



EGYENES FOGÚ METSZŐKEREK PROFILHIBÁJÁNAK TANULMÁNYOZÁSA CAD-KÖRNYEZETBEN

THE STUDY OF THE PROFILE ERRORS OF STRAIGHT TEETHED SHAPER CUTTERS IN THE CAD-ENVIRONMENT

Gál Károly-István,¹ Máté Márton²

Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, Románia

¹ gál.karoly@ms.sapientia.ro

² mmate@ms.sapientia.ro

Abstract

It is well known that straight-teethed shaper cutters present theoretical profile error, which leads to a deviation of the cut gear tooth profile from the involute profile. Taking advantage of the CAD environment, we have visualized and studied shaper cutters at different stages of sharpening. This is advantageous because the effect of any shape or dimension modification of the rake face can be immediately and easily controlled in the design process, thereby saving precious design time.

The aim of our research was to create a 3D model in a CAD environment to visualize different sharpening methods and the profile of shaper cutters at different wear stages, and to estimate the inherent profile errors. The aim of using different sharpening methods was to improve the lateral cutting geometry (especially the lateral relief angle) and also to reduce or – at least – keep the profile error within the accepted limits. During the measurements, both the rake angle and the cutter rack profile angle were changed in order to improve the geometry. The edge was generated using numerically computed points and Autodesk Inventor's special commands. Comparative analyses were performed.

Keywords: shaper cutter, profile error, CAD, rake face, rake angle, relief angle, cutter rack profile angle.

Összefoglalás

Közismert tény, hogy az egyenes fogú metszőkerekek elméleti profilhibával rendelkeznek, ez maga után vonja a gyártmány profiljának evolvenstől való eltérését. A CAD-környezet előnyeit kihasználva, különböző élezési stádiumban levő metszőkereket jelenítettünk meg és tanulmányoztunk. Ez azért előnyös, mert bármilyen homlokfelület-alak-, illetve -méretmódosítási törekvést azonnal és könnyen lehet a tervezési folyamat során ellenőrizni, így tervezési időt takarítunk meg.

Kutatásunk célja, hogy CAD-környezetben egy olyan 3D-modellt hozzunk létre, amely segítségével különböző élezési módszereket, valamint különböző élezési stádiumban lévő metszőkerekek profilját jelenítsük meg, és ezek profilhibáját a grafikus környezet segítségével értékeljük. A különböző élezési módszerek vizsgálatának célja, hogy a metszőkerék oldalgeometriáján (főleg az oldalhomlokszög-értékén) javítsunk úgy, hogy a profilhibát is csökkentsük, vagy legalább a megengedett hibahatáron belül tartsuk. A mérések során mind a homlokszöveget, mind a szerszámkapcsolószöveget változtattuk. A szerszám élét az Autodesk Inventor sajátos parancsait használva, numerikusan generált élpont-koordinátákkal hoztuk létre, majd összehasonlító vizsgálatokat végeztünk.

Kulcsszavak: metszőkerék, profilhiba, CAD, homlokfelület, homlokszög, oldalhátszög, szerszámkapcsolószög.

1. Bevezetés

1.1. A klasszikus metszőkerék felépítése

A metszőkerék lényegében egy fogaskerek, amelyet homlok- (γ_v), illetve hátszöggel (α_v) látunk el [1–3], ahogy az a 1. ábrán is látható.

A homlokfelület a hagyományos egyenes körkúp. A szakirodalmi adatok alapján a homlokszöget $\gamma_v = 5^\circ$ -ra választjuk, és elfogadjuk az egyenes profilú szerszámmal való kialakítást, ami profilhibát okoz [3].

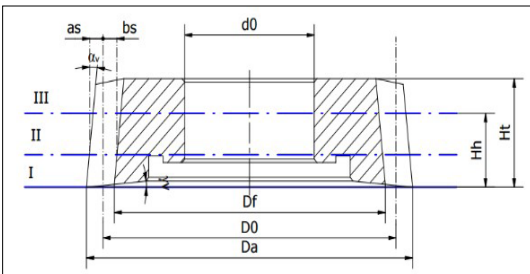
A metszőkereket leképező fogasléc α_s szerszámkapcsolószögének számítását a szakirodalomban levő közelítés alapján végeztük el [1, 3], ahol a metszőkereket végtelen fogúnak tekintjük, így az evolvens profil egyenes profillá torzul, ami a profilhiba okát képezi.

