

AZ ÉLRÁDIUSZ HATÁSA AZ ESZTERGÁLÁS KIMENETI JELLEMZŐIRE

THE EFFECTS OF TOOL EDGE RADIUS ON OUTPUT PARAMETERS OF TURNING PROCESS

Harmati Tamás István⁰⁰⁰⁹⁻⁰⁰⁰⁰⁻²¹⁸⁵⁻⁵⁵⁸³¹*, Kónya Gábor⁰⁰⁰⁰⁻⁰⁰⁰³⁻¹⁵³¹⁻⁵⁹²¹^{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.002>

Kulcsszavak:

42CrMo4
Élradiusz
Forgácsoló erő
Szerszámkopás
Felületi érdesség

Keywords:

42CrMo4
Cutting edge radius
Cutting force
Tool wear
Surface roughness

Cikktörténet:

Beérkezett 2024. december 15.
Átdolgozva 2025. január 25.
Elfogadva 2025. január 27.

Összefoglalás

Jelen publikációban az élradiusz (0,004, 0,010, 0,020, 0,030, 0,040, 0,050 mm) hatásait vizsgáltuk a forgácsoló erőre, a szerszámkopásra, az élrátétre és az átlagos felületi érdességre nézve 42CrMo4 hosszesztergálása során annak érdekében, hogy ajánlásokat tudjunk tenni, milyen élradiuszú lapkát érdemes használni 42CrMo4 esztergálása során. Az eredmények szerint az élradiusz növelésével nőtt a forgácsoló erő nagysága, mely egyértelműen a szerszám élességével van kapcsolatban. Az élradiusz növelése csökkentette az élrátét nagyságát, mivel csökkent az egységnyi felületre jutó nyomás, azonban a kopás nőtt az élradiusz növelésével. Az élrátét csökkenésével javult az átlagos felületi érdesség, így ha ennek javítása a cél, érdemes 0,050 mm-es élradiuszú lapkát használni.

Abstract

In this publication, the effects of cutting edge radius (0.004, 0.010, 0.020, 0.030, 0.040, 0.050 mm) on cutting force, tool wear, built-up edge (BUE), and average surface roughness were investigated during the turning of 42CrMo4 in order to provide recommendations for selecting the optimal cutting edge radius for 42CrMo4 turning operations. The results indicate that increasing the cutting edge radius leads to higher cutting forces, which is directly related to the sharpness of the tool. Increasing the edge radius reduced the size of the built-up edge due to decreased pressure per unit surface area, but tool wear increased with a larger edge radius. The reduction in built-up edge resulted in improved average surface roughness. Therefore, if improving surface roughness is the main objective, using an insert with a 0.050 mm cutting edge radius is recommended.

* Kapcsolattartó szerző. Email: tamas.harmati99@gmail.com

1. Bevezetés

A 42CrMo4 anyagminőségű nagyszilárdságú acélt jellemzően nagy keresztmetszetű kovácsolt alkatrészekhez, fogaskerekekhez és tengelyekhez, orsókhoz, hajtókarokhoz és főtengelyekhez használják [1], mivel magas fáradási- és torziós szilárdság, jó kopás- és ütésállóság, jó szívósság és edzhetőség jellemzi [2]. Az alapanyag magas Cr, Mo és Mn ötvözőelem tartalma miatt nagy szilárdsággal rendelkezik, nagy az alakítási ellenállása, megmunkálása során magas forgácsolási hőmérséklet lép fel, valamint a megmunkáló szerszámok intenzíven kopnak, ezen tényezők miatt a nehezen forgácsolható anyagok közé sorolják [3] [4]. Ezért fontos forgácsolhatósági vizsgálatokat végezni, hiszen valamennyi fent említett alkatrészen van valamilyen forgácsolási eljárással készült felület, mely történhet esztergálás, fúrás, marás stb. által.

