

A felületképzés elemzése többirányú esztergáláskor

Analysis of surface formation in multi-directional turning

Farkas Gabriella, Sipos Sándor, Rácz Viktor

Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépészmérnöki Kar, Budapest, Magyarország

farkas.gabriella@bgk.uni-obuda.hu

sipos.sandor@bgk.uni-obuda.hu

raczi.viktor@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás

A gyártási gyakorlatban a fellépő erőhatások tervezése és a felületi érdesség előzetes meghatározása fontos követelmény a minőségbiztosítás szempontjából. A szokásos számító képletekkel azonban meglehetősen pontatlanul lehet előre jelezni az erőket. A valós érdesség előrejelzése még bonyolultabb feladat, ráadásul a szerszámok kopása a főbb paraméterek (pl. Rz) alakulását ellentmondásosan befolyásolja. Az utóbbi években megjelent, többirányú megmunkálást lehetővé tevő szerszámok forradalmasították az esztergálás szokásos paradigmáit. A nagyolásra és simításra szolgáló lapkákkal végzett tesztek többek között azt is bebizonyították, hogy a megszokott képletek helyett újakat kell bevezetni. Jelen tanulmány az eddigi 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

Abstract

In manufacturing practice, the calculation of the force components and preliminary determination of surface roughness is an important requirement for quality assurance. However, with the usual calculating formulas, the force components, developing during the machining, can be quite inaccurate. The prediction of surface smoothness is even more complicated, and the wear of tools has a controversial influence on the development of the main roughness parameters (eg. Rz). The tools of multi-directional machining, having appeared in the recent years, have revolutionized the usual paradigms of turning. Tests with roughing and finishing inserts have shown, among other things, that new formulas should be introduced instead of the generally used ones. In this paper, the result of the tests, carried out till now, will be summarised; furthermore, a proposal will be made on the description, analysis and calculation of force demand of multi-directional inserts as well as the roughness of the surface, being prepared during the machining.

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

1 BEVEZETÉS

Gyorsabban, olcsóbban, pontosabban – ezzel a nem egyszerűen összeegyeztethető kihívással szembesül számos vállalat a napi tevékenysége során, akár néhány darabos, akár nagysorozatban gyártott terméket állítson elő. Mindenhol fokozódnak a méretpontossági és felületminőségi igények. Mindehhez társulnak és egyre szigorodnak a folyamatbiztonsággal kapcsolatos elvárások is. Az alkatrészgyártás nagyon sok területén, valamint az alakítószerszámok készítésekor jelentős mértékben meghatározza az előállított felület minősége (azaz hullámossága, érdessége és réteg tulajdonságai) a készített termék üzem közbeni viselkedését, karbantartási igényét és tartósságát. A megfelelő méret-, helyzet- és alaktűrések, továbbá a jól mérhető (kézben tartható) mikrogeometriai jellemzők fontos tényezői a minőségbiztosításnak. Különösen érvényes ez azokra a darabokra, amelyek – rendeltetésüknek megfelelően – összetett felületelemekből állnak. A többirányú esztergálást (MDT = multi-directional turning) az a törekvés jellemzi, hogy még a bonyolult alkatrész-konfigurációk is kevés szerszámtípus felhasználásával gyárthatók legyenek. Ha például a forgástestek hossz- és keresztirányú esztergálására elegendő egyetlen szerszám, akkor nem csak a CNC-esztergák kihasználása javul a beállítási és állásidők mérséklődésével, hanem a szükséges eszközök száma (vagyis a felszerszámozás költsége), sőt a szükséges szerszámcsere-idő is csökken [1].

2017 közepén a világ vezető szerszámgyártója – szinte forradalmasítva az esztergálást – teljesen újszerű konstrukcióval jelent meg [2]. Hosszesztergáláskor az új elven működő, PrimeTurning™ szerszámokat a következők jellemzik (a szögek jelölése ISO13399 szerinti [3]):

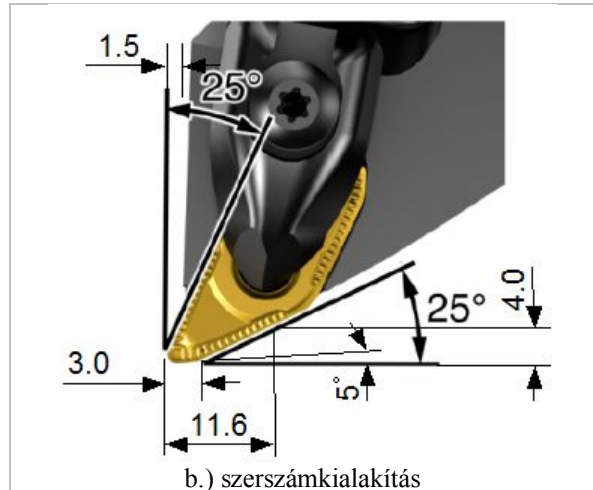
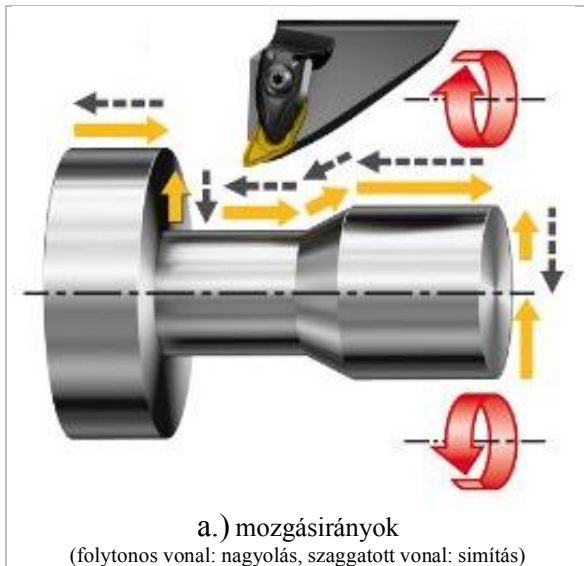
- nagyoláskor a tokmánytól a szegnyereg felé irányul az előtoló mozgás,

- mivel a szerszám főélszöge ilyenkor a szokásosnál sokkal kisebb ($KAPR \leq 30^\circ$), az előtolás a szokásos akár kétszerese is lehet. A mellékél ebben az esetben rendkívül nagy szöget zár be az esztergált felülettel (minor cutting edge angle - $MCEA > 90^\circ$)
- ugyanazon szerszámmal simítani is lehet, ekkor a megszokott esztergálási irányban (a tokmány felé) történik a megmunkálás. A főél szerepe természetesen felcserélődik ($KAPR \geq 90^\circ$), ezért az $MCEA \leq 30^\circ$.

Az új típusú szerszámmal történő nagyolás és simítás megváltoztatja a felületképzés jellegét. A szerszámél – munkadarab megváltozott érintkezése miatt nemcsak a forgácsleválasztás folyamata (forgácsképzés, erőhatások stb.) változik meg, hanem a szerszám kinematikai nyoma is módosul az esztergált felületen. A felsorolt jelenségeket még nem írják le szakirodalomban közölt számítóképletek, hátráltatva ezzel a szerszám széleskörű elterjedését. Jelen tanulmány a többirányban, eltérő feladatokra alkalmazható PrimeTurning™ szerszámok eddigi vizsgálati eredményeit összegzi, és javaslatot tesz a főbb jellemzők leírására, elemzésére és számítására is.

