

Szabad formájú mart felületek érdességének változása a simítási irány függvényében

The changing of the surface roughness of free-form surfaces with respect to the tool path direction

Varga Bálint*; Dr. Mikó Balázs**

*,** Óbudai Egyetem, Budapest, Magyarország

*varga.balint@bgk.uni-obuda.hu

**miko.balazs@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás — Napjainkban a szabad formájú felületek egyre jobban előtérbe kerülnek mind a formatervezési, mind pedig az ergonomiai szempontokat figyelembe véve. Így az alakpontosságuk és a felületi érdességük alakulása is egyre fontosabb.

A CAM felhasználó számára nyújthat segítséget ez a cikk egy szabad formájú felület megmunkálásának bemutatása által. A munkadarabok megmunkálása során a nagyolási és elősimító stratégia megegyezett. A munkadarabok simításakor a technológiai paraméterek és a marószerszám megegyezett minden esetben, csak a simítás iránya változott.

A cikk az összetett felületek érdességének alakulását tárgyalja.

Kulcsszavak: szabad formájú felületek, gömbvégű maró

Abstract — Nowadays, free-form surfaces become more and more notable, taking into account both the design and the ergonomic aspects. So, the development of shape accuracy and surface roughness is becoming more and more important.

CAM users can assist with this article with a free-form surface manufacturing. When machining workpieces, the roughing and prefinishing strategy was same. In case of finishing of every test pieces the cutting parameters and the cutting tools were same, only the tool path direction was changed.

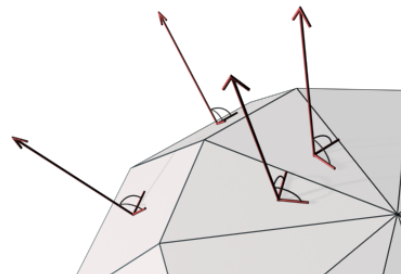
The paper deals with the roughness of complex surfaces depends on tool path direction.

Keywords: Free-form surfaces, Ball-end milling

1 BEVEZETÉS

Napjainkban a szabad formájú felületeknek egyre nagyobb a jelentősége. Ezekkel a felületekkel a mindennapjainkban is sokszor találkozhatunk. A háztartási eszközöktől kezdve az autó- és repülőiparig szinte mindenhol. A formatervezésnek és az ergonomiai szempontoknak a kielégítése csak ilyen felületek alkalmazásával lehetséges.

A szabad formájú felületeknél a felületi normális a test minden egyes pontjában más és más lehet (1. ábra).

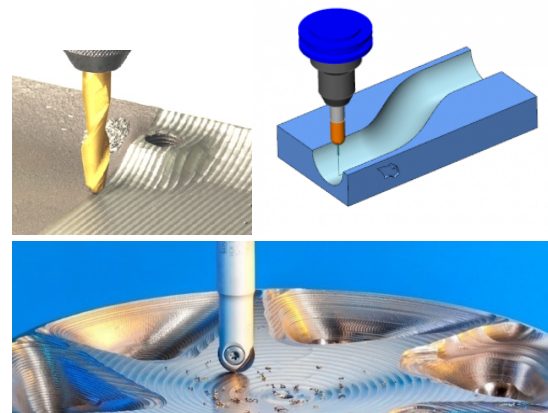


1. ábra: Felületi normális szabad formájú felületeknél

Az ilyen felületeket kétféle eljárással állíthatjuk elő: marással, vagy szikraforgácsolással. A szikraforgácsolást minden esetben megelőzi az elektródatervezés és az elektródamarás. Tehát a marás művelete elengedhetetlen mindkét eljárásnál.

