

# NIKKEL-BÁZISÚ SZUPERÖTVÖZET FORGÁCSOLHATÓSÁGA EGYES CAM STRATÉGIÁK FÜGGVÉNYÉBEN HSC TARTOMÁNYBAN

## MANUFACTURING OF NICKEL BASED SUPERALLOY AS A FUNCTION OF CAM STRATEGIES IN THE HSC RANGE

Kónya Gábor <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Neumann János Egyetem,  
Magyarország

<https://doi.org/10.47833/2022.1.ENG.006>

### **Kulcsszavak:**

Ni-bázisú szuperötvözet  
Horonymarás  
HSC  
CAM stratégiák  
Erő – és nyomatékmérés

### **Keywords:**

Nickel based superalloy  
Slot mill  
HSC  
CAM strategies  
Force and torque measurement

### **Cikktörténet:**

Beérkezett 2021. október 10.  
Átdolgozva 2022. február 15.  
Elfogadva 2022. február 22.

### **Összefoglalás**

*Jelen publikáció a GTD-111 jelű Nikkel – bázisú szuperötvözet HSC tartományban történő horonymarása során végzett kísérleti munka eredményeit foglalja össze. A kutatás során számos CAM stratégiát alkalmazott a szerző annak érdekében, hogy meghatározza, melyik a legkedvezőbb a szerszám élettartamára, valamint a megmunkált felület minőségére. Ennek validálására számos paramétert vizsgált a kísérlet során a szerző, mint a forgácsolás során fellépő erőket és nyomatékokat, a szerszámkopásokat, a horony felületi érdességét és a megmunkálási időket.*

### **Abstract**

*This publication summarizes the results of experimental work on slot milling of the GTD-111 type of Nickel-based superalloy in HSC range. In the course of research, the author used several CAM strategies in order to determine which is most favorable for the tool life and the quality of the machined surface. To validate this, the author examined several parameters during the experiment, such as forces and torques during machining, tool wear, surface roughness and machining times.*

## **1. Bevezetés**

A Nikkel-bázisú szuperötvözetek közös jellemzője a nagy szilárdság, a nagy olvadási hőmérséklet, a hő – és korrózióállóság [1] [3] [5]. Továbbá ellenállnak a kopásnak, kémiai degradációnak, termikus sokknak és a kúszásnak is. E tulajdonságok mindegyike teszi kedvelté a felhasználásukat extrém helyeken (pl. turbina alkatrészként), még akkor is, ha a funkciójuk ellátását biztosító forgácsolás az egyik legnagyobb kihívást jelenti [7].

Ezen anyagok forgácsolhatóságában kulcsszerepet játszik a HSC (High Speed Cutting) technológia. A HSC-tartományig megnövelt forgácsolósebesség erősen megnöveli a nyírási zóna hőmérsékletét, aminek következtében drasztikusan lecsökken a munkadarab anyagának alakítási ellenállása [2].

\* Kapcsolattartó szerző. E-mail cím: [konya.gabor@gamf.uni-neumann.hu](mailto:konya.gabor@gamf.uni-neumann.hu)

A kísérlet célja megtalálni azt a CAM stratégiát, mely azonos technológiai paraméterek mellett a legkedvezőbb szerszámterheléseket és a legjobb felületi minőséget eredményezi.

## 2. A kísérlet során alkalmazott alapanyag kémiai összetétele és tulajdonságai

A horonymaráshoz a speciális vákuumöntéssel előállított GTD-111 jelű Ni-bázisú szuperötvözetet használta a szerző, melynek kémiai összetétele az 1. táblázatban, mechanikai tulajdonságai a 2. táblázatban láthatók.

1. Táblázat. GTD-111 kémiai összetétele

Fe (%)	Ni (%)	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Co (%)	Al (%)	Ti (%)	W (%)	Mo (%)	Ta (%)	Zr (%)	B (%)	Hf (%)
-	62,3	0,08	-	-	13,7	9	2,8	4,7	3,5	1,4	2,4	-	0,05	-

A 2. táblázatban a mechanikai tulajdonságok látható.

2. Táblázat. GTD-111 mechanikai tulajdonságai

Szakítószilárdság <i>R<sub>m</sub></i> (MPa)	Nyúlás <i>A<sub>s</sub></i> (%)	Kontrakció <i>Z</i> (%)	Keménység <i>HRC</i>
1310	5	5	41,4

Amint az 1. táblázatban megfigyelhető, az ötvözet több, mint 60%-a nikkelt, továbbá olyan ötvözőket tartalmaz, mint például a króm, melyek a forgácsolást bonyolultabbá teszik.

