

A VASALÁSI ELJÁRÁS FELÜLETI KEMÉNYSÉGRE ÉS HENGERES- SÉGRE GYAKOROLT HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ ANYAGMINŐSÉGEK ESETÉN

Ferencsik Viktória 

egyetemi tanársegéd, Miskolci Egyetem, Gyártástudományi Intézet
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: ferencsik.viktoria@uni-miskolc.hu

Absztrakt

A cikkben a gyémántszerszámos felületvasalás felületi keménységre és hengerességre gyakorolt hatásának vizsgálatáról számolok be, különböző anyagminőségek esetén. A publikáció bemutatja a 2 szinten vizsgált vasalási paramétereket (vasalóerő, előtolás, sebesség), illetve az alakhelyesség és Vickers keménység változását a teljes faktoriális kísérlettervezés alkalmazásával. A vasalás előtti, illetve utáni mérési folyamatok, a keménység tekintetében Wilson Instruments Tukon 2100B típusú, a hengeresség vonatkozásában pedig Taylor Hobson Talyrond 365 gyártmányú mérőberendezéseken történtek.

Kulcsszavak: felületvasalás, mikro-keménység, hengeresség, teljes faktoriális kísérlettervezés

Abstract

In this article, the investigation of the effect of diamond surface burnishing on surface hardness and cylindricity is reported, in case of different material qualities. The publication presents the burnishing parameters (burnishing force, feed rate, speed) examined at 2 levels as well as the change in shape correctness and Vickers hardness using the full factorial experimental design method. The measurement processes before and after burnishing were carried out on Wilson Instruments Tukon 2100B type measuring equipment for hardness, and Taylor Hobson Talyrond 365 measuring equipment for cylindricity.

Keywords: surface burnishing, microhardness, cylindricity, full factorial experimental design

1. Bevezetés

Az anyagminőségek fejlődése, illetve újabbak megjelenése magával vonzotta az egyes ágazatok, illetve megmunkálási eljárások átalakulását is és napjainkban, az éppen zajló 4. ipari forradalom idején, még nagyobb szerepet kapott a gyártott alkatrészek minél finomabb felületi minőségének biztosítása (Kovács, 2020). Ennek elérése érdekében olyan befejező megmunkálási műveleteket fejlesztettek ki, amelyek produktívan képesek a folyamatosan növekvő makro- és mikrogeometriai pontosságot biztosítani, hiszen a különböző mérnöki iparágak felismerték, hogy a megmunkált alkatrész végső méretei, korrózióállósága és tulajdonképpen megfelelő működése - többek között - a felületi érdességtől is függ (Molnár, 2021; Sztankovics és Kundrák, 2022; Nagy és Varga, 2021). A fejlődési irányokat befolyásolta a környezetvédelem is, így a felhasznált anyagok köre és megmunkálási módja esetén szemponttá vált a környezettudatosság (Ibrahim, 2008).

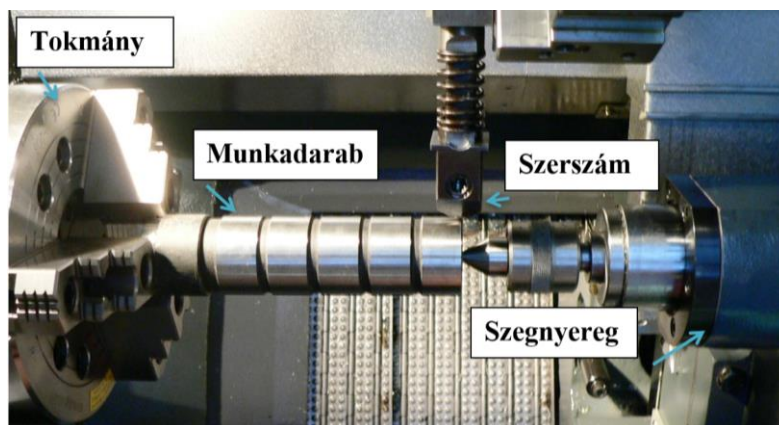
Részben ebből fakadóan, az utóbbi évtizedekben nagy hangsúlyt fektettek a forgácsleválasztás nélküli hideg képlékenyalakító technológiákra, melyek közé a felületvasalás is tartozik, hiszen az nem igényli nagy mennyiségű hűtő-kenőanyag alkalmazását, de emellett számos más előnnyel is rendelkezik: csökkenti a felületi érdességet, növeli a mikro-keménységet, javítja az alakhelyességet és kedvező nyomó maradó feszültséget okoz a felszínközeli rétegben (Jerez-Mesa et al., 2020; Lluma et al., 2020; Basak et al., 2019; Slavov et al., 2021).