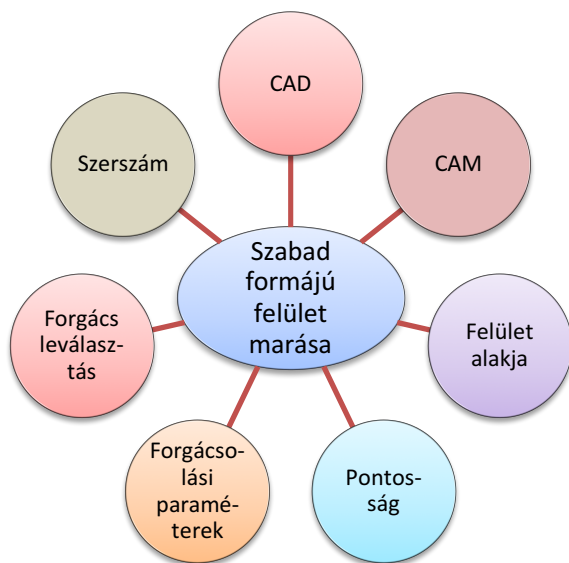
2 SZABAD FORMAJÚ FELÜLETEK ELŐÁLLÍTÁSA ÉS VIZSGÁLATA

A felületek előállítása tehát marás segítségével lehetséges. Ez lehet három-, öt- vagy többtengelyes megmunkálás, de azonos bennük, hogy minden esetben kell valamilyen CAM rendszert alkalmazni, és gömbvégű marószerszámot használni a gyártás során (2. ábra).



2. ábra: Szabad formájú felületek marása

A felületek vizsgálatát a szakirodalom sok szempont alapján tárgyalja. Ezeket a szempontokat a 3. ábra szerint lehet csoportosítani:



3. ábra: Szabad formájú felületek vizsgálatának szempontjai

Vizsgálati szempontok:

- **CAD:**
A felületeket előállítására CAD rendszerek segítségével történik, melyek bonyolult matematikai összefüggéseket használnak. Ez a vizsgálati szempont a felületek leírásával foglalkozik [5].
- **CAM:**
Számítógéppel segített gyártás (CAM) nélkül a felületek marása nem lenne megoldható. Általában három- vagy öttengelyes megmunkáláshoz máshogy nem is lehetne szerszám pályákat tervezni. A CAM segítségével különböző stratégiák használatával különböző szerszám pályák állíthatók elő. A különböző pásztázási irányok is jelentősen befolyásolják a felület minőségét. Ez a szempont a CAM rendszerekben rejlő lehetőségeket vizsgálja [1][7][8][10][14].
- **Felület alakja:**
A felület alakja lehet konvex vagy konkáv, ami nagyban befolyásolja a felület minőségét. A konkáv daraboknál a gömbvégű maró sokkal nagyobb felületen érintkezik a munkadarabbal, mint a konvexnél. Ettől függően változik a forgács alakja is. A felület görbületét sem szabad figyelmen kívül hagyni.
- **Pontosság:**
A gyártás során a minőségi szempontok egyre növekednek, ezért is fontos a felületek méret- és alakpontossága valamint a felület érdessége. Ez a vizsgálati szempont a minőség jellemzőit kutatja [4][12].
- **Forgácsolási paraméterek:**
Ezek a paraméterek leggyakrabban a forgácsolósebesség (v_c), előtolás (f_z), fogásmélység (a_p) és oldallépés (a_e) [12].
- **Forgács leválasztás:**
Ennél a szempontnál elsősorban a forgácsolás közben ébredő erőket valamint a forgács alakját vizsgálják [2][3][6][11].

- **Szerszám:**
Ez a szempont a szerszámokat vizsgálja, azok élgeometriáját, élleinek számát, anyagát és bevonatát [13].

3 A KUTATÁS CÉLJA, LEÍRÁSA ÉS EREDMÉNYEI

Ez a kutatás elsősorban a felület alakját, a CAM-es szempontokat, valamint a pontosságot vizsgálja. A többi vizsgálati szempontot nem tárgyalja.