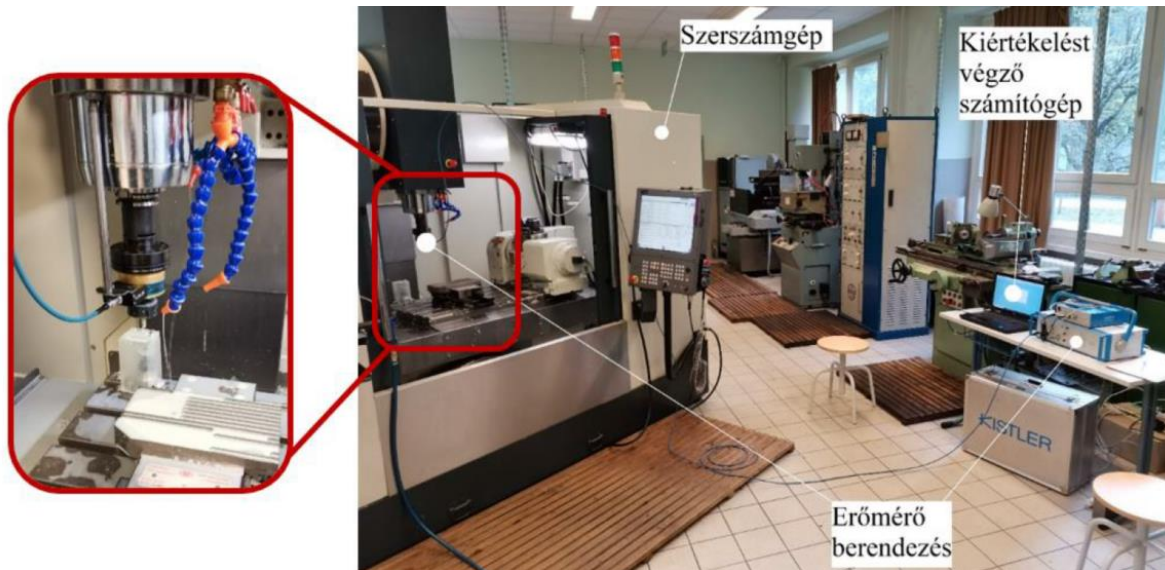
## 3. Kísérlettervezés

### 3.1. Kísérlethez alkalmazott eszközök

A megmunkáláshoz 4 db új és 4 db újraélezett Walter Proto max<sup>TM</sup><sub>ST</sub> H4038217-8-1 típusú 8 mm átmérőjű, 4 élű, tömör keményfém hosszlyukmarók kerültek felhasználásra. Ipari tapasztalatok alapján ezek a szerszámok horonymarás során nagyon kopnak, gyakoriak a törések is. Mivel ezek nagyon drága szerszámok, a törések elkerülése érdekében a forgácsolást megszakítják és a szerszámot felújítják, ami magában foglalja az élezést és az újra bevonatolást is. Ebből eredendően készültek kísérletek a felújított szerszámokkal is, hogy megtudjuk, miben változik a megmunkálás során fellépő erők és a horony felületi minősége.

A kutatáshoz használt Ni-bázisú szuperötvözet pontos megmunkálásához NCT EmL-850D 5AX típusú öt tengelyes megmunkálóközpont került használatra kellő merevsége végett, továbbá a HSC-tartományhoz szükséges fordulatszám is megvalósítható rajta.

Erő- és nyomaték méréshez a KISTLER 9125A24A2 típusú forgó erőmérőt alkalmazta a szerző. A mért adatokat DynoWare 2825A1-2 szoftver segítségével értékelte ki. A kísérleti munkaállomás az 1. ábrán látható.



