

# NAGY ELŐTOLÁSÚ ESZTERGÁLÁS: NAGYOLÁS ÉS SIMÍTÁS UGYANAZON LAPKÁVAL?

## HIGH FEED TURNING: ROUGHING AND FINISHING WITH THE SAME INSERT?

Ráczai Viktor<sup>1</sup>, Huszák Csenge<sup>2</sup>, Sipos Sándor<sup>3</sup>

Óbudai Egyetem, BGK, Anyag és Gyártástudományi Intézet, Budapest, Magyarország

<sup>1</sup> [raczi.viktor@bgk.uni-obuda.hu](mailto:raczi.viktor@bgk.uni-obuda.hu)

<sup>2</sup> [huszak.csnger@bgk.uni-obuda.hu](mailto:huszak.csnger@bgk.uni-obuda.hu)

<sup>3</sup> [sipos.sandor@bgk.uni-obuda.hu](mailto:sipos.sandor@bgk.uni-obuda.hu)

### Abstract

In the last couple of years tools, that make multi-directional machining possible, have revolutionized turning operations. The chip removal of high feed roughing and finishing inserts are so special, that new formulas have to be introduced instead of the usual ones. In this article the results of the tests is summarised and a proposal is made about the force load of multi-directional insert and the description, analyzes and estimation of surface roughness.

**Keywords:** *multi-directional turning, chip development, force effects, microgeometry.*

### Összefoglalás

Az utóbbi években megjelent, többirányú megmunkálást lehetővé tevő szerszámok forradalmasították az esztergálást. A nagy előtolású, nagyolásra és simításra szolgáló lapkák forgácsleválasztása annyira különleges, hogy az eddig megszokott képletetek helyett újakat kell bevezetni. Jelent tanulmány a vizsgálatok eredményeit összegzi, és javaslatot tesz a többirányban alkalmazható lapkák erőigényének, valamint az előállított felületek érdességének leírására, elemzésére és számítására.

**Kulcsszavak:** *többirányú esztergálás, forgácsképződés, erőhatások, mikrogeometria.*

## 1. Bevezetés

Gyorsabban, olcsóbban, pontosabban – minden iparvállalat ezekkel a nem túl egyszerűen összeegyeztethető kihívásokkal szembesül a napi tevékenysége során. Mindehhez társulnak a folyamatbiztonsággal és a környezetvédelemmel kapcsolatos, egyre szigorodó elvárások is. A nagy előtolással végzett, többirányú esztergálást (MDHFT – multi-directional high feed turning) az az igény hozta létre, hogy a bonyolult alkatrész-konfigurációkat kevesebb szerszám felhasználásával lehessen gyártani. Az új elven (PrimeTurning™) működő szerszámokról már több publikációnk készült [1, 2]. Jelen tanulmány a vizsgálatok eredményeit összegzi, és javaslatot tesz a többirányban alkalmazható lapkák erőigényének, valamint

az előállított felületek érdességének leírására, elemzésére és számítására.

## 2. Felületképzés PrimeTurning™ szerszámokkal

A CoroTurn Prime „B” típusú szerszámok elsősorban hossz- és keresztirányban végzett, illetőleg kis hajlásszögű alakos (elsősorban kúpos) felületek megmunkálására szolgálnak. A szerszám élgeometriai sajátossága, hogy az előtolás iránya nagyoláskor ellenkező, mint simítás esetén. Ez a tény nem kizárólag az élek helyzetét és funkcióját változtatja meg, de a nagy előtolással végzett esztergálás módosítja a felületképzés jellegét és a forgácsleválasztása folyamatát (forgácsképződés, erőhatások stb.), sőt a felület létrehozása közben

átalakul a szerszám kinematikai nyoma is. A szakirodalomban közölt képletek a felsorolt jelenségeket nem írják le, hátráltatva ezzel az eljárás szélesebb körű elterjedését is.

Az újszerű szerszám tanulmányozására kísérlet-sorozatot hajtottunk végre egy CR-25BR-2525-11 jelű késtartó és a kompatibilis CP-B1108-M54325 jelzésű lapka alkalmazásával. A tesztekhez  $\phi 60 \times 160$  mm méretű, 11Smn30+C anyagjelű, HB150-155 keménységű automataacél próbates- teket használtunk. A vizsgálatokat BNC1840 jelű, Dugard Eagle gyártmányú CNC-esztergán végez- tünk, környezetbarát száraz forgácsolással.

