AZ EGYENESFOGÚ METSZŐKERÉK SZERSZÁMKAPCSOLÓSZÖGÉNEK OPTIMÁLÁSA

Máté Márton

A metszőkeréket a szakirodalom olyan fogaskerekeként tárgyalja, amelyek profileltolása egyenesen arányosan csökken a kerék alapsíkjától számított távolsággal. Habár a szerszám fogának oldalfelületei evolvens csavarfelületek, a vágóélek vetülete az alapsíkra a tökéletes evolvenstől eltér. A klasszikus elmélet szerint gyártott szerszám kapcsolószögét egyszerű képlettel számítják [1], amely a fogszámot nem veszi figyelembe, így a vágóél vetületének görbületét sem. A fellépő profilhibák csak alacsony értékű homlokszög mellett maradnak a tűrésmezőn belül. A jelen dolgozatban egy olyan számítási módszer van ismertetve, amely a szerszámkapcsolószög meghatározását a vágóél vetülete mentén észlelhető átlagos négyzetes profileltérés értékének minimalálásán alapszik. A módszer alkalmazásával elérhető a csúcshomlokszög megkétszerezése, és a profilhibák sem haladják meg a megengedett értéket.

A vágóéi vetületének parametrikus egyenletei.

A metszőkerék vágóélei a szerszám forgácsolómozgása következtében egyenesfogú fogaskereket burkolnak. Ennek a keréknek a fogprofilja azonos a vágóél egy tetszőleges, szerszámtengelyre merőleges síkra képzett vetületével. Ahhoz, hogy a metszőkerék tökéletes evolvensprofilú kereket burkoljon, szükséges, hogy a főmozgásban leírt kerék fogprofilja is evolvens legyen. Ez a feltétel, amint a szakirodalomból kitűnik, nem teljesül. Ennek következtében a gyártott kerék profilhibával készül. Általánosan elfogadott vélemény az, hogy az előbb említett szerszámhiba hasznos, mivel a vágóél vetülete kívülről érinti a tökéletes evolvenst ennek osztóköri illeszkedő pontjában és ennek következtében a fogfej- illetve fogláblenyésést is elvégzi. Ahhoz, hogy a profilhiba a tűrésmezőn belül maradjon, a szerszámot a gyakorlatban általában 5° -os fejhomlokszöggel gyártják. Ez az érték a vágóél mentén 2° -nál kisebb homlokszöget jelent, ami a forgácsolás szempontjából kedvezőtlen [2].

A szerszám forgácsképzésének javítása a homlokszög növelésével válik lehetségessé. A profilhiba csökkentése két módon lehetséges: az összerszám egyenes profiljának módosítása úgy, hogy a vágóél vetülete tökéletes evolvens legyen, vagy pedig az egyenes vonalú összerszámprofil megtartása a szerszámkapcsolószög módosításával. Ez utóbbi változat technológiai megoldása egyszerűbb, azonban a profilhiba megmarad. A vágóél vetülete ennek a szögnek a függvényében változik. A burkolt profil parametrikus egyenleteit célszerű egyszerű geometriai megfigyelések alapján levezetni. A vágóél a szerszám fogának evolvens csavarfelületének és a homlokfelületnek metszete. Az utóbbi egyenes

körkúp, melynek tengelye a szerszám tengelyével egybeeső. Így a homlokfelület metszete egy a szerszám tengelyére merőleges síksereggel egyenesen arányosan csökkenő sugarú körsereg, melynek sugarát a vágóél paramétereként tekintünk. Az 1. sz. ábra alapján, a tetszőleges X-X síkban a profileltolás értéke

1. sz. ábra

$$\zeta(\rho) = \xi_{\max} - \frac{R_s - \rho}{m} \operatorname{tg} \alpha' \quad (1)$$

Az evolvenstrigonometria alapegyenletéből a vágóél X-X síkjában levő pontja vetületéhez húzott sugár és az Ox tengely által bezárt szög a következő képletrend-szerrel számítható:

$$\begin{cases} \eta(\rho) = \operatorname{inv} \alpha_s + \frac{s(\rho)}{m z} - \operatorname{inv} \alpha_r \\ s(\rho) = \frac{\pi m}{2} + 2 m \zeta(\rho) \operatorname{tg} \alpha_s \\ \operatorname{inv} \alpha_r = \frac{\sqrt{\rho^2 - R_b^2}}{R_b} - \arccos \frac{R_b}{\rho} \end{cases} \quad (2)$$

Az (1) és (2) képletek alapján a szerszámél vetületének (a továbbiakban a burkolt görbe) egyenletei a következők:

$$\begin{cases} x(\rho) = \rho \cos \eta(\rho) \\ y(\rho) = \rho \sin \eta(\rho) \end{cases} \quad (3)$$

A profilhiba számítása.

Profilhiba alatt a burkolt görbe futópontja és az ezt érintő tökéletes evolvensgörbe az evolvensre normálirányban mért távolságot értjük. Megjegyezendő, hogy az elméleti evolvenssel kapcsolódó lécpofil szöge a megmunkálendő fogaskerék lécpofil szögével megegyező.

