

# MAXIMÁLIS ÉRDESSÉG VIZSGÁLATA ROTÁCIÓS ELŐTOLÁSÚ ESZTERGÁLÁSSAL MEGMUNKÁLT KÜLSŐ HENGERES FELÜLETEN

Sztankovics István<sup>1</sup>, Kundrák János<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD hallgató, <sup>2</sup>tanszékvezető egyetemi tanár;

<sup>1,2</sup>Miskolci Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék; 3515 Miskolc, Egyetemváros

e-mail: <sup>1</sup>[istvan.sztankovics@uni-miskolc.hu](mailto:istvan.sztankovics@uni-miskolc.hu), <sup>2</sup>[janos.kundrak@uni-miskolc.hu](mailto:janos.kundrak@uni-miskolc.hu)

## Összefoglalás

Az esztergálással létrehozott felületek topográfiája a forgácsolószerszámok élgeometriája és a forgácsleválasztáskor alkalmazott mozgásvizonyok miatt eltérő. A cikkben a rotációs esztergálással forgácsolt felület érdességi jellemzői közül az elméleti maximális érdesség meghatározásának módját ismertetjük. A korábban kidolgozott matematikai modell alapján meghatározzuk a maximális érdesség értékét. Ehhez a megmunkált felület alapsíkbeli egyenlete mellett meghatározzuk az eredő axiális előtolást is. Végül megvizsgáltuk az elméleti egyenlet alapján az egyes technológiai adatok (munkadarab és szerszám fordulatszám, él emelkedési szöge, szerszámsugár) hatását a felület érdességére.

**Kulcsszavak:** elméleti felületi érdesség, rotációs esztergálás, maximális érdesség

## Abstract

The topography of the surfaces machined by various turning methods is different due to the cutting edge geometry of the cutting tools and the applied relative kinematic relations between the workpiece and the tool during the cutting. In this article we describe the method of the definition of the theoretical maximal roughness (one of the machined surface parameters). We describe the equation of the maximal surface roughness with the earlier described mathematical model. Thereunto we define the resultant axial feed along with the equation of the machined surface in the main reference plane. Finally we examine the effects of the technological parameters (angular frequency of the workpiece and the tool, inclination angle, tool radius) on the surface roughness with the determined equation.

**Keywords:** theoretical surface roughness, rotational turning, maximal roughness

## 1. Bevezetés

Befejező precíziós megmunkáláskor többféle eljárással hozhatjuk létre (állíthatjuk elő) az előírt érdességi követelményeknek megfelelő felületeket, alkatrészeket. A vizsgálatok ugyanakkor azt mutatják [1], hogy a keménymegmunkálással létrehozott felületek számos kedvező tulajdonsága (mikrokeménység, feszültségi állapot, stb.) mellett, nagyon fontos, hogy a működési feltételeknek megfelelő topográfia kerüljön kialakításra.

A keményesztergált felület, amelyet előállításának nagy termelékenysége és a megmunkáláskor létrejövő felület kopásállósága miatt egyre szélesebb körben alkalmaznak, több esetben nem tud megfelelni a működési követelményeknek a kialakuló periodikus

topográfia miatt [2]. Ezen topográfia megváltoztatásának egyik lehetősége más kinematikájú esztergálással vagy köszörüléssel [3] megmunkálni a felületet.

Az esztergált felületek létrehozására mutat néhány, hagyományostól eltérő lehetőséget az 1. táblázat. A táblázat első oszlopában az eljárás megnevezése látható, mely kifejezi az előtolás irányát is. A második oszlopban az egyes eljárásokon belül értelmezhető eljárásváltozatok láthatóak. A harmadik oszlopban az adott eljárásváltozat rövid jelölése. A többi oszlopokban a jellemző kinematikai sajátosságok láthatóak, melyek a következők:

- $n_s$  – szerszám fordulatszáma,
- $n_m$  – munkadarab fordulatszáma,
- $v_a$  – axiális irányú előtoló sebesség,
- $v_t$  – tangenciális irányú előtoló sebesség,
- $\lambda_s$  – él szerszám-alapsíkkal bezárt szöge (terelőszög).

**1. táblázat.** Néhány, hagyományos esztergálástól eltérő eljárások kinematikai jellemzői

Eljárás	Eljárásváltozat	Jel	$n_s$	$n_m$	$v_t$	$v_a$	$\lambda_s$
Axiális irányú esztergálás	Párhuzamos él	<b>A1</b>	= 0	> 0	= 0	> 0	= 0
	Döntött él	<b>A2</b>					≠ 0
Tangenciális irányú esztergálás	Előtoló sebességre merőleges él	<b>T1</b>	= 0	> 0	> 0	= 0	= 0
	Előtoló sebességre nem merőleges él	<b>T2</b>					≠ 0
Rotációs előtolású esztergálás	Kiegészítő axiális előtolás nélkül	<b>R1</b>	> 0	$n_m \gg n_s$	$v_t = r_s \cdot \omega_s$	> 0	≠ 0
	Kiegészítő axiális irányú előtolással	<b>R2</b>					

Axiális irányú előtolás esetén a szerszám mozgása a munkadarab szimmetriatengelyével párhuzamos. Ennél az eljárásnál a megmunkálás az ISO szabvány szerinti széles késsel történik (egyenes él). Párhuzamos éllel (A1) vagy az él döntésével is (A2) végezhető a megmunkálás. Tangenciális irányú eljárás esetén az előtolás iránya a hengerszerű munkadarab megmunkált felületének érintője. A forgácsoló él lehet erre az érintőre merőleges (T1) és nem merőleges (T2).

