

# A FORGÁCSOLÓ ERŐ VÁLTOZÁSA AZ ELŐTOLÁS FÜGGVÉNYÉBEN ROTÁCIÓS ESZTERGÁLÁSNÁL

## CUTTING FORCE ALTERATION IN FUNCTION OF THE FEED IN ROTATIONAL TURNING

Sztankovics István, Kundrák János

### ÖSSZEFOGLALÁS

Olyan eljárás kísérleti vizsgálatát mutatjuk be munkánkban, ahol (a bekezdési és a kifutási szakaszon kívül) állandó forgácskeresztmetszettel és körelőtolással végezzük a forgácsoló megmunkálást. Ezen kinematika hatására a forgácsleválasztás jellemzői megváltoznak a hosszelőtolásos esztergáláshoz képest. Ebben a cikkben az előtolás hatását vizsgáljuk a forgácsoló erő komponenseinek értékére és arányára.

### ABSTRACT

The experimental study of a machining procedure is shown in our work, where the cutting is done by circular feed with constant cross-sectional chip thickness (besides of the run-in and run-out phase). Due to the special kinematics of the procedure, the characteristics of the chip removal is changing relative to traditional turning. In this paper we study the effect of the feed on the values and rate of the cutting force components.

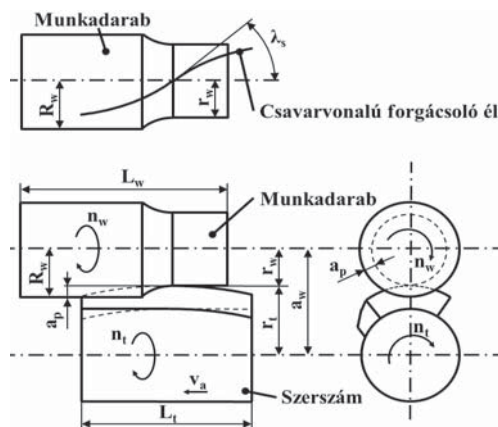
### 1. BEVEZETÉS

Az alkalmazott mozgásviszonyok és az azoknál dolgozó forgácsoló szerszámok élgeometriája jelentősen megváltoztatják a forgácsoló erő eredőjének és összetevőinek nagyságát és arányát adott munkadarab-szerszám párosításnál. Az általunk vizsgált eljárásnál a munkadarab forgó mozgása mellett a szerszám körelőtolással dolgozik [1]. Elvileg két jellemző eset lehetséges: ha egyélű szerszámmal végezzük, akkor rotációs esztergálásnak [2], ha többélű szerszámmal, akkor körmarásnak nevezhetjük [3]. A rotációs esztergálás geometriai és kinematikai viszonyait az 1. ábra mutatja ( $v_a$ : kiegészítő axiális előtolás;  $\omega_t$ : szerszám szögsebesség;  $\omega_w$ : munkadarab szögsebesség;  $r_t$ : csavarvonalú él sugara;  $r_w$ : megmunkált felület sugara;  $\lambda_s$ : terelőszög;  $R_w$ : megmunkálandó felület sugara;  $a_p$ : fogás-mélység;  $a_w$ : szimmetria tengelyek távolsága). Az élek számán túl jellemzően a munkadarab-szerszám közötti sebességviszony különbözik,

mert az előbbinél a szerszám forgómozgása az előtoló sebességnek, míg az utóbbinál a forgácsolósebességnek felel meg.

