

Hengerfelülettel élezett egyenes fogú metszőkerekek klasszikus módszerrel való gyárthatóságának kérdései

On the classic manufacturing possibilities of the right teethed shaper cutter with cylindrical rake face

dr. MÁTÉ Márton¹, dr. HOLLANDA Dénes²

^{1,2} Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Târgu-Mureş/Corunca (Marosvásárhely/Koronka), 1C,
Tel: +40 265 206 210, fax: +40 265 206 211, mmate@ms.sapientia.ro¹, holland@ms.sapientia.ro²

Kivonat

Az egyenesfogú metszőkerekek klasszikus élezésének következménye a nem elégséges homlokszög és a profilhiba. A kúp-homlokfelület fogankénti hengerfelülettel való helyettesítésének következménye az optimális oldalhomlokszög-érték, és a nulla profilhiba, amennyiben a szerszám fogazatát speciális, görbe profilú köszörűtárcsával simítjuk. Jelen közleményben bizonyítjuk, hogy meg lehet találni azokat a beállításokat, melyek megengedik az egyenes profilú köszörűszerszám használatát, anélkül, hogy a profilhiba növekedne, vagy az oldalgeometria romlana.

Kulcsszavak: metszőkerék, homlokszög, henger-homlokfelület, köszörülés, profilhiba

Abstract

As well as known, the consequence of the classic sharpening of Fellows cutter results in an insufficient rake angle and theoretical profile error. If the common conical rake face is substituted with individual cylindrical surfaces, optimal rake angle values and theoretically perfect cutting profile is obtained. The tooth grinding can be performed here only with the use of a special profiled grinding wheel. The present paper shows that there exists such setting possibilities that allow the use of a classical biconic grinding wheel, by keeping the improved side rake angle values besides a minimal profile error.

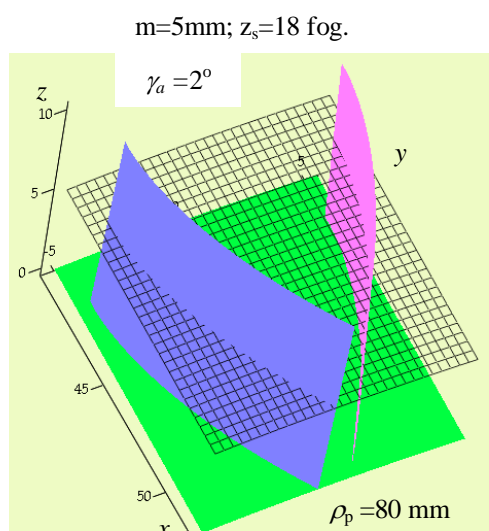
1. A HENGER-HOMLOKFELÜLET ELŐNYEI

Az egyenesfogú metszőkerekek felépítése gyakorlatilag a több, mint 100 évvel ezelőtti szabadalmaztatásuk óta, változatlan. Elfogadott tény, hogy egyenes profilú léccel fejtik le a fogdalaikat, aminek következtében profilhiba keletkezik, de ezt a kis csúchomlokszög- és hátszög-értékekkel tartják a tűrésmezőn belül. Ettől eltérő módon is fel lehet építeni az egyenesfogú metszőkereket [1, 2]. A generáló léccel a származtató kerékekkel helyettesítjük, mégpedig úgy, hogy a szerszám oldalélei egy, a metszőkerék fogszámával megegyező fogszámú, optimális profileltolással [6] generált tökéletes evolvens fogaskerék és egy hengerfelület metszéseként jön létre. Ez esetben, a legjobb beállítást két paraméter változtatásával lehet elérni: egyik a henger tengelyének γ_a dőlésszöge, a másik pedig a ρ_p sugara. A kapott éleket egymással ellentétes értelmű, az alaphengerre illesztett, azonos emelkedésű vezér-csavarvonalak mentén mozdítjuk el, és ezáltal létrehozuk a szerszám fogának oldalfelületeit. A fejkúp félszögének számítási képletét a lineárisan csökkenő profileltolás feltételéből vezetjük le. A fogoldal, és a homlokfelület kölcsönös helyzete az 1. ábrán látható.