2 FELÜLETKÉPZÉS PRIMETURNING™ SZERSZÁMOKKAL

A Coro Turn Prime „B” típusú szerszámok elsősorban hossz- és keresztirányban végzett, illetőleg kis hajlásszögű alakos (elsősorban kúpos) felületek nagyolására szolgálnak.



1. ábra: A CoroTurn Prime „B” típusú szerszám alkalmazása

Az 1. ábra bal oldali része a leggyakoribb mozgásirányokat mutatja be: a nagyolási irányt folytonos, a simítási irányt szaggatott nyilak jelölik. Természetesen, a kétféle megmunkálási fajtánál a főorsó ellenkező irányban forog. A szerszám újszerű geometriája és az élek helyzetét jellemző szögek az 1/b. ábrán láthatók.

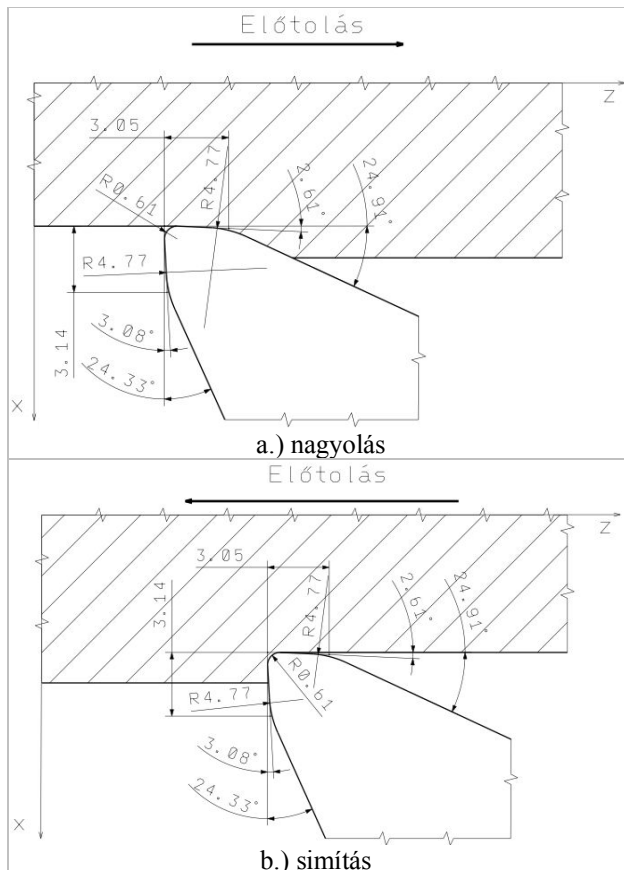
Az újszerű szerszám forgácsolási viselkedésének tanulmányozásához kísérletsorozatot hajtottunk végre egy CP-25BR-2525-11 jelű késtartó és a kompatibilis CP-B1108-M5 4325 jelzésű lapka alkalmazásával. A tesztekhez $\varnothing 60 \times 160$ mm méretű, tokmányoldalon befogócsappal, a szegnyereg felől pedig központfúraton támasztott, 11SMn30+C anyagjelű, HB150 \pm 3 keménységű automata acél próbatesteket használtunk fel. A vizsgálatokat BNC1840 jelű (Dugard Eagle gyártmányú) CNC-esztergán végeztük. Hűtő-kenő-öblítő közeget nem alkalmaztunk.

Nagyoláshoz a gyártó az $a = 0,5 \dots 4$ mm fogásmélység és $f = 0,3 \dots 1,2$ mm előtolási értékeket, simításhoz pedig az $a = 0,5 \dots 3$ mm; $f = 0,2 \dots 0,6$ mm adatokat ajánlja. A gép korlátait figyelembe véve esztergálásnál állandó forgácsolósebességet ($v_c = 250$ m/min) és változó fogásmélységet ($a = 0,5 \dots 1,5$ mm) állítottunk be. Kísérlettervezés felhasználásával tízféle beállítással esztergáltunk: a fogásmélységet három, az előtolást pedig négy szinten változtattuk úgy, hogy nagyoláskor az előtolás $f = 0,3 \dots 1,2$ mm, simításkor pedig $0,2 \dots 0,6$ mm határok között mozgott. Ezek közel kétszeres értékek a szokásos kialakítású szerszámokhoz képest, ami nagyfokú termelékenység-növekedéssel jár. Ez különösen az autóiipari divízióban jelent előnyt, hiszen a nagyszériás termelésnél minden megtakarított másodpercnek jelentősége van.

2.1 Forgácsképződési sajátosságok

A CP-B1108 jelű lapka sajátosságai az éleket alkotó kontúr pontjainak megfelelő sűrűségű (pl. 1 μ m-es) letapogatásából és modellezéséből derülnek ki. A lapkákat 50-szeres nagyítás mellett vizsgáltuk, a lapka

körvonalára állva rögzítettük az adott élponthoz tartozó x-y értékeket. A felvételezést Mitutoyo PJ-H3000F típusú profilprojektor segítségével végeztük el, a pontok mérési pontatlansága maximum $\pm 1 \mu\text{m}$ volt. A kapott koordinátaadatokat a Mitutoyo N-COSMOS 2.4-es verziójú szoftver segítségével dolgoztuk fel. A pontos szerszámgeometria meghatározására a Catia P3 V5R21-es verziójú CAD-CAM szoftvert használtuk, a szerszám tényleges élszögeit és egyéb vonatkoztatási adatait a mért pontok összekötésével állapítottuk meg. Megjegyezzük, hogy az ismertetőkből (prospektus, ppt) szereplő, előzetesen megadott értékektől eltéréseket tapasztaltunk.



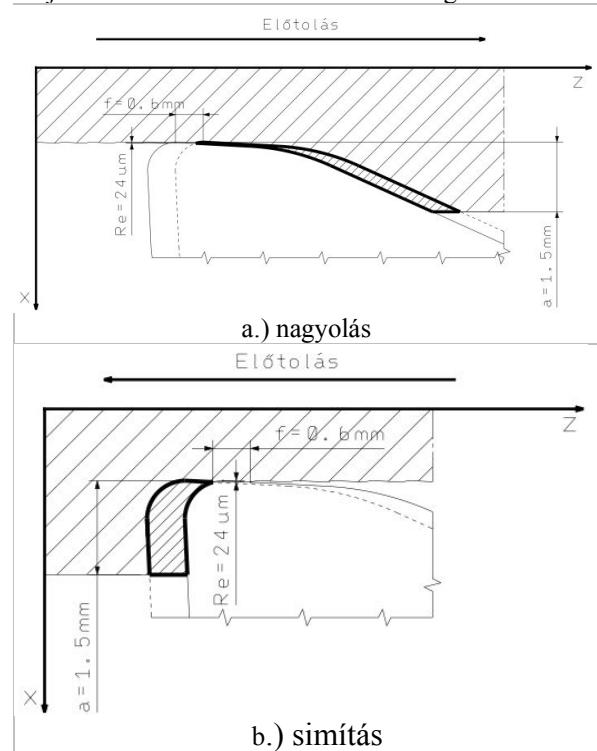
2. ábra: A Coro Turn Prime „B” szerszám különböző felhasználásai

A szerszám élgeometriai azonossága – az előtolás irányának megváltozása miatt – nem kizárólag az élék helyzetét és funkcióját változtatja meg, de befolyásolja a forgácsleválasztás teljes folyamatát (forgácsalak és -méret, erőhatások, a keletkező felület érdességi profilja stb.) is. A nagyolás és simítás közötti különbségeket a 2. ábra mutatja.

