

BESZÚRÓ ESZTERGA SZERSZÁMMAL VÉGZETT FORGÁCSOLÁS KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA KEMÉNYESZTERGÁLÁSI KÖRNYEZETBEN

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MACHINING USING A GROOVING TURNING TOOL IN A HARD TURNING ENVIRONMENT

Markó Balázs^{0009-0005-8844-1875 1*, 2}, Vaczkó Dániel^{0009-0007-9999-2108 1}

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

² Gyártástudomány és -technológia Tanszék, Gépészmérnöki Kar, Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem,

<https://doi.org/10.47833/2026.1.ENG.012>

Kulcsszavak:

Keményesztergálás
Beszúrás
100Cr6
Felületi érdességmérés

Keywords:

Hard turning
Grooving
100Cr6
Surface roughness measurement

Cikktörténet:

Beérkezett 2025. október 27.
Átdolgozva 2026. január 31.
Elfogadva 2026. február 10.

Összefoglalás

Keményesztergálással nagy keménységű munkadarabok megmunkálását végezzük. Ezen munkadarabokon gyakran szükséges létrehozni finom, köszörült felületeket. Jelen kutatás célja annak vizsgálata, hogy egy beszúró keményeszterga szerszámmal végzett hosszesztergálással milyen finomságú felület hozható létre. A kísérleteket Taguchi kísérletterv alapján hajtottuk végre, ahol faktorként a fogásmélységet, előtolást és forgácsolási sebességet variáltuk. Az egyetemes esztergagépen edzett állapotú, nagy keménységű (62 HRC) 100Cr6 csapágyacélt munkáltunk meg. A kísérleti eredményekből egyértelműen látszódott, hogy megfelelő paraméterkombinációk esetén igen finom, akár $Ra=0,4 \mu m$ felületi érdesség is létrehozható. A kapott eredmények alapján beszúró keményeszterga szerszámmal végzett megmunkálással egyes esetekben kiválthatóvá válik a köszörülési művelet, ezzel jelentős potenciál rejlik a technológia alkalmazásában az ipar számára.

Abstract

Hard turning is employed for the machining of workpieces with high hardness values. In many cases, these components require the generation of fine quality surfaces. The aim of the present study is to investigate the achievable surface quality when longitudinal turning is performed using a grooving-type hard turning tool. The experiments were conducted based on the Taguchi design of experiments, where depth of cut, feed rate, and cutting speed were selected as factors. The machining tests were performed on a conventional turning machine using high hardness 100Cr6 bearing steel. The experimental results demonstrate that, with appropriate parameter combinations, very fine surface finishes can be achieved, with surface roughness values as low as $Ra = 0.4 \mu m$. Based on these findings,

* Kapcsolattartó szerző.
E-mail cím: marko.balazs@nje.hu

longitudinal turning is performed using a grooving-type hard turning tool can, in certain cases, replace the grinding process, offering significant potential for industrial applications.

1. Bevezetés

Napjainkban a gépiparban fokozott igény mutatkozik a nagy pontosságú, kiváló felületi minőségű alkatrészek gyártására. Erre olyan iparágakban van szükség, ahol jellemzően nagyobb keménységű munkadarabok megmunkálása is szükséges, ilyen iparág többek között például az energiaipar vagy a csapágyipar [1]. Hagyományosan ezen finom felületek létrehozása jellemzően köszörüléssel történt, amellyel nagy pontosságú és kiváló felületi minőségű munkadarabok hozhatók létre [2]. Azonban a köszörülés több jelentős negatív tulajdonsággal is rendelkezik. Ilyen negatív tulajdonság a kis termelékenységi és a jelentős mértékű hűtő-kenő folyadék felhasználás, tehát gazdaságossági és környezetvédelmi szempontból is előnyös lehet a köszörülés leváltása [3].

A keményesztergálás egy megfelelő alternatívát nyújthat a köszörülés helyett olyan esetekben, ahol a munkadarab keménysége meghaladja a 45 HRC-t [4]. Ezen technológiát szárazmegmunkálással vagy minimálkenéssel szokták végrehajtani, tehát környezeti terhelése is jelentősen kisebb, mint a köszörülésnek [5]. Az elérhető felületi minőség szempontjából megoszlanak az eredmények a szakirodalomban, néhány publikáció alapján keményesztergálással nem hozható létre olyan finomságú felület [6], mint köszörüléssel, míg néhány publikáció alapján létrehozható ugyan olyan felületi minőség [7,8].

