

# MÁGNESEZHETŐ ÉS NEM MÁGNESEZHETŐ ANYAGOK HENGERLÉSE PERMANENS MÁGNESES SÍKFELÜLET HENGERLŐ SZERSZÁMMAL

## BURNISHING OF MAGNETIZABLE AND NON- MAGNETIZABLE MATERIALS WITH PERMANENT MAGNETIC FLAT BURNISHING TOOL

Kónya Gábor <sup>1\*</sup>, Dr. Kodácsy János <sup>1</sup>, Dr. Kovács Zsolt Ferenc <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Neumann János Egyetem,  
Magyarország

<https://doi.org/10.47833/2022.1.ENG.005>

### **Kulcsszavak:**

Hidegképlékeny felületjavító  
technológiák  
Nem mágnesezhető anyagok  
Felületi érdesség  
Mikrokeménység  
Permanens mágneses síkfelület  
hengerlő szerszám

### **Keywords:**

Cold plastic modifier technologies  
Non-magnetizable materials  
surface roughness  
Mikrohardness  
Permanent magnetic flat  
burnishing tool

### **Cikktörténet:**

Beérkezett 2021. október 10.  
Átdolgozva 2022. február 12.  
Elfogadva 2022. február 20.

### **Összefoglalás**

A publikáció a mágnesezhető és nem mágnesezhető anyagok permanens mágneses síkfelület hengerlő szerszámmal végzett hengerlése során kapott eredményeket foglalja össze. Mind ismeretes, a hidegképlékeny felületjavító eljárások közé tartozik e megmunkálási módszer, amellyel nem csak a felületi érdesség javítható, hanem a felületi réteg szilárdítása és szövetszerkezet módosítása is lehetséges környezetbarátan, költséghatékonyan.

### **Abstract**

The publication summarizes the results obtained during the rolling of magnetizable and non-magnetizable materials with permanent magnetic flat burnishing tool. It is well known this machining is type of cold plastic surface improve processes, which not only to improve the surface roughness, but also to strengthen the surface layer and modify the fabric structure in an environmentally friendly and cost-effective way.

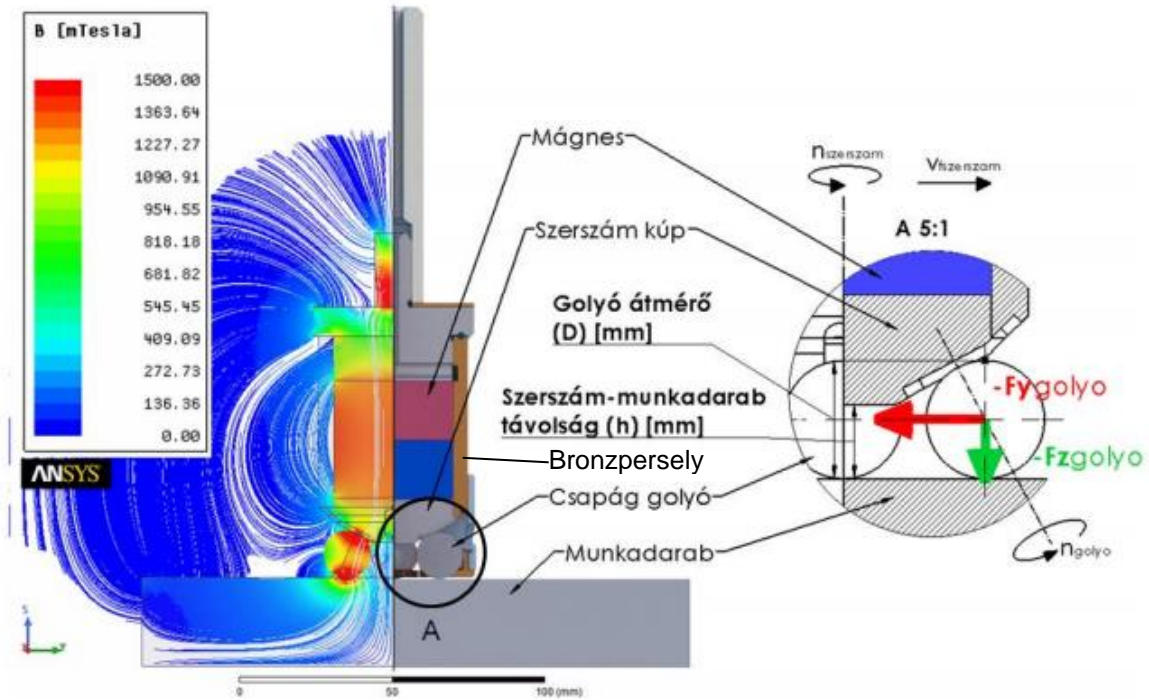
## **1. Bevezetés**

Felgyorsult világunkban az ipar kiváló minőségű felületeket vár nagy hatékonyság mellett. A befejező megmunkálásoknak számos módoszata ismert, mint például a szuperfiniselés, a polírozás és a felülethengerlés [5]. Jelen publikáció a permanens mágneses síkfelülethengerlő szerszámmal végzett megmunkálás eredményeit foglalja össze.

A mágneses térben végzett felülethengerlés olcsó, környezetbarát technológia, amely a hidegképlékeny felületjavító eljárások közé tartozik [6], mellyel nem csak a hengerelt felületek érdessége javítható, hanem a felület szövetszerkezet változása révén a felületi réteg szilárdítása is lehetséges.

A megmunkáláshoz használt szerszám az 1. ábrán látható.

\* Kapcsolattartó szerző. E-mail cím: [konya.gabor@gamf.uni-neumann.hu](mailto:konya.gabor@gamf.uni-neumann.hu)



1. ábra: Mágneses síkfelület hengerlő szerszám és annak mozgásviszonyai [6]

A szerszám egyaránt alkalmazható hagyományos és CNC vezérlésű szerszámgépeken is [6]. A hengerlő szerszám mágneses szempontból nyitott áramkörnek minősül, amely a mágnesezhető elemeken, a munkadarabokon vagy a levegőn záródik. A szerszámon alkalmazott bronzpersely feladata, hogy a lehető legtöbb mágneses erővonal a funkcionális elemeken záródjon, ezáltal csökkentve a mágneses erőtér nagyságát a főorsó irányába, mivel azok mágneses anyagokból készülnek, ezáltal csökkentik a mágneses erőt. Valamint meg kell óvnia a mágnest a külső behatásoktól is. A főorsó által okozott befolyásoltságot csökkenteni tudjuk azáltal, hogy a szerszám kinyúlásának hosszát megnöveljük [2] [3] [4] [7].