Az eljárással kapcsolatos számos kutatás témáját képezte a felületi integritás javulása (Kato et al., 2018; Krishna és Koorapati, 2012), a felkeményedés (Skoczylas és Zaleski, 2020; Luo et al., 2006), illetve az alakhelyesség változása (El-Axir et al., 2008; Huuki et al., 2014), acél és nem-vas anyagminőségekre egyaránt vonatkozóan.

Ebben a kutatómunkában a különböző vasalási paraméterek felületi mikro-keménységre és hengerességre gyakorolt hatását taglalom, megvizsgálva a köztük lévő korrelációkat EN AW-2011 gyengén ötvözött alumínium és C60 edzett acél anyagminőségek esetén.

2. Tengelyszerű munkadarabok vasalása

Felületek vasalásakor a munkadarabnál keményebb anyagú szerszám megfelelő nyomóerő alkalmazása mellett átfedést létrehozva végigcsúszik az alakítandó felületen (1. ábra), melynek eredményeként bizonyos vastagságban felkeményedik a felületi réteg, javul az alakhelyesség, illetve csökken a felületi érdesség, ahogy azt az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra. A felületvasalás megvalósítása

Az eljárást külső hengeres felületek esetében nagy pontosságú, kis érdességet eredményező befejező műveletként alkalmazzák, mely megvalósítható hagyományos, valamint modernbb CNC esztergákon is, ez utóbbinak nagy előnye, hogy a vizsgálni kívánt paraméterek nemcsak diszkrét értékek szerint állíthatók be.

3. Kísérleti körülmények

3.1. Az eljárás megvalósítása

A felületvasalási eljárás hatékonyan alkalmazható számos anyagminőség tekintetében, viszont eddigi szakirodalmi kutatásaim alapján azt tapasztaltam, hogy acél, illetve nem-vas anyagok esetében építik be

előszeretettel a megmunkálási folyamatba, így jelen kísérletben EN AW-2011 jelű gyenge ötvözésű alumínium, illetve C60 edzett acél vizsgálata történt, melyek összetételét az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. Vizsgált anyagok tömegszázalékos átlagértéke (studoku.com)

EN AW-2011	Elemek	Al	Si	Fe	Cu	Bi	Pb
	Tömegszázalékok átlagértéke (wt. %)	92,11	0,19	0,84	5,65	0,46	0,74
C60	Elemek	C	Si	Mn	Cu	S	Cr+Mo+Ni
	Tömegszázalékok átlagértéke (wt. %)	0,61	0,25	0,75	0,3	0,045	0,63

A vasalási feltételek meghatározása közelítő számításokon, azonos vagy hasonló tulajdonságokkal bíró vasalt anyagok már meglévő kísérleti eredményein, valamint a rendelkezésre álló univerzális nomogramokon és speciális szabványokon alapul. Azonban a paraméterek nagy száma és egymással való kölcsönhatása bonyolulttá tenné a folyamatot, ráadásul csak nagy elemszámú és hosszadalmas kísérlet elvégzésével lenne megoldható. Ennek elkerülése érdekében alkalmaztam a teljes faktoriális kísérlettervezés módszerét, mellyel egyidejűleg több faktor is vizsgálható, a kísérlettervek átláthatóak és logikusan kezelhetők, így könnyen alkalmazhatóak az ipari gyakorlatban is (Amdouni et al., 2017).

