

SZÁRAZ MEGMUNKÁLÁS, EMULZIÓ OLAJKONCENTRÁCIÓJÁNAK ÉS A SZERSZÁMBEVONATOK HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA AZ ESZTERGÁLÁS KIMENETI JELLEMZŐIRE

THE EFFECTS OF DRY MACHINING, EMULSION OIL CONCENTRATION AND TOOL COATINGS ON OUTPUT PARAMETERS OF TURNING PROCESS

Molnár István Ferenc ⁰⁰⁰⁹⁻⁰⁰⁰⁰⁻³⁹⁴⁹⁻⁴⁰⁷⁷ ¹, Kónya Gábor ⁰⁰⁰⁰⁻⁰⁰⁰³⁻¹⁵³¹⁻⁵⁹²¹ ^{1, 2*}

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

² Gépjárműtechnológia Tanszék, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Magyarország
<https://doi.org/10.47833/2025.1.ENG.001>

Kulcsszavak:

Esztergálás
Szerszámbevonatok
Forgácsoló erő
Szerszámkopás
Felületi érdesség

Keywords:

Turning
Tool coatings
Cutting force
Tool wear
Surface roughness

Cikktörténet:

Beérkezett 2024.december 9.
Átdolgozva 2025.január 25.
Elfogadva 2025.január 27.

Összefoglalás

Jelen publikációban a száraz megmunkálás, az emulzió olajkoncentrációjának és a szerszámbevonatok hatásait elemeztük Taguchi-kísérlettervezési módszer segítségével a forgácsoló erőre, a szerszámkopásra, valamint a megmunkált alkatrész különböző felületi érdességi jellemzőire nézve, azonos technológiai paraméterek mellett rozsdamentes acél esztergálása során. A célunk annak meghatározása, hogy az egyes bemeneti jellemzők milyen hatást fejtenek ki a vizsgált tényezőkre. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a forgácsoló erőre nézve a bevonatoknak jelentősebb hatása van, mint a hűtés-kenési módszereknek, míg a szerszámkopásra és az érdességi paraméterekre vonatkozóan a hűtés-kenési eljárásoknak van nagyobb hatása. Minden tényezőt figyelembe véve, AlTiN bevonatos lapkát célszerű használni 9%-os olajkoncentráció mellett.

Abstract

In this paper, the authors analyzed the effects of dry machining, the oil concentration in emulsion, and tool coatings on cutting force, tool wear, and various surface roughness characteristics of machined parts using the Taguchi experimental design method under identical technological parameters during the turning of stainless steel. The goal was to determine the impact of individual input parameters on the investigated factors. Based on the results, it can be concluded that tool coatings have a more significant effect on cutting force compared to cooling-lubricating methods, while the latter have a greater impact on tool wear and surface roughness parameters. Taking all factors into account, it

¹ Kapcsolattartó szerző: Email: molnar.istvan2@nje.hu

is advisable to use AlTiN-coated inserts with a 9% oil concentration.

1. Bevezetés

Az X5CrNi18-10 (1.4301, AISI 304) anyagminőségű ausztenites rozsdamentes acélt széles körben használják az élelmiszer – és vegyipari berendezéseknél, a repülőgép – és autópárhuzban [1] kiváló korrózióállóságuk, magas hőmérsékleten történő használhatóságuk és kúszásállóságuk miatt [2]. Ezen iparágak számára szükséges alkatrészek jelentős része esztergálással készül [3], melyhez elengedhetetlen a megmunkálendő alapanyag megmunkálás közbeni viselkedésének ismerete. A rozsdamentes acélokra megmunkálás közben jellemző a magas hőmérsékleten történő felkeményedés, az alacsony hővezetőképesség, nagy szakítószilárdság és szívósság [4]. Hővezetőképessége a Ni-bázisú szuperötvözetekhez hasonlóan harmada a hagyományos szénacélokéhoz képest [5], [6]. Ennek eredményeképp a forgácsolási zónában a forgácsolási hőmérséklet az 1000 °C-ot is elérheti, mely hőnek közel 80%-a a forgácsolóélt fogja terhelni, ami a diffúzió és oxidáció révén felgyorsítja a kopást [7]. Emellett a megmunkálás során jelentős szerepet játszik az adhézió, ami élrátét kialakulásra hajlamosít [8].

