



Furatmegmunkálási eljárások összehasonlító vizsgálata

Comparative Study of Hole Machining Processes

¹Rácz Viktor Gergely, ²Mikó Balázs

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

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

Összefoglalás

A cikk a körzsebekkel ellátott munkadarabok megmunkálásának kísérleti vizsgálatával foglalkozik. Vizsgálatunk során három különböző eljárást használtunk (esztergálás, kiesztorgálás, marás). Célunk meghatározni az alkalmazott eljárások és a megmunkáláskor beállított technológiai paraméterek hatását a hengerességtűrés alakulására 1.0503-as anyag alkalmazása esetén. A vizsgálat során Taguchi kísérlettervet alkalmaztunk. A vizsgálatok alapján kiválasztható a megfelelő eljárás és a hozzá tartozó paraméterkombináció, hogy minél kedvezőbb hengeresség hibával ellátott körzsebet hozzunk létre.

Kulcsszavak: Furatmegmunkálás, Kiesztorgálás, Marás, Taguchi kísérlettervezés; Hengerességtűrés

Abstract

This article deals with the experimental investigation of machining workpieces with circular pockets. Three different processes (turning, fine boring, milling) were used in the investigation. The aim is to determine the effect of the processes used and the process parameters set during machining on the development of errors in machined cylindrical workpieces when using 1.0503 material. A Taguchi experimental design was used in the study. Based on the results, the appropriate process and the corresponding parameter combination can be selected in order to obtain a circular pocket with the most favourable cylindricity defect.

Keywords: Hole machining, Fine boring, Milling, Taguchi experiment design; Cylindricity error

1. Bevezetés

Napjainkban az autóipar, repülőgépipar, gépgyártás és orvosi technológia területein kiemelt jelentőséggel bír a precíziós furatok készítése, ezért számos kutatás foglalkozik ezzel a témával, mivel a modern iparban a minőségi követelmények folyamatosan szigorodnak. A geometriai pontosság, mint a köralakúság és a hengeresség, kulcsfontosságú a gépek és szerkezetek működési megbízhatóságához. A precíziós megmunkálás optimalizálása hozzájárul a gyártási hatékonyság növeléséhez, csökkentve az anyagpazarlást és a selejt arányát.

Furatmegmunkálás során számos különböző forgácsolási eljárást használhatunk, melyek paraméterei hatással vannak a létrejövő furat mikro- és makropontosságára. Kundrák és tsi. [1] összehasonlító kutatást végeztek az 1.7147 jelölésű acélba történő (62-64 HRC) furatok