A számos érdekességet befolyásoló tényező közül a vasalóerő (F), az előtolás (f) és a munkadarab kerületi sebességének (v) hatását vizsgáltam, ezek értékeit 2 szintre állítottam be, figyelembe véve, hogy a két anyag jelentősen eltérő mechanikai jellemzőkkel rendelkezik, az egyes értékek ehhez megfelelően igazodnak (2. táblázat).

2. táblázat. Vasalási paraméterek

Ssz.	C60			EN AW-2011			Transzformált paraméterek		
	F [N]	f [mm/ford]	v [m/min]	F [N]	f [mm/ford]	v [m/min]	X ₁	X ₂	X ₃
1	50	0,05	40	10	0,001	15	-1	-1	-1
2	100	0,05	40	20	0,001	15	+1	-1	-1
3	50	0,1	40	10	0,005	15	-1	+1	-1
4	100	0,1	40	20	0,005	15	+1	+1	-1
5	50	0,05	80	10	0,001	30	-1	-1	+1
6	100	0,05	80	20	0,001	30	+1	-1	+1
7	50	0,1	80	10	0,005	30	-1	+1	+1
8	100	0,1	80	20	0,005	30	+1	+1	+1

Az eljárás megvalósítása OPTIMUM OPTItorn S600 gyártmányú CNC esztergán történt $r = 3,5$ mm sugarú PCD anyagú szerszám alkalmazásával, $v = 70$ mm²/s kinematikai viszkozitású olaj kézi adagolása mellett.

3.2. Az felületi mikro-keménység mérése

Az egyes felületek mikro-keménységének mérése - vasalás előtt és után - 3 ponton 3 irányban 120°-os elforgatással történt Wilson Instruments Tukon 2100B típusú Vickers keménységmérő berendezésen, majd. Az elemzés során pedig az irányok szerinti egyes számtani középértékek lettek figyelembe véve.

A mérési eljárás elve, mint általában minden más típusú keménységmérés esetén az, hogy az anyag hogyan áll ellen a képlékeny deformációnak, melyet egy meghatározott terhelés meghatározott ideig okoz.

Jelen esetben egy 136°-os gyémánt gúlát 10 N erővel 10 másodpercen keresztül nyomott a berendezés a mérendő felületre, majd a kiértékelés során CCD kamera segítségével megmértem a lenyomat átlóit, így a berendezés saját szoftvere számszerű értéket szolgáltatott a felület keménységére vonatkozóan.

3.3. A hengeresség mérése

A tengelyszerű darabok alakhelyességének ellenőrzése Taylor Hobson Talyrond 365 gyártmányú köralak- és helyzethiba-mérőberendezésen valósult meg. A hengeresség értékelése úgy történik, hogy a berendezés kombinál egy bizonyos számú körköröségi mérést, melyet a vizsgálandó darab különböző magasságaiban mér. Induktív szenzor alkalmazásával a darabok egyes szelvényeinek mérése 2 mm-es tartománnyal történt 20 mm hosszúságban, ugyancsak a felületvasalás előtt és után is.

A hengeresség összetett jellemző, mértéke több elemből tevődik össze és számos mérőszámmal jellemezhetjük, melyek közül az ún. CYL_t paraméter változásának vizsgálatával foglalkoztam. Ez a jellemző egy referenciahengerhez viszonyítva fejezi ki a legnagyobb kiemelkedés és bemélyedés távolságát az ISO 12180-1 szabványban meghatározottak alapján.