A rotációs esztergálás az axiális és a tangenciális előtolású eljárás speciális esete [4]. Ennél az eljárásnál az él geometriailag egy csavarvonalat ír le. Megmunkálás közben a forgácsoló szerszám – melynek szimmetriatengelye párhuzamos a munkadarab szimmetriatengelyével – forgatásával körelőtolást kapunk [5]. Az él lassú, forgó mozgása közben folyamatosan lép az anyagba, majd a szimmetriasík elérésével állandósul a forgácskeresztmetszet ( $r_s$ : csavarvonal burkolóhenger sugara,  $\omega_s$ : szerszám szögsebessége).

Ebben a cikkben a maximális érdesség ( $R_{max}$ ) elméleti értékének meghatározását mutatjuk be rotációs esztergálással megmunkált külső hengeres felületen. Ezen paraméter ismerete lehetővé teszi bizonyos következtetések levonását az átlagos érdesség ( $R_a$ ) értékére. A cél olyan összefüggés meghatározása, melynek segítségével a technológiai paraméterek és a szerszám geometriai tulajdonságainak ismeretében a keresett érdességi mérőszám megadható, valamint az egyes jellemzők változásának a hatása vizsgálható.

## 2. Az elméleti érdesség

A megmunkált felület érdességének meghatározásánál figyelembe kell venni, hogy az elméletileg meghatározható és a valóságban mérhető paraméterek értékei általában különböznek. Azonban a kettő között szoros korreláció figyelhető meg. Ennek az összefüggésnek a meghatározásához szükség van az elméleti érték meghatározására valamint az értékek kísérletek útján történő vizsgálatára.

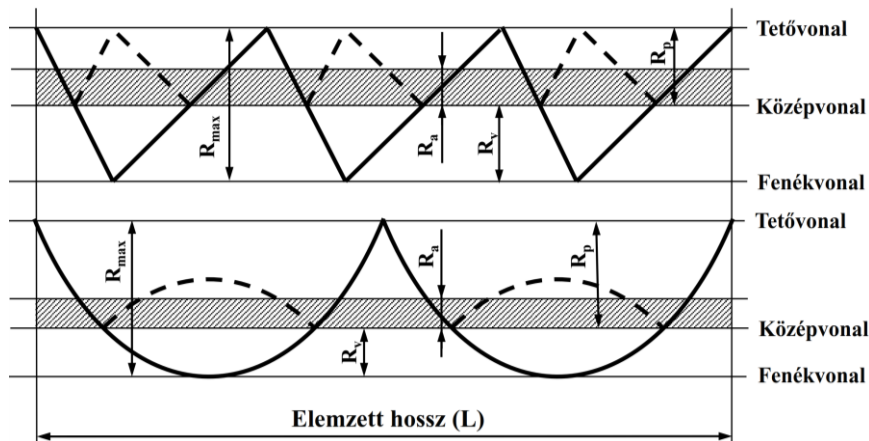
Egy felület jellemzésekor megkülönböztetünk elméleti és valós érdességet. Az elméleti érdességet az alábbi tényezők befolyásolják:

- a forgácsoló él geometriája a szerszám-alapsíkban
  - élék helyzete az előtoláshoz képest (főél-elhelyezési szög ( $\kappa_r$ ), mellékél-elhelyezési szög ( $\kappa_r'$ ))
  - az élcsúcs kialakítása (hegyes, lekerekített, fazettás)
  - a forgácsoló él térbeli helyzete (terelőszög ( $\lambda_s$ ))
- a forgácsolási adatok közül az előtoló sebesség, melyet befolyásol:
  - forgácsoló mozgás jellege és sebességének nagysága
  - mellékmozgás jellege és sebességének nagysága

Az elméleti érdesség meghatározásához szükség van a szerszám élének geometriai leírására. Egyszerűbb kialakítású szerszám esetén az él alapsíkbeli képének kontúrját egyváltozós függvényekkel írhatjuk le [6,7]. Rotációs esztergálás esetén azonban a bonyolult kinematikai viszonyok miatt kétváltozós leírásból kell kiindulnunk. Így juthatunk el a különböző érdességi paraméterek meghatározásához.

A felület érdesség számos paraméterrel jellemezhető [8]. Ezek közül a jellegzetesebb, érdesség magasságot jellemző paraméterek geometriai értelmezése látható az 1. ábrán. Két eset látható az ábrán: hegyes és rádiuszos csúcsú szerszámmal történő megmunkálás.

A profil középvonala az az egyenes, amelynél a profil görbéjének integrálja zérust ad. A legnagyobb csúcs magasságát ( $R_p$ ) és a legmélyebb árok mélységét ( $R_v$ ) a középvonalhoz képest határozzuk meg. Maximális érdességnek ( $R_{max}$ ) nevezzük a legnagyobb érdességi csúcs magasságának és legmélyebb érdességi árok mélységének összegét. Az elemzett hossz átlagos érdességét ( $R_a$ ) a profil abszolút értékeinek integráljával határozhatjuk meg.



1. ábra. Érdességi paraméterek geometriai értelmezése hegyes és rádiuszos csúcs esetén

### 3. A maximális érdesség elméleti értékének meghatározása

A rotációs esztergálás esetén megmunkált felület érdességének meghatározásához célszerű a megmunkálás elvi viszonyai alapján történő matematikai-analitikai módszer alkalmazása. Ilyen leírást kapunk a koordináta-transzformáció alkalmazása esetén.