A csúshátfelületet az evolvens fogaskereknek jellegzetes tulajdonságát kihasználva alakítjuk ki, vagyis a profileltolást használjuk, ennek következményeként a fejkörátmérő (D_a) lineárisan csökken. Az alapsík-szelvényben (I) a profileltolás maximális, a II-es referenciasíkban nulla, míg a III. sík a minimális profileltolás (ξ_{min}) síkja, amely egyben határolja a metszőkerék hasznos (Hh) tartományát, az ezen kívül található (Ht) magasság a szerszám szilárdságát és merevségét biztosítja [3].

A metszőkerék jellegzetes köreit a származtatott hengeres fogaskerekhez hasonlóan lehet meghatározni [1–3], ezért ezek számítását mellőzzük.

1.2. Az oldalél alakja

Az egyenes fogú metszőkerék oldaléle a homlok-, illetve az oldalhátfelület metszésvonala. Az él egyenleteit [3–6] a fogoldal evolvens csavarfelületének parametrikus egyenleteiből és a homlokkúp implicit egyenletének együttes vizsgálatából írjuk fel. Jelen közleményben a homlokfelület helyzetének az újraélezések miatt bekövetkező változását is figyelembe vesszük.



1. ábra. A metszőkerék konstruktív méretei

A felületeket meghatározó geometriai összefüggéseket a 2. ábrán tüntettük fel.

Az oldalhátfelület tetszőleges Q pontjának helyvektorát az

$$\overrightarrow{OQ} = \overrightarrow{OG} + \overrightarrow{HG} + \overrightarrow{HQ} \quad (1)$$

vektoregyenlettel fejezzük ki, melynek mátrixos alakja, az $Oxyz$ koordináta-rendszerben, a következő:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = R_b \begin{bmatrix} \cos(\varphi - \eta) \\ \sin(\varphi - \eta) \\ 0 \end{bmatrix} + \frac{PE}{2\pi} \varphi \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} + \quad (2)$$

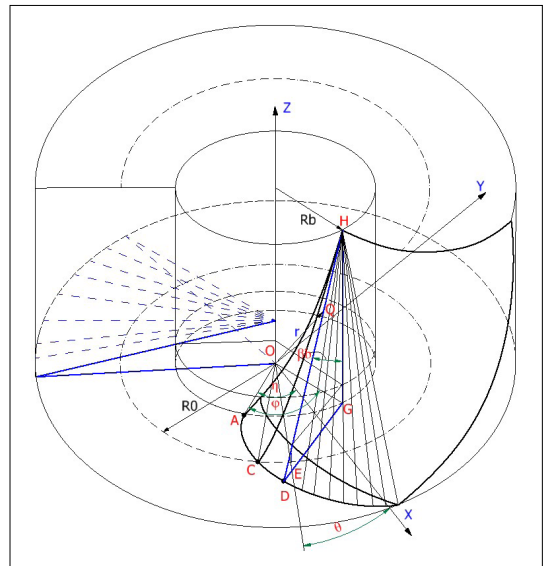
$$+ u \begin{bmatrix} \sin \beta_b \cos(\varphi - \eta) \\ -\sin \beta_b \cos(\varphi - \eta) \\ -\cos \beta_b \end{bmatrix}$$

A felület két választott paramétere a generáló egyenest tartalmazó sík φ lefordulási szöge az alaphengeren, illetve az alaphengeri csavarvonal a φ lefordulási szögnek megfelelő H pontjától mért u távolság.

A felület vezércsavarvonalának emelkedése és paramétere

$$P_E = \frac{2\pi R_b}{\tan \beta_b}, P = \frac{R_b}{\tan \beta_b}, \tan \beta_b = \tan \alpha_v \sin \alpha_s \quad (3)$$

A $v = u/R_b \sin \beta_b$ lineáris transzformációval a szerszámfog oldalhátfelületeinek egyenletei a következő alakot öltik:



2. ábra. A felületek geometriai összefüggései

$$\begin{cases} x(\varphi, v) = R_b (\cos(\varphi - \eta) + v \sin(\varphi - \eta)) \\ y(\varphi, v) = j R_b (\sin(\varphi - \eta) - v \cos(\varphi - \eta)) \\ z(\varphi, v) = P(\varphi - v), j \in \{-1, 1\} \end{cases} \quad (4)$$

Megjegyezzük, hogy a $j=1$ értékre a **2. ábrán** szemléltetett felületet, míg $j=-1$ -re ennek az Oxz síkhoz viszonyított szimmetrikusát kapjuk.