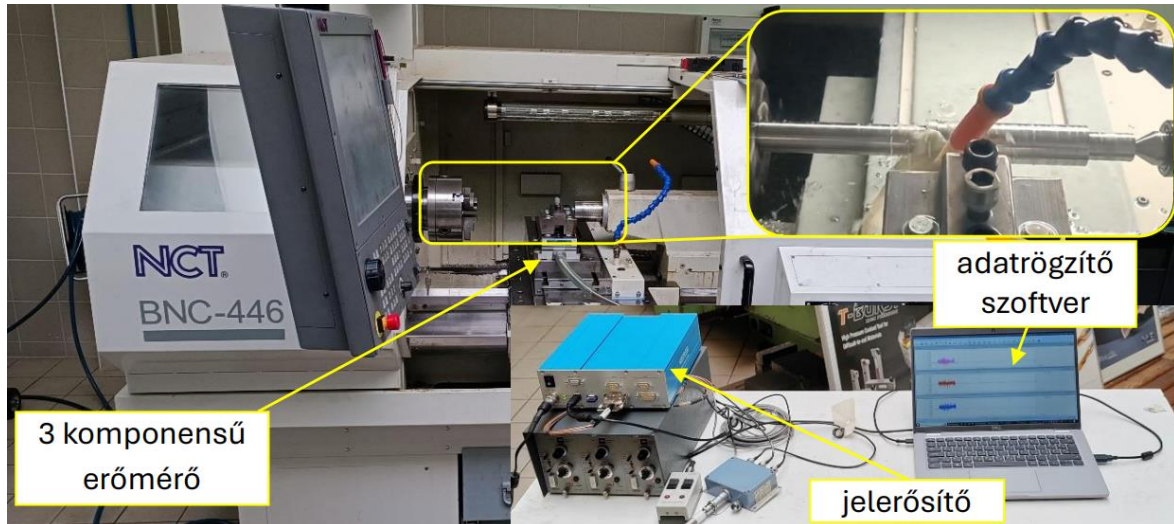
A kutatások jelentős része elsősorban a forgácsolási technológia hatékonyságának javítására fókuszál, olyan területeket érintve, mint a forgácsoló erő [9], a szerszámkopás és éltartam [10], valamint az energiafelhasználás [11]. A felületi érdesség vizsgálatával kapcsolatosan azonban kevesebb kutatás született. A forgácsolási kutatások jellemzően az Ra és Rz érdességi paraméterek vizsgálatánál nem mennek mélyebbre, amely alapvetően nem meglepő, mert ez a két legáltalánosabb használt érdességi paraméter az iparban [12]. A megmunkált felületek funkcionalitását azonban sok esetben más érdességi/tribológiai paraméterek jellemzik, mint az Rsk , Rku , Rvk és Rpk [13] [14]. Ezen érdességi paraméterek vizsgálata különösen fontos az autó- és repülőgépiparban használatos alkatrészek esetén [15].

