

HENGERESSÉGI HIBÁK ELEMZÉSE NEM HAGYOMÁNYOSAN MEGMUNKÁLT HENGERES MUNKADARABOKNÁL

ANALYSIS OF CYLINDRICAL DEVIATIONS IN NON-CONVENTIONALLY MACHINED CYLINDRICAL WORKPIECES

Dr. Varga Gyula *

ABSTRACT

The machined workpieces must meet certain geometric requirements. During the cutting process, due to certain effects of the WDMT (workpiece, device, machine, tool) system, errors may appear on the finished workpiece. By changing the technological parameters, errors can be reduced or occasionally eliminated. The purpose of this study was to analyze the cylindricity deviations. The cylindrical surface was not processed in the usual way, by turning on a rotating workpiece, but by milling of a stationary workpiece. The objective is to investigate the deviation of the workpiece in cylindricity by changing the technological parameters when using different cooling-lubrication methods. On the base of preliminary results, recommendations for the technological parameters are given.

folyamatban a legyártott alkatrészek megmunkálási pontossága a megmunkálás során alkalmazott olyan hatásoktól, tényezőktől függ, mint pl. a technológiai paraméterek, a forgácsolóerő, a munkadarab merevsége, a szerszám gép viselkedése stb. A forgácsolás során az MKGS (munkadarab, készülék, gép, szerszám) rendszerben, illetve azok elemeiben jelentkező váratlan hatások miatt a pontosság változhat.

A marási folyamatban nyert hengeres munkadarab alakhiba vizsgálatához jelentős segítséget jelent az esztergálással eredményeződő hengeres munkadarabok vizsgálata. Az esztergálással megmunkált hengeres felületeknél fellépő alakhibák a munkadarab keresztmetszeteiben jelentkeznek és a keresztmetszeti profilokat a munkadarab hossza mentén megfelelően egymáshoz rendelve a hengerességre jellemző információt kaphatunk. Az elvárt és a valós hengerességi jellemzők közötti különbségek függvényében az eltéréseket a tűréshatárokba kell beépíteni [8].

1. BEVEZETÉS

A feldolgozóipar egyik fő fenntarthatósági problémája az energiafogyasztás csökkentése [1]. Vannak olyan megmunkálási feladatok például karbantartások alkalmával, amikor egy hengeres csapot fel kell szabályozni, de a hengeres csapot tartalmazó szerelt, vagy hegesztett szerkezeti egységet nem szándékoznak elemeire szétbontani. Ilyenkor a hengeres csap nem fogható be az eszterga tokmányába. Azonban a maró gépen, ahol áll a munkadarab, a rövid hengeres csap megmunkálása is elvégezhető. E megmunkálási mód nem újkeletű, de az irodalomban kevés elemzés foglalkozik a megmunkálás vizsgálatával. A különböző a külsőhengeres felületek határozott élgeometriájú szerszámmal történő megmunkálásainak áttekintésével foglalkozik Sztankovics [2]. A megmunkálásváltozatok mozgásviszonyai, főbb jellemzői kerülnek közlésre a cikkben. Sík felületek marásának vizsgálatával számos publikáció foglalkozik, ezek közül néhány a [3-7] irodalmakban található. A legtöbb forgácsolási

2. A KÜLÖNBÖZŐ HÚTÉSI TECHNIKÁK

A kiváló minőségű alkatrészek gyártásának növekvő igénye új technikák alkalmazását teszi szükségessé a nagyobb pontosságú alkatrészek előállításához. Az irodalomban megkülönböztetünk hűtő-kenő anyag nélküli u.n. száraz megmunkálást, minimális mennyiségű hűtő-kenőanyagot felhasználó (MQL) megmunkálást és nagy mennyiségű hűtő-kenőanyagot felhasználó megmunkálást. Masoudi és társai [9] cikkükben azt vizsgálták, hogy az AISI 1045 acélból készült alkatrészek felületi jellemzőire és geometriai tűréseire milyen hatásai vannak a különböző hűtémódok alkalmazásának. Vizsgálták a megmunkálási paraméterek, azaz az előtolás és forgácsolási sebesség, valamint az MQL paraméterek, nevezetesen a sűrített levegő nyomásának, a hűtő-kenő folyadék térfogataramának a felületi topográfiára, forgácsolóerőre és hengerességi eltérésre gyakorolt hatását. A Pugh-mátrix megközelítést alkalmazták a

* egyetemi docens, Miskolci Egyetem Gyártástudományi Intézet

különböző hűtési stratégiák összehasonlítására a fenntartható gyártás szempontjából. A kapott eredmények szerint az MQL megmunkálás jelentősen javította a kimeneti paramétereket az AISI 1045 acél esztérgálásánál. Az MQL rendszer használatával nemcsak a megmunkált felületek topográfiája javult, és szűkebb tűréssel rendelkező alkatrészek készültek, hanem a fenntarthatósági kritériumok is javultak. A fenntarthatósági értékelés eredményei alapján az MQL esztérgálásnak a nedves és száraz körülményeknél jobb volt a környezeti hatás, a kezelő egészsége, a gyártási gazdaságosság és a termelés hatékonysága tekintetében [9].