Nehezen forgácsolható anyagok forgácsolhatósági vizsgálatainál szerszám oldalról megközelítve elsősorban a szerszámanyagok hatásait vizsgálják a forgácsoló erőre, a szerszámkopásra és a megmunkált felület érdességi jellemzőire. Számos publikációban vizsgálták a bevonatos és bevonat nélküli keményfém szerszámok [5], kerámiák [6] és CBN [7] szerszámok teljesítőképességét. Ezt követik a szerszámbevonatok típusai, vastagsága. Posti és Nieminen szerint a bevonat vastagsága növeli az éltartamot [8]. Sahoo és munkatársai [9] kutatásukban megállapították, hogy a többretegű szerszámbevonatok teljesítőképessége jobb, mint a bevonat nélküli vagy az egyrétegű (TiN, TiCN, Al₂O₃ és ZrCN) bevonatok. Chou és társai [10] által végzett kutatásból kiderül, hogy a nagyobb csúcssugár javítja a felületi érdességet, azonban növeli a szerszámkopást. Az élrádiusz hatásainak vizsgálatával a forgácsolási folyamatra már kevesen foglalkoztak, kevés publikáció is található meg ebben a témában. Zhao és társai [11] 20 µm, 30 µm és 40 µm élrádiuszú lapkával végeztek forgácsolási kísérleteket. Az eredmények alapján a 30 µm-es élrádiusszal történő megmunkálás után mérték a legalacsonyabb átlagos felületi érdességet, a forgácsoló erő az élrádiusz növelésével nőtt, a hátkopás azonban csökkent. Összességében a 30 µm-es élrádiusszal kialakított szerszámot ajánlják.

Jelen kutatásban az élrádiusz (0,004, 0,010, 0,020, 0,030, 0,040 és 0,050 mm) hatásait vizsgáltuk a forgácsoló erőre, a szerszámkopásra, az élrátétképződésre és a megmunkált alkatrész átlagos felületi érdességére nézve, annak érdekében, hogy megállapítsuk, mely élrádiusszal érdemes 42CrMo4 nagyszilárdságú acél esztergálását végezni.

2. Kísérleti módszertan

Jelen fejezetben ismertetjük a megmunkált alapanyag kémiai összetételét, mechanikai- és fizikai tulajdonságait, kísérleti környezetet, a kísérlet során vizsgált faktort és szintjeit, valamint a mérési és kiértékelési módszertant.

2.1. Alapanyag

Kutatásunkban 42CrMo4 anyagminőségű, nagyszilárdságú acélon végeztünk hosszesztergálási kísérleteket, mely alapanyag kémiai összetétele az 1. táblázatban, mechanikai- és fizikai tulajdonságai a 2. táblázatban vannak ismertetve.

1. Táblázat. 42CrMo4 kémiai összetétele [12]

C (wt. %)	Si (wt. %)	Mn (wt. %)	Cr (wt. %)	Mo (wt. %)	Fe (wt. %)
0,41	0,26	0,78	1,06	0,18	Maradó

2. Táblázat. 42CrMo4 mechanikai- és fizikai tulajdonságai [12]

Szakítószilárdság (Rm)	Folyáshatár (MPa)	Keménység (HRC)	Ütési energia (J)	Ütőszilárdság (J/cm ²)	Lineáris hőtágulási együttható (1/°C)	Rugalmassági modulus (GPa)
≥1080	≥930	32-36	≥63	≥78	11,8x10 ⁻⁶	210

2.2. Kísérleti környezet

A forgácsolási tesztek NCT BNC-446 típusú CNC esztergán végeztük el (1. ábra). A forgácsoló erő méréséhez KISTLER 9257B típusú 3 komponensű, piezoelektromos erőmérőt használtunk KISTLER 5007 típusú töltéserősítővel. Az adatok rögzítése Dynoware szoftver segítségével történt. Az eredmények kiértékelését OriginPro 2021 szoftverben végeztük el. A szerszámgép és az erőmérő elrendezéséből adódóan hosszú munkadarabot kellett használnunk, hogy minél jobban ki tudjuk az alapanyagot használni, így a hasznos hossza 300 mm volt. Ennek a hosszának a felét forgácsoltuk egy fogásban, vagyis 150 mm-t, egy beállítással 3 fogást vettünk, így a megtett úthossz egy beállítással 450 mm volt. A kihajlás elkerülése érdekében a munkadarabot mindig megtámasztottuk forgócsúcssal.