Ba és társai [16] az előtolás és fogásmélység hatásait vizsgálták különböző érdességi paraméterekre AISI1020 száraz környezetben történő hosszesztergálása során, mely során megállapították, hogy az előtolás növelésével nőnek ezen érdességi paraméterek értékei is. A fogásmélység hatása elhanyagolható kutatásuk alapján. Nagy és Varga [17] eredményei is megerősítik, hogy a keletkező felületi minőségre az előtolás a legszignifikánsabb, ezt követi a forgácsoló sebesség és a hűtés-kenési módszer (száraz, emulziós). Továbbá azt is megállapították, hogy száraz megmunkálásnál az alacsonyabb előtolás, emulziós hűtés pedig a száraz megmunkálás a kedvezőbb. Balasundaram és Ratnam [18] kísérleteik során arra a megállapításra jutottak, hogy a megmunkálási idő függvényében az Ra -n kívül minden érdességi paraméter, úgy mint a Rq , Rz , Rt , Rsm értéke csökkent. Paris és munkatársai [19] a csúcscsúgar ($r_e = 0,4; 0,8; 1,2$ mm) hatásait vizsgálták az érdességi paraméterekre. Az $r_e = 1,2$ mm-es csúcscsúgaral érték el a legalacsonyabb Ra és Rz érdességi értékeket. A csúcscsúgar az Rku -ra nem volt hatással, azonban a legkedvezőbb Rsk -t $r_e = 0,8$ mm-es csúcscsúgaral történő megmunkálással érték el. A legkisebb Rpk -t $r_e = 1,2$ mm-es, a legnagyobb Rvk -t $r_e = 0,4$ mm-es csúcscsúgaral történő esztergálás után mérték.

Szakirodalmi kutatásunk alapján célunk jelen publikációban a száraz megmunkálás, az emulzió olajkoncentrációjának, és a bevonat nélküli, valamint bevonatos szerszámok hatásának vizsgálata a forgácsoló erőn és a szerszámkopáson túl az Ra , Rz , Rsk és Rku érdességi jellemzőkre.

2. Kísérlettervezés

Jelen publikációban a száraz megmunkálás, az emulzió olajkoncentrációjának és szerszámbevonatok hatásait vizsgáljuk a forgácsoló erőre, a szerszámkopásra és a megmunkált alkatrész érdességi paramétereire nézve 1.4301 ausztenites rozsdamentes acél esztergálása során, melyhez kapcsolódó kísérlet körülményei az 1. ábrán, valamint az 1. táblázatban, a kísérletterv pedig a 2. táblázatban látható.



1. ábra. Kísérleti összeállítás

1. Táblázat. Kísérleti körülmények

Szerszámgép	NCT BNC-446								
Szerszám	Mitsubishi Materials által gyártott CNMG1200404-MS típusú keményfém lapka								
Szerszámbevonatok	Jelölés			Bevonat típus					
	RT9010			Bevonat nélküli					
	US735			Egyrétegű, vékony TiN					
	VP15TF			Egyrétegű AlTiN					
Erőmérő	Kistler 9257B típusú, 3 komponensű, piezoelektromos elven működő erőmérő, Kistler 5007 típusú analóg jelerősítő, Kistler 5697 típusú jelfeldolgozó egység, mérési pontossága ± 5 N Adatrögzítés: Dynoware szoftver Kiértékelés: OriginPro 2021								
Alapanyag	X5CrNi18-10 (1.4301)								
Mechanikai tulajdonság jellemzők [18]	Szakítószilárdság, R_m (MPa)		Nyúlás A_5 (%)		Vickers keménység (HV)		Brinell keménység (HB)		
	500-750		35-45		220-450		215		
Kémiai összetétel [20]	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Ni (%)	N (%)	Fe (%)
	$\leq 0,07$	$\leq 1,00$	$\leq 2,00$	$\leq 0,045$	$\leq 0,03$	17,5-19,5	8,00-10,5	$\leq 0,11$	M.