Felülethengerlés során a szerszám egy megadott szerszámpályán halad adott előtoló sebességgel, ezzel egy időben meghatározott fordulatszámmal forog, mely következtében a golyók is forognak és legördülnek a felületen.

## 2. Kísérlettervezés

A kutatási munka során a hengerlés hatása volt vizsgálva a mágnesezhető és nem mágnesezhető anyagok esetén. Mágnesezhető anyagok hengerlése kapcsán számos publikáció született, azonban a nem mágnesezhető anyagok hidegképlékeny felületjavító eljárásával kevés kutatás foglalkozik. A kísérlet fő célja a C45 referencia alapanyag felül ezen anyagok kapcsán megvizsgálni, hogy a mágneses síkfelület hengerlő szerszám miként módosítja a felületi minőséget és struktúrát.

### 2.1. Kísérlethez alkalmazott alapanyagok

A kísérlet során számos mágnesezhető és nem mágnesezhető alapanyag volt használva, melyek a következők:

- C45 szerkezeti acél
- Al7075 alumínium
- KO36 rozsdamentes acél
- PA6 poliamid

A fent felsorolt anyagok közül csupán a C45 minősül ferromágneses anyagnak, a többi nem mágnesezhető. A C45 általános rendeltetésű, ötvöztelen, szerkezeti, nemesíthető szénacél fajta,

melyet a gépipar előszeretettel használ, mivel az igénybevételek függvényében széles körben módosítható a mechanikai tulajdonságai [10].

Az alumíniumot és ötvözeit nagy mennyiségben alkalmazzák az iparban kis sűrűségük és kedvező mechanikai tulajdonságaik miatt. Felhasználása széleskörű, legnagyobb mértékben az autóipar és egyéb gépipar dolgozza fel, továbbá alkalmazzák számtalan csomagoló anyagban, állványok alapanyagaként, elektromos huzalokhoz és a vegyiparban az ellenállóság kihasználására például salétromsav tárolására is. E széleskörű felhasználási terület indokolja ezen anyagok megmunkálhatóságának vizsgálatát [9].

A rozsdamentes acélokat az élet minden területén alkalmazzák, ahol a belőlük készült alkatrészek nagy igénybevételeknek, valamint durva körülményeknek (pl. korrozív) vannak kitéve. Ilyenek például a repülőgépek sugárhajtóművének egyes alkatrészei is, ezért szükséges ezen anyagok vizsgálata [8].

Az iparban egyre jelentősebb szerepet kapnak a műanyagok, valamint a műanyag alapú alapanyagok. Előnyei a fémekkel szemben a sokkal alacsonyabb mértékű sűrűség, ezen okok miatt érdemes ezen anyagok vizsgálata. A fémeknél bevett szokás, hogy kenőanyag segítségével csökkentik a kopás mértékét, azonban ez a műanyagok esetében nem lehetséges, mivel a műanyag elnyeli a kenőanyagot, amely duzzadást okoz [1].

## 2.2. A kísérletek során alkalmazott technológiai paraméterek

Hengerlés előtt az összes felület síkba lett marva, melynek technológiai paraméterei az 1., 2., és 3. táblázatban vannak ismertetve anyagminőségek függvényében. A síkmarás egy fogással egyenirányban történt. Mindegyik anyag síkmarásának paramétereiben megfigyelhető, hogy csak az előtoló sebesség értéke volt változtatva arányosan, ezzel feltételezve azt, hogy a felületminőség is arányosan fog romlani az előtoló sebesség növekedésével. Ez azért fontos, mert a kísérlet tervezésnél a marás után kapott átlagos felületi érdesség érték bemeneti paraméterként van megadva, mint a technológia eredményességét befolyásoló tényező.

### 1. Táblázat. Al7075 és PA6 síkmarásakor alkalmazott technológiai paraméterek

Technológia száma	Előtoló sebesség $v_t$ (mm/perc)	Fogásmélység $a$ (mm)	Forgácsolósebesség $v_c$ (m/perc)
1	500	1	300
2	800	1	300
3	1100	1	300

### 2. Táblázat. KO36 síkmarásakor alkalmazott technológiai paraméterek

Technológia száma	Előtoló sebesség $v_t$ (mm/perc)	Fogásmélység $a$ (mm)	Forgácsolósebesség $v_c$ (m/perc)
1	100	1	80
2	200	1	80
3	300	1	80

### 3. Táblázat. C45 síkmarásakor alkalmazott technológiai paraméterek

Technológia száma	Előtoló sebesség $v_t$ (mm/perc)	Fogásmélység $a$ (mm)	Forgácsolósebesség $v_c$ (m/perc)
1	100	1	120
2	200	1	120
3	300	1	120

A fenti táblázatokban látható, hogy mindegyik anyag esetén arányosan volt változtatva az előtoló sebesség értéke, melyből következik, hogy a marás után kapott felületi érdesség értékek is hasonlóképp fognak változni, ami azért fontos, mert a kísérlettervben bemeneti paraméterként szerepelnek.

A kutatómunka az alábbi Taguchi kísérletterveken alapulnak, melyek a 4-7. táblázatban láthatóak anyagonként. Mindegyik anyag esetén 9 kísérlet volt felállítva, melyek célja, hogy megtaláljuk azon tényezőket, amelyek a leginkább befolyásolják a megmunkálás minőségét.

4. Táblázat. Al7075 hengerléséhez használt kísérletterv

<i>Technológia száma</i>	<i>Előtoló sebesség (mm/perc)</i>	<i>Marás után kapott átlagos felületi érdesség <math>R_a</math> (<math>\mu\text{m}</math>)</i>	<i>Hengerlési sebesség (m/perc)</i>
1	10	1,014	20
2	10	1,736	40
3	10	0,766	60
4	30	1,014	40
5	30	1,736	60
6	30	0,766	20
7	50	1,014	60
8	50	1,736	20
9	50	0,766	40

5. Táblázat. PA6 hengerléséhez használt kísérletterv

<i>Technológia száma</i>	<i>Előtoló sebesség (mm/perc)</i>	<i>Marás után kapott átlagos felületi érdesség <math>R_a</math> (<math>\mu\text{m}</math>)</i>	<i>Hengerlési sebesség (m/perc)</i>
1	10	1,714	20
2	10	1,628	40
3	10	1,883	60
4	30	1,714	40
5	30	1,628	60
6	30	1,883	20
7	50	1,714	60
8	50	1,628	20
9	50	1,883	40

