FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2002. március 22-23.

KISMÉRETŰ KEMÉNYFÉM SZÁRMARÓ SZERSZÁMOK VIZSGÁLATA

Takács Márton*

Abstrakt: In our days one of the most dynamical developing field of the manufacturing engineering is the micromachining. Among the many processing possibilities micromilling offers the most flexible and economical solution in the small and médium lot sizes for performing real 3-D geometries. With these technology micro sized molds can be rapidly manufactured. The tool plays a very important role on the field of micro milling, it has a strong effect on the quality of the machined groove. This paper introduces my results of examinations in connection with small-size end mills.

1. Bevezetés

Napjainkban a gyártástechnológia egyik legdinamikusabban fejlődő részterülete a mikromegmunkálás. A mikroszerkezetek előállítására eddig is léteztek szélesebb körben elterjedt technológiák (a különféle maratási technológiák, LIGA-eljárás), de ezek számos hátránnyal rendelkeznek, illetve csak bizonyos körülmények között alkalmazhatók. Ezért irányulhatott rá a figyelem a hagyományos úton történő forgácsleválasztás kis méreteknél történő alkalmazására. Ezek közül is a mikromarás kínálja a legsokoldalúbb megoldást (pl. kis méretű, tetszőleges geometriájú fröccsszerszámok viszonylag gyors előállítása).

Kutatási munkámban a mikroforgácsolás, azon belül is elsődlegesen a keményfém mikromaró szerszámmal történő megmunkálás elméleti és gyakorlati hátterét vizsgálom. Esetünkben mikroméretű megmunkálás alatt a 1.. .1000 μm mérettartományba eső forgácsleválasztást értem. A viszonylag olcsó keményfém szármaró egyik legnagyobb előnye, hogy alkalmas az ipar számára oly fontos acél megmunkálására is. Maga a szerszám különösen fontos szerepet játszik a mikroméretű forgácsleválasztásban. Az előállításával és a felhasználásával kapcsolatos nehézségek és sajátosságok miatt érdemes részletesen foglalkozni vele.

2. Mikroméretű szármarás szerszáma

1 mm-nél kisebb átmérőjű szármaró szerszámok már több gyártótól is beszerezhetők a piacon, de a mikromarási technológia elméleti és gyakorlati kutatásának hiánya még nem teszi lehetővé ezen szerszámok széleskörű használatát. A megfelelő típus kiválasztása végett a kísérletek kezdeti fázisában a következő cégek szerszámaikat hasonlítottam össze: HAM, Magafor, Jabro Tools, Kobelco. Az előkísérletek során kiderült, hogy az ár, a teljesítmény és a kialakított felület minősége alapján a Magafor cég „magaforce” típusú szerszámaikat érdemes alkalmazni. A cégtől mind sarkos, mind pedig rádiuszos végű szerszámok rendelhetők a következő átmérőkkel: Ø900 μm , Ø800 μm , Ø700 μm , Ø600 μm , Ø500 μm , Ø450 μm , Ø400 μm , Ø350 μm , Ø300 μm , Ø250 μm , Ø200 μm , Ø150 μm , Ø100 μm . Összevetésre került a bevonatolás nélküli és a bevonatolt szerszám is. Az utóbbi, bár nagyobb éltartammal rendelkezik, jóval drágább, nagyobb az éllekerekítési sugara, és ennek megfelelően rosszabb az általa kialakított felület minősége. Ezek ismeretében a kísérletekhez bevonatolás nélküli szerszámokat alkalmaztam.