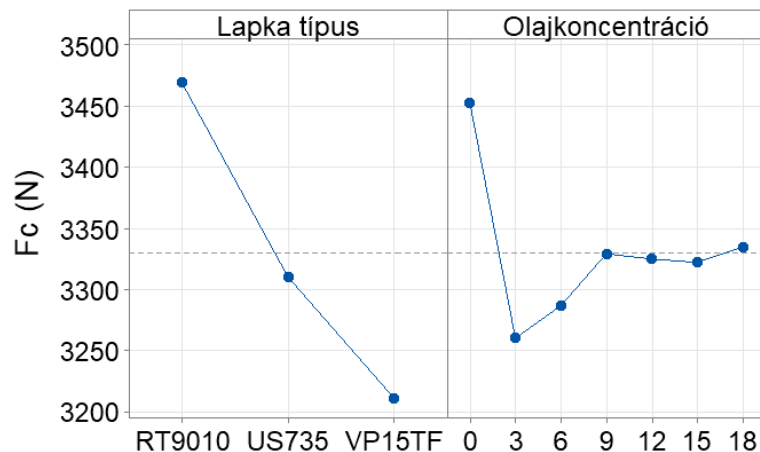
2. Táblázat. Kísérletterv

Megmunkálás típusa	Hosszesztergálás, megmunkálási hossz 5x100 mm = 500 mm							
Technológiai paraméterek	Forgácsoló sebesség, v_c (m/min)	Fordulatonkénti előtolás, f (mm/ford.)			Fogásmélység, a (mm)			
	100	0,3			1			
Emulzió	MOL Emolin 120 típusú, biostabil, vízzel elegyíthető, fél-szintetikus olaj							
Érdességmérés	Mitutoyo Formtracer SV-C3100 tapintós érdességmérő							
Vizsgált paraméterek hosszsztergálás során								
Faktorok	Szintek							
Lapkatípus	RT9010		VP15TF			US735		
Olajkoncentráció (%)	0 (száraz)	3	6	9	12	15	18	

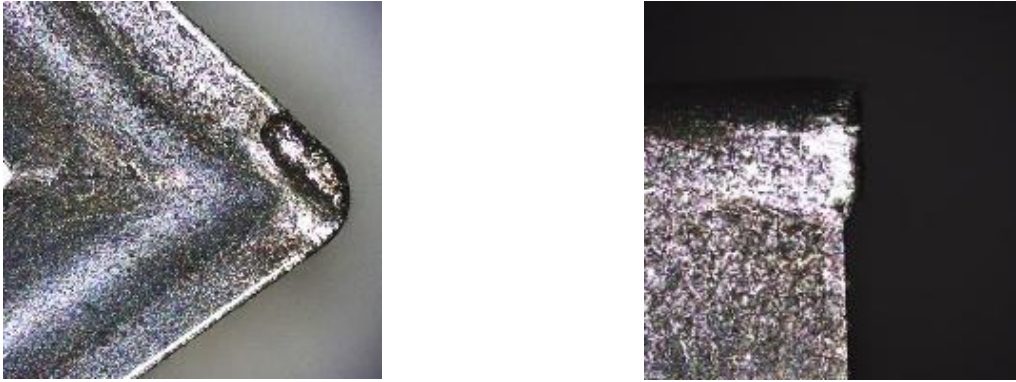
3. Eredmények

3.1. Forgácsoló erő

Taguchi analízis alapján látható, hogy főleg száraz megmunkálás esetén a bevonatok használata elengedhetetlen (2. ábra), hiszen a bevonatok csökkentik a súrlódási együtthatót a forgácsolási zónában, másrészt növelik a kémiai affinitással szembeni ellenállóságot, ezzel csökkentve az élrátét kialakulásának lehetőségét. Az RT9010-es lapkán (3. ábra) képződött élrátét magas forgácsolási hőmérsékletet és nyomást jelez a forgácsolási zónában, továbbá ez az élrátét szerepet játszik a forgácsoló erő növekedésében. A hűtés-kenési módszer megválasztásának kisebb hatása van a forgácsoló erőre nézve, mint a szerszámbevonatoknak, azonban az emulziós hűtés jelentősen csökkentette azt. A legkisebb forgácsoló erőt 3%-os olajkoncentráció esetén mértük, a koncentrációt növelve 9%-ig folyamatosan nőtt, e fölött érdemi hatást nem váltott ki. Ez annak tudható be, hogy az emulzióban lévő olajtartalom egy plusz bevonatot képez a forgácsolóélen, melynek következtében az élradiusz is növekszik, így növelve a forgácsoló erőt.