Az utóbbi időben a termelékenységek növelésének leginkább kutatott területe az előtolás növelés [4,5], mivel a forgácsoló sebességben rejlő lehetőségeket a nagysebességű megmunkálásokkal már többé-kevésbé kihasználták. Az előtolás növelésekor egyik vizsgálati terület az állandó forgácskeresztmetszet mellett a forgácsleválasztás jellemzők változásának elemzése. Karpuschewski et al a homlokmarás kutatásában megállapították, hogy az előtolás növelésekor a forgácsarány megváltozása a forgácsolóerőt csökkenti [4]. Kundrák et al kutatásukban a forgácskeresztmetszet alakját vizsgálva megállapította, hogy azonos forgácskeresztmetszet mellett az anyagleválasztási ráta növelhető, mert a szükséges teljesítmény csökken [6]. Utsumi et al megállapították, hogy körmarás esetén a szerszám munkadarabhoz viszonyított szöghelyzete jelentősen befolyásolja a forgácsoló erőket [7].

Kísérleteink célja az eltérő feltételekkel végzett esztergálásnál (rotációs- és hosszesztergálás) ébredő erők nagyságának és arányának vizsgálata. Ezért a hagyományos élkialakítású szerszám mellett kétféle terelőszögű csavarvonalú mentén elhelyezkedő élű szerszámmal végezzük el a kísérleteket.

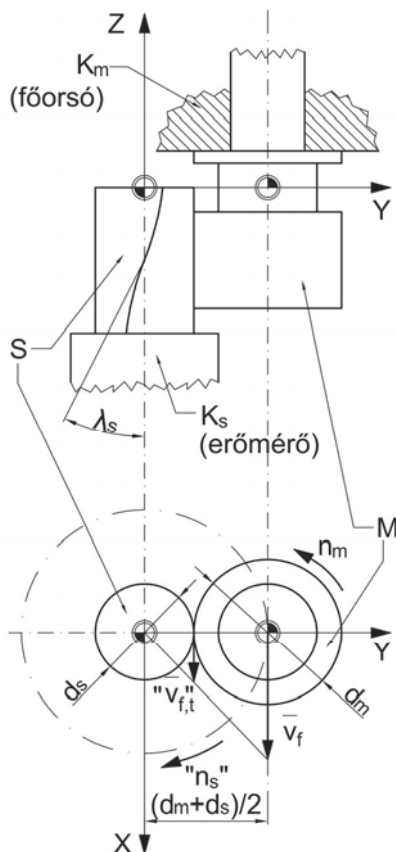


1. ábra. A rotációs esztergálás kinematikai és geometriai viszonyai

## 2. KÍSÉRLETI FELTÉTELEK

A forgácsolási kísérletek célja rotációs esztergálással végzett forgácsleválasztásnál a forgácsoló erő mérése és vizsgálata volt. A kísérlet kinematikai elrendezését mutatja az 2. ábra, melyen az alkalmazott jelölések:

- M – munkadarab, kísérleti próbadarab
- S – forgácsoló szerszám
- X,Y – a mozgás síkjának irányai
- Z – S szimmetriatengelyének iránya
- $K_m$  – főorsón található befogókészülék
- $K_s$  – szerszám befogó készülék
- $\lambda_s$  – szerszámterelőszög
- $d_s$  – szerszámátmérő
- $d_m$  – munkadarabátmérő
- $n_m$  – munkadarab fordulatszáma
- „ $n_s$ ” – szerszám látszólagos fordulatszáma
- $v_f$  – munkadarab előtoló sebessége
- $v_{f,t}$  – a szerszám látszólagos tangenciális előtoló sebessége



2. ábra. A szerszám és a munkadarab egymáshoz viszonyított helyzete és mozgásai

Az eljárást jellemző mozgásviszonyokat a kísérletek során egy Perfect-Jet MCV-M8 típusú megmunkáló központon valósítottuk meg. A kísérleti próbadarabot a marógép főorsójába fogva biztosítottuk a munkadarabnak