6. Táblázat. KO36 hengerléséhez használt kísérletterv

<i>Technológia száma</i>	<i>Előtoló sebesség (mm/perc)</i>	<i>Marás után kapott átlagos felületi érdesség <math>R_a</math> (<math>\mu\text{m}</math>)</i>	<i>Hengerlési sebesség (m/perc)</i>
1	10	1,678	20
2	10	2,312	40
3	10	1,015	60
4	30	1,678	40
5	30	2,312	60
6	30	1,015	20
7	50	1,678	60
8	50	2,312	20
9	50	1,015	40

7. Táblázat. C45 hengerléséhez használt kísérletterv

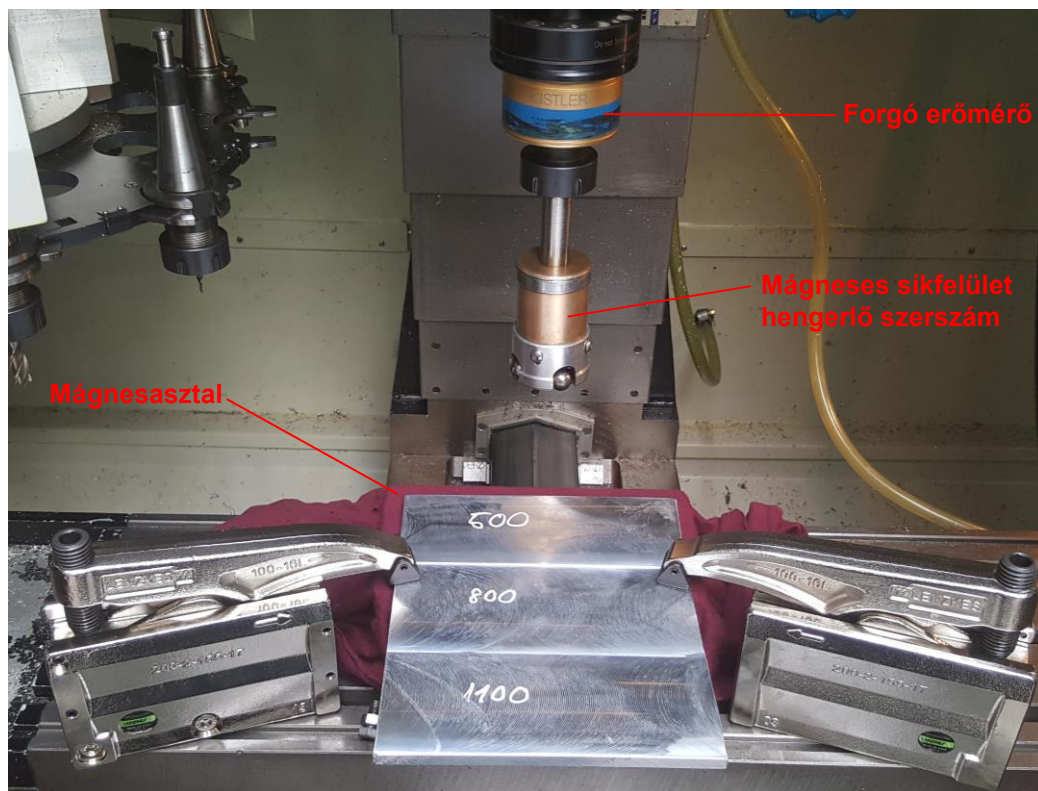
Technológia száma	Hengerlési sebesség (m/perc)	Előtoló sebesség (mm/perc)	Szerszám távolság (mm)	Marás után kapott átlagos felületi érdesség $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )
1	20	25	8,5	0,950
2	20	50	11,5	0,672
3	20	75	10	1,105
4	40	25	11,5	1,105
5	40	50	10	0,950
6	40	75	8,5	0,672
7	60	25	10	0,672
8	60	50	8,5	1,105
9	60	75	11,5	0,950

C45 esetén alkalmazott kísérletterv annyiban tér el a többitől, hogy ebben vizsgálva volt a szerszám és a munkadarab között távolság is, melyet kiértékelve megállapítható, hogy 10 mm az optimális távolság, így ez az érték volt a többi anyag esetén is alkalmazva.

### 2.3. Kísérlethez használt eszközök

A síkmarások az NCT EmL850D 5AX típusú szerszámgépen voltak elvégezve, míg a mágneses felülethengerlések NCT Tomill 250 típusú CNC marógépen.

Mivel olyan anyagok is megmunkálásra kerültek, melyek nem mágnesezhetőek, ezért egy mágnesasztal is felszerelésre került a szerszámgépre, ez látható a 2. ábrán.



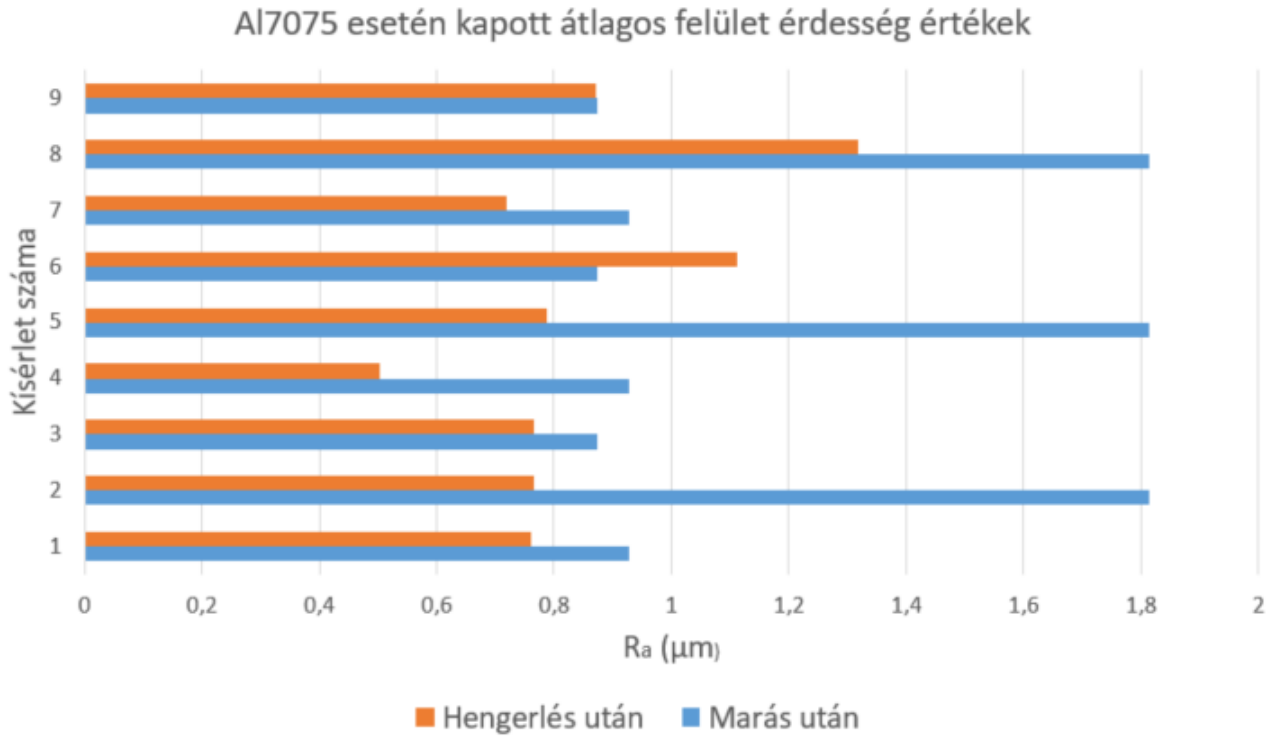
2. ábra: Kísérletre felkészített szerszámgép