Minden megmunkálás során emulziós hűtést használtunk 9%-os olajkoncentrációval, mivel Kónya és Kovács [13] korábbi kutatásukban ezt az olajkoncentrációt találták a legkedvezőbbnek a forgácsoló erőre és a szerszámkopásra nézve GTD-111 Ni-bázisú szuperötvözet horonymarása során. Az emulzióhoz MOL Emolin 120 típusú, biostabil, fél-szintetikus olajat használtunk. A forgácsolási paraméterek kiválasztása a gyártói ajánlás alapján történt: $v_c = 40$ m/min, $f = 0,2$ mm/ford. és $a = 1$ mm.



1. ábra. Kísérleti környezet

A forgácsolási tesztekhez DCGT 11T302-SM [14] típusú lapkát használtunk SDJCR 2020K-11 [15] típusú szerszámtestben, melyet az ISCAR Hungary Kft. biztosított számunkra. A lapka csúcshöge $\epsilon_r = 55^\circ$, a hátsöge $\alpha = 7^\circ$, a főél elhelyezési szöge, $\chi_r = 93^\circ$, a csúcshöge $r_\epsilon = 0,2$ mm. Az eredeti lapka bevonat nélküli, polírozott volt, melynek az élrádusza $\rho_\beta = 0,003-0,004$ mm volt. Az élrádus méréséhez InfiniteFocusSL típusú, 3D optikai mérőgépet használtunk.

A többi élrádiuszú lapka esetén polírozás nem történt, csak a kívánt élrádiuszra történő beköszörülés, mely vizsgált élrádiusz értékek a 3. táblázatban láthatók.

3. Táblázat. Vizsgált élrádiusz értékek

0,004 mm (eredeti)	0,01 mm	0,02 mm	0,03 mm	0,04 mm	0,05 mm
--------------------	---------	---------	---------	---------	---------

2.3. Mérési környezet

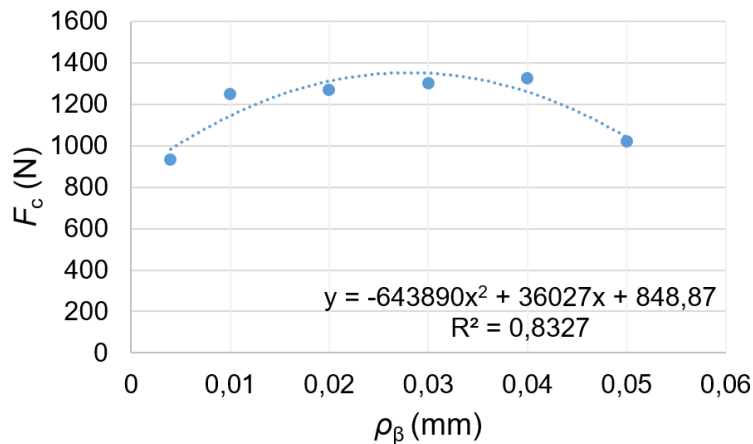
Az érdességi jellemzők méréséhez Mitutoyo Formtracer SV-C3100 típusú tapintós érdességmérőt használtunk. Minden megmunkált felületet háromszor mértünk meg úgy, hogy a mérések között 120°-kal elforgattuk a munkadarabot. Ebből átlagot számoltunk és a szórásukat meghatároztuk.

A szerszámkopás és az élrátét méréséhez Axio Imager m.2M fénymikroszkópot használtuk. Mindkét jellemzőre vonatkozóan a maximális értékeket mértük.