A gép és a szerszám lehetőségeit is figye- lembe véve állandó forgácsolósebességgel ( $v_c = 250$  m/min)teszteltünk. A kísérlettervezést is felhasználva tízféle kombinációval esztergáltunk: a fogásmélységet három, az előtolás pedig négy szinten változtattuk. Nagyoláskor  $f = 0,3...1,2$ , si- mításkor pedig  $f = 0,2...0,6$  mm határokat választottunk. A szokásos kialakítású szerszámokhoz viszonyítva (különösen az utóbbiak) közel kétsze- res értékek, ami nagyfokú termelékenység-növe- kedéssel jár. Ez különösen az autóiipari divízióban jelent előnyt, hiszen nagyszériás termelésnél minden megtakarított másodpercnél jelentősége van.

**2.1. Forgácsképződési sajátosságok**

Az alkalmazott lapka geometriai sajátosságai az éleket alkotó kontúr pontjainak megfelelő sűrűségű (pl. 1  $\mu$ m-es) letapogatásával (profilpro- jektor: Mitutoyo PJ-H3000F) és modellezéséből (szoftver: Mitutoyo V-COSMOS 2.4 és Catia P3 V5R21) derültek ki. Megjegyezzük, hogy az ismer- tetőben [3] szereplő megadott értékektől eltérése- ket tapasztaltunk.

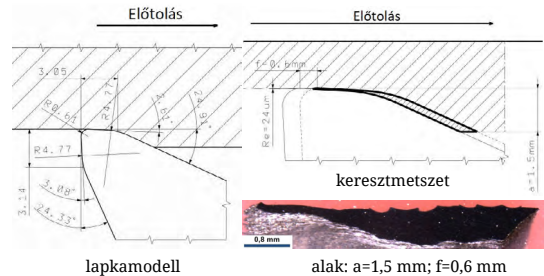
Nagyoláskor a lapka főele két, különböző (25° és 5°) élszögű részből áll, amelyet nagyméretű rádiusz köt össze. A hagyományos értelemben vett csúcsgugár szintén kétféle szögű mellékél- ben folytatódik. Méréseink szerint a csúcsgugár EPSR = 84°, a lapka teljes csúcsgöze 40°, a csúcsgu- gár pedig REPS = 0,6 mm. Ezen sajátosságok a levá- lasztás szempontjából nagyoláskor meghatározóak: a képződő forgács vastagsága nagyon kicsiny, viszont igen nagy a szélessége. Az 1. ábra a lapka mért geo- metriai adatait, a forgács elméleti keresztmetszetét és egy leválasztott forgács alakját mutatja be.

Simitáskor a szerszám élei – az ellentétes előtolá- si irány miatt – felcserélődnek és úgy működnek, mint egy CNMG kialakításba „oltott” VNMG jel- zésű lapka. Ennek jellemzői: főélszög KAPR=93°, mellékél szöge MCEA=2,50, a csúcsgugár (termé-

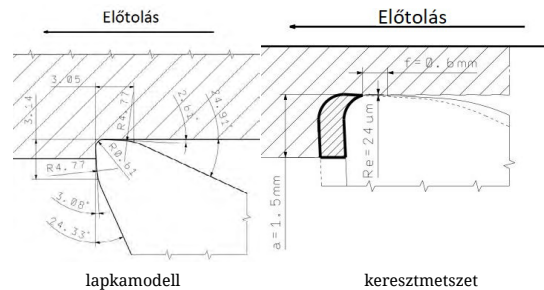
szetesen) változatlan marad. Ennek következtében a leválasztott forgács keresztmetszete nem tér el a megszokottól (2. ábra).

A leválasztott forgácsok tablóját a 3. ábra szem- lélteti. Nagyoláskor 10 esetből hétben kedvező- en tört forgács vált le (3a. ábra). A legnagyobb ( $f > 1$  mm) előtolások beállításakor már veszé- lyesen tekeredő, gubancos folyóforgács keletke- zett, azonban ezt „megfékezte” a CNC-gép burko- lata. A forgács feldarabolásának hatékonyságát az M5 jelzésű forgácsstörő egyedi alakzata okozza: mélyen belenyomódik az anyagba, pótlólagos alakváltozásra és a forgács szélességének csök- kenésére kényszeríti az éppen leváló anyagot [1].

