

# NIKKEL-BÁZISÚ SZUPERÖTVÖZET MEGMUNKÁLHATÓSÁGA

## MANUFACTURING OF NICKEL-BASED SUPERALLOY

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.004>

### **Kulcsszavak:**

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

### **Keywords:**

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

### **Cikktörténet:**

Beérkezett 2021. október 14.  
Átdolgozva 2022. február 10.  
Elfogadva 2022. február 20.

### **Összefoglalás**

Jelen kutatómunka a GTD-111 jelű Nikkel – bázisú szuperötvözet horonymarása során alkalmazott megmunkálási stratégiák eredményeit foglalja össze és jellemzi őket a forgácsolás során fellépő erőkkel és nyomatékokkal, a horony felületi érdességével, valamint a megmunkálási időkkel.

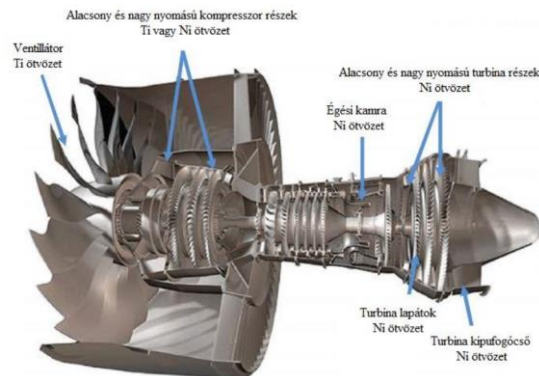
### **Abstract**

The present research summarizes the results of machining strategies applied in the slot milling of the GTD-111 type of Nickel-based superalloy and characterizes them with the forces and torque occurring during machining, the surface roughness of the slot, and the machining times.

## 1. Bevezetés

A Nikkel-bázisú szuperötvözeteket egyre több helyen alkalmazzák, melyek közül a legjelentősebb a repülőgép – és energetikai ipar [4]. Ezen anyagok jellemzője a nagy szilárdság, a nagy olvadási hőmérséklet, a hő – és korrózióállóság. Továbbá ellenállnak a kopásnak, kémiai degradációnak, termikus sokknak és magas kúszási ellenállással rendelkeznek. Ezen tulajdonságok ellenére is a forgácsolás a legelterjedtebb megmunkálási technológia [1] [6].

Ahogy az 1. ábra is szemlélteti, a repülőgépiparban használatos sugárhajtóművek valamennyi részegységében alkalmazzák ezen ötvözeteket. [2] [3].



1. ábra: Sugárhajtómű keresztmetszeti ábrázolása

\* Kapcsolattartó szerző. E-mail cím: konya.gabor@gamf.uni-neumann.hu

## 2. A kísérlethez felhasznált alapanyag kémiai összetétele és tulajdonságai

A horonymaráshoz speciális vákuumöntéssel előállított GTD-111 jelű Ni-bázisú szuperötvözet került felhasználásra, melynek kémiai összetétele az 1. táblázatban, míg a 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	-

2. Táblázat. GTD-111 mechanikai tulajdonságai

Szakítószilárdság, $R_m$ (MPa)	Nyúlás, $A_s$ (%)	Kontrakció, $Z$ (%)	Keménység, HRC
1310	5	5	41,4

Amint az 1. táblázatban megfigyelhető, az ötvözet több, mint 60%-a nikkelt, továbbá olyan ötvözőket is tartalmaz (pl. króm), melyek a forgácsolást tovább nehezítik.

## 3. Kísérleti körülmények

A kísérletek egy NCT EmL-850D 5AX típusú CNC megmunkáló központon kerültek elvégzésre kellően nagy merevsége miatt.

A megmunkálás Walter Proto max<sup>TM</sup><sub>ST</sub> H4038217-8-1 típusú 8 mm átmérőjű, 4 élű, tömör keményfém hosszlyukmarókkal történt, melyekből 4 db új és 4 db újraélezett szerszám állt a rendelkezésére.

Erő – és nyomaték mérése KISTLER 9125A24A2 típusú forgó erőmérővel történt, a kapott eredmények DynoWare 2825A1-2 szoftver segítségével kerültek kiértékelésre.

A kísérletek során alkalmazott technológiai paraméterek a 3. és 4. táblázatban tekinthetők meg.

