



Furatmegmunkálási eljárások pontosságának vizsgálata

Accuracy Examination of Hole Machining Methods

Ráczai Viktor Gergely,¹ Mikó Balázs²

¹ Óbudai Egyetem, Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola. Budapest, Magyarország, raczi.viktor@bgk.uni-obuda.hu

² Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Gépészeti és Technológiai Intézet, Gyártástechnológiai Intézeti Tanszék. Budapest, Magyarország, miko.balazs@bgk.uni-obuda.hu

Abstract

The geometric accuracy and surface quality of hole machining processes are fundamentally important for the operational reliability of manufactured components, as supported by the literature review. The aim of this research was to compare the geometric and surface characteristics of circular pockets produced by three different machining methods: turning, boring, and milling. During the investigations, coordinate measuring machine (CMM) and surface roughness measurement methods were applied, and the results were evaluated using the Taguchi method, signal-to-noise (S/N) ratio analysis, and weighted scoring assessment. Based on the results, boring proved to be the most favorable method in terms of geometric accuracy, while milling yielded better surface roughness values. The findings of this research can support the selection of appropriate pre-production machining technologies and contribute to the optimization of manufacturing processes.

Keywords: *geometric tolerance, hole machining, Taguchi experiment design.*

Összefoglalás

A furatmegmunkálási eljárások geometriai pontossága és felületi minősége alapvető fontosságú a gyártott alkatrészek működési megbízhatósága szempontjából, amint azt a szakirodalmi áttekintés is alátámasztja. Jelen kutatás célja három különböző forgácsolási eljárással (esztergálással, kiesztergálással és marással) készített körzsebek geometriai és felületi jellemzőinek összehasonlítása volt. A vizsgálatok során koordinátamérési (CMM) és felületi érdesség-mérési módszereket alkalmaztunk, az eredményeket a Taguchi-módszer alapján, jel-zaj arány számítással és súlyozott pontozásos kiértékeléssel elemeztük. Az eredmények alapján a geometriai pontosság szempontjából a kiesztergálástechnológia bizonyult a legkedvezőbbnek, míg a marás a felületi érdességi paraméterek tekintetében nyújtott kedvezőbb értékeket. A kutatás megállapításai hozzájárulhatnak a megfelelő előgyártási technológia kiválasztásához és a gyártási folyamatok optimalizálásához.

Kulcsszavak: *geometriai tűrések, furatmegmunkálás, Taguchi-kísérlettervezés.*

1. Bevezetés

A hengeres felületek megmunkálása során elérhető geometriai pontosság meghatározó szerepet játszik a gyártott alkatrészek működési megbízhatóságában, különösen olyan alkalmazások esetén, ahol csapágyazás, illeszkedés vagy tömítés az elvárt funkció. A korszerű gyártástechnológiák célja nem csupán a méretpontosság, hanem a minimális alakhibák (például a hengeresség és köralakúság) biztosítása is. Ennek érdekében a

különböző forgácsolási eljárások összehasonlítása és használt technológiai paramétereik optimalizálása elengedhetetlen.

A megmunkált alkatrészek geometriai és méretbeli pontosságának értékelésére különböző mérőszámok alkalmazhatók, amelyek meghatározását és értelmezését az ISO-szabványok részletesen leírják. A ΔD (átmérőeltérés) a mért átlagos átmérő és a névleges méret különbségét jelenti, és a mérettűrésekre vonatkozó ISO 14405-1:2016 szabvány alapján értelmezhető. A mérettűrés mellett

a geometriai tűrések részletgazdagabb leírását adják a gyártott elem eltéréseinek. A *RONt* (Roundness total deviation) a körkörösség eltérését fejezi ki, és az ISO 12180-1 és ISO 12180-2 szabványok alapján kerül meghatározásra (1. ábra/a). Ez az érték a mért kontúr legnagyobb és legkisebb sugara közötti különbséget jelenti egy adott keresztmetszetben. A *CYLt* (Cylindricity total deviation) hasonló módon a teljes hengerességi eltérést írja le, amelyet az ISO 12181-1 és ISO 12181-2 szabványok definiálnak (1. ábra/b). Ez a jellemző a mért felületet éppen lefedő legkisebb és legnagyobb koncentrikus hengerek közötti távolságként értelmezhető. Mindhárom mérőszámot általában mikrométerben (μm) adják meg, és a gyakorlatban koordinátamérő gépekkel (CMM) végzett alak- és méretellenőrzések során kerülnek meghatározásra. A jelen vizsgálat során a körzsebek geometriai jellemzésére a ΔD -, *RONt*- és *CYLt*-paraméterek kerültek alkalmazásra.

Az esztergálás az egyik legelterjedtebb eljárás hengeres felületek készítésére, azonban bizonyos esetekben nem alkalmazható (szerelt vagy nem forgásszimmetrikus alkatrészeknél). Ilyen helyzetekben alternatív megmunkálási módok (pl.: marás, kiesztergálás) kerülnek előtérbe.