Az η szög az evolvens alapköri pontjának polárusugara és az Oxy síkbeli teljes fogprofil szimmetriatengelye által közrezárt szög, amelyet az evolvenstrigonometria második alapegyenletéből számítunk ki [2]:

$$\eta = \frac{\pi}{2z_s} + 2 \frac{\xi_s}{z_s} tg \alpha_s + inv \alpha_s \quad (5)$$

Az η és φ szögek geometriai értelmezését a **3. ábrán** szemléltetjük.

A homlokfelület-körkúp implicit egyenlete, a **2. ábra** alapján, a következő:

$$x^2 + y^2 = (R_a - z \operatorname{ctg} \gamma_v)^2 \quad (6)$$

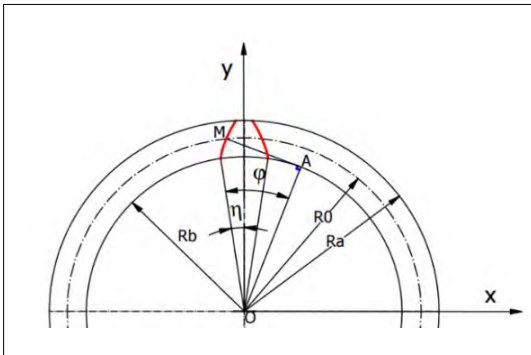
Feltételezzük, hogy az újraélezések következtében a homlokkúp csúcsa δ_h távolsággal mozdul el a z tengelyen, ennek pozitív irányításában. Ez esetben a (6) egyenlet a következő alakot ölti:

$$x^2 + y^2 = (R_a - (z - \delta_h) \operatorname{ctg} \gamma_v)^2 \quad (7)$$

A (4) és (7) egyenletek együttes vizsgálatából megállapítjuk a φ és v paraméterek közötti összefüggést:

$$\varphi(v; \delta_h) = \frac{(R_a(\xi_s) - R_b \cdot \sqrt{1 + v^2}) \operatorname{tg}(\gamma_v) + \delta_h}{P} + v \quad (8)$$

Az oldalélek pontjainak koordinátáit és az egyenleteit a (4) koordinátafüggvények adják, a (8) paraméter-kapcsolattal.



3. ábra. Evolvengörbe helyzetét meghatározó η és lefejtésének φ paramétere

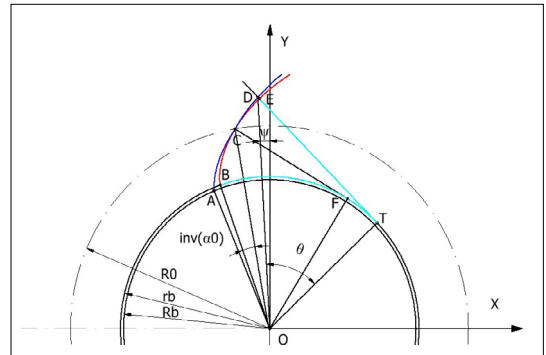
2. Az elméleti profilhiba számítása

A homlokfelület alakjából adódóan a szerszámél olyan térgörbe, mely különböző, a szerszám tengelyére merőleges síkokban illeszkedő evolvenspontokból épül fel. Az újraélezések következtében a profileltolás csökken, így az implikált profilok pontjai egyre jobban közelítenek az alapkörhöz. Emiatt a metszőkerék élalakja minden élezést követően változik.

A főmozgás során a metszőkerék élei egy fogaskereket burkolnak: ez a metszőkerék ekvivalens fogaskereke. Ennek fogprofilja, az előbbi kijelentések és a (4) ... (8) egyenletek alapján, nem evolvens. A profilhiba a metszőkerék fogszámával egyenlő fogszámú fogaskerék evolvens fogprofilja és az ekvivalens fogaskerék fogprofilja közötti eltérés értéke, az evolvensre merőlegesen mérve. Ez utóbbit kontrollprofilnak nevezzük a továbbiakban. A metszőkerék profilhibáját a kontrollprofil és a szerszámél Oxy síkra merőleges vetületéből lehet kiszámítani.