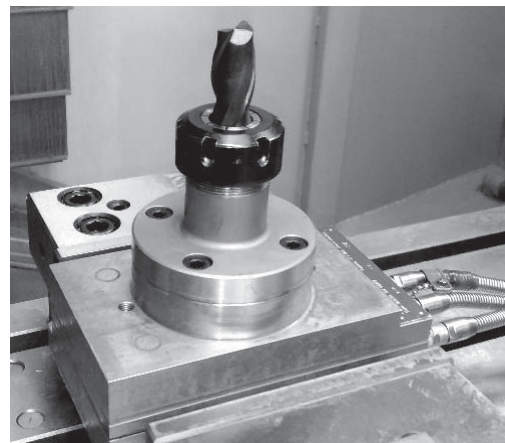
az esztergálás jellemző fordulatszámát ( $n_m$ ). A forgácsoló szerszámot a gépasztalhoz rögzített erőmérő (Kistler 9257A) egységbe fogtuk be E32 önközpontosító patronos befogó segítségével (3. ábra). A szerszám gépasztallal együtt végzett körinterpolációs mozgása ( $v_f$ ) biztosította a megmunkáláshoz szükséges körelőtolást („ $n_s$ ”).

Megmunkálandó munkadarabnak 12 mm hosszú hengeres felülettel rendelkező, Ø40 Nemesített C45 acélt választottunk.

Rotációs forgácsoló szerszámként egy 30°-os és egy 45°-os terelőszöggel rendelkező szerszámot választottunk. Az első típusa Fraisa P5300682, továbbiakban jelölése „A” szerszám; a második típusa Sandvik Coromant 1P341-1600-XB 1630, későbbiekben „B”-vel jelölve. A mért értékek összehasonlításához hagyományos esztergakésnek egy CNMG 120412-PM lapkát DCLNL 2525 M 12 szárba szerelve választottunk. A kísérleteket 200m/min forgácsoló sebességen, 0,1 mm fogásmélységgel és szerszámonként hat féle előtolással végeztük el (1. táblázat).

1. táblázat. Kísérleti feltételek

Munkadarab:					
Ø40 Nemesített C45					
Szerszám:					
$\lambda_s = 30^\circ$ (A)	$\lambda_s = 45^\circ$ (B)	CNMG (C)			
Forgácsoló sebesség ( $v_c$ ):					
200 m/min					
Fogásmélység ( $a_p$ ):					
0,1 mm					
Előtolás (f) [mm]:					
0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0



3. ábra. A forgácsoló szerszám befogása az erőmérő platformra

### 3. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK

Az erőmérő rendszer az egyes beállításoknál 1000 Hz mintavételezési frekvencián rögzítette az adott időpillanatban ébredő X, Y és Z irányú erőkomponenseket (2. ábra). A mért értékek valamint a munkadarab-szerszám pillanatnyi helyzetének ismeretében kiszámoltuk a szerszámhoz kötött koordináta-rendszerben a tangenciális (főforgácsoló,  $F_c$ ), radiális (passzív,  $F_p$ ) és axiális (előtolásirányú,  $F_f$ ) erőket. A 18 beállításnál az egyes erőkomponensek maximális értékeit meghatároztuk, melyek a 2. táblázatban láthatók.

2. táblázat. A főforgácsoló-, a passzív- és az előtolásirányú erő maximumai

S	f [mm]	$F_c$ [N]	$F_p$ [N]	$F_f$ [N]
A	0,1	51,63	33,17	13,52
	0,2	82,50	49,97	21,28
	0,4	136,49	74,83	38,62
	0,6	180,23	96,29	53,15
	0,8	204,30	102,17	59,51
	1,0	276,17	145,16	83,93
B	0,1	56,06	36,39	21,67
	0,2	78,80	48,84	30,93
	0,4	130,43	72,18	53,53
	0,6	182,38	90,86	74,96
	0,8	228,27	107,26	96,36
	1,0	268,85	127,34	114,84
C	0,1	55,56	73,60	11,61
	0,2	82,13	93,60	8,25
	0,4	130,09	130,82	17,84
	0,6	178,06	171,80	24,29
	0,8	230,90	212,16	25,01
	1,0	280,72	251,97	27,69