A Taguchi kísérlettervek elkészítése, valamint az eredmények kiértékelése is Minitab 17 szoftver segítségével történt.

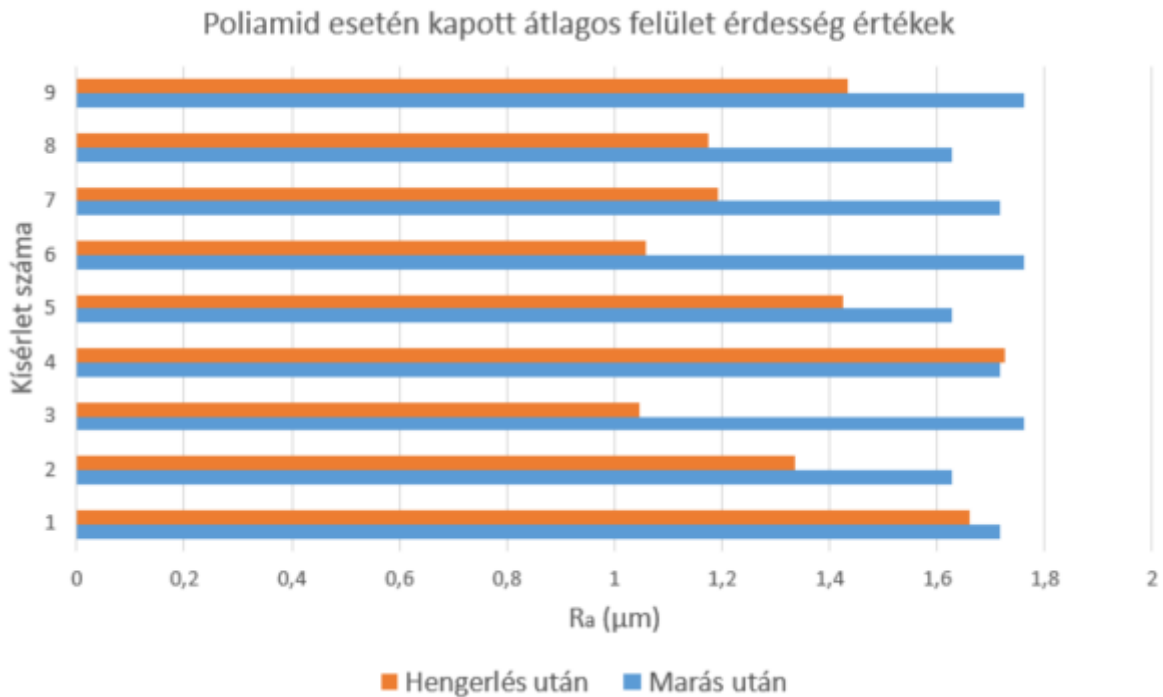
### 3. Eredmények kiértékelése

#### 3.1. Átlagos felületi érdesség alapján történő kiértékelés

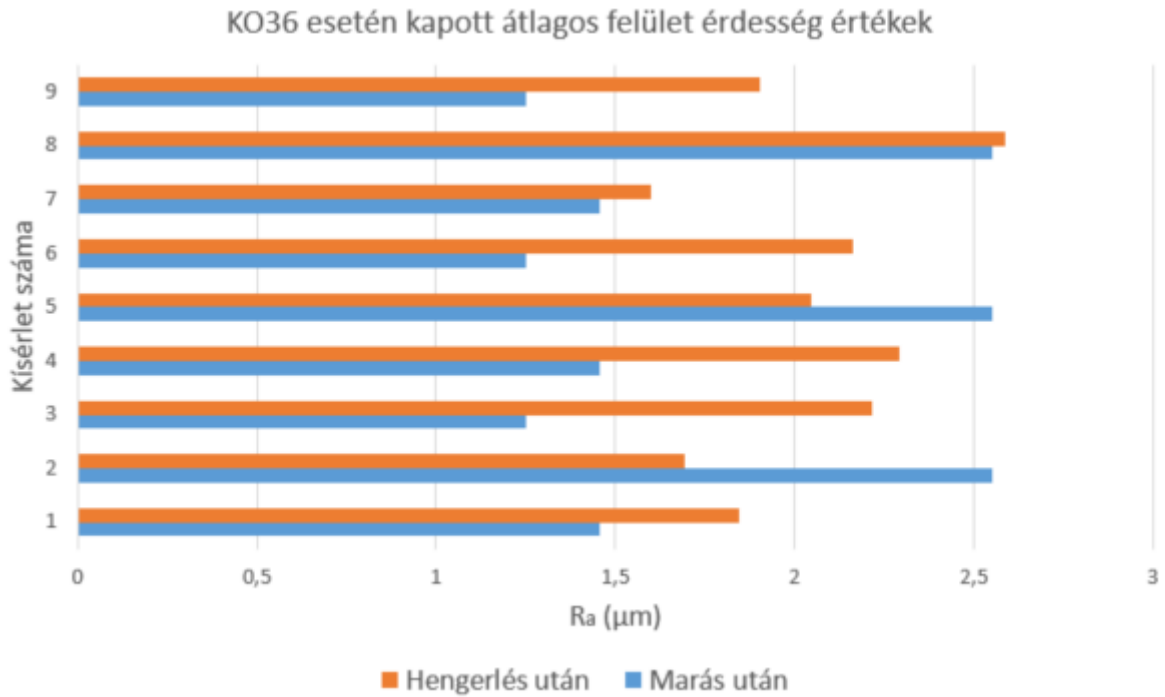
A kapott átlagos felületi érdesség alapján történő kiértékelés a 3-6. ábrán látható az egyes anyagok esetén.