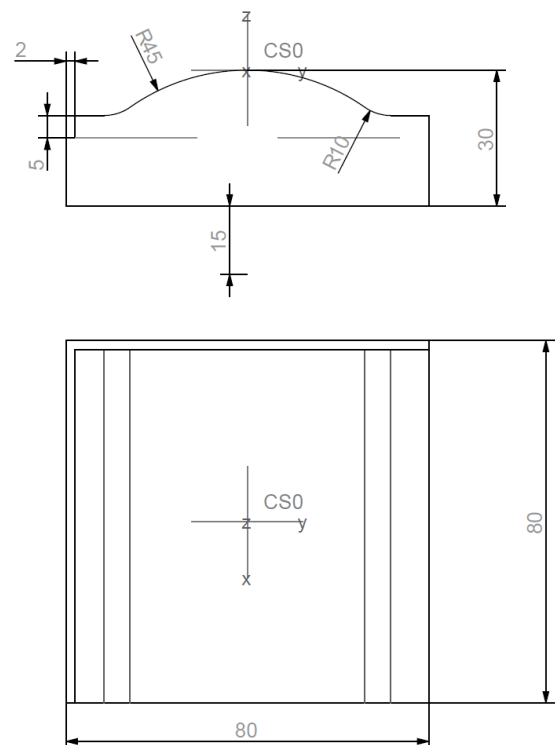
3.1 A kutatás célja

A kutatás során több kérdésre keressük a választ, de az egyik fő cél, hogy a CAM-es mérnökök számára segítséget nyújtson abban, hogy adott beállítások mellett milyen felületi minőség érhető el. A további célok a következők

- A különböző simítási irányok hogyan befolyásolják a felület mikro- és makrogeometriai jellemzőit?
- Előre lehet-e jósolni a felületi minőséget különböző marási irányok használatánál?
- A CAM-es paraméterek hatásának vizsgálata?
- Mennyire befolyásolja a szabad formájú felület meredeksége a felületi minőséget?

3.2 Kísérleti terv

A kísérlet során öt egyforma munkadarab készült, melyet a 4. ábrán lehet látni. A nagyolás és az elősimítás megegyezett mindegyik darab esetén, úgy ahogy a beállított paramétere, a szerszám és a megmunkáló gép is. Csupán a pásztázási irány tért el a munkadarabok simítása esetén (1. táblázat).



4. ábra: Kísérleti munkadarab

Munkadarab száma	X tengellyel bezárt szög
1.	0°
2.	22,5°
3.	45°
4.	67,5°
5.	90°

1. táblázat: Pásztázási irányok

A 2. táblázat tartalmazza a kísérlet során alkalmazott anyagokat, gépeket és szoftvereket.

Munkadarab anyaga	42CrMo4 acél
Munkadarab nyers mérete	80x80x40 mm
Megmunkológép	Mazak 410 A-II
CAD/CAM rendszer	CATIA V5
Szerszám	Fraisa X7450450 gömbmaró
Nagyolási paraméterek	n=3200 1/min f _z =0,05mm
Elősimítási paraméterek	n=5100 1/min f _z =0,08mm A=45°
Simítási paraméterek	n=5100 1/min f _z =0,08mm A=változó
Érdesség mérő gép	Mahr-Perten Concept
Statisztikai szoftver	Minitab v14, MS Excel

2. táblázat: A kísérlet körülményei

3.3 A mérés folyamata

A kísérlet során a munkadarabok felületi érdessége lett vizsgálva, azon belül is az egyenetlenség magasság (R_z) értéke.

A mérés során minden egyes munkadarab háromféle irányból lett megmérve.

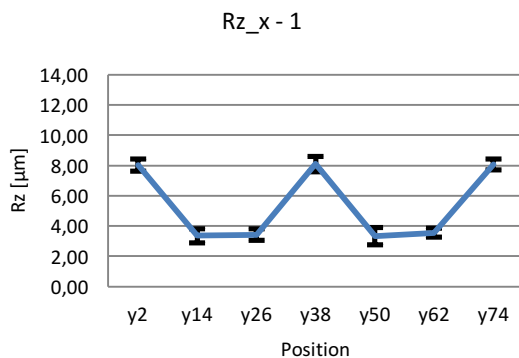
1. X tengellyel párhuzamosan
2. Y tengellyel párhuzamosan
3. a megmunkálás irányára merőlegesen

Mindhárom irányban legalább három mérés lett elvégezve, de ahol volt rá lehetőség ott öt is. Az első és az utolsó munkadarabon csak két irányból történt a mérés, hiszen ezekben az esetekben a megmunkálás iránya megegyezett vagy az x vagy pedig az y tengellyel.