A koordináta-transzformáció módszerével lehetséges fogaskerekek kapcsolódásának vizsgálata, csiga-csigakerék kapcsolat leírása. Ezeknek a modelleknek a fejlesztése napjainkban is folyamatban van, főleg a gyártásgeometriai alkalmazásnál történő jobb leírás érdekében [9]. Felhasználható továbbá kúpkerék leírására is, így háromdimenziós mérés technikával meghatározható a valós alkatrészek méreteinek eltérése az elméletileg meghatározottól [10].

A rotációs esztergálás esetén célszerű B. A. Perepelica által leírt módszert alkalmazni [11]. Ennek segítségével korábbi kutatómunkánk során meghatároztuk a megmunkált felület matematikai leírására szolgáló összefüggést [12].

A felületnek egy kinematikai-matematikai modell alapján történő leírása három fő lépésből áll: megfelelő koordináta-rendszerek megválasztása; rendszerek közötti kapcsolatot leíró egyenletek meghatározása kinematikai kapcsolat alapján; forgácsolóél egyenletének segítségével megmunkált felület felírása. A megmunkált felület leírásával, valamint a profil ismétlődését meghatározó előtolás megadásával a maximális érdesség meghatározható, az elméleti érdességprofil felrajzolható.

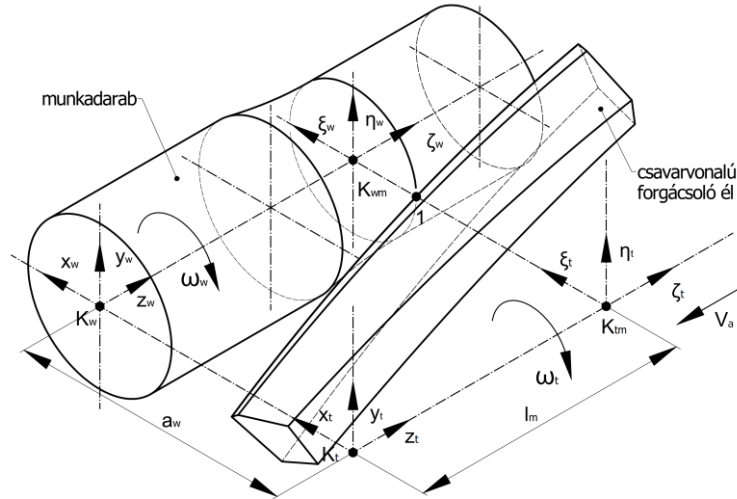
#### 3.1. Megmunkált felület egyenlete rotációs esztergálás esetén

Rotációs esztergálás esetén a munkadarab és a szerszám között értelmezett kinematikai viszonyok, valamint a meghatározott koordináta-rendszerek láthatóak a 2. ábrán [12] csavarvonalú forgácsoló él esetére. A szerszám kiegészítő axiális előtoló sebességét is bejelöltük ( $v_a$ ) az ábrán. Erre a sebességre akkor van szükség, hogyha a szerszám hosszánál nagyobb méretű munkadarabot kell megmunkálni. Ebben az esetben a szerszám forgó mozgása nem elég. Ezért ebben az esetben alkalmazunk kiegészítő axiális irányú előtolást is (ahogy az 1. táblázat R2 jelű eljárásváltozata is mutatja).

A leíráshoz négy koordináta rendszert definiáltunk: álló és mozgó koordináta rendszert a munkadarabhoz és a szerszámhoz kötve. A forgácsoló él egyenlete a szerszám mozgó koordináta-rendszerében kerül megadásra vektoriális alakban. Ezt követően az összegzett transzformációs egyenlet [12] segítségével kifejezhető a munkadarab megmunkált felületének egyenlete. A kifejezést a keresett alakban az (1) egyenlet mutatja.

$$\mathbf{r}_s(\xi_p, \nu) = \begin{bmatrix} r_t \cos[\xi_p + \nu + (\omega_t t - \omega_w t)] - a_w \cos(\nu + \omega_w t) \\ r_t \sin[\xi_p + \nu + (\omega_t t - \omega_w t)] - a_w \sin(\nu - \omega_w t) \\ r_t \cot(\alpha_t) \xi_p - v_a t \end{bmatrix} \quad (1)$$

Az elméleti érdesség meghatározásához ez az egyenlet közvetlenül nem alkalmazható. Az (1) egyenlet kétváltozós függvény, ami a teljes háromdimenziós felületet leírja. A kétdimenziós érdességprofil érdességi jellemzőinek meghatározásához azonban a felület síkmetszetére van szükség.



2. ábra. Rotációs esztergálás kinematikai modellje külső hengeres felület esetén

A 2. ábrán és a matematikai leírásban alkalmazott jelölések a következők:

- $K_t$  – szerszám álló koordináta-rendszere
- $K_{tm}$  – szerszám mozgó koordináta-rendszere
- $K_w$  – munkadarab álló koordináta-rendszere
- $K_{wm}$  – munkadarab mozgó koordináta-rendszere
- 1 – főforgácsoló él felületképző pontja
- $\omega_w$  – munkadarab szögsebesség
- $\omega_t$  – szerszám szögsebesség
- $v_a$  – szerszám axiális előtoló sebessége
- $a_w$  – tengelytávolság (munkadarab és szerszám szimmetriatengelye között)
- $l_m$  – álló és mozgó koordináta-rendszerek kiindulási távolsága
- $\alpha_t$  – az él emelkedési szöge az alapsíkhoz képest

Az egydimenziós egyenlethez az (1) egyenletből a megfelelő mellékfeltétel alkalmazásával juthatunk el [12]. Az így meghatározható kifejezés látható a (2) egyenletben, melyben található  $\nu(\zeta)$  paraméter a (3) egyenlet segítségével helyettesíthető be. A (2) egyenlet a megmunkált felületet a szerszám alapsíkjában írja le. Ez a sík a 2. ábrán a  $\zeta_w$  és  $\xi_w$  tengelyek által kifeszített  $[\zeta_w; \xi_w]$  sík. Az egyenletben található  $\zeta$  paraméter a munkadarab szimmetriatengelye szerinti elmozdulást jelöli.