Nagyoláskor (2/a. ábra) a lapka teljesen egyedi élkialakítású: a főél két különböző (25° és 5°) élszögű részből áll, melyet egy nagyméretű rádiusz köt össze. A hagyományos értelemben vett csúcsgugár szintén kétféle élszögű mellékélben folytatódik. Méréseink szerint a ténylegesen forgácsolást végző csúcsgugár EPSR $\approx 84^\circ$, a lapka teljes csúcsguge 40° , a csúcsgugár pedig REPS $\approx 0,6 \text{ mm}$. Ezek a sajátosságok

meghatározóak a leválasztás szempontjából, mert a képződő forgács vastagsága nagyon kicsiny, ennek megfelelően viszont nagy a szélessége.

Az ellentétes előtolási irány miatt simításkor a szerszám élei felcserélődnek (2/b. ábra) és úgy működnek, mint egy hagyományos, ISO-kialakítású, CNMG kialakításba „oltott” VNMG jelzésű lapkageometria. Ennek az a következménye, hogy a főélszög KAPR $\approx 93^\circ$, a mellékél szöge MCEA $\approx 2,5^\circ$, míg a csúcsgugár értéke természetesen változatlan marad. Ennek következtében a keletkezett forgács alakja nem tér el az ISO-kialakításnál megszokottól.



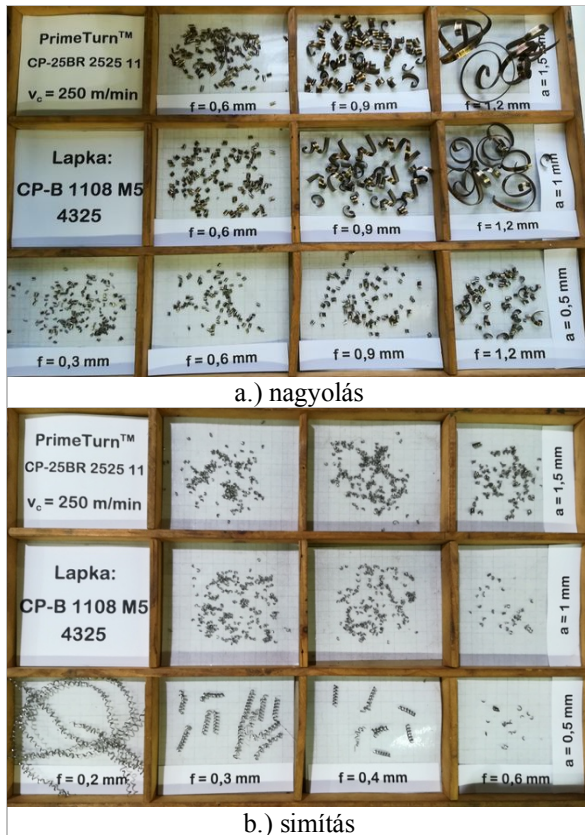
3. ábra: A „B” szerszám által leválasztott forgácskeresztmetszetek

A 3. ábrán a forgácskeresztmetszetek lényegesen eltérő alakja látható a kétféle előtolási irány figyelembe vételével. A CAD-es rajzokból az is kiderül, mennyire más jellegű – ugyanazon előtolásokat alkalmazva – a leválasztási folyamat: a nagyoláskor leváló anyag sokkal inkább hajlamos folyó forgácsként leválni, míg simításkor sokkal zömökebb, az osztásra és a törésre jobban reagáló, szétszóródó forgácsok távoznak.

A leválasztott forgácsok tablóját a 4. ábra szemlélteti. A nagyolási körülmények között vizsgált forgácskeresztmetszet nagyon széles, $0,15 \dots 1,8 \text{ mm}^2$ tartományban változott. A 4/a. ábra azt mutatja, hogy tízből nyolc esetben kedvező, tört forgács kapható, ám a legnagyobb előtolás ($f = 1,2 \text{ mm}$) és növelt fogásmélység ($a \geq 1 \text{ mm}$) beállításakor veszélyesen tekeredő, gubancos forgács keletkezett.

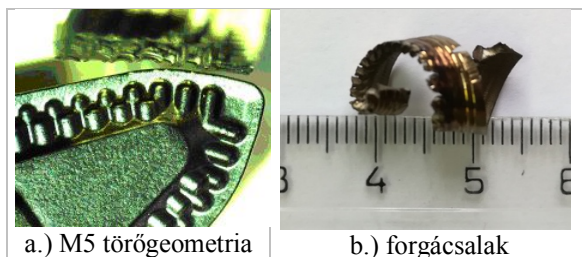
A simításkor leválasztott forgácsok (4/b. ábra) vizsgálata egészen más eredményeket mutatott. Bár a forgácsolósebesség és a fogásmélység a nagyoláskor alkalmazottnak felelt meg, az előtolás nagy arányú

csökkentésével a forgácskeresztmetszet 0,1...0,9 mm² határok között volt. Kedvezőtlen forgácsalak csak a legkisebb fogásmélység és kis előtolások beállításakor keletkezett, egyébként az M5 törőgeometria simításkor is nagyon hatékonyan darabolta a forgácsokat.



4. ábra: A különböző üzemmódok forgácstablói

A forgács feldarabolásának kedvező hatékonyságát a „B” lapka homlokfelületének egyedi kialakítása okozza, az M5 jelzésű forgácstörő osztógeometria alakzata (5. ábra) ugyanis belenyomódik a forgácsba és pótlólagos alakváltozásra, azaz a forgács szélesség csökkenésére kényszeríti az éppen leváló anyagot.



5. ábra. Az M5 törőgeometriájú lapka és a leváló forgács
Körülmények: v_c=250 m/min; a=1,5 mm; f = 1,2 mm

2.2 Forgácsolási erőhatások

Az esztergáláskor fellépő F_c, F_r és F_p erőkomponenseket KISTLER 9021A típusú erőmérővel mértük és Dynoware szoftverrel értékeltük ki. A leválasztást végző aktív összetevőkhöz az F_c forgácsolóerő és az előtolás irányában ébredő F_r

erőhatás tartozik [4]. Az átlagos erő matematikai leírására az elterjedten használt

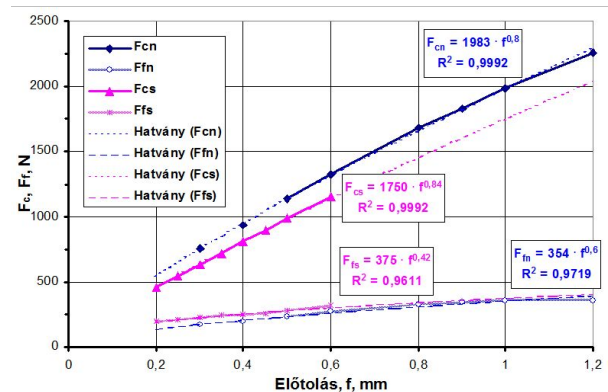
$$F_i = C_{Fi} \cdot a^{y_{Fi}} \cdot f^{x_{Fi}} \quad [N] \quad (1)$$

hatványfüggvény-modell alkalmas. Az erőösszetevőket jellemző, kétfaktoros regresszióval kiszámolt konstansok (C_{Fi}) és megfelelő kitevők (x_{Fi}, y_{Fi}) értékeiről más publikációban már beszámoltunk [1].

