

ARKHIMÉDÉSZ-FÉLE SPIRÁLIS FOGIRÁNYVONALÚ FOGASKERÉK MARÓFEJ-BETÉTKÉSEK HÁTRA- MUNKÁLÁSA

ABOUT THE ARCHIMEDEAN CYLINDRICAL GEAR'S MILLING HEAD INSERT RELIEVING

Máté Márton¹, Gyéresi Hunor András²

¹ Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Műszaki és Humán Tudományok Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 540485, Románia, Marosvásárhely, Segeșvári út 1C; Telefon / Fax: +40-265-206210/+40-265-206211, mmate@ms.sapientia.ro

² Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Műszaki és Humán Tudományok Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 540485, Románia, Marosvásárhely, Segeșvári út 1C; Telefon / Fax: +40-265-206210/+40-265-206211, gyeresihunor@hotmail.com

Abstract

The milling head used for meshing the Archimedean spiral toothline cylindrical gears presents a significant constructive similarity with the Öerlikon type bevel gear cutting heads. Due to the consistent deviation of the effective cutting velocity vector from the direction of the main cutting velocity, traditional round grinding of the relief faces leads to insufficient side relief angle values. In order to improve the geometry the tooth by tooth relieving with radial feed is proposed. This paper presents the conditions of the relieving operation, the mathematical model, the computing of the profile error and the optimal settings. It is also proved that classical re-grinding of the rake face leads to increasing of the profile error of the cutting edge,

Keywords: relieving, insert cutter, cylindrical surface, profile error, optimizing.

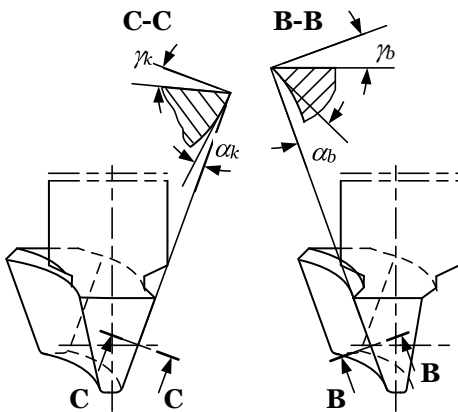
Összefoglalás

Az Arkhimédész-féle spirális fogírvonalú hengeres fogaskerekek lefejtő marófeje felépítésében hasonlít az Öerlikon-féle, eloid fogaskerekeket megmunkáló marófejhez. A lefejtés során a fő forgácsoló-, illetve a működő forgácsoló sebességirányai annyira eltérnek egymástól, hogy a hagyományos, kúppalást szerinti hátraköszörülés nem vezet kielégítő működő oldalhátszög-értékekre. A geometria javítása céljából a beszűrő hátraköszörülést javasoljuk. A dolgozatban a megmunkálás feltételeit, a matematikai modellt, a profilhiba számítását és az optimális beállítást mutatjuk be. Kimutatjuk, hogy a szerzők hagyományos újraélezése a profilhiba növekedéséhez vezet.

Kulcsszavak: hátramunkálás, betétkés, hengerfelület, profilhiba, optimalizálás

1. Az Arkhimédész-féle spirális fogvonalú fogazat alapjai

Az Arkhimédész-féle spirális fogirányvonalú hengeres fogaskerékpárt Olivier első elve alapján [7,8] képezzük [1]. Ennek értelmében a hajtópár mindkét elemét ugyanazzal a léccel fejtjük le. A lécc fogfelülete Arkhimédész-féle spirális vezérgörbéjű, egyenes alkotójú, α_0 profilszögű, egyenlő szárú trapéz keresztmetszetű felület. A léccet megvalósító fogazó marófej betétkései Arkhimédész-féle spirálisra illeszkednek. A marófej elfordulásával ennek tengelyszelvényében létrejön a mozgó, egyenes profilú fogasléc [1].



1. ábra. A külső és belső kés konstrukatív elemei

A teljes fogmagasságú lefejtés a beszúró [1, 2] vagy a tangenciális előtolás alkalmazásával [3] valósítható meg. A tangenciális előtolással való lefejtés termelékenysége a beszúró eljárásénál jóval nagyobb, ezenkívül a hordkép lokalizációjára sokkal több

beállítási lehetőséget kínál.