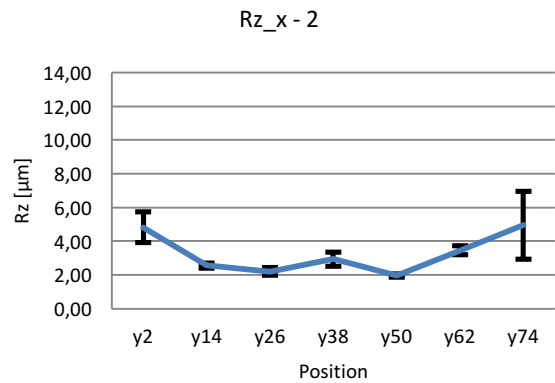
Az ugyan azon irányban elvégzett mérési eredmények átlagértéke lett feltüntetve a diagramokon.

3.4 Eredmények

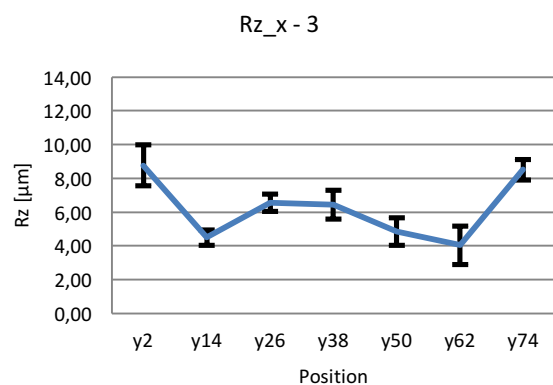
A következő diagramokon (5-9. ábra) az öt munkadarab összes X tengellyel párhuzamos irányban történt mérési eredményének átlaga van ábrázolva.



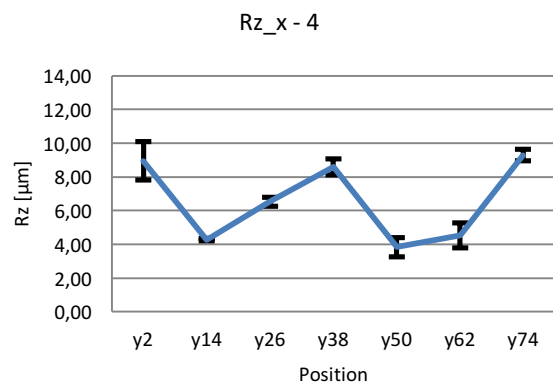
5. ábra: Az 1. munkadarab Rz értékei x irányú mérésnél



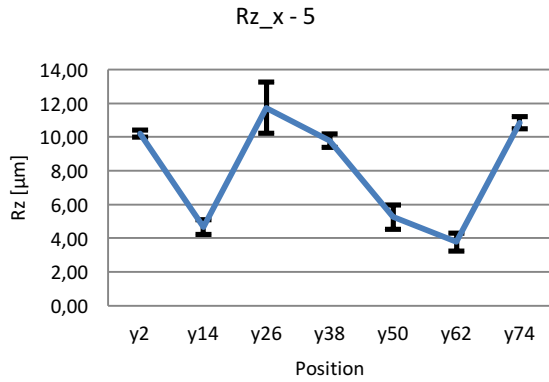
6. ábra: A 2. munkadarab Rz értékei irányú mérésnél



7. ábra: A 3. munkadarab Rz értékei x irányú mérésnél

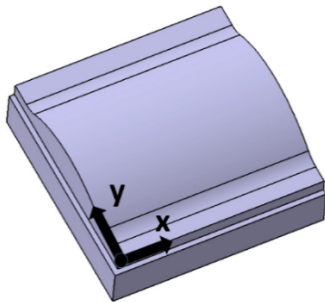


8. ábra: 4. munkadarab Rz értékei x irányú mérésnél



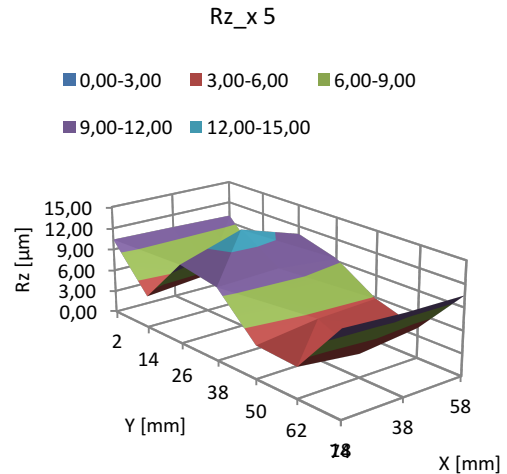
9. ábra: Az 5. munkadarab Rz értékei x irányú mérésnél