A nagyoláskor és simításkor fellépő erőket – célszerűségi okokból – v_c = 250 m/min sebességen és a = 1,5 mm fogásmélységen hasonlítottuk össze, ezért a hatványfüggvény-modell a következő alakban írható fel:

$$F_{jk} = C_{Fjk} \cdot f^{x_{Fjk}} \quad [N] \quad (2)$$

ahol a „j” index az erőkomponensre, a „k” index pedig a nagyolásra vagy simításra utal. A modellek szorossága azt jelzi, hogy a mért és számított értékek eltérése igen csekély.

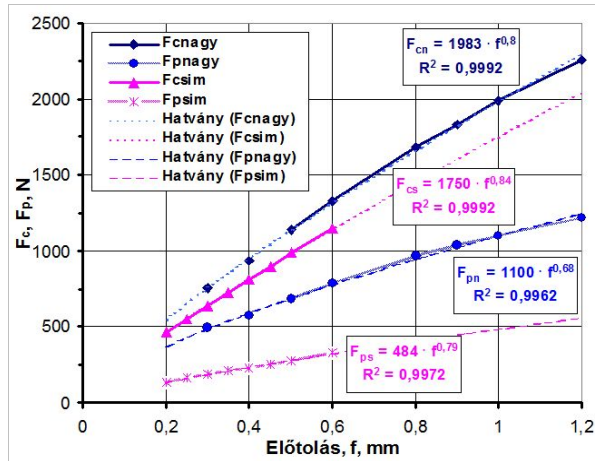


6. ábra: Az aktív erőkomponensek alakulása
Mégmunkálási körülmények: a=1,5 mm; v_c=250 m/min

A 6. ábrán jól látható, hogy – ugyanolyan előtolás beállítása mellett – a nagyoláskor ébredő forgácsolóerő átlagosan kb. 10%-kal nagyobb, mint a simításkor. Ennek magyarázata a forgács alakjában keresendő: a nagyoláskor leváló forgács szélesség a szerszám-munkadarab 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 igényel. Más okra vezethető vissza az előtolási erőkomponens (F_r) mért (és egyfaktoros hatványfüggvényvel modellezett) értéksorozata. Simításkor a szerszám nagy főélszöggel forgácsol (lásd 3/b. ábra), ami – az elmélettel teljes mértékben megegyezően – megnövekedett erőhatást vált ki. Ezzel szemben nagyoláskor a kis értékű főélszög kisebb F_r erőhatást igényel.

Az egyazon szerszámmal végzett nagyolást és simítást az esztergált felület pontossága szempontjából is össze kell vetni. A munkadarab méretviszonyaitól

függően a forgácsoláskor fellépő erőhatások méret-és/vagy alakhibát okoznak. A legnagyobb összetevő a forgácsolóerő, amely másodrendű hibát okoz, viszont a fogásmélység irányába fellépő F_p passzív erőkomponens elsőrendű hibához vezet(het). Viszonylag kis átmérőjű, karcsú tengelyek esztergálásakor jellegzetes tengelymetszeti alakhiba a „hordósság”.



7. ábra: Az F_c és F_p erőkomponensek alakulása
Mégmunkálási körülmények: $a=1,5$ mm; $v_c=250$ m/min

A 7. ábra nagyolás és simítás esetén a passzív erőhatást szemlélteti, az ébredő F_c forgácsolóerőt csak összehasonlításképpen tüntettük fel. A szokatlanul kis főélszög következtében nagyoláskor az F_p fele-kétharmada az F_c -nek, ezért az $l/d=2,5$ karcsúsági arányú tesztarabokon jelentős, akár néhány századmilliméteres alakhiba is keletkezhet [1]. Simításkor az élek felcserélődnek, ezáltal az élszögek megváltoznak, ennek hatására a passzív erő lecsökken (mindössze 30%-a a forgácsolóerőnek), ezért a keletkező alakhiba nem számottevő.

3 MIKROGEOETRIAI SAJÁTOSSÁGOK

Ebben a cikkben nem térünk ki a rétegtulajdonság egyes elemeire, csak az esztergált felület minőségének mikrogeometriai jellemzőit ismertetjük. A „B” típusú szerszámmal esztergált felület (szűrt profiljának) W_t hullámossági értékeinek alakulását az [1] irodalom tartalmazza, ezért anyagunkban a nagyoláskor és a simításkor kialakuló felületi profil érdességének elemzésével foglalkozunk.

A vizsgálatokat Perthometer PRK Concept-2D, 3D felületvizsgáló nagyműszeren végeztük. Minden egyes adatbeállításról három-három érdességi profilt vettünk fel, a jellemző érdességi paraméterek MarSurf XCR-20 szoftverrel határoztuk meg, ezért a következő diagramok átlagos értékeket tartalmaznak. A méréskor Mahr-gyártmányú, 90° -os kúpszögű, 2 μ m csúcsgarú tapintót használtunk és az alábbi mérési alapbeállításokat alkalmaztuk: vontatási hossz (L_i) 5,60 mm, a szűrés határhullámhossz (cut-off) $L_c=0,8$ mm, a kiértékelési szakasz (L_m) 4,00 mm, a beállított vontatási sebesség pedig 0,10 mm/s.

3.1 A „szokásos” érdességi paraméterek alakulása

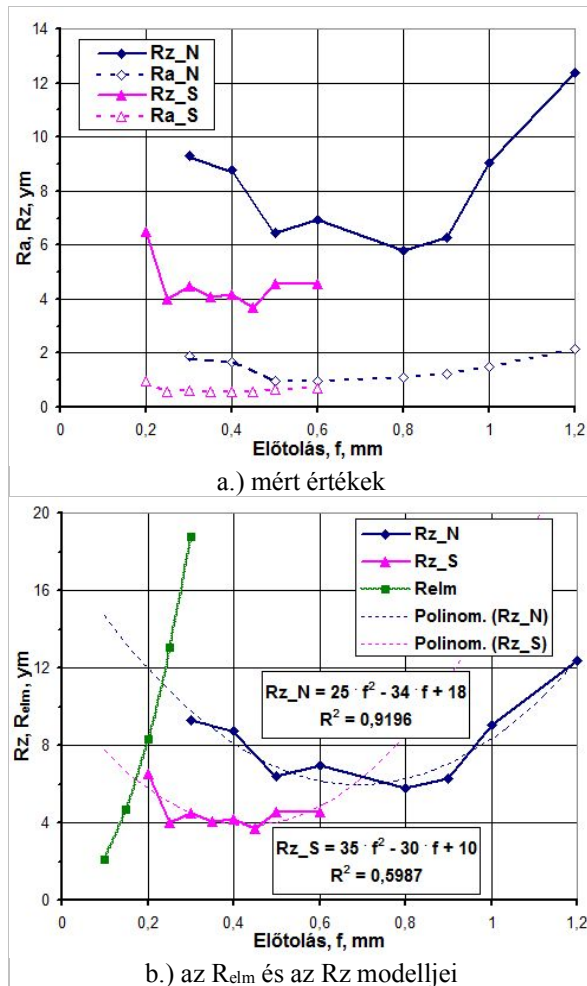
A hazai gyakorlatban a megmunkált felületek jellemzése általában az érdesség magassági paramétereivel, főleg az átlagos érdesség (R_a) és az egyenetlenség-magasság (R_z) megadásával történik. Bár az R_a jóval elterjedtebb (mert a felület különböző mérési szakaszain közel állandó értékű is lehet), azonban nem tudja megmutatni az egyes felületi profilok közötti jellegzetes (és akár lényegesnek mutakozó) különbségeket [5, 6]. Előfordulhat, hogy a mért felületek azonos átlagos érdességűek, azonban elfedi a felületi profilok közötti jellegzetes különbözőséget. Könnyen megeshet tehát, hogy egy mért felület azonos átlagos érdességű, azonban akár a maximális érdesség (R_t), akár az R_z érték nagy eltéréseket mutat. Vizsgálatainkat ezért inkább az érdességi profil jellemzőit jobban kifejezni képes egyenetlenség-magasság elemzésére koncentráltuk. Bár ezen paramétert egyre elterjedtebben használják az autó- és repülőgépgyártók beszállítói szegmensében, illetve a formaszerszám-gyártásban, általános elterjedését nehezíti, hogy kétféle értelmezése (R_z „ten point height” és az R_{zISO}) is elterjedt [7]. Megjegyezzük, hogy jelen dolgozatban az R_z értékeket használjuk mérőszámként.