Akár radiális, akár tangenciális eljárásról legyen szó, a betétkések azonos felépítésűek (1. ábra). Bár a fogazott kerékhez viszonyított relatív mozgások is hasonló, a tangenciális előtolással fogazó marófej késeinek működő élgeometriája lényegesen különbözik a konstruktív élgeometriától.

Ez a Z_0 -szor nagyobb körkörös előtolásnak tulajdonítható, ahol $Z_0 \in \{3; 5\}$ a marófej késcsoportjainak száma. Ez a helyzet nem áll fenn a radiális előtolással dolgozó marófej betétkéseinél, így a hátfelületek egyszerű körköszörüléssel kialakíthatók. Ha azonban nagyobb a fogazott alkatrész körkörös előtolása, akkor a hagyományos módon körköszörült kés oldalhátszögei nem elegendők [5,6].

Az oldalhátszögek megfelelő értékét hátraköszörüléssel érjük el. A hátraeszterga főorsójába szerelt köszörűkészülék biztosítja a betétkéseknek a szerszámfejbeli tájolással azonos tájolását.

A betétkés-szár hasáb alakú, ennek éle a marófej tengelyével párhuzamos. A feltételezett, ideális szerszámél egyenes, a marófej tengelysíkjaiba illeszkedik, és ennek forgástengelyével az α_0 profilszöget zárja. A homloklapfelület sík, amely a marófej tengelysíkhoz képest a $\gamma_i, i \in \{k; b\}$ homlokszöggel döntött; k a külső, míg b a belső kést jelöli.

A betétkések újraélézése a homloklapfelületen történik a befogókészülék megfelelő elforgatásával. Ha nem alkalmazunk semmilyen helyzetkorrekciót, akkor a megújuló homloksíkok a készülék tengelye körüli elforgatással jönnek létre. Célunk a fent ismertetett feltételek mellett tanulmá-

zár a fogaslécprofil tengelyével, tehát a Δ_b készülék-forgástengellyel is. A **2. ábra** alsó vázlatán az alkalmazott koordináta-rendszereket tüntettük fel. Ezek a következők:

- $S_0 \equiv (x_0, y_0, z_0)$, a gépállványhoz kötött;
- $S_b \equiv (x_b, y_b, z_b)$, a készülékhez kötött;
- $S_s \equiv (x_s, y_s, z_s)$, a betétkéshez kötött;
- $S_k \equiv (x_k, y_k, z_k)$, a köszörűkoronghoz kötött.

A köszörűkorong τ szög alatt végzi a ferde irányú behatolást, míg a készülék a $z_b \equiv \Delta_1$ tengely körül forog.

A mozgás során a köszörűkorong a betétkés koordináta-rendszerében hengerfelület-sereget generál, melynek felírásához az S_k rendszerből az S_s rendszerbe való áttérés

$$\underline{r}_s = \mathbf{M}_{sb} \mathbf{M}_{b0} \mathbf{M}_{0k} \underline{r}_k \quad (1)$$

mátrixegyenletét használjuk, ahol:

$$\mathbf{M}_{sb} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & -R_s \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\mathbf{M}_{b0} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

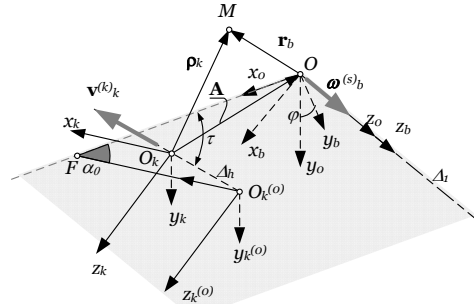
$$\mathbf{M}_{0k} = \begin{pmatrix} \cos \alpha_s & 0 & \sin \alpha_s & x_0^{(O_k)} \\ 0 & 1 & 0 & y_0^{(O_k)} \\ -\sin \alpha_s & 0 & \cos \alpha_s & z_0^{(O_k)} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Az S_k rendszer origójának helyzetét az álló rendszerben a hátramunkálás paramétere és az elfordulás φ paramétere határo-

zák meg. A **2. ábra** alapján felírhatjuk, hogy

$$\begin{pmatrix} x_0^{(O_k)} \\ y_0^{(O_k)} \\ z_0^{(O_k)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_s - a - R_k \cos \alpha_s + \lambda \varphi \cos \tau \\ 0 \\ R_k \sin \alpha_s - \lambda \varphi \sin \tau \end{pmatrix} \quad (5)$$

ahol a az osztóvonalai fogvastagság fele, R_k a köszörűkorong sugara és λ a hátramunkálás egységnyi szögelfordulásra számított paramétere.