A szakirodalomban található száraz megmunkálásra, minimális mennyiségű hűtés-kenésre, MQL-re, majdnem száraz megmunkálásra, csökkentett mennyiségű hűtés-kenésre, teljes sugarú hűtés-kenésre vonatkozó fogalmak sokfélék, nem egységesek. A Dudás és társai [10] rendszerezése alapján a minimális mennyiségű hűtés kenésnél az alkalmazott hűtő-kenő anyag térfogatarama: 1-100 ml/h. A Csökkentett mennyiségű hűtés kenésnél ≤ 2 l/min. Egy másik tanulmányban, melyet Biró és társai készítettek [11], sokkal nagyobb értékek is megengedhetők. A minimális mennyiségű kenés (MQL) csak igen kis mennyiségben (jellemzően 5-50 ml/h mértékben) alkalmazott hűtő-kenő folyadékot említ, és maximum 10 l/min mennyiséget enged meg. Ez az oka, hogy a későbbiekben $V_{\text{emulzió } 2} = 1,16$ l/min mennyiségű hűtő-kenő folyadék alkalmazást egy újabb „kis mértékben hűtött” megnevezést kapott

3. KÍSÉRLETI KÖRÜLMÉNYEK

3.1. Anyag, próbadarab

A kísérlet tárgya a C45 acél általános rendeltetésű, ötvöztelen, szerkezeti, nemesíthető és edzhető szénacél. Felhasználási területei között éppúgy megtalálható csavargyártás, a gép- és készülékgyártás, valamint a kisebb igénybevételű autóiipari alkatrészek, kopásálló alkatrészek, nyomástartó alkatrészek, illetve közepes igénybevételnek kitett szerszámok gyártása is [12]. A C45 acél vegyi összetételét az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat A C45 acél vegyi összetétele [13]

C	Si	Mn	P	Cr+
0,42-0,5	$\leq 0,4$	0,5-0,8	$\leq 0,045$	
S	Cr	Mo	Ni	Mo
$\leq 0,045$	$\leq 0,4$	$\leq 0,1$	$\leq 0,4$	$\leq 0,63$

3.2. Kutatási módszertan

A kísérletek során $\varnothing 30$ mm átmérőjű, 28 mm hosszú álló helyzetű külső hengeres felületek marása volt a cél. A kísérletek során megmunkáláskor különböző

térfogataramú hűtő-kenőanyagot (emulziót) alkalmaztunk: száraz megmunkáláskor $V_{\text{emulzió } 1} = 0$ l/h, kis mennyiségű emulzió alkalmazásakor: $V_{\text{emulzió } 2} = 1,16$ l/h.

Jelen kísérletsorozatban a teljes faktoriális kísérlettervezés módszertanát alkalmazva [14-15] három faktor hatásának vizsgálta történt meg. Ezek a faktorok: a forgácsoló sebesség, az előtoló sebesség és az alkalmazott hűtő-kenő folyadék térfogatarama. Mindegyik faktor 2-2 szintre volt beállítva. A faktoriális kísérlettervezés módszerének előnye, hogy empirikus függvénykapcsolat írható fel az input (független) paraméterek és az output (függő) változó között.

Kísérleti paraméterek:

A forgácsoló sebességek:

$$v_{c1} = 54,55 \text{ m/min} \quad v_{c2} = 65,46 \text{ m/min}$$

Előtoló sebességek:

$$v_{f1} = 0,3 \text{ m/min} \quad v_{f2} = 0,5 \text{ m/min}$$

Alkalmazott hűtő-kenő folyadék mennyiségek:

$$V_{\text{emulzió } 1} = 0 \text{ l/h}, \quad V_{\text{emulzió } 2} = 1,16 \text{ l/h}.$$

