

## A FORGÁCSOLÓERŐ VIZSGÁLATA KORRÓZIÓÁLLÓ ACÉL HOMLOKMARÁSÁNÁL

**Makkai Tamás**

tanársegéd, Miskolci Egyetem, Gyártástudományi Intézet  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [tamas.makkai@uni-miskolc.hu](mailto:tamas.makkai@uni-miskolc.hu)

### **Absztrakt**

*Állandó fogásmélység és állandó fordulatszám (forgácsoló sebesség) mellett ötféle fogankénti előtolást alkalmazva vizsgáltam az előtolás hatását a forgácsolóerőkre korrózióálló acél homlokmarásakor. A forgácsolóerő és a fajlagos forgácsolóerő változása azt mutatta, hogy mind nagyságában, mind az erőösszetevők változásának arányában jelentős az eltérés a különböző előtolás értékek mellett. Bizonyítottam, hogy korrózióálló acél esetében is a nagyobb előtolások alkalmazása energetikailag előnyösebb.*

**Kulcsszavak:** homlokmarás, forgácsolóerő, fajlagos forgácsolóerő, korrózióálló acél

### **Abstract**

*At constant depth of cut and constant spindle speed (cutting speed), the effect of the feed on cutting forces was investigated when face milling of stainless steel. The change in cutting force and specific cutting force showed a significant difference in both size and proportion of force component change at different feed rates. It has also been shown that the use of higher feed rates is also energetically advantageous in stainless steel.*

**Keywords:** face milling, cutting force, specific cutting force, stainless steel

### **1. Bevezetés**

Az ausztenites korrózióálló acélokat a kisebb mechanikai, egyúttal fokozottabb korróziós igénybevételnek kitett területeken alkalmazzák. Ezt az anyagcsoportot számottevően kisebb folyáshatár és lényegesen nagyobb szakadási nyúlás jellemzi, szemben a ferrites szerkezetűekkel. Kiváló korrózióval szembeni ellenállásuk és nagy alakváltozó-képességük mellett további előnyös tulajdonságuk, hogy ausztenites szerkezetüknek köszönhetően kis hőmérsékleteken sem ridegednek el. Nagy szívósságukat nemcsak szobahőmérsékleten, hanem alatta is megtartják, így a nagyon kis hőmérsékleten üzemelő kriogén berendezések (levegőbontók, vegyipari rendszerek) üzemi hőmérsékletén jól alkalmazhatók. A legtöbb szilárd, folyékony és gáz halmazállapotú, korrozív anyaggal szemben ellenálló, kedvező mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek, melegen és hidegen kiválóan alakíthatók [1]. Ezek a jellemzők nélkülözhetlenné teszik alkalmazását a vegyipari gépgyártásban, a tengeri hajógyártásban, az élelmiszeriparban, az egészségügyben, a gyógyszergyártásban és a járműipar számos területén. További előnyük, hogy felületükön az esztétikus megjelenés megvalósítható, amit gyakorlatilag korlátlan ideig megőriznek. Emiatt a közszükségleti és háztartási cikkek gyártásában, valamint az építőiparban is előszeretettel alkalmazzák.

Számos alkalmazási területük és a nagymérvű felhasználásuk indokolja megmunkálásuknak, forgácsoló megmunkálásuknak a kutatását. A gépipari alkatrészek felületeinek jelentős hányadát teszik ki a

síkfelületek, melyeknek jellemző forgácsoló megmunkáló eljárása a homlokmarás. Sok kutató foglalkozik a korrózióálló acélok homlokmarásának vizsgálatával. A szakirodalomban megtalálhatók a forgácsolóerőkre, felületi érdességre vonatkozó kutatások mellett a szerszám kopását, a hűtés alkalmazásának hatását és a sorjaképződést elemző tanulmányok, valamint a homlokmarás jellemzőinek optimalizálásával foglalkozó cikkek.

Li és társai [2] bemutatták a homlokmarásnál fellépő forgácsolóerők elméleti modellezésének és szimulációjának új megközelítését. Mindezt egy prediktív megmunkálási elméletre építették, mely a maró működését számos egyélű forgácsoló szerszám egyidejű munkájaként fogja fel. A modellben a munkadarab anyagi tulajdonságait az alakváltozás, az alakváltozási sebesség és a hőmérséklet függvényében veszik figyelembe. A marófogak fogáshoz viszonyított arányát is figyelembe veszik a forgácsolási zóna hőmérsékletének meghatározásakor. A forgácsterhelés modellezése tartalmazza a lapka ütését. A szerszám és a munkadarab rázkódása miatt a közöttük létrejövő relatív elmozdulást szintén beépítették a modellezésbe, hogy figyelembe vegyék a deformálatlan forgácsvastagságra gyakorolt hatást. A modell felhasználásával kifejlesztettek egy forgácsolóerő szimulációs rendszert, majd a szimulációs rendszer ellenőrzéséhez kísérleti tesztvizsgálatokat végeztek, mely szerint a szimulációs eredmények jól egyeztek a kísérleti eredményekkel.