3. Táblázat. Telibemaráshoz alkalmazott technológiai paraméterek

$a_p$ (mm)	$f_z$ (mm/fog)	$v_c$ (m/min)
8,00	0,02	19

4. Táblázat. CAM – stratégiákkal végzett marás során alkalmazott technológiai paraméterek

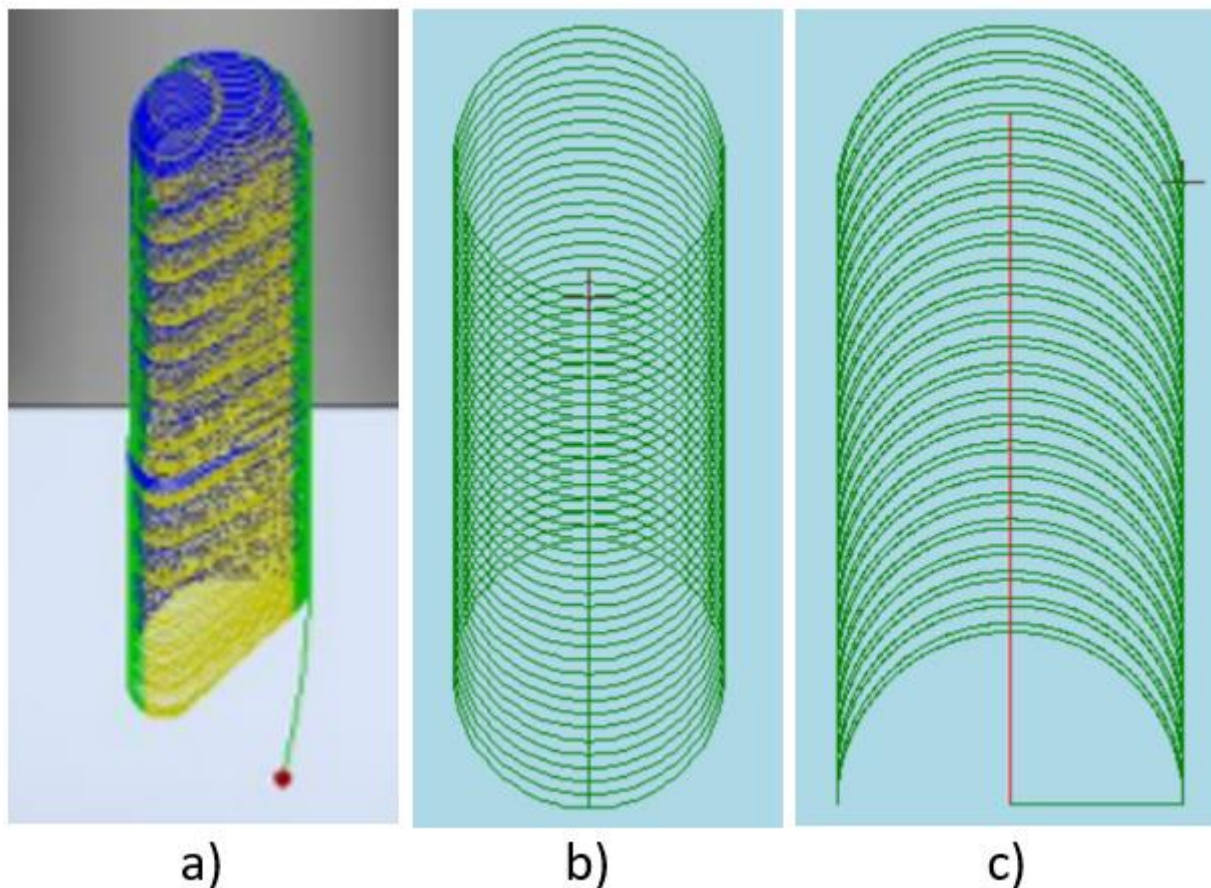
$a_p$ (mm)	$a_e$ (mm)	$f_z$ (mm/fog)	$v_c$ (m/min)
8,00	0,2	0,02	19

Mint ismeretes, az egyes megmunkálási stratégiáknak jelentős hatásuk van mind a szerszáméltartamra, mind a megmunkált felületek minőségére egyaránt, ugyanez érvényes egyéb hidegképlékeny felület javító eljárások esetén is [5], ezért is fontos e stratégiák kutatása, valamint újak megalkotására.

A kísérletekhez szükséges CAM stratégiák Autodesk Inventor HSM® programban és NCT 304 vezérlőn paraméteres programozással készültek. A kutatás során az alábbi stratégiák kerültek vizsgálatra:

- telibemaráshoz
- adaptív stratégia,
- körkörös trochoid stratégia és
- lengő inga stratégia.

A fent említett stratégiák a 2. ábrán figyelhetők meg.



2. ábra: A kísérletek során alkalmazott CAM stratégiák szerszámpályái: a) adaptív stratégia, b) körkörös trochoid stratégia, c) lengő inga stratégia

A telibemarással 8 mm mély horony volt megmunkálva törésig, a fenti három CAM stratégiákkal pedig 8 mm hosszú, 8 mm mély és 12 mm széles hornyok voltak megmunkálva elárasztásos hűtés mellett.

