

**Szent István Egyetem**

**ESZTERGÁLT MŰSZAKI MŰANYAG FELÜLETEK  
MIKROTOPOGRÁFIAI JELLEMZŐI**

Doktori (Ph.D) értekezés tézisei

**Farkas Gabriella**

Gödöllő  
2010

## **A doktori iskola**

**megnevezése:** **Műszaki Tudományi