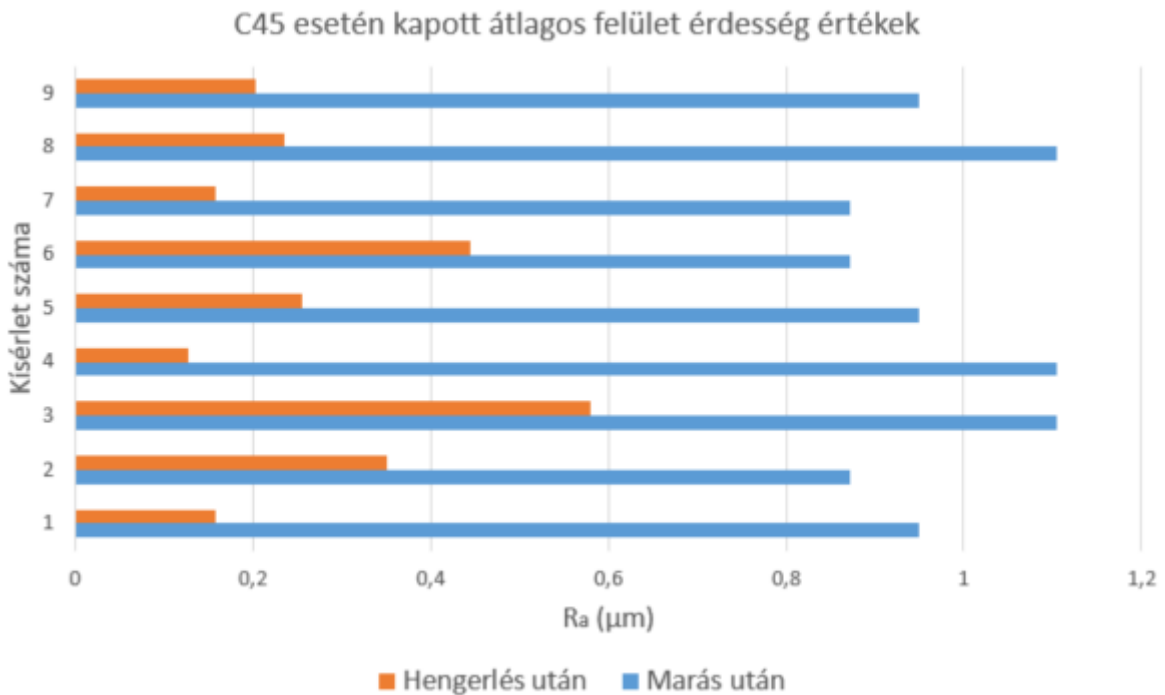
3. ábra: Al7075 esetén kapott átlagos felületi érdesség értékek



4. ábra: Poliamid esetén kapott átlagos felületi érdesség értékek



5. ábra: KO36 esetén kapott átlagos felületi érdesség értékek



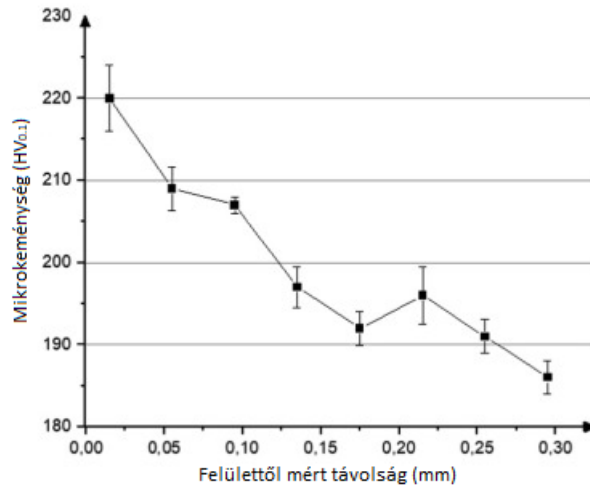
6. ábra: C45 esetén kapott átlagos felületi érdesség értékek

A fenti diagramokat megfigyelve kijelenthető, hogy általánosságban csökkent az átlagos felületi érdesség a felülethengerlés hatására. Ez alól szembetűnően kivétel a KO36-nál mért értékek, melyeket megnézve az látható, hogy a hengerlés után szinte minden esetben romlott a felület minősége. Ez azzal magyarázható, hogy a marás után már szép felületi minőséget sikerült elérni, mely R-profiljának a csúcsai és a völgyei között minimális a különbség, továbbá kemény anyagról van szó, ezeknek a tényeknek köszönhetően a felülethengerlő szerszám már nem tudja a völgyeket feltölteni, sőt pont az ellenkező hatás mutatkozott.