2. ábra. Bevonatok és az olajkoncentráció hatása a forgácsoló erőre

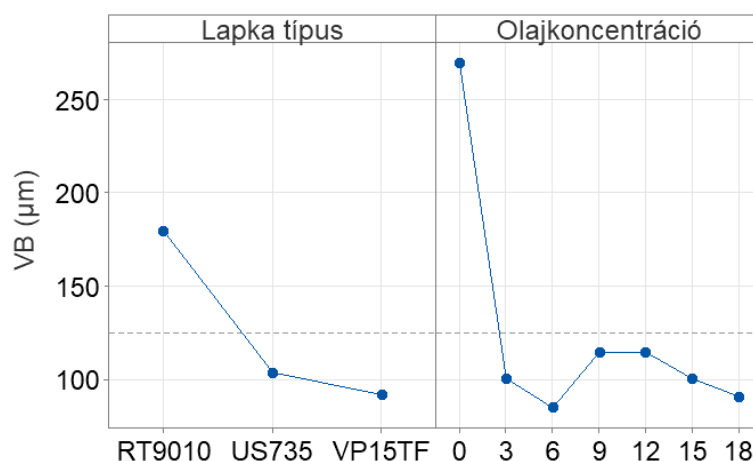


3. ábra. RT9010-es típusú lapka száraz megmunkálás után

3.2. Szerszámkopás

A bevonatok és hűtés-kenés módja, valamint az olajkoncentráció hatása a szerszámkopásra a 4. ábrán látható. A hátkopásokat Olympus LEXT OLS5000 típusú konfokális mikroszkópon vizsgáltuk és a kapott értékek elemzéséből kitűnik, hogy a hűtés-kenési módszer megválasztásának van a legnagyobb hatása a szerszámkopásra, miszerint az emulziós hűtés több, mint 50%-kal csökkentette a hátkopás nagyságát a száraz megmunkáláshoz képest, mely az emulzió által biztosított hűtésnek és kenésnek köszönhető. Taguchi-analízis alapján a 6%-os olajkoncentrációval történő megmunkálás a legkedvezőbb a hátkopásra, azonban ezt az eredményt árnyalja, hogy a 9%-os olajkoncentrációval történő megmunkálás esetén az RT9010-es lapka nagymértékű hasítókopást szenvedett el, így, ha ezt nem vesszük figyelembe, akkor a másik két bevonatos lapka esetén a 9%-os emulzió olajkoncentráció a legkedvezőbb. 9% fölé az emulzió olajkoncentrációját nem érdemes növelni, ugyan némi csökkenés figyelhető meg a hátkopás nagyságában, azonban ennek értéke nem kisebb, mint a 6 és 9%-os olajkoncentráció esetén.

A két bevonatos lapka között nagy eltérés nem figyelhető meg, azonban a bevonatos és a bevonat nélküli lapka hátkopása között jelentős csökkenés látható, a bevonat alkalmazása közel felére csökkentette a hátkopás nagyságát, mely a bevonatok hő- és kopásállóságának, valamint súrlódáscsökkentő hatásának köszönhető.