A nagyolás és a simítás esetén mért R_z és R_a értékeket a 8. ábra mutatja. Jól megfigyelhető, hogy a mért átlagos érdesség a beállított előtolás függvényében csekély eltérést mutat (8/a. ábra) és simításkor rendre $R_a < 1$ μ m értékek állíthatók elő. Ezzel szemben az egyenetlenség-magasság – főként nagyoláskor – széles értéktartományban ingadozik. Az R_z diagramvonalainak alakulásából az is kitűnik, hogy a „B” jelű szerszámmal esztergálva mind nagyoláskor, mind pedig simításkor meglepően széles optimális előtolástartományok határozhatók meg, amelyek beállításakor minimális érdesség érhető el. Ennek oka a szerszámél speciális kialakításában keresendő.

Megállapítható továbbá az is, hogy a „B” típusú szerszámmal esztergálva az R_z méréssel meghatározott adatai nem hozhatók kapcsolatba sem az $R_{elm} \approx 125 \cdot f^2 / REPS$ [μ m] alakú, Bauer-féle elméleti érdességgel, sem pedig a Brammertz- képlettel kiszámolt (egyébként nagyobb) értékekkel. Az általunk már korábban [1] javasolt

$$R_z = A \cdot f^2 + B \cdot f + C \quad [\mu\text{m}] \quad (3)$$

alakú érdességmodell a 8/b. ábrán látható, amelyen feltüntetjük az R_{elm} számított adatait is. A (3) képlet lineáris tagja ($B \cdot f$) azt a forgácsoláselméleti tényt fejezi ki, hogy egyes esetekben az esztergált felületi profil kialakításában nem csak az REPS csúcsgarúnak, hanem a MCEA szög által meghatározott mellékélnek is fontos szerepe van.



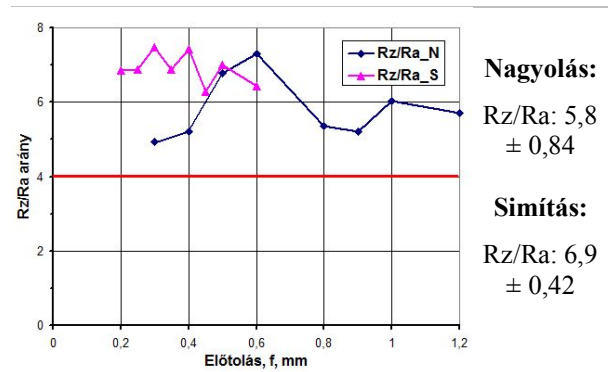
8. ábra: Az érdességi jellemzők alakulása
Mégmunkálási körülmények: $a=1,5$ mm; $v_c=250$ m/min

Nagyoláskor igen szoros kapcsolat figyelhető meg a mért Rz és a modellel számítható érdességadatok között. Simításkor ez a függvénykapcsolat gyengébb korrelációt mutat, azonban az egyenetlenség-magasság – a beállított előtolástól szinte teljesen függetlenül – kedvezően kis értékekkel jellemezhető. A modell konstansáiból kiszámítható ($f_{opt} = \frac{-B}{2 \cdot A}$) a legkedvezőbb előtolási érték, amely nagyoláskor $f=0,67$ mm, simításkor pedig $f=0,43$ mm.

Az alkatrészrajzokon többnyire csak egyetlen (Ra vagy Rz) paramétert használnak az esztergált felületek érdességének jellemzésére. Az Rz-Ra közötti átszámításra az elmúlt hat évtizedben az $Rz = 4 \times Ra$ közelítés szolgált szakmai alapul. Ez az arány azonban korlátozott érvényességű és csak nagyolási körülmények között elfogadható, nem alkalmazható simítási és finomesztergálási körülményekre [7].

A „B” lapkával végrehajtott tesztvizsgálatok eredményeit a 9. ábra szemlélteti. A diagramon látható, hogy mindkét irányban végzett esztergálásnál és minden előtolásérték beállításakor négynél lényegesen nagyobb az Rz/Ra viszonyszám. Különösen meglepő,

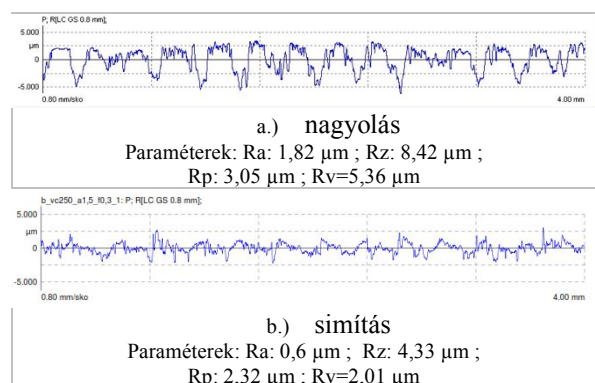
hogy nagyolási ($f > 0,3$ mm) üzemmódot választva is a misztikus „4” szorzószámot meghaladó az arány. Ez szintén a szerszámél speciális kialakításának a következménye.



9. ábra: Az Rz/Ra arány alakulása
Mégmunkálási körülmények: $a=1,5$ mm; $v_c=250$ m/min

3.2 Az érdességi profil részletes vizsgálata

Az Rz egyenetlenség-magasság paramétere szoros összefüggésben van két másik, ugyancsak magasságirányú paraméterrel. A regisztrált érdességi profil maximális csúcsmagasságát (R_p) legmagasabb kiemelkedések átlagos ordinátaértékeiből kapjuk, a kiértékelési hossz figyelembevételével. Hasonló módon határozható meg a maximális völgymélység (R_v) is, amely a legnagyobb bemélyedések átlagértékét adja meg. Mindkét jellemző jól megfigyelhető a 10. ábrán, amely két, eltérő körülmények között előállított felület profilképét tartalmazza. Bár az előtolás értéke azonos ($f=0,3$ mm) volt nagyoláskor és simításkor, azonban az érdességi adatok mindegyike nagy eltéréseket mutat: az átlagos érdességben háromszoros, az egyenetlenség-magasságban közel kétszeres értékeket mértünk nagyoláskor.