Zhang és munkatársai [9] vizsgálatuk során összehasonlítást végeztek a száraz keményesztergálás és a köszörülés között. Vizsgálták a létrejövő felületi érdességeket és végeztek fáradási vizsgálatokat is. Keményesztergálással a legkisebb felületi érdesség $Ra=0,172\text{ }\mu\text{m}$ volt, míg köszörüléssel $Ra=0,314\text{ }\mu\text{m}$. Továbbá a fáradási vizsgálatok során is a keményesztergálással létrehozott munkadarab adta a jobb eredményeket a jelentős maradék nyomófeszültség következtében. Tehát összegezve ezen publikáció alapján a simító keményesztergálás képes kiváltani a köszörülési műveletet, sőt egyes esetekben még jobb minőségű felületet is létrehozhatók. Továbbá Ramesh és munkatársai [10] különböző kenési viszonyok hatását vizsgálta keményesztergálás során. Három különböző típusú kenési viszonyt vizsgáltak, amelyek a szárazmegmunkálás, a minimálkenés és a hibrid minimálkenés hexagonális bór nitrid (hBN) nano-szemcsékkel. Eredményként adódott, hogy a forgácsolási sebességnek nagyobb hatása van a szerszámtartamra, mint a kenési viszonyoknak. A kenési viszonyok közül a hibrid minimálkenés 1% hBN nano-részecskével adta a legnagyobb átlagos élettartamot, míg a szárazmegmunkálás megközelítőleg csak a fele élettartamot eredményezett az előbb említett hibrid minimálkenéshez képest. A megmunkálási hőmérséklet szempontjából a hibrid minimálkenés eredményezte a legkisebb hőmérsékleti értékeket. A létrehozott felületi érdesség szempontjából is volt különbség az egyes kenési viszonyok között, de ennek hatása nem volt szignifikáns. Tehát összességében van jelentősége a kenési viszonyoknak a keményesztergálás során, de jelen kutatásban vizsgált felületi érdességre nincs jelentős hatása.

A szakirodalom nagy részében hosszeszterga késsel végzett hosszesztergálási művelettel vizsgálják a keményesztergálást [6,7,11], míg beszűrő esztergakésekkel csak egy lépéses beszűrési műveletet vizsgálnak [9]. Tehát szükséges annak vizsgálata, hogy milyen felületminőség hozható létre egy multifunkciós beszűrőkéssel végzett hosszesztergálási művelet során. Így megállapíthatóvá válik, hogy megfelelő alternatívát nyújt-e a köszörüléssel szemben. Ezért jelen kutatás hozzájárulhat azon vizsgálatokhoz, ahol a keményesztergálásban lévő technológiai potenciált kutatják.

2. Felhasznált anyagok, eszközök és módszerek

Ebben a fejezetben ismertetjük a kísérleti és mérési környezetet azok reprodukálhatóságát szem előtt tartva. Ezt követően az alkalmazott kísérlettervet ismertetjük.

2.1. Kísérleti és mérési környezet

A kísérletet edzett állapotú 100Cr6 csapágyacélon végeztük, amelynek kémiai összetétele az 1. táblázatban, míg mechanikai tulajdonságai az 2. táblázatban találhatóak.

1. Táblázat. 100Cr6 acél kémiai összetétele [12]

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Mo (%)	Al (%)	Cu (%)
0,93-1,05	0,15-0,35	0,25-0,45	0,025	0,015	1,35-1,60	0,10	0,050	0,30

2. Táblázat. Edzett állapotú 100Cr6 anyagjellemzői [12]

Anyag	Keménység, HRC (1)	Szakítószilárdság, R_m (MPa)	Egyezményes folyáshatár, $R_{p0,2}$ (MPa)	Szakadási nyúlás, A_{50} (%)
100Cr6	62	2500	2230	1,5