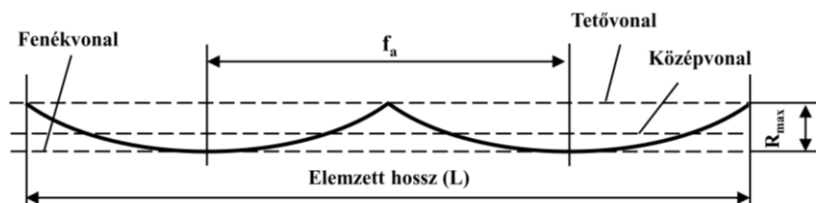
$$\xi(\zeta) = r_t \cos \left[ \frac{\zeta + v_a t}{r_t \cot \alpha_t} + \nu(\zeta) + (\omega_t t - \omega_w t) \right] - a_w \cos(\nu(\zeta) + \omega_w t) \quad (2)$$

$$\nu(\zeta) = \arctan \left[ \frac{r_t \sin \left[ \frac{\zeta + v_a t}{r_t \cot \alpha_t} + (\omega_t t - \omega_w t) \right] + a_w \sin \omega_w t}{r_t \cos \left[ \frac{\zeta + v_a t}{r_t \cot \alpha_t} + (\omega_t t - \omega_w t) \right] - a_w \cos \omega_w t} \right] \quad (3)$$

### 3.2. Az él eredő axiális előtolásának számítása

A megmunkált felület szerszám alapsíkban értelmezhető kétdimenziós egyenletének meghatározását követően felrajzolható rotációs esztergálás esetére az elméleti érdességi profil. Ezt a görbét mutatja a 3. ábra.

Ahhoz, hogy a megmunkálás érdességi paraméterei – így a maximális érdesség is – meghatározhatóak legyenek, ismernünk kell a profil ismétlődését jellemző értéket. Ez az érték hagyományos esztergálás esetén az előtolás ( $f$ ). Ez kifejezi a szerszám elmozdulását a munkadarab egy körülfordulása alatt. Tehát megadja a szerszám munkadarabon képzett lenyomatának ismétlődési távolságát a munkadarab egy alkotóján mérve.



3. ábra. Kinematikai viszonyokból eredő érdességprofil

Rotációs esztergálás esetén az él eredő axiális előtolása két mellékmozgás összegzéséből ered: a körelőtolásból és a kiegészítő axiális irányú előtolásból. Az második komponens számítása ( $f_{va}$ ) nem okoz nehézséget, az előtoló sebesség ( $v_a$ ) ismeretében az ismert módon kifejezhető (mivel  $v_a = f \cdot n_w$ ). Az első komponens esetében figyelembe kell venni a csavarvonal emelkedési szögét is. A körelőtolás tangenciális sebességkomponense a szerszám burkolóhengerét érintő vektorként képzelhető el. Ennek a vektornak és a fent említett szögnek az ismeretében kiszámítható a forgó mozgásból adódó axiális előtolás ( $f_{r,a}$ ). A két komponens összege a 3. ábrán  $f_a$  paraméterrel van jelölve.

$$f_a = f_{r,a} + f_{va} = \frac{v_f}{n_w \tan \alpha_t} + \frac{v_a}{n_w} = 2\pi \frac{\omega_t}{\omega_w} \left[ \frac{r_t}{\tan \alpha_t} + \frac{v_a}{\omega_t} \right] \quad (4)$$

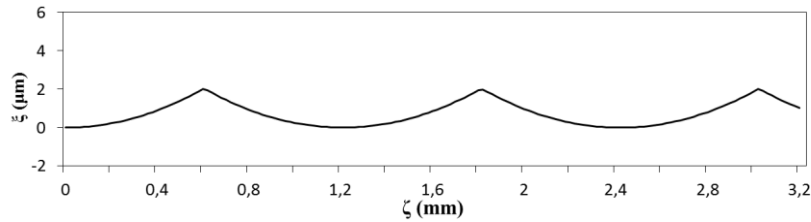
Az egyenletben alkalmazott jelölések a következők:

- $f_a$  – eredő axiális előtolás
- $f_{r,a}$  – a szerszám forgásából és az él emelkedési szögéből eredő előtolás
- $f_{vt}$  – a szerszám axiális irányú mozgásából eredő előtolás
- $v_a$  – a szerszám axiális előtoló sebessége
- $v_f$  – a szerszám kör irányú előtoló sebessége
- $n_w$  – a munkadarab fordulatszáma
- $\omega_t$  – a szerszám szögsebessége
- $\omega_w$  – a munkadarab szögsebessége
- $\alpha_t$  – a szerszám csavarvonalú élének emelkedési szöge
- $r_t$  – a szerszám csavarvonalú élének burkolóhenger-sugara

