

DÖRZSKÖSZÖRÜLÉS JÓSÁGI MUTATÓI ÉS TECHNOLÓGIAI OPTIMÁLÁSA

Szabó Ottó

egyetemi docens, PhD

*Miskolci Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros,
otto.szabo@uni-miskolc.hu*

Összefoglalás

A forgácsoló megmunkálások kutatásának fontos területe a technológiai folyamatok optimalálása. Abrazív technológiák (pl. dörzsköszörülés, köszörülés, tükrösítés) területén jelentős kutatásokat végzett a szerző. Elméleti és kísérleti eredmények felhasználásával új eredményei egy részét foglalja össze a publikáció, amelyet a CAD/CAM rendszereknél is felhasználhatnak.

Kulcsszavak: *dörzsköszörülés, tükrösítés, köszörülés, tükrösítés, gazdaságosság, termelékenység.*

Abstract

Optimisation of technological processes is an important field in the research of cutting operations. Author carried out remarkable research in the field of abrasive machining (honning, grinding, and lapping). On the basis of theoretical and experimental results, new results useful for CAD/CAM systems are summarised in the paper.

Keywords: *honning, microfinishing, grinding, lapping, economical, productivity.*

1. Bevezetés

A gépkocsi-, szerszám gép-, kompresszor-, csapágy-, hidraulika-alkatrészek nagy pontosságú és jó felületminőségű felületeinek befejező megmunkálása általában köszörüléssel, dörzsköszörüléssel (honorálás) vagy tükrösítéssel (leppelés) történik. Az igényeknek megfelelően ezek számos változata alakult ki [1, 2]. Ezeket a megmunkálási eljárásokat összefoglalóan köszörülő- vagy abrazív megmunkálásoknak nevezik. Itt nem érvényesek a határozott élgeometriájú szerszámoknál bevált modellek és számítások. Különösen költséges technológiákról van szó, ugyanakkor a vezető iparágakban nélkülözhetetlenek. Az abrazív hagyományos (pl. SiC, Al₂O₃) és szuperkemény szerszámok (mesterséges gyémánt, kőbős bórnitrid) hatékony és gazdaságos alkalmazása jelentős mértékben függ a termelékenységi, gazdaságossági és minőségi (pl. pontosság, felületi érdesség, topográfia, integritás) mutatóktól.

E publikáció célja jósági mutató meghatározása és a folyamat-optimalás egyes lépéseinek bemutatása.

2. A dörzsköszörülés jósági mutatói

Az anyagleválasztási technológiák egy-egy területén sikeresen foglalkoztak folyamatoptimalással: G.K. Goranskij, H.J. Jakobs, D. Kochan, W. König, W. Depiereux, Detzky I., Fridrik L., Gyáni K., Horváth M., Kundrák J., Somló J., Szabó O., Tóth T. és mások [2, 3, 4].

Az optimalást a folyamat jellemző jósági mutatókra alapozva lehet elvégezni. A megmunkálási folyamatot a következő mutatók jellemzik. Anyagleválasztási sebesség (mm^3/s), ami függ a dörzsköszörülési időtől, csökkenő tendenciát mutat a szerszám kopása miatt. Helyesen választott szerszám (kötéskeményiség) esetén a következő munkadarab érdességi csúcsai a szerszám automatikus önélézését biztosítják. Tehát az anyagleválasztási sebesség:

$$Q = Q(t) = \frac{dV(t)}{dt}, \quad (1)$$

ahol $V = V(t)$ - a munkadarabról dörzsköszörüléssel leválasztott anyag térfogata (mm^3). Állandósult esetben (kvázi állandó) csak a dörzsköszörűgépen beállított paramétereiktől függ, mint a p -től, illetve a v_c -től. Írható, hogy

$$Q = \frac{V(t)}{t} \cong Q(F_n; v_c), \quad (2)$$

és $F_n = p \cdot A_s$ - a szerszámra ható normális erő (N), ahol A_s - dörzsköszörűhasáb forgácsoló felülete (mm^2).

A felületi érdességet csökkentő és felületminőséget (felületi integritást) javító befejező megmunkálásoknál hasonlóan bevezethető a felületképzési sebesség (mm^2/s).

A másik fontos jellemző a szerszám térfogati kopási sebessége (mm^3/s):

$$Q_s = Q_s(t) = \frac{dV_s(t)}{dt}, \quad (3)$$

ahol $V_s = V_s(t)$ - a dörzsköszörűszerszámról a dörzsköszörülés során lekopott abrazívszemcsék (kötőanyaggal és pórusokkal) térfogata (mm^3); t - a dörzsköszörülés kölcsönhatási ideje (s). Állandósult esetben szintén csak a megmunkálási változóktól függő állandó:

$$Q_s \cong \frac{V_s}{t} = Q_s(F_n; v_c). \quad (4)$$

A G - „köszörülési arány” (Grinding ratio) [1] analógiájára bevezethető a „dörzsköszörülési arány”. Az utóbbi elnevezés más abrazív megmunkálásoknál is alkalmazható (pl. tükrösítés). Tehát a dörzsköszörülési arány, vagy optimalás kifejezésével élve: jósági mutató, vagy jósági függvény.

$$G = \frac{V}{V_s} = \frac{Q}{Q_s} = G(F_n; v_c). \quad (5)$$

A (2) képletnél tett megjegyzésből következik, hogy az (5) jósági mutató két független, gépen állítható paramétert (szerszámnyomás és forgácsolósebesség) tartalmaz, amit a technológus mérnök ír elő.