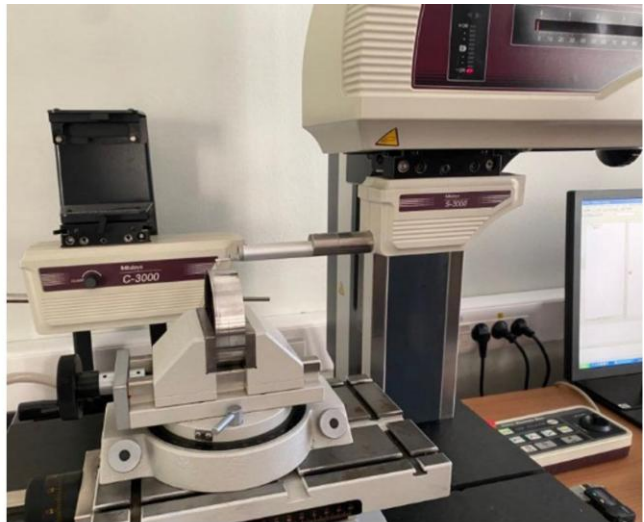
Az 2. táblázat alapján látható, hogy a 100Cr6 csapágyacél nagy keménysége és ridegsége következtében nehezen megmunkálható, jelentős szerszámkopást eredményező anyagok közé tartozik.

A kísérletet TOS SV18RA típusú egytetemes esztergagépen végeztük szárazmegmunkálási körülmények között. Az alkalmazott PCBN anyagú TaeguTec TSG 3.0-0.3-HF TB2015 típusú beszúrókés az ajánlott fogásmélysége és geometriája alapján alkalmas simításhoz. Az alkalmazott egytetemes esztergagépen a fordulatszámok csak bizonyos diszkrét értékeket vehetnek fel, ezért az egyes forgácsolási sebességek elérése érdekében változtattuk a próbadarabok átmérőjét a kísérletek során.

A kísérletet követő méréseket Mitutoyo SV-C3100 típusú érdességmérővel végeztük, amely méréseket az ISO 21920 szabvány alapján történtek. Minden megmunkált palástfelületet három különböző helyen egymástól $120^\circ \pm 1^\circ$ -os eltéréssel mértük, a kiértékelés során pedig ezen eredmények átlagát használtuk fel. Az alkalmazott kísérleti és mérési környezet 1. ábrán látható.



(a)



(b)

1. ábra. (a) Kísérleti és (b) mérési környezet

2.1. Kísérletterv

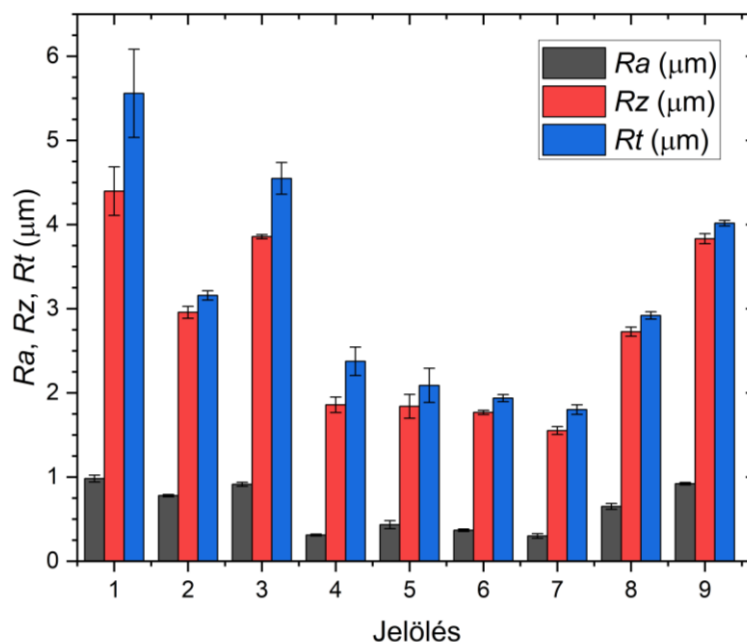
A kísérlet során három faktort variáltunk három szinten ezért a kísérletek számának csökkentése érdekében Taguchi kísérlettervezési módszert alkalmaztunk, amit a Minitab szoftverben készítettünk. A vizsgált faktorok a fogásmélység (a_p), az előtolás (f) és a forgácsolási sebesség (v_c) voltak. A faktorok értékeinek kiválasztásakor a megmunkálandó anyagra vonatkozó gyártói ajánlást vettük figyelembe. Az 3. táblázatban láthatók az egyes kísérletek során alkalmazott folyamatparaméterek.