### 4. KIÉRTÉKELÉS

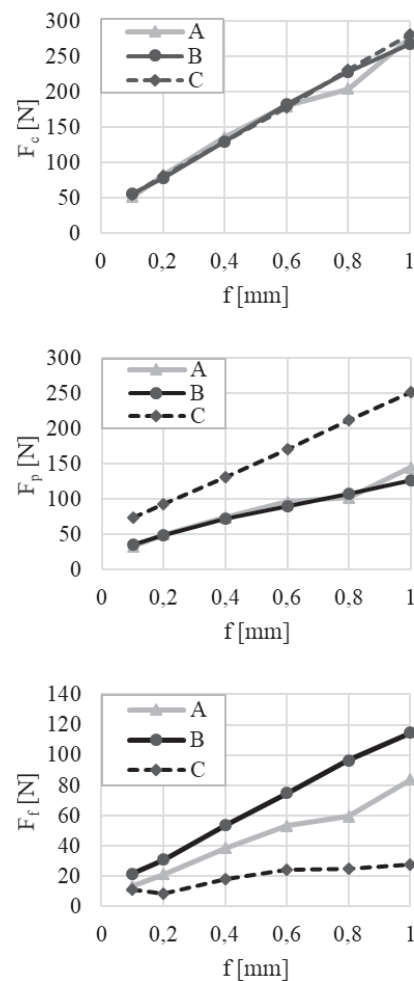
A három erőkomponens változását az előtolás függvényében mutatjuk be a 4. ábrán.

A főforgácsoló erőt ( $F_c$ ) vizsgálva megállapíthatjuk, hogy mindhárom szerszámnál közel azonos értékeket kaptunk. A különböző előtolásoknál végzett kísérletek azt mutatják, hogy az előtolás növelés mértékétől kisebb arányban nő ez az erőkomponens (az előtolás kétszeresére növelésekor ~1,6-szeresére nő a főforgácsoló erő).

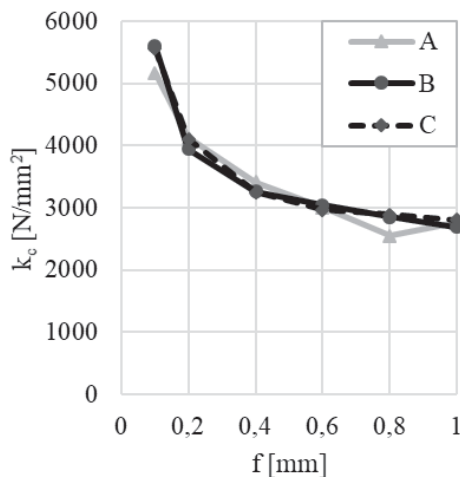
A passzív irányú erő ( $F_p$ ) esetében rotációs esztergálásnál közel azonos értékeket kaptunk az egyes előtolásokon. Az A és B szerszámoknál az előtolás kétszeresére növelésénél az  $F_p$  erő ~1,4-szeresére nő. Továbbá megállapítjuk, hogy a körelőtolású eljárásnál a passzív erő 45-57 %-a lesz a hagyományos hosszsztergálásnál mért értékeknek. További

elemzéseink során megállapíthatjuk, hogy változatlan  $F_p$  erő mellett rotációs esztergálás esetén 4-szer akkora előtolás állítható be a hagyományos esztergáláshoz képest, illetve változatlan előtolás mellett fele akkora passzív erővel számolhatunk a rotációs esztergálásra áttéréskor. A passzív erő nagyságának kiemelt jelentősége van, mivel jelentősen befolyásolhatja a gyártott alkatrészek pontosságát.