Marási eljárás során a forgácsolási paraméterek mellett egyéb körülmények is hatással vannak a megmunkált felület pontosságára, mint például a hűtési viszonyok [1]. Az elvégzett kísérletek alapján a legkedvezőbb eredményt a 65,46 m/min forgácsolási sebesség, 0,3 m/min asztalelőtoló sebesség és 1,16 l/h emulzió alkalmazása eredményezte, ahol a *CYLt* értéke 19,20 μm , a *CYLv* pedig 8,52 μm volt [1].

Mérések szerint a kenőanyag típusa és mennyisége jelentősen befolyásolta a *CYLt*-, *CYLp*- és *CYLv*-értékeket. Kutatások eredményei alapján a legalacsonyabb *CYLt*-értéket (13,31 μm) 188,5 m/min forgácsolási sebesség, 0,05 mm/ford előtolás és 546 cm³/min emulzió eredményezte [2, 3].

A különféle alakhibák elemzése tangenciális esztergálás esetén is egyre nagyobb figyelmet

kap. Az eljárás különleges kinematikai jellemzői révén kiválóan alkalmazható nagy pontosságú hengeres felületek megmunkálására, azonban az alakhiba – különösen a *CYLv* és a *RONt* – jelentősen függ a forgácsolási sebességtől és a fogásmélységtől [4].

A kemény megmunkálások (edzett acélok esztergálása és köszörülése) összehasonlítása esetén, a *RONt*-, *CYLt*-, *CYLtt*- és *Ra*-paraméterek alapján a keményesztergálás versenyképes alternatíva lehet a hagyományos köszörüléssel szemben, különösen, ha a megmunkálás egy felfogásban, egy gépen történik [5].

A hónolás mint befejező megmunkálás szintén hozzájárul a kiváló alakhelyességű furatok előállításához. Nagypál és Sztankovics munkájában kimutatták, hogy az abrazív szerszám szerkezete és az előtolás mértéke hatással van a *CYLt*-, *CYLtt*- és *RONt*-paraméterekre – a kisebb szemcseméret és a zártabb szerkezet kedvezőbb hengerességet eredményezett [6].

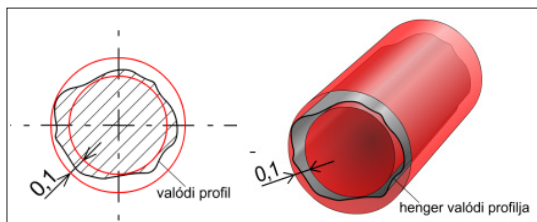
Külön figyelmet érdemelnek azok az eljárások is, amelyek mechanikus alakításra (nem forgácsolásra) épülnek. Ferencsik és Varga több tanulmányban is vizsgálták a gyémántszerszámok felületvasalás hatását a mikrokeménységre és a hengerességre, és kimutatták, hogy a megfelelő vasalási paraméterek alkalmazásával jelentős mértékben javítható az alakhelyesség [7, 8].

E kutatások együttes tanulsága, hogy a különböző forgácsolási és alakító eljárások befolyásolják a geometriai alakhelyesség alakulását, emellett a megfelelő eredmény elérése érdekében minden esetben szükséges az alkalmazott technológiai paraméterek gondos megválasztása.

A jelen tanulmány célja annak vizsgálata, hogy a kiesztergálással előállított körzsebek geometriai pontossága, különösen a hengeresség, köralakúság és a felületi érdességi paraméterek alapján, mennyire közelíti meg az esztergálással készült munkadarabok pontosságát. Az eredmények segíthetnek annak eldöntésében, hogy a jövőbeni kísérletek során elegendő-e a kiesztergálást alkalmazni az előgyártásban.

2. Anyagok és módszertan

A forgácsolási kísérletek során három különböző forgácsolási technológiával készítettük el a körzsebeket. Mindhárom eljárás alkalmazása során keményfém szerszámokat használtunk, amelyeket a Walter Hungária Kft. biztosított számunkra. Az esztergálással készült körzsebek esetében az A20S-SDQCL11 jelű fűrőrudat és a



1. ábra. A köralakúság (a) és hengeresség (b) geometriai eltérések meghatározása

DCMT11T304-MP4-WPP20G jelzésű lapkát alkalmaztuk (1. táblázat/No. 1). A kiesztergálással készült munkadarabok esetében a B4030G. T28. 33-41.Z jelű szerszámot és a TCMT06T104-FP4 jelzésű lapkát használtuk (1. táblázat/No. 2), míg a marással készült körzsebek megmunkálásánál a H4021017-20 jelölésű ujjmarót alkalmaztuk (1. táblázat/No.3).