megmunkálására vonatkozóan. Kutatásuk során három eljárást elemeztek: a hagyományos köszörülést, a kemény esztergálást különböző előtolásokkal, valamint a két módszer kombinációját (kemény esztergálás, majd finomkösörülés). A vizsgálat célja, hogy értékeljék a megmunkálási pontosságot és a felületi érdességet, és meghatározzák, melyik módszer bizonyul a leghatékonyabbnak a fogaskerékgyártás során készített furatok esetén. Az eredmények rávilágítottak arra, hogy a kemény esztergálás (0,1–0,2 mm-es előtolással) és a kombinált eljárás is hasonló vagy jobb teljesítményt nyújt, mint a köszörülés, miközben magasabb termelékenységet és környezetkímélőbb megoldást biztosítanak. A tanulmány fontos gyakorlati útmutatást ad a megmunkálási módszer megválasztásához, a kívánt felületi topológia és pontossági követelmények figyelembevételével. Orgiyan és tsi. [2] 1.0715 jelölésű acél precíziós furatolásának kísérleti vizsgálatát ismertetik. A kutatás különböző forgácsolási paraméterek (forgácsoló sebesség, előtolás, fogásmélység, szerszám sugár) hatását vizsgálta a szerszám kopására, a furat pontosságára (egyenesség, köralakúság, felületi érdesség) és a szerszám élettartamára. A kísérlet során egy-, és kétélű kiesztorgáló szerszámokat vizsgáltak. A kísérleteket során 2^{4+1} részfaktoros kísérlettervet alkalmaztak. A mérési eredményekből matematikai modelleket alkottak többváltozós regresszióanalízis (MRA) módszerének alkalmazásával, meghatározva az optimális forgácsolási paramétereket a megfelelő felületi minőség és a hosszú szerszámmélettartam elérése érdekében. Mérési eredmények alapján azt a következtetést vonták le, hogy a forgácsolási sebesség növelése pozitív hatással van a simító kiesztorgálási folyamat kimeneti paramétereire, míg a szerszám sarokrádiuszának növelése csökkenti a megmunkált felület érdességét, a szerszám relatív kopását és a furatok kúposágát. A fogásmélység negatív hatással van az összes folyamatparaméterre és az előtolás növelésével a megmunkált felület érdessége enyhén nő. Varga és tsi. [3] tanulmányt készítettek kísérleti úton történő 1.0503-as hengeres acél kör alakú külső felületének megmunkálásáról. A vizsgálat során egy ütökést alkalmaztak, amelyet az úgynevezett "külső fűrés" technikát használva végzik a forgácsolást. A kutatás célja empirikus összefüggések feltárása a forgácsolási paraméterek (forgácsolási sebesség, előtolás), valamint a hűtő-kenő folyadék jellemzői (viszkozitás, térfogatáram) és a megmunkált felület alakhibái között. Az utóbbiak közé tartoznak a csúcs-völgy hengerességtűrés (CYL_t), a csúcs-referencia hengerességtűrés eltérés (CYL_p) és a referencia-völgy hengerességtűrés eltérés (CYL_v). A vizsgálat során teljes faktoriális kísérlettervezést alkalmaztak, az eredményeket pedig MathCAD szoftver alkalmazásával dolgozták fel, mely során empirikus képleteket és háromdimenziós ábrákat használtak az optimális paraméterkombinációk meghatározásához. Külön hangsúlyt fektettek a környezetbarát megmunkálási módszerek alkalmazására, kiemelten a hűtő-kenő folyadék mennyiségének minimalizálására, valamint annak hatására a hengerességi pontosságra. A kísérletek alapján azt a következtetést vonták le, hogy a legkisebb hengerességi hibát a kisebb viszkozitású emulzió, a nagyobb forgácsolási sebesség, a kisebb előtolás és a kisebb térfogatáram alkalmazása során érhető el.

A. Iqbal és tsi. [4] kutatást végeztek 1.0511 jelölésű kovácsolt acélban található előfűrt furatok átmérőjének bővítésére. Két megmunkálási eljárás alkalmazásával (fűrés, marás) végeztek kísérleteket. A tanulmány célja a forgácsolási eljárások fenntarthatóságának összehasonlítására irányult. A kutatás keretében teljes faktoros kísérlettervezést alkalmaztak, így 16 kísérletet végeztek (2^4) különböző forgácsolási sebességek, furatmélységek és anyagkeménységek mellett, amelyek során a felületi érdességet, a fajlagos vágási energiát és a szerszámkopást mérték és értékelték. Az eredmények rámutatnak, hogy míg a fűrés kimagaslóan jobb felületi minőséget biztosít, a marás kedvezőbb gazdasági és környezeti teljesítményt nyújt az alacsonyabb energiafelhasználás és szerszámkopás révén. A tanulmány egy új fenntarthatósági összehasonlító indexet is bevezetett, amely integrálja a vizsgált három paraméter fontosságát, ezzel átfogóbb értékelést téve lehetővé a különböző megmunkálási módszerek fenntarthatóságának szempontjából.

Cikkünk célja bemutatni, az alkalmazott eljárások (esztergálás, kiesztorgálás, marás) és a

megmunkáláskor beállított technológiai paraméterek hatását a hengeresség hiba alakulására.