A kontrollprofil és az élvetület kölcsönös helyzete a **4. ábrán** látható. Amint az ábrából kitűnik, a kontrollprofil és az élvetület osztóköri pontja egybeesik. A profilhiba pozitív, ha az élvetület a kontrollprofilon kívül, és negatív, ha ezen belül helyezkedik el. Amint ismeretes [1–5], a pozitív profilhiba a megmunkált keréken foglenyesést, illetve fogláb módosítást hajt végre, ami az akadálymentes kapcsolódást biztosítja. Negatív profilhiba nem kívánatos, mivel fogfej- és foglábvastagodást okoz, ami a kapcsolódás során fogbeékelődést eredményezhet.

A profilhiba, az élvetület tetszőlegesen választott D futópontjára, az ED szakasz hossza lesz. Számítását a **4. ábra** alapján végezzük el. Ismertnek tekintjük az él kiválasztott pontjait. A továbbiakban R_b -vel a szerszámevolvens alapkör suga-



4. ábra. Az élvetület és kontrollprofil szemléltetése

$$\sqrt{\frac{R_t^2(\xi_s)}{R_b^2} - 1} \leq \varphi \leq \sqrt{\frac{R_a^2(\xi_s)}{R_b^2} - 1} \quad (19),$$

ahol $R_t^2(\xi_s)$ és $R_a^2(\xi_s)$ a legnagyobb szerszám-profil-eltolási tényezőnek megfelelő talpkör, illetve fejkörsugár.

Jelöljük a megfelelő paraméterértékeket φ_t -vel, illetve φ_a -val. Az evolvensív teljes hossza, a (18) ívhossz integrálásával

$$L = \int_{\varphi_t}^{\varphi_a} d\varphi = \frac{1}{2} R_b (\varphi_a^2 - \varphi_t^2) \quad (20)$$

Az N ívpont $N-1$ egyenlő hosszúságú evolvens-ívszakaszt metsz ki, melyeknek hossza $\Delta L = L/(N-1)$. Ezzel felépítjük a megfelelő paraméter-sorozatot, a következő rekurzió alkalmazásával:

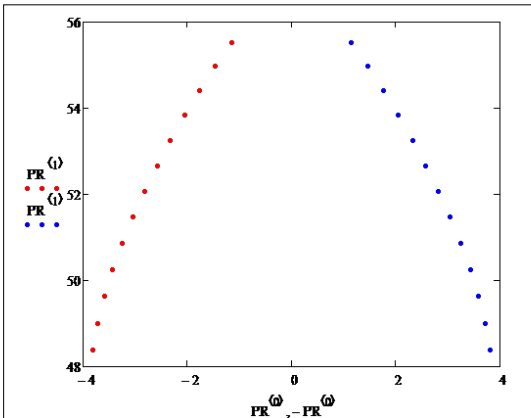
$$\varphi_0 = \varphi_t, \Delta L = \int_{\varphi_j}^{\varphi_{j+1}} d\varphi, j \in \{0, 1, \dots, N-2\} \quad (21)$$

A számítások elvégzése után a következő sortozatot kapjuk:

$$\varphi_{j+1} = \sqrt{\frac{2\Delta L}{R_b} + \varphi_j^2}, j \in \{0, 1, \dots, N-2\} \quad (22)$$

Az $N=13$ ívpontra osztott $z_s=27$ fogú és $m=3,75$ mm modulú metszőkerék generáló evolvensait a **6. ábrán** szemléltettük, míg a **7 ábrán** az evolvens csavarevolvens fogoldalt tüntettük fel. Ez esetben is az evolvens egyenközü felosztását alkalmaztuk, ügyelve arra, hogy a (4) egyenletekben szereplő v paraméter értékét, a φ pillanatnyi értékének függvényében, úgy szabályozzuk, hogy a számított pont a két kiválasztott határsík közé kerüljön.

Az élgörbe képzésében szerepet játszik a ξ profil-eltolási tényező, a δ_h szerszámkopásérték függvényében.