A (2) és (4) egyenletek segítségével felrajzolható a rotációs esztergálással megmunkált felület profilja a szerszámsíkban nézve. Ennek bemutatására felrajzoltuk a 4. ábrán látható példát kiegészítő előtolás nélküli esetre (R1). Az ábra meghatározásánál a számításokhoz a 2. táblázat paramétereit helyettesítettük be. ( $n_t$ : szerszám fordulatszám,  $n_w$ : munkadarab fordulatszám,  $\alpha_t$ : az él emelkedési szöge,  $r_t$ : szerszám sugár,  $r_w$ : munkadarab sugár,  $v_c$ : forgácsoló sebesség,  $f_a$ : eredő axiális előtolás,  $R_{max}$ : számított maximális érdesség)

2. táblázat. Érdességprofil megrajzolásához alkalmazott technológiai paraméterek (példa)

	$n_t$ [1/min]	$n_w$ [1/min]	$\alpha_t$ [°]	$r_t$ [mm]	$r_w$ [mm]	$v_c$ [m/min]	$f_a$ [mm/]	$R_{max}$ [μm]
Érték	1,00	900	30	100	30	169,64	1,21	2,03



4. ábra. Az egyenlet által meghatározható elméleti érdességprofil (példa)

### 3.3. A maximális érdesség meghatározása

A maximális érdesség kifejezéséhez a (2) egyenletbe kell behelyettesíteni a (4) egyenletben kapott eredő axiális előtölést az (5) egyenlet szerint.

$$R_{max} = \zeta \left( \frac{f_a}{2} \right) \quad (5)$$

A könnyebb átláthatóság miatt definiáljuk a következő arányokat:

$$i_{t,w} = \frac{\omega_t}{\omega_w} \quad ; \quad \varphi_t = \frac{v_t}{\omega_t} \quad (6)$$

- $i$ , a szerszám fordulatszámának ( $\omega_t$ ) és a munkadarab fordulatszámának ( $\omega_w$ ) aránya
- $\varphi_t$ , a szerszám kiegészítő axiális előtölő sebességének ( $v_t$ ) és a szerszám – körirányú előtölő sebességét adó – szögsebességének ( $\omega_t$ ) aránya.

A fentiek segítségével meghatározható az elméleti maximális érdességet számító képlet. Ebből látható, hogy az elméleti maximális érdesség függ a szerszám sugarától, a szerszám fordulatszámától, a szerszám szögsebességétől, a kiegészítő axiális előtölő sebességtől, az él emelkedési szögétől, valamint a munkadarab megmunkált felületének sugarától.

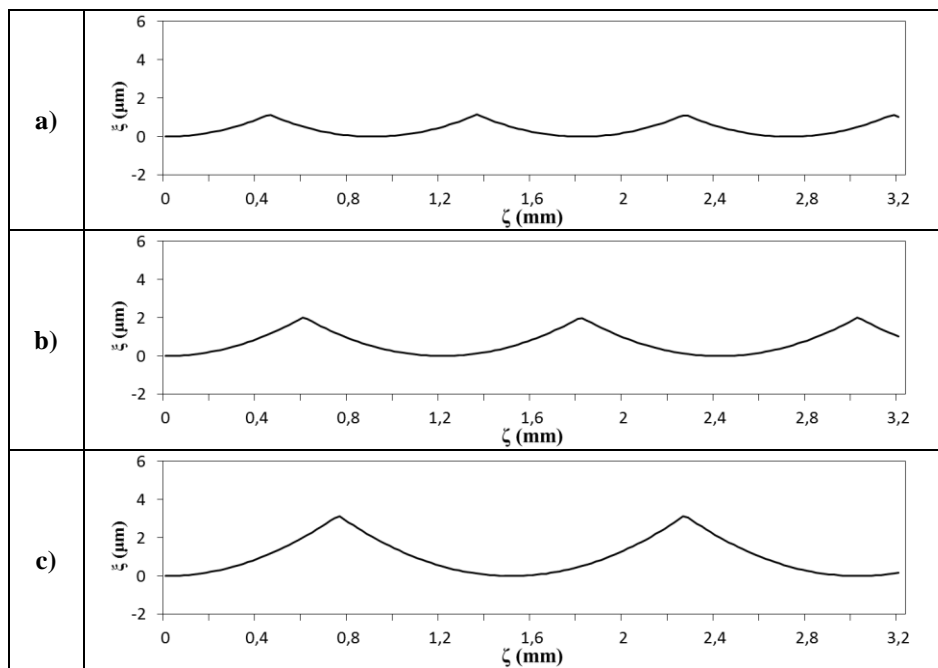
$$R_{max} = r_t \cos \left[ \frac{\pi i_{t,w} [\varphi_t + r_t \cot \alpha_t]}{r_t \cot \alpha_t} + \arctan \left( - \frac{r_t \sin \left[ \frac{\pi i_{s,m} [\varphi_t + r_t \cot \alpha_t]}{r_t \cot \alpha_t} \right]}{r_t \cos \left[ \frac{\pi i_{s,m} [\varphi_t + r_t \cot \alpha_t]}{r_t \cot \alpha_t} \right] - a_w} \right) \right] - a_w \cos \left[ \arctan \left( - \frac{r_t \sin \left[ \frac{\pi i_{s,m} [\varphi_t + r_t \cot \alpha_t]}{r_t \cot \alpha_t} \right]}{r_t \cos \left[ \frac{\pi i_{s,m} [\varphi_t + r_t \cot \alpha_t]}{r_t \cot \alpha_t} \right] - a_w} \right) \right] \quad (7)$$

#### 4. Különböző paraméterek hatása az elméleti érdességi profilra

##### 4.1. A szerszám fordulatszám változtatásának hatása

Az érdességprofil befolyásoló paraméterek közül először a szerszám fordulatszámának változásának hatását vizsgáltuk. A kiindulás esetnek a 4. ábrán felrajzolt profilt választottuk. A szerszám fordulatszámát ehhez képest csökkentettük illetve növeltük 25%-al, így kaptuk rendre az a) és a c) esetet.