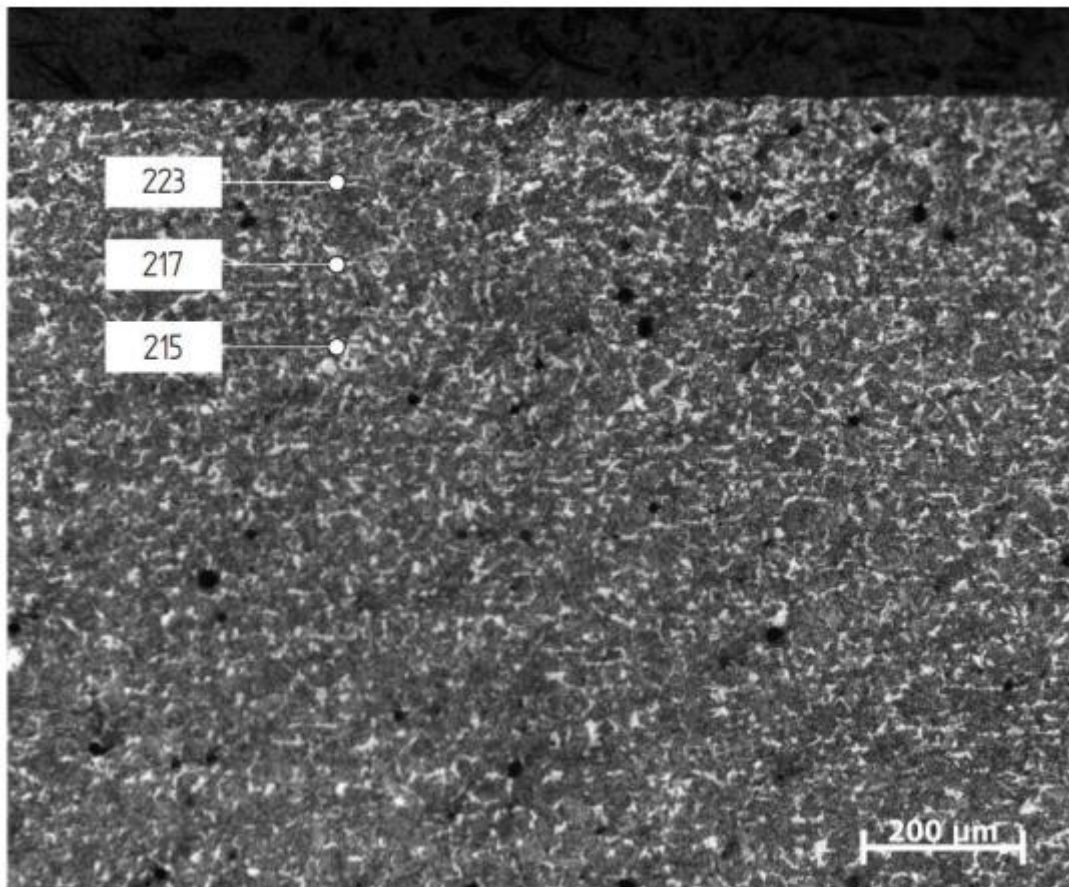
## 3.2. Keménységlefutás

### 3.2.1. C45

A C45 esetén mért keménységlefutás és szövetelem kép a 7. és 8. ábrán látható. A kilenc mérés közül a 4. hozta a legjobb eredményt, hiszen itt volt a legnagyobb az átlagos felületi érdesség redukálódás, 1,105  $\mu\text{m}$ -ról 0,127  $\mu\text{m}$ -re csökkent. Mivel itt volt a legnagyobb a képlékeny alakváltozás, ezért ez a felület keményedett fel a legjobban.



7. ábra: C45 4. minta keménységlefutása



8. ábra: C45 4. minta szövetelem képe keménységi adatokkal

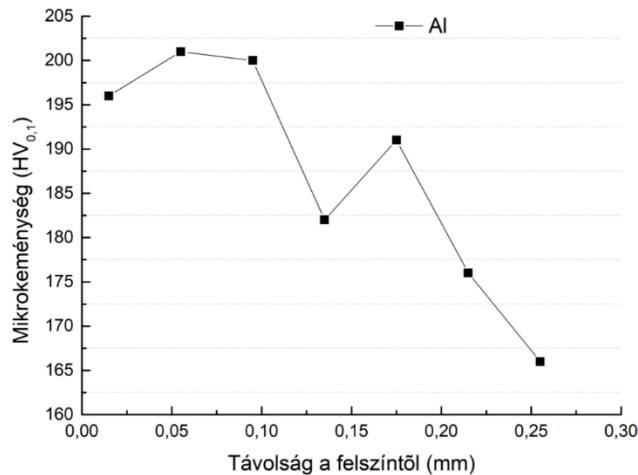
A felvételen, valamint a keménységlefutási diagramon is látható, hogy a felületi rétegben, amely vastagsága 0,15-0,25 mm közötti, a szemcsék laposabbá váltak és összetömörödtek a



mélyebben levő rétegekhez képest. A mikrokeménység értéke  $223 \text{ HV}_{0,1}$  volt, ami a kiinduló értékhez képest 20%-os növekedést jelent.

### 3.2.2. Al7075

Az Al7075 esetén mért keménységlefutás a 9. ábrán látható. Valamennyi mérés közül a 4. mérésnél lett a legjobb felületi minőség a hengerlés után, így e technológia beállítás eredményei a legrelevánsabbak.



9. ábra: Al7075 4. minta keménységlefutása

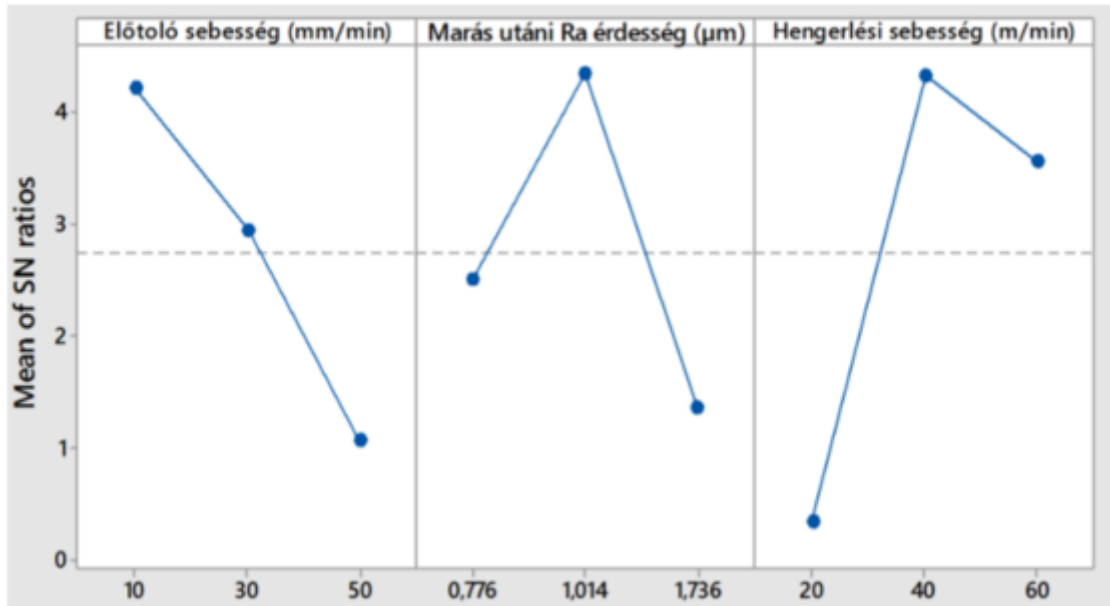
A fenti diagramon jól látható, hogy a legnagyobb keménység érték  $202 \text{ HV}_{0,1}$ . Ez 12%-os növekedést jelent az alapértékhez képest. Az első mélypont egy mérési hiba eredménye lehet, azonban jól látszik, hogy  $0,175 \text{ mm}$ -nél drasztikus mikrokeménység csökkenés következett be, ami jelzi, hogy a felkeményedett rétegvastagság  $0,175 \text{ mm}$ .

### 3.3. Technológiai paraméterek befolyása az eredményekre

A kapott eredmények Minitab 17 segítségével lettek kiértékelve, mely során az úgynevezett Smaller-the-Better (S/Ns) módszer volt alkalmazva, ezzel mutatható ki, hogy melyik parameter van legnagyobb hatással a felületi érdesség csökkenésére.