6. ábra. Egyenközüleg felosztott szerszámevolvens pontjai

Az **1. ábra** alapján következik, hogy a homlok-kúp δ_h értékkel való transzlációja következtében a szerszám-alapsík is ugyanannyival mozdul el, így egy $\Delta R_a = \delta_h \tan \alpha_v$ fejkörsugár-csökkenéssel kell számolnunk, ami, a fejkörsugár és a profil-eltolás lineáris kapcsolata következményeként, a $\Delta \xi = \Delta R_a / m$ profileltolás-változást idézi elő, amiből nyilvánvaló, hogy a δ_h -nak megfelelő szerszámprofil-eltolás értéke

$$\xi(\delta_h) = \chi = \xi_s - \frac{\delta h \cdot \tan(\gamma v)}{m} \quad (23)$$

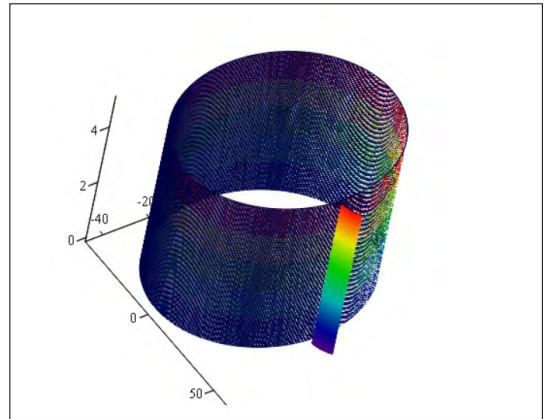
Ennek megfelelően, a (19) képletben az integrálási határok megváltoznak.

A szerszámélgörbe esetében a (18) elemi ívhossz kifejezése sokkal bonyolultabb, mint az evolvens esetében. A bonyolult számítási képletek amúgy is jelentős kerekítési hibát hoznának be, ezért az oldalél felosztását az alapevolvens egyenközü felosztásából indítjuk, elfogadván azt, hogy a homlokfelület sajátos geometriája és az alacsony homlokszögérték miatt ez nem fog jelentősen eltérni az egyenközü felosztástól. Ezért az alapsíkbeli evolvens nóduszaihoz egy-egy csavarvonalat rendelünk, amelyek az oldalhátfelületre illeszkednek. Az élpontok tehát a csavarvonalak és a homlokfelület dőfpontjai lesznek.

A (22) képlettel felállított sorozat j . tagjára kapott élpont sugara $\rho_j = R_b \sqrt{1 + \varphi_j^2}$, polárszöge pedig

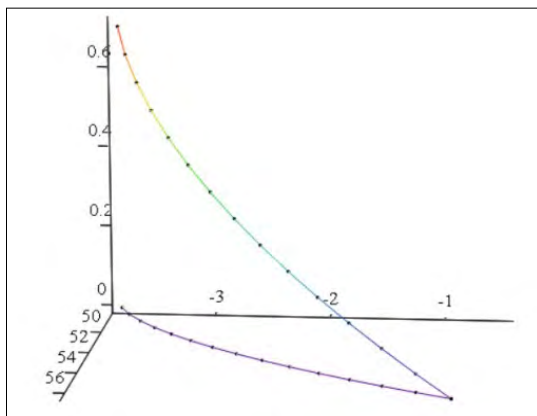
$\theta_j = -\eta + \varphi_j - \arctg \varphi_j$, ezzel pedig felírhatók az innen induló csavarvonal egyenletei, a (13) egyenletekkel formális azonosságban. A (15) alapján, a csavarparaméter értéke

$$w_j = \frac{1}{p} ((R_a - \rho_j) \tan \gamma_v + \delta_h) \quad (24)$$

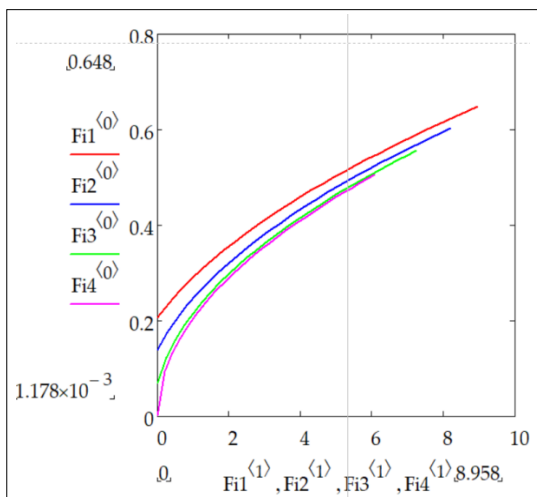


7. ábra. Alapevolvensre épült szerszámfogoldalt

Az előbbi numerikus példára számított élgörbét a **8. ábrán** szemléltettük.