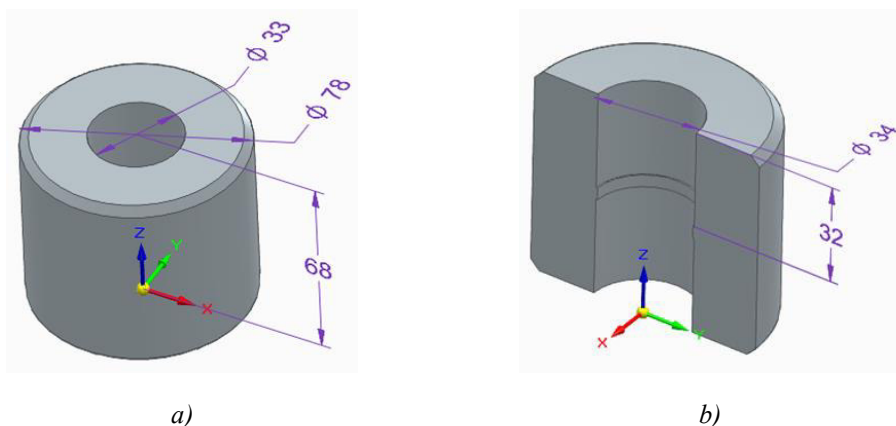
2. Anyagok és módszertan

A forgácsolási kísérletek során három különböző forgácsolási technológiával lettek elkészítve a körzsebek. Mindhárom technológia során keménységű szerszámokkal végeztük el a kísérleteket, amiket a Walter Hungária Kft. biztosított számunkra. Az esztergálással készített körzseb esetén A20S-SDQCL11 jelű fűrőrudat és DCMT11T304-MP4-WPP20G jelzésű lapkát alkalmaztunk. Kiesztergálással készített munkadarabok során B4030G. T28. 33-41.Z jelű szerszámot és TCMT06T104-FP4 jelzésű lapkát használtunk, míg marással készített körzseb megmunkálásánál H4021017-20 jelölésű ujjmarót alkalmaztunk.

A forgácsolási vizsgálatokat MAZAK SQT 10 MS CNC megmunkálóközponton és Mazak Nexus 410A-II CNC marógépen hajtottuk végre. A szerszámok állapotfelmérését és geometriai méreteik ellenőrzését (valós szerszámtérkép megállapítása kiesztergáló- és marószerszám esetén) Elbo Controlli Hathor lézeres szerszámbemérő segítségével végeztük el.

A forgácsolási kísérleteket 1.0503 (C45) jelű nemesíthető szénacélon végeztük (kémiai összetétel: 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 jó mechanikai tulajdonsága miatt gépészeti és szerkezeti alkatrészek alapanyagaként alkalmazzák. Az általunk használt Ø80x70 mm-es geometriai mérettel rendelkező munkadarabok keménysége HV30 $185 \pm 7,3$ ($\sigma: 3,65$) volt.

A kísérlet során használt munkadarabok előgyártmányait MAZAK SQT 10 MS CNC megmunkálóközpont segítségével készítettük el két felfogásban (1. a) ábra). A kísérlet során Ø34 mm átmérőjű körzseb simítását végeztük el 32 mm mélységig (1. b) ábra). A vizsgálat során a fogásmélység nagysága (a) (marás esetén fogásszélesség (a_e)) 0,5 mm volt. A kísérleti eredmények összehasonlíthatósága érdekében, az anyagáram (V' [mm³/min]) értéke, mindhárom technológia esetén azonos, ugyanazon technológiai paraméterek beállítása mellett. Forgácsolási kísérlet során árasztásos hűtés (MOL Emolin 420 6%-os oldat) használata mellett végeztük el a kísérleteket.



1. ábra A vizsgálat előgyártmánya (baloldalt) és az elkészítendő geometria (jobbaldalt)

A forgácsolási kísérleteket, Taguchi kísérlet tervezési módszer alapján terveztük meg (L8). Három kísérletsorozatot végeztünk el úgy, hogy mindegyik technológia esetén változtattuk a forgácsolósebesség (v_c) és a fogankénti előtolás (f_z) értékét 3-3 szinten. Az 1. táblázat szemlélteti az alkalmazott technológiai paraméterek értékét.

1. táblázat A kísérleteknél alkalmazott technológiai paraméterek

Esztergálás			Kieszttergálás			Marás		
No.	v_c	f_z	No.	v_c	f_z	No.	v_c	f_z
	[m/min]	[mm]		[m/min]	[mm]		[m/min]	[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