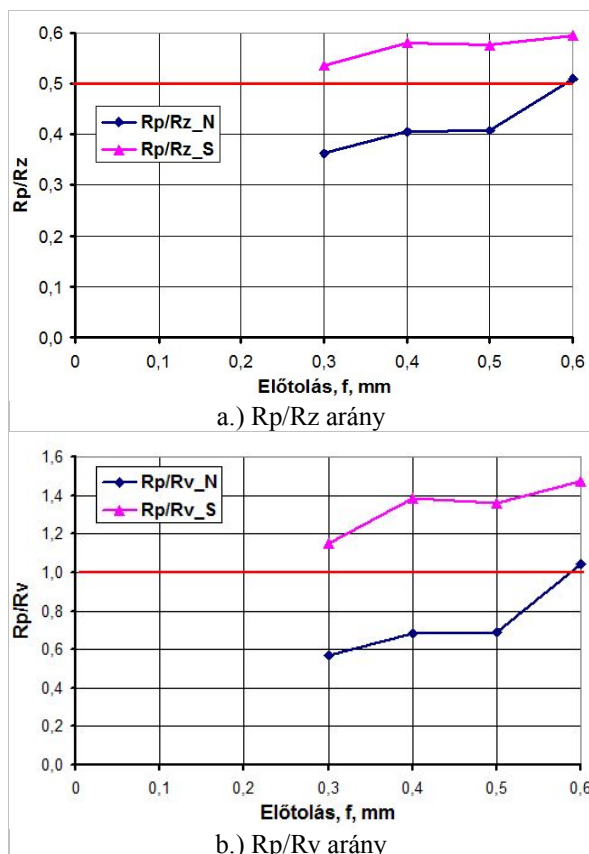
10. ábra: Érdességi profilok nagyoláskor és simításkor
Mégmunkálási körülmények: $a=1,5$ mm; $f=0,3$ mm; $v_c=250$ m/min

A felületek érintkezéséről, kopási és kenési tulajdonságairól, valamint a működés közbeni viselkedéséről – egyéb paraméterek mellett – az érdességi profil középvonal körüli eloszlásból következtethetünk. A mély völgyeket (R_v =nagy) tartalmazó profilok kenőanyagátároló képességükkel

tűnnek ki, a jelentős kiemelkedéseket mutató felületek (R_p =nagy) pedig hajlamosabbak a gyors kopásra [8].

A műszaki gyakorlatban a megmunkált felületek jövőbeni viselkedését két aránypárral szokás jellemezni. Az egyik az R_p/R_z hányados értéke. Ha a csúcsmagasság és egyenetlenség-magasság aránya 0,5-nél nagyobb, akkor a csúcszóna „tűszerű”, ezért kopásra hajlamosabb. Az előállított profil sokkal kedvezőbb, ha $R_p/R_z < 0,5$, mert a felület lekerekítettebb, azaz anyaggal telítettebb. A másik arány a csúcsmagasság/völgymélység viszonyozsága (R_p/R_v). Szimmetrikus az érdességi profil, ha az $R_p/R_v \approx 1$, ha az arány kisebb, mint egy, a felület „plátószerű”, esetleg nagy bevágásokat, mélyedéseket tartalmazó (10/a. ábra), ha pedig egynél nagyobb, akkor a felületet kimagasló érdességi csúcsok jellemzik (10/b. ábra).

Külön megvizsgáltuk ezért az $f=0,2...0,6$ mm előtolástartományt, amelyet mind nagyolásra, mind simításra fel tudunk használni. A fentebb tárgyalt arányokat az előtolás függvényében a 11. ábra mutatja be.



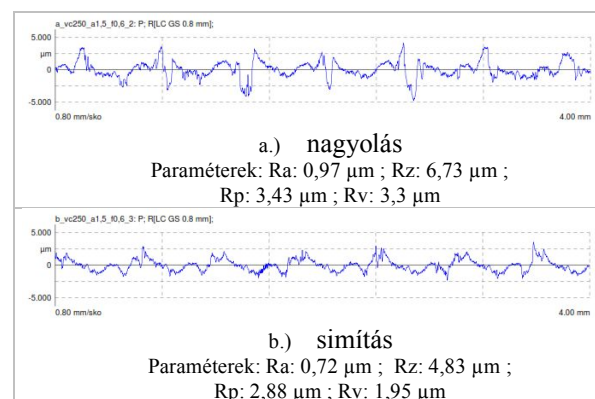
11. ábra: Érdességi paraméterek arányai
Megmunkálási körülmények: $a=1,5$ mm; $v_c=250$ m/min

A „B” lapkával végrehajtott esztergálás meglepő eredményeket hozott a paraméterarányok szempontjából. Kis ($f=0,3$ mm) előtolással végzett nagyoláskor ugyanis a felület anyaggal telített (11/a. ábra), sőt plátószerű profilrészletekből tevődik össze (10/a. ábra). Ezzel szemben a simító ($f=0,3...0,6$ mm)

üzem módban az $R_p/R_z > 0,5$, illetve az $R_p/R_v > 1$, ami a tűszerűen kimagasló csúcsokból álló felület jellemzője.

A 12. ábra a legnagyobb simítási előtolásnál ($f=0,6$ mm) szemlélteti az érdességi profil alakulását, egyszerre mindkét fokozat esetén. A nagyolásra és simításra kapott regisztrátumok azt jól mutatják, hogy

- bár az átlagos érdességértékek csekély eltérést mutatnak (nagyoláskor például meglepően kedvező érdesség mérhető), a felvett profilgörbék azonban más jellegű („viselkedésű”) felületről tanúskodnak,
- mindkét felületre inkább a kiugró magasságcsúcsok jellemzőek ($R_p > R_v$),



12. ábra: Érdességi profil nagyoláskor és simítás esetén
Megmunkálási körülmények: $a=1,5$ mm; $f=0,6$ mm; $v_c=250$ m/min

- az érdességi paraméterek aránya ($R_z/R_a=6,9$; $R_p/R_z=0,51$; $R_p/R_v=1,04$) arra enged következtetni, hogy nagyoló előtolási irányban esztergálva közel szimmetrikus profilú (R_p/R_z és R_p/R_v), de mégis simított felület (R_z , R_a , R_z/R_a) kapható,
- ugyanezen arányszámok alakulása simításkor ($R_z/R_a=6,7$; $R_p/R_z=0,6$; $R_p/R_v=1,48$) viszont arra utal, hogy az esztergált felület – jellemzően – tűszerűen kiálló csúcsokat tartalmaz.

A felületi profil alaposabb elemzésekor az derül ki, hogy nem elegendő csak egy-két előírt érdességi paraméterre figyelni, de a kiértékelésbe olyan jellemzőket is be kell vonni, amelyekből következtetni lehet az esztergált alkatrész jövőbeni működésére. Különösen igaz ez a forradalmian új „B” szerszámra, amelynek alkalmazhatóságával kapcsolatban csak igen kevés a felhasználók számára rendelkezésre álló ismeretanyag és/vagy tapasztalat.

3.3 Egyéb érdességi paraméterek

Az előzőekben vizsgált paraméterek (R_a , R_z , R_p , R_v) az érdességi profil magasság- (vagy más szóval amplitúdó-) irányú jellemzésére voltak alkalmasak. A különböző megmunkálásokkal létrehozott érdességi alakzatról további információkat szolgáltatnak még a

hosszirányú (pl. RSm – egyenetlenségek közepes osztása) és hibrid (pl. Rdq – a profil hajlásának négyzetes középértéke) paraméterek, valamint az eljárás ún. topológiai térképe és a teherviselő anyaghányad (pl. hordozóhossz) alakulása.