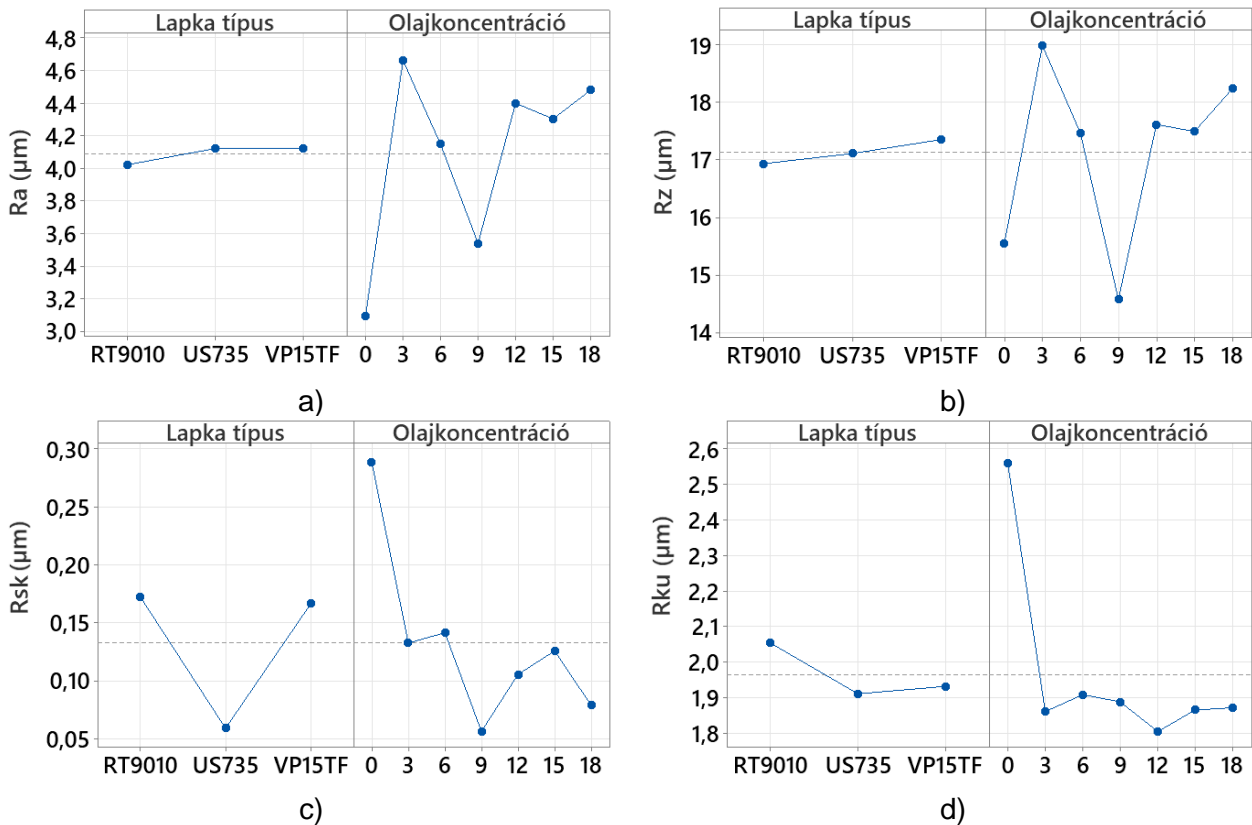


4. ábra. Bevonatok és az olajkoncentráció hatása a szerszámkopásra

3.3. Megmunkált felület érdességi jellemzői

A megmunkált felületeket Mitutoyo Formtracer SV-C3100 tapintós érdességmérővel vizsgáltuk, melyeknek az eredménye az 5. ábrán levő grafikonon látható, itt megfigyelhető, hogy valamennyi érdességi paraméter egyazon hűtés-kenési módszerrel nem javítható, így a tervezés fázisában el kell dönteni, hogy mely érdességi jellemzők a fontosak az alkatrész funkcionalitásának szempontjából, és a megmunkálást úgy kell beállítani. Az értékelésnél „smaller is better” formulát

használtunk, mivel a cél, hogy ezen érdességi értékek minimalizáljuk. Valamennyi érdességi paraméter esetén elmondható, hogy a hűtés-kenés módjának, valamint az olajkoncentrációnak van a legnagyobb hatása a funkcionális felület kialakításában, ehhez képest a szerszámbevonatok hatása elhanyagolható. Az R_a és R_z érdességi paraméter esetén az RT9010-es bevonat nélküli lapka volt a kedvezőbb. Mindkét érdességi paraméter száraz megmunkálással jól javítható, azonban R_z esetén a 9%-os olajkoncentráció kedvezőbb volt azért, hogy az emulziós hűtés szerintünk csökkentette a forgácsolás közben fellépő rezgést, mely nem másolódott fel a munkadarab felületére. Az R_{sk} - R_{ku} statisztikai paraméterrel a megmunkálások egy tribológiai térképen belül jól jellemezhetők. Az R_{ku} esetén általános cél, hogy kisebb legyen, mint 3, ezt valamennyi beállítással sikerült elérni. Ezen érdességi paraméterek esetén is megállapítható, hogy az emulziós hűtés kedvezőbb, az R_{sk} esetén a 9%-os, még az R_{vk} esetén 12%-os olajkoncentrációval. Mivel az R_{ku} esetén kisebb a lépcső a 9% és 12%-os olajkoncentráció között, mint az R_{sk} esetén, így a 9%-os olajkoncentrációval történő megmunkálás a javallott.