3. Eredmények

3.1. Forgácsoló erő

Az élrádiusz F_c forgácsoló erőre gyakorolt hatása a 2. ábrán látható. Megfigyelhető, hogy a legalacsonyabb forgácsoló erőt az eredeti lapkával történő megmunkálás során, mértük, melynek értéke általánosságban nőtt az élrádiusz növelésével, majd 0,05 mm-es élrádiusz esetén ismét csökkent. Ez a növekedés azonos technológiai paraméterek mellett a szerszám élességének tudható be elsősorban, másodsorban az élrátétképződésnek, mely a homloklapra is ráterjedt, ezzel növelve a szerszám csúcssugarának nagyságát, ezáltal a leválasztandó forgácskeresztmetszet nagyságát is.

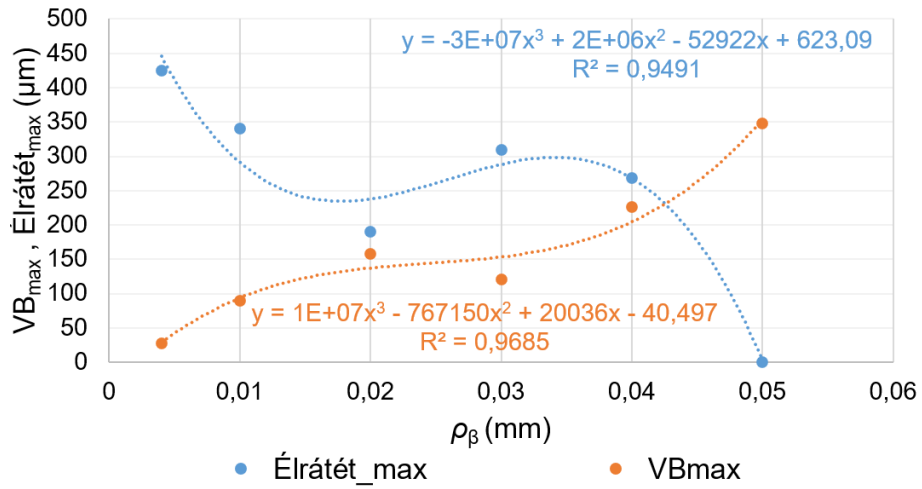


2. ábra. Élrádiusz hatása az F_c forgácsoló erőre

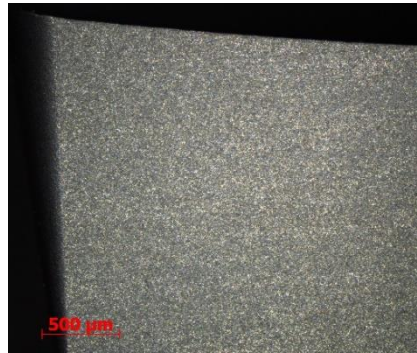
3.2. Szerszámkopás és élrátét

A maximális szerszámkopás és élrátét az élrádiusz függvényében a 3. ábrán, valamint a szerszámkopásról és az élrátétről készült felvételek a 4. ábrán figyelhetők meg. A legnagyobb élrátét az eredeti, legkisebb élrádiuszú lapkán jelent meg, mely az élrádiusz növelésével fokozatosan csökkent. Ennek oka, hogy az élrátét kialakulásához szükséges nagy nyomás és hőmérséklet a nagyobb élrádiusz miatt nagyobb felületen tud megoszlani, így kisebb lesz annak nagysága. A rendkívül magas hőmérsékletre utal a 4. b) ábrán látható kékes elszíneződés is. Az élrátét a 0,05 mm-es élrádiuszú lapkán szinte 0-ra csökkent, valószínűleg ennek tudható be a forgácsoló erő csökkenés is. Élrátétképződés nagymértékben csökkenthető különböző szerszámbevonatok alkalmazásával, melyek növelik a kémiai affinitással szembeni ellenállóságot vagy pedig forgácsoló sebesség növeléssel, mely lecsökkenti az érintkezési időt a forgács és a munkadarab között, ezáltal az adhézió kialakulásához szükséges időt. Fontos megjegyezni, hogy az élrátét csökkenésével nőtt a maximális hátkopás nagysága, mely arra utal, hogy az élrátét megvédte a forgácsoló élet a kopástól. Ebből adódóan, ha sikerül kontrollálni az élrátét nagyságát, hogy ne legyen túl nagy, mert