Chang [3] korrózióálló anyag homlokmarásánál a forgácsolóerőt, a keményfém szerszám hőmérsékletét és a forgácsképződés mechanizmusát vizsgálta. Összehasonlította a kísérleti és az elméletileg meghatározott erő értékeket. A kísérleti eredményeket felhasználta a mechanikai modell empirikus állandóinak becslésére. A mért és az előrejelzett erő értékek jó egyezést mutattak.

Hernández-González és társai [4] az ausztenites AISI 304 rozsdamentes acél homlokmarását vizsgálták, keményfém szerszámot alkalmaztak hűtés nélkül. A vizsgálat az előtolás és a forgácsoló sebesség felületi érdességre és keménységre gyakorolt hatására terjedt ki. Megállapították, hogy a megmunkálás során csökkent a munkadarab keménysége, a kisebb felületi érdesség értékeket nagyobb forgácsolási sebességeknél és kisebb előtolásnál tapasztalták.

Korkut és Donertas [5] AISI 1020 és AISI 1040 korrózióálló acél munkadarabok homlokmarásánál mérték a forgácsolóerőket. Kiértékelték a forgács keresztmetszetétől és a forgácsolási sebességtől függően a forgácsolóerőket és a felületi érdességeket mindkét munkadarab esetében, a forgácsoló szerszámokat pedig mikroszkóp segítségével megvizsgálták. Megállapították, hogy egy bizonyos forgácsolási paraméter tartományon belül a növekvő forgácsoló sebesség növelte a forgácsolóerőket, míg kisebb és közepes forgácsoló sebességnél a szerszámon az élrátét kialakulási hajlama megnőtt.

Malghan és társai [6] az ausztenites AISI 316 acél homlokmarásánál a főorsó fordulatszámának és a környezetbarát hűtési stratégiának a hatását vizsgálták, keményfém lapkás marófejet alkalmaztak. A vizsgálatokat három különböző hűtési módszerrel végezték: száraz, nedves és kriogén ( $LN_2$ ). Három különböző forgácsolási sebességet állítottak be, azaz a fordulatszám 1000, 2000 és 3000 fordulat/perc volt, azonban az előtolási sebességet és a fogásmélységet konstans 450 mm/perc-nek és 1 mm-nek vették fel. Az  $LN_2$  technika hűtési hatásainak teljes körű vizsgálata nagy jelentőséggel bír megmunkálhatóság szempontjából, például a forgácsolóerő, a lapka kopása, a felület érdessége és a forgácsolási hőmérséklet tekintetében. Igazolták az  $LN_2$  alkalmazásának ésszerűségét és megvalósíthatóságát a száraz és a nedves megmunkálási módszertannal szembe állítva.

Luejanda és Jirapattarasilp [7] megvizsgálták, hogy a homlokmarás paraméterei milyen hatással vannak a felületi érdességre az AISI 304 rozsdamentes acél esetében. A kísérletet három tényezőre alkalmazták és a forgácsoló sebesség, a fogásmélység és az előtolási sebesség három szintjéből álltak.

A kísérletben keményfém lapkás homlokmarót használtak, megmérték az átlagos felületi érdességet (Ra). A kísérlet eredményeit ANOVA szoftver felhasználásával elemezték.

Pimenov és társai [8] leírták, hogy a forgácsolóerő összetevőinek értékei jelentősen változhatnak a homlokmarónak a munkadarabhoz viszonyított helyzetétől függően, így eltérő hatással lehetnek a marási folyamat során felhasznált teljesítményre. Lehetőség van a homlokmaró és a munkadarab olyan relatív helyzetének megválasztására, amely a homlokmarással kapott felületi érdesség legkisebb értékét biztosítja. Bemutatták, hogy a homlokmaró relatív helyzete (a munkadarab és a maró kinematikája alapján) milyen hatást gyakorol a forgácsolóerők összetevőire, valamint a felületi érdességre. Gyakorlati ajánlásokat adtak a homlokmaró relatív helyzetének a munkadarab és a maró kinematikához való hozzárendelésére.

Razfar és társai [9] megoldást adtak az optimális forgácsolási paraméterek meghatározására annak érdekében, hogy az X20Cr13 rozsdamentes acél homlokmarásánál minimális felületi érdességet hozzanak létre. Kísérleti adatok alapján megalkottak egy prediktív modellt az érdesség megadására, mely részecskeraj optimalizálási [particle swarm optimization (PSO)] alapú neurális hálózat felhasználásával készült. Az optimalizálási problémát ezután egy PSO-alapú neurális hálózat (PSONNOS) segítségével oldották meg. Jó egyezést lehet megfigyelni a becsült felületi érdesség és a becsült optimális gépbeállításokkal végzett kísérleti mérések során kapott értékek között. A PSONNOS-t összehasonlították a genetikai algoritmussal optimalizált neurális hálózati rendszerrel (GONNS).