3. ábra. A relatív sebességek felírása

3. A betétkés dolgozó részének kialakítása

3.1. A hátfelület egyenlete

A szerszám hátfelületét ferde irányú hátraköszörüléssel, a köszörűkorong által létrehozott felületsereg burkolójaként hozzuk létre. A felületsereg egyenleteit az (1) egyenletből, a (2,3,4) mátrixok behelyettesítéséből, valamint a hengerfelület

$$\underline{r}_k(u, \xi) = (R_k \cos \xi \quad R_k \sin \xi \quad u)^T \quad (6)$$

parametrikus koordináta-függvényeiből kapjuk a kapcsolódási egyenlet megoldásával. A kapcsolódási egyenletet a **3. ábrán** feltüntetett sebességviszonyok alapján írjuk fel. A köszörűkorong a τ szöggel meghatározott irányban $v = \omega \lambda$ sebességgel mozog, míg a szerszámtartó készülék ω szögsebességgel a $z_b \equiv \Delta_1$ tengely körül forog.

A köszörűkorong tetszőleges M pontjának a betétkészhez rögzített, ezzel adott időpillanatban egybeeső helyzetű pontjához viszonyított relatív sebességvektora a készülék rendszerében a következő (3. ábra):

$$\mathbf{v}_k^{(k,s)} = \mathbf{v}_k^{(k)} - \boldsymbol{\omega}_{O_b}^{(b)} \times \mathbf{r}_b \quad (7)$$

A (7) egyenletben szereplő vektorokat az S_k rendszerbe felírva [7,8] a

$$\mathbf{v}_k^{(k,s)} = \mathbf{v}_k^{(k)} - \boldsymbol{\omega}_{O_k}^{(b)} \times \mathbf{p}_k - \mathbf{A} \times \boldsymbol{\omega}_{O_k}^{(b)} \quad (8)$$

egyenlethez jutunk. A köszörűkorong felületének $\mathbf{n}_k(\xi) = (\cos \xi \quad \sin \xi \quad 0)^T$ normálvektorával felírt kapcsolódási egyenlet [7,8] a köszörűkorong ξ paraméterére megoldható:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \xi(u, \varphi) &= \frac{\lambda \cos(\tau - \alpha_s)}{E(u, \varphi)} \\ E(u, \varphi) &= R_s - a - R_k \cos \alpha_s + \lambda \varphi \cos \tau + u \sin \alpha_s \end{aligned} \quad (9)$$

A fentebb kapott $\xi = \xi(u, \varphi)$ függvényt behelyettesítve a (6) hengerfelületkoordináta-függvényekbe, a φ paraméter rögzített értékére, a pillanatnyi érintkezési görbe helyzetét kapjuk a köszörűkorongon. A hátfelület parametrikus egyenleteit az (1) mátrixegyenletből nyerjük, ha a ξ paraméter helyett a (9) függvényt írjuk.

3.2. A homlokfelület egyenlete

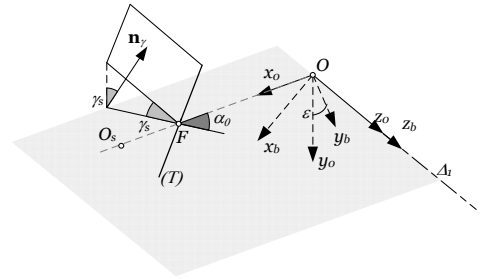
A homlokfelület egyenletét célszerű implicit alakban keresni. Feltételezzük, hogy az új homlokfelület a T elméleti profil osztóvonal F pontját tartalmazza, a készülék tengelysíkjaához képest pedig γ_s beállítási homlokszöggel döntött (4. ábra). Az új szerszám homlokfelülete az ábrán látható helyzetben található. Az újraélezés úgy történik, hogy a homlokfelületet a készülék tengelye körül fordítjuk el a kopásnak megfelelő ε szöggel. Az élkoordináták köny-