A forgácsolási vizsgálatok a MAZAK SQT 10 MS CNC megmunkálóközponton és a Mazak Nexus 410A-II CNC marógépen kerültek végrehajtásra. A szerszámok állapotfelmérése és geometriai méreteik ellenőrzése (valós szerszámtátmérő megállapítása kiesztergáló- és marószerszám esetén) az Elbo Controlli Hathor lézeres szerszámbemérő segítségével történt.

A forgácsolási kísérleteket C45 (1.0503)-jelölésű nemesíthető szénacélon végeztük, amelynek kémiai összetétele: C: 0,43–0,5%; Si: <0,4%; Mn: 0,5–0,8%; Mi: <0,4%; P <0,045%; Cr: <0,4%; Mo: <0,1%. Az anyagot kiváló mechanikai tulajdonságai miatt gépészeti és szerkezeti alkatrészek alapanyagaként alkalmazzák. Az általunk használt, Ø80×70 mm-es geometriai mérettel rendelkező munkadarabok keménysége HV30 $185 \pm 7,3$ (σ:3,65) volt.

A kísérlet során használt munkadarabok előgyártmányai a MAZAK SQT 10 MS CNC megmunkálóközpontban készültek két felfogásban. A kísérlet során Ø34 mm átmérőjű körzseb simítása történt 32 mm mélységig (2. ábra). A vizsgálat során a fogásmélység (a) (marás esetén fogásszélesség [ae]) 0,5 mm volt. A kísérleti eredmények összehasonlíthatósága érdekében az anyagáram (V [mm³/min]) értéke mindhárom eljárás esetén azonos volt. A forgácsolási kísérletek árasztásos hűtés (MOL Emolin 420 6%-os oldat) alkalmazásával kerültek végrehajtásra.

A forgácsolási kísérletek a Taguchi kísérlettervezési módszer (L9) alapján kerültek megtervezésre. A vizsgálat során mindegyik eljárás esetén megváltoztattuk a forgácsolási sebesség (v_c) és a fogankénti előtolás (f_z) értékét három szinten. A 2. táblázat tartalmazza az alkalmazott technológiai paraméterek értékeit.

2.1. Koordinátamérési vizsgálatok

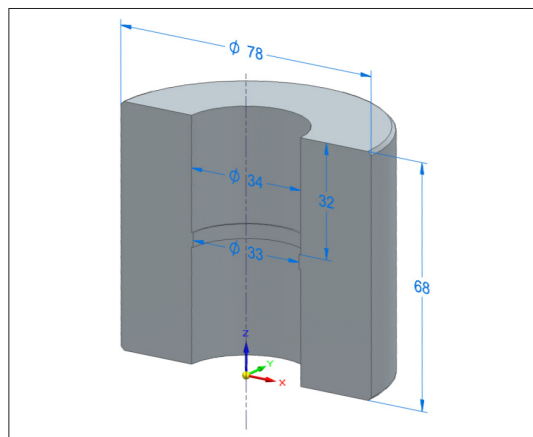
A forgácsolási kísérleteket követően a Mitutoyo CRYSTA-Apex V544 koordinátamérő gép segítségével határoztuk meg a körzseb geometriai hibáit ($RONt$, $CYLt$) és méretének eltérését az elméleti geometriától (ΔD). A vizsgált geometriai eltérések értékeinek meghatározását tizenegy mélységben (h : 2; 4,5; 7; 9,5; 12; 14,5; 17; 19,5; 22; 24,5; 27 mm),

1. táblázat. A kísérleteknél alkalmazott szerszámok

No.	Szerszám	Lapka
1	A20S-SDQCL11	DCMT11T304-MP4-WPP20G
2	B4030G. T28. 33-41.Z	TCMT06T104-FP4
3	H4021017-20	

2. táblázat. A kísérleteknél alkalmazott technológiai paraméterek

Esztergálás			Kiesztergálás			Marás		
No.	v_c (m/min)	f_z (mm)	No.	v_c (m/min)	f_z (mm)	No.	v_c (m/min)	f_z (mm)
1	180	0,05	4	180	0,1	7	180	0,15
2	200	0,1	5	200	0,15	8	200	0,05
3	220	0,15	6	220	0,05	9	220	0,1



2. ábra. Kísérletnél alkalmazott munkadarab

szintenként 24 pontból (összesen: 264 pont) állapítottuk meg.

A Mahr MarSurf GD 120 érdességmérő segítségével határoztuk meg a felületi érdességi paramétereket (Ra , Rz). A vizsgálat során minden megmunkált felületet három pozícióban (0°; 120°; 240°) és három mélységben (0; 9; 18 mm) mértük meg (összesen: 9 mérés), a MSZ EN ISO 21920:2022 szerinti It : $4,8 + 2 \cdot 0,8$ mm hossz alkalmazásával.

A mérési eredményeket a mérőgépek saját szoftvere mellett, MINITAB 22 szoftver segítségével értékeltük ki.