A mérési pontok az Y tengely mentén 12 mm-enként lettek felvéve. Az y_2 és y_{74} esetében a vízszintes felületen történt a mérés, míg az y_{38} -nál a vízszintessel megegyező felületi normális kapunk. A diagramokon jól látható, hogy ezeknél a felületeknél a legrosszabb a felületi érdesség. Ahol a felületi normális iránya eltér ezektől, ott lényegesen jobb az érdesség, az látható az y_{14} , y_{26} , y_{50} és y_{62} pontoknál. Az öt diagram közti eltérés oka, hogy a pásztázási irány minden egyes munkadarabon más és más. Valamint az, hogy a mérési irány nem minden esetben merőleges a megmunkálási irányra, kivéve az utolsó esetben.



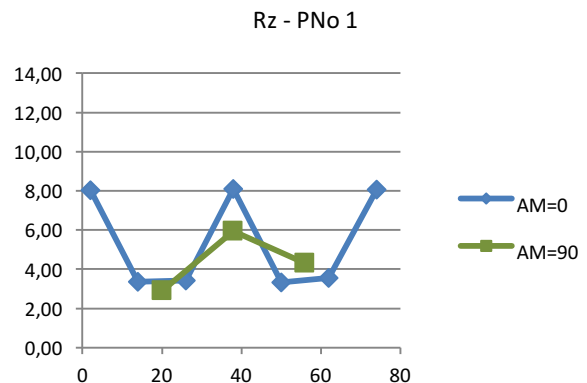
10. ábra: A munkadarab geometriája

A következő 3D-s diagramon is jól látható, hogy a felületi normális irányának változása hogyan követi az érdességek alakulását (11. ábra). Ha egymás mellé tesszük ezt a diagramot és a 10. ábrán látható képet, akkor könnyen megállapítható ez a változás.

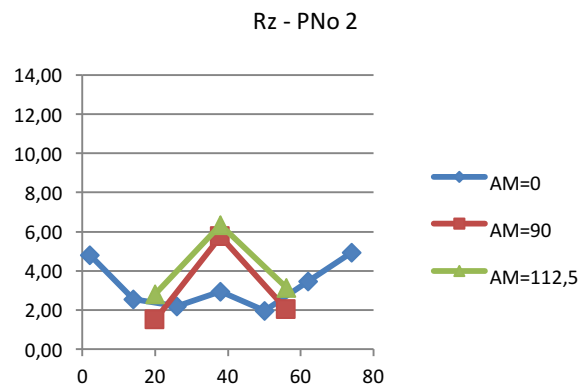


11. ábra: 3D diagram az Rz változásáról

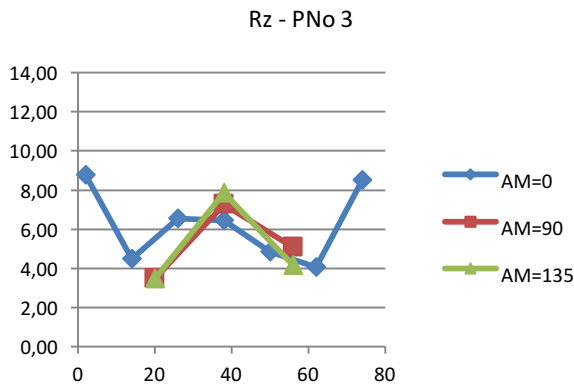
A további diagramokon (12-16. ábra) a különböző színekkel láthatók az egyes mérési irányok. Az első és utolsó diagramon a marási irány megegyezett vagy az X vagy pedig az Y tengellyel, így csak két görbe látható ezeken a diagramokon. A zöld színnel jelölt görbéknél látható a valós érdesség, hiszen ezeknél az eseteknél a marási irányra merőleges a mérési irány. A diagramok függőleges tengelye az Rz értékét mutatja, míg a vízszintes az Y tengely menti méreteket mutatja.