A következő feladat: a jósági mutató és maximális hatásra vonatkozó értékelési kritérium összevetése.

3. A folyamat matematikai modellezése

Állandó nyomású dörzsköszörülésnél a szerszám állandó kopási sebességű. Ekkor a folyamat leírható a Taylor-jellegű éltartam-egyenlettel, analóg hatványfüggvénnyel [1]:

$$Q \cdot G^m = Q_1 = const. \quad (6)$$

A Q_1 állandó a szerszám és munkadarab kölcsönhatásának „komplex minőségi mutatója”, vagyis a dörzsköszörű szerszámnak az adott munkadarab anyagra vonatkozó „megmunkáló képessége”. Ennek konkrét értéke dörzsköszörülési kísérletekkel határozható meg, vagy elméleti úton a folyamat fizikai modelljének

segítségével. A fizikai modellt a következő félempirikus összefüggésekből lehet felépíteni. Ez az optimaláshoz szükséges matematikai összefüggés lesz.

Az abrazív szemcsék felületének súrlódási hőmérséklete (K-ben):

$$\Theta = C_{\Theta} \cdot f \cdot (L \cdot v_c)^{0.5}. \quad (7)$$

A képletben szereplő egyes jelöléseket a (11) végeredmény után adjuk meg.

Az abrazív szemcsék lineáris kopási sebessége (a megmunkált felületre merőleges irányban, mm/s):

$$v_s = C_D \cdot \Theta^4. \quad (8)$$

Az abrazív szemcsék térfogati kopási sebessége, amely arányos a szemcsék érintkezési felületével az A_e -értékével (mm^3):

$$Q_s = A_e \cdot v_s. \quad (9)$$

Hasonló összefüggés írható az anyagleválasztási sebességre is:

$$Q = C(t) \cdot A_e \cdot v_c. \quad (10)$$

A (7) – (10) és a G dörzsköszörülési arányra megadott (5) összefüggés felhasználásával levezethető a (6) kísérletileg kapott „komplex minőségi mutató” ($m=1$):

$$Q_1 = \frac{C(t)^2 \cdot F_n}{C_D \cdot C_{\Theta}^a \cdot f^b \cdot L^2}, \quad (11)$$

ahol $C(t)$ - az abrazív szemcsék átlagos élessége [1]; C_D - a szemcseanyag diffúziós- és bomlási sebesség növekedését kifejező tényező; f – karckeményiség, a dörzsköszörült anyag keménységével arányos fajlagos erő; L - a szemcse és a

munkadarab kölcsönhatásának útja; C_{Θ} - a hőátadással és súrlódással egyenesen, a hőelvonással fordítottan arányos tényező; kitevők közelítő értéke: $a = 4$ és $b = 5$.

Az abrazív szemcsék felületének Θ súrlódási hőmérséklete számolható, vagy végeelem modellezéssel határozható meg [5].

A (11) modellből megállapítható, hogy a komplex minőségi mutató „vagy a szerszám megmunkáló” képessége:

- függ az F_n és L dörzsköszörülési paramétereiktől: arányosan javul az alkalmazott $F_n = p \cdot A_s$ normális irányú erővel (a p -vel) és fokozottan romlik a dörzsköszörűszerszám és a munkadarab L érintkezési hosszának növekedésével;
- a C szemcsék átlagos élességével hatványozottan javul;
- arányosan romlik a szemcsenyag C_D diffúziós és bomlási állandóinak növekedésével;
- a C_{Θ} hőmérsékleti tényező hatására erősen romlik (jobb, ha nagyobb a hőelvezetés és hőkapacitás, illetve rosszabb, ha nagy a súrlódás az abrazív szemcse és a megmunkált felület között);
- romlik, ha a dörzsköszörült anyagnak nagyobb az f karckeménysege, ami hatványozottan rontja.

A Q_1 komplex minőségi mutató a szuperkemény anyagoknál (különösen gyémánt szemcsézetű szerszámoknál) a legkedvezőbb, ami a kiváló fizikai tulajdonságok következménye [1].

4. A dörzsköszörülési költségek optimalása

A megmunkálási költségek általában a dolgozó béréből, rezszi-, készülékezés- és szerszám-költségekből tevődnek össze:

$$K_{\sigma} = K_{bér} + K_{rezsi} + K_{készülék} + K_{szerszám} \quad (12)$$

A költségek állandó részét a vizsgálatoknál elhagyhatjuk és a szűkített költség a következő (pl. Euróban):

$$K = K_t + K_s \quad (13)$$

ahol K_t - a gépi főidővel arányos költség-összetevő; K_s - a szerszámköltség: a dörzsköszörűhasáb költsége (hasáb- és szabályozás ára).