3. Táblázat. A kísérlet során alkalmazott folyamatparaméterek és azok értékei

Jelölés	Fogásmélység, a_p (mm)	Előtolás, f (mm)	Forgácsolási sebesség, v_c (m/min)
1	0,08	0,4	80
2	0,08	0,6	90
3	0,08	0,8	100
4	0,10	0,4	90
5	0,10	0,6	100
6	0,10	0,8	80
7	0,12	0,4	100
8	0,12	0,6	80
9	0,12	0,8	90

3. Eredmények és értelmezésük

Az érdességmérést követően három különböző érdességi mérőszámot is vizsgáltunk, amelyek az átlagos felületi érdesség (R_a), az egyenetlenségmagasság (R_z) és az érdességmélység (R_t). A kapott érdességi értékek a 2. ábrán láthatók.

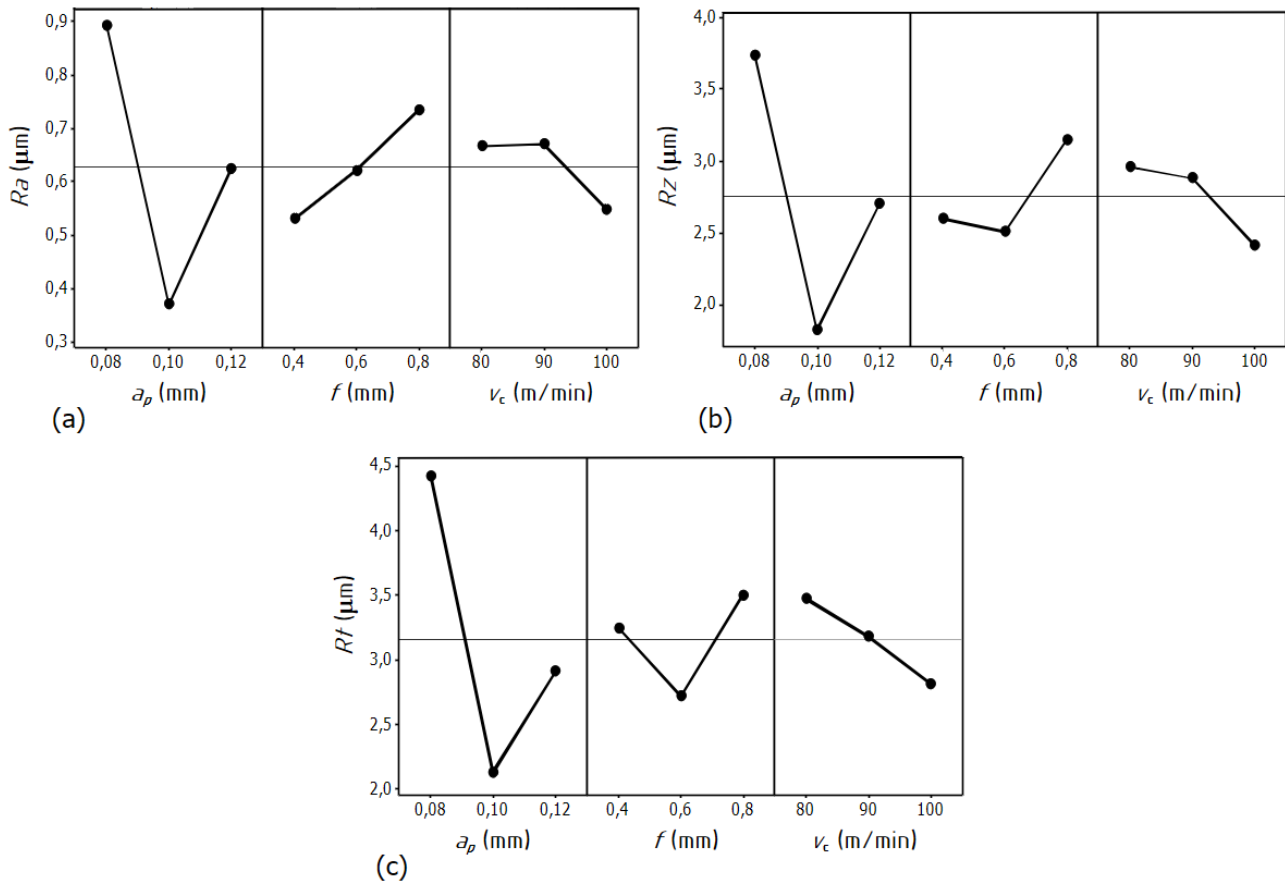


2. ábra. Érdességi jellemzők értéke az egyes kísérleti pontokban

A 2. ábrán látható, hogy egyik kísérleti pontban sem volt tapasztalható kiugróan eltérő érdességérték és az értékek szórása sem volt jelentős. Az egyenetlenségmagasságot (R_z) és az érdességmélységet (R_t) összehasonlítva megállapítható, hogy az érdességmélység átlagosan 14,46%-kal nagyobb, mint az egyenetlenségmagasság és a legnagyobb eltérés is csak 27,86%-os. Ebből az következik, hogy nincsenek jelentősen eltérő magasságú csúcsok és völgyek az érdességi profilban. Tehát jól reprodukálható, egyenletes minőségű felületek jöttek létre a kísérletek során.

Az egyes kísérleti pontok átlagos felületi érdesség értékei megfelelő paraméterkombinációk (4, 6, 7) esetén $R_a < 0,4 \mu\text{m}$ értéket vettek fel, ami megfelel egy köszörült felület finomságának. A mérések alapján (2. ábra) legfinomabb felületet ($R_a = 0,3 \mu\text{m}$, $R_z = 1,55 \mu\text{m}$, $R_t = 1,8 \mu\text{m}$) a 7-es számú kísérleti pont adta, ahol a faktorok értékei a következők voltak: $a_p = 0,12 \text{ mm}$, $f = 0,4 \text{ mm}$ és $v_c = 100 \text{ m/min}$. Azonban az alkalmazott (Taguchi) kísérletterv következtében ez nem jelenti azt, hogy ez a

paraméterkombináció lenne a globális optimum az egész paraméterterben. Ennek megállapítására 3. ábrán lévő főhatás diagrammok szolgálnak.



3. ábra. Érdességi jellemzők főhatás diagrammjai: (a) átlagos felületi érdesség, (b) egyenetlenségmagasság és (c) érdességmélység