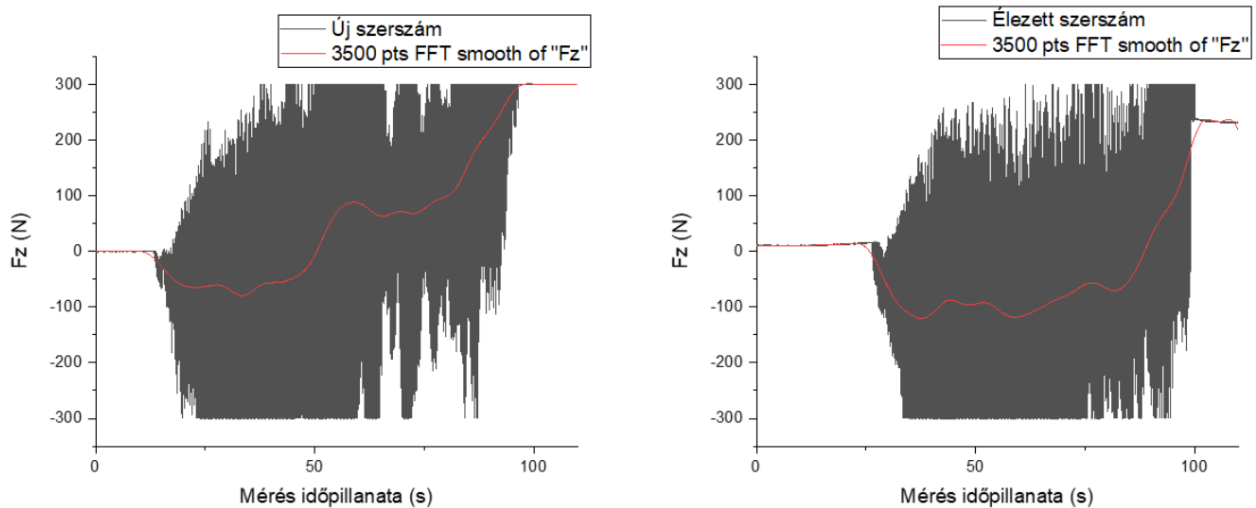
## 4. Eredmények kiértékelése

### 4.1. Forgácsoló erők – és nyomatékok

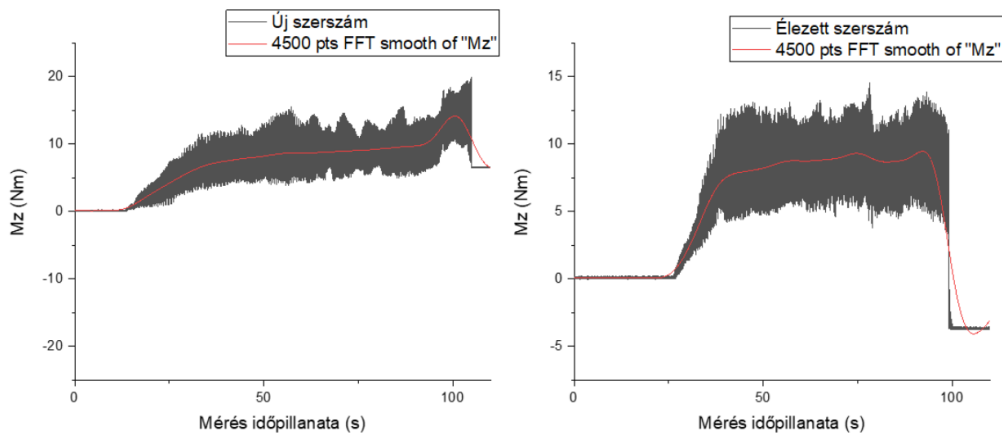
#### 4.1.1. Telibemarás

A hagyományos horonymarás során kapott eredményeket a 3. ábra szemlélteti, melyeken megfigyelhető, hogy mindkét típusú maró negatív erőt eredményez a Z-tengely (tengelyirányban) mentén, mindaddig, amíg a szerszámok el nem érték az élettartamuk végét. Ez a jelenség a szerszám élgeometriájának tudható be, ugyanis annak kialakításából adódóan a megmunkálás közben a munkadarab ki szeretné húzni azt az orsóból. Természetesen ez a legtöbb ujjmaróval történő forgácsolásnál jelentkező probléma, de igazán gondot a nehezen megmunkálható anyagoknál jelenthet, ha kihúzza a szerszámot a patronból.

Összehasonlítva a 3. és 4. ábrán látható két típusú maróval történő mérés erő – és nyomaték diagramját, jól látható, hogy az új szerszám több, mint 20%-kal nagyobb forgácsolóerőt és 50%-kal nagyobb nyomatékot viselt el a szerszám töréséig.

