


## FURATKÖSZÖRÜLÉS KIVÁLTÁSA SZUPERKEMÉNY DÖRZSKÖSZÖRÜLÉSEL

Szabó Ottó 

címzetes egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Gyártástudományi Intézet  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [otto.szabo@uni-miskolc.hu](mailto:otto.szabo@uni-miskolc.hu)

### Absztrakt

A befejező megmunkálásoknál (pl. köszörülés, hosszú- és rövid-lökötű dörzsköszörülés, stb.) új lehetőségeket biztosítanak a szuperkemény szintetikus szemcseanyagok (gyémánt, köbös bórnitrid) és azokból készített szerszámok. A termelékenység és minőség növelhető. A szerző dörzsköszörülésnél elméletileg és kísérletileg vizsgálta nagyméretű, szintetikus gyémánt szemcsékből gyártott szerszámokkal az anyagleválasztási lehetőségeket. Jelentős termelékenység növelés érhető el. Gazdaságosan ilyen módon a furatköszörülés kiváltható, ami igen sok hibával és kis termelékenységgel dolgozik. Ugyanakkor a felületminőség és megmunkálási pontosság is jobb lehet, ha kettő vagy háromfokozatú (nagyoló-, simító- és befejező) dörzsköszörülést alkalmazhatunk. A technológiai folyamat átértékelése és újratervezése szükséges, melyet a dolgozat tartalmazza.

**Kulcsszavak:** hosszú és rövidlökötű dörzsköszörülés, anyagleválasztás, ráhagyás, termelékenység, furatköszörülés

### Abstract

In case of finishing (e.g., grinding, honing, superfinishing) the superhard grain materials (diamond, cubic boron nitride) and tools made of them give new possibilities in productivity and quality. The author examines machining with tools made of relatively big-sized granules theoretically and experimentally in case of honing. Considerable productivity can be achieved and can be replaced economically e.g., internal grinding, what works with plenty of inaccuracy and low productivity. At the same time surface quality can be better, if multistep (roughing, smoothing and finishing) honing is applied. Consideration of technological design and process are needed.

**Keywords:** honing, superfinishing, material removal, allowance, productivity, bore grinding

### 1. Bevezetés

A nagy pontosságú gyártás egyik fontos befejező technológiája a finom dörzsköszörülés (König et al., 1996). A dörzsköszörülés a felületminőség (felületintegritás), a felületi érdesség, a felületi mikrotopográfia és kis mértékben méret- és alakjavító technológia (Takács, 2004). A sorozat- és tömeggyártásban nélkülözhetetlen befejező megmunkálás. Gázturbinák csapágyazása, belsőégésű motorok, hidraulikus hengerek és kompresszorok munka furatainak, csapágyak gördülópályáinak, stb. bevált finommegmunkálási eljárása. Átlagos gyártási pontosság IT6...IT4 és az átlagos érdesség  $R_a = 0,09 \dots 0,02 \mu\text{m}$  tartományban mozog.

Más befejező megmunkálási eljárásokhoz képest fontos megemlíteni, hogy így megmunkált felületen olyan mikrokarc-rendszer alakítható ki, ami tribológia szempontból rendkívül kedvező, az

alkatrészek közötti kenőolaj tárolást, illetve kedvező hidrodinamikus kenést biztosítja és a gépelemek kopásállóságát, élettartamát jelentősen megnöveli (Szabó, 2012). Hasonló felületi mikrotopográfia alakítható pl. csúszó súrlódásos gyémánt vasalással is (Varga et al., 2022).

## 2. Dörzsköszörülés anyagleválasztási paramétereinek tanulmányozása

A dörzsköszörülés kutatásai a felületminőség vagy felületintegritás vizsgálatára koncentrálnak (Puente, 2002), kevésbé az anyagleválasztási sebesség vagy teljesítmény elemzésére, illetve az itt rejlő tartalékokra (Nguyen et al., 2020). Felvetődik a kérdés: milyen nagyságú ráhagyás választható le dörzsköszörüléssel, illetve növelhető-e az anyagleválasztási teljesítmény?