Az alkalmazott WC-Co mikromarók az ISO besorolás szerinti „K” forgácsolási főcsoportba tartoznak. Átlagos szemcseméretük $D=0.1\mu\text{m} \dots 0.4\mu\text{m}$. Keményfémek esetén 1 μm alatt a

szemcseméret csökkenésével párhuzamosan nő a keménység és a hajlítószilárdság is. Így a különösen finom szemcsés keményfém szerszámok keménysége nagyobb, mint a hagyományos keményfém szerszámoké, szívósabbak és jobb élszilárdsággal rendelkeznek. Nemcsak a megfelelő felületi minőség miatt, hanem a mikrotartományban keletkező forgácsok méretét tekintve is igen fontos a szerszámon kialakítható éllekerekítési sugár nagysága. Ez elsősorban a keményfém szemcseméretétől függ. Így elmondható, hogy mikroforgácsoláshoz minél kisebb szemcseméretű anyag szükséges. A még teljesen új szerszámokról készült felvételek a szerszáméi és a szerszámcsúcs kitöredezését mutatják. Ez a gyártás folyamán történő élezési problémákra hívja fel a figyelmet. A képeken megfigyelhetők az élező korong szemcsekarcolatai, melyek a szerszám méretéhez viszonyítva túl nagyok. Az alkalmazott szerszámok éllekerekítése kb. $1...5\mu\text{m}$ (1. sz. ábra).

Fontosnak tartom megemlíteni, hogy mikromaró szerszám esetén a szerszám éltartama egyben a szerszám élettartama is; a kis méretek miatt nincs lehetőség újraélezésre. A szerszám elhasználódása minden esetben törést jelent, mely a szerszáméi kopása nyomán megnövekedett forgácsolási erő miatt következik be. A szerszám kopása minden esetben aszimmetrikus. Ebből következik, hogy a megmunkáló szerszám nem központosan dolgozik, vagyis az egyik él intenzívebben forgácsol, mint a másik. Ez utóbbi csak kenő az anyagot, vagy éppen hogy csak súrolja azt. Valószínűleg ez az él van erőteljesebb koptató hatásnak kitéve. Olyan periodikus forgácsleválasztásnál, mint a marás a fogakat magas frekvenciájú, dinamikus terhelés éri, $n=65000$ 1/min-es fordulatszám mellett ez 1083 Hz-es gerjesztést jelent. A keményfém szerszám különösen érzékeny az ilyen típusú terhelésekre, kettős repedésháló alakul ki, mely a kopási folyamatokat erősen felgyorsítja. Főleg hátfelületi kopások figyelhetők meg, erős éllekerekedés mellett.

1. ábra: Kisméretű szármaró szerszám elektronmikroszkópos felvétele

3. Mikromaró szerszám dinamikai modellje

Egy többfogú marószerszám esetében az egyes fogak fogásba kerülése periodikus terhelést jelent. Ez a fogankénti erőterhelés ciklusosan, T periódusonként ismétlődik, ami megfelel a fogásba kerülés frekvenciájának reciprokával. Maga a ciklikus terhelést leíró, igen bonyolult függvény Fourier-sorba fejthető, és így harmonikus függvények összegeként is felírható:

$$F(t) = A_0 + \sum_1^k (A_k \cdot \cos(kt)) + \sum_1^k (B_k \cdot \sin(kt)) \tag{1}.$$

Az időfüggetlen A₀ tényező a függvény középértéke, az A_k és B_k Fourier- együtthatók. Az időfüggő súlyfüggvény és a gerjesztőerő segítségével felírható a periódikusan gerjesztett mozgás általános egyenlete:

$$\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + 2 \cdot \delta \cdot \frac{\partial x}{\partial t} + \omega_0^2 \cdot x = A_0 + \sum_1^k A_k \cdot \cos(k \cdot \Omega \cdot t) + \sum_1^k B_k \cdot \sin(k \cdot \Omega \cdot t) \tag{2}.$$

Egy ilyen differenciálegyenlet teljes x(t) megoldása egy homogén és egy partikuláris részből tevődik össze. Forgácsolási folyamatok esetében a kés fogásba kerülésénél a homogén részt is figyelembe kellene venni, de mivel a szabad rezgés még csekély csillapítás esetén is rendkívül gyorsan lecseng, ezért ezt a részt elhanyagolhatjuk. A rezgő rendszer teljes mozgása tehát:

$$x(t) = \frac{A_0}{\omega_0^2} + \frac{1}{\omega_0^2} \cdot \sum_k \frac{\sqrt{A_k^2 + B_k^2}}{\sqrt{(1 - k^2 \cdot \eta^2)^2 + 4 \cdot \delta^2 \cdot k^2 \cdot \eta^2}} \cdot \sin(k \cdot \Omega \cdot t - \varphi_k) \tag{3}.$$