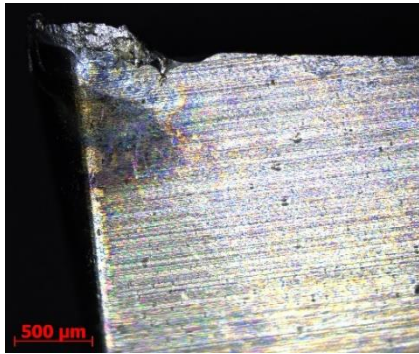
akkor leszakad és roncsolja a vágóélt is, akkor a szerszám éltartama nagymértékben növelhetővé válik.



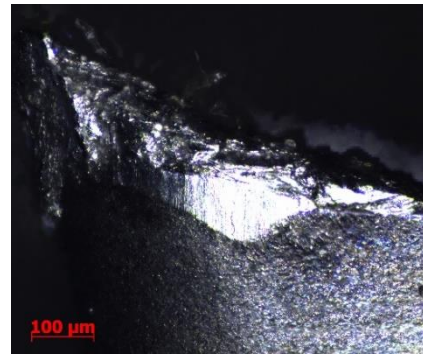
3. ábra. Élrádiusz hatása a VB_{max} hátkopásra és a maximális élrátétre



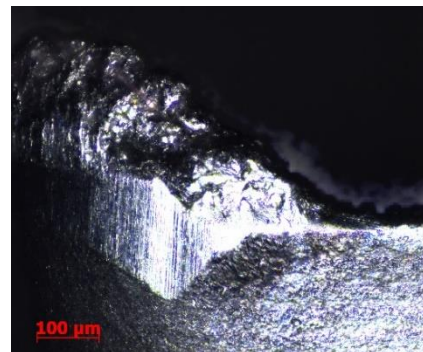
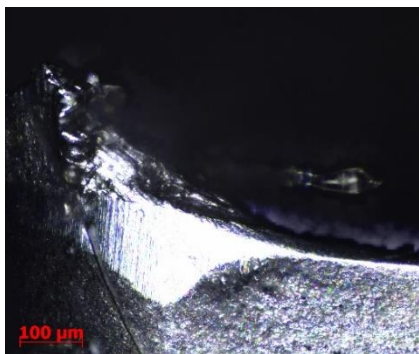
a)

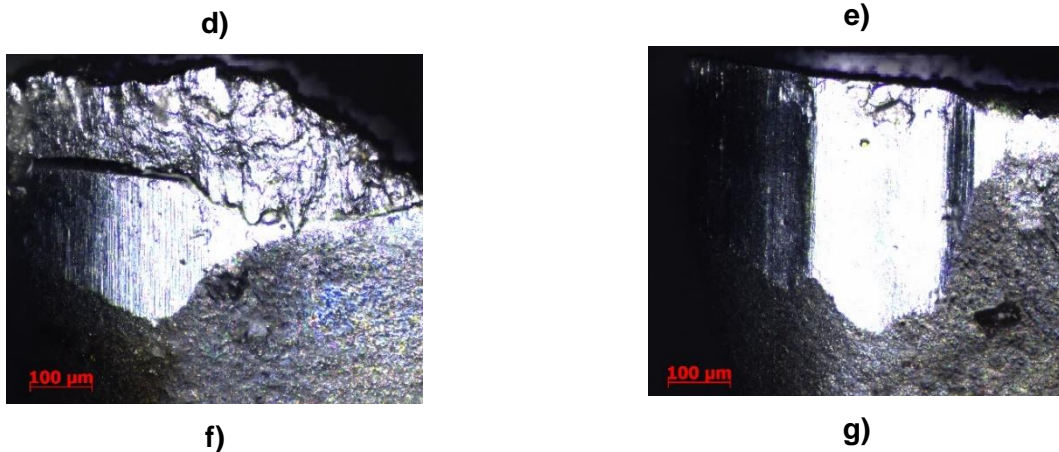


b)



c)

