

2,5D-S TROCHOIDÁLIS STRATÉGIÁK HATÁSAI A FORGÁCSOLÁSI FOLYAMATRA

THE EFFECTS OF 2,5D TROCHOIDAL STRATEGIES ON THE CUTTING PROCESS

Kónya Gábor¹ 0000-0003-1531-5921*, Kovács Zsolt Ferenc¹ 0000-0002-6995-6508, Sándor Roland¹ 0009-0005-4770-7737

¹ Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Neumann János Egyetem, Magyarország

<https://doi.org/10.47833/2023.1.ENG.011>

Kulcsszavak:

Al7075
Horonymarás
Csipkésedés
Forgácsoló erő- és nyomaték
Érdesség

Keywords:

Al7075
Slot milling
Clipping
Cutting force- and torque
Roughness

Cikktörténet:

Beérkezett 2022. december 10.
Átdolgozva 2023. március 25.
Elfogadva 2023. április 5.

Összefoglalás

Jelen publikációban a szerzők a 2,5D-s trochoidális szerszám pályák hatásait mutatják be Al7075-ös anyagminőségű alumínium nyitott horonymarása esetén, mellyel céljuk összehasonlítani a kutatás során alkalmazott stratégiákat. Ezzel azt vizsgálták, hogy az adott körülmények között melyik eredményezi a lehető legkisebb szerszámterhelést, ezzel növelve a szerszám éltartamát, illetve ezzel párhuzamosan a lehető legjobb felületi minőséget. Az egyes stratégiák jellemzésére az egységnyi méretű horonyhoz szükséges megmunkálási idővel, a használatukkor fellépő forgácsoló erőkkel és nyomatékkal, a hornyok talpfelületén mért érdességi értékekkel és a horony oldalfalán mért P-profillal (mellyel a csipkésedést lehet jellemezni) kerültek kiértékelésre.

Abstract

In this paper, the authors present the effects of 2.5D trochoidal toolpaths for open slot milling of Al7075 aluminium, with the aim of comparing the strategies used in this research. In doing so, they investigated which one results in the lowest possible tool load under the given conditions, thus increasing the tool life and at the same time the best possible surface quality. To characterise each strategy, the machining times required for a slot of unit size, the cutting forces and torque at which they were used, the roughness values measured on the bottom of the slots and the P-profile (used to characterise the clipping) measured on the slot sidewall were evaluated

1. Bevezetés

A forgácsolásban használatos szerszám pályáknak legalább akkora jelentősége van, mint az alkalmazott technológiai paramétereknek, ezért is széles körben kutatott terület. Számos kutató igyekszik újabb és újabb szerszám pályák megalkotásával további fejlődést elérni a CAM rendszerek világában [1] [2] [3] [4].

A pályagenerálási megoldásokat két nagy csoportba tudjuk csoportosítani: a konvencionális- és a HSM (High Speed Machining) technológiákba. Konvencionális pályagenerálás során a

* Kónya Gábor
E-mail cím: konya.gabor@gamf.uni-neumann.hu

legelterjedtebb a telibemaráss. Előnye, hogy egyszerűen programozható és nagyon magas forgácsleválasztási ráta érhető el vele. Hátránya azonban, hogy nagy radiális forgácsoló erő ébred, illetve rezgésveszélyes technológia. Továbbá megemlíthető még, hogy a forgács kihozatal nehézkes, ami a forgács újraforgácsolását eredményezi. Ezen tényezőkből adódóan a szerszám élettartama jelentősen lecsökkenhet, a beékelődő forgács pedig akár a szerszám törését is okozhatja [5] [6] [7].