A simitáskor leválasztott forgácsok tablója (3b. ábra) egészen más képet mutat. A szo- kásosnál lényegesen nagyobb előtolásoknál 0,23...0,9 mm<sup>2</sup> határok között alakult a forgács- keresztmetszet. A 2. ábra szerint sokkal „zömö- kebb” forgácsok keletkeztek, amelyek a törésre jobban reagáló, szétszóródó forgácsok formájá- ban távoztak.



1. ábra. A CoroTurn „B” lapka sajátosságai nagyoláskor



2. ábra. A CoroTurn „B” lapka sajátosságai simitáskor



3. ábra. A különböző üzemmódok forgácsablója ( $v_c = 250$  m/műn;  $a = 1,5$  mm)

### 2.2. Forgácsolási erőhatások

Az esztergálás erőkomponenseit KISTLER 9021A típusú berendezéssel mértük és Dynoware szoftverrel értékeltük ki. Az  $F_c$ ,  $F_f$  és  $F_p$  erőösszetevőket egyetlen sebességen és fogásmélységen hasonlítottuk össze, ezért a szokásos hatványfüggvény-modell a következő:

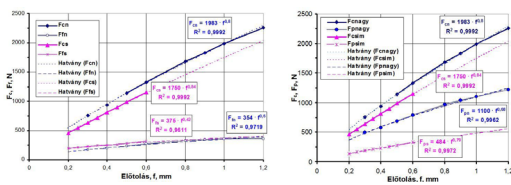
$$F_{jk} = C_{Fjk} \cdot f^{X_{Fjk}} [N] \tag{1}$$

ahol a  $j$  index az erőkomponensre, a  $k$  index pedig a nagyolásra/simításra utal. A modellek szorossága azt jelzi, hogy a mért és számított értékek eltérése igen csekély. A 4. ábra a kapott eredményeket szemlélteti.

A 4a. ábrán jól látható, hogy a nagyoláskor ébredő  $F_c$  forgácsolóerő átlagosan kb. 10%-kal nagyobb, mint a simításnál fellépő. Ennek magyarázata a forgács alakjában keresendő és a munkadarab-szerszámél elnyújtott érintkezésével függ össze, a kis forgácsvastagság pedig a fajlagos forgácsolóerő lényeges növekedését eredményezi. Tesztjeinkből az is kiderült, hogy a növelt ( $f > 0,9$  mm) előtolású nagyolás már jelentős  $P_c$  forgácsolási teljesítményt igényelt. Más okokra vezethető vissza az előtolási erőkomponens ( $F_p$ ) mért (és egyfaktoros hatványfüggvénnyel) modellezett értéksorozata. Nagyoláskor a kis értékű főélszög csekély erőt igényel, míg simításkor a szerszám nagy főélszöggel forgácsol ugyan (lásd 2. ábra), de kis előtolással, ami – az elmélettel megegyezően – megnövekedett erőhatást vált ki.

Ugyanazzal a szerszámmal végzett nagyolás és simítás esetén fontos szempont a megfelelő pontosság elérése. A munkadarab méretviszonyaitól (átmérőméret és/vagy karcúság) függően a forgácsoláskor ébredő erőhatások méret- és/vagy alakhibát okoznak. A legnagyobb erőösszetevő az  $F_c$  forgácsolóerő, amely azonban csak másodrendű hibát okoz. A fogásmélység irányába fellépő  $F_p$  passzív erőkomponens elsőrendű hibához vezet.

A 4b. ábra a passzív erőhatást szemlélteti nagyolás és simítás esetén (az  $F_c$  erőhatást csak összehasonlításként tüntettük fel). A szokatlanul kis főélszög következtében nagyoláskor az  $F_p$  fele-kéthar-



4. ábra. A nagyoláskor és simításakor mér erőkomponensek ( $v_c = 250$  m/min;  $a = 1,5$  mm)

mada az  $F_c$ -nek, ezért karcús daraboknál jelentős, akár néhány századmilliméteres alakhiba („hordóság”) is keletkezhet [1]. Az élek felcserélődése és a szögek megváltozása miatt simítások a passzív erő lecsökken (mindössze 30 %-a a forgácsolóerőnek), ezért a keletkező alakhiba nem számottevő.

### 3. Mikrogeometriai sajátosságok

Ebben a cikkben a felületminőség mikrogeometriai vonatkozásairól lesz szó, a rétegtulajdonságok egyes elemeire nem térünk ki. Az esztergált felületek (szűrt profiljának)  $W_t$  hullámossági értékeit az [1] irodalom tartalmazza, ezért a továbbiakban a nagyoláskor és simítások kialakuló felületi profil érdességének elemzésére fókuszálunk.