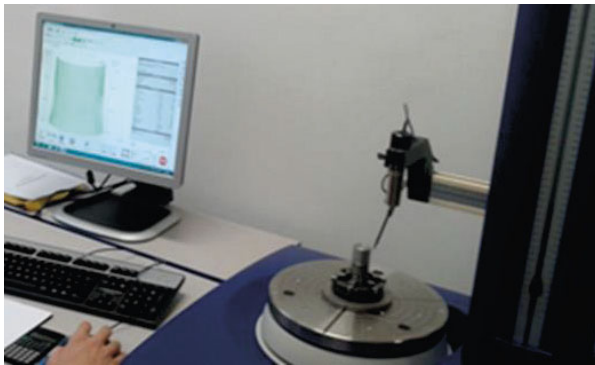
A marási kísérleteket a Miskolci Egyetem Gyártástudományi Intézetében található PERFECT-JET MCV- M8 típusú függőleges megmunkáló központon végeztük el. A kísérletben használt Karnasch gyártmányú bevonat nélkül 4 fogú (<45 HRC, DIN 6535 HA alak) tömör keményfém szármaró átmérője $\varnothing 11$ mm, hossza 83 mm. A kísérleti paraméterváltozatokat a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat. Kísérleti paraméterváltozatok

	Marási paraméterek		
	v_c [m/min]	v_f [m/min]	$V_{\text{emulzió}}$ [l/h]
1	54,55	0,3	0,0
2	65,46	0,3	0,0
3	54,55	0,5	0,0
4	65,46	0,5	0,0
5	54,55	0,3	1,16
6	65,46	0,3	1,16
7	54,55	0,5	1,16
8	65,46	0,5	1,16

3.3. Alakhiba mérések

Az alakhiba mérésekhez a Miskolci Egyetem Gyártástudományi Intézetében található Taylor Hobson cég által gyártott Talyrond 365 jelű köralak és helyzethiba mérő berendezést alkalmaztuk (1. ábra). A hengerességi hiba meghatározásához a hengeres megmunkált alkatrészeket a hossz mentén 4 helyen, egymástól 7 mm távolságban köralakhiba mérést végeztünk induktív szenzor alkalmazásával. A gép szoftvere e mérésekből meghatározza a hengerességi hibát.



1. ábra. A Talyrond 365 jelű köralak és helyzethiba mérő berendezés mérés közben

A teljes hengerességi hiba (CYLt) egy referenciahengerhez viszonyítva fejezi ki a legnagyobb kiemelkedés (CYLp) és bemélyedés (CYLv) távolságát az ISO 12180-1 szabványban meghatározottak alapján. E három paraméter közül a CYLt és a CYLv paraméter változásának vizsgálatával foglalkoztam.

A Talyrond 365 mérő berendezés ultraprecíziósan légsapályázott forgó körasztallal van ellátva. Az alkalmazott induktív érzékelő méréstartomány és érzékenység 3 tartományban: ± 1 mm-nél $0,03 \mu\text{m}$, $\pm 0,2$ mm-nél $0,006 \mu\text{m}$, $\pm 0,08$ mm-nél $0,0012 \mu\text{m}$ [16].

4. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

A mért hengerességi eltérések értékeit a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat A CYLt és CYLv mért értékei a paraméterváltozatok esetén

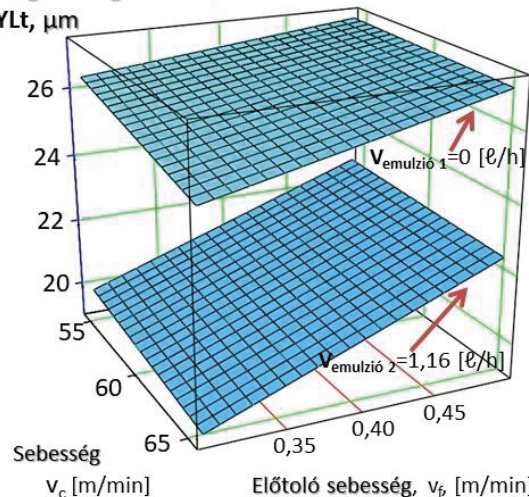
	Marási paraméterek			Hengerességi eltérések, [μm]	
	v_c	v_f	$V_{\text{emulzió}}$	CYLt	CYLv
1	54,55	0,3	0,0	26,34	14,72
2	65,46	0,3	0,0	25,27	14,50
3	54,55	0,5	0,0	27,22	16,32
4	65,46	0,5	0,0	27,10	15,76
5	54,55	0,3	1,16	19,81	8,68
6	65,46	0,3	1,16	19,20	8,52
7	54,55	0,5	1,16	22,71	10,75
8	65,46	0,5	1,16	22,48	10,51