4. Eredmények

A felületvasalás okozta változások szemléletesebbé tételéhez dimenzió nélküli viszonyszámokat hoztam létre az alábbi képleteknek megfelelően, a keménységre és a hengerességre egyaránt vonatkozóan:

$$\rho_{HV/CYLt} = \frac{HV/CYLt_{utána}}{HV/CYLt_{előtte}} \quad (1)$$

$$\rho\% = (\rho - 1) \cdot 100\% , \quad (2)$$

ahol:

$\rho_{HV/CYLt}$	A felület mikro-keménységére/hengerességére vonatkozó, a vasalás okozta változást mutató dimenziótlan viszonyszám
$HV/CYLt_{utána}$	A felület mikro-keménysége/hengeressége a vasalást követően
$HV/CYLt_{előtte}$	A felület mikro-keménysége/hengeressége a vasalást megelőzően
$\rho\%$	A változás százalékos mértéke. A keménység esetében minél nagyobb az értéke, az annál nagyobb javulást jelent, míg a hengeresség szempontjából, a minél kisebb érték fejezi ki a pozitív változást.

A felületi mikro-keménység és a hengeresség vizsgálatából származó mért, illetve számított eredményeket a 3.-4. táblázatok foglalják össze.

3. táblázat. A felületi mikro-keménység változása

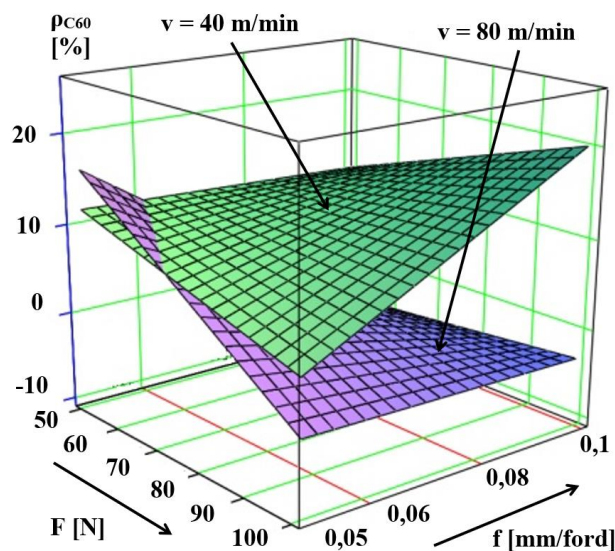
Ssz.	C60 [HV]			EN AW-2011 [HV]		
	Előtte	Utána	ρ_{C60} [%]	Előtte	Utána	ρ_{EN} [%]
1	882,4	985,5	11,68	160,7	169,3	5,35
2		914	3,58		180,3	12,19

3		977	10,72		160	-0,44
4		1059	20,01		162	0,81
5		1024	16,05		181	12,63
6	883	860	-2,60	162,7	170	4,49
7		832	-5,77		158	-2,89
8		854,5	-3,23		170	4,48

4. táblázat. Az alakhelyesség változása

Ssz.	C60 [μm]			EN AW-2011 [μm]		
	Előtte	Utána	ρ _{C60} [%]	Előtte	Utána	ρ _{EN} [%]
1	14,04	19,92	41,88	14,90	18,18	22,01
2	17,53	19,78	12,83	26,34	24,90	-5,47
3	24,46	21,56	-11,86	9,72	15,95	64,09
4	23,72	22,09	-6,87	12,67	12,45	-1,74
5	23,33	25,20	8,06	9,79	17,03	73,95
6	23,23	22,02	-5,21	14,06	17,90	27,31
7	13,40	55,12	311,34	8,39	13,01	55,07
8	19,44	24,00	23,46	10,66	17,18	61,16