nyebb számítására célszerű a homlok- és hátfelületek metszetét a készülékhez kötött S_b rendszerben tárgyalni. A homlokfelületet az álló rendszerben írjuk fel először, majd az \mathbf{M}_{0_b} mátrix segítségével koordináta-transzformációt alkalmazunk S_0 -ból S_b -be. A számítások elvégzése után az

$$Ax_b + By_b + Cz_b + D = 0,$$

$$\begin{cases} A = \sin \varepsilon + \cos \varepsilon \operatorname{tg} \gamma_s \cos \alpha_0 \\ B = \cos \varepsilon - \sin \varepsilon \operatorname{tg} \gamma_s \cos \alpha_0 \\ C = \operatorname{tg} \gamma_s \sin \alpha_0 \\ D = -(R_s - a) \operatorname{tg} \gamma_s \cos \alpha_0 \end{cases} \quad (10)$$

egyenletet kapjuk.



4. ábra. A homlokfelület normálvektora

3.3. Az élpontok koordinátái

Az él a homlokfelület és a hátfelület metszete. Az élkoordináták felírásához a hátfelület $\mathbf{r}_k(u, \varphi, \xi(u, \varphi))$ parametrikus koordinátáit átírjuk a készülék rendszerébe, az (1) mátrixegyenlet jobb oldalának első mátrixa elhagyásával:

$$\mathbf{r}_b(u, \varphi, \xi(u, \varphi)) = \mathbf{M}_{b_0} \mathbf{M}_{0_k} \mathbf{r}_k(u, \varphi, \xi(u, \varphi)) \quad (11)$$

A (11) parametrikus koordinátákat behelyettesítjük az újraélezés állapotának megfelelő ε paraméter értékére számított együtthatókkal felírt (10) implicit egyenletbe, mely így a

$$\Phi(u, \varphi, \xi(u, \varphi), \varepsilon) = 0 \quad (12)$$

módon jelölhető, igen bonyolult alakú összefüggéssé alakul, melyet a továbbiakban kizárólag numerikusan kezelhetünk.

A homlokfelület és a hátfelület relatív helyzete arra enged következtetni, hogy bármely u paraméterértékre, mely az elméleti osztókörü F élponttól való, élhosszában mért távolságot jelenti, mindig létezik φ megoldás. Az intervallumfelezés módszerét alkalmazzuk, és ezzel N megadott u értékre előállítjuk a (12) egyenlet megoldásával a megfelelő φ értéket. Az így kapott $u_i, \varphi_i, i \in \{0; 1; \dots; N-1\}$ értékpárokat ezután az (1) egyenletbe helyettesítjük be, hogy az élpontok koordinátáit a betétkés koordinárendszerében kapjuk meg.

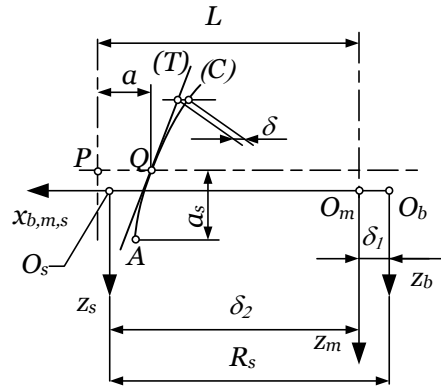
4. A profilhiba

A profilhibát a betétkés éle által a marófej tengelye körül való elforgatásával kapott forgásfelület tengelyszelvénye és e tengelyszelvény osztóvonali pontjába húzott α_0 dőlésszögű profílegyenes közötti, a lécszaladás irányában mért távolságként definiáljuk (5. ábra).

A profilhiba számítását a betétkésnek a marófejben elfoglalt helyzetéből indítjuk. A szerszámfej felépítése az Arkhimédész-féle vezérgörbéjű származtatófelületet kell megvalósítsa [1]. Alapparaméterként a forgástengely és az él által generált ideális fogaslécfog tengelyének L távolságát tekintjük.