Az 1. Bevezetésben megadott pontossági és felületminőségi jellemzők un. befejező- vagy finom dörzsköszörülésre érvényesek (Sadizade et al., 2020). Gyakorlatilag a dörzsköszörülést gondos előmunkálás előzi meg, ami munkadarab anyagminőségének is függvénye.

Ilyen esetben a dörzsköszörülés elsődleges célja: az előző forgácsoló műveleteknél kialakult mikrogeometriai egyenetlenségek, illetve a jelentős forgácsolóerők és a forgácsolásnál fellépő hőhatások következtében roncsolt, metallográfiai átalakulásokat szenvedett felületi réteg eltávolítása, felületi érdesség csökkentése, tribológiai, vagy kenéstechnikai szempontból kedvező, mikrokarc-rendszer, pl. platós-mikrofelület kialakítása.

További cél: a dörzsköszörült felület előírt makrogeometriai pontosságának (méret-, alak- pontosság) kismértékű javítása (Sztankovics et al., 2020).

A befejező- vagy finom- dörzsköszörüléssel nagyon kis méretváltozást tesz lehetővé, oldalanként  $2R_{m,e} = 20 \dots 5 \mu\text{m}$ . Az  $R_{m,e}$  a dörzsköszörülés előtti gondos forgácsoló művelet által létrehozott maximális érdesség.

A dörzsköszörülés előtti forgácsolás pontatlanságai miatt a dörzsköszörülési ráhagyást meg kell növelni, ekkor a dörzsköszörülést kétfokozatúra, esetleg háromfokozatúra tervezzük. Elődörzsköszörülés biztosítja a ráhagyás nagy részének leválasztását, ehhez az anyagleválasztási sebességet növelni kell. Ezt követi a befejező- vagy finom dörzsköszörülés (Szabó, 1994).

A dörzsköszörülés anyagleválasztási sebesség növelésének részterületei és módjai:

- Szerszámoknál:
  - munkadarabhoz legkedvezőbb szerszám konstrukció kiválasztása;
  - szerszám – dörzsköszörű hasáb – működő méreteinek (felületének) kedvező megválasztása, figyelemmel a megmunkálandó felületre (pl. átmérő és hossz),
  - szuperkemény szemcseanyag alkalmazása;
  - szemcseméret növelése;
  - szemcsekonzentráció, szemcsekötőanyag megválasztása.
- Technológiai adatok megválasztásánál:
  - p szerszámnyomás növelése a megengedett, gazdaságos szerszámkopási értékig;
  - $v_c$  forgácsolósebesség;  $v_t$  tangenciális és  $v_a$  axiális összetevőinek helyes megállapítása, lehetőség szerinti növelése; optimális felületi dörzsköszörülési metszőszög beállítása;
  - t dörzsköszörülési idő beállítása a leválasztandó ráhagyás figyelembevételével;
  - hűtő- kenő folyadék (honolóolaj) kiválasztása, megfelelő szűrés biztosítása, folyadék csereidő betartása.
- Szerszámgép választásnál (amennyiben lehetséges opció):
  - $v_c$  forgácsolósebesség és p szerszámnyomás beállítási tartományának megadása;
  - kettő – (pl. elő- és finomdörzsköszörülés) vagy többszörös szerszámgépek igénye;

- automatikus munkadarab kezelés, teljes automatizálás; stb.

Az optimális megoldás nagysorozat és tömeggyártásnál konkrét esetben közelíthető meg a munkadarab, szerszám gép, szerszám és technológiai adatok tervezett összhangja mellett. Az univerzális dörzsköszörűgépek egyedi és kissorozatgyártás igényeit elégítik ki, kompromisszumok mellett.