Az eredmények meghatározásánál a legkisebb négyzetek módszerét (Least Squares Cylinder Fit) alkalmaztuk, ami minimalizálja a mért pontok és az elméleti átmérőtől az illesztett kör vagy henger középpontjának tengelyére merőleges távolságok négyzetösszegét. A kapott eredményeket grafikus formában ábrázoltuk.

3. A mért értékek bemutatása

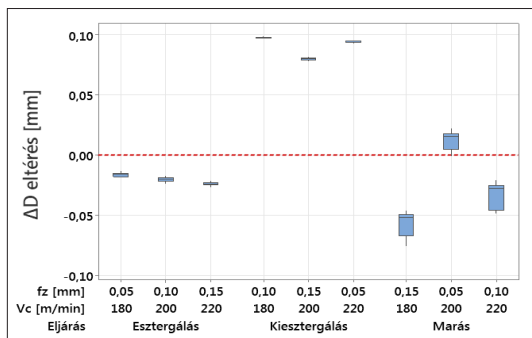
Az elméleti átmérőtől való eltérés (ΔD) eredményeit a **3. ábra** mutatja, ahol a 264 darab mérés-eredmény eloszlása látható. Az adatok alapján megállapítható, hogy a különböző forgácsolási eljárások jól elkülöníthetők. Az esztergálási és kiesztergálási technológiáknál megállapítható, hogy a forgácsolási technológiák kismértékben befolyásolják az elméleti geometriától való eltérést, míg marás esetén ez a hatás jelentős. Az esztergálás okozta a legkisebb ΔD -eltérést (átlagosan $-0,02$ mm), míg a kiesztergáláskor átlagosan $0,09$ mm-rel nagyobb körzsebek készültek. Az erőmérési eredmények és a Necurom 651-es műfában történő kísérletek alapján megállapítható, hogy a szerszám deformációja okozta az átmérő geometriai eltérését.

A mért pontok segítségével meghatároztuk az adott szinthez tartozó köralakúság ($RONt$) nagyságát (**4. ábra**). Az adatok alapján megállapítható, hogy az esztergálás és a kiesztergálás közel hasonló köralakúságot okoz, míg a marási eljárásnál nemcsak az adatok szórása jelentős, de a vizsgált geometriai eltérés is 2,8-szorosa az esztergálási eljárás átlagához képest. Az adatok alapján itt is megállapítható, hogy a technológiai paraméterek jelentős hatást fejtenek ki marási eljárás esetén a köralakúság nagyságára.

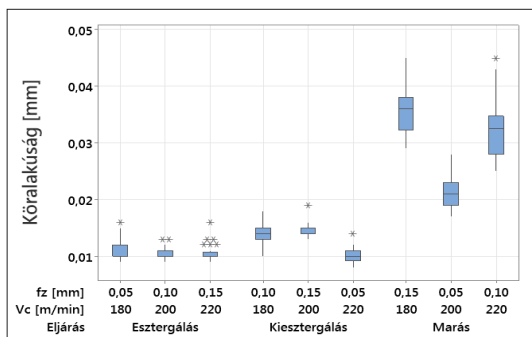
A körzsebek hengeressége ($CYLt$) vizsgálatának eredményeit a **5. ábra** mutatja be, ahol 36 mérés (9×4) eredményei vannak feltüntetve. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a legkisebb hengerességi eltérést az esztergálással készült körzsebek esetén lehetett tapasztalni. Kiesztergálás esetén a hengeresség nagysága átlagosan 10%-kal tért el az esztergált körzsebeiktől, míg marással készült munkadarabok esetén 2,9-szeres az átlagos eltérés. Az adatok alapján az is jól látható, hogy marásnál a technológiai paraméterek jobban befolyásolják a hengeresség értékét.

3.1. Érdességmérési vizsgálatok

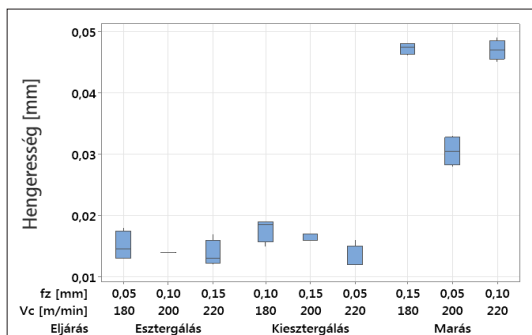
Az átlagos felületi érdesség (Ra) adatait összegzi a **6. ábra**. A legkisebb Ra -érdességet a marási eljárás okozta. Esztergálással átlagosan 2,6-szor, míg kiesztergálás esetén átlagosan 2,8-szor nagyobb Ra -érdesség volt mérhető. Az átlagos felületi érdességre marás esetén nincs számottevő hatása a technológiai paramétereknek, míg esztergálás és kiesztergálás esetén a technológiai paraméterek hatása jelentősen befolyásolja az Ra értékét. Emellett megállapítható, hogy a felület homogenitása egyéül szerszám alkalmazásával jóval kedvezőbb, mint többélű szerszám esetén.