Lin [10] ismertette a rozsdamentes acél homlokmarásának új optimalizálási technikáját, melyet Taguchi módszere alapján alkotott meg. Három forgácsolási paramétert, a forgácsoló sebességet, az előtolást és a fogásmélységet optimalizálta, figyelembe véve olyan összetett működési jellemzőket, mint a leválasztott anyagmennyiség, a felületi érdesség és a sorja magassága. Megadta az optimális forgácsolási paramétereket és a súlyozási tényezőt, amelyek jelentősen befolyásolják az összetett teljesítményjellemzőket. Kísérleti eredményekkel is szemléltette a módszerének a hatékonyságát.

Silva és társai [11] leírták, hogy a sorja kialakulását a megmunkálási folyamatokban a gyártás egyik fő problémájának tekintik. Ezért meg kell vizsgálni a sorja méretét annak meghatározása érdekében, hogy eltávolíthatók-e teljes mértékben, vagy legalábbis minimalizálhatók. A marás olyan megmunkálási művelet, amelyben a sorjának jelentősége van, a szakaszos forgácsleválasztás frekvenciája miatt. Vizsgálataikban PH 13-8 Mo rozsdamentes acélt homlokmaráltak bevonatos keményfém lapkával. Elemezték, hogy a sorja magasságát hogyan befolyásolja a felhasznált hűtési módszer, a szerszám geometriája és a radiális fogásmélység. Megmérték a munkadarab szélén kialakult kilépő sorja magasságát. Megállapították, hogy a sorja magasságát jelentős mértékben befolyásolja a forgácsolószerszám geometriája és a radiális fogásmélység, de a hűtési mód hatása nem jelentős.

Singh és társai [12] a szerszám kopását és a megmunkálás közbeni hűtését tanulmányozták rozsdamentes acél (AISI 304) homlokmarása során. A rossz hővezetőképesség miatt hűtő-kenő folyadékot szokás alkalmazni a hő eltávolítására és a kenés biztosítására a megmunkálási zónában, de ennek minimálisra csökkentése javasolt több megfontolásból. A nanoréteg minimális mennyiségű kenése (NMQL) hatékony alternatívája az elárasztott hűtésnek. Tanulmányukban az NMQL teljesítményét értékelték a szerszám kopása és a felület érdessége szempontjából. A forgácsolási paramétereket úgy optimalizálták, hogy minimalizálják a szerszám kopását és a felület érdességét, valamint a validáló tesztet száraz, elárasztott és tiszta minimális mennyiségű kenési (MQL) körülmények között is elvégezték, hogy összehasonlítsák azok teljesítményét az NMQL megmunkálással. A szerszámok kopásának vizsgálata alapján azt tapasztalták, hogy az NMQL megmunkálás során kevesebb tapadási és kopásjel található a szerszám oldalsó felületén, mint a száraz és az elárasztott viszonyok esetén.

Korábbi publikációkban bemutattuk C45 acél homlokmarásánál az előtolásnak és a forgácsoló sebességnek a forgácsolóerő összetevőire gyakorolt hatását mind a munkadarab, mind a szerszám koordináta rendszerében értelmezve [13]. Elemeztük a különféle alakú forgács keresztmetszetek és az előtolás hatását a forgácsolóerő komponensekre, valamint a megmunkált felület érdességére [14]. Megvizsgáltuk a forgácsolóerő változását különböző forgácsoló sebességeknél, állandó és változó forgács keresztmetszet esetben is [15].

Az irodalmi áttekintés a vizsgálatok sokoldalúságát mutatja, de a többségük közös jellemzője a forgácsleválasztás hatékonyságát (termelékenységet) befolyásoló forgácsolási adatok vizsgálata. A termelékenységet az előtolás, illetve a forgácsoló sebesség növelésével lehet növelni. Mi az előtolás [16, 17] hatását elemezzük, hisz növelése jelentősen megváltoztathatja az anyagleválasztás feltételeit, ezáltal változik a forgácsolóerők nagysága, a megmunkált felület érdessége. Ebben a cikkben a gépiparban egy általánosan felhasznált korrózióálló anyagminőséget (1.4301 – KO33) vizsgáltam.