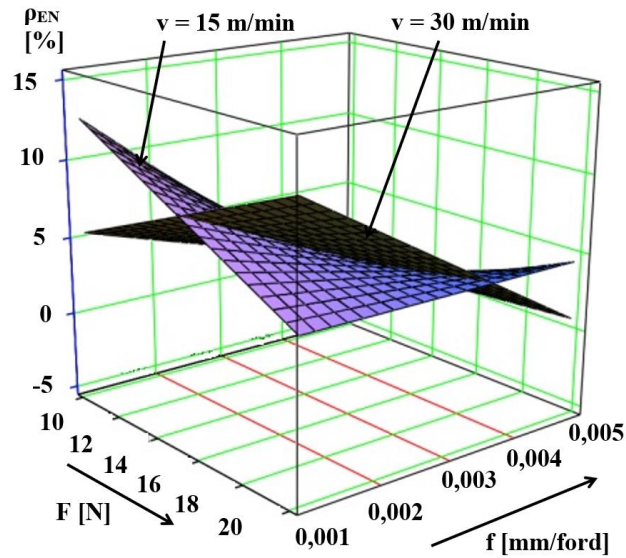
A teljes faktoriális kísérlettervezés szerint írtam fel az egyes jellemzőkre vonatkozó empirikus képleteket (3-6), a számítások és az egyes axonometrikus ábrák (2.-5. ábra) pedig MathCAD program alkalmazásával készültek.



2. ábra. A mikro-keménység változása edzett acél esetén

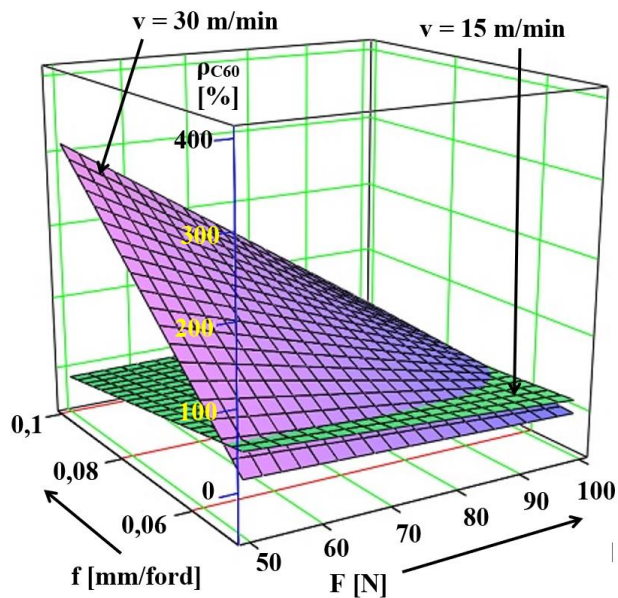
$$\rho_{C60} = -1,45 - 0,223 \cdot F + 126,2 \cdot f + 0,989 \cdot v + 5,436 \cdot F \cdot f - 7,175 \cdot 10^{-3} \cdot F \cdot v - \quad (1)$$

$$-12,33 \cdot f \cdot v + + 0,038 \cdot F \cdot f \cdot v$$



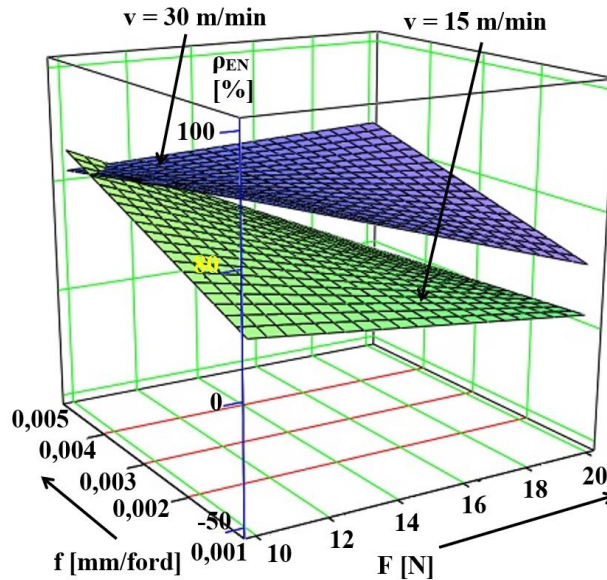
3. ábra. A mikro-keménység változása gyengén ötvözött alumínium esetén

$$\rho_{EN} = -31,408 + 2,849 \cdot F + 7,657 \cdot 10^{-3} f + 1,998 \cdot v - 667,25 \cdot F \cdot f - 0,135 \cdot F \cdot v - 513,833 \cdot f \cdot v + + 35,167 \cdot F \cdot f \cdot v \quad (4)$$



