztett technológia alkalmas a golyós hajtóművek szerkezetében alkalmazott komplex csigák kis sorozati gyártására. Természetesen a technológiát tovább kell fejleszteni úgy, hogy nagyobb termelékenységet és rugalmasságot lehessen elérni.

## Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Inventor: István Bogár, *Roller Transmission Gearing Mechanism*. Patent publication No. WO 2007/077470 A1
- [2] Bogár I., Reith J., Mészáros I., Oláh L. M.: *Technological problems of roller gearing mechanism*. Gépészet 2010. Budapest, 2010. május 25–26.
- [3] I. Mészáros D., Szepesi: *Hochpräzisions-Hartdrehen als optimierter Prozess*. Werkstatt und Betrieb 138 Jahrgang 11.11.2005. pp. 58–62.
- [4] Mészáros, I., Huijbers, M.: *Hartgewindedrehen verkürzt die Prozesskette*. Werkstatt und Betrieb 9/2002. p. 33–35
- [5] Mészáros, I. Huijbers, M.: *Das Hartdrehen bekommt neue Anwendungsfelder*, Werkstatt und Betrieb 4/2003. p. 26–28.
- [6] Gyenge, Cs., Pacurar, A.: *Some Characteristic Aspects Regarding the Precision Manufacturing of Worm Gears*. Proceedings of 11 th. International Conference MTeM 2013 Cluj-Napoca-Romania ISBN 973-9087-53-1, p. 93–98.
- [7] Olah L.: *Researches regarding New Technology For Manufacturing Special High Precision Gears*. PhD. Thesis. Technical University of Cluj-Napoca, 2011.