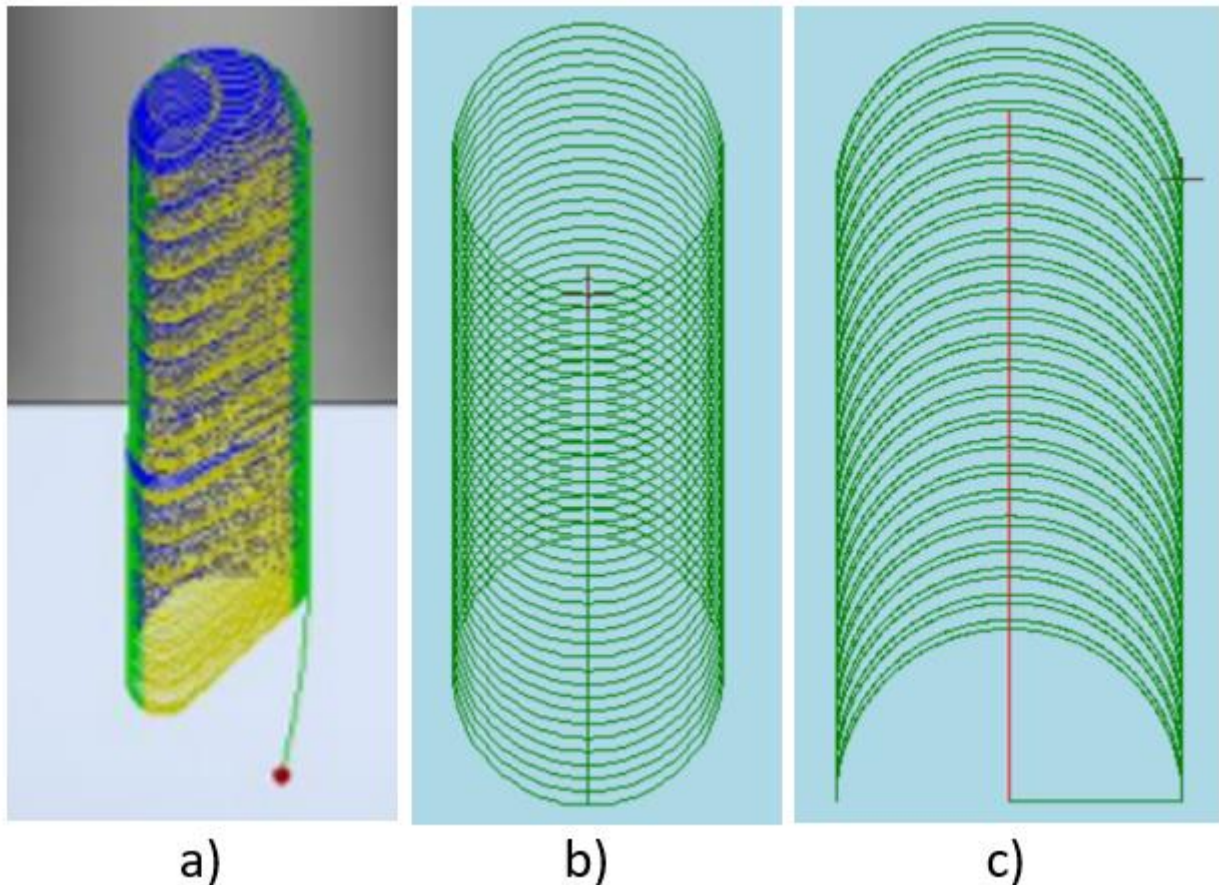
1. ábra: A kísérlethez felkészített munkaállomás

### 3.2. A kísérletek során alkalmazott technológiai paraméterek

A kísérletek során a következő CAM stratégiák voltak alkalmazva:

- Autodesk Inventor HSM® adaptív stratégia
- körkörös trochoid stratégia
- lengő inga stratégia.

A fent említett stratégiák a 2. ábrán láthatók.



2. ábra: Alkalmazott CAM stratégiák: a) adaptív stratégia, b) körkörös trochoid stratégia, c) lengő (inga) stratégia

Ezekkel a stratégiákkal 12 mm hosszú, 8 mm mély és 12 mm széles hornyok kerültek gyártásra, elárasztásos hűtés mellett.

A kísérletek során alkalmazott technológiai paraméterek a 3. táblázatban tekinthetők meg.

3. Táblázat. HSC-technológiával horonymarás során alkalmazott technológiai paraméterek

$a_p$ (mm)	$a_e$ (mm)	$f_z$ (mm/min)	$v_c$ (m/min)
8,00	0,2 (0,1)	0,02	50

Az 50 m/min-es forgácsoló sebesség azért lett kiválasztva, mert az irodalomkutatások alapján ez az érték a Nikkel-szuperötvözetekre vonatkoztatott HSC-tartomány alsó határa. Az oldalirányú fogásmélységnél látott 0,1 mm a lengő inga stratégia esetén volt alkalmazva, mikor ugyanis az ellen, valamint az egyenirányú marás volt váltogatva.