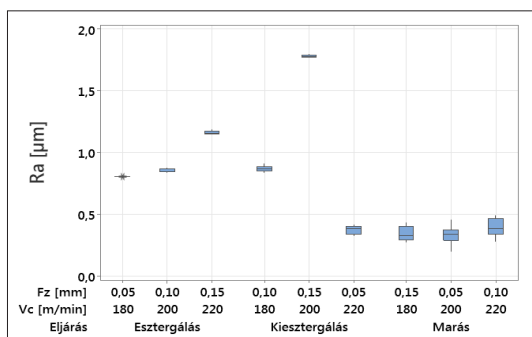
3. ábra. Elméleti mérettől való eltérés



4. ábra. Köralakúság alakulása a vizsgálat során



5. ábra. Hengeresség alakulása a vizsgálat során



6. ábra. Átlagos felületi érdesség alakulása a vizsgálat során

A felületi érdességi vizsgálatok során a másik vizsgált paraméter az egyenetlenség-magasság (R_z) volt, amelynek eredményeit a **7. ábra** mutatja. Marási eljárással készített körzsebek esetén volt a legkisebb az R_z érdességi paraméter, míg kiesztörgálás esetén átlagosan 1,8-szor, esztörgálás esetén átlagosan 2,1-szer nagyobb R_z volt mérhető. Az eredmények szórása alapján kijelenthető, hogy az esztörgálással készített munkadarabok homogenitása sokkal kedvezőbb, mint a többi eljárásnál. Kiesztörgálás során a hűtés intenzitásának hiánya eredményezhette az R_z -adatok szórását, mert a folyó forgács nem tudott eltávozni a körzsebből.

4. A mért értékek elemzése és megállapítások

A kísérleti eredmények kiértékeléséhez a Taguchi-módszert alkalmaztuk, amely lehetővé teszi több tényező hatásának egyidejű vizsgálatát viszonylag kevés számú elvégzett kísérlet esetén. Az adatok elemzése során kizárólag jel-zaj arány (Signal-to-Noise Ratio, S/N) alapú kiértékelést alkalmaztunk. A jel-zaj arány számítása lehetővé teszi, hogy ne csak az átlagos eredményeket vizsgáljuk, hanem a mérési eredmények szórását, stabilitását is figyelembe vegyük. Ezáltal megbízhatóbb képet ad arról, hogy egy adott technológiai beállítás mennyire egyenletesen és kiszámíthatóan teljesít. A módszert széles körben alkalmazzák kísérlettervezésben (DOE), gyártástechnológiában és minőségbiztosításban, különösen olyan helyzetekben, ahol a folyamat robusztusságának növelése a cél [9, 10].

A tényezők hatásának értékelése során a delta érték (Δ) nagyságát vettük figyelembe, amely az adott tényező legjobb és legrosszabb szintjén mért jel-zaj arányok közötti különbséget jelöli (1. képlet). A delta érték nagysága arányos az

adott tényező eredményre gyakorolt hatásával, így a tényezők fontossági sorrendje ezen értékek alapján állapítható meg [9].

$$\Delta = S/N_{\max} - S/N_{\min} \quad (1)$$

„Érték közel legyen a célértékhez” (Nominal is best) esetén a képlet:

$$S/N = -10 \cdot \log_{10}(s^2) \quad (2)$$

ahol:

s : az y értékek szórása.

„Minél kisebb, annál jobb” (Smaller is better) esetén a képlet:

$$S/N = -10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (3)$$

ahol:

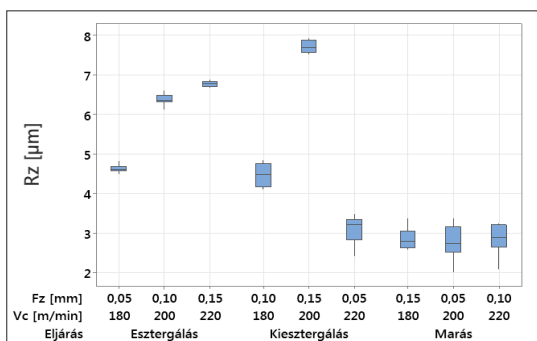
y_i : i -edik mért érték,

n : mérések száma.