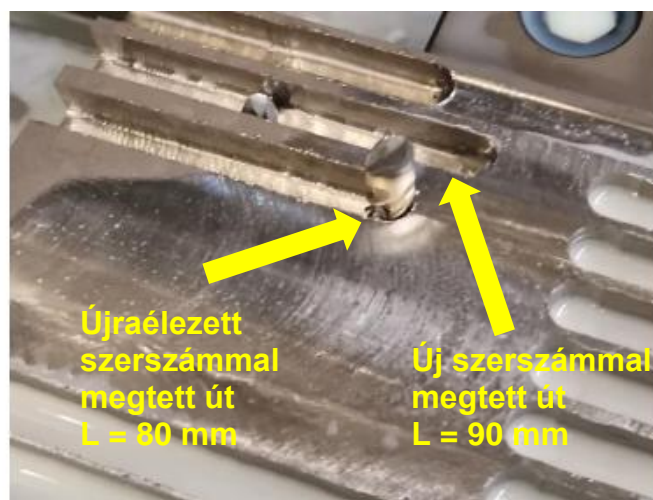


3. ábra: Új szerszámmal (bal), újraélezett szerszámmal (jobb) történő marás során mért forgácsolóerő



4. ábra: Új szerszámmal (bal), újraélezett szerszámmal (jobb) történő marás során mért nyomaték

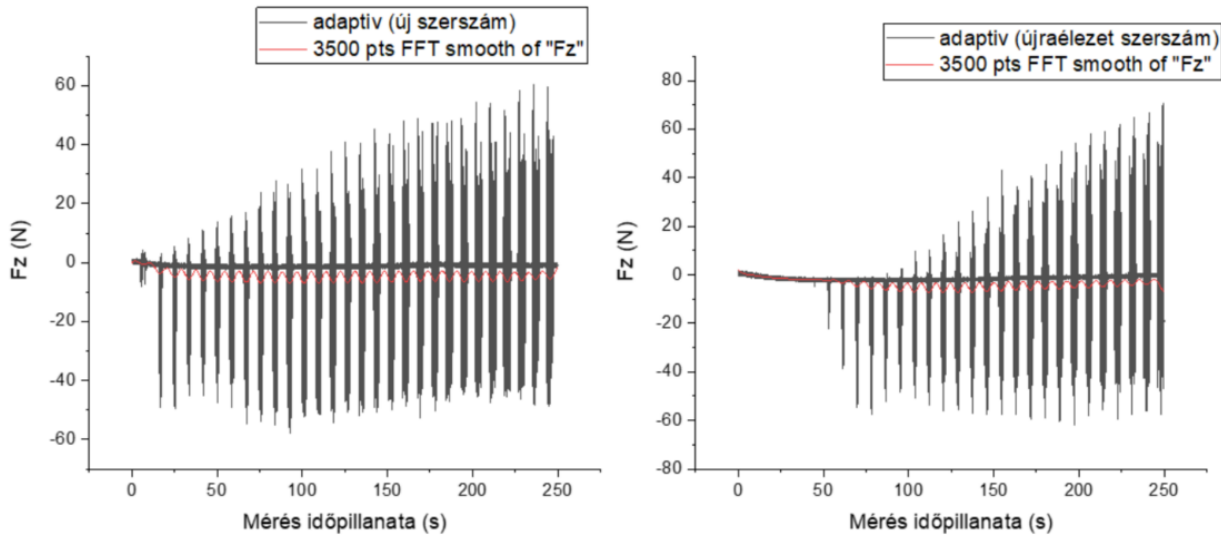
Mindkét állapotú (új és újraélezett) szerszám teljesítőképessége törésig történő használat mellett került vizsgálva, melynek eredményét a 5. ábra szemléltet.



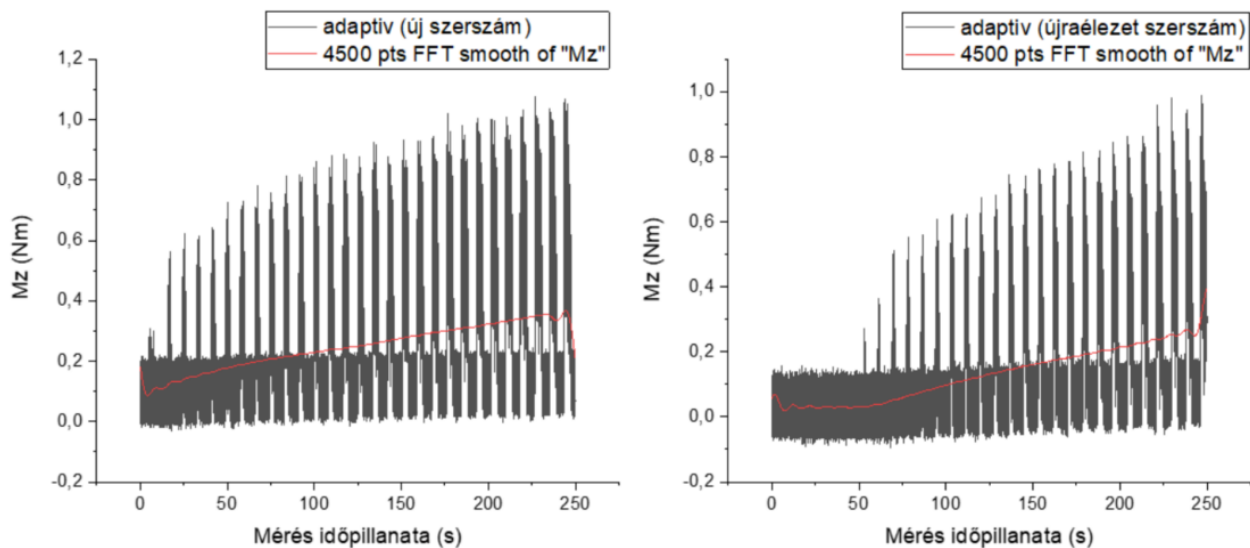
5. ábra: Az elkészített hornyok és a megmunkálás közben eltört szerszámok maradványai