## 2. Kísérleti feltételek

A kísérletek az alábbi feltételek mellett lettek elvégezve:

**Szerszámgép:** Perfect Jet MCV-M8 (H) függőleges megmunkáló központ

**Szerszám:** Sandvik R215.44-15T308M-WL GC4030 bevonatos keményfém lapka

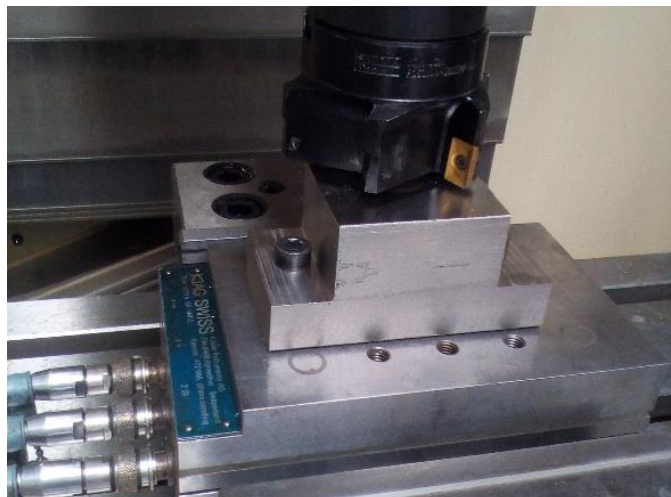
$\kappa_r=90^\circ$ ;  $\gamma_o=0^\circ$ ;  $\alpha_o=11^\circ$ ;  $r_e=0,8$  mm

**Marófej:** Sandvik R252.44-080027-15M típusú homlokmaró fej,  $D=80$  mm (1. ábra)

**Munkadarab:** Korrózióálló acél 1.4301 (KO33), a forgácsolt felület mérete 58 x 50 mm

**Forgácsolási adatok:** forgácsoló sebesség:  $v_c=200$  m/min  
 főorsó fordulatszám:  $n_s=795,77$  1/min  
 fogásszélesség:  $b_w=58$  mm  
 fogásmélység:  $a_p=0,4$  mm  
 fogankénti előtolás:  $f_z=0,1-1,6$  mm/fog

A kísérletek során a munkadarabot egy Kistler gyártmányú 9257A típusú három komponensű dinamométerre fogtam fel (1. ábra).



1. ábra. A marófej és a munkadarab az erőmérővel

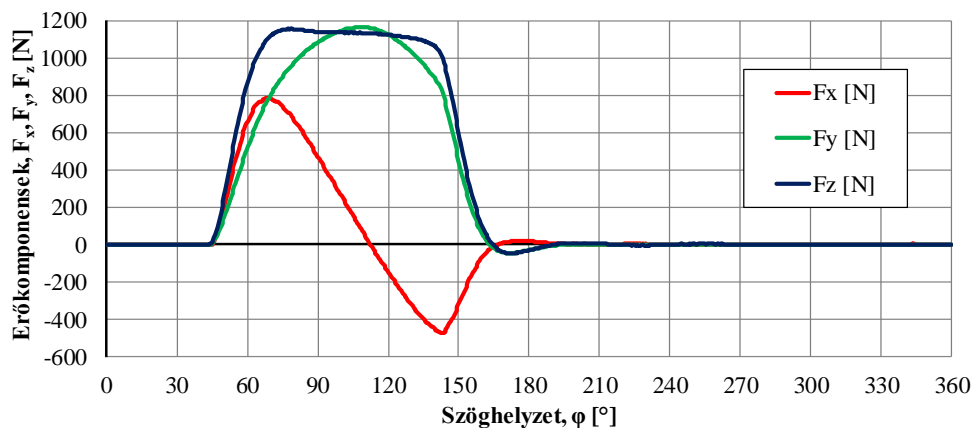
A marófejbe egy darab keményfém lapkát szereltem be, hogy a forgácsolás során a forgácsolóerő összetevőinek a változását egy forgácsolóél esetében könnyebben tudjam követni. A dinamométerhez csatlakozott az erőmérő/adatfeldolgozó rendszer többi eleme (2. ábra): 3 darab Kistler 5011A töltés-erősítő, egy National Instruments által gyártott 4 csatornás CompactDAQ-9171 adatgyűjtő és egy laptop, melyen egy LabView programozási nyelven készített mérőszoftvert használtam. A leírt konfigurációval folyamatos erőmérést végeztem 10 kHz mintavételi frekvenciával a teljes megmunkálás során, rögzítettem az  $F_x$ ,  $F_y$  és  $F_z$  komponensek értékeit.



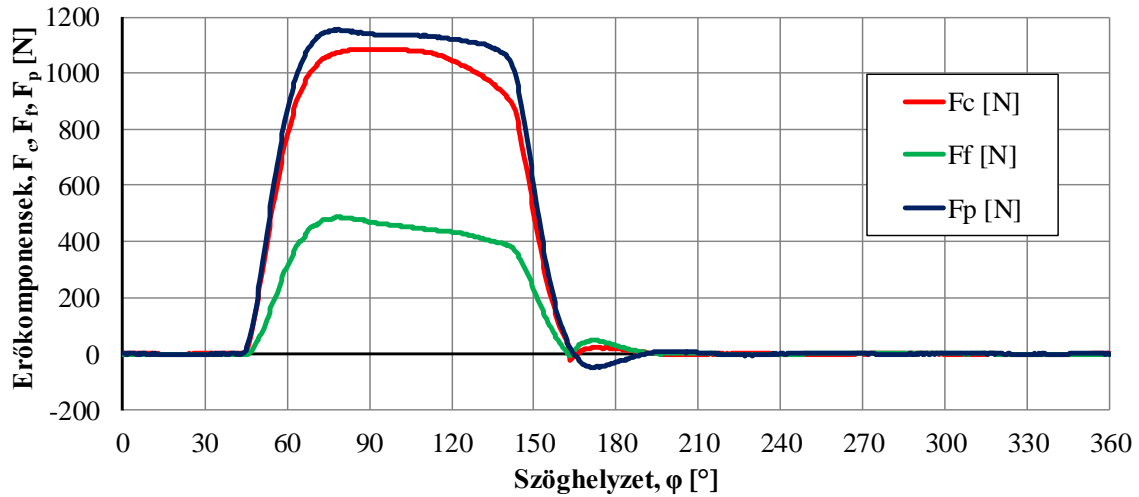
2. ábra. Az adatfeldolgozó rendszer

### 3. Kísérleti eredmények

Állandó fogásmélységet és állandó forgácsoló sebességet alkalmazva a fogankénti előtolás értékeit 0,1-0,2-0,4-0,8-1,6 mm/fog-ra állítottam be. Példaként az  $f_z=1,6$  mm/fog előtolásnál mért  $F_x$ ,  $F_y$  és  $F_z$  értékek változását mutatom be a szerszám egy fordulata alatt a 3. ábrán.



3. ábra. Az  $F_x$ ,  $F_y$  és  $F_z$  mért erőkomponensek a szerszám szöghelyzetének függvényében (A szerszám egy fordulata alatt.)

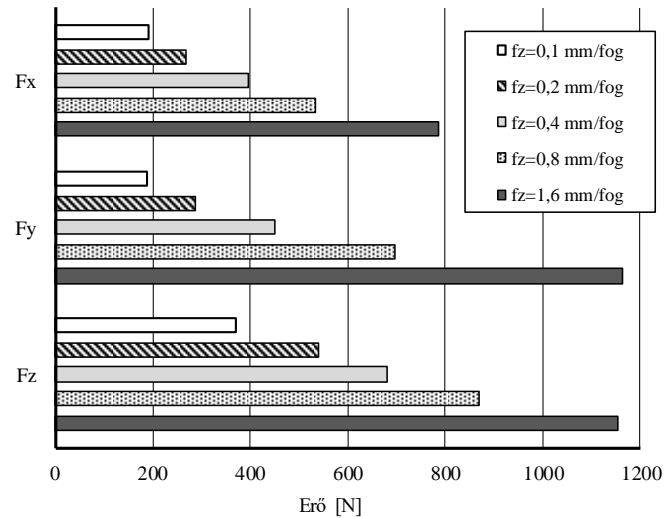


**4. ábra.** Az  $F_c$ ,  $F_f$  és  $F_p$  számított erőkomponensek a szerszám szöghelyzetének függvényében (A szerszám egy fordulata alatt.)

A munkadarabhoz kötött álló koordináta rendszerben értelmezett, mért  $F_x$ ,  $F_y$  és  $F_z$  erőkomponensek felhasználásával számítással meghatároztam a szerszámhoz kötött forgó koordináta rendszerben értelmezett  $F_c$ ,  $F_f$  és  $F_p$  erőkomponensek értékeit. Ez utóbbiakból készített diagramot szemlélteti a 4. ábra. A 3. és a 4. ábra diagramjain az egyes erőkomponensek görbéinek lefutása megfelel a C45-nél tapasztaltaknak [13, 15]. Az 1. táblázatban összefoglaltam a mért és a számított erőkomponensek maximális értékeit a kísérleteknél alkalmazott öt előtolásra vonatkozóan. Az 5. ábra az  $F_x$ ,  $F_y$  és  $F_z$  erőkomponensek maximális értékeit mutatja az egyes előtolásokra vonatkozóan. A 6. ábra az  $F_c$ ,  $F_f$  és  $F_p$  erőkomponensek maximális értékeit szemlélteti az egyes előtolások szerint.

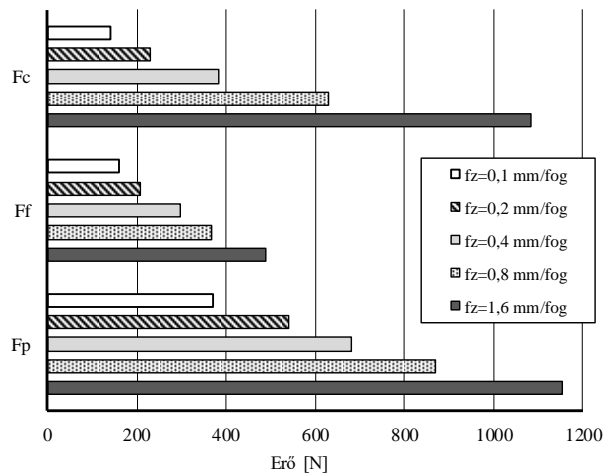
**1. táblázat.** A mért és a számított erőkomponensek maximális értékeinek összefoglalása

$f_z$ [mm/fog]	$F_x$ [N]	$F_y$ [N]	$F_z$ [N]	$F_c$ [N]	$F_f$ [N]	$F_p$ [N]
0,1	193	188	372	141	159	372
0,2	267	288	541	230	208	541
0,4	397	451	681	383	298	681
0,8	534	697	870	630	369	870
1,6	787	1163	1154	1084	488	1154



**5. ábra.** Az  $F_x$ ,  $F_y$  és  $F_z$  mért erőkomponensek maximális értékeinek változása a fogankénti előtolás függvényében

Az egyes erőkomponenseket vizsgálva megállapítottam, hogy azok értéke az előtolás növekedésével szignifikánsan nő. A megmunkálógép szánrendszerét terhelő x, y és z irányú erőkomponenseknél azt tapasztaltam, hogy az egyes előtolások esetében az  $F_z$  erőkomponens értéke egyértelműen a legnagyobb.



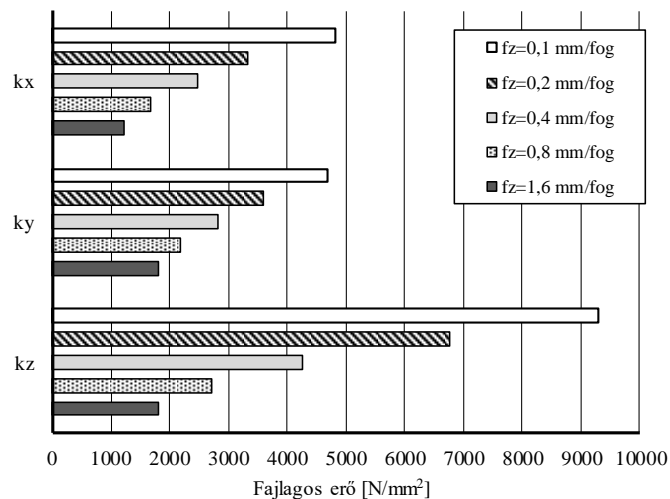
**6. ábra.** Az  $F_c$ ,  $F_f$  és  $F_p$  számított erőkomponensek maximális értékeinek változása a fogankénti előtolás függvényében

A két kisebb előtolás esetében az  $F_x$  és az  $F_y$  közel azonos, a többi esetben pedig az  $F_y$  nagyobb az  $F_x$ -nél. A szerszámot, és ezáltal a megmunkáló gép főorsóját terhelő erőkomponensek esetében jól látható, hogy az egyes előtolások esetében az  $F_p$  erőkomponens értéke egyértelműen a legnagyobb, a két kisebb előtolás esetében az  $F_c$  és az  $F_f$  közel azonos, a többi esetben pedig az  $F_c$  nagyobb az  $F_f$ -nél. A legnagyobb és a legkisebb előtoláshoz tartozó értékek aránya pedig  $F_x \rightarrow 4,1$ ;  $F_y \rightarrow 6,2$ ;  $F_z \rightarrow 3,1$ ;  $F_c \rightarrow 7,7$ ;  $F_f \rightarrow 3,1$ ;  $F_p \rightarrow 3,1$ ; miközben az előtolás 16-szorosára nőtt.

**2. táblázat.** A mért és a számított erőkomponensek maximális fajlagos értékeinek összefoglalása

$f_z$ [mm/fog]	$k_x$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$k_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$k_z$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$k_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$k_f$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$k_p$ [N/mm <sup>2</sup> ]
0,1	4817	4694	9288	3521	3975	9288
0,2	3338	3596	6760	2875	2598	6760
0,4	2479	2821	4257	2391	1864	4257
0,8	1669	2179	2719	1970	1154	2719
1,6	1229	1817	1802	1693	763	1802

A 2. táblázatban összefoglaltam a munkadarab és a szerszám koordináta rendszerében értelmezhető fajlagos erőkomponensek maximális értékeit a kísérleteknél alkalmazott öt előtolásra vonatkozóan. A 7. ábra a  $k_x$ ,  $k_y$  és  $k_z$  fajlagos erőkomponensek maximális értékeit mutatja az egyes előtolásokra vonatkozóan, míg a 8. ábra a  $k_c$ ,  $k_f$  és  $k_p$  fajlagos erőkomponensek maximális értékeit szemlélteti az egyes előtolások szerint.

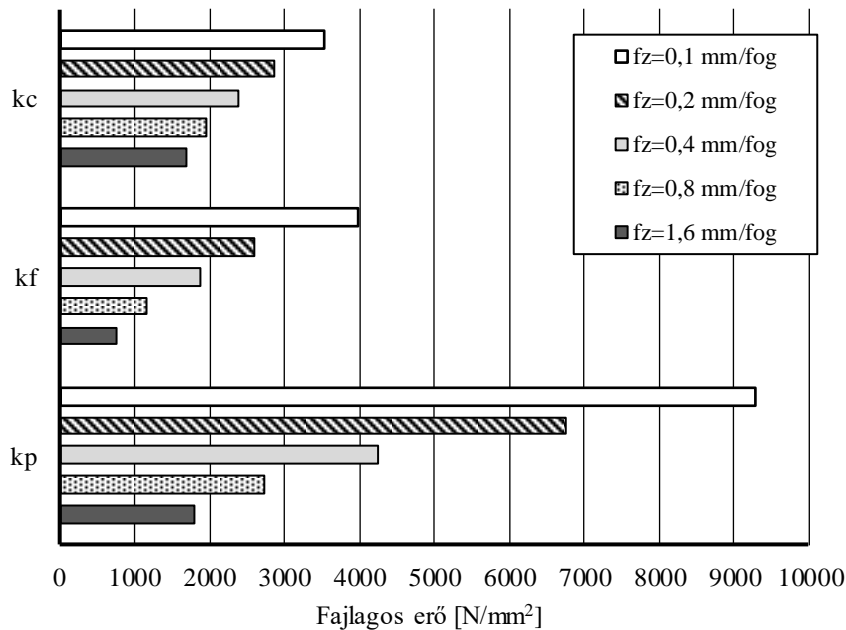


**7. ábra.** A  $k_x$ ,  $k_y$  és  $k_z$  fajlagos erőkomponensek maximális értékeinek változása a fogankénti előtolás függvényében



Az egyes fajlagos erőkomponenseket vizsgálva megállapítottam, hogy azok értéke az előtolás növekedésével szignifikánsan csökken. Az x, y és z irányú fajlagos erőkomponenseknél azt tapasztaltam, hogy az egyes előtolások esetében a  $k_x < k_y < k_z$  tendencia két kivétellel teljesült. Eltérés csak a legkisebb és a legnagyobb előtolásnál fordult elő. A legkisebb előtolásnál a  $k_z$  fajlagos erőkomponens értéke a legnagyobb, míg  $k_x$  és  $k_y$  értéke közel azonos; a legnagyobb előtolásnál a  $k_x$  fajlagos erőkomponens értéke a legkisebb, míg  $k_y$  és  $k_z$  értéke közel azonos. A szerszám koordináta rendszerében vizsgálva valamennyi előtolás esetében a  $k_p$  értéke a legnagyobb. A legkisebb előtolásnál  $k_c < k_f$ , míg a többi esetben  $k_c > k_f$ . A legkisebb és a legnagyobb előtoláshoz tartozó fajlagos értékek aránya pedig  $k_x \rightarrow 3,9$ ;  $k_y \rightarrow 2,6$ ;  $k_z \rightarrow 5,2$ ;  $k_c \rightarrow 2,1$ ;  $k_f \rightarrow 5,2$ ;  $k_p \rightarrow 5,2$ ; miközben az előtolás 16-szorosára nőtt.

Az előtolás növekedése konstans fogásmélység mellett a deformálatlan forgács keresztmetszet növekedésével jár. A forgácsolás energiaigényének meghatározásához a fajlagos forgácsolóerő értékek vehetők alapul, gyakorlati számításoknál a tangenciális irányú főforgácsolóerő ( $F_c$ ) fajlagos értéke ( $k_c$ ) használatos. Ez alapján a 8. ábráról az is leolvasható, hogy egységnyi forgácstérfogat leválasztásának az előtolás növelésével csökken az energiaigénye konstans fogásmélység mellett.



**8. ábra.** A  $k_c$ ,  $k_f$  és  $k_p$  fajlagos erőkomponensek maximális értékeinek változása a fogankénti előtolás függvényében

#### 4. Összefoglalás

Ebben cikkben korrózióálló anyagot választottam a próbadarabnak. A kísérleti eredmények alapján megállapítottam, hogy a vizsgált tartományban, az  $F_c$  és  $F_p$  azonos jelleg szerint változik és értékeiben kis előtolásnál 2,5-szeres az  $F_p$  értéke, mely különbség fokozatosan csökken és 1,6 mm-es előtolásnál már közel azonos értékű. Az  $F_c$  és az  $F_f$  értéke kis előtolásnál közel azonos értékű, de az előtolás növelésével gyorsabban növekszik és 1,6 mm-es előtolásnál több mint kétszeres az értéke az  $F_f$ -hez viszo-

nyítva. Az előtolás egységnyi növelése kisebb mértékű erőnövekedéssel jár. Energetikai szempontból a fajlagos forgácsolóerő komponensek értékeit kell vizsgálni. Ezek alapján egyértelműen megállapítottam, hogy konstans fogásmélység mellett az előtolás növelésével csökken az egységnyi forgácsterfogat leválasztásának az energiaigénye. Tehát az előtolás növelése a fajlagos energiafelhasználás csökkenését eredményezi.

## 5. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 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.

## Irodalom

- [1] Komócsin, M., *Gépipari anyagismeret*, 5. átdolgozott kiadás, COKOM Kft., Miskolc, 2008, ISBN 963 00 8932 7
- [2] Li, X. P., Zheng, H. Q., Wong, Y. S., Nee, A. Y. C.: An Approach to Theoretical Modeling and Simulation of Face Milling Forces, *Journal of Manufacturing Processes*, Volume 2, Issue 4 (2000) pp. 225-240. [https://doi.org/10.1016/S1526-6125\(00\)70024-7](https://doi.org/10.1016/S1526-6125(00)70024-7)
- [3] Chang, C.-S.: Prediction of Cutting Forces in Milling Stainless Steels using Chamfered Main Cutting Edge Tool, *Journal of Mechanics*, Volume 21, Issue 3 (2005), pp. 245-155. <https://doi.org/10.1017/S1727719100000587>
- [4] Hernández-González, L. W., Pérez-Rodríguez, R., Quesada-Estrada, A. M., Dumitrescu, L.: Effects of cutting parameters on surface roughness and hardness in milling of AISI 304 steel, *DYNA*, 85(205) (2018), pp. 57-63. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n205.64798>
- [5] Korkut, I., Donertas, M. A.: The influence of feed rate and cutting speed on the cutting forces, surface roughness and tool–chip contact length during face milling, *Materials & Design*, Volume 28, Issue 1 (2007), pp. 308-312. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2005.06.002>
- [6] Rao, K. M. C., Malghan, R. L., Herbert, M. A., Rao, S. S.: Dataset on flank wear, cutting force and cutting temperature assessment of austenitic stainless steel AISI316 under dry, wet and cryogenic during face milling operation, *Data in Brief*, Volume 26 (2019), pp. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104389>
- [7] Luejanda, S., Jirapattarasilp, K.: The Study of Surface Finish in Face Milling of Stainless Steel: AISI 304, *Advanced Materials Research*, Volume 650 (2013), pp. 606-615. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.650.606>
- [8] Pimenov, D. Y.; Hassui, A.; Wojciechowski, S.; Mia, M.; Magri, A.; Suyama, D. I.; Bustillo, A.; Krolczyk, G.; Gupta, M. K.: Effect of the Relative Position of the Face Milling Tool towards the Workpiece on Machined Surface Roughness and Milling Dynamics, *Applied Sciences*, Volume 9, Issue 5 (2019), pp. 1-17. <https://doi.org/10.3390/app9050842>
- [9] Razfar, M. R., Asadnia, M., Haghshenas, M., Farahnakian, M.: Optimum surface roughness prediction in face milling X20Cr13 using particle swarm optimization algorithm, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Volume 224, Issue 11 (2010), pp. 1645-1653. <https://doi.org/10.1243/09544054JEM1809>

- [10] Lin, T.-R.: Optimisation Technique for Face Milling Stainless Steel with Multiple Performance Characteristics, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Volume 19 (2002), pp. 330-335. <https://doi.org/10.1007/s001700200021>
- [11] Silva, L. C., Mota, P. R., Silva, M. B., Ezugwu, E. O., Machado, Á. R.: Study of burr behavior in face milling of PH 13-8 Mo stainless steel, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, Volume 8 (2015), pp. 34-42. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2014.10.003>
- [12] Singh, P., Dureja, J. S., Singh, H., Bhatti, M. S.: Performance evaluation of coated carbide tool during face milling of AISI 304 under different cutting environments, *Materials Research Express*, Volume 6, Number 5 (2019), 056546. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab0696>
- [13] Kundrák, J., Markopoulos, A. P., Makkai, T., Deszpoth, I., Nagy, A.: Analysis of the effect of feed on chip size ratio and cutting forces in face milling for various cutting speeds, *Manufacturing Technology*, Volume 18 Issue 3 (2018), pp. 431-438. <https://doi.org/10.21062/ujep/117.2018/a/1213-2489/MT/18/3/431>
- [14] Kundrák, J., Gyáni, K., Felhő, 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*, Volume 17 Issue 3 (2017), pp. 335-342.
- [15] Kundrák, J., Markopoulos, A. P., Karkalos, N. E., Makkai, T.: The Examination of Cutting Force as Function of Depth of Cut in Cases with Constant and Changing Chip Cross Section, In: Gapiński, B., Szostak, M., Ivanov, V. (eds) *Advances in Manufacturing II. MANUFACTURING 2019, Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Springer, Cham (2019), pp. 405-415. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-16943-5\\_35](https://doi.org/10.1007/978-3-030-16943-5_35)
- [16] Karpuschewski, B., Kundrák, J., Emmer, T., Borysenko, D.: A New Strategy in Face Milling - Inverse Cutting Technology, *Solid State Phenomena*, 261 (2017), pp. 331-338., <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.261.331>
- [17] Kundrák, J., Felhő, C.: 3D Roughness Parameters of Surfaces Face Milled by Special Tools, *Manufacturing Technology*, Volume 16 Issue 3 (2016), pp. 532-538.