A főhatás diagrammok (3. ábra) alapján a faktorok optimális értéke (jelen kísérleti pontok közül) és hatásnagysága is látható. A vizsgált faktorok közül egyértelműen a fogásmélységnek (a_p) van legnagyobb hatása, míg a másik két faktor közül kis mértékben az előtolásnak (f) jelentősebb a hatása. Fogásmélység és forgácsolási sebesség esetében mindhárom érdességi jellemző esetén ugyanazon értékek eredményezték a legfinomabb felületeket, amely optimum a következő: $a_p=0,1$ mm és $v_c=100$ m/min. Előtolás esetében átlagos felületi érdességet tekintve $f=0,4$ mm eredményezi a legfinomabb felületet, míg a többi érdességi jellemzőt tekintve a $f=0,6$ mm. Termelékenységi szempontot is figyelembe véve a kapott eredmények alapján $f=0,6$ mm a megfelelő választás. Összegezve a főhatás diagrammok alapján az adott paramétertartományokban a várhatóan legkisebb érdességi értékeket eredményező folyamatparaméter értékek a következők: $a_p=0,1$ mm, $f=0,6$ mm és $v_c=100$ m/min.

4. Következtetések

Kutatásunkban egy multifunkciós beszúró keményszterga késsel végeztünk hosszesztergálást egy edzett állapotú, 62 HRC keménységű 100Cr6 csapágyacélt munkáltunk meg. Ezzel a kísérlettel vizsgáltuk a megmunkálás során létrejövő felületi érdesség jellemzőket. Eredményként az adódott, hogy a folyamatparaméterek megfelelő megválasztásával igen finom ($R_a < 0,4 \mu\text{m}$), köszörült minőségű felületek hozhatók létre, amely felületek megfelelő egyenletességüknek köszönhetően jól reprodukálhatók. A kísérlet során legkisebb felületi érdességet eredményező kísérleti pontban tapasztalható felületi érdesség értékek az alábbiak voltak: $R_a=0,3 \mu\text{m}$, $R_z=1,55 \mu\text{m}$, $R_t=1,8 \mu\text{m}$. A vizsgált faktorok a főhatás diagrammok alapján alábbi értékek eredményezik általánosságban a legkisebb felületi érdességet: $a_p=0,1$ mm, $f=0,6$ mm és $v_c=100$ m/min. Összeségében elmondható,

hogy a vizsgálatok alapján egy multifunkciós beszúró keményeszterga késsel végzett hosszesztergálással a felületi érdességet tekintve kiváltható a köszörülés megfelelő alak sajátosságok esetén.