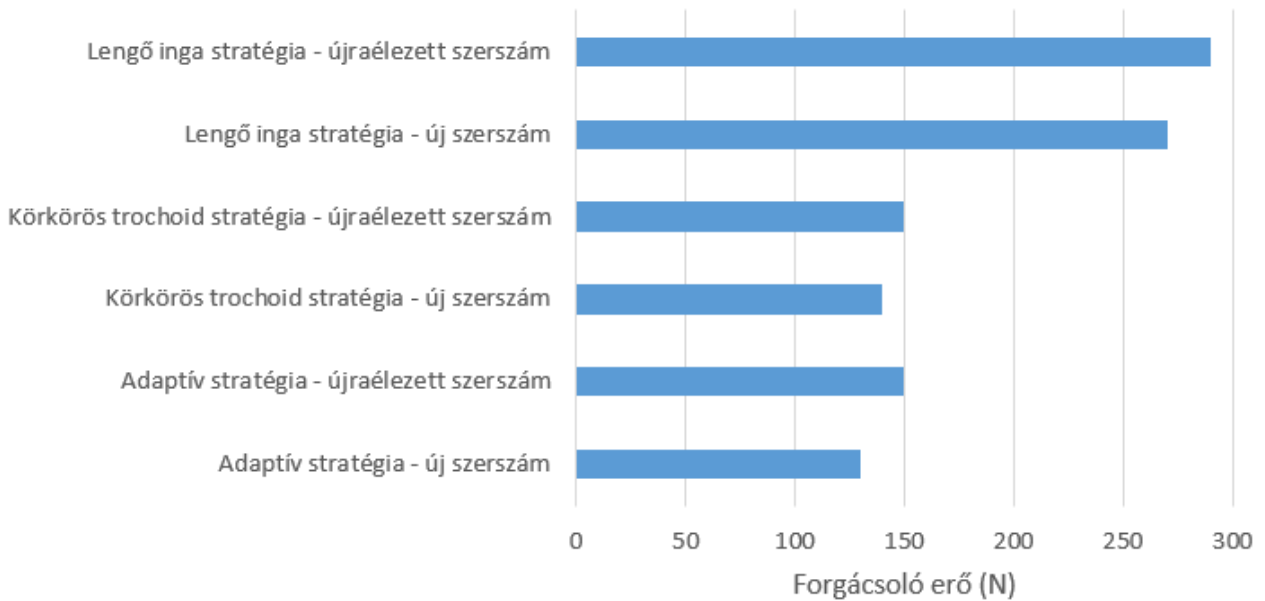
Az egyes megmunkálási stratégiáknak jelentős hatásuk van a szerszámélettartamra, valamint a megmunkált felületek minőségére egyaránt, ezért is fontos e stratégiák kutatása, valamint újak megalkotására. A stratégiák jelentősége nem csak a szubtraktív megmunkálások esetén nyilvánul meg, hanem például a hidegképlékeny felületjavító eljárások esetén is [6].