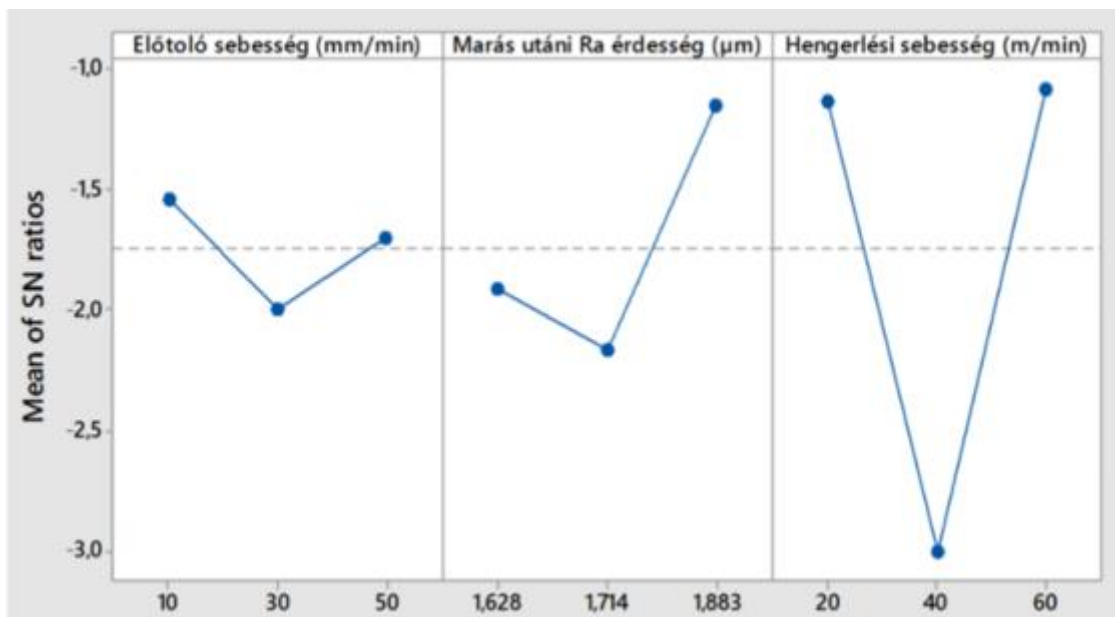
A kiértékelésben az előtoló sebesség, a marás után kapott átlagos felületi érdesség és hengerlési sebesség hatásai voltak vizsgálva, kivéve a C45 esetében, ahol még a szerszám munkadarab távolság is volt vizsgálva.

Al7075 esetén a technológiai paraméterek befolyásolásának mértéke a 10. ábrán figyelhető meg. Jól látható, hogy a megmunkált felületekre legnagyobb hatással a hengerlési sebesség van. Alumíniumok hengerléséhez az optimális technológiai paraméterek a következők: előtoló sebesség  $v_f=10 \text{ mm/min}$ , hengerlési sebesség  $v_h=40 \text{ m/min}$ , és a kiinduló felületi érdesség értéke lehetőleg minél kisebb. Ez azzal magyarázható, hogy a kisebb kiinduló érdesség esetében kevés az alakítandó anyagmennyiség (érdességi csúcsok), míg a túl nagy  $R_a$  értékek esetében nehézséget okoz annak képlékeny deformálása.



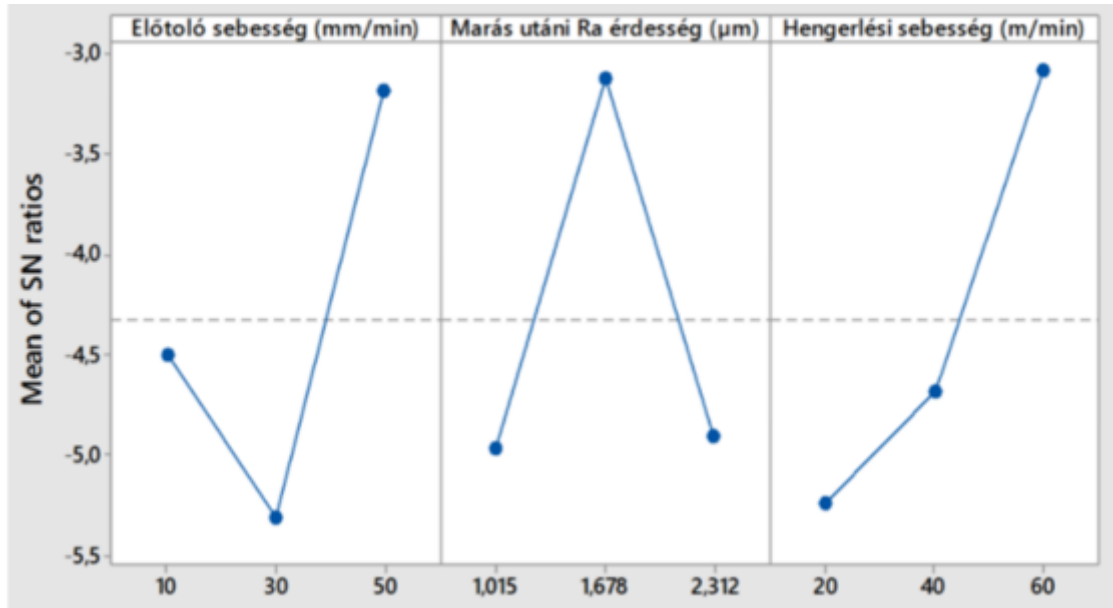
10. ábra: Technológiai paraméterek befolyásolásának mértéke Al7075 esetében

PA6 esetén a technológiai paraméterek befolyásolásának mértéke a 11. ábrán figyelhető meg, mely szerint a megmunkált felületekre a legnagyobb hatással a hengerlési sebesség van. Az optimális technológiai paraméterek: előtoló sebesség  $v_f=10$  mm/min, hengerlési sebesség  $v_h=60$  m/min, és a kiinduló felületi érdesség nagyobb értékek felé tartson.