Azt a tényt is figyelembe kell venni, hogy az utánélezések következtében az él elvándorol kezdeti helyzetéből. A betétkés akkor van helyesen beállítva, ha az éle által leírt forgásfelület síkszelvényének osztóvonali pontja a tengelytől L távolságra helyezkedő fogasléc-fogprofil megfelelő (késtípustól függően külső vagy belső) oldalára illeszkedik. Ennek céljából az élezési stádiumnak megfelelő ε értékre kiszámítjuk az élkoordinátákat, majd pedig ezekre, az u élhosszparamétert változóznak tekintve felír-

juk az $x_{sp}(u), y_{sp}(u), z_{sp}(u)$ splinefüggvényeket.



5. ábra. A profilhiba meghatározása

Kiindulópontnak az élcsúcsot választjuk, mely az 5. ábrán látható (C) síkszelvény A pontját generálja. Mivel az él körbeforgatása során a z koordináták nem változnak, a profil Q pontját generáló élpont és az A profilcsúcspontot generáló élcsúcs z menti távolsága a fogfejmagassággal kell egyenlő legyen, így a Q pontnak megfelelő u_q paraméterértéket a

$$z_A - z_{sp}(u) = 1.25 m_n \quad (13)$$

egyenlet gyöke adja. A referencia Q pont távolsága az elméleti fogasléc-fogprofil középpontjától mindig a , tehát a marófej forgása során a Q pont által leírt kör sugara $L - a$; ezzel kiszámítjuk az S_k és az S_m rendszerek x tengelyirányú δ_2 eltolását:

$$\sqrt{(x_{sp}(u_q) + \delta_2)^2 + y_{sp}^2(u_q)} = L - a \quad (14)$$

Ezek után könnyen felírható az S_b és S_m rendszerek δ_1 x menti elcsúsztatása:

$$\delta_1 = R_s - \delta_2 \quad (15)$$

A (14) egyenletből kifejezett δ_2 érték segítségével felírjuk az élpont koordinátáit a maró S_m rendszerében:

$$\underline{\mathbf{r}}_m = (x_k + \delta_2 \quad y_k \quad z_k)^T \quad (16)$$

Az él által generált forgástest tengelyszelvényének koordinátáit a tengelytől való távolság és a tengelyirányban mért magasság adja. A ráforgatás módszerének analitikus alkalmazásaként azonnal felírhatók a profilkoordináták:

$$\underline{\mathbf{r}}_m^{pr} = \begin{pmatrix} \sqrt{(x_k + \delta_2)^2 + y_k^2} \\ 0 \\ z_k \end{pmatrix} \quad (17)$$

A profilhibát a (T) elméleti profilegeenes és a (C) profilgörbe közötti, a lécs haladási irányában mért δ irányított szakasz adja, melynek előjeles hossza:

$$\delta = [x_{sp}(u_q) + (z_m^{pr} - z_{sp}(u_q)) \operatorname{tg} \alpha_0] - x_m^{pr} \quad (18)$$

A profilhiba akkor pozitív, ha a valós generáló profil az elméleti profilhoz képest a megmunkálandó anyag irányába van eltolva. Így a fogárookban dolgozó belső kés élpontján akkor mérünk pozitív hibát, ha ez közelebb van a forgástengelyhez, azaz x koordinátája kisebb, mint az ugyanakkora z koordinátájú elméleti élpontnak. Világos, hogy külső kés esetében a (18) képletet fordított előjellel tekintjük.

5. Számszerű vizsgálat

A matematikai modell helyességét, illetve a hibák kiértékelését a következő beállítási értékekre végeztük el:

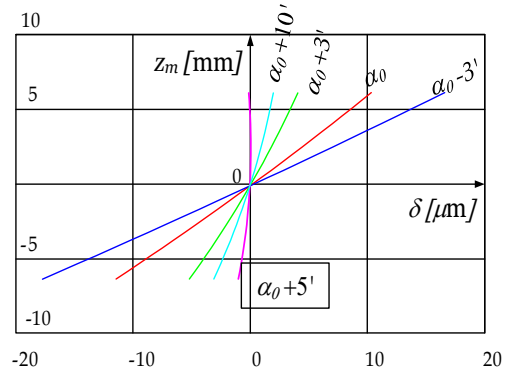
- normálmodul $m_n = 5$ mm ;
- normálkapcsolószög $\alpha_0 = 20^\circ$;
- készüléksugár $R_s = 85$ mm ;
- beállítási sugár $L = 120$ mm ;
- utánélezési tartalék $\varepsilon = 20^\circ$;

- radiálhátszög közelítő értéke az osztóvonalon $\alpha_Q = 6^\circ$;
- fogfejlhátszög $\alpha_C = 5^\circ$;
- oldalhomlokszög beállítási értéke $\gamma_s = 10^\circ$;
- a készülékbe egyszerre elhelyezett kések száma $Z_s = 8$.