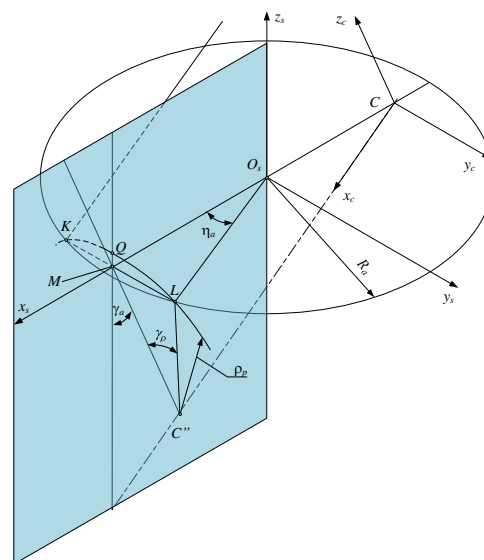
Az így elkészített metszőkerék a klasszikusnál előnyösebb forgácsképzési feltételeket teremt, mivel oldalgeometriája az anyagnak megfelelően választható. Felépítése kizárja az elméleti profilhibát. Itt meg kell jegyezni, hogy az újraélezések során 10^{-4} nagyságrendű profilhiba ugyan keletkezik, de ez sokkal kisebb, mint a gyártási hiba.

2. AZ EGYENES PROFILÚ KÖSZÖRÚTÁRCSA ALKALMAZHATÓ-SÁGÁNAK FELTÉTELEI

Észre lehet venni, hogy különböző (γ_a, ρ_p) értékekre leginkább a kis tengelydőlésszögek és a nagy sugarak esetében, a köszörűkorong profilja minimálisan tér el az egyenes profiltól. Jogosan tevődik fel a kérdés, hogy ebben az esetben létezik-e olyan megoldás, amely az egyenes profilú köszörűtárcsa alkalmazását, és ezzel egyidejűleg a fogárok szembeforduló fogoldalainak egyetlen szerszámbeállítással való köszörülését lehetővé teszi, amellet, hogy a fogankénti homlok-hengerfelületet megtartjuk? Sikerül-e adott szerszámkapcsolószög-beállítás mellett a profilhibát minimális értéken tartani?



1. ábra Az oldal-hátfelületek és a hengeres homloklfelület, az új és a kopott szerszám esetében



2. ábra Az alkalmazott koordináta-rendszerek

2.1 A matematikai modell

Ha elfogadjuk az egyenes profilú köszörűtárcsát, akkor a metszőkerék fogoldalai α_s kapcsolószögű csavarevolvens-felületek lesznek. A kapcsolószög, azaz a köszörűtárcsa profilszöge pedig a feladat változója lesz. Ez azt jelenti, hogy, adott m modul és z_s fogszám, tehát adott osztókör mellett az R_b alapkör sugarát, az evolvensnek görbülete és a maximális profileltolás is α_s függvénye lesz, akár csak az R_a fejkör sugarát és az evolvens alapköri rádiuszának a fog szimmetria-tengelyéhez viszonyított η szöge.; ez utóbbi két paraméter azért, mert a fejszalagot előírt értéken tartjuk.

Az él a henger-homloklfelület és a csavarevolvens metszéseként értelmezhető. A szimmetria miatt elégséges a bal oldali él tanulmányozása. Amennyiben a csavarevolvens klasszikus képleteit akarjuk használni, a paraméterek közötti összefüggés kezelhetlenné bonyolódik. Ezért a fogoldalat úgy írjuk fel, mint adott ρ sugarú hengeres csavarvonal-sereget, amely a $z_s = 0$ síkban fekvő evolvensgörbe megfelelő pontjaiból indul ki (3. ábra). Ismert evolvenstrigonometriai összefüggések segítségével a csavarvonal-sereg parametrikus egyenletei a következők:

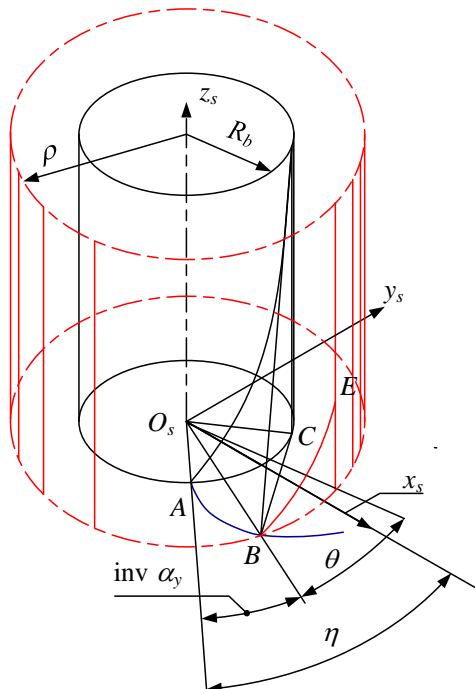
$$\begin{cases} x_s(\rho, \theta; \alpha_s) = \rho \cos(\text{inv } \alpha_s - \eta + \theta) \\ y_s(\rho, \theta; \alpha_s) = \rho \sin(\text{inv } \alpha_s - \eta + \theta) \\ z_s(\rho, \theta; \alpha_s) = p\theta \end{cases} \quad (1)$$