Az előzőekben felsorolt anyagleválasztási sebesség növelési, - azaz ráhagyás leválasztásának növelési lehetőségei – közül két megoldást mutatok be a kísérleti vizsgálataim alapján. Ezek üzemi körülmények között is könnyen megvalósíthatók, reprodukálhatók. Egyik lehetőség: nagy forgácsolóképeségű, nagy szemcseméretű, szintetikus gyémánt alkalmazása. A másik lehetőség: dörzsköszörülés technológiai adatai közül maximális anyagleválasztási sebességet biztosító p szerszámnyomás hatásának vizsgálata. Az előzőek mellett a t – dörzsköszörülési idő hatása is vizsgálendő (Szabó, 2012). Igen fontos még az átlagos érdesség alakulásának követése is.

### 3. A kísérleti vizsgálatok, a leválasztható ráhagyás és a felületi érdesség alakulása

A technológiai adatok kedvező behatárolása céljából dörzsköszörülési kísérleteket végeztem az ME Gyártástudományi Intézet SzFS 63x315B típusú gépén. A gép adottságai a technológiai lehetőségeket behatárolták. A kísérletek célja anyagleválasztási mutatók és sebesség vizsgálata. A mért jellemzők:  $\Delta$  leválasztott ráhagyás (átmérőre) és  $R_a$  átlagos érdesség (Mátyási et al., 2010).

A kísérleti vizsgálatoknál a p szerszámnyomást és t megmunkálási időt változtattam különféle szemcseméretű szintetikus szemcsés gyémánt szerszámok alkalmazásával. A kísérletek öntöttvas (Öv. 25, 170...240 HB) és edzett golyóscsapágyacél (GO3, 60-62 HRC) anyagú furatos ( $\varnothing$  40 x 80) alkatrészekon történtek.

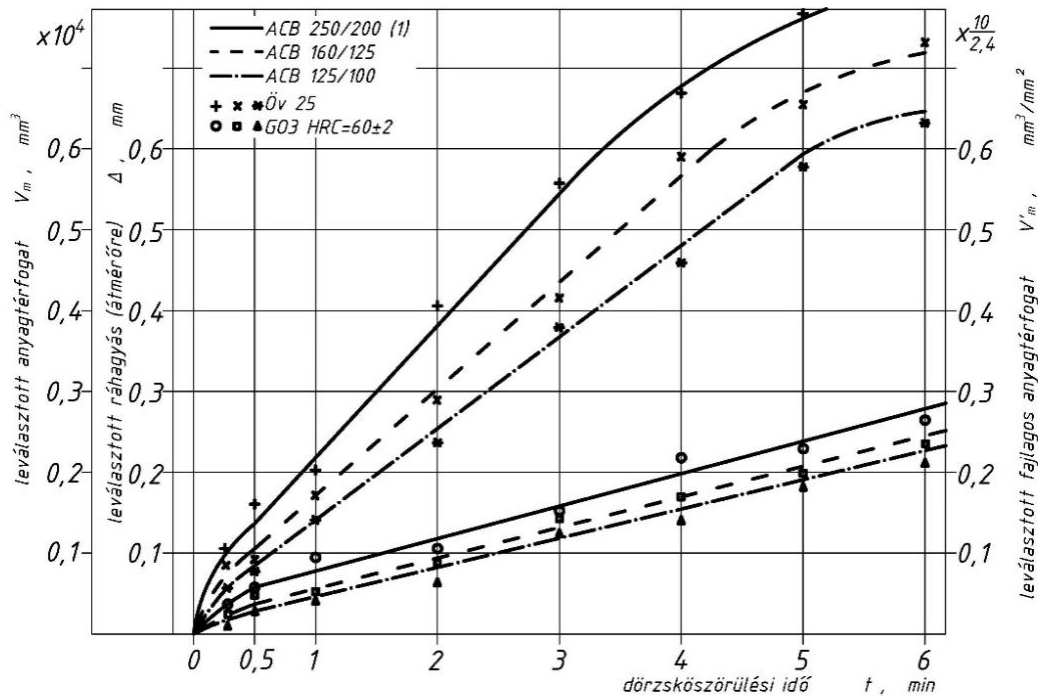
A kísérleteknél alkalmazott háromféle szintetikus gyémántszemcsés dörzsköszörű szerszámok a következők: ACB 250/200-100-M1, ACB 160/125-100-M1 és ACB 125/100-100-M1, amelyeknél sorban az abrazív szemcsék főfrakció mérete 250...200  $\mu$ m, 160...125  $\mu$ m és 125...100  $\mu$ m. A szemcse mérettartomány utáni adatok jelentése: 100: 100%-os szemcsekonzentráció és M1: ónbronzz szemcse kötőanyag gyártó által alkalmazott jel. A szerszám testen lévő 3 db dörzsköszörűbetét mérete: 8 x 100 x 3 mm.