8. ábra. Egyenközű felosztású szerszámélgörbe és ennek vetülete



9. ábra. Különböző profileltolású evolvensok szemléltetése



10. ábra. Metszőkerék 3D-modellje

4. CAD-modell Autodesk Inventor környezetben

4.1. A testmodell felépítése

A testmodellt négy, egymás fölé a profileltolás csökkenő sorrendjében rendezett párhuzamos síkban létrehozott evolvensre építjük. Ezeket a $\xi \in \{0,3; 0; -0,3; -0,605\}$ értékekre határoztuk meg. Mivel a szerszám fogfelülete csavarevolvens-felület, kiszámítottuk ezek kezdő η szögét. A síkok xOy alapsík fölétti magasságát a [3]

$$h_i = (\xi_s - \xi_i) m \operatorname{ctg} \alpha_v \quad (25)$$

képlettel számoltuk. Ezek xOy síkba való vetületeit a **9. ábrán** szemléltettük. A létrehozott evolvensokat az Autodesk Inventor „Loft” parancsával összekötöttük és kialakítottuk a metszőkerék fogát, majd a teljes 3D-modellt [8] (**10. ábra**).

4.2. A modell funkciója

A modell segítségével bármilyen módosítási törekvést, mind a homlokfelület alakjában, mind a homlokfelület méreteiben azonnal és könnyen lehet a tervezési folyamatban ellenőrizni, amivel tervezési időt takarítunk meg. Másodsorban, különböző élezési módszereket, valamint élezési stádiumokat tudunk megjeleníteni, amely elősegíti mind a tervezés menetét, mind a szerszám paramétereinek előrejelzését, és ennek alapján az adott szerszámmal gyártott fogaskerek pontosságát. A modell lehetőséget ad arra, hogy az elméleti profilhiba eloszlását és maximális értékét grafikus környezetben határozzuk meg.

5. Esettanulmány

CAD-környezetben két profilhiba-elemzési módszert dolgoztunk ki:

I. módszer: ebben az esetben a numerikusan létrehozott ekvivalens fogaskerék-evolvenst Autodesk Inventor környezetbe implementáltuk, a szerszám élet pedig Inventor környezetben alakítottuk ki az adott szoftver specifikus parancsait alkalmazva.

A mérési módszer menete a következő
Elmetsszük a testmodellt a klasszikus körkúp-homlokfelülettel vagy hengerfelülettel. Azonosítjuk az élgörbékét.

Az élgörbékét levetítjük a tengelyre merőleges síkba.

Az élgörbe osztóköri pontjára tájoltva berajzoljuk az α_o kapcsolószögű, ekvivalens fogaskerék evolvensét (fogság és modul a metszőkeréké, de a lécpofilszög α_o).

A két görbét elmetsszük egy, az ekvivalens fogaskerék alapkörét érintő egyenessel.

A hiba a két görbe által kimetszett szakasz hossza lesz.

A mérést a metszőkerék talpkörén (a és a fejkörén (Ra) végeztük

Tanulmányunkban több élezési stádiumot szimuláltunk, és két élezési módszert alkalmaztunk: a klasszikus, kúpos élezést, valamint a hengerfelülettel való élezést [8]. A hibák alakulását a kapcsolószög, az élezési stádium és a homlokszögváltozásra tanulmányoztuk. A kapott eredményeket az 1–4. táblázatokban tüntettük fel.

Az 1. táblázatban a maximális szerszámprofil-eltolással rendelkező, tehát új metszőkerék elméleti profilhibáját tüntettük fel, klasszikus körkúp-pal való élezés esetében, $\gamma_v = 5^\circ$. A szerszámkapcsolószög értékét $\{\alpha_s - 10'; \alpha_s; \alpha_s + 10'\}$ értékekre állítottuk. A táblázat utolsó sorában a szerszámkapcsolószög névleges értékére, de $\xi = 0$ szerszámprofileltolásra vizsgáltuk a hibákat.