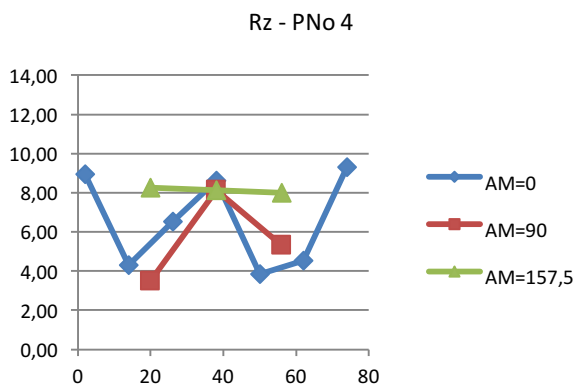
12. ábra: Az 1. munkadarab Rz értékei a mérési irány szerint



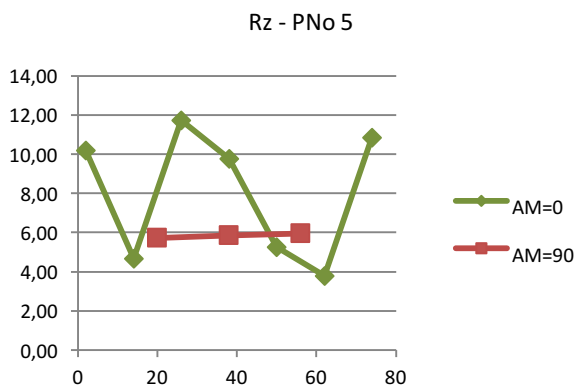
13. ábra: A 2. munkadarab Rz értékei a mérési irány szerint



14. ábra: A 3. munkadarab Rz értékei a mérési irány szerint



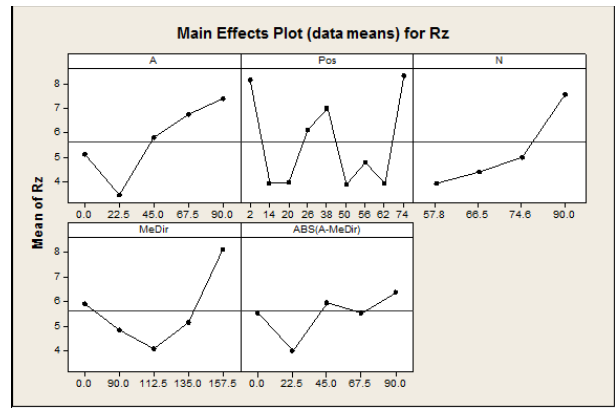
15. ábra: A 4. munkadarab Rz értékei a mérési irány szerint



16. ábra: Az 5. munkadarab Rz értékei a mérési irány szerint

A diagramokból jól látható hogy a mérési irány nagyban befolyásolja a felületi érdesség alakulását, valamint a felületi normális irányának is nagy hatása van.

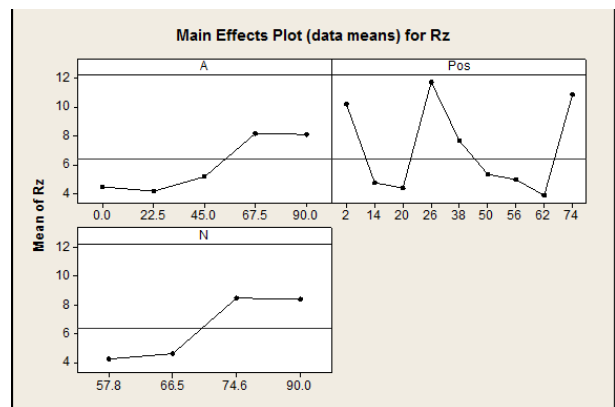
Az egyes paraméterek hatását ANOVA módszer segítségével is megvizsgáltuk. A 17. ábra az összes mérés során kapott átlagértékek (59 mérés) alapján készített főhatás ábrát mutatja.