A 3. táblázatban egy-egy számnál található színezett háttér, ami a legkisebb eltérést, azaz a legkisebb hengerességi paramétert jelöli. A MathCAD 15 programmal meghatározott empirikus képletek (1-2) szemléltetése a 2-3. ábrán látható.

$$CYLt = 37,495 - 0,229 \cdot v_c - 19,35 \cdot v_f - 13,909 \cdot V_e + 0,435 \cdot v_c \cdot v_f + 0,104 \cdot v_c \cdot V_e + 20,991 \cdot v_f \cdot V_e - 0,225 \cdot v_c \cdot v_f \cdot V_e \quad (1)$$

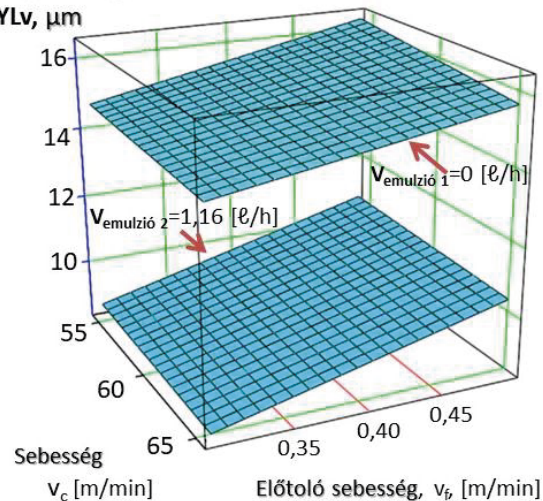
$$CYLv = 10,8704 + 0,027 \cdot v_c + 16,5 \cdot v_f - 4,393 \cdot V_e - 0,156 \cdot v_c \cdot v_f - 0,026 \cdot v_c \cdot V_e - 3,358 \cdot v_f \cdot V_e + 0,103 \cdot v_c \cdot v_f \cdot V_e \quad (2)$$

Hengerességi eltérés, CYLt, μm



2. ábra. A CYLt hengerességi eltérés változása hűtés nélküli ($V_{\text{emulzió } 1}$) és kis mértékben hűtött ($V_{\text{emulzió } 2}$) esetben

Hengerességi eltérés, CYLv, μm



3. ábra. A CYLv hengerességi eltérés változása hűtés nélküli ($V_{\text{emulzió } 1}$) és kis mértékben hűtött ($V_{\text{emulzió } 2}$) esetben

Az előzetes információknak megfelelően a mind a CYLt, mind a CYLv hengerességi eltérés nagyobb száraz marás esetén, mint az emulziós hűtés alkalmazásakor.

- Száraz marás esetén a forgácsoló sebesség v_{c1} -ről v_{c2} -re 4,06% hengerességi hiba (CYLt) csökkenést

- (javulást) okozott a kisebb előtolásnál (v_{f1}), míg nagyobb előtolásnál (v_{f2}), a hiba szinte változatlan. A kis mértékben hűtött ($V_{emulzió\ 2}=1,16\ \text{l/h}$) változatnál a forgácsoló sebesség v_{c1} -ről v_{c2} -re csökkentésekor 3,07% hengerességi hiba (CYL_t) csökkenést (javulást) okozott a kisebb előtolásnál (v_{f1}), míg nagyobb előtolásnál (v_{f2}), a hiba csökkenése 1,01%.
- Ha a kiértékelést előtolási sebesség függvényében végezzük, akkor megállapítható, hogy mindkét hűtési-kenési változatnál akkor javult a hengerességi eltérés, amikor a nagyobb (v_{f2}) előtoló sebességről a kisebb (v_{f1}) előtoló sebességet állítottuk be.
 - A CYL_v bemélyedésre jellemző hengerességi eltérésekre is hasonló elemzések a 3. ábra alapján leolvasható.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A vizsgálat bemutatta, hogyan változik a mart munkadarabok két hengerességi eltérésre vonatkozó jellemzője (CYL_t és CYL_v) a C45 acél általános rendeltetésű, ötvözetlen, szerkezeti, szénacél forgácsolása esetén. A forgácsolás megvalósításakor két különböző hűtési-kenési változat vizsgálata történt meg: a) száraz megmunkálás ($V_{emulzió\ 1}=0\ \text{l/h}$), b) kis mértékű hűtő-kenő folyadék ($V_{emulzió\ 2}=1,16\ \text{l/h}$) használata. A legfontosabb következtetéseket az alábbiakban foglaljuk össze:

- A CYL_t vonatkozásában száraz marásnál ($V_{emulzió\ 1}=0\ \text{l/h}$) a forgácsolási sebesség növelése kisebb előtolási sebességnél a hengerességi hiba csökkenését eredményezi. Nagyobb előtolásnál a csökkentésnek nincs értelme.
- A CYL_t vonatkozásában kis mértékű hűtő-kenő folyadék ($V_{emulzió\ 2}=1,16\ \text{l/h}$) alkalmazásával végzett marásnál a legkisebb hengerességi eltérést (CYL_t=19,2 μm) a nagyobb forgácsoló sebesség ($v_{c2}=65,46\ \text{m/min}$), és kisebb előtoló sebesség ($v_{f1}=0,3\ \text{m/min}$) alkalmazása eredményezte.