A második táblázatban a hibaértékek fogankénti henger-homlokfelület alkalmazására érvényesek. A henger sugara $\rho_h = 12$ mm, valamint a döntési szöge 5° volt.

II. módszer: ebben az esetben a numerikusan létrehozott ekvivalens fogaskerék-evolvens, valamint a szerszám élét is Autodesk Inventor környezetbe implementáltuk, majd méréseket végeztünk. Így kiküszöböltük a térbeli modell megalkotását.

A mérés menete hasonló az I. esetben vázolt módszerhez, azzal a kivétellel, hogy mind a kontrollprofil, mind az élgörbét numerikusan generáltuk (12. ábra).

Ebben az esetben csupán a kúpfelület szerinti élezési módszert alkalmaztuk. Vizsgáltuk a profil-

hibák alakulását a szerszámkopás több stádiumára és homlokszög-értékre, α_s állandó esetre.

1. táblázat. Mért profilhibaértékek, kúphomlokfelület esetén

Esetek	Rt [mm]	Ra [mm]
$\alpha_s, \xi = 0.3$	0.005	0.021
$\alpha_s + 10', \xi = 0.3$	0.001	0.004
$\alpha_s - 10', \xi = 0.3$	0.015	0.033
$\alpha_s, \xi = 0$	0.008	0.015

2. táblázat. Mért profilhibaértékek, henger-homlokfelület esetén

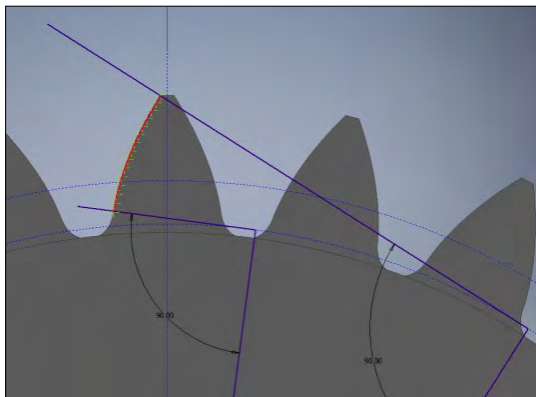
Esetek	Rt [mm]	Ra [mm]
$\alpha_s, \xi = 0.3$	0.001	0.008
$\alpha_s + 10', \xi = 0.3$	0.007	0.012
$\alpha_s - 10', \xi = 0.3$	0.011	0.016
$\alpha_s, \xi = 0$	0.003	0.003

3. táblázat. II. módszer, hibák a talpkörön

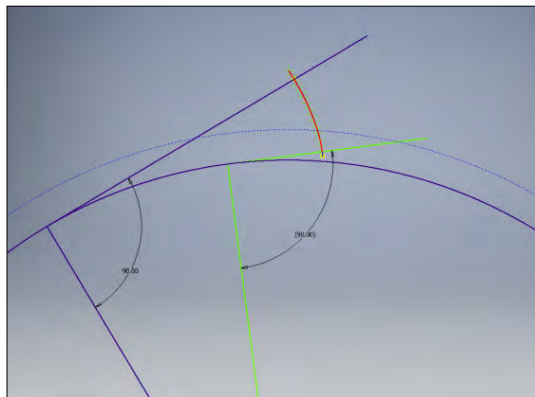
α_s	$\gamma_v = 5^\circ$	$\gamma_v = 10^\circ$	$\gamma_v = 17^\circ$
$\delta_h = 0$ mm	0.006	0.014	0.023
$\delta_h = 5$ mm	0.007	0.013	0.023
$\delta_h = 10$ mm	0.007	0.014	0.023
$\delta_h = 20$ mm	0.007	0.014	Nincs adat

4. táblázat. II. módszer, hibák a fejkörön

α_s	$\gamma_v = 5^\circ$	$\gamma_v = 10^\circ$	$\gamma_v = 17^\circ$
$\delta_h = 0$ mm	0.019	0.038	0.066
$\delta_h = 5$ mm	0.017	0.032	0.049
$\delta_h = 10$ mm	0.016	0.026	0.033
$\delta_h = 20$ mm	0.012	0.015	Nincs adat