Alkalmazott hűtő-kenőfolyadék: Castrol Honilo 980 (460).

Ha közvetlenül a furatátmérő  $\Delta$  növekedését mérjük, akkor leválasztott ráhagyásra üzemen vagy kísérleteknél összehasonlításához azonnal használható adatokat kapunk az (1) képletből. A pontos furatátmérő mérése többféle módon végezhető: 3 ponton mérő mikrométerrel, pneumatikus idomszerrel és megmunkálás közben a dörzsköszörülő szerszámba épített pneumatikus fűvókákkal. Kísérleteknél 3 ponton mérő mikrométert használtam. A felületi érdesség mérések Perthometer 58 műszeren FOCODYN lézeres mérőfejjel történtek.

Az 1. - 4. ábrák a szintetikus gyémánt szemcsék méretének (mérettartományának) hatását a dörzsköszörülési idő és a szerszámnyomás függvényében a

- leválasztott ráhagyásra (átmérőben),
- leválasztott anyagtérfogatra,
- leválasztott fajlagos anyagtérfogatra és
- átlagos érdességre.



1. ábra. A leválasztott anyagterfogat, ráhagyás és fajlagos anyagterfogat változása a dörzsköszörülési idő függvényében különböző szemcsésztű gyémánt szerszámok és munkadarab anyagoknál ( $v_t = 44 \text{ m/min}$ ;  $v_a = 18 \text{ m/min}$ ;  $p = 0,9 \text{ MPa}$ )

A leválasztott ráhagyás a dörzsköszörülés előtti  $d_{de}$  és utáni  $d_{du}$  mért furat átmérőkből számítható:

$$\Delta = \bar{d}_{du} - \bar{d}_{de}. \quad (1)$$

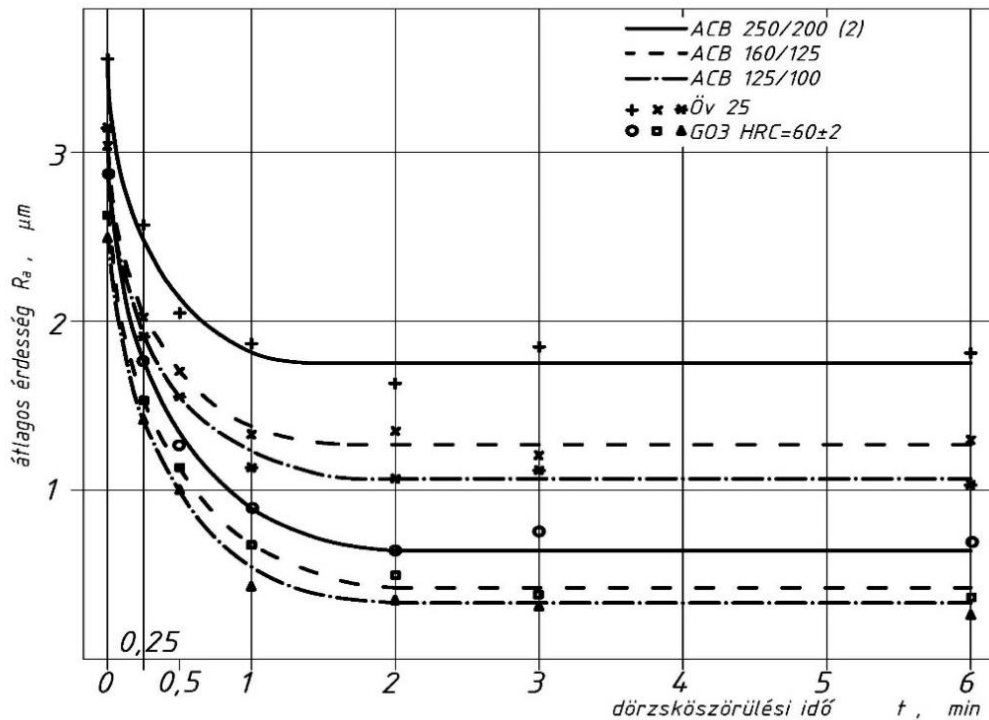
A furat átmérők átlag értékét 3-5 vagy több mérésből számítottam.