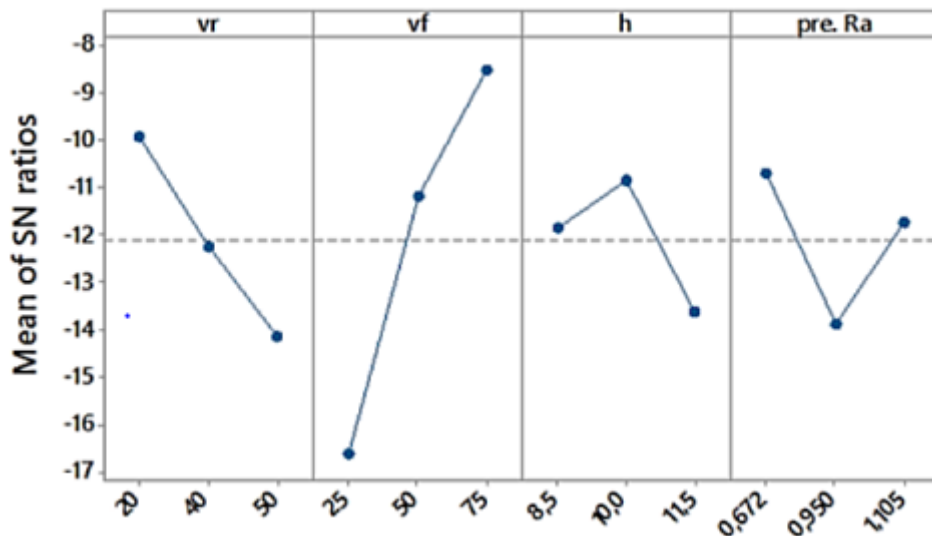
11. ábra: Technológiai paraméterek befolyásolásának mértéke PA6 esetében

KO36 esetén is a hengerlési sebesség van a legnagyobb hatással a kapott felületi minőségre, ez figyelhető meg a 12. ábrán, továbbá a legideálisabb technológiai paraméterek is leolvashatók: előtoló sebesség  $v_f=50$  mm/min, hengerlési sebesség  $v_h=60$  m/min.



12. ábra: Technológiai paraméterek befolyásolásának mértéke KO36 esetében

C45 esetén a technológiai paraméterek befolyásolásának mértéke a 13. ábrán látható. A diagramról leolvasható, hogy a legfontosabb technológiai paraméter a szerszám előtolási sebessége, majd a hengerlési sebesség, ezt követi a szerszám és munkadarab közötti távolság, a legkevésbé fontos paraméter pedig a hengerlés előtti felületi minőség.



13. ábra: Technológiai paraméterek befolyásolásának mértéke C45 esetében

#### 4. Összegzés

Jelen publikáció egy átfogó képet ad a mágnesezhető és nem mágnesezhető anyagok permanens mágneses síkfelület hengerlő szerszámmal történő hengerléséről. Részletesen bemutatja, hogy az egyes paraméterek változásai milyen hatással vannak a felület minőségére, a felületi szövetszerkezet és mikrokeménység változásra az egyes alapanyagok függvényében.

Kijelenthető, hogy a permanens mágneses síkfelület hengerlő szerszám mind a mágnesezhető, mind a nem mágnesezhető anyagok esetén működik. A legdrasztikusabb felületi érdesség csökkenés a C45 esetén volt elérve, ezzel párhuzamosan itt volt mérve a legnagyobb mikrokeménység is.

Az Al 7075 esetén is jelentős, 12%-os mikrokeménység növekedés volt elérhető. Mindhárom fém esetén kijelenthető, hogy a hengerlés kulcsa az alacsony előtolási sebesség, valamint a

nagyobb hengerlési sebesség, hiszen így azonos alapanyag részen többször tud elmenni a szerszám. Ez az elv megegyezik a szubtraktív gyártásával.

PA6 esetén is jelentős érdesség csökkenés érhető el, azonban nagyon érzékeny a folyamat a technológiai paraméterek változására. A kenőanyag alkalmazása miatt az alapanyag megduzzad, ezáltal a méretpontosság nem lesz megfelelő, ezért csak kenőanyag alkalmazása nélkül lehet ezeket az anyagokat hengerelni.

## Irodalomjegyzék

- [1] L. JANCZEWSKI, D. TOBOLA, W. BROSTOW, K. CZECHOWSKI, H. E. H. LOBLAND, M. KOT, K. ZAGÓRSKI (2016): Effects of burnishing on surface properties of low density polyethylene, *Tribology International* Vol. 93, pp. 36-42.  
DOI: 10.1016/j.triboint.2015.09.006.
- [2] J. Kodácsy (2011): Finishing of Metal Parts in Magnetic Field Based on Abrasion, *Advanced Materials Research* Vol. 325, pp. 517-522.  
DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.325.517
- [3] J. Kodácsy, J. Liska (2012): Magnetic Assisted Roller Burnishing and Deburring of Flat Metal Surfaces, *Advanced Materials Research* Vol. 472, pp. 908-911.  
DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.472-475.908
- [4] Zs. Kovács (2016): The Investigation of Tribological Characteristics of Surface Improved by Magnetic Polishing and Roller Burnishing, *Procedia Engineering* Vol. 149, pp. 183-189.  
DOI: 10.1016/j.proeng.2016.06.654
- [5] Zs. Kovács, Zs. J. Viharos and J. Kodácsy (2018) "The effects of machining strategies of magnetic assisted roller burnishing on the resulted surface structure" *IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering*, vol. 448, 012002.  
DOI: 10.1088/1757-899X/448/1/012002
- [6] Zs. F. Kovács, Zs. J. Viharos, J. Kodácsy (2020): Surface flatness and roughness evolution after magnetic assisted ball burnishing of magnetizable and non-magnetizable materials, *Measurement* Vol. 158, 107750  
DOI: 10.1016/j.measurement.2020.107750.
- [7] Zs. F. Kovács, Zs. J. Viharos, J. Kodácsy (2018): Determination of the working gap and optimal machining parameters for magnetic assisted ball burnishing, *Measurement* Vol. 118, pp. 172-180.  
DOI: 10.1016/j.measurement.2018.01.033.
- [8] S. S. G. LEE, TAM and N. H. LOH (1993): Ball burnishing of 316L stainless steel, *Journal of Materials Processing Technology* Vol. 37, pp. 240-251.  
DOI: 10.1016/0924-0136(93)90094-M
- [9] Adel Mahmood Hassan (1996): The effect of ball – and roller burnishing on the surface roughness and hardness of some non-ferrous metals, *Journal of Materials Processing Technology* Vol. 72, pp. 385-391.  
DOI: 10.1016/S0924-0136(97)00199-4
- [10] Alberto Saldana Robles, Héctor Plascencia-Mora, Eduardo Aguilera-Gómez, Adriana Saldana-Robles, Alfredo Marquez-Herrera, José Angel Diosdado-De la Pena (2018): Influence of ball burnishing on roughness, hardness and corrosion resistance of AISI 1045 steel, *Surface and Coatings Technology* Vol. 339, pp. 191-198.  
DOI: 10.1016/j.surfcoat.2018.02.013