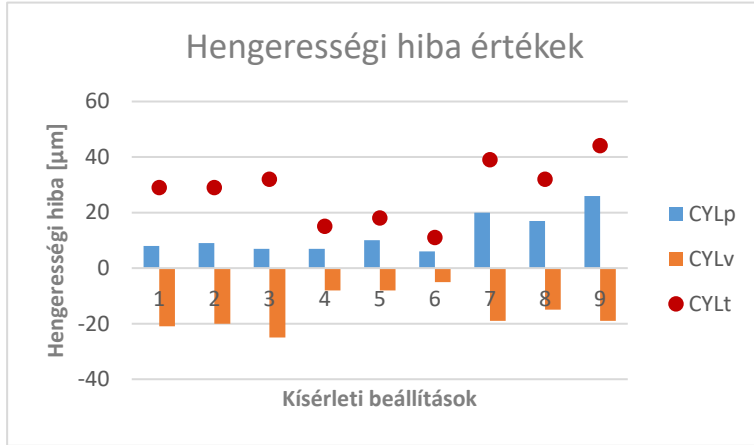
A forgácsolási kísérleteket követően Mitutoyo CRYSTA-Apex V544 koordináta mérőgép segítségével határoztuk meg a kialakult körzseb hengeresség hibáját (CYLt) és geometriai méretének eltérését az elméleti geometriától. Hengerességtűrés értékének meghatározásakor 6 szinten (h : 2, 7, 12, 17, 22, 27 mm) mértünk, szintenként 24 pontot (összesen: 144 pont). A mérési eredményeket a mérőgép szoftverével értékeltük ki. A méreteltérést (ΔD) és három hengerességi mérőszámot elemeztünk, amelyek leginkább az üzemi tulajdonságokat határozzák meg: CYLt - a csúcs és a völgy közötti hengeresség eltérés, CYLp - a csúcs és a referencia hengeresség közötti eltérés és CYLv - a referenciától a völgyig terjedő hengeresség-eltérés ($CYLt = CYLp + CYLv$) [5]. A fent említett hengerességi paramétereket az ISO 12180-1-2011 szabvány tartalmazza.

3. A mért értékek bemutatása

A 2. táblázat mutatja a vizsgálat során mért eredményeket mind a három használt eljárás esetén. Az eredmények meghatározásánál a legkisebb négyzetek módszerét (Least Squares Cylinder Fit) alkalmaztuk, ami minimalizálja a mért pontok és az illesztett henger középpontjának tengelyére merőleges távolságok négyzetösszegét. A kapott eredmények grafikus ábrázolása (2. ábra) egyértelműen szemlélteti, hogy az eredmények a különböző forgácsolási eljárások alkalmazása alapján jól elkülöníthetők.

2. táblázat Kísérleteknél mért értékek

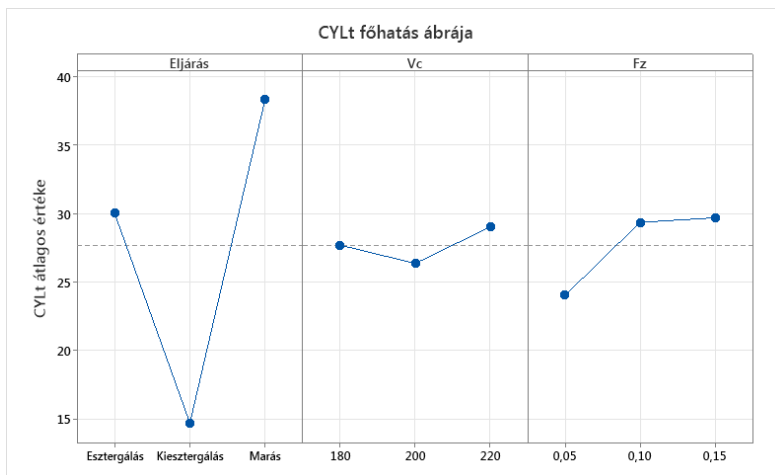
Esztergálás					Kieszttergálás					Marás				
No.	ΔD	CYLt	CYLp	CYLv	No.	ΔD	CYLt	CYLp	CYLv	No.	ΔD	CYLt	CYLp	CYLv
	[μ m]	[μ m]	[μ m]	[μ m]		[μ m]	[μ m]	[μ m]	[μ m]		[μ m]	[μ m]	[μ m]	[μ m]
1	-38	29	8	-21	4	77	15	7	-8	7	-78	39	20	-19
2	-43	29	9	-20	5	60	18	10	-8	8	-11	32	17	-15
3	-48	32	7	-25	6	74	11	6	-5	9	-56	44	26	-19