Az (1) egyenletben szereplő α_s a ρ polársugarú evolvensponthoz tartozó kapcsolószög, η pedig az evolvens alapköri pontjának és futópontjának polársugarai közé zárt szög. Mind a két paraméter függ a metszőkeréket generáló lécs α_s profilszögétől. Annak érdekében, hogy egyszerűbb egyenletet kapjunk, szükségesnek találtuk e paraméterek polinomos közelítését. A közelítő függvény értelmezési tartományaként az $(\alpha_0 - 3^\circ, \alpha_0 + 3^\circ)$ intervallumot jelöltük ki. A numerikus vizsgálatok arra a

következtetésre juttattak, hogy a maximális profileltolás értékét negyedfokú, míg az η szöget másodfokú polinommal közelíteni elégséges, a közelítési hiba legnagyobb értékei 10^{-4} , illetve 1 szögperc.

Az $\text{inv } \alpha_y$ szöget, az involut-függvény sajátosságai alapján, a ρ és az R_b segítségével fejezzük ki, tehát R_b -n keresztül ez is az α_s függvénye.

A hengerfelület implicit egyenlete, az 2. ábra alapján, a következő:



3.ábra Az oldalhátfelület csavarvonal-seregeként való értelmezése

$$y_s^2 + (x_s \sin \gamma_a + z_s \cos \gamma_a - q)^2 - \rho_p^2 = 0, \quad (2)$$

$$q = \left(\sqrt{R_a^2 - 0,25s_{as}^2} - \frac{1}{\sin \gamma_a} \sqrt{\rho_p^2 - 0,25s_{as}^2} \right)$$

Az (1) parametrikus koordinátáknak a (2) egyenletbe való helyettesítése a

$$\rho^2 \sin^2(\text{inv } \alpha_y - \eta + \theta) + (\rho \cos(\text{inv } \alpha_y - \eta + \theta) \sin \gamma_a + p \theta \cos \gamma_a - q)^2 - \rho_p^2 = 0 \quad (3)$$

egyenlethez vezet, amelyet csak numerikusan lehet megoldani. Meg kell jegyeznünk, hogy az evolvens csavarfelület minden klasszikus felírása [4,5] ennél bonyolultabb alakú képlethez vezet. A (3) egyenlet segítségével, minden $R_b < \rho < R_a$ -ra kiszámítjuk a $\theta(\rho)$ értéket, melyeket visszahelyettesítünk az (1) parametrikus egyenletekbe. Ezzel az élgörbe koordinátáit megkaptuk.

2.2 A technológiai elfogadhatóság

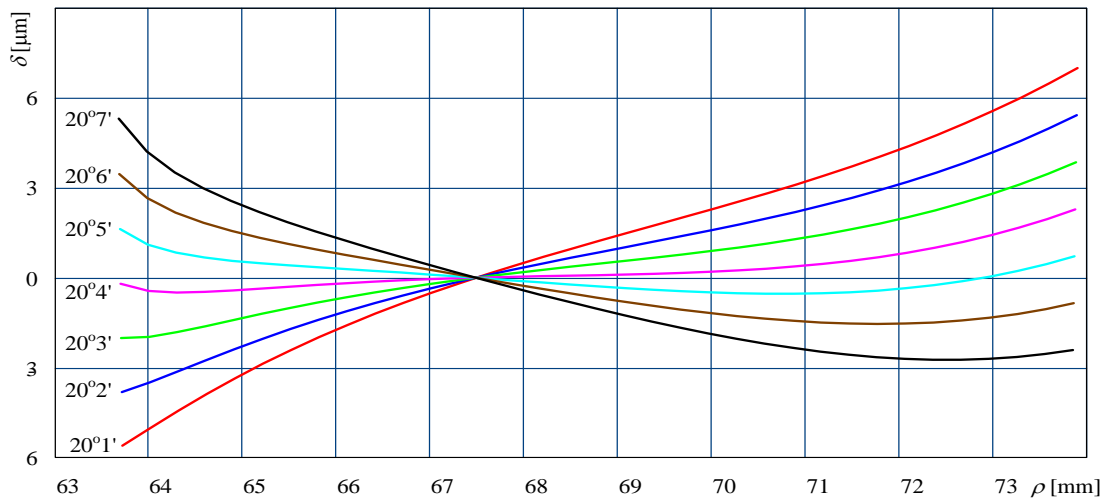
Az élvetület- görbét az ekvivalens evolvenshez viszonyítjuk, amelyet az $r_b = R_0 \cos \alpha_0$ alapkörrel fejtünk le, és amelynek osztóköri pontja közös az élvetület osztóköri pontjával [1]. A hibát az elméleti evolvens és az élvetület közötti, az előbbire merőleges irányú szakasz előjeles hosszaként definiáljuk: a hiba pozitív, ha az elméleti evolvens az élvetületre épített virtuális fognak a beltartományában található, és negatív ellenkező esetben.