A beállítási oldalhátszög és és fogfejlhátszög értékével kiszámítottuk a radiális, illetve axiális szükséges hátramunkálási paraméterek értékét, és ennek alapján a τ hátramunkálási irányt, valamint a λ hátramunkálási paramétert. A megadott kezdeti adatokra a $\tau = 39^\circ 46'$, illetve $\lambda = 10,4$ mm/rad értékeket kaptuk.

5.1. A profilhiba változása a köszörűkorong tengelyének szögével

A matematikai modell kiemlézése során bizonyítást nyert az a feltételezés, hogy a hengeres köszörűkorong kiküszöbölhetetlen profilhibát eredményez. A hibákat a köszörűkorong $\alpha_s \in [20^\circ - 3', 20^\circ + 10']$ intervallumban változtatott dőlésszögeire számítottuk ki.



6. ábra. A profilhiba változása a köszörűkorong tengelyének α_s bedöntési szögével

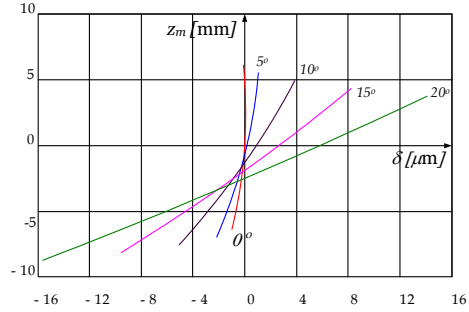
Az eredményeket a 6. ábrán szemléltettük. Megfigyelhető, hogy a fogfejre (z pozitív értékei) a hiba pozitív, míg a foglalóra nega-

tív. A hiba az $\alpha_s = \alpha_0$ értékre közel $10\mu\text{m}$, amennyiben viszont 3 szögpercnit csökkentjük az α_s szöget, a hiba gyakorlatilag kétszeresére növekszik.

Továbbá megfigyelhető, hogy a bedöntési szög növelésével a hiba csökken, míg el nem éri, 5 szögpercnyi csökkentésre, az $1\mu\text{m}$ értéket. Ha ennél tovább növeljük a bedöntési szöget, a hiba ismét növekedni fog, de iránya nem változik, vagyis az élcsúcson pozitív, míg az éltövön negatív. Gyakorlati szempontból a pozitív hiba előnyös, mivel fogfej- és fogláblenyésést okoz, amely a hordképet a fogmagasság irányában lokalizálja. A fogoldalon történő anyagráhagyás a kapcsolódási viszonyokat rontja, és előbb-utóbb fogfelület-roncsolódáshoz vezet. Figyelembe kell vennünk, hogy a köszörűgépnek is vannak beállítási hibái, az optimum érték környezetében minimum ± 5 szögpercnyi hibával számolnunk kell, ami $5\text{--}10\mu\text{m}$ profilhibát jelent. Véleményünk szerint nem a profilhiba értéke okoz gondot, hanem ennek a geometriai helyzete.

5.2. A profilhiba változása az újraélezésekkel

Az újraélezések hatását úgy vizsgáltuk, hogy a tökéletes köszörűkorong-beállítással generált hátfelületet a köszörűkészülék tengelye körül elforgatott homlokfelületekkel metsszük el. A modellt az $\varepsilon \in \{0^\circ; 5^\circ; 10^\circ; 15^\circ; 20^\circ\}$ újraélezési paraméter-értékekre állítottuk be, és kiszámítottuk a keletkező profilhibát. Az eredményeket a 7. ábrán foglaltuk össze. Megfigyelhető, hogy a profilhiba az utánélezésekkel, értelmet megtartva, növekedik. Az $\varepsilon = 10^\circ$ értéknek megfelelő $\delta \approx 5\mu\text{m}$ hibát elfogadhatónak tekintjük.