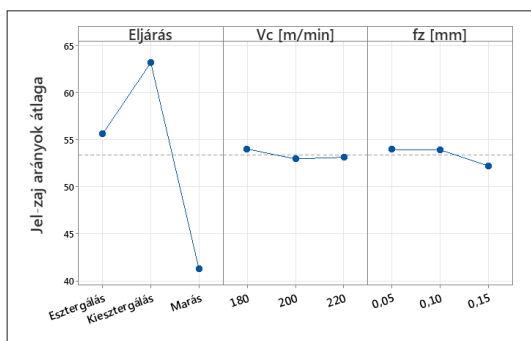
4.1. Koordinátamérési vizsgálatok

A **8. ábra** az elméleti átmérőtől való eltérés alapján számított jel-zaj arányok főhatásábráját mutatja. A „célértékhez közeli” típusú jel-zaj arány szerint (2. képlet) a nagyobb érték jobb folyamatstabilitást jelez. A legnagyobb hatást a megmunkálási eljárás gyakorolta az átmérőpontosságra (Δ : 21,87), míg az előtolás (Δ : 1,75) és a forgácsolási sebesség (Δ : 1,05) kisebb befolyással bírt. Bár a kiesztörgálás eltérése nagyobb volt (**3. ábra**), mégis ez a módszer biztosította a legstabilabb, ismételhető eredményeket, melyek korrekcióval pontosíthatók. A marás 35%-kal kisebb jel-zaj arányt mutatott, így az eljárás pontossága kedvezőtlenebbnek bizonyult. A legjobb eredményt a 180 m/min forgácsolási sebesség és 0,05 mm előtolás adta.

A köralakúsági eltérések értékeléséhez a „minél kisebb, annál jobb” típusú jel-zaj arányt alkal-



7. ábra. Egyenetlenség-magasság alakulása a vizsgálatok során



8. ábra. Elméleti átmérőtől való eltérés jel-zaj arányának főhatásábrája

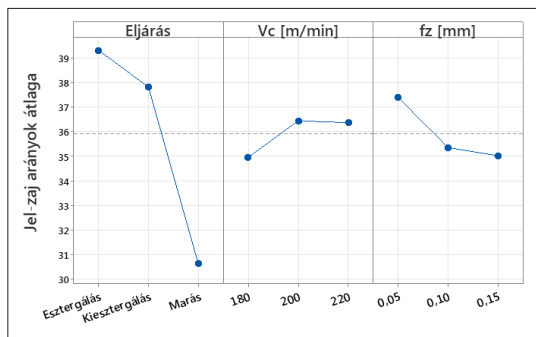
maztuk, mivel a cél az alakhibák csökkentése volt (3. képlet). A **9. ábra** alapján a legnagyobb hatást a megmunkálási eljárás gyakorolta (Δ : 8,67), míg az előtolás (Δ : 2,36) és a forgácsolási sebesség (Δ : 1,47) kisebb mértékben befolyásolták az eredményt. Az esztergálás biztosította a legjobb stabilitást, a kiesztorgálás 4%-kal, a marás 22%-kal kedvezőtlenebb jel-zaj arányt mutatott. A legjobb értékeket 200 m/min forgácsolási sebesség és 0,05 mm előtolás mellett kaptuk.

A hengerességi eltérések kiértékelését szintén a „minél kisebb, annál jobb” típusú jel-zaj arány alapján végeztük, mivel a cél a geometriai hibák csökkentése volt (3. képlet). A **10. ábra** szerint a legnagyobb hatást a megmunkálási eljárás gyakorolta (Δ : 9,09), míg az előtolás (Δ : 1,91) és a forgácsolási sebesség (Δ : 1,68) kevésbé befolyásolták az eredményeket. Az esztergálás biztosította a legstabilabb hengerességi értékeket, a kiesztorgálás 2%-kal gyengébb, de még kedvező, míg a marás 25%-kal kisebb jel-zaj arányt eredményezett, ami nagyobb szórásra és instabilitásra utal. A legjobb értékeket 200 m/min forgácsolási sebesség és 0,05 mm előtolás adta.

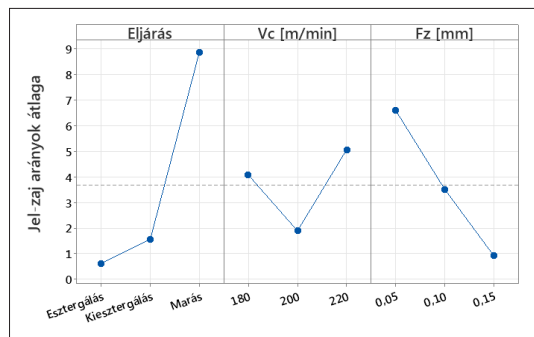
4.2. Érdességmérési vizsgálatok

A felületi érdesség (R_a) értékeléséhez a „minél kisebb, annál jobb” típusú jel-zaj arányt alkalmaztuk, a sima felület elérése érdekében (3. képlet). A **11. ábra** alapján a megmunkálási eljárás hatása volt a legjelentősebb (Δ : 8,21), ahol a marás biztosította a legjobb felületminőséget. Az esztergálás esetében 93%-kal nagyobb R_a -érték adódott, ami a legkedvezőtlenebb eredményt jelentette. Az előtolás szintén erősen befolyásolta az érdességet (Δ : 5,66), ahol a 0,05 mm-es érték biztosította a legsimább felületet. A forgácsolási sebesség hatása kisebb mértékű volt (Δ : 3,17), és a legjobb eredmények 220 m/min mellett jelentkeztek, míg a 200 m/min érték a leggyengébb stabilitást adta.