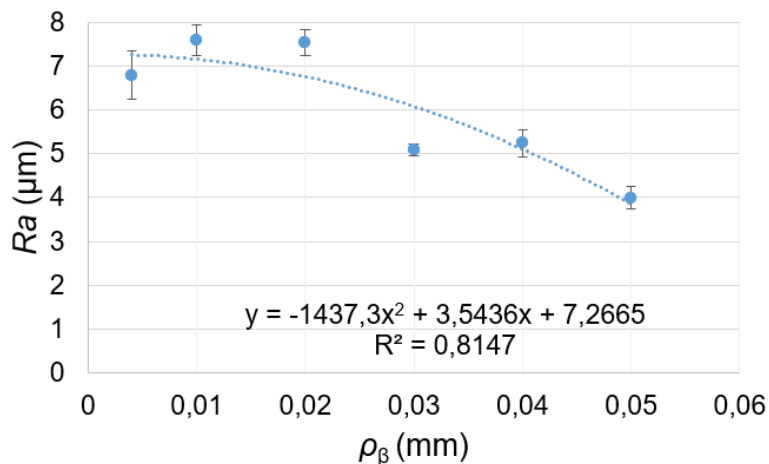




4. ábra. **a)** 0,010 mm-es élradiusú lapka megmunkálás előtt, **b)** 0,004, **c)** 0,010, **d)** 0,020, **e)** 0,030, **f)** 0,040 és **g)** 0,050 mm-es élradiusú lapka megmunkálás után $v_c = 40$ m/min, $a = 1$ mm, $f = 0,2$ mm/ford. technológiai paraméter beállítás esetén
(Megjegyzés: a) és b) 5x nagyítás mellett, c) d) e) f) g) 20x nagyítás mellett készült)

3.3. Felületi érdesség

Az átlagos felületi érdesség (R_a) az élradius függvényében az 5. ábrán látható. Megfigyelhető, hogy az élradius növelésével csökkent az átlagos felületi érdesség nagysága azonos technológiai paraméterek mellett, mely egyértelműen az élrátét csökkenésének tudható be, mely nagymértékben tudja rontani a megmunkált alkatrész felületi érdességét.



5. ábra. Élradius hatása az R_a átlagos felületi érdességre

4. Összegzés

Ebben a publikációban az élradius hatását vizsgáltuk a forgácsoló erőre, a szerszámkopásra, az élrátétképződésre és az átlagos felületi érdességre nézve 42CrMo4 nagyszilárdságú acél hosszesztergálása során.

Az élradius növelésével nőtt a forgácsoló erő nagysága, mely a szerszám élességével van kapcsolatban. Az élradius növelésével csökkent az élrátét nagysága, mivel nőtt az élradius növelésével csökkent az egységnyi felületre jutó nyomás, mely az élrátét kialakulásának egyik alapfeltétele. Fontos megjegyezni, hogy az élrátét csökkenéssel nőtt a hátkopás nagysága, ebből megállapítható, hogy az élrátét megvédte az élt a kopástól. Az átlagos felületi érdesség javítása érdekében célszerű az 0,050 mm-es élradiusú lapkát használni, mivel ezen lapka esetén mutatkozott legkevésbé az élrátét, mely nagy hatással van a megmunkált felület érdességére.

További kutatásunkban szeretnénk a technológiai paraméterek hatását a fent megnevezett tényezőkre vizsgálni ezen élradius értékek esetén.