6. IRODALOM

- [1] KOVACS, G.: Lean értékorientált folyamatfejlesztés, *Miskolci Egyetemi Kiadó*, Miskolc, (2020), 123 p., ISBN: 9786155626494
- [2] SZTANKOVICS, I.: Külső hengeres felületek megmunkálása határozott élgeometriájú szerszámmal – Áttekintés, *Multidiszciplináris Tudományok: A Miskolci Egyetem közleménye* Vol. 12, No. 5 (2022) pp. 40-53.
- [3] FELHO, C., KUNDRÁK, J.: Effect of the changing of the feed on surface topography at face milling, *International Journal of Mechanical Engineering*, Vol. 1, No. 1, (2016) pp. 114-121.
- [4] MAKKAI, T.: A homlokmarás kutatásának főbb eredményei 2. rész: Az érdesség és alakhiba

vizsgálata, forgácsolási paraméterek optimalizálása, *Multidiszciplináris tudományok: A Miskolci Egyetem közleménye*, Vol. 12, No. 5, (2022) pp.124-139.

- [5] BORYSENKO, D., KUNDRÁK, J., KARPUSCHEWSKI, B., WELZEL, F., MAROS, Z., FELHŐ, C.: Surface residual stresses in high-feed face milling of carbon steel, *Lecture Notes in Mechanical Engineering, Vehicle and Automotive Engineering*, Vol. 4 (2022) pp. 648-653.
- [6] NAGY, A.; KUNDRÁK, J.: Analysis of inhomogeneity of surfaces milled with symmetrical, down-milling, and up-milling settings, *In: Wojciech, Zębala; Ildikó, Maňková (szerk.) Development in Machining Technology: Scientific – Research Reports*, Vol. 10, Krakko, Lengyelország: Cracow University of Technology (2022) pp. 51-62.
- [7] VARGA, G., KUNDRÁK, J.: Effects of technological parameters on surface characteristics in face milling, *Solid State Phenomena*, Vol. 261, No. 1 (2017) pp. 285-292.
- [8] BOCA, M., NAGIT, G., CIOATĂ, F.: Aspects concerning the circularity and cylindricity deviation of a work piece processed by turning, *MATEC Web of Conferences* Vol. 112, 01020 (2017), DOI: 10.1051/mateconf/20171120102
- [9] MASOUDI, S., ESFAHANI, M. J., JAFARIAN, F., MIRSOLEIMANI, S. A.: Comparison the effect of MQL, wet and dry turning on surface topography, cylindricity tolerance and sustainability, *Int. Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, Vol. 10 (2023) pp. 9-21, <https://doi.org/10.1007/s40684-019-00042-3>
- [10] DUDÁS, I., LIERATH, F., VARGA, G.: Környezetbarát technológiák a gépgyártásban: forgácsolás szárazon, minimális hűtéssel-kenéssel, Budapest, Magyarország: *Műszaki Könyvkiadó* (2010), 308 p. ISBN: 9789631665000
- [11] BIRÓ S., CSUKA S., SIPOS S.: A forgácsolási folyamat vizsgálata minimálkenéskor, https://www.forgacsolaskutatas.hu/kornyezet/A_for_gacsolasi_folyamat_vizsgalata_minimalkenes/ (Megtekintés dátuma: 2023.12.15)
- [12] <https://www.plasmatech.hu/c45-acel-fobb-tulajdonsagok-es-legfontosabb-elonyok.html>
- [13] <https://loksacel.hu/wp-content/uploads/2018/10/c45.pdf>
- [14] FRIDRIK, L.: Válogatott fejezetek a gépgyártás-technológiai kísérletek tervezése témaköréből. *Tankönyvkiadó*, Budapest (1993)
- [15] JOHANYÁK Z. C.: Bevezetés a kísérleti módszertanba, Kecskeméti Főiskola, (2002)
- [16] SOLECKI, L.: Gépészeti profilok és felületek geometriai érzékelési és összehasonlítási módszereinek fejlesztése, Doktori értekezés, Széchenyi István Egyetem (2018)