Köszönetnyilvánítás

Jelen kutatáshoz szükséges szerszámot a TaeguTec Hungary Kft. biztosította. A kísérletekhez és mérésekhez szükséges infrastruktúrát a Neumann János Egyetem Gamf Műszaki és Informatikai Kar Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék biztosította.

Irodalomjegyzék

- [1] X.L. Liu, D.H. Wen, Z.J. Li, L. Xiao, F.G. Yan, Cutting temperature and tool wear of hard turning hardened bearing steel, *J Mater Process Technol* 129 (2002) 200–206. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00651-9](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00651-9).
- [2] G. Bartarya, S.K. Choudhury, State of the art in hard turning, *Int J Mach Tools Manuf* 53 (2012) 1–14. <https://doi.org/10.1016/J.IJMACHTOOLS.2011.08.019>.
- [3] M. Dogra, V.S. Sharma, A. Sachdeva, N.M. Suri, S. Dhiman, Surface integrity a key issue in hard turning – a review, *International Journal of Machining and Machinability of Materials* 12 (2012) 88–116. <https://doi.org/10.1504/IJMMM.2012.048560>.
- [4] W. Bin Rashid, S. Goel, J.P. Davim, S.N. Joshi, Parametric design optimization of hard turning of AISI 4340 steel (69 HRC), *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 82 (2016) 451–462. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7337-2>.
- [5] A.M.M. Ibrahim, M.A.E. Omer, S.R. Das, W. Li, M.S. Alsoufi, A. Elsheikh, Evaluating the effect of minimum quantity lubrication during hard turning of AISI D3 steel using vegetable oil enriched with nano-additives, *Alexandria Engineering Journal* 61 (2022) 10925–10938. <https://doi.org/10.1016/J.AEJ.2022.04.029>.
- [6] R. Pavel, I. Marinescu, M. Deis, J. Pillar, Effect of tool wear on surface finish for a case of continuous and interrupted hard turning, *J Mater Process Technol* 170 (2005) 341–349. <https://doi.org/10.1016/J.JMATPROTEC.2005.04.119>.
- [7] F. Hashimoto, Y.B. Guo, A.W. Warren, Surface Integrity Difference between Hard Turned and Ground Surfaces and Its Impact on Fatigue Life, *CIRP Annals* 55 (2006) 81–84. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)60371-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)60371-0).
- [8] G. Bartarya, S.K. Choudhury, State of the art in hard turning, *Int J Mach Tools Manuf* 53 (2012) 1–14. <https://doi.org/10.1016/J.IJMACHTOOLS.2011.08.019>.
- [9] Y. Zhang, S. Yuan, X. Yang, W. Gao, M. Zhang, Z. Peng, Dry Hard Turning versus Grinding—The Influence of Machining-Induced Surface Integrity on Fatigue Performance, *Coatings* 13 (2023). <https://doi.org/10.3390/coatings13050809>.
- [10] B. Ramesh, S.R. Vempati, C. Manjunath, A.H. Elsheikh, Examination of Minimum Quantity Lubrication Performance in the Hard Turning of AISI/SAE 1060 High-Carbon Steel, *J Mater Eng Perform* 34 (2025) 13686–13696. <https://doi.org/10.1007/s11665-024-10070-z>.
- [11] H.B. Nayak, K.B. Rathod, A new method of hard turning of hardened workpieces: A review, *Mater Today Proc* 82 (2023) 356–362. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2023.02.432>.
- [12] Lucefin Group, (2025.10.26.), Mechanical properties of 100Cr6, [Online], Available: https://www.lucefin.com/wp-content/files_mf/100cr6en.pdf