A **topológiai térkép** egy Rsk - Rku sikon ábrázolt pontsor, amely a különböző beállítások mellett készített felületszakasz egyidejűleg mért magassági adatainak statisztikai jellemzésére szolgál és a ferdeség (skewness, Rsk), valamint a lapultság (kurtosis, Rku) értékét adja meg [9]. A ferdeség a harmadrendű centrális nyomatéka a profil amplitúdó eloszlásának (a profil középvonalához képest), jelzi a profil „telítettségének” mértékét és a következő módon számolható:

$$Rsk = \frac{1}{Rq^3} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i)^3 \quad (4)$$

Amennyiben normál eloszlású a felületi profil, akkor Rsk = 0. Ha a mért profil völgyei mélyebbek a csúcsok nagyságnál, akkor a felület negatív ferdeségű (Rsk < 0), míg ellenkező esetben a csúcsok nagyobbak a völgyek mélységeinél, tehát a ferdeség pozitív. A másik statisztikai paraméter a kurtosis (Rku), a profil amplitúdóeloszlásának negyedrendű centrális nyomatéka és a profil „élességét” méri. Számítása a következő:

$$Rku = \frac{1}{Rq^4} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i)^4 \quad (5)$$

Normális eloszlás esetén az Rku = 3. Ha 3-nál nagyobb, akkor a felület „hegyes”, ha pedig Rku < 3, akkor a megmunkált profil „tompá”.

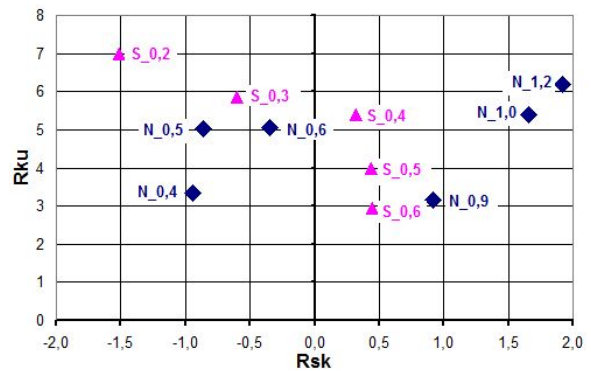
Tekintettel arra, hogy az Rq jellemzőtől (simasági mérőszám: a profil magasságtérzéseinek négyzetes középértéke) szó szerint hatványozottan függ mindkét paraméter, ezért minden kiugró amplitúdóérték (felületi karc és/vagy mikrofrakódás) jelentősen befolyásolja a (4) és az (5) képletekkel kiszámolt paramétereket. Bármilyen megmunkálással készített felület topológiai térképéről az alábbiak olvashatók le:

- minél inkább balra (azaz a negatív tartományban) és lejjebb helyezkedik el a mért felület textúrájának Rsk-Rku paraméterpárosa, annál kedvezőbbek a működés közben megfigyelhető tulajdonságai, hiszen az észlelt profilon a völgyek (Rv) a meghatározóak, miközben az egyenetlenségek nagy kiemelkedéseket nem tartalmazva a profil „platószerű” részletekből áll,
- minél jobbra és feljebb van az Rsk-Rku koordináta-rendszerben ábrázolt pont, várhatóan annál kedvezőtlenebbek a felület működésbeli tulajdonságai, azaz a profil nem kellően telített és a profilt döntően a kiemelkedések jellemzik,
- az egyes eljárásváltozatok (marás, köszörülés, vízugaras vágás, szikraforgácsolás stb.) szerfelett

különböző tartományokba eső értékeket produkálnak. A különböző megmunkálások vonatkozásában már mi magunk is sok koherens vizsgálati eredménnyel rendelkezünk, amelyet – terjedelmi okok miatt – itt nem ismertethetünk.

Az esztergálás különböző fokozataival az f=0,2...1,2 mm előtolástartományban készített felületek topológiai térképét a 13. ábra mutatja be. A nagyolás és simítás előtolási értékeit is tartalmazó diagramról a következő sajátosságok olvashatók le:

- a kis előtolásoknál a nagyolást negatív ferdeségi értékek jellemzik, ezért a megmunkált felületi textúra jó teherviselő képességű (lásd 10/a. ábra). Az egyre növekvő előtolásoknál az esztergált profil jellege megváltozik, a platószerű részek helyett hegyes csúcsokból álló, kedvezőtlen profilok jelennek meg,



13. ábra: A „B” szerszámmal végzett esztergálás topológiai térképe

- ugyanazon szerszámmal végzett kis előtolású simításkor még negatív ferdeségű, de hegyes profilokat mérhetünk. Bár növelt előtolásokon már pozitív Rsk értékeket regisztráltunk, azonban a profilok egyre inkább a normális eloszláshoz (Rku=3) közelítenek,
- az esztergálás iránya (a szerszámélek szerepének felcserélődése), valamint a nagyolási és simítási előtolási értékek beállítása miatt a „B” szerszámmal esztergált felületek profiljai között kimutatható különbségek vannak, ezért a topológiai térkép alkalmas eszköz lehet ezen különbségek feltárására, elemzésére és tudatos használatára.

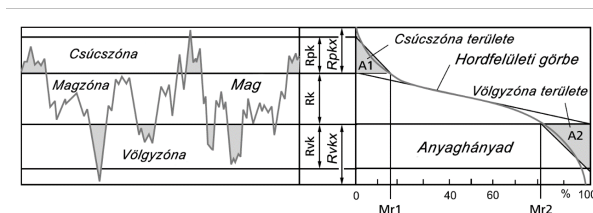
Az ISO 13565 szabvány tartalmazza a *hordfelületi görbe* jellemzőit (14. ábra), amelynek alakja és szokásos paraméterei szintén a napi használatból és a felület jövőbeni viselkedésével áll kapcsolatban. Az Abbott-Firestone görbe (14/a. ábra) három szakaszból tevődik össze. A 0% (maga a felület felszíne), illetve 100% (érdességet már nem tartalmazó anyagréz) között a különböző magasságirányú metszések csúcs-, mag-, és völgyzónára osztják az AFC-diagramot.

Az AFC-görbe egyenletes hordképességű szakaszát magzónának nevezzük, ami a megmunkált (pl. esztergált) felület tartós (kopási) viselkedéséért felelős. Jellemző paramétere a zóna magassága (R_k), amelyet a magzóna legkisebb meredekségű szakaszának két, egymástól 40%-nyi távolságban lévő pontja határoz meg. Megjegyezzük, hogy a 14/a. ábrán az A1 terület a bejáródás során lekopó érdességsúcspontokat jellemzi, míg az A2 rész a völgyek üres, kenőanyag befogadásra alkalmas tartományát jelöli ki.

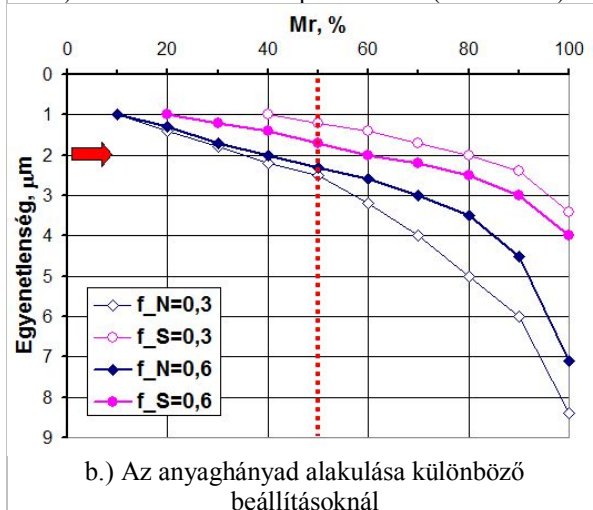
Ugyanazt a lapkát felhasználva például $f=0,3$ mm és $f=0,6$ mm előtolásoknál, a hordfelület jellege lényegesen eltérő nagyoláskor vagy simításkor. A „B” szerszámmal esztergált felületek hordfelületi jellegzetességeit a 14/b. ábra szemlélteti.