Amint a 2.sz. ábrából kitűnik, a profilhiba a BM és BN szakaszok különbsége. A BM szakasz hossza az OMB derékszögű háromszögből Pithagorasz tételével számítható. A BN szakasz hossza az AB körív hosszával megegyező. A viszonyító evolvens a burkolt profilt az osztókörön érinti. Az érintkezési pont Ox tengelyéhez viszonyított helyzetszöge a (2) képletekkel számítható, $\rho = R$ értékre. A BM és BN szakaszok hossza a burkolt profil futópontjának sugarától függően a következők:

2. sz. ábra

$$\begin{cases} BM = \sqrt{\rho^2 - r_b^2} \\ BN = r_b [\operatorname{inv} \alpha_0 + \eta(R) - \eta(\rho) + I(\rho)] \end{cases} \quad (4)$$

A számítások elvégzése után a profilhiba kifejezése a következő alakot ölti:

$$\Delta(\rho) = \sqrt{\rho^2 - r_b^2} - r_b \left(\operatorname{inv} \alpha_0 + 2 \frac{R - \rho}{m z} \operatorname{tg} \alpha' \operatorname{tg} \gamma \operatorname{tg} \alpha_s + \arccos \frac{r_b}{\rho} - \arccos \frac{R_1}{\rho} + \arccos \frac{R_b}{R_2} + \frac{\sqrt{\rho^2 - R_b^2}}{R_b} - \frac{\sqrt{R^2 - R_b^2}}{R_b} \right) \quad (5)$$

Az (5) kifejezésből látszik, hogy a profilhiba az α_s szerszámkapcsolószög és a ρ sugár függvénye.

A szerszámkapcsolószög optimalálása.

A szerszám kapcsolószög optimális értékének azt az értéket tekintjük, amelyre a $\Delta(\rho)$ profilhiba négyzetes középértéke minimális lesz. Mivel a $\Delta(\rho)$ függvény ρ szerint az $[R_1, R_2]$ intervallumon folytonos, a $\Delta(\rho)$ négyzetes középértékét az alábbi képlet adja:

$$\sqrt{\Delta^2} = \sqrt{\frac{1}{R_2 - R_1} \int_{R_1}^{R_2} \Delta^2(\rho) d\rho} \quad (6)$$

A (6) képlet egy olyan Riemann összeget jelöl, melynek minden tagja pozitív, és ezek szerint ennek a helyi szélsőérték - amennyiben létezik - csak minimum lehet. Így a kapcsolószög optimum értéke a

$$\frac{d}{d\alpha_s} (\sqrt{\Delta^2}) = 0 \quad (7)$$

egyenlet megoldása α_s -re. A deriválás elvégzése után a (7) egyenlet alakja a következő:

$$\int_{R_1}^{R_2} \Delta(\rho) \frac{d(\Delta(\rho))}{d\alpha_s} d\rho = 0 \quad (8)$$

ahol a profilhibafüggvény α_s szerinti deriváltja

$$\frac{d(\Delta(\rho))}{d\alpha_s} = \Delta'_{\alpha_s} = -\frac{r_b}{R} \left((R - \rho) \operatorname{tg} \alpha' \operatorname{tg} \gamma \frac{1}{\cos^2 \alpha_s} + \frac{\sin \alpha_s}{\cos^2 \alpha_s} (\sqrt{\rho^2 - R^2 \cos^2 \alpha_s} - \sqrt{R^2 - R^2 \cos^2 \alpha_s}) \right) \quad (9)$$

képlettel számítható.

A (8) egyenlet integrálása igen bonyolult, α_s -ben transzcendens egyenlethez vezet, amelynek megoldása numerikus módszerek alkalmazásával lehetséges. A megoldás egyszerűsítése végett a (8) egyenlet baloldalát a Simpson képlettel közelítjük, mely viszonylag kisszámú csomóponttra felírva is elégségesen pontos közelítést ad. Így a szerszámkapcsolószög optimális értéke az

$$\sum_{j=0}^{20} (3 - (-1)^j) \Delta(\rho_j) \Delta'_{\alpha_s}(\rho_j) - (\Delta(\rho_0) \Delta'_{\alpha_s}(\rho_0) + \Delta(\rho_{20}) \Delta'_{\alpha_s}(\rho_{20})) = 0 \quad (10)$$

egyenlet gyöke, a ρ_j értékek pedig az $[R_1, R_2]$ intervallum 21 csomópontja.

Numerikus kiértékelés.

A felállított elmélet hatékonysága egy $z = 40$ fogú és $m = 5\text{mm}$ modulú metszőkerék kapcsolószögének a klasszikus és az előbbieken vázolt módszerrel való számításának összehasonlításával válik érzékelhetővé. A klasszikus számítási módszer alkalmazásakor $\gamma = 6^\circ$ -os, a leírt módszer esetében pedig $\gamma = 12^\circ$ -os homloszöget tekintünk. A 3. sz. ábrán a profilhibák változása látható a p paraméter függvényében.

A klasszikus módszerrel számított kapcsolószögű szerszám profilhibája gyakorlatilag a fog hegye fele növekvő, ezért előnytelen. Észlelhető, hogy a maximális hibaérték kb $7\text{ }\mu\text{m}$ (felső görbe). Ezzel szemben az optimált kapcsolószögű szerszám profilhibaeloszlása kedvezőbb, mivel a fogfejen illetve a foglábban közel azonos értékűek, és legnagyobb abszolút érték kb $4\text{ }\mu\text{m}$ (alsó görbe). A (10) egyenlet megoldása $10e-7$ nagyságrendű hibával történt.

3.sz. ábra

IRODALOM

- 1.HOLLANDA,D., Așchiere și scule așchietoare, Institutul de Învățământ Superior din Tîrgu Mureș 1982.
- 2.BOUZAKIS,K.,Erhöhung der Wirtschaftlichkeit beim Wälzstossen durch Optimierung der Zerspanprozesses und der Werkzeugauslegung, R.T.W.A. Aachen, 1976

Máté Márton egyetemi adjunktus

Marosvásárhelyi Egyetem, N Iorga u., 1. sz., 4300 Marosvásárhely.