A vizsgálatokat Perthometer PRK Concept-2D/3D felületvizsgáló nagyműszeren végeztük, a jellemző érdességi paramétereket MarSurf XCR-20 szoftverrel határoztuk meg. Minden egyes adatbeállításról három-három érdességi profilt vettünk fel és értékeltük ki, ezért a következő diagramok átlagos értékeket tartalmaznak.

A megmunkált felületek jellemzése a hazai gyakorlatban általában az érdesség magassági jellemzői, főleg az átlagos érdesség ( $R_a$ ) és az egyenetlenség-magasság ( $R_z$ ) megadásával történik. Bár az  $R_a$  jóval elterjedtebb (mert a felület különböző mért szakaszain közel állandó értékű lehet), azonban nem tudja megmutatni az egyes felületi profilok közötti jellegzetes, akár lényegesnek mutatókülönbségeket [4]. Vizsgálatainknál ezért a készített profil jellemzői jobban kifejezni képes egyenetlenség-magasság elemzésére koncentrálnunk. Ezen paramétert egyre elterjedtebben használják az autó- és repülőgépgyártó ipar beszállítói szegmensében, illetve a formaszerszámgyártásban.

Az 5. ábra a nagyolás és a simítás esetén mért  $R_z$  értékeket mutatja, feltüntetve az általunk már korábban [1] javasolt,

$$R_z = A \cdot f^2 + B \cdot f + C [\mu m] \tag{2}$$

alakú érdességmodellét, sőt, az elméleti érdesség ( $R_{elm}$ ) számolt adatait is. Az ábrából megállapítható, hogy a Bauer-féle (klasszikus)

$$R_{elm} \approx 125 \cdot f^2 / REPS [\mu m] \tag{3}$$

formula nem hozható kapcsolatba a méréssel meghatározott  $R_z$  adataival. A (2) egyenlet  $B \cdot f$  lineáris tagja azt a forgácsolásméletei tényt fejezi ki, hogy ebben az esetben a mellékélnék is meghatározó szerepe van az esztergált felületi profil kialakításában (az REPS csúcscsugár mellett).

Nagyoláskor igen szoros kapcsolat figyelhető meg a mért  $R_z$  és a (2) modellel számítható érdességadatok között. Simításokor ez a függvény-

kapcsolat ugyan gyengébb, azonban az egyenetlenség-magasság – a nagy beállított előtolásoktól szinte teljesen függetlenül – kedvezően kis,  $R_z = 4 \mu\text{m}$  körüli értékeket ad.

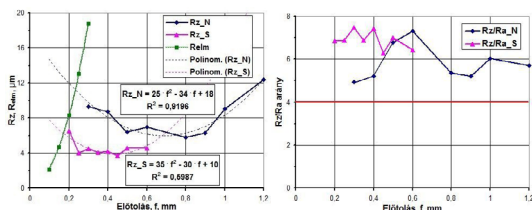
Az  $R_z$  diagramvonalak alakulásából az is jól látható, hogy a B jelű lapkával esztergálva mind nagyoláskor, mind pedig simításkor meglepően széles optimális előtolás-tartományok határozhatóak meg, amelyek beállításakor minimális érdesség érhető el. Ennek oka a szerszámélek speciális kialakításában keresendő.

A modell konstansaiból kiszámítható ( $f_{\text{opt}} = -B/2A$ ) a legkedvezőbb előtolási értéke, amely nagyoláskor  $f = 0,67 \text{ mm}$ , simításkor pedig  $f = 0,43 \text{ mm}$ .

Az alkatrészgyártásban többnyire csak egyetlen paramétert ( $R_a$  vagy  $R_z$ ) használnak az esztergált felületek jellemzésére. Az  $R_z - R_a$  közötti átszámításra az elmúlt hat évtizedben az  $R_z = 4 \times R_a$  közelítés szolgált szakmai alapul. Ez az arány azonban korlátozott érvényességű és csak nagyolás körülmények között elfogadható. Nem alkalmazható viszont félsimítási, simítási és finomesztergálási feltételekre [4].