17. ábra: Statisztikai elemzés I.

Ez alapján az első görbéből megállapítható, hogy az „A” paraméternek, vagyis a felületi normális irányának hatása van a felületi érdesség alakulására. Az ábra 2. és 3. görbéről leolvasható, hogy a vízszintes felületeken sokkal rosszabb az Rz értéke. Ez abból adódik, hogy a megmunkálás gömbvégű maró szerszámmal történt. Ezekben az esetekben a szerszámnak szinte csak a csúcsa forgácsol, ilyenkor a forgácsoló sebesség értéke közelít a nullához, hiszen a forgácsoló sebesség az átmérő növekedésével egyenes arányban van. Az ábra 4. görbéje alapján megállapítható, hogy a pásztázási iránynak szintén hatása van a felületi érdesség alakulására. Az 5. görbéről kiderül, hogy a mérés irányának merőlegesnek kell lenni a marás irányára. Ha ez nem így van, akkor a kapott eredményeket jelentős mértékben torzíthatják.

A második statisztikai vizsgálat során (18. ábra) csak a marási irányra merőleges irányú mérések átlagértéke lett figyelembe véve. Ez 19 átlagértéket jelent.



18. ábra: Statisztikai elemzés II.

Ez alapján az első görbéből megállapítható, hogy az „A” paraméternek, vagyis a felületi normális irányának hatása van a felületi érdesség alakulására. Ennek a diagramnak vízszintesnek kellene lennie a klasszikus geometriai modell szerint. Látszik, hogy 22,5° és 67,5° között kell a továbbiakban vizsgálni. Az ábra 2. és 3. görbéről szintén az állapítható meg, hogy a vízszintes felületek esetében sokkal rosszabb felületi érdességet kapunk.

4 KONKLÚZIÓ

A 45 mm-es rádiusszal rendelkező, gömbvégű maróval mart íves felületi érdesség mérési eredményekből jól látszik, hogy a mérési irány megválasztása nagyon fontos körülmény, hiszen a rosszul megválasztott mérési irány jelentősen torzíthatja a kapott értékeket. Viszont hozzá kell tenni azt is, hogy az ilyen szabad formájú felületek mérése nem könnyű feladat (19. ábra).



19. ábra: Szabad formájú felület mérés

A pásztázás iránya a szélsőértékeknel mutat jelentős hatást. Ezek a 0° , 45° és 90° . A továbbiakban ezeknél kell átfogó, részletesebb vizsgálatokat végezni.

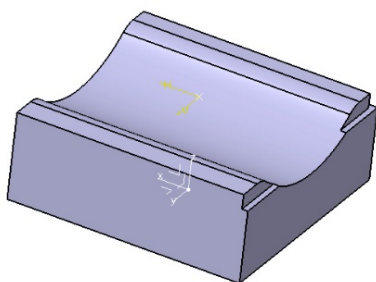
A felületi normális, vagyis a felület jellege is befolyásolja az érdességet.

A cél az, hogy megalkossunk egy olyan felületi érdességet becsülő modellt, mely a CAM-es felhasználóknak nyújtana segítséget abban, hogy az adott felületi minőség elérése érdekében milyen technológiát érdemes alkalmazni. A kísérletek alapján megállapítható, hogy ebbe a modellbe a szerszámgeometria mellett a felület és a szerszám pálya jellemzőinek is szerepelnie kell.

5 TOVÁBBI VIZSGÁLATOK

Az érdesség mellett érdemes a méret és alakpontosságot is megvizsgálni, annak érdekében, hogy új paramétereket építhessünk be a becsülő modellbe. A technológiai paraméterek, mint például az eltolás vagy a forgácsoló sebesség változtatása is jelentősen befolyásolhatja a felületi minőséget, ezért ezek hatását is érdemes megvizsgálnia.

Más geometriájú felületeket vizsgálata is célszerű lehet, hiszen a vizsgált munkadarab domború. Egy homorú felületű darabon is hasonló kísérleteket kell végezni a jövőben (20. ábra).