4. ábra. Az alakhelyesség változása edzett acél esetén

$$\rho_{C60} = 873,98 - 7,75 \cdot F - 1,507 \cdot 10^4 \cdot f - 17,882 \cdot v + 137,076 \cdot F \cdot f + 0,162 \cdot F \cdot v + 332,835 \cdot f \cdot v - 3,086 \cdot F \cdot f \cdot v \quad (5)$$



5. ábra. Az alakhelyesség változása gyengén ötvözött alumínium esetén

$$\rho_{EN} = -107,078 + 5,139 \cdot F + 6,359 \cdot 10^4 f + 8,186 \cdot v - 3,783 \cdot 10^3 \cdot F \cdot f - 0,371 \cdot F \cdot v - 2,716 \cdot 10^3 \cdot f \cdot v + 170,033 \cdot F \cdot f \cdot v \quad (6)$$

5. Összefoglalás

A cikk bemutatta a gyémántszerszámmal végzett felületvasalási eljárás edzett acélon és gyengén ötvözött alumínium anyagminőségen végzett kísérleti vizsgálatát, melynél a vizsgált paraméterek a vasalási erő, előtolás és sebesség voltak. A kutatómunka célja annak elemzése volt, hogy ezek a beállítási paraméterek milyen hatással vannak a felület felkeményedésére, illetve tengelyszerű darabok esetén az alakhelyesség változására. A kísérletek megtervezése és végrehajtása a teljes faktoriális kísérlettervezés módszerének megfelelően történt, az eredmények még szemléletesebbé tételéhez dimenzió nélküli viszonyszámokat, valamint empirikus képleteket írtam fel, a vasalás kimenetelét 3D-s diagramokban is ábrázoltam, mindezek alapján az alábbi következtetéseket fogalmaztam meg:

- A C60 anyag felkeményedését egyértelműen elősegítette a sebesség és az előtolás mértékének csökkentése, ami azzal magyarázható, hogy a hideg képlékeny alakítás felületet tömörítő hatása nagyobb időtartamig tudott érvényesülni, ezáltal több, mint 20%-os javulást idézve elő az alábbi beállítás esetén:

$$\begin{aligned} F &= 100 \text{ N} \\ f &= 0,1 \text{ mm/ford} \\ v &= 40 \text{ m/min} \end{aligned}$$

- A gyengén ötvözött alumínium esetében, a kísérletben alkalmazott paramétertartományon belül, csupán csekély mértékű javulás volt tapasztalható, így ez mindenképp további vizsgálatokat igényel, de kijelenthető, hogy a sebesség növelésével növekszik az előtolással való korrelációja is.
- A sebesség az előtolás e viszonya megfigyelhető az alakhelyesség változásának tekintetében is, továbbá a hengeresség nagyobb mértékű javulásának érdekében célszerűbb mindkettő mértékét csökkenteni.
- A jövőbeni kutatási tervek között szerepel a növelt vasalási járatszám elemzésbe való bevonása és vizsgálta a jelenlegi eredmények alapján módosított jellemzőkkel.

6. Köszönetnyilvánítás

„Az NKFI-125117 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a K_17 pályázati program finanszírozásában valósult meg.”