Ezzel leírható egy - a szármaró szerszámot egyszerűsítve helyettesítő - csillapított egytömegű rezgőrendszer mozgása ismert periodikus gerjesztési ciklus esetén (2. ábra). Fizikai értelemben egy zárt modellről van szó. A továbbiakban vizsgálatra szorul, hogy mennyire megbízható ez a modell a fontosabb modellparamétereknek az eredő mozgásra vonatkozó hatását tekintve, ha peremfeltételként

2. ábra: Kisméretű szármaró szerszám elméleti úton számolt mozgása egyenirányú marás esetén

egy marási folyamat geometriai és mechanikai paramétereit definiáljuk.

4. Szerszámdeformáció

Problémát jelent a kicsi inerciájú marószerszámnak a forgácsoló erő következtében történő elhajlása. A forgácsolás közben fellépő hajlítónyomaték a kis átmérőjű szerszámot a szerszám hosszával négyzetesen arányosan terheli. Az ismert képlet alapján a számított elhajlás:

3. ábra: Mikromart horony keresztmetszeti képe, illetve a mikromaró szerszám elhajlása

$$f = \frac{F_c \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I_y} \approx 13 \mu\text{m} \quad (4) \quad (\text{ahol } F_c \text{ a forgácsolási erő, } I \text{ a szerszám tehetetlenségi nyomatéka, } E \text{ a}$$

szerszámanyag rugalmassági modulusza, I_y a főteengelyre vonatkoztatott tehetetlenségi nyomaték), mely megfelel a mért 15 μm -s értéknek (3. ábra). A mai végeselemes programok a megfelelő körülmények definiálása mellett egész jó közelítést adnak a valóságban lejátszódó folyamatokról. Elméleti vizsgálódás céljából elkészítettem egy kétélű, $\varnothing 300 \mu\text{m}$ -es szármaró szerszám pontos CAD modelljét. Ezt a modellt importáltam a MARC végeselemes programba, és ott tetraéderes, 72500 elemszámú hálót illesztettem rá. A peremfeltételek keretében a szerszámmodell terhelését egy olyan lefutású függvénnyel helyettesítettem, mely teljes mértékben megfelel egy valóságos marási folyamatnak. Az anyagtulajdonságok megadása után tranziens analízis keretében a szerszámnak a terhelés esetén nyújtott dinamikai viselkedését nyertem eredményként. Ez alapján többek között megállapítható a szerszám kihajlása: 14,2 μm , mely nagyságrendileg megegyezik a közelítő számítás és a mérés eredményével.

8. Összefoglalás

Alkatrészek, mikrofröccsöntő szerszámok egyedi és kis sorozatban gazdaságosan állíthatók elő keményfém marószerszámmal történő mikroforgácsolás útján. Ezek a szerszámok nemcsak olcsók, de anyaguk folytán alkalmasak az acél megmunkálására is. A szerszám kis mérete miatt számos érdekesség és nehézség (gyártási nehézségek, deformáció) teszi szükségessé a vele kapcsolatos részletes vizsgálódást.

Irodalomjegyzék

- [1] Márton Takács, Imre Mészáros, Balázs Verő: Surface Integrity by Micromilling of Polycrystalline Metals; Proceedings of the EUSPEN 2nd International Conference, Turin, Italy, May 27th-31st, 2001, pp. 714-717
- [2] E. Westkämpfer; H.-W. Hoffmeister; J. Gäbler: Spanende Mikrofertigung: Flexibilität durch Schleifen, Bohren, Fräsen; Feinwerktechnik Mikrotechnik Mikroelektronik (F&M) 104 (1996) 7-8, S. 525-528

*Név/ beosztás: Takács Márton, PhD hallgató (III. éves)

Munkahely, cím: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépgyártástechnológia Tanszék. 1111, Budapest, XI. Ker., Egrý J. u. 1.

Telefon: +36 1 463 2641, Fax: +36 1 463 3174, E-mail: tm@manuf.bme.hu