Az érdességprofil elemzése látható, hogy mind a profil magasságában, mint a profil ismétlődési távolságában tapasztalhatunk változást. Ennek oka, hogy a szerszám fordulatszámának változásával változik a körelőtölés mértéke és így az axiális irányú előtölés is. Lassabban forgó szerszám esetén tapasztalhatunk finomabb felületet. Ennek oka, hogy a szerszám geometriai kialakítása nem változott, viszont a lassabb/gyorsabb forgás esetén az ismétlődés gyakoribb/ritkább. Ezért a metszéspontok  $\zeta$  értéke is változik. Látható továbbá, hogy az elméleti érdesség értéke a szerszám fordulatszámának 25%-os változásával közel 50%-al változott meg.



5. ábra. A szerszám fordulatszám változásának hatása az érdességprofilra

3. táblázat. Az 5. ábrán látható profilok felrajzolásánál használt paraméterek

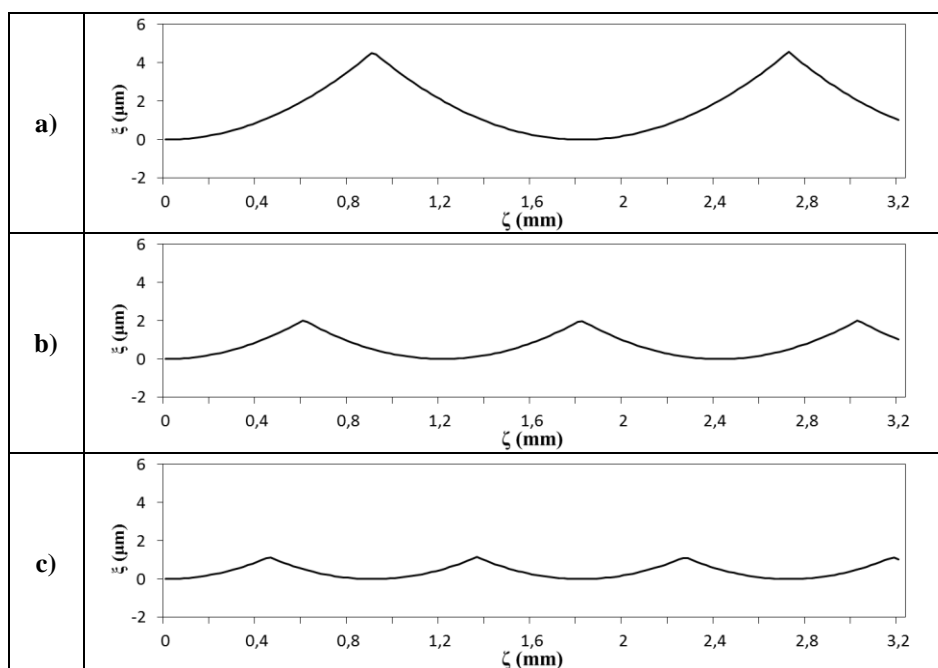
	$n_t$ [1/min]	$n_w$ [1/min]	$\alpha_t$ [°]	$r_t$ [mm]	$r_w$ [mm]	$v_c$ [m/min]	$f_a$ [mm/]	$R_{max}$ [μm]
a) eset	0,75	900	30	100	30	169,64	0,90	1,14
b) eset	1,00						1,21	2,03
c) eset	1,25						1,51	3,17



#### 4.2. A munkadarab fordulatszám változtatásának hatása

A munkadarab fordulatszámának a változása is hatással van az elméleti érdességprofilra és a maximális érdességre. Hagyományos eljárásnál ez nem lenne igaz, mert az előtoló sebesség a fordulatonkénti előtolás kifejezés miatt függ a munkadarab sebességétől. Rotációs esztergálásnál azonban a szerszám előtoló mozgása és a munkadarab forgó főmozgása kinematikailag függetlenek. Ezért a fordulatonkénti előtolás értéke nem konstans a munkadarab fordulatszámának változásával.

A vizsgálathoz a 2. táblázat kiindulási adataihoz képest a munkadarab fordulatszámát változtattuk a többi paraméter változatlanul hagyása mellett. A fordulatszámot csökkentettük, illetve növeltük az eredeti érték egyharmadával, így kaptuk az a) és c) esetet. Az ábrákról és a táblázatból látható, hogy a fordulatszám növelésével megnő a maximális érdesség és az ismétlődési távolság értéke is. Tehát magasabb munkadarab-fordulatszámon (ami magasabb forgácsoló sebességet eredményez) kisebb elméleti érdességű felületet kapunk.