20. ábra: Új kísérleti munkadarab

Az ilyen homorú felületű munkadarabnak a vizsgálata hozhat fontos eredményeket, hiszen ennek a megmunkálása során egy gömbvégű maró szerszám sokkal nagyobb felületen érintkezik a munkadarabbal, mint egy domború felületűnél.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az emberi erőforrások minisztériuma UNKP-17-3 számú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Hamid Ramazani Sales, Hossein Amiradabi, Hossein Nouri Hosseinabadi, Mohamed Reza Bagheri (2016). Experimental Study of Tool Path Strategies for Three and Five axes Milling along with Feed Rate Optimization. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i43/104966 Indian Journal of Science and Technology
- [2] Jianhua Fan (2013) Cutting speed modelling in ball nose milling applications Adv Manuf Technol DOI 10.1007/s00170-014-5672-3
- [3] Z.C. Wei, M.J. Wang, J.N. Zhu, L.Y. Gu (2011) Cutting force prediction in ball end milling of sculptured surface with Z-level contouring tool path. International Journal of Machine Tools & Manufacture 51 (2011) pp. 528-432
- [4] M Rybicki (2014) Problems During Milling and Roughness Registration of Free-form Surfaces DOI:10.1088/1742-6596/483/1/012007 Journal of Physics
- [5] Y. Altintas, S. D. Merdol (2016) Virtual High Performance Milling, Manufacturing Automation Laboratory Vancouver, Annals of the CIRP Vol. 56/1/2007, pp. 81-84.
- [6] Petr Kolar, Matej Sulitka, Petr Fojtů1, Jiří Falta, Jaroslav Šindler (2016) Cutting force modelling with a combined influence of tool wear and tool geometry, Research Center of Manufacturing Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Czech Technical University in Prague. Horská 3, 128 00 Prague. Czech Republic.
- [7] Jozef Beno, Ildikó Manková, Peter Izol, Marek Vrabel (2016) An approach to the evaluation of multivariate data during ball end milling free-form surface fragments; Measurement 84 (2016) pp. 7–20.
- [8] Mizugaki, Y., Hao, M., Kikkawa, K., & Nakagawa, T. (2001) Geometric generating mechanism of machined surface by ball-nosed end milling. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 50(1) (2001) pp. 69-72.
- [9] EE Meng Lim, Hsi-yung Feng, Chia-Hsiang Menq, Zhi-Hang Lin: The prediction of dimensional error for sculpture productions using the ball-end milling process. Part 1: Chip geometry analysis and cutting force prediction; Int. J. Mach. Tools Manufact Vol.35 No.8 (1995) pp. 1149-1169
- [10] Mikó B., Baranyai G.: The effect of milling direction to surface quality when free form surface finishing; Development in machining technology Vol.5. pp. 62-76. Ed.: W. Zebala, I. Manková; Cracow University of Technology, Cracow 2015. ISBN 978-83-7242-844-8
- [11] Balázs Mikó, Jozef Beňo: Effect of the Working Diameter to the Surface Quality in Free-form Surface Milling; Key Engineering Materials Vol. 581 (2014) pp 372-377.
- [12] Balázs Mikó, Jozef Beňo, Ildikó Maňková: Experimental Verification of Cusp Heights when 3D Milling Rounded Surfaces; Acta Polytechnica Hungarica Vol. 9, No. 6, 2012 pp. 101-116.
- [13] Beňo, J., Stahovec J., Izol P., Tomáš M.: Some aspects of milling process planning when producing form surfaces; Development in machining technology Vol.2. pp. 91-103. Ed.: W. Zebala, I. Manková; Cracow University of Technology, Cracow 2012. ISBN 978-83-7242-655-0
- [14] Kandrác L., Maňková I., Vrabel M., Greškovič F.: The influence of milling strategies on the productivity and accuracy when machining free form surface; Development in machining technology Vol.2. pp. 104-113. Ed.: W. Zebala, I. Manková; Cracow University of Technology, Cracow 2012. ISBN 978-83-7242-655-0