11. ábra. Profilhibamérés, I. eset



12. ábra. Profilhibamérés, II. eset

6. Következtetések

A hibák eloszlása eltér a matematikai modell segítségével kapott eredményektől. Amint azt a 3. ábra is szemlélteti, a szerszám élének vetülete a kontrollprofil az osztókörről metszi, és ezen kívül helyezkedik el. Ezzel ellentétben az Autodesk Inventor környezetben az esetek 95%-ában azt tapasztaltuk, hogy csakis az (R0) osztókörtől a (Ra) fejkörig terjedő élvetületszakasz helyezkedik el a kontrollprofilon kívül. A (Rt) talpkör és az (R0) osztókör közti szakasz az esetek nagy részében a kontrollprofilon belül illeszkedik. Jelen tanulmányból az következik, hogy a két görbe illeszkedése csak az $\alpha_s + 10^\circ \xi(0.3)$ kúpos élezés esetén illeszkedik a matematikai modellel megegyezően, ugyanakkor ebben az esetben lett a legkisebb a profilhiba.

Az I. és II. esetek eredményeit látva elmondható, hogy a kapcsolószög változtatása nem minden esetben előnyös a profilhiba alakulására nézve.

A kapcsolószög klasszikus irodalomból vett kezelési értékének változtatása csak egyetlen esetben volt célravezető, ezt a kapott eredmények is alátámasztják, ugyanis a kapcsolószög értékének növelése vagy csökkentése legtöbb esetben maga után vonja a profilhiba növekedését.

A hagyományos élezéstől való eltérés eredményesnek bizonyult, mivel hengeres élezést alkalmazva, a profilhiba fejkörön mért értékei jóval kisebbek voltak, mint a hagyományos módszer használatakor.

A γ_v növelésével fokozatosan nő a profilhiba értéke, de a forgácsleválasztó képesség nagymértékben javul. Az általunk végzett mérési eredmények növekvő tendenciát mutattak a talpkörtől a fejkörig.

A túlzottan nagy homlokszög hátrányos a metszőkerék élettartamára nézve, a homlokszög nö-

velésével az újraélezések száma lényegesen lecsökken.

A δ_h növelésével a talpkörön mért profilhiba konstans, míg a fejkörön ez fokozatosan csökken.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Hollanda D.: *Aşchiere şi scule*. Reprografia I. I. S. Tg. Mureş, 1994. 234–240.
- [2] Szeniczai L.: *Az általános fogazás*. Nehézipari Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1958. 49–50.
- [3] Máté M.: *Hengeres fogaskerekék gyártószerszámjai*. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2016. <https://doi.org/10.36242/mtf-12>
- [4] Máté M.: Az egyenesfogú metszőkerék szerszámkapcsolószögének optimalizálása. Műszaki Tudományos Füzetek – FMTÜ I. sz. (1996) 12–15. <https://doi.org/10.36243/fmtu-1996.03>
- [5] Máté M., Kántor A., Laczkó-Benedek B.: *Metszőkerékkel lefejtett fogaskerekék profilpontosságának vizsgálata*. Műszaki Tudományos Közlemények, 7. (2017) 279–282. <https://doi.org/10.33895/mtk-2017.07.62>.
- [6] Máté M., Hollanda D.: *Az egyenesfogú metszőkerék geometriai modell számítógépes kiértékelésének hibái*. Műszaki Tudományos Közlemények, 10. (2019) 53–58. <https://doi.org/10.33894/mtk-2019.10.06>
- [7] Máté M., Hollanda D., Tolvaly-Rosca F., Forgó Z., Egyed-Faluvégi E.: *Synthesis of a Profile Errorless Involute Shaper Cutter with Cylindrical Rake Face*. In: 2019 IEEE 19th International Symposium on Computational Intelligence and Informatics and 7th IEEE International Conference on Recent Achievements in Mechatronics, Automation, Computer Sciences and Robotics (CINTI-MACRo), Szeged, 14–16 November 2019. 71–76. <https://doi.org/10.1109/CINTI-MACRo49179.2019.9105302>
- [8] Tolvaly-Rosca F.: *A számítógépes tervezés alapjai: AutoLisp és Autodesk Inventor alapismeretek*. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2009. <https://doi.org/10.36242/mtf-07>