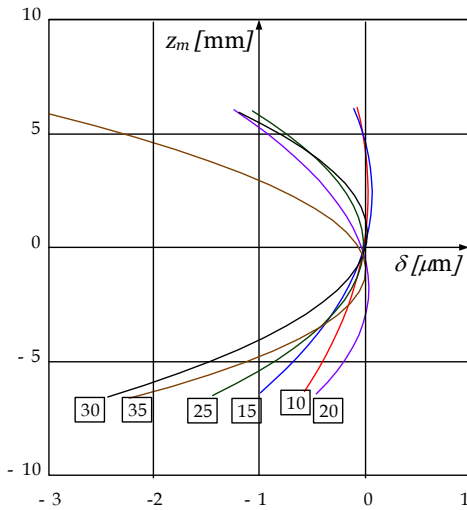
7. ábra. A profilhiba változása az újraélezések számával

Az említett mértékű újraélezésnek közelítőleg $R_s \varepsilon \approx 13,96\text{ mm}$ értékű újraélezési anyagtartalék felel meg. Ezt megfelelőnek tartjuk, mivel közel kétszerese egy hasonló modulú lefejtő csigamaró újraélezési tartalékának.

5.3. A profilhiba változása a köszörűkorong sugarával.

A köszörűkorong sugarának megválasztása mind a profilhibát, mind pedig az α_s optimális bedöntési szögértéket befolyásolja. A gyártási folyamat szempontjából a nagyobb köszörűkorong-átmérő előnyösebb. Figyelembe véve, hogy a hátraesztergakés éle által burkolt hátfelület tökéletes, a kisebb sugarú köszörűkorong kisebb profilhibát hoz létre. Ennek technológiai hátrányai a forgácsolósebesség korlátozásában keresendők. A köszörűkorong sugarának maximális értékét befolyásolja a készülék sugara és a hátramunkálás iránya, ennél fogva a felső méret is korlátozott.

Az érintkezési görbék helyzete a köszörűkorongon a korong sugarával arányosan változik. Ki lehet mutatni, hogy minél nagyobb a sugár, a görbék annál inkább illeszkednek az (x_k, z_k) sík alá (y tengely pozitív iránya, 2. ábra), tehát a korongnak annál nagyobb túlfutás szükséges, hogy a teljes hátfelületet megmunkálja.



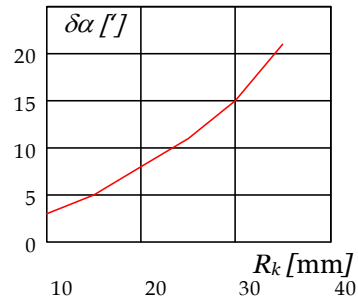
8. ábra. A profilhiba változása a köszörűkorong sugarával optimális beállítás esetén

A hibaeloszlásokat rendre 10, 15, 20, 25, 30 és 35 mm sugarú köszörűkorongra tanulmányoztuk, úgy, hogy megkerestük a legkisebb hibát eredményező tengelydöntési szöget. Az eredményeket a 8. ábrán szemléltettük. Megfigyelhető, hogy a köszörűkorong sugarának növekedése a hiba növekedését eredményezi, de ez, optimális beállítás esetén, elfogadható nagyságú, nem haladván meg a 3 μm értéket. A legnagyobb hibaérték az éltövön keletkezik az $R_s \in \{10; 15; 30\}$ mm értékekre, és az élcúcson $R_s \in \{20; 25; 35\}$ mm értékekre. A 25 mm értékre az éltövön és élcúcson jelentkező hibák közel egyenlő értékűek.

A 8. ábráról az is leolvasható, hogy a hiba az optimális beállítás esetében is ellentétesen oszlik el, mint ahogy az megfelelő lenne, mivel anyagráhagyást eredményez, vagyis fogfejnél és foglábnaál az előírtnál szűkebb fogárkot.