5. ábra. Bevonatok és az olajkoncentráció hatása az érdességi jellemzőkre

4. Összegzés

Jelen publikációban a hűtés-kenési módszerek, az emulzió olajkoncentrációjának és a szerszámbevonatok hatásainak vizsgálatával foglalkoztunk a forgácsoló erőre, a szerszámkopásra és az R_a , R_z , R_{sk} , R_{ku} érdességi jellemzőkre nézve 1.4301 anyagminőségű ausztenites rozsdamentes acél esetén. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a forgácsoló erőre nézve a bevonatoknak jelentősebb hatása van, mint a hűtés-kenési módszereknek, míg a többi kimeneti jellemzőre vonatkozóan a hűtés-kenési eljárásoknak van nagyobb hatása. Minden tényezőt figyelembe véve, bevonatos lapkát célszerű használni 9%-os olajkoncentráció mellett.

A jövőben érdemes lehet folytatni a kísérletet ugyanezen technológiai paraméterek mellett, de a minimálkenési eljárás és a kriogén hűtés hatásait figyelve az forgácsoló erőre, szerszámkopásra és a megmunkált felületi minőségére.

Köszönetnyilvánítás

Jelen publikáció a 2024-2.1.1-EKÖP-2024-00008 projekt keretében jött létre.

A 2024-2.1.1-EKÖP-2024-00008 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a 2024-2.1.1-EKÖP pályázati program finanszírozásában valósult meg



Irodalomjegyzék

- [1] Kumar, A., Sharma, R., Kumar, S., Verma, P.: A review on machining performance of AISI 304 steel, *Materials Today: Proceedings*, 2022, Vol. 56, pp. 2945–2951, DOI: 10.1016/j.matpr.2021.11.003
- [2] Deshpande, N., Vasudevan, H.: Machining Induced Surface Integrity Aspects of Stainless Steels: A Review, *Materials Today: Proceedings*, 2020, Vol. 22, pp. 1499–1506, DOI: 10.1016/j.matpr.2020.02.067
- [3] Dumas M., et al.: Turning-induced surface integrity for a fillet radius in a 316L austenitic stainless steel, *Journal of Manufacturing Processes*, 2021, Vol. 68, pp. 222–230, DOI: 10.1016/j.jmapro.2021.05.031
- [4] Dirviyam, P. S., Palanisamy, C.: Optimization of surface roughness of AISI 304 austenitic stainless steel in dry turning operation using Taguchi design method, *Journal of Engineering Science and Technology*, 2010, Vol. 5.
- [5] Kónya, G., Kovács, Z. F.: The Comparison of Effects of Liquid Carbon Dioxide and Conventional Flood Cooling on the Machining Conditions During Milling of Nickel-based Superalloys, *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, 2023, Vol. 67, No. 3, DOI: 10.3311/PPme.22265
- [6] Kónya, G., Kovács, Z. F.: Experimental investigation of the effects of cooling-lubricating methods on the slot milling process of GTD-111 type nickel-based superalloy, *Journal of Manufacturing Processes*, 2024, Vol. 119, pp. 98–108, DOI: 10.1016/j.jmapro.2024.03.074
- [7] Bapat, P. S., Dhikale, P. D., Shinde, S. M., Kulkarni, A. P., Chinchankar, S. S.: A Numerical Model to Obtain Temperature Distribution During Hard Turning of AISI 52100 Steel, *Materials Today: Proceedings*, 2015, Vol. 2, No. 4, pp. 1907–1914, DOI: 10.1016/j.matpr.2015.07.150
- [8] Korkut, I., Kasap, M., Ciftci, I., Seker, U.: Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic stainless steel, *Materials & Design*, 2004, Vol. 25, No. 4, pp. 303–305, DOI: 10.1016/j.matdes.2003.10.011.
- [9] Kónya, G., Kovács, Z. F.: Effects of Machining Parameters and Tool Reconditioning on Cutting Force, Tool Wear, Surface Roughness and Burr Formation in Nickel-Based Alloy Milling, *Materials*, 2023, Vol. 16, No. 22, DOI: 10.3390/ma16227140
- [10] Yadav, R., Kumar, M., Chakladar, N. D., Sidpara, A. M., Paul, S.: Evaluation of tool wear during micro-milling of ultrasonically assisted abrasive peened Ti-6Al-4V, *Wear*, 2024, Vol. 552–553, p. 205450, DOI: 10.1016/j.wear.2024.205450
- [11] Korkmaz, M. E., Günay, M.: Finite Element Modelling of Cutting Forces and Power Consumption in Turning of AISI 420 Martensitic Stainless Steel, *Arab J Sci Eng*, 2018, Vol. 43, No. 9, pp. 4863–4870, DOI: 10.1007/s13369-018-3204-4
- [12] da Silva, L. R., Couto, D. A., dos Santo, F. V., Duarte, F. J., Mazzaro, R. S., Veloso, G. V.: Evaluation of machined surface of the hardened AISI 4340 steel through roughness and residual stress parameters in turning and grinding, *Int J Adv Manuf Technol*, 2020, Vol. 107, No. 1, pp. 791–803, DOI: 10.1007/s00170-020-05046-x.
- [13] Ficzer, P.: Surface Anisotropy on 3D Printed Parts, *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, 2024, Vol. 68, No. 3, pp. 272–277, DOI: 10.3311/PPme.37770
- [14] Alzyod, H., Kónya, G., Ficzer, P.: Integrating additive and subtractive manufacturing to optimize surface quality of MEX parts, *Results in Engineering*, 2025, Vol. 25, p. 103713, DOI: 10.1016/j.rineng.2024.103713.