## 4. Eredmények kiértékelése

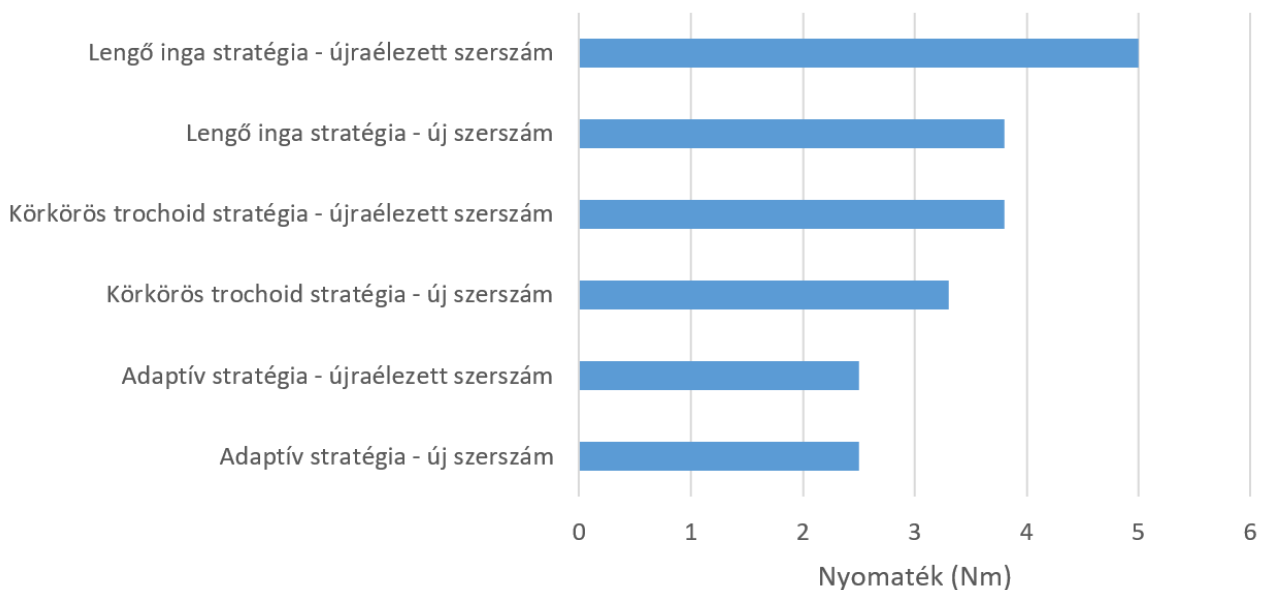
### 4.1. Az egyes stratégiák során fellépő erők és nyomatékok

Az egyes stratégiák során fellépő „Z” irányú forgácsoló erők ( $F_z$ ) és nyomatékok a 3. és 4. ábrán láthatóak. Mindegyik stratégia esetében tendencia, hogy az újraélezett szerszámok rosszabbul teljesítettek, mint az új szerszámok. A legjobb eredményeket az adaptív stratégia

eredményezte, a lengő inga stratégia esetében mért értékeknek, kevesebb, mint a felét produkálta csupán.



3. ábra: Az egyes stratégiák esetében fellépő forgácsoló erők



4. ábra: Az egyes stratégiák során fellépő nyomatékok

#### 4.2. Forgácsoló szerszámok kopása

A marási kísérletek előtt és után meg lettek mérve mindegyik alkalmazott szerszám átmérője mikrométer segítségével, így meghatározhatók a szerszámkopások. Ezek az értékek láthatók a 4. táblázatban.



4. Táblázat. Szerszámok kiinduló – és megmunkálás utáni átmérői

Stratégiáknál használt szerszámok	Kiinduló méret, D (mm)	Használat utáni méret, D (mm)
adaptív stratégia – új szerszám	7,974	7,957
adaptív stratégia – újraélezett szerszám	7,802	7,788
körkörös trochoid stratégia – új szerszám	7,974	7,944
körkörös trochoid stratégia – újraélezett szerszám	7,811	7,788
lengő inga stratégia – új szerszám	7,979	7,831
lengő inga stratégia – újraélezett szerszám	7,811	7,658

A táblázatban látható értékek és a szerszámokat érő forgácsoló erőket és nyomatókakat párhuzamba hozva megállapítható, hogy azok a szerszámok, melyek nagyobb terhelést kaptak a megmunkálás során, nagyobb mértékben koptak. Ezt bizonyítják a mikroszkóp felvételek is, melyek a 5-7. ábrán figyelhetők meg.

A kísérletben alkalmazott minden egyes szerszámmal egy-egy darab 8 mm mély 12 mm hosszú és 12 mm széles horony volt megmunkálva.



a)

b)