A kapott diagram elemzésekor a következő megállapítások tehetők:

- a legkedvezőbb eloszlást természetesen a simítási üzemmódban dolgozó lapka produkálja: a felülettől mérve $2\ \mu\text{m}$ „mélységben” $f=0,3$ mm előtolásnál 80% az anyaghányad, de az arány még 60% akkor is, ha a simítást $f=0,6$ mm beállításával végezzük. Megjegyezzük, hogy egy hagyományos kialakítású lapkánál az utóbbi érték már nem nevezhető simításnak,
- nagyoláskor ($f=0,3$ és $0,6$ mm) a hordfelületi arány lecsökken 35-40%-ra,
- diagramba bejelölt 50%-os anyaghányad – az alkalmazott előtolások és forgácsolási üzemmódok függvényében – $1,5\dots 2,5\ \mu\text{m}$ egyenetlenségnél érhető el.



a.) AFC értelmezése és paraméterei (ISO 13565)



b.) Az anyaghányad alakulása különböző beállításoknál

14. ábra: A „B” szerszámmal végzett esztergálás hordfelületi jellege

Az elvégzett kísérletek szerint a hordozóhossz és a relatív anyaghányad alakulása alkalmas eszköz lehet a „B” szerszámmal esztergált felületek közötti különbségek feltárására, elemzésére és tudatos használatára.

4 ÖSSZEFOGLALÁS

A jelentős innovációval fejlesztett és/vagy új elveken működő szerszámok csak akkor terjedhetnek el igazán, ha a piacra kerülésüket számos ipari kísérleti eredmény támasztja alá. Különösen igaz ez a forradalmian új „B” szerszámra, amelynek alkalmazhatóságával kapcsolatban korlátozott a felhasználók számára rendelkezésre álló ismeretanyag és tapasztalat. Jelen cikkben azokat a sajátosságokat elemeztük, amelyek a kétféle (balra vagy jobbra) előtolási irányban kétfajta (nagyolás vagy simítás) üzemmódu, többirányú hosszesztergálás felületképzését jellemzik.

Mérésekkel kimutattuk, hogy (a sajátos szerszámgeometria révén) a nagyolási, illetve simítási fokozatban az élek szerepe felcserélődik, ennek pedig nem csak az egyedi forgácsleválasztás a következménye, de az esztergálás közben fellépő erőhatásokat és a megmunkált felületen kialakuló érdességnomokat is meg kell vizsgálni. Az F_c , F_f és F_p erőösszetevők leírására kétféle hatványfüggvény modellt is alkalmaztunk. Az is kiderült tesztlejónkból, hogy a növelt ($f \geq 0,9$ mm) előtolású nagyolás már jelentős P_c (kW) forgácsolási teljesítményt igényel, továbbá – a szokatlanul kis főélszög miatt – nagy

passzív erőkomponens keletkezik, amely (kedvezőtlen, pl. karcsú munkadarab esetén) hordóssági alakhibát okoz.

Ez a cikk a többparaméteres érdességanalízisre helyezi a hangsúlyt, azt bizonyítva, hogy a „B” szerszámmal esztergált felületeket lehetetlen egyetlen („univerzális”), a vizsgált profil állapotát minden szempontból jellemző mérőszámmal leírni. Ezért egy paraméteregyüttest hoztunk létre, amely egyrészt az általánosan használt jellemzőkre (Ra, Rz, Rp, Rv), másrészt a profil statisztikai paramétereire (Rsk, Rku, RMr) alapozva a felületről jóval részletesebb leírást tud adni.

A technológia biztonságosabb tervezhetősége érdekében létrehoztunk egy-egy közelítő Rz-formulát (3) a nagyoló és simító hosszesztergálási ciklusokra. Az érdességi profil részletes vizsgálatával kimutattuk, hogy néhány könnyen mérhető jellemző arányát (Rz/Ra, Rp/Rz és Rp/Rv) kiemelve nem csak a profil jelenlegi állapotát lehet minősíteni, hanem következtetni lehet a jövőbeni viselkedésére (pl. kopására) is.

Több paramétersort is felölelő vizsgálataink kiterjedtek az Rsk és Rku statisztikai jellemzőkre. Közzöltük a „B” szerszámmal nagyoló és simító körülmények között az esztergálás topológiai térképét, megállapítva azt a tényt, hogy egészen más felületi struktúrát képes ugyanaz a lapka előállítani bal, illetve jobb irányú előtolás esetén. A tartós üzemi („jövőbeni”) viselkedést a hordozóhossz aránnyal jellemeztük és megállapítottuk az újszerű esztergálási technológia kedvező felületképzését.

A továbbiakban olyan vizsgálatok végrehajtását tervezzük, amelyek a már megismert „B” szerszám viselkedését fogja feltárni a munkadarabanyagok szélesebb körében, beleértve a nehezen forgácsolható és HRSA-anyagokat is. Részletesen fogjuk tesztelni ezen kívül – a szintén PrimeTurning kategóriába tartozó – „A” (elsősorban simításra fejlesztett) szerszámot is.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] V. Rácz, G. Farkas, S. Sipos (2018): Chip removal specialities in multi-directional turning
Papers On Technical Science FMTU vol.9., p. 207–210.
<https://doi.org/10.2478/pts-2018-0059>
- [2] New definition of Turning (2017) Coromant-ppt. 2017. slides 28.
- [3] ISO/TS 13399-3 (2007) Cutting tool data representation and exchange
Part 3: Reference dictionary for tool items, Ref. Numb.: ISO/TS 13399-3:2007 (E) pp. 160.
- [4] Sipos, S., Palásti-K., B., Horváth, R. (2015): Forgácsoló technológiák és szerszámjai
Budapest, p. 410. <https://elearning.uni-obuda.hu>
- [5] Farkas, G. (2010): Esztergált műszaki műanyag felületek mikrotopográfiai jellemzői, PhD dolgozat, SZIE, Gödöllő, p. 138.
- [6] Béla Palásti-Kovács, Sándor Sipos, Szabolcs Biró (2014): The Mysteries of the Surface
First Part: The Characteristic Features of the Microgeometry of the Machined Surface *Acta Polytechnica Hungarica*, Vol. 11. No5. p. 5-24. DOI: 10.127000/APH 11.05.2014.05.1
- [7] B. Palásti-Kovács, S. Sipos, Á. Czifra (2012): Interpretation of „Rz=4×Ra” and other roughness parameters in the evaluation of machined surfaces 13th International Conference on Tools (ICT-2012) 27-28. March 2012, Miskolc (Hungary), p. 237-244. ISBN 978-963-9988-35-4
- [8] I. Szalóki, S. Sipos, Zs. J. Viharos (2016): Aluminum-Based MMC Machining with Carbide Cutting Tool
Precision Machining VIII, p. 149-154. Trans Tech Publications, Switzerland,
doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.686.149
- [9] Horváth R., Sipos S. (2011) Topológiai térképek alumíniumötvözet finomesztergálásához
Obuda University e-Bulletin Vol2 No1., p 355-363.