2. ábra A hengerességi hibák mért értékei

4. A mért értékek elemzése és megállapítások

Az eredmények kiértékelésénél a vizsgált paraméterek főhatás ábráinak elemzésével vontunk le következtetéseket. A főhatás ábra a mért eredményekben lévő véletlen változékonyság hatását mutatja az elérni kívánt válaszváltozóra. Mind a négy vizsgált paraméter esetén elmondható, hogy az eljárásnak van a legnagyobb hatása a vizsgált paraméterekre. A főhatás ábrák vizsgálata alapján megállapítható, hogy a forgácsolási sebesség befolyásolja legkevésbé a vizsgált paramétereket. Az elméleti átmérőtől való eltérés (ΔD) esetén a kiesztergálás adja a legrosszabb eredményeket ($\Delta \bar{D}$ 67 μm), ez a szerszám helytelen beállításából eredeztethető. Emellett a ΔD értéke az előtolás növelésével javul. A CYLt paraméter vizsgálata esetén a kiesztergálás adja a legjobb eredményt, így elmondható, hogy a kiesztergálással készített körzsebek hengeresség tűrése a legkisebb. A CYLt értékére a forgácsoló sebesség (v_c) kis hatással van, míg az előtolás (f_z) ront az értéken (3. ábra).



3. ábra A technológiai paraméterek hatása a CYLt értékre

A csúcs-referencia hengerességi eltérés (CYLp) értéke esetén elmondható, hogy az esztergálás és a kiesztergálás hasonlóan befolyásolja a nagyságát, míg marásnál CYLp értéke nagymértékben nő. A forgácsoló sebesség hatása kis mértékű, míg az előtolás növelése ront a CYLp értékén. A völgy-referencia hengerességi eltérés (CYLv) értéke kiesztergálásnál a legkedvezőbb, míg esztergálás esetén a legkedvezőtlenebb. A forgácsoló sebesség és az előtolás hatása hasonlóan alakul, mint CYLp érték esetén.

5. Összefoglalás

Jelen tanulmány célja a körzsebek megmunkálási technológiájának optimalizálása, valamint a technológiai paraméterek hatásának részletes vizsgálata volt. Három különböző technológiát alkalmaztunk (esztergálás, kiesztergálás, marás), 1.0503-as nemesíthető szénacélból készült munkadarabokon. A forgácsolási kísérletet Taguchi-módszerrel terveztük meg ($L8: 3^3$), változtatva a forgácsolósebesség és az előtolás értékét. A felületek pontosságának vizsgálatát koordinátamérőgéppel végeztük, amely során három hengerességi paramétert (CYLt, CYLp, CYLv), valamint az elméleti geometriai mérettől való eltérést elemeztük. Az értékeléshez munkadarabonként 144 mért pont adatát használtuk fel.

A kiesztergálás bizonyult a legpontosabb módszernek a körzsebek előállítására, mert ezzel az eljárással készült a legkisebb hengerességi eltérés. A forgácsolósebesség növelése csökkenti, míg az előtolás hatás kevésbé befolyásolja a hengeresség hiba nagyságát. A kiesztergálással készült körzsebek méretei a legnagyobb mértékben tértek el az elméleti értéktől, ami a szerszám helytelen beállítására vezethető vissza. Ugyanakkor ennél az eljárással a hengerességi eltérések átlagos értékei, a CYLp (csúcs-referencia hengerességi eltérés) és a CYLv (völgy-referencia hengerességi eltérés), egyaránt $8\ \mu\text{m}$ nagyságúak. Ezzel szemben esztergálás során a hengerességi eltérésekben a völgyek mérete dominál, míg marás esetében a csúcsok kiemelkedése jellemző.

6. Irodalom

- [1] J. Kundrák, I.Sztankovics, F. Lukács (2020). Comparative Analysis of Hard Machines Bores Based on the Roughness and Accuracy. Cutting & Tool in Technological System, No 92, 19-25, DOI: 10.20998/2078-7405.2020.92.03.
- [2] A. Orgiyan, G. Oborskyi, A. Balaniuk, V. Kolesnik, V. Dotsenko (2021). Influence of Cutting Modes on Wear Resistance of Cutters and Accuracy of Fine Boring of Steels. Proceedings of Odessa Polytechnic University, Issue 2 (64), 32-39. ISSN: 2223-3814.
- [3] Gy. Varga, T. Puskás, I. Debreceni (2018). Examination of Shape Error of Outer Cylindrical Surfaces Machined by Environmentally Friendly Way. International Journal of Mechanical Engineering, 3, 43-51. ISSN: 2367-8968.
- [4] A. Iqbal, H. Suhaimi, N. He. (2019). A sustainability comparison between drilling and milling for hole-enlargement in machining of hardened steels. Machining Science and Technology, 5, 712-733. DOI: 10.1080/10910344.2019.1575409.
- [5] Whitehouse, D.J. (2011). Handbook of Surface and Nanometrology, Taylor and Francis Group, Second edition.