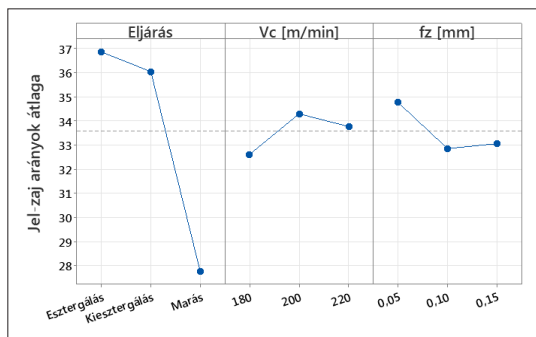
Az R_z érdességi paraméter esetében hasonló eredmények születtek, mint az R_a -értéknél, így itt is a „minél kisebb, annál jobb” típusú jel-zaj arány alapján történt a kiértékelés (3. képlet). A **12. ábra** szerint a megmunkálási eljárás döntő hatást gyakorolt az R_z stabilitására (Δ : 6,27), a legjobb eredményeket a marási eljárás eredményezte. Esztergálási eljárás esetén 69%-kal nagyobb R_z -érték keletkezett, ami kedvezőtlenebb felület-



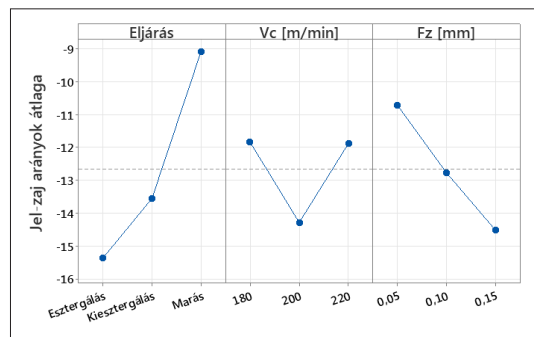
9. ábra. A köralakúság jel-zaj arányának főhatás-ábrája



11. ábra. Átlagos érdesség jel-zaj arányának főhatás-ábrája



10. ábra. Hengeresség jel-zaj arányának főhatás-ábrája



12. ábra. Egyenletlenség-magasság jel-zaj arányának főhatás-ábrája

minőséget jelez. Az előtolás hatása szintén jelentős volt (Δ : 3,80), a kisebb (0,05 mm) előtolás biztosította a legsimább felületet. A forgácsolási sebesség hatása (Δ : 2,45) alapján a legjobb eredmény 220 m/min mellett mutatkozott, míg 200 m/min-nél a legnagyobb romlás volt tapasztalható.

4.3. Adatok kiértékelése

A jel-zaj arányok eredményei alapján megállapítható, hogy minden vizsgált válaszparaméter esetében a megmunkálási eljárás gyakorolta a legnagyobb hatást az eredményekre. A **3. táblázat** szerint az elméleti átmérőtől való eltérést leginkább az alkalmazott eljárás befolyásolta, míg a forgácsolási sebesség és előtolás hatása jóval kisebb volt. Hasonló tendencia figyelhető meg a **4.** és **5. táblázat** esetében is, ahol a köralakúsági és hengerességi eltérések stabilitását szintén az eljárás befolyásolja a legnagyobb mértékben.

A felületi érdességi jellemzők (**6.** és **7. táblázat**) alapján a marás technológiája biztosította a legkedvezőbb jel-zaj arányt. Ezzel szemben a körkörös és hengeres geometriai eltérések szempontjából az esztergálás adta a legjobb eredményeket.

Összesítve a geometriai és felületi érdességi eredményeket, megállapítható, hogy a kiesztergálás biztosította a legkiegyensúlyozottabb és legstabilabb megmunkálási eredményeket, kedvező pontosság és felületminőség mellett.

A forgácsolási sebesség (v_c) hatása közepes mértékű volt, a legjobb értékek általában 200–220 m/min tartományban jelentkeztek. Az előtolás (f_z) esetén egyértelmű tendencia figyelhető meg: a 0,05 mm-es kicsi előtolás minden válaszparaméternél kiemelkedően jó jel-zaj arányt eredményezett.

5. Következtetések

Jelen kutatás célja három különböző forgácsolási eljárással (esztergálás, kiesztergálás és marás) készített körzsebek összehasonlítása, a geometriai eltérések (ΔD , $RONT$, $CYLt$) és a felületi érdességi paraméterek (Ra , Rz) alapján. A vizsgálatok során koordinátamérési és felületi érdességmérési eljárásokat alkalmaztunk, az eredményeket a Taguchi-módszer szerint, jel-zaj arány számítás-sal értékelve.