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] Lin, Y. C., Liu, Y.-X., Liu, G., Chen, M.-S., Huang, Y.-C.: Prediction of Ductile Fracture Behaviors for 42CrMo Steel at Elevated Temperatures, *J. of Materi Eng and Perform*, 2015, Vol. 24, No. 1, pp. 221–228, DOI: 10.1007/s11665-014-1273-4.
- [2] Bayrakçeken, H., Tasgetiren, S., Aksoy, F.: Failures of single cylinder diesel engines crank shafts, *Engineering Failure Analysis*, 2007, Vol. 14, No. 4, pp. 725–730, DOI: 10.1016/j.engfailanal.2006.01.006.
- [3] Elbah, M., Yallese, M. A., Aouici, H., Mabrouki, T., Rigal, J.-F.: Comparative assessment of wiper and conventional ceramic tools on surface roughness in hard turning AISI 4140 steel, *Measurement*, 2013, Vol. 46, No. 9, pp. 3041–3056, DOI: 10.1016/j.measurement.2013.06.018.
- [4] Chen, L., Du, Y., Mayrhofer, P. H., Wang, S. Q., Li, J.: The influence of age-hardening on turning and milling performance of Ti–Al–N coated inserts, *Surface and Coatings Technology*, 2008, Vol. 202, No. 21, pp. 5158–5161, DOI: 10.1016/j.surfcoat.2008.05.036.
- [5] Das, S. R., Panda, A., Dhupal, D.: Hard turning of AISI 4340 steel using coated carbide insert: Surface roughness, tool wear, chip morphology and cost estimation, *Materials Today: Proceedings*, 2018, Vol. 5, pp. 6560-6569, DOI: 10.1016/j.matpr.2017.11.311.
- [6] Lakhdar, B., Athmane, Y.M., Salim, B., Haddad, A.: Modelling and optimization of machining parameters during hardened steel AISID3 turning using RSM, ANN and DFA techniques: comparative study, *J Mech Eng Sci*, 2020, Vol. 14, pp. 6835–6847, DOI: 10.15282/jmes.14.2.2020.23.0535
- [7] Sales, W.F., Costa, L.A., Santos, S.C. et al.: Performance of coated, cemented carbide, mixed-ceramic and PCBN-H tools when turning W320 steel. *Int J Adv Manuf Technol*, 2009, Vol. 41, pp. 660–669, DOI:10.1007/s00170-008-1523-4
- [8] Posti, E., Nieminen, I.: Influence of coating thickness on the life of TiN-coated high speed steel cutting tools, *Wear*, 1989, Vol. 129, pp 273-283, DOI: 10.1016/0043-1648(89)90264-0.
- [9] Sahoo, A.K., Sahoo, B.: Experimental investigations on machinability aspects in finish hard turning of AISI 4340 steel using uncoated and multilayer coated carbide inserts, *Measure*, 2012, Vol. 45, pp. 2153–2165, DOI: 10.1016/j.measurement.2012.05.015
- [10] Chou, Y.K., Song, H.: Tool nose radius effects on finish hard turning, *J Mater Process Technol*, 2004, Vol. 148, No. 2, pp. 259–268.
- [11] Zhao, T., Zhou, J. M., Bushlya, V. et al.: Effect of cutting edge radius on surface roughness and tool wear in hard turning of AISI 52100 steel, *Int J Adv Manuf Technol*, 2017, Vol. 91, pp. 3611–3618, DOI: 10.1007/s00170-017-0065-z
- [12] Xu, Q., Zhao, J., Ai, X.: Cutting performance of tools made of different materials in the machining of 42CrMo4 high-strength steel: a comparative study, *Int J Adv Manuf Technol*, 2017, Vol. 93, No. 5, pp. 2061–2069, DOI: 10.1007/s00170-017-0666-6.
- [13] Kónya, G. Kovács, Z.F.: Effects of Oil Concentration in Flood Cooling on Cutting Force, Tool Wear and Surface Roughness in GTD-111 Nickel-Based Superalloy Slot Milling, *J. Manuf. Mater. Process*, 2024, Vol. 8, p. 119 DOI: 10.3390/jmmp8030119
- [14] ISCAR Cutting Tools - Metal Working Tools - DCMT/DCGT-SM : 5595493 - DCGT 11T302-SM'. [online] elérhető: [online] <https://www.iscar.com/eCatalog/Item.aspx?cat=5595493&fnum=868&mapp=IS&GFSTYP=M&srch=1> [elérés dátuma: 2024. 11. 16.]

- [15] 'SDJCR 2020K 11', Sandvik Coromant. [online]. elérhető: <https://www.sandvik.coromant.com/hu-hu/product-details?c=sdjcr%202020k%2011> [elérés dátuma: 2024. 11. 16.]