#### 4.1.2. Adaptív stratégiával végzett horonymarás

Az adaptív stratégiával végzett horonymarás során mért forgácsolóerő- és nyomaték diagramok az 6. és 7. ábrán figyelhetők meg, melyeken jól azonosítható, hogy azonos horony méretek megmunkálása esetén az új szerszám esetében kicsivel több, mint 20%-kal kisebb forgácsolóerő lépett fel, mint az újraélezett szerszám esetében. A nyomaték értékek közel azonosak voltak mindkét esetben.



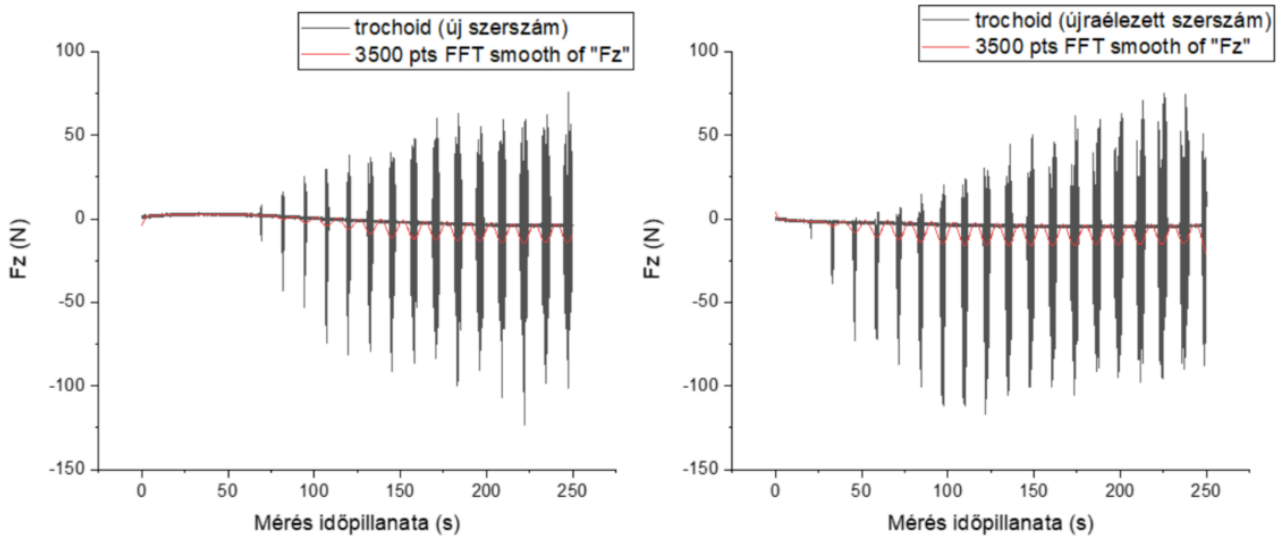
6. ábra: Új szerszámmal (bal), újraélezett szerszámmal (jobb) történő marás során mért forgácsolóerő



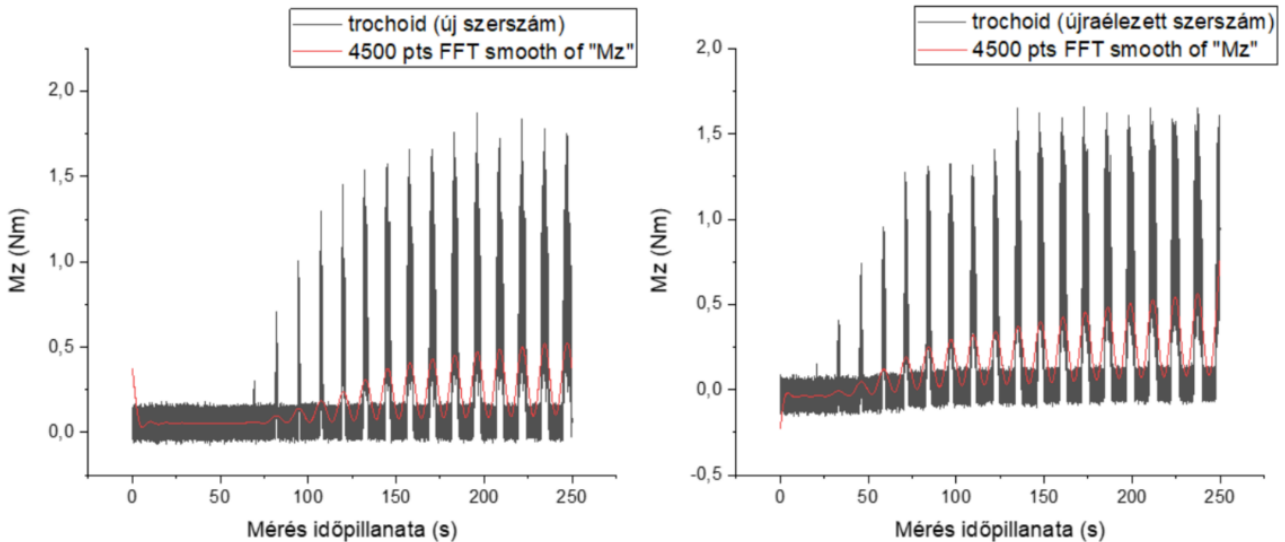
7. ábra: Új szerszámmal (bal), újraélezett szerszámmal (jobb) történő marás során mért nyomaték