Az 1. ábráról leolvasható a megmunkálási idő függvényében az anyagleválasztási folyamat. A megmunkálás indítása után az anyagleválasztás rohamosan növekedik, az érdességi csúcsok leválasztása folyik. Éles abrazív szemcsék hatékonyan dolgoznak. A szerszám és a megmunkált kontakt felületek stabilizálódnak. Majd kb. 0,3 perctől lineárisan emelkedik az anyagleválasztás. Öntöttvasnál 3...4 perc után az abrazív szemcsék, kötőanyag és megmunkált felület közötti forgácsterek részben mikroforgáccsal és alig mérhető szerszámkopási termékkel telítődnek. Jelentős az anyagleválasztási sebesség és a leválasztott ráhagyás értéke. Az abrazív szemcsék és a kötőanyag közötti terek telítődéshez közeledve öntöttvasnál a megmunkálás leállítandó, amit kb. 5 perc után a lehajló görbe is jelzi. Közben a hűtő-kenő folyadék öblítő hatása is csökken. A következő munkadarabot befogva és újból indítva a folyamatot a szerszám főorsó automatikusan ellenkező irányba kezd forogni, közben a szerszámon a forgácstereket a hűtő-kenőanyag kimossa és előlről kezdődik a folyamat. Edzett acélnál lényegesen kisebb az anyagleválasztási sebesség, azonos idő alatt kisebb leválasztható ráhagyás érték érhető el, amit az anyag nagy keménysége okoz. A rövid, kezdő, nem lineáris szakasz után az anyagleválasztás lineárisan folytatódik. A megmunkálás közben keletkező kisebb méretű mikroforgácsokat részben kiöblíti a hűtő-kenő folyadék.

A 2. ábra a dörzsköszörülési idő függvényében az átlagos érdesség meredek, exponenciális csökkenését mutatja, majd 1...2 perc után állandósulása figyelhető meg. A gyémánt szemcsék átlagos méretével arányosan alakul az állandósult átlagos érdesség, illetve egyéb érdességi mérőszámok ( $R_z$ ,  $R_m$ ,  $R_q$ ,  $t_p$ ) is.