A 4. ábra utolsó diagramján az előtolásirányú erő ( $F_f$ ) változása látható. Rotációs esztergálás esetén a terelőszög változása alapján megállapítjuk, hogy a 30°-os szerszámnál mért értékek közel 30 %-al kisebbek lesznek a 45°-ú szerszámnál mértekhez képest. Az előtolás kétszeresére az A és B szerszámok esetében is közel 1,7-szeres növekedést eredményez az  $F_f$  erőben. A hagyományos esztergálásnál mértük a legkisebb erőket: a C szerszámhoz képest az A szerszám esetében közel kétszerese, míg a B szerszámánál közel háromszorosa lesz az előtolás irányú erő azonos előtoláson.



4. ábra. Főforgácsoló-, passzív- és előtolásirányú erő az előtolás függvényében



5. ábra. A fajlagos főforgácsolóerő ( $k_c$ ) az előtolás függvényében

Az egyes erőkomponenseket különböző szerszámokkal és előtolásokkal vizsgálva láthattuk, hogy az előtolás növelése mindhárom esetben kisebb mértékű növekedést okozott. Ennek oka, hogy bár az előtolással a forgácsvastagság és így a forgácskeresztmetszet nőtt, azonban a forgácsvastagság növekedésével a fajlagos forgácsolóerő csökken. Ez látható az 5. ábrán is, ahol a fajlagos főforgácsolóerőt ábrázoltuk az előtolás függvényében.

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az elvégzett kísérletekben az előtolás hatását vizsgáltuk a forgácsolóerőre különböző esztergáló eljárások esetén. Két, különböző terelőszögű rotációs esztergaszerszámmal és egy hagyományos esztergakéssel hatféle előtolással hajtottuk végre a kísérleteket. A szerszámra ható erőket kiszámolva a következőket állapítottuk meg. A főforgácsolóerő közel azonos a rotációs és a hagyományos esztergálás esetén. Ugyanakkor a passzív erő jelentősen kisebb rotációs eljárásnál (közel fele), az előtolásirányú erő esetében nagyobb értékeket kaptuk (2-4-szeres növekedés) a hagyományos esztergáláshoz képest. Eszerint ugyanakkora forgácsolási teljesítményszükséglet mellett kisebb lesz a munkadarabot szerszámtól eltolni igyekvő erő, viszont nagyobb lesz a szerszámtartót tengelyirányban terhelő erő. Vagyis rotációs esztergálás alkalmazásakor a munkadarab kihajlásától függő hibák csökkenésére lehet számítani, hiszen a megmunkáló rendszer kihajlása várhatóan kisebb lesz. A szerszámtartó méretezésekor figyelembe kell venni a megváltozott irányú terhelést.

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚMKP-19-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának szakmai támogatásával készült.

A publikációban ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

## 7. IRODALOM

[1] J.G. Weisser Söhne GmbH & Co: Szabadalmi bejelentés, St.Georgen, Németország, 2004

[2] Klocke F, Bergs T, Degen F: Presentation of a novel cutting technology for precision machining of hardened, rotationally symmetric parts. Production Engineering, Vol. 7, Issue 2-3, pp. 177-184, 2013

[3] Schulz H, Kneisel T: Turn-Milling of Hardened Steel - an Alternative to Turning. CIRP Annals, Volume 43, Issue 1, pp. 93-96, 1994

[4] Karpuschewski, B, Kundrák, J, Emmer, T, Borysenko, D: A new strategy in face milling - inverse cutting technology. Solid State Phenomena, 261, pp. 331-338, 2017

[5] Hirose, T: Efficient cutting using coated solid endmill - high speed and high feed cutting using solid endmill of (Ti,Al)N coatings. JSAE Review, Volume 16, Issue 3, p 324, 1995,

[6] Kundrák, J., Gyáni, K., Felho, C., Deszpoth, I.: The effect of the shape of chip cross section on cutting force and roughness when increasing feed in face milling. Manufacturing Technology 17(3), pp. 335-342, 2017

[7] Utsumi K, Shichiri S, Sasahara H: Determining the effect of tool posture on cutting force in a turn milling process using an analytical prediction model. International Journal of Machine Tools and Manufacture, In press, 2019