#### 4.1.3. Körkörös trochoid stratégiával végzett horonymarás

A körkörös trochoid stratégiával végzett horonymarás során kapott forgácsoló erő – és nyomaték diagramok a 8. és 9. ábrán figyelhetők meg. Ezen stratégia esetében nem figyelhető meg a forgácsoló erőben szignifikáns különbség, mindkét esetben 70 N körüli maximális értékek figyelhetők meg. A nyomaték diagramokat elemezve jól látható, hogy a nyomaték értékek azonosak a két szerszám állapotnál, azonban az újraélezett szerszám esetében egy meredekebb felfutás jellemzi a görbét, mely visszavezethető arra, hogy a használt szerszám teljesítőképessége rosszabb, mint az új szerszámé.



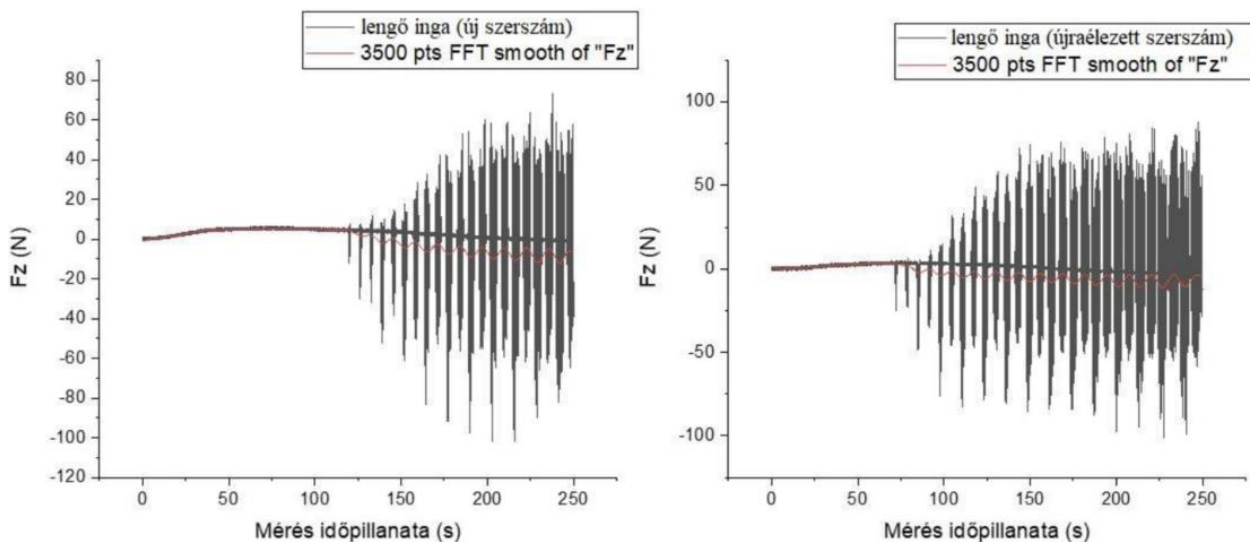
8. ábra: Új szerszámmal (bal), újraélezett szerszámmal (jobb) történő marás során mért forgácsolóerő