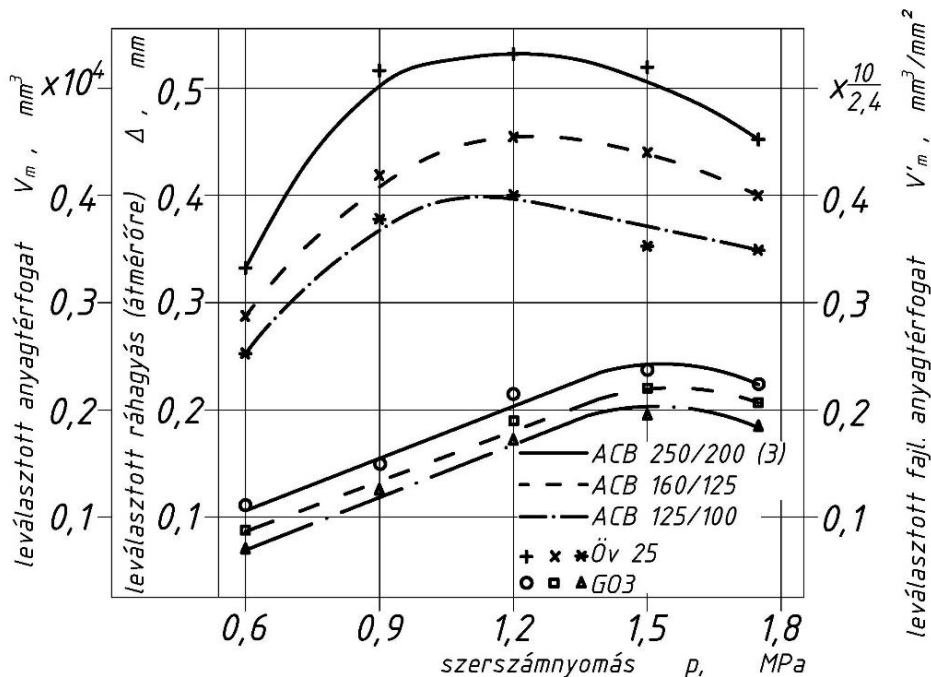
A megmunkált felület stabilizálódott, az átlagos érdessége lecsökkent, aminek nagyságát meghatározza a szuperkemény szemcsék mérete, koncentrációja, a megmunkált anyag keménysége és a beállított technológiai paraméterek. A szerszámnyomás hatása az anyagleválasztási mutatókra, a leválasztott ráhagyásra és az átlagos érdesség alakulására a 3. és 4. ábrákról olvashatók le.

Az edzett acélnál maximális anyagleválasztási értékig a gyémánt szemcsék átlagos fogásmélysége a beállított szerszámnyomással közelítőleg egyenes arányban és a munkadarab keménységével fordított arányban változik. A maximum elérése után az anyagleválasztási mutatók csökkennek, mert a fokozódó nyomóerő hatására egyre több abrazív szemcse és szemcsefelület lép kölcsönhatásba a megmunkálandó felülettel. Az edzett acélhoz képest, öntöttvas esetén jelentősen megnőnek az anyagleválasztási mutatók a szerszámnyomás függvényében, amit a 3. ábra is szemléltet.



2. ábra. Átlagos érdesség változása a dörzsköszörülési idő függvényében. A technológiai adatok az 1. ábránál.

Tovább növelni a nyomást nem célszerű, mert a szerszámkopás és szerszámköltségek is megnőnek. A kétféle munkadarab anyag keménysége miatt az anyagleválasztási és a kialakuló érdességi mérőszámok jelentősen eltérnek. Az átlagos érdesség a szerszámnyomás függvényében lineárisan növekszik. A gép teljesítménye, a főorsó és a szerszám hajtása (pl. kardáncsuklós megoldása) korlátozza a szerszámnyomás további növelését (Sztankovics et al., 2020).



3. ábra. Szerszámnyomás függvényében az anyagleválasztási mutatók és a leválasztott ráhagyás ( $v_t = 44 \text{ m/min}$ ;  $v_a = 18 \text{ m/min}$ ;  $t = 3 \text{ min}$ )

#### 4. Anyagleválasztási sebesség

A következőkben felsorolt anyagleválasztási jellemzők segítségével definiálni és számszerűsíteni lehet az anyagleválasztási sebességet és a teljesítmény összehasonlítások is lehetségesek.

Az 1-3. ábrákon a függő változó  $V_m = V(t)$  – a munkadarabról leválasztott anyag térfogata ( $\text{mm}^3$ ) a  $t$  – megmunkálási idő (min) függvényében. Az anyagleválasztási sebességet a következő összefüggés adja:

$$Q = Q(t) = \frac{dV(t)}{dt} \text{ mm}^3/\text{min}. \quad (2)$$

A kísérleti úton felvett diagramok lineáris vagy jó közelítéssel annak tekinthető szakaszához tartozó  $t_{lin}$  – megmunkálási idő és az alatt  $V_{mlin}$  leválasztott anyagterfogatból írható:

$$Q_{lin} = \frac{V_{mlin}}{t_{lin}} \text{ mm}^3/\text{min} \quad (3)$$

Az 1. és 3. ábrákról leolvasható a leválasztott fajlagos anyagterfogat ( $\text{mm}^3/\text{mm}^2$ ), ami kifejezi a szerszám felületegysége által leválasztott anyagterfogatot:

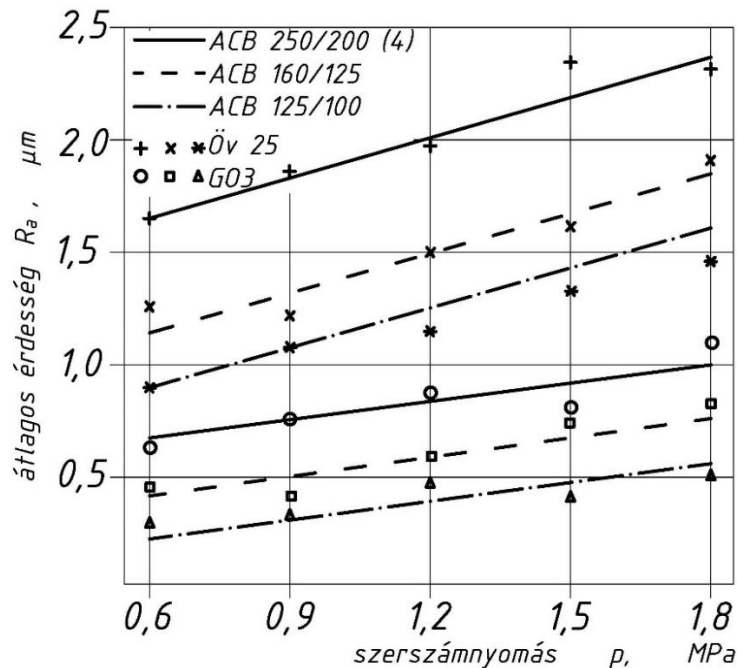
$$V'_m = \frac{V_m}{A_s} \text{ mm}^3/\text{mm}^2 \quad (4)$$

A 4. egyenletben  $A_s$  – a szerszám forgácsoló felülete ( $\text{mm}^2$ ).

Analógiával élve írható a fajlagos anyagleválasztási sebesség a lineáris szakaszon:

$$Q'_{lin} = \frac{Q_{lin}}{A_s} = \frac{V_{mlin}}{A_s \cdot t_{lin}} \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}^2 \cdot \text{min}} \quad (5)$$

A számítás konkrét esetben elvégezhető. Jelenleg a mennyiségi és minőségi különbségek az ábrákról is leolvashatók és azok összehasonlíthatók.



4. ábra. Szerszámnyomás függvényében az átlagos érdesség változása. A technológiai adatok a 3. ábránál.

## 5. Összefoglalás

Az elméleti és kísérleti vizsgálatok bizonyítják, hogy a dörzsköszörülés  $Q'_{lin}$  fajlagos anyagleválasztási sebessége növelhető a szintetikus gyémánszemcsék méretének növelésével. Megállapítható, hogy jelentős nagyságú ráhagyás választható le. A nagyobb szemcseméretű szintetikus gyémántból készült szerszámok jelentős termelékenységet biztosítanak, amit az 1. ábra is dokumentál. A szerszámoknak nagy az élettartama és technológiai stabilitása. A sorozat- és tömeggyártásban alkalmazásuk gazdaságos.

A további fajlagos anyagleválasztási sebesség emelkedés szerszámnyomás növelésével valósítható meg, amit a 3. ábra mutat. A konkrét ráhagyás érték leválasztási ideje, a szükséges megmunkálási idő az 1. ábráról olvasható le.