Az optimális beállításra jellemző, hogy a bedöntési szög értéke arányosan növekedik a köszörűkorong sugarával. A felsorolt köszörűkorong-sugarakra jellemző szögkor-

rekciókat a 9 ábrán szemléltettük. Megjegyezzük, hogy az ábrázolt értékek a bedöntési szög és az elméleti lécprofilszög közötti különbségek.



9. ábra. A bedöntési szög értékének növekedése a köszörűkorong sugarával optimális beállítás esetén

6. Következtetések

Az előbbieken bemutatott és numerikusan kiértékelt matematikai modell alapján kimondható, hogy betétkések hengeres köszörűkoronggal való ferde irányú hátraköszörülése emelt pontosságigényű művelet. A művelet előnyös, mivel klasszikus hátesztergán elvégezhető, egyszerűen és nagy pontossággal előállítható köszörűkészülékben.

A hátraköszörülés során előállított hátfelület elméletileg mikron nagyságrendű hibát eredményez.

A profilhiba viszont igen érzékenyen változik a beállítási pontossággal: szögpercnyi eltéréssel már akár kétszeres növekedést is tapasztalhatunk.

Ha az optimális beállítást nem sikerül megvalósítanunk, akkor hátrányos eloszlású hibával rendelkező készletet kapunk. A hiba eloszlása minden esetben az éltövön negatív és az élcúcson pozitív. Ebből arra lehet következtetni, hogy a köszörűkorong az éltövön több anyagot távolít el, mint amennyi szükséges.

Innen levonható a következtetés, hogy a továbbiakban olyan körkép alakú köszörű-

koronggal kell kísérletezni, amelynek kis átmérője dolgozik az éltövön.

7. Köszönetnyilvánítás

A kutatás a TÁMOP-4.2.4. A/2-11/1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

This work was supported by a fellowship of the Romanian Ministry of Education, UEFISCDI, project number NR12/2014–315/01.04.2014.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1]Máté, M., Hollanda, D.: *The Cutting of Cylindrical Gears Having Archimedean Spiral Shaped Tooth Line*. 13th International Conference on Tools, 27-28 March 2012, Miskolc, ISBN 978-963-9988-35-4, pp. 357–362.
- [2]Máté, M., Hollanda, D., Tolvaly-Rosca, F., Popa-Müller, I.: *The localization of the contact patch by cylindrical gear having an Archimedean toothline using the method of setting the tangential displacement*. In XXI-th International Conference of Mechanical Engineers, Arad, 25-28 apr. 2013, Conference Proceedings, ISSN 2068-1267, pp.265–268.
- [3]Máté, M.: *The micro-geometric Model of the Toothflanks of a cylindrical Gear With Archimedean Spiral Shaped Toothline*. 6th International Scientific and Expert Conference TEAM 2014-Technique, Education, Agriculture & Management, Kecskemét, November 10-11, 2014. PROCEEDINGS OF TEAM 2014, ISBN 978-615-5192-22-7, Volume VI, Number 1, Year 2014, pp. 348–356
- [4]Máté, M., Gyéresi, H.A.: *About the Profile Constancy by Curved Teeth Cylindrical Gear's Cutter Head*. MACRO-2015 6-7 March 2015, Conference Proceedings.
- [5]Máté, M., Hollanda, D., Egyed-Faluvégi, E.: *The Constructive and Functional Geometry of the Cutter Head of Cylindrical Gears with Curved Toothline*. MACRO-2015 6-7 March 2015, Conference Proceedings.
- [6] Gyéresi, H. A., Máté, M.: *Spirális fogirányvonalú hengeres fogaskerekek marófejbetétkései elméleti profilhiba-mentes hátra-köszörülése*. (Error-less Relieving of Inserts of the Archimedean Spiral Teethed Cylindrical Gear Cutter Heads). The XXIII-th International Conference of Mechanical Engineering, Şumuleu-Ciuc, April 23-26, 2015. Proceedings of the Conference. Coordinator: Acad. Csibi Vencel József. Hungarian Technical Scientific Society of Transylvania. ISSN 2068-1267. pp.118–121.
- [7] Litvin, F.L.: *A fogaskerékkapcsolás elmélete*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974.
- [8] Litvin, F.L., Fuentes, A.: *Geometria angrenajelor și teorie aplicată*. Editura Dacia, Cluj-Napoca, 2009.