Irodalom

- [1] Kovács, Gy. (2020). Combination of Lean value-oriented conception and facility layout design for even more significant efficiency improvement and cost reduction. *Int. J. of Product. Research*, 58(10), 2916–2936. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1712490>
- [2] Molnár, V. (2021). Minimization method for 3D surface roughness evaluation area. *Machines*, 192, 1–16. <https://doi.org/10.3390/machines9090192>
- [3] Sztankovics, I., Kundrák, J. (2022). Theoretical value and experimental study of arithmetic mean deviation in rotational turning. *Rezanie I Instrumenty V Tekhnologicheskikh Sistemah*, 96, 73–81. <https://doi.org/10.20998/2078-7405.2022.96.08>
- [4] Nagy, A., Varga, G. (2021). Effect of the abandonment of cooling and lubrication on surface roughness and cylindricity in turning of steel. *Multidisciplinary Sciences*, 11(4), 395–407. <https://doi.org/10.35925/j.multi.2021.4.43>
- [5] Ibrahim, A. A. (2008). Fatigue life enhancement of carbon steel by ball burnishing proces. *Mansoura Engineering Journal*, 33(2), 1–9. <https://doi.org/10.21608/bfemu.2008.127220>
- [6] Jerez-Mesa, R., Plana-Garcia, V., Lluma, J., Travieso-Rodriguez, J. A. (2020). Enhancing surface topology of Udimet®720 superalloy through ultrasonic vibration-assisted ball burnishing. *Metals*, 10(915), 1–15. <https://doi.org/10.3390/met10070915>
- [7] Lluma, J., Gomez-Gras, G., Jerez-Mesa, R., Rue-Mascarell, J., Travieso-Rodriguez, J. A. (2020). Mechanical strengthening in S235JR steel sheets through vibration-assisted ball burnishing. *Metals*, 10(1010), 1–13. <https://doi.org/10.3390/met10081010>
- [8] Basak, H., Ozkan, M.T., Toktas, I. (2019). Experimental research and ANN Modelling on the impact of the ball burnishing process on the mechanical properties of 5083 Al-Mg material. *Kovove Mater.*, 57, 61–74. https://doi.org/10.4149/km_2019_1_61
- [9] Slavov, S., Dimitroc, D., Konsulova-Bakalova, M., Vasileva, D. (2021). Impact of ball burnished regular reliefs on fatigue life of AISI 304 and 316L austenitic stainless steels. *Materials*, 14, 1–22. <https://doi.org/10.3390/ma14102529>
- [10] Kato, H., Ueki, H., Yamamoto, K., Uasunaga, K. (2018). Wear resistance improvement by nanostructured surface layer produced by burnishing. *Mater. Sci. Forum*, 917, 231–235. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.917.231>
- [11] Krishna, R. M., Koorapati, E. P. (2012). A study of wear resistance of non-ferrous roller burnished components. *Int. J. Appl. Manag. Sci.*, 3, 11–24.

- [12] Skoczylas, A., Zaleski, K. (2020). Selected properties of the surfacel of C45 steel parts subjected to laser cutting and ball burnishing. *Materials*, 13, 1–19. <https://doi.org/10.3390/ma13153429>
- [13] Luo, H., Liu, J., Wang, L., Zhong, Q. (2006). The effect of burnishing parameters on burnishing force and surface microhardness. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 28, 707–713. <https://doi.org/10.1007/s00170-004-2412-0>
- [14] El-Axir, M. H., Othman, O. M., Abodiena, A. M. (2008). Improvements in out-of-roundness and micro-hardness of inner surfaces by internal ball burnishing proces. *Journal of Materials Processing Technology*, 196, 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.05.028>
- [15] Huuki, J., Hornborg, M., Juntunen, J. (2014). Influence of ultrasonic burnishing technique on surface quality and change in the dimensions on metal shafts. *Journal of Engineering*, (2014), 1–8. <https://doi.org/10.1155/2014/124247>
- [16] <https://www.studocu.com/hu/document/budapesti-muszaki-es-gazdasagtudomanyi-egyetem/femek-technologiaja/anyagvalasztas-segedlet-xxxxx/17639383>
(megtekintés dátuma: 2023.01.02.)
- [17] Amdouni, H., Bouzaïene, H., Montagne, A., van Gorp, Adrien, Coorevits, T., Nasri, M., Iost, A. (2017). Experimental study of a six new ball-burnishing strategies effects on the Al-alloy flat surfaces integrity enhancement. *International Journal of Advanced Manufacturing Technologies*, 90, 2271–2282. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9529-9>