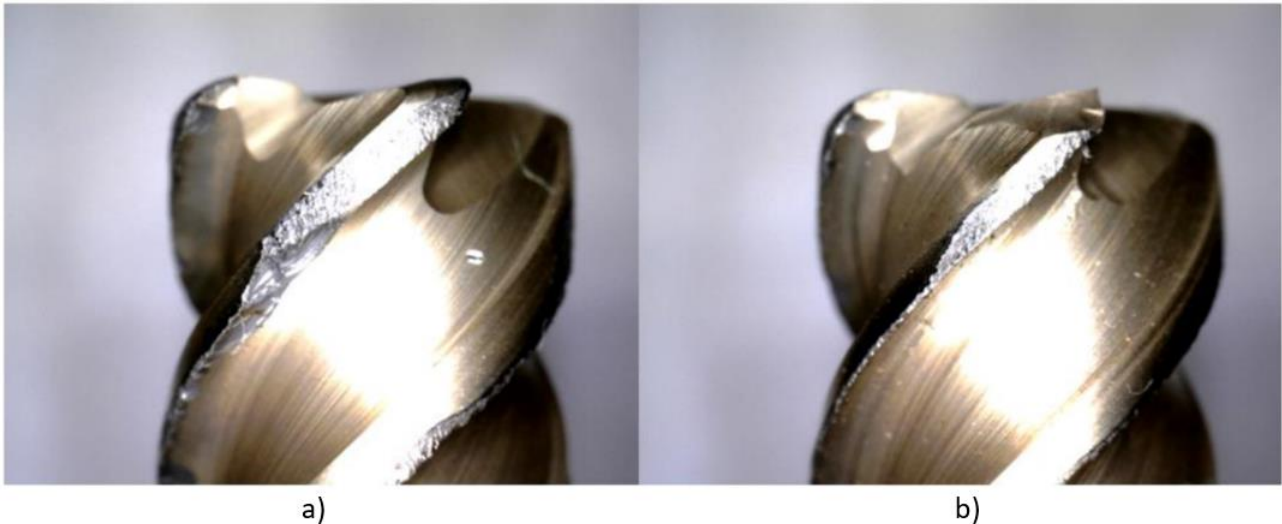
5. ábra: Adaptív stratégia: a) az új, b) az újraélezett szerszám



a)

b)

6. ábra: Körkörös trochoid stratégia: a) az új, b) az újraélezett szerszám

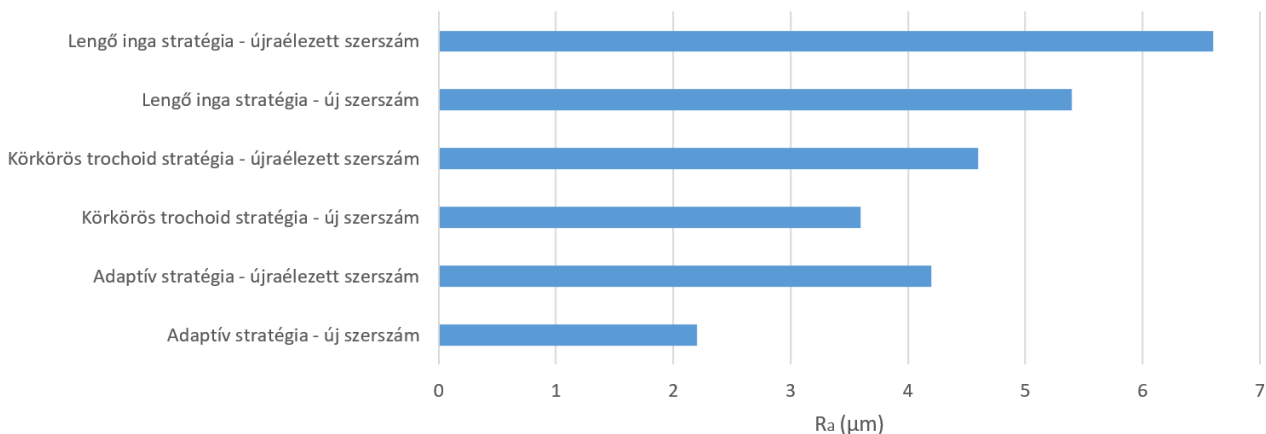


7. ábra: Lengő inga stratégia: a) az új, b) az újraélezett szerszám

Megfigyelve a fenti mikroszkópi felvételeket (5-7. ábra), jól látható a szerszámokon a megmunkálás következtében fellépő kopások, melyek mértéke összhangban van a szerszámokat érő terhelések nagyságával. A lengő inga stratégia kapcsán léptek fel a legnagyobb forgácsoló erő és nyomaték, ennek következtében ez okozta a legnagyobb szerszámkopásokat is.