Akkor, és csak akkor fogadhatjuk el az egyenes profilú köszörútárcsával való gyártást, ha a profilhiba az élvetület teljes hosszában, leszámítva az osztóköri pontot, pozitív, és e hiba legnagyobb értéke kisebb, vagy egyenlő a klasszikus metszőkerék elfogadott elméleti profilhibájával.

3. NUMERIKUS KIÉRTÉKELÉS ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

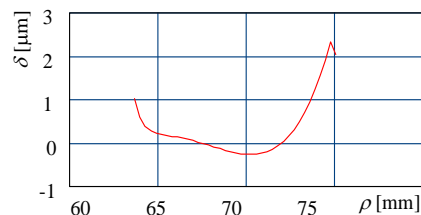
A modell numerikus vizsgálatát $z_s = 27$ fogú, $m = 5$ mm modulú metszőkerékre végeztük el, A homloklfelület paramétereit $\rho_p = 25$ mm -re, illetve $\gamma_a = 5^\circ$ -ra állítottuk.

A hibagörbék alakulását az $\alpha_0 = 20^\circ$ szimmetrikus környezetében a 4. ábrán szemléltetjük.



4. ábra A hibaeloszlás különböző generáló lécpofilszögekre

Bár a lécpofilszög változtatás alig egy szögpercnyi, észre lehet venni, hogy a hibaeloszlás relatív változása számottevő: abszolút értékben változása közel parabolikus; az osztóköron belüli, illetve az ezen kívüli részekben értelme megváltozik. Következésképpen érdemes az optimum-értéket megkeresni. Az α_s érték növekményét az előállítható profilozási pontosságban határoztuk meg, amit $1 \mu\text{m}$ értékre becsültünk. Ennek közel $20''$ felel meg. A keresés során talált optimum $\alpha_s^{opt} = 20^\circ 4' 40''$. Erre a hibaeloszlást az 5 ábrán szemléltettük.



5. ábra Az optimális α_s értékre létrejövő hibaeloszlás

Az 5. ábra igazolja, hogy lehet találni olyan beállításokat, melyre a metszőkereket klasszikus, egyenes profilú tárcsával köszörülhetjük, miközben a sokkal jobb homlokszöget biztosító henger-homloklfelületet alkalmazzuk.

SZAKIRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Máté, M. Optimális homlokszöget biztosító homloklfelületek és élezések kialakítása egyenesfogú metszőkeréken. 2528/29/2019/HTMT számú DOMUS kutatási szerződés, pályamunka.
- [2] Máté, M., e.a. Synthesis of a Profile Errorless Involute Shaper Cutter with Cylindrical Rake Face. CINTI-MACRO Joint Conference, Szeged, 2019. november 14-16. IEEE Joint 19th International Symposium on Computational Intelligence and Informatics and 7th International Conference on Recent Achievements in Mechatronics, Automation, Computer Sciences and Robotics- e-Konferenciakötet. 978-1-7281-5625-5/19/\$31.00 ©2019 IEEE. pp. 71-78.
- [3] Máté, M., Hollanda, D. A hengerfelülettel élezett egyenesfogú metszőkerék modell numerikus kiértékelése. MTNE-2019, Kolozsvár, 2019. november 22-23. Megjelenés alatt.
- [4] Balajti Zs., Dudás, I.: The Monge Theorem and Its Application in Engineering Practice, International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Springer London, Online ISSN 1433-3015, <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9763-1>, Print ISSN 0268-3768, (2017) 91, Issue 1-4, pp.: 739-749.
- [5] Ábel J., Balajti Zs.: Szerszámél geometriai vizsgálatához szükséges feltétel, a Monge-tégla bijektív tartományának határfelülete. OGÉT, 2019. április 25-28., XXVII. Nemzetközi Gépészeti Konferencia, Nagyvárad, ISSN 2068-1267, 22-26.