Az egyszerű átlagértékek alapján a geometriai jellemzők tekintetében az esztergálás adta a legkedvezőbb eredményeket, amit szorosan követett a kiesztergálás. A marás minden geometriai paraméter esetében nagyobb eltérést és szórást mutatott.

A felületi érdességi adatok alapján ugyan a

3. táblázat. A ΔD jel-zaj arányának összefoglaló értékei

Szint	Eljárás	V_c m/min	f_z mm
1	55,61	54,02	53,97
2	63,19	52,97	53,92
3	41,32	53,14	52,23
Delta	24,87	1,05	1,75
Rang	1	3	2

4. táblázat. A $RONT$ jel-zaj arányának összefoglaló értékei

Szint	Eljárás	V_c m/min	f_z mm
1	39,32	34,97	37,40
2	37,82	36,45	35,37
3	30,65	36,37	35,03
Delta	8,67	1,49	2,36
Rang	1	3	2

5. táblázat. A $CYLt$ jel-zaj arányának összefoglaló értékei

Szint	Eljárás	V_c m/min	f_z mm
1	36,87	32,63	34,78
2	36,06	34,31	32,87
3	27,79	33,78	33,07
Delta	9,09	1,68	1,91
Rang	1	3	2

6. táblázat. Az Ra jel-zaj arányának összefoglaló értékei

Szint	Eljárás	V_c m/min	f_z mm
1	0,6367	4,0839	6,5947
2	1,5678	1,8993	3,5221
3	8,8488	5,0701	0,9365
Delta	8,2121	3,1708	5,6582
Rang	1	3	2

7. táblázat. Az Rz jel-zaj arányának összefoglaló értékei

Szint	Eljárás	V_c m/min	f_z mm
1	-15,355	-11,830	-10,711
2	-13,544	-14,277	-12,764
3	-9,084	-11,876	-14,508
Delta	6,270	2,447	3,797
Rang	1	3	2

marási eljárás eredményezte a legkisebb átlagos Ra- és Rz-értékeket, azonban az esztergálás és a kiesztergálás stabilabb és homogénebb felületi minőséget biztosított.

Az eredmények alapján a legjobb összesített eredményeket a kiesztergálás eljárása adta. A forgácsolási paraméterek közül a legmagasabb forgácsolási sebesség (220 m/min) és az kicsi előtolás (0,05 mm) kombinációja biztosította a legjobb pontosságot és felületi minőséget.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Varga G.: *Analysis of Cylindrical Deviations in Nonconventionally Machined Cylindrical Workpieces*. GÉP, 75/1. (2024) 47–50.
<https://doi.org/10.70750/GEP.2024.1.10>
- [2] Varga G., Puskás T., Debreceni I.: *Analysis of Cylindrical Error Deviation of Surfaces Ehen Using Reduced Amount of Coolants and Lubricants in Machining*. WSEAS Transactions on Applies Theoretical Mechanics, 13. (2018) 103–116.
- [3] Varga G., Puskás T., Debreceni I.: *Examination of Shape Error of Outer Cylindrical Surfaces Machined by Environmentally Friendly Way*. International Journal of Mechanical Engineering, 3. (2018) 43–51.
- [4] Sztankovics, I., Pásztor I. : *Shape Error Analysis of Tangentially Turned Outer Cylindrical Surfaces*.

Acta Technica Corviniensis, 15/4. (2022) 23–28.

- [5] Kundrák J., Sztankovics I., Lukács F.: *Comparative Analysis of Hard Machined Bores Based on the Roughness and Accuracy*. Cutting & Tools in Technological System, 92. (2020) 19–25.
<https://doi.org/10.20998/2078-7405.2020.92.03>
- [6] Nagypál G., Sztankovics I.: *Furatok alakhibájának vizsgálata az előtolás függvényében hónoló megmunkálásnál*. Multidiszciplináris Tudományok, 10/2. (2020) 481–486.
<https://doi.org/10.35925/j.multi.2020.2.53>
- [7] Ferencsik Varga V.: *Analysis of Shape Correctness of Surfaces of Diamond Burnished Components*. MATEC Web of Conferences, 137. (2017) 01019.
<https://doi.org/10.1051/mateconf/201713701019>
- [8] Ferencsik V.: *A vasalási eljárás felületi keménységre és hengerességre gyakorolt hatásának vizsgálata különböző anyagminőségek esetén*. Multidiszciplináris Tudományok, 12/5. (2022) 22–30.
<https://doi.org/10.35925/j.multi.2022.5.3>
- [9] Montgomery D. C.: *Design and Analysis of Experiments*. (9th ed.). John Wiley & Sons, 2017. ISBN: 978-1119113478
- [10] Drégelyi-Kiss Á.: *Application of Experimental Design-Based Predictive Models and Optimization in Additive Manufacturing—a Review*. Hungarian Journal of Industry and Chemistry, 52/1. (2024) 55–70.
<https://doi.org/10.33927/hjic-2024-08>