#### 4.3. Megmunkált hornyok kiértékelése

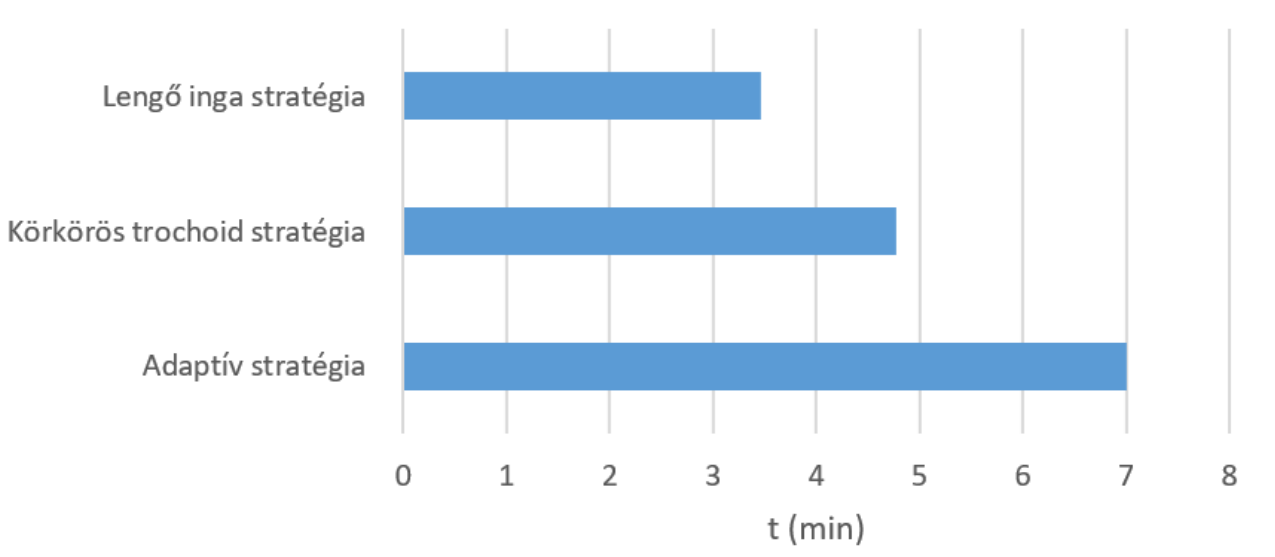
A megmunkált hornyok átlagos felületi érdessége az egyes stratégiák függvényében a 8. ábrán látható. Megfigyelhető, hogy a legjobb eredményt az Autodesk Inventor HSM® által biztosított adaptív stratégia hozta az új szerszámmal. Ezt az eredményt támasztja az is alá, hogy e stratégia esetén volt a szerszámterhelés a legkedvezőbb, így kisebb mértékben kerültek be a rendszerbe a káros rezgések. A legrosszabb eredményt a lengő inga stratégia eredményezte, 2,5-szer rosszabb átlagos felületi érdességet produkált az adaptív stratégiához képest.



8. ábra: Hornyok felületi érdessége a stratégiák függvényében

#### 4.4. Megmunkálási idők

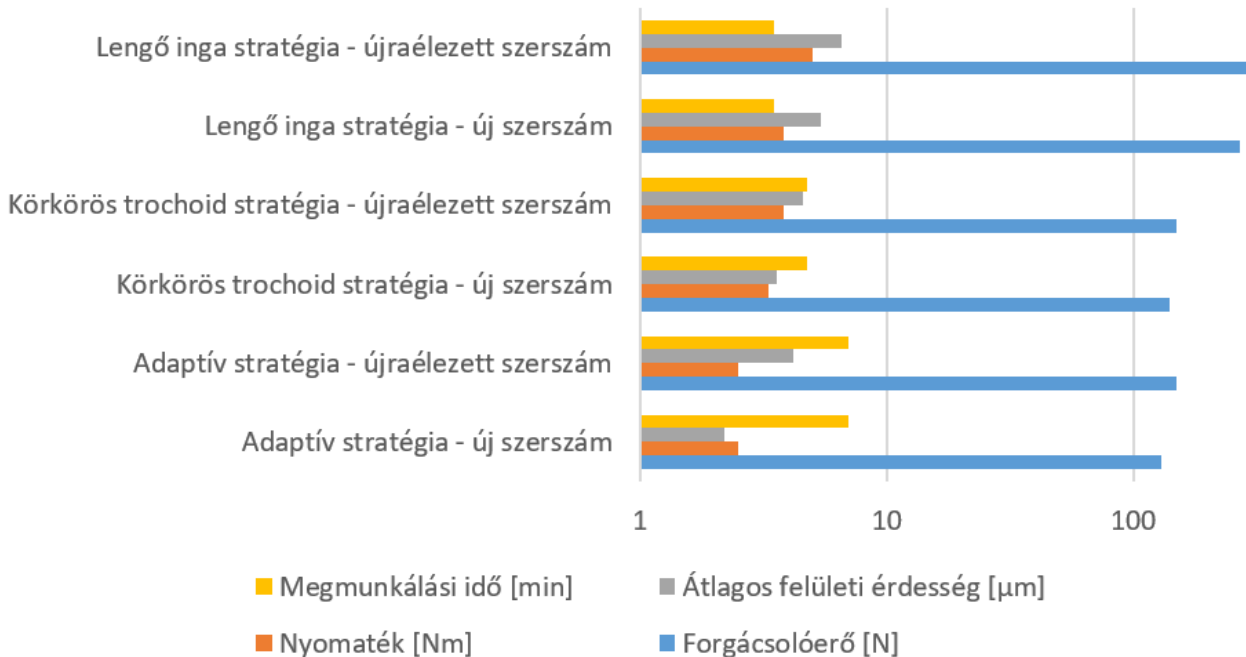
A megmunkálási idők az egyes stratégiák függvényében a 9. ábrán figyelhetők meg. Jól szemlélteti, hogy a legtöbb megmunkálási idő az adaptív stratégiához szükséges, valamint azt is, hogy a lengő inga stratégiával végzett horonymaráshoz 50%-kal kevesebb idő szükséges ugyanazon horonyméret (8 mm mély, 12 mm hosszú, és 12 mm széles) esetén.