6. ábra. A munkadarab fordulatszám változásának hatása az érdességprofilra

4. táblázat. Az 6. ábrán látható profilok felrajzolásánál használt paraméterek

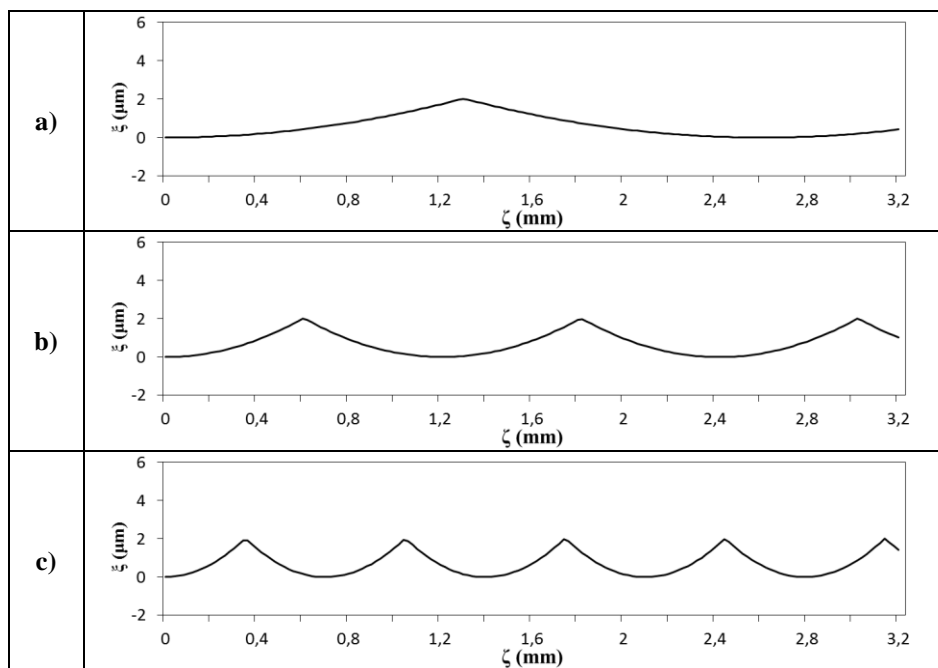
	$n_t$ [1/min]	$n_w$ [1/min]	$\alpha_t$ [°]	$r_t$ [mm]	$r_w$ [mm]	$v_c$ [m/min]	$f_a$ [mm/]	$R_{max}$ [μm]
a) eset	1,00	600	30	100	30	113,09	1,81	4,56
b) eset		900				169,64	1,21	2,03
c) eset		1200				226,19	0,90	1,14

### 4.3. A forgácsoló él emelkedési szög változtatásának hatása

Az elméleti érdességet befolyásoló tényezők sorában az él emelkedési szög változásának vizsgálata következik. Ebben az esetben a 2. táblázat kiindulási értékei közül csak az emelkedési szöget változtattuk a többi paraméter változatlanul hagyásával. A kiindulási értéket 50%-al csökkentettük illetve növeltük, így kaptuk rendre az a) és a c) esetet.

Megfigyelhető, hogy az érdesség maximális értéke változatlan maradt. Ugyanakkor a terelőszög csökkentésével a profil alakja nyúltabbá válik. Minél inkább közeledik az  $\alpha_t = 0$  esethez, annál inkább nyúltabbá válik. Ez összhangban van az 1. táblázatban felírtakkal. Ugyanis ebben az esetben a csavarvonalú él egyenes vonalúvá válna (végtelen kicsi emelkedéssel), vagyis a széles esztergakéssel való megmunkálás esetét kapnánk.

A maximális érdesség értéke azért nem változott, mert az emelkedési szög változtatásával változik a (4) egyenletben számítható axiális előtolás értéke is. Ez okozza, hogy az érdességprofil elnyúl a munkadarab szimmetriatengelyének irányába. Az 5. táblázatról leolvasható, hogy az egyes esetekben az előtolásváltozás mértéke közel 50%.



7. ábra. A forgácsoló él emelkedési szögének változásának hatása az érdességprofilra

5. táblázat. Az 7. ábrán látható profilok felrajzolásánál használt paraméterek

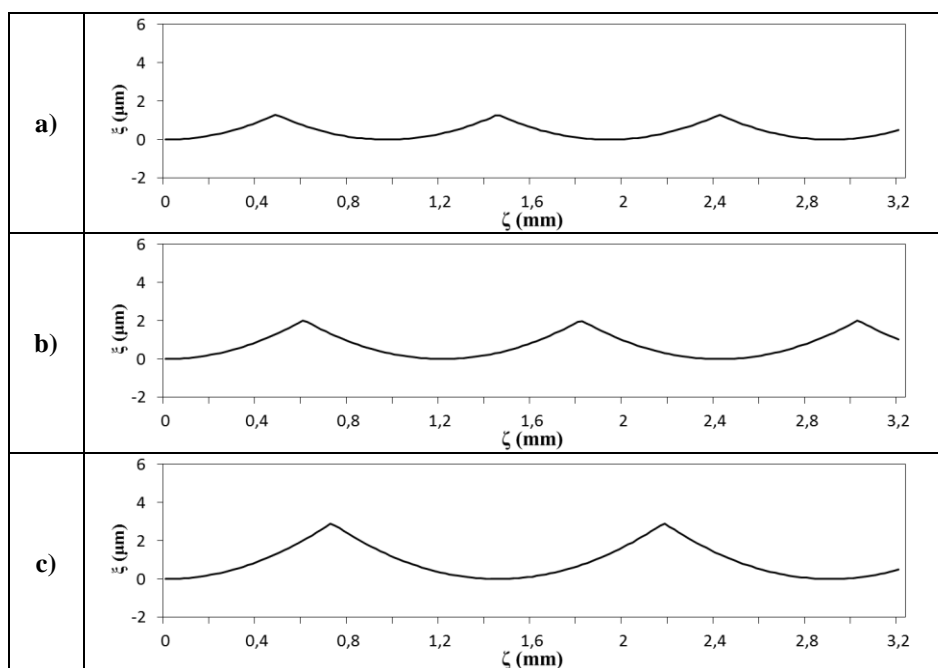
	$n_t$ [1/min]	$n_w$ [1/min]	$\alpha_t$ [°]	$r_t$ [mm]	$r_w$ [mm]	$v_c$ [m/min]	$f_a$ [mm/]	$R_{max}$ [μm]
a) eset	1,00	900	15	100	30	169,64	2,60	2,03
b) eset			30				1,21	2,03
c) eset			45				0,69	2,03

#### 4.4. A szerszámsugár változtatásának hatása

Az érdességprofil befolyásoló paraméterek közül ebben a cikkben utolsóként a szerszámsugár változásának hatását vizsgáljuk. A sugár változtatásával a csavarvonal alakú él burkolóhengerének sugara változik meg. A 4. ábrán bemutatott esethez képest a szerszámsugarat 20%-al csökkentettük illetve növeltük, így kaptuk az a) és a c) esetet.