- [15] Maruda, R. W. et al.: Evaluation of turning with different cooling-lubricating techniques in terms of surface integrity and tribologic properties, *Tribology International*, 2020, Vol. 148, p. 106334, DOI: 10.1016/j.triboint.2020.106334.
- [16] Ba, E. C. T., Martins, P. S., Dumont, M. R.: Statistical study of surface texture and chip formation during turning of AISI 1020 steel: Emphasis on parameters Rsk, Rku, and Rk family and on the chip thickness ratio, *Int J Adv Manuf Technol*, 2022, Vol. 121, No. 11, pp. 8257–8283, DOI: 10.1007/s00170-022-09919-1.
- [17] Antal, N., Gyula, V.: Effect of abandonment of cooling and lubrication on surface roughness and cylindricity in turning of steel, *Multidiszciplináris Tudományok*, 2021, Vol. 11, No. 4, DOI: 10.35925/j.multi.2021.4.43.
- [18] Balasundaram, M. K., Ratnam, M. M.: In-process measurement of surface roughness using machine vision with sub-pixel edge detection in finish turning, *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, 2014, Vol. 15, No. 11, pp. 2239–2249, DOI: 10.1007/s12541-014-0587-3.
- [19] Paris, D., Rubio, J. C. C., Cruz, D. C., D. C., Antonialli, A. I. S., Ventura, C. E. H.: An analysis of the surface roughness of Ti–15Mo alloy machined with uncoated cemented tungsten carbide cutting inserts with different geometries, *J Braz. Soc. Mech. Sci. Eng.*, 2022, Vol. 44, No. 7, p. 309, DOI: 10.1007/s40430-022-03619-3.
- [20] Adatlap a DIN EN 10088-3 szabvány szerint az 1.4301 anyagszámú acélhoz, [online] elérhető: <https://www.agst.de/4301?lang=hu>. [megtekintés dátuma: 2025. 01. 14.]