9. ábra: Megmunkálási idők az egyes stratégiák függvényében

## 5. Összegzés

Az eredmények összegzése az egyes stratégiák függvényében a 10. ábrán látható. Látni a tendenciákat minden egyes stratégia esetén kijelenthető, hogy a kedvező szerszámterhelések és a megmunkált hornyok átlagos felületi érdessége egyenesen arányos a megmunkálási idő növekedésével. Az adaptív stratégia a legkedvezőbb a szerszám élettartamára, valamint a hornyok felületi minőségére nézve, azonban ezzel tart legtovább a megmunkálás is. Ezen tendenciák jól szemléltetik, hogy mely stratégia mit eredményez a vizsgált paraméterekben.



10. ábra: Kísérlet eredményei az egyes stratégiák függvényében

## Irodalomjegyzék

- [1] W. Chrzanowski, E. A. A. Neel, D. A. Armitage, J. C. Knowles (2008): Effect of surface treatment on the bioactivity of nickel-titanium, Acta Biomaterialia Vol. 4, pp. 1969-1984.  
DOI: 10.1016/j.actbio.2008.05.010



- [2] Grguras, D., Kern, M., Pusavec, F. (2019): Cutting performance of solid ceramic and carbide end milling tools in machining of nickel based alloy Inconel 718 and stainless steel 316L, *Advances in Production Engineering & Management* Vol. 14, pp. 27-38.  
DOI: 10.14743/apem2019.1.309
- [3] E.O. Ezugwu (2005): Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* Vol. 45, pp. 1353-1367.  
DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2005.02.003
- [4] R. M'Saubi, J.C. Outeiro, H. Chandresekaran, O.W Dillon Jr., I.S. Jaeehir (2008): A review of surface integrity in machining and its impact on functional performance and life of machined product, *International Journal of Sustainable Manufacturing (IJSM)*, Vol. 1, pp. 203-236.  
DOI: 10.1504/IJSM.2008.019234
- [5] Kodácsy J., Kovács Zs. F., Viharos Zs. J. (2015): A Ni-bázisú szuperötvözetek megmunkálhatósága horonymaráskor, *Gradus* Vol 2, pp. 142-146. ISSN: 2064-8014
- [6] Zs. Kovács, Zs. J. Viharos and J. Kodácsy (2018) "The effects of machining strategies of magnetic assisted roller burnishing on the resulted surface structure" *IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering*, vol. 448, 012002.  
DOI: 10.1088/1757-899X/448/1/012002
- [7] Kun K., Kodácsy J., Vaczkó D., Kovács Zs. F. (2019): Ni-bázisú szuperötvözetek megmunkálhatósága váltólapkás marószerszámok alkalmazásával, *Acta Materialia Transylvanica* Vol. 1, pp. 49-54.  
DOI: 10.33923/amt-2019-01-08