A 6. ábra a tesztvizsgálatok során mért  $R_z / R_a$  arány értékeit mutatja. Megfigyelhető, hogy mindkét irányban végzett esztergálásnál és minden előtolásérték beállításakor négyenél lényegesen nagyobb az  $R_z / R_a$  viszonyszám. Különösen meglepő, hogy nagyolási üzemmódban ( $f \gg 0,3 \text{ mm}$ ) is a „misztikus 4” szorzószámot meghaladó az arány. Ez szintén a szerszámél speciális kialakításának a következménye.

Jelen cikkben – terjedelmi okok miatt – nem térhetünk ki azokra az eredményeinkre, amelyekben az esztergált felületek egyedi profilját megfelelően jellemző paraméter-együttest hoztunk létre. Ez egyrészt az általánosan használt érdességi adatokra ( $R_a, R_z, R_p, R_v$ ), másrészt a profil statisztikai paramétereire ( $R_{sk}, R_k, R_{Mr}$ ) épül. Ezekkel a mért adatokkal nemcsak a profil jelenlegi állapotát tudjuk az eddigieknél jóval részletesebben jellemezni, hanem következtetni tudunk az alkat-



5. ábra. Az érdességi jellemzők alakulása ( $v_c = 250 \text{ m/min}$ ;  $a = 1,5 \text{ mm}$ )

6. ábra. Az  $R_z/R_a$  arány alakulása ( $v_c = 250 \text{ m/min}$ ;  $a = 1,5 \text{ mm}$ )

rész felületének jövőbeni, üzemszerű viselkedésére (pl. tartósság, kopás stb.) is [4].

#### 4. Összefoglalás, következtetések

A jelentős innovációk és az új elveken működő szerszámok csak akkor terjedhetnek el igazán, ha a piacra kerülésüket számos kísérleti és ipari eredmény támasztja alá. Különösen igaz ez az előzőekben vizsgált B típusú szerszámra, amelynek alkalmazhatóságára kevés a felhasználók számára rendelkezésre álló ismeretanyag és tapasztalat. Jelen cikkben azokat a sajátosságokat elemeztük, amelyek a kétféle előtolási irányban, kétfajta üzemmódban (nagyolás és simítás) végzett hosszsztergálás felületképzését jellemzik.

Mérésekkel kimutattuk, hogy (a sajátos szerszámgeometria következtében) nagyoláskor és simításkor az élek szerepe felcserélődik, ennek következménye az egyedi forgácsleválasztás. Az élek helyzete és élszögek nagysága döntően befolyásolja a fellépő erőhatásokat és a megmunkált felületen kialakuló érdességyomokat is. Az  $F_c, F_f$  és  $F_p$  erőösszetevők leírására az ismert hatványfüggvény-modelleket alkalmaztuk. A szokatlanul kis főélszög miatt a passzív erőkomponens nagyoláskor megnövekszik, amely tengelymetszeti alakhibához (hordósság) vezet.

A nagyolási és simítási technológia biztonságosabb tervezhetősége érdekében közelítésként hoztuk létre a (2)  $R_z$ -formulát. Hangsúlyozzuk azonban, hogy a megmunkált felületeket lehetetlen egyetlen „univerzális”, a vizsgált felület állapotát minden szempontból jellemző mérőszámmal leírni. Vizsgálni kell a paraméterek viszonyát ( $R_p/R_z$  stb.), az  $R_{sk} - R_{ku}$  paraméterkettőssel leírt ún. topológiai térképet, a profil hordozóképességét, stb.

Ezekről a későbbiekben fogunk beszámolni, csakúgy, mint a munkadarab anyagminőségek szélesebb körét (nemesített és korrózióálló acélok, HRSA anyagok stb.) érintő vizsgálatok eredményeiről.

#### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Rácz V., Farkas, G., Sipos, S.: *Chip removal specialities in multi-directional turning*. Műszaki Tudományos Közlemények 9. (2018) 207–210.
- [2] Farkas G., Sipos S., Rácz V.: *A felületképzés elemzése többirányú esztergáláskor*. Int. Eng. Symp. at Banki, Óbuda University, 21.11.2018. Section I.
- [3] *New definitions of Turning SANDVIK Coromant* (offtional ppt), 2017. 28 slides
- [4] Palásti-Kovács B., Sipos S., Biró Sz.: *The Mysteries of the Surface*. First Part: The Characteristic Features of the Microgeometry of the Machined Surface, Acta Polytechnica Hungarica, 11/5. 5–24. <https://doi.org/10.1270000/APH11.05.2014.05.1>