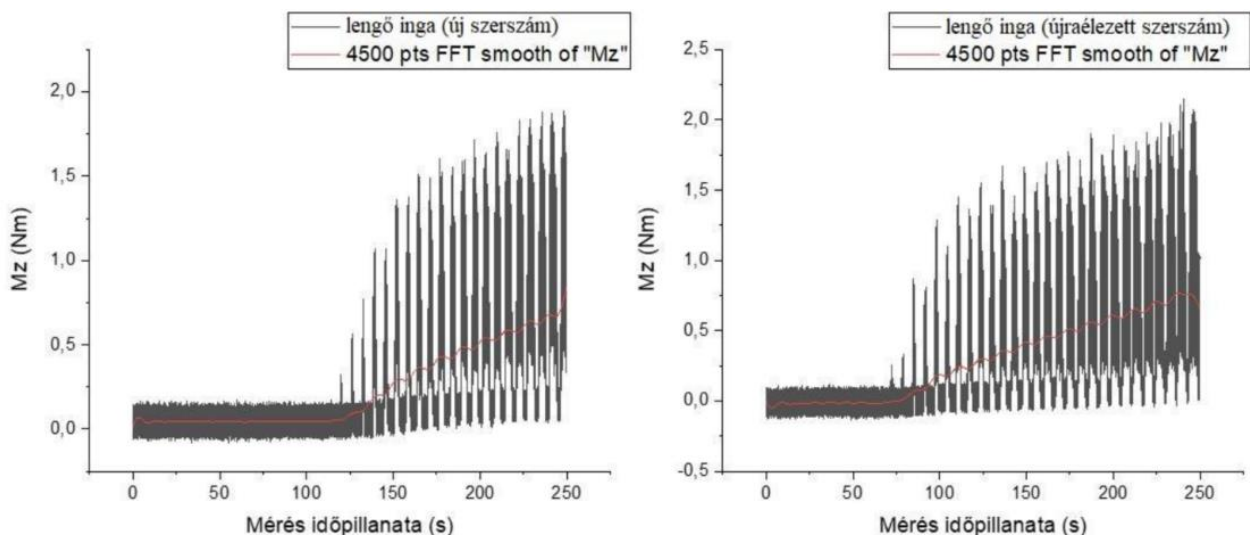
9. ábra: Új szerszámmal (bal), újraélezett szerszámmal (jobb) történő marás során mért nyomaték

#### 4.1.4. Lengő inga stratégia

Lengő inga stratégiával végzett horonymaráskor ébredő forgácsoló erő – és nyomaték diagramok a 10. és 11. ábrán láthatók. E stratégiánál az új szerszám 15%-kal kisebb forgácsoló erő értéket ért el a megmunkálás során, mint az újraélezett szerszám. A nyomatékgörbék mindkét esetben meredek felfutásúak, a maximális érték az új szerszám esetében 1,8 Nm, míg az újraélezett esetében 2,1 Nm, mely érték 17%-kal nagyobb az új szerszámmal kapott eredményhez képest.



10. ábra: Új szerszámmal (bal), újraélezett szerszámmal (jobb) történő marás során mért forgácsolóerő

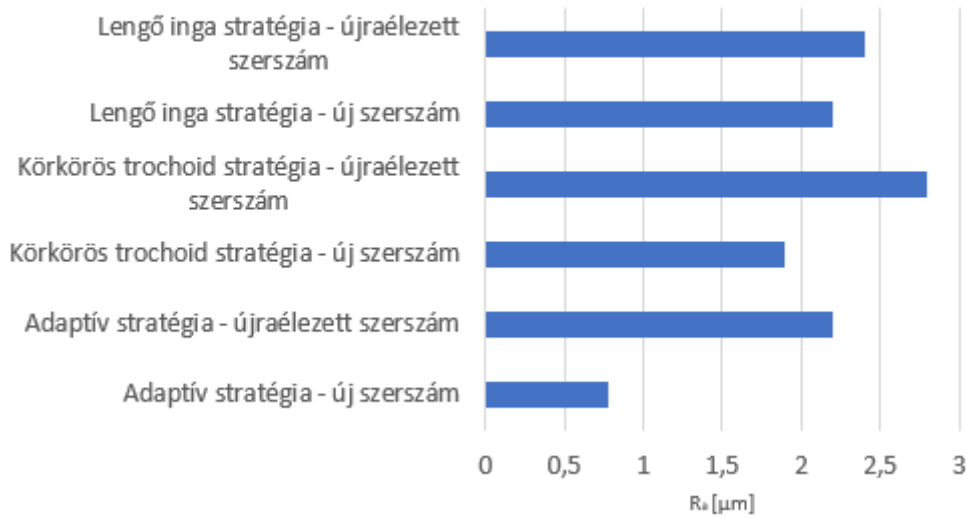


11. ábra: Új szerszámmal (bal), újraélezett szerszámmal (jobb) történő marás során mért nyomatók

#### 4.2. A megmunkált hornyok felületi érdessége

A megmunkált hornyok átlagos felületi érdességei Mitutoyo C-3000 profil és érdességmérővel voltak mérve. A mért eredmények az egyes stratégiák függvényében a 12. ábrán látható. Jól megfigyelhető, hogy a legjobb eredményt az Autodesk Inventor HSM®-be beépített adaptív stratégia hozta az új szerszámmal. A legrosszabb eredményt a lengő inga stratégia eredményezte, amelyet alátámaszt a megmunkálás során is tapasztalt erős rezgések is.