Bevezetve a \underline{k}_t fajlagos főidővel arányos költséget (€/s) és \underline{c}_s fajlagos szerszámköltséget (€/mm³) írható, hogy

$$k_t = \frac{K_t}{t_g} \text{ (€/s)} \quad (14)$$

és

$$c_s = \frac{K_s}{V_s} \text{ (€/s)}, \quad (15)$$

ahol t_g - a dörzsköszörülés gépi főideje. Behelyettesítve az előzőket a (13) képletbe, felhasználva (5) és (11) összefüggéseket is, egyváltozós összefüggést kapunk:

$$K = K(G) = \frac{k_t \cdot V \cdot G}{Q_1} + c_s \frac{V}{G} \quad (16)$$

Ha az előző egyenletet elosztjuk $V = V(t)$ -vel (a munkadarabról dörzsköszörüléssel leválasztott anyag térfogatával), megkapjuk a c_d -fajlagos dörzsköszörülési költséget (€/mm³):

$$c_d = c_d(G) = \frac{K(G)}{V} = \frac{k_t \cdot G}{Q_1} + \frac{c_s}{G}. \quad (17)$$

A dörzsköszörülés költségének minimum helyét (G_0, Q_0) a következő differenciál egyenlet adja:

$$\left. \frac{dc}{dG} \right|_{G=G_0} = \frac{k_t}{Q_1} - \frac{c_s}{G_0^2} = 0. \quad (18)$$

Átalakítás után

$$k_t \cdot G_0^2 = c_s \cdot Q_1$$

és kifejezhető a „dörzsköszörülési arány” vagy jósági mutató (v.ö. (5) összefüggéssel):

$$G_0 = \left(Q_1 \cdot \frac{c_s}{k_t} \right)^{0.5} \quad (19)$$

Hasonlóan adódik a Q_0 - optimális anyagleválasztási sebesség:

$$Q_0 = \left(Q_1 \cdot \frac{k_t}{c_s} \right)^{0.5} \quad (20)$$

és az optimális (minimális) dörzsköszörülési költség:

$$c_0 = 2 \left(\frac{1}{Q_1} \cdot k_t \cdot c_s \right)^{0.5} \quad (21)$$

Az (5)-ből kiolvasható, hogy a G -dörzsköszörülési arány vagy jósági mutató mértékegység nélküli szám. Értékét döntően a munkadarab anyaga és keménysége, valamint az alkalmazott szerszám minősége (abrazív szemcseanyag, szemcsenagyság, kötőanyag, stb.) határozza meg. Minél nagyobb a G , annál több anyag kerül leválasztásra a munkadarabról egységnyi térfogatú szerszám felhasználásával. Ezért célszerű, ha teljesül a (19) összefüggés. A dörzsköszörülés technológiai adatait (p , v_c) úgy kell beállítani, hogy a (20) szerint Q_0 optimális anyagleválasztási sebesség megvalósuljon. Ebben az esetben a (21) is teljesül, azaz optimális, - minimális lesz a szerszámköltség, ami a mai magas szerszámáraknál fontos követelmény.

5. Következtetések, az eredmények összefoglalása

A dörzsköszörülési folyamatot, annak célját, eredményességét (pontosság, felületminőség, szerszámkopás, megmunkálási költség) számos tényező befolyásolja.

A kidolgozott módszer a technológiai tervezést segíti, illetve a bevezetett technológiát jósági mutatókkal lehet vizsgálni, javítani. Adott megmunkálási feltételek mellett és követelményekhez, helyesen választott kiinduló adatok mellett költség-optimalás, – költség minimalizálása – biztosítható. Az üzemben p - és v_c - technológiai paraméterekkel, azok helyes beállításával lehet a folyamatot gazdaságosabbá tenni.

A módszer más abrazív szerszámokkal végzett eljárásoknál is alkalmazható (pl. köszörülésnél, tükrösítésnél, folyadéksugaras csiszolásnál, stb.).

6. Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka az OTKA T 48760, valamint a TÁMOP-4.2.1.B-10/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

7. Irodalomjegyzék

- [1] König, W., *Fertigungsverfahren*. Band 1. VDI Verlag, Düsseldorf, 1990.
Szabó, O., *Optimisation of Technology and Quasi Honing of Polygon Bores*. Journal of Materials Processing Technology, ELSEVIR, Dublin, 2002, 119. pp. 117-121.
- [2] Tóth, T., *Tervezési elvek, modellek és módszerek a számítógéppel integrált gyártásban* (1. utánnomás). Miskolci Egyetemi Kiadó, 2006. 224 p. + mellékletek I-VII.p.
- [3] Detzky, I., Fridrik, L., Tóth T., *On a New Approach to Computerized Optimization of Cutting Conditions*. Proceedings of the 2nd World Basque Congress, Advanced Technology and Manufacturing Conference, Bilbao, 1991. Vol. 1. pp.129-141.
- [4] Mamalis, Ag.G., Kundrák, J., Manolacos, D.E., Gyáni, K., Markopoulos, A., *Thermal Modelling of Surface Grinding Using Implicit Finite Element Techniques*. Internatioan Journal of Advanced Manufacturing Technology 21 (12), 2003.pp. 929-934.