Megfigyelhető, hogy az eddigi három esetből kettőnél tapasztaltakhoz hasonlóan, változik az elméleti érdességprofil maximális értéke és a profil ismétlődésének távolsága is. Ennek oka, hogy a szerszám burkolóhengerének változásával változik az él érintkező hossza a változatlan emelkedési szög miatt. Ugyanakkor a szerszám fordulatszámát is változtatlanul hagytuk, ezért a forgó él kerületi sebessége megnő növekvő szerszámsugár esetén. E miatt a körelőtolás értéke is nagyobb lesz, amelynek következtében az eredő axiális előtolás is nő.

A leírt két hatás következtében tapasztalható az érdességprofilban változás. A maximális érdesség értéke a sugár 20%-os változtatásával közel 40%-al változik.



8. ábra. A szerszámsugár változásának hatása az érdességprofilra

6. táblázat. Az 8. ábrán látható profilok felrajzolásánál használt paraméterek

	$n_t$ [1/min]	$n_w$ [1/min]	$\alpha_t$ [°]	$r_t$ [mm]	$r_w$ [mm]	$v_c$ [m/min]	$f_a$ [mm/]	$R_{max}$ [μm]
a) eset	1,00	900	30	80	30	169,64	0,96	1,29
b) eset				100			1,21	2,03
c) eset				120			1,45	2,92

## 5. Összefoglalás

A felületi érdesség meghatározására kialakult számos módszer közül a rotációs esztergálás esetére a matematikai-analitikai módszert találtuk megfelelőnek. Értelmeztük az alkalmazott él forgácsolási zónában megadható eredő axiális előtolását. A megmunkált felület szerszám-alapsíkbeli egyenletének definiálásával és az eredő előtolás felírásával meghatároztuk az elméleti maximális érdesség képletét. Ezzel a leírásmóddal lehetséges az elméleti értékek meghatározása, így előkészítettük a megmunkált felület érdességének kísérletekkel történő vizsgálatát. Bemutattuk az egyes paraméterek hatását az elméleti maximális érdességre. Megállapítottuk, hogy az elméleti profilt jelentősen befolyásolja a szerszám és a munkadarab fordulatszáma, a forgácsoló él emelkedési szöge és a szerszám burkolóhenger-sugara.

## 6. Köszönetnyilvánítás

A tanulmány/kutató munka a TÁMOP-4.2.2.B-10/1-2010-0008 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

A kutatásokat az Országos Tudományos Kutatási Alapítvány (OTKA) is támogatta. A megbízás száma: OTKA K-78482. A szerzők mindkét támogatásért köszönetet mondanak.

## 7. Irodalom

- [1] Bartarya G, Choudhury S K: *State of the art in hard turning*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 53, 2012, pp. 1-14
- [2] Kundrák J, Karpuschewski B, Gyáni K, Bana V: *Accuracy of hard turning*, Journal of Material Processing Technology 202(1-3), 2008, pp. 328-338
- [3] Karpuschewski B, Knoche H-J, Hipke M: *Gear finishing by abrasive processes*, CIRP Annals 57, 2008, pp. 621-640
- [4] J. G. Weisser: *Patent Anmeldung*, St. Georgen, Swarzwald, Deutschland, 2004
- [5] Sztankovics I: *Rotational Turning in Precision Finishing*, Hungarian Journal of Industrial Chemistry Vol. 39/2, 2011, pp. 309-312
- [6] Felhő Cs: *Determination of theoretical roughness in turning of conical surfaces*, in XXIV. microCAD International Scientific Conference 2010, Miskolc, pp. 51-56
- [7] Maros Zs, Felhő Cs: *Investigation of surface roughness in diamond turning of an aluminium alloy*, XXVI. microCAD International Scientific Conference. Miskolc, Magyarország, 2012., Paper L16. (ISBN:978-963-661-773-8)
- [8] Shaw M C: *Metal Cutting Principles*, Oxford University P, New York, 2005, 651 p.
- [9] Óváriné Balajti Zs: *Kinematikai hajtópárok gyártásgeometriájának fejlesztése*, Ph.D. értekezés, Miskolci Egyetem, Magyarország, 2007
- [10] Faluvégi E: *Cercetări privind metodele de măsurare a parametrilor geometrici ai roților dințate (Research on methods of measuring geometric parameters of the gears)*, Ph.D. dissertation, Transilvania University of Brasov, Romania, 2012
- [11] Perepelica B A: *Osznovü teoriji proektyirovaniya rézsusih i.*, Kharkiv, 1974, 55 p.
- [12] Sztankovics I, Kundrák J: *Mathematical description of machining external cylindrical surface in case of rotational turning*, Cutting & Tool in Technological System VOL 82, 2012, Kharkiv NTU, ISSN 2078-7405, pp.: 264-269