### Hornycok átlagos felületi érdessége a stratégiák függvényében

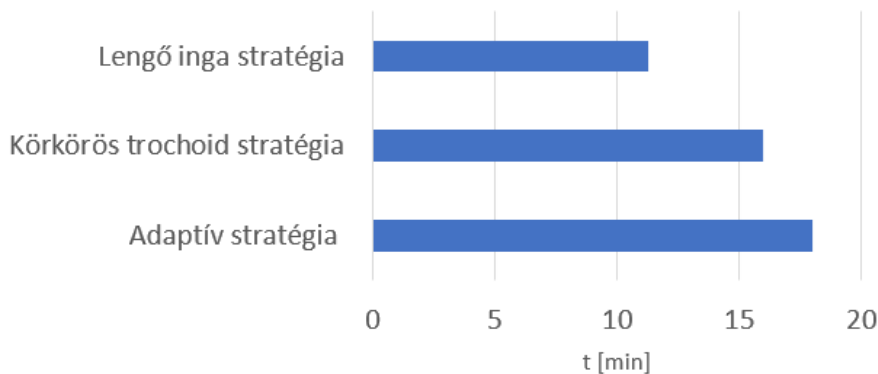


2. ábra: Hornycok felületi érdessége a stratégiák függvényében

#### 4.3. Megmunkálási idők

A megmunkálási idők az egyes stratégiák függvényében a 13. ábrán láthatóak. Jól szemlélteti, hogy a legtöbb megmunkálási idő az adaptív stratégiához szükséges, valamint azt is, hogy a lengő inga stratégiával végzett horonymaráshoz közel 40%-kal kevesebb idő szükséges ugyanazon horonyméret esetén.

### Megmunkálási idők a stratégiák függvényében



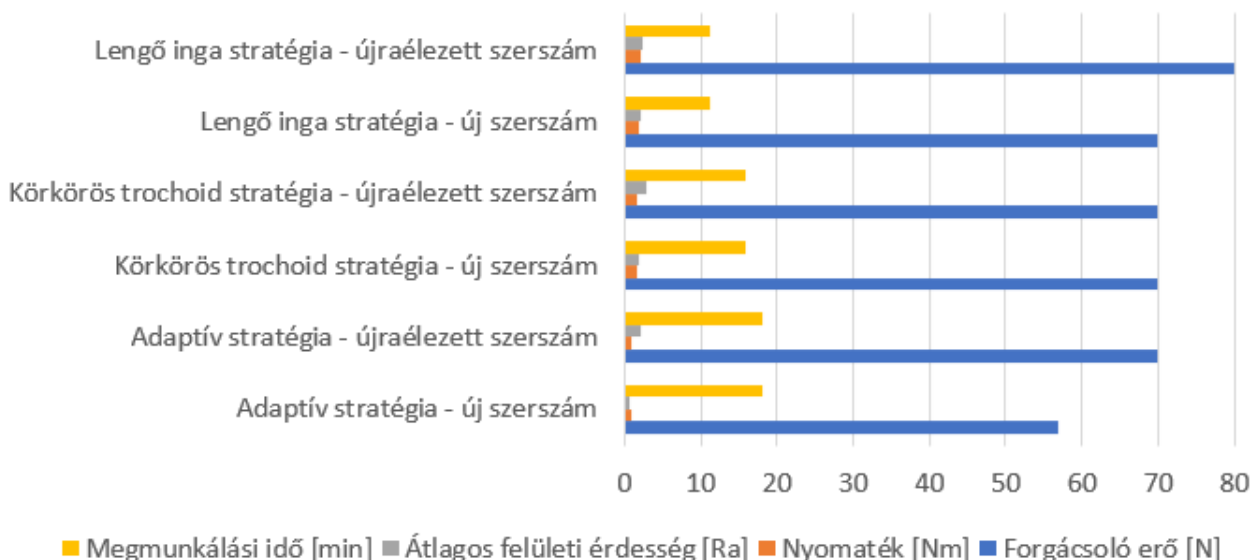
3. ábra: Megmunkálási idők az egyes stratégiák függvényében

## 5. Összegzés

A kutatómunka eredményeinek összegzéseként megállapítható tendenciákat minden egyes stratégia esetén, hogy a kedvező szerszámterhelések és a megmunkált hornycok átlagos felületi érdessége egyenesen arányos a megmunkálási idő növekedésével, melyet az egyes stratégiák függvényében készült 14. ábra szemléltet. Összességében az adaptív stratégia a legkedvezőbb a szerszám élettartamára, valamint a hornycok felületi minőségére nézve, azonban ezzel tart legtöbbször a megmunkálás is.



## Eredmények összegzése a stratégiák függvényében



4. 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] 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
- [3] R. M'Saubi, J.C. Outeiro, H. Chandresekaran, O.W Dillon Jr., I.S. Jaehahir (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
- [4] Kodácsy J., Kovács Zs. F., Viharos Zs. J. (2015): A Ni-bázisú szuperötvözetek megmunkálhatósága horonymaráskor, Gradus Vol 2, pp. 142-146. ISSN: 2064-8014
- [5] Zs. F. Kovács, Zs. J. Viharos, J. Kodácsy (2020): Surface flatness and roughness evolution after magnetic assisted ball burnishing of magnetizable and non-magnetizable materials, Measurement, Vol. 158, 107750  
DOI: 10.1016/j.measurement.2020.107750
- [6] 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