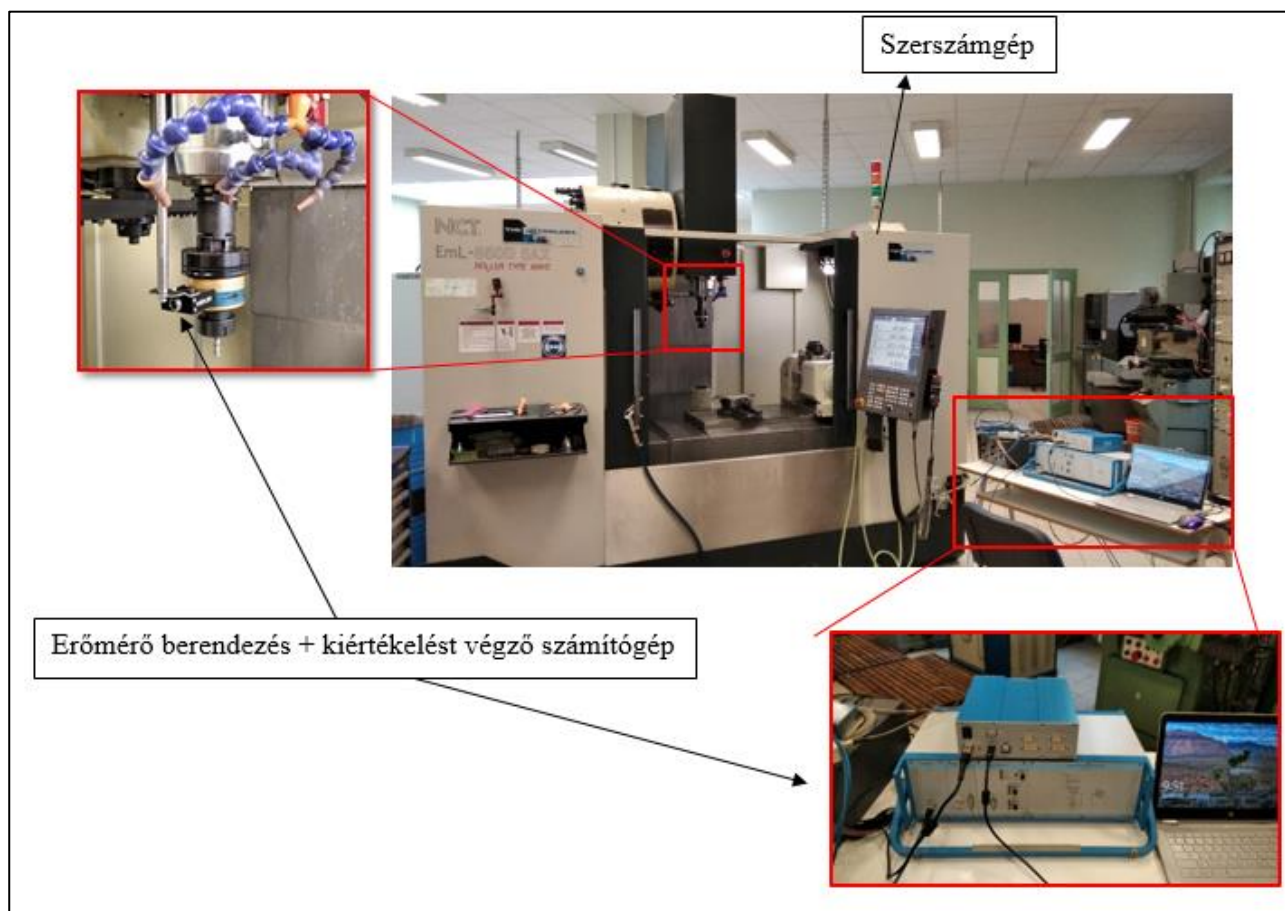
A HSM szerszámipályák alkalmazása megköveteli egyrészt, hogy az MKGS-rendszer (Munkadarab Készülék Gép Szerszám) minden eleme alkalmas legyen a nagy sebességű forgácsolásra, másrészt viszont magának a szerszámipályának folyamatosnak kell lennie és állandó szerszámterhelést is kell biztosítania, melyet a különféle trochoidális szerszámipályák alkalmazásával tudunk biztosítani [8].

Jelen publikációban különféle trochoidális szerszámipályákat hasonlítottunk össze Al7075 alumínium ötvözet forgácsolása során. Kimeneti paraméterként vizsgáltuk azonos technológiai paraméterek és egységnyi horonymérethez szükséges megmunkálási időket, a forgácsolás során fellépő erőket- és nyomatékokat, a megmunkált horony talpfelületén lévő felületi érdességet és a horony oldalfelületén néztük a P-profil, mellyel az oldalfal csipkésedését tudjuk jellemezni. Célunk, hogy e tényezők figyelembevételével meghatározzuk a legjobb értékeket eredményező stratégiát.

2. A kísérlet módszertana

2.1. Kísérleti munkaállomás és munkadarab

A forgácsolási kísérletek elvégzéséhez egy NCT-EmL 850D típusú megmunkáló központot választottuk, mert ez a gép teljesíti a HSM maráshoz szükséges követelményeket. A kísérlethez előkészített munkaállomás az 1. ábrán látható.