Célszerű kétfokozatú dörzsköszörülés alkalmazása. Az első fokozat – elődörzsköszörülés – viszonylag jelentős ráhagyást választ le. A második megmunkálási fokozatban alkalmazott finomszemcsés, szintetikus gyémánt dörzsköszörű szerszám (pl. 28/20 vagy 20/15  $\mu\text{m}$ ) az előírt érdességet és felületminőséget megvalósítja, végleges felületi topográfiát alakítja ki és kis mértékben a

méret és alakpontosságot is javítja. Az 1. Bevezetésében leírt pontossági és felületminőségi értékek teljesíthetők (Szabó, 1994).

Megállapítható, hogy a bemutatott dörzsköszörüléssel olyan nagy ráhagyás választható le, amellyel például a kisebb anyagleválasztási teljesítményű és korlátozott pontosságú furatköszörülési műveletek kiválthatók. Minden lehetőséget terjedelmi korlátok miatt nem mutattam be.

Előzőek figyelembevételével a technológiai megoldási láncot konkrét esetben át kell tervezni.

Az elvégzett kísérletek poligon- és más normálmetszetű, külső és belső hengeres felületek kvázi dörzsköszörülésének kidolgozásának és ipari feladatok megoldásához is tapasztalatokat adtak (Szabó et al., 1986; Szabó, 2002).

## Irodalom

- [1] König, W., Klocke, F. (1996). *Fertigungsverfahren, Schleifen, Honen, Läppen*. Band 2, VDI-Verlag, Düsseldorf. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-11731-6>
- [2] Szabó, O. (2012). Optimization of the tool-pressure at honing. *Journal of Production Processes and Systems*, 6(1), 39–44. HU ISSN 1786-7983.
- [3] Puente Leon, F. (2002). Evaluation of honed cylinder bores. *Annals of the CIRP V*. 51(1), 503–506. [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)61571-6](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)61571-6)
- [4] Mátyási, Gy., Telekesi, A.: *Honolás vizsgálata*, 2010 18th International Conference on Mechanical Engineering. Csibi Vencel (Ed.). Nagybánya, 2010. április 22-25. pp. 295-301.
- [5] Takács, J. (2004). *Korszerű technológiák a felületi tulajdonságok alakításában*. Műegyetemi Kiadó, Budapest. ISBN 963 420 789 8.
- [6] Sztankovics, I., Nagypál, G. (2020). Surface quality of honed bores as a function of pressure force. *Rezanie I Instrumenty V Tekhnologicheskikh Sistemah*, 92, 144–150. <https://doi.org/10.20998/2078-7405.2020.92.15>
- [7] Szabó, O., Tajnafői, J. (1986). *Eljárás és befejező- finomforgácsoló szerszám sokszög, ellipszis, kör és egyéb vezérgörbéjű, hengerfelületek finommegmunkálására*. Magyar Találmányi Hivatal: 190.840. Szabadalom.
- [8] Szabó, O.: *Precision microcutting by means of superhard abrasive tools of elastic bond*, 1994 Mechatronics, Joint Hungarian – British International Mechatronics Conference, Budapest, Editor: Acar, M. Computational Mechanics Publications, Southmpton Boston, pp. 115-120. ISBN 1 853112 3676, ISBN 1 56252 2914, LCCCN 94-68176.
- [9] Szabó, O. (2002). Optimisation of technology and quasi honing of polygon bores. *Journal of Materials Processing Technology*, 119, 117–121. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(01\)00886-X](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(01)00886-X)
- [10] Varga, Gy., Dezső, G., Szigeti, F. (2022). Surface roughness improvement by sliding friction burnishing of parts produced by selective laser melting of Ti6Al4V titanium alloy. *Machines*, 10(5), 400. <https://doi.org/10.3390/machines10050400>
- [11] Nguyen, T., et al. (2020). Multi-responses optimization of finishing honing process for surface quality and production rate. *J. Braz. Soc. Mech. Sci. Eng.*, 42, 604. <https://doi.org/10.1007/s40430-020-02690-y>
- [12] Sadizade, B., et al. (2020). Plateau honing of a diesel engine cylinder with special topography and reasonable machining time. *Tribol, Int.*, 146, 106204. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106204>