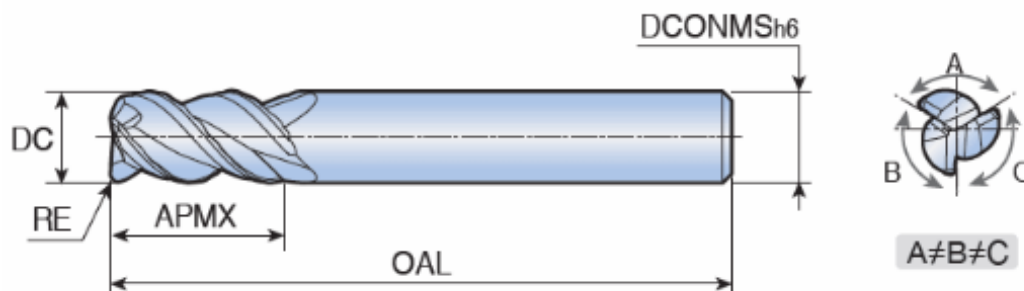
1. ábra: Kísérlethez felkészített munkaállomás

Erő és nyomaték méréséhez KISTLER 9125A24A2 típusú forgóerőmérőt használtunk KISTLER 5237A típusú jelelőítő egységgel és KISTER 5697 típusú jelfeldolgozó egységgel. Az adatok rögzítéséhez DynoWare 2825A1-2 szoftvert használtunk.

A kísérlethez Al7075 típusú alumínium ötvözetet választottuk.

2.2. Kísérlethez használt forgácsoló szerszám

A kísérletek során az AWE 3080ML típusú tömör keményfém hosszlyukmarót használtuk, melyet a TaeguTec Hungary Kft. bocsájított rendelkezésünkre. A szerszám a 2. ábrán, adatai az 1. táblázatban láthatók.



2. ábra: AWE 3080ML forgácsoló szerszám

1. Táblázat. AWE 3080ML szerszám geometriája

Megnevezés	Jelölés	Érték
Szerszámátmérő	D_c	8 (mm)
Sarokrádiusz	RE	2 (mm)
Élhossz	APMX	20 (mm)
Teljes hossz	OAL	60 (mm)
Szárátmérő (h6)	DCONMS	8 (mm)
Fogsám	z	3 (db)
Horonyemelkedés szöge	α	45 (°)

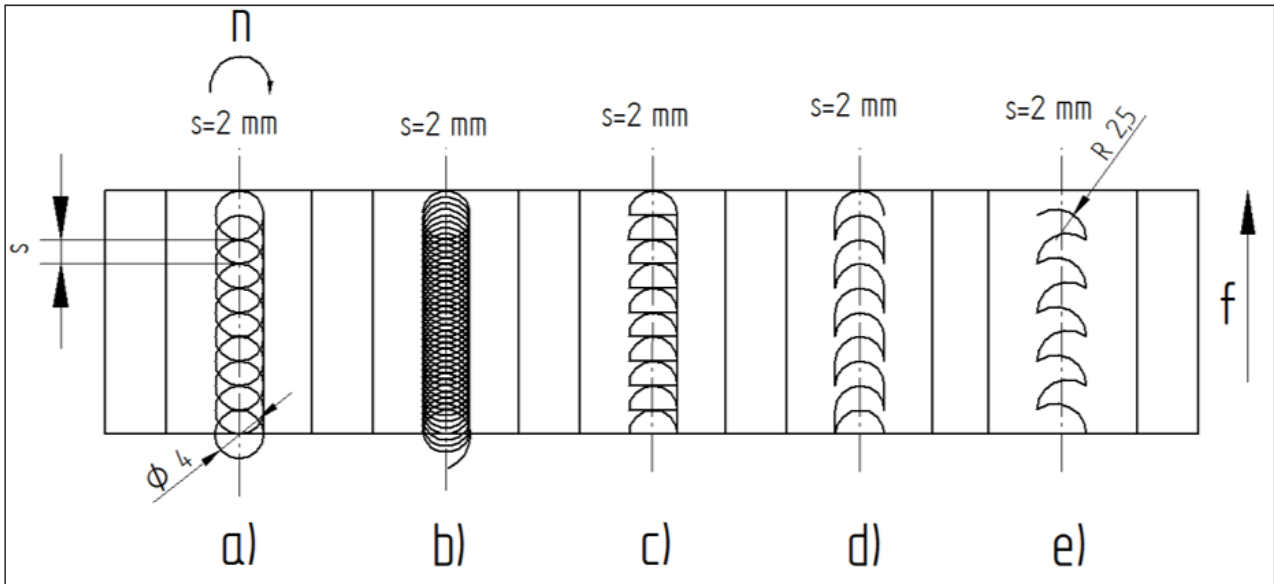
2.3. Alkalmazott technológiai paraméterek és trochoidális szerszám pályák

A kísérletek során alkalmazott technológiai paraméterek a 2. táblázatban láthatók.

2. Táblázat. Alkalmazott technológiai paraméterek

Oldalirányú fogásmélység a_e (mm)	Tengelyirányú fogásmélység a_p (mm)	Fogankénti előtolás f_z (mm/fog)	Forgácsoló sebesség v_c (m/min)	Előtoló sebesség v_f (mm/min)	Fordulatszám n (1/min)
2	8	0,06	301,59	2160	12000

Szalóki és társai [9] által bemutatott trochoidális stratégiákat alkalmaztunk kutatásunkban, melyek szerszám pályái a 3. ábrán figyelhetők meg. Mindegyik stratégiát NCT 304 vezérlőn, parametrikus programozással programoztuk le. Mindegyik stratégia esetén 50 mm hosszú, 12 mm széles, 8 mm mély, nyitott hornyokat munkáltunk meg, melyek során minden esetben külső, elárasztásos hűtést alkalmaztunk.



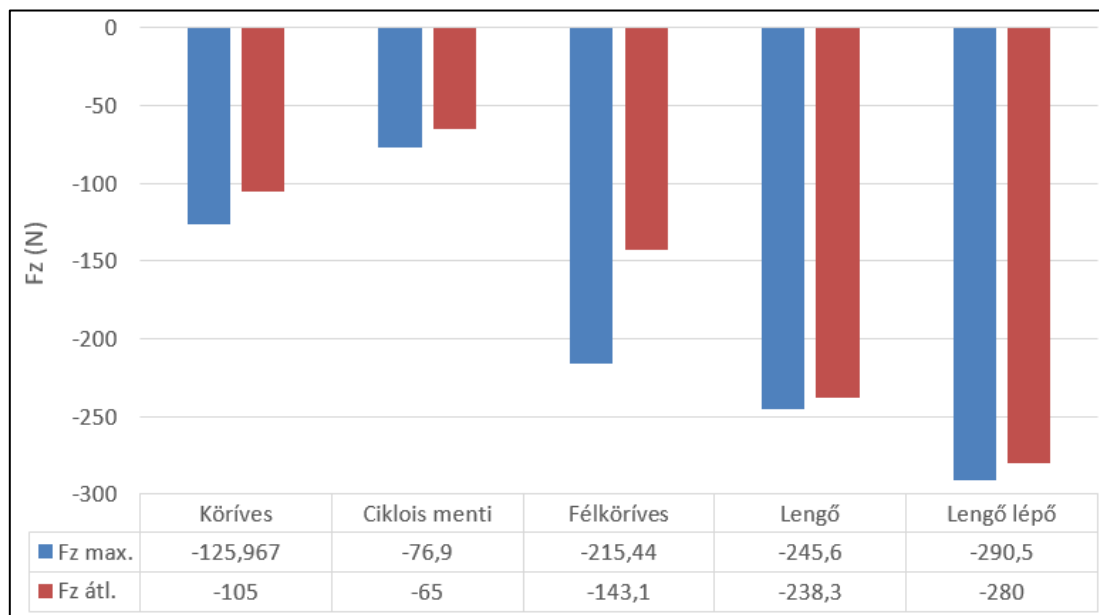
3. ábra: Kísérlethez használt szerszám pályák

Megjegyzés: a) köríves marás; b) ciklois marás; c) félköríves marás; d) lengő marás; e) lengő-lépő marás

3. Eredmények

3.1. Forgácsoló erők és nyomatékok

A 4. ábrán láthatók a fellépő tengelyirányú forgácsoló erők az egyes stratégiák esetén, melyek azért negatív előjelűek, mert a forgácsolási folyamat során az anyag kifelé húzná a szerszámot a befogóból.



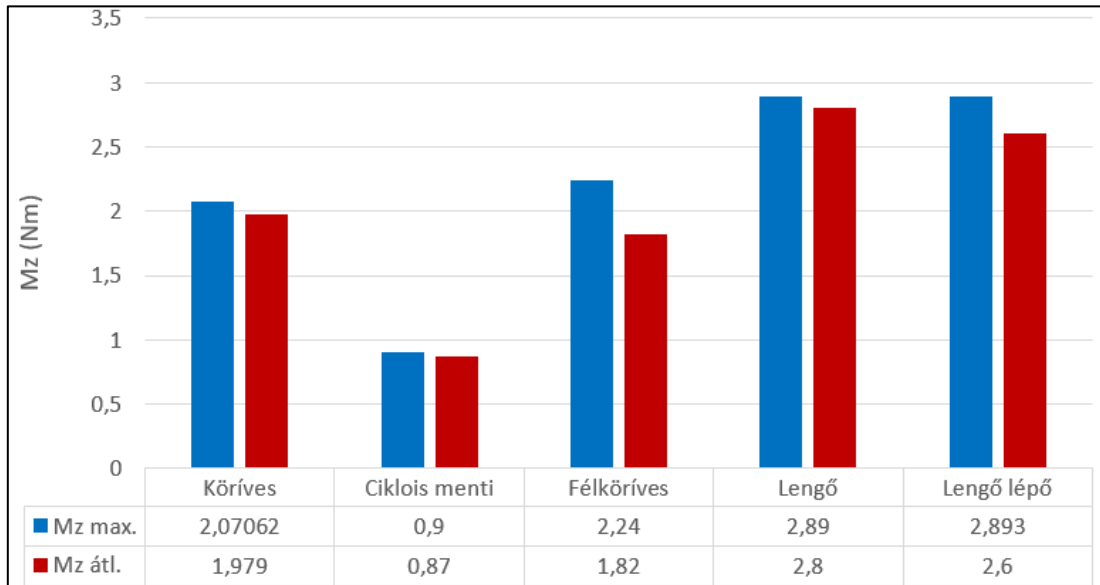
4. ábra: Forgácsolás során fellépő forgácsoló erők az egyes stratégiák esetén

A legkisebb forgácsoló erő a ciklois stratégia esetén ébredt, mely annak köszönhető, hogy csak egyenirányú marást valósít meg, illetve a következő fogásba is ciklois görbe mentén fordul be, míg a többi stratégia esetében egyenes mentén történik a fogásvétel.

A szerszámra a legnagyobb terhelést a lengő lépő stratégia eredményezte, mert egyszerre valósít meg egyen- és ellenirányú stratégiát ciklikusan.

A félköríves marás is csupán egyenirányú marást valósít meg, azonban ahogyan az a 3. ábrán lévő szerszám pályán is látszik, a fogásba lépéskor és fogásból történő kilépéskor is durva irányváltás történik, ennek eredményeképp közel olyan forgácsoló erőt mértünk, mint a lengő stratégia esetén, a termelékenységben azonban lényegesen elmarad.

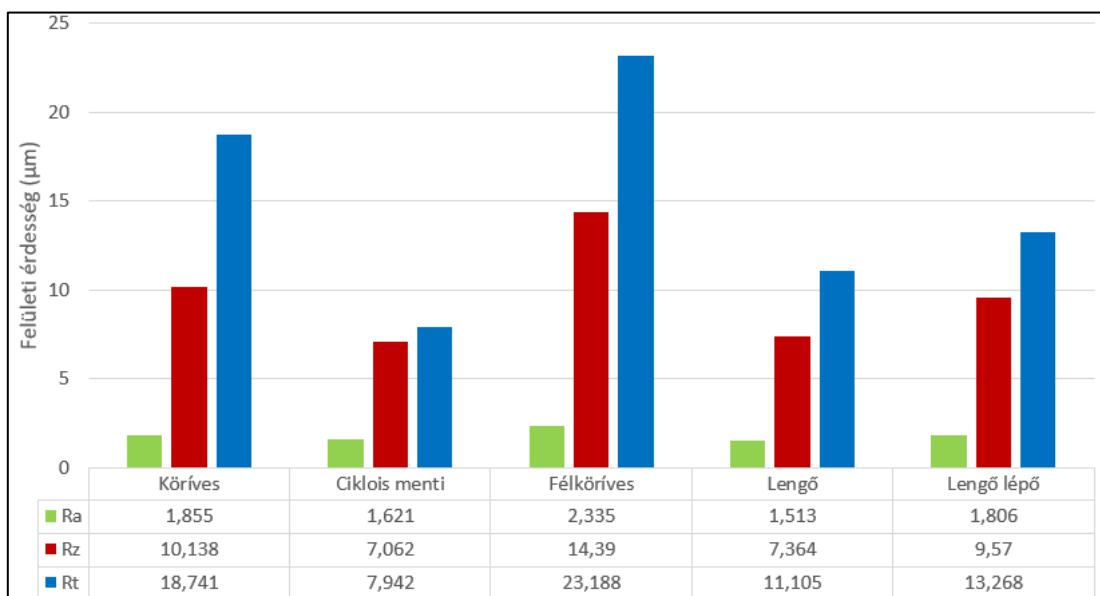
Az 5. ábrán megfigyelhető forgácsoló nyomatékok követik a forgácsoló erők tendenciáit, kivéve a lengő-lépő stratégia esetén, ahol az átlag nyomaték némileg csökkent a lengő stratégiánál fellépő átlag nyomatékhoz képest.



5. ábra: Forgácsolás során fellépő nyomaték az egyes stratégiák esetén

3.2. Megmunkált hornyok felületi érdessége

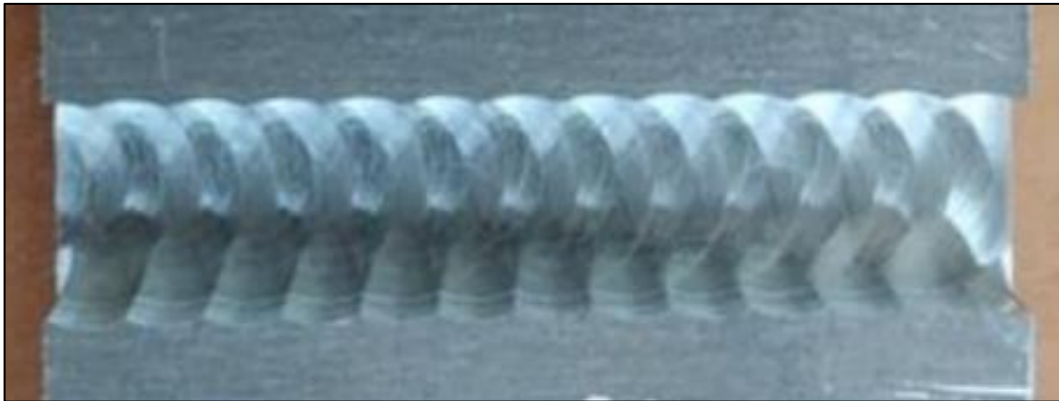
Az egyes stratégiákkal mart hornyok felületi érdessége a 6. ábrán figyelhető meg. A forgácsolásnál fellépő erők és nyomatékok általános tendenciájával azonosan növekszenek a felületi érdességi értékek, kivéve a félköríves marás esetén, ahol nagymértékű kiugrás figyelhető meg. Ez annak az eredménye, hogy mikor a munkamenet pályaszakasza véget ér, akkor nagyon éles irányváltással tér vissza a következő ív kezdőpozíciójára. A munkadarab is jól szemlélteti a felületi minőséget.



6. ábra: Talpfelületen mért felületi érdesség értékek az egyes stratégiák esetén

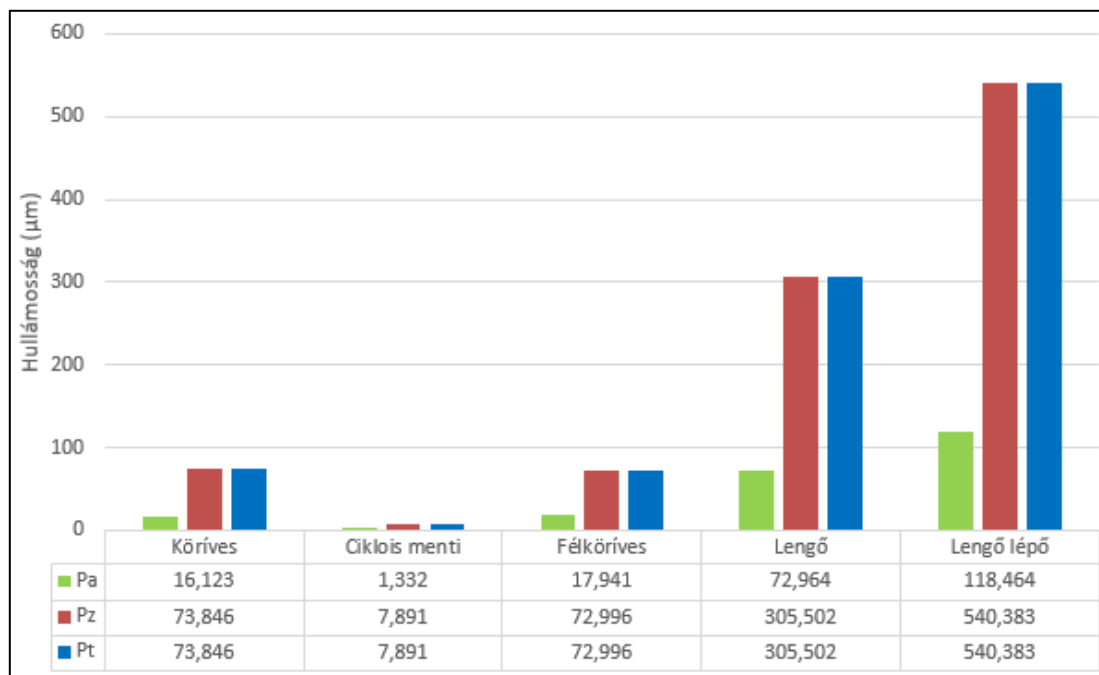
3.3. Megmunkált hornyok oldalfelületén mért P-profil értékek

A stratégiákból adódó oldalfali csipkésedés a 7. ábrán figyelhető meg.



7. ábra: Lengő lépő stratégiával mart horony oldalfali csipkésedése

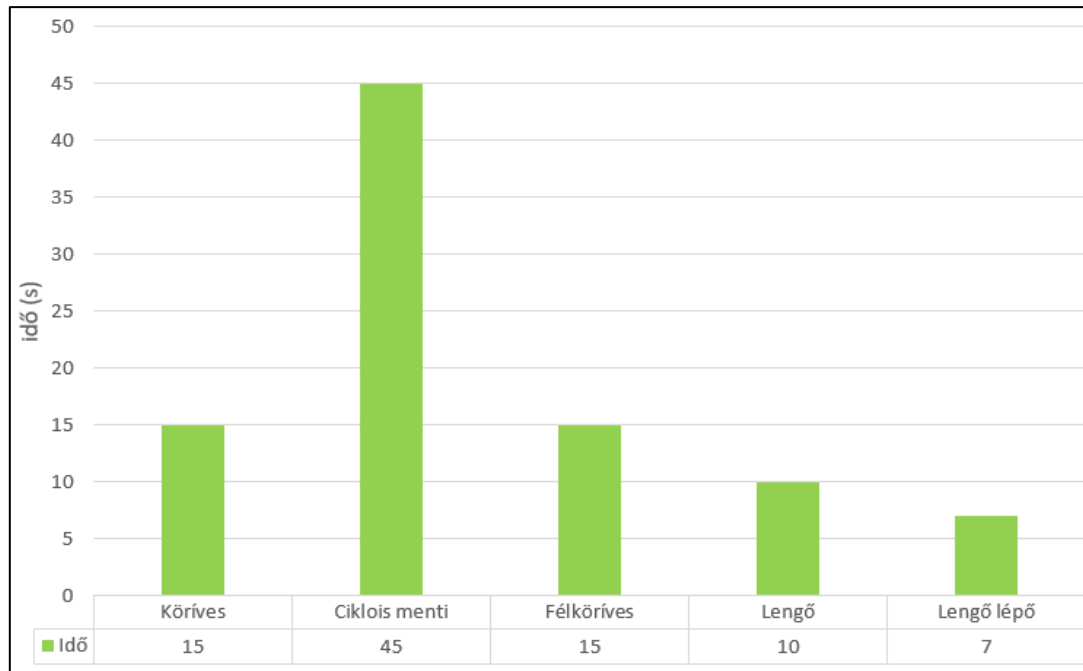
A hornyok oldalfalának csipkésedését jellemző P-profilból számított Pa, Pz és Pt értékek a 8. ábrán tekinthetők meg az egyes stratégiák függvényében, melyek értékei összhangba hozhatók egyrészt a fellépő szerszámterhelések nagyságával, másrészt a szerszám pályák kialakításával. Azért P-profil választottuk a horony oldalfelületeinek jellemzésére, mert a hornyok geometriai hibája túl nagy volt, melyet az R-profil leszűrt volna már. A legnagyobb csipkésedést egyértelműen a lengő-lépő stratégia eredményezte, még a legjobbat a ciklois, mivel ez a pályagörbe durva irányváltásokat nem tartalmaz.



8. ábra: Horony oldalfelületén mért értékek az egyes stratégiák esetén

3.4. Megmunkálás időszükséglete

A megmunkáláshoz szükséges idő az egyes stratégiák esetén a 9. ábrán láthatók. A pályagörbékéből is látszik, hogy a legnagyobb időszükséglete a cikloisnak van, míg a legkisebb időszükséglete a lengő-lépő stratégiának. Ez abból ered, hogy a lengő-lépő szerszám pályája folyamatosan fogásban van, a pályagörbe nem tartalmaz fogás nélküli szakaszokat.



9. ábra: Megmunkálás időszükséglete az egyes stratégiák esetén

4. Összegzés

Jelen kutatómunkában Al7075 horonymarása esetén vizsgáltuk a trochoidális stratégiák hatásait a szerszámterhelésre, megmunkált felületi minőségre és a megmunkálási időre nézve.

A kapott eredmények alapján kijelenthető, hogy:

- a legkedvezőbb szerszámterhelést és a legjobb felületi minőséget a ciklois stratégia eredményezte, mivel az oldallépés nem egy egyenes mentén történik, mint a többi stratégia esetében, azonban ehhez volt szükség a leghosszabb megmunkálási időre;
- a lengő-lépő stratégia esetén mértük a legnagyobb tengelyirányú forgácsoló erőt és nyomatókot, illetve ez eredményezte a legnagyobb csipkésedést a horony oldalfelületén, mivel ez a stratégia egyszerre valósít meg egyen és ellenirányú marást ciklikusan. Nagyolási eljárásoknál alkalmas lehet ez az eljárás egy simítási művelettel kiegészítve;
- a félköríves marást semmilyen szempontból nem ajánljuk, mert a szerszámterhelést tekintve közel azonos a köríves marással, megmunkálási időben egyenlők, azonban a horony talpfelületén magasan a legrosszabb felületi érdességet eredményezte.

Irodalomjegyzék

- [1] Wu, B., Zheng, C., Luo, M., He, X.: Investigation of Trochoidal Milling Nickel-Based Superalloy, Materials Science Forum, 2012, vol. 723, pp. 332–336, <https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/MSF.723.332>
- [2] Pleta, A., Niaki, F. A., Mears, L.: A comparative study on the cutting force coefficient identification between trochoidal and slot milling, Procedia Manufacturing, 2018, vol. 26, pp. 570–579, <https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2018.07.067>
- [3] Jacso, A., Matyasi, G., Szalay, T.: The fast constant engagement offsetting method for generating milling tool paths, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2019, vol. 103, no. 9–12, pp. 4293–4305, <https://doi.org/10.1007/S00170-019-03834-8/FIGURES/13>
- [4] Otkur, M., Lazoglu, I.: Trochoidal milling, International Journal of Machine Tools and Manufacturing, 2007, vol. 47, no. 9, pp. 1324–1332, <http://doi.org/10.1016/J.IJMACHTOOLS.2006.08.002>
- [5] Ding, S. L., Mo, J., Yang, D.: HSM Strategies of CAD/CAM Systems — Part I Tool Path Generation, Key Engineering Materials, 2010, vol. 426–427, pp. 520–524, <http://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/KEM.426-427.520>

- [6] Sandvik Coromant: Groove or slot milling, [online] Available at: <https://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/milling/pages/groove-or-slot-milling.aspx> [Accessed: 31. 07. 2022.]
- [7] Gómez, G., Fernández De Lucio, P., Del Olmo, A., Martínez De Pissón, G., Jimeno, A., González, H., López De Lacalle, L. N.: Comparison between milling roughing operations in full slotting manufacturing: trochoidal, plunge and conventional milling, in 9th Manufacturing Engineering Society International Conference (MESIC 2021) 23rd-25th June 2021, Gijón, Spain, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1193/1/012003>
- [8] Modern Machine Shop: Tool Path Strategies For High Speed Machining, [online] Available at: <https://www.mmsonline.com/articles/tool-path-strategies-for-high-speed-machining> [Accessed: 31. 07. 2022.]
- [9] Szalóki, I., Csuka, S., Csesznok, S., Sipos, S.: CAN TROCHOIDAL MILLING BE IDEAL?, Manufacturing 2012 The XXI. Conference of GTE on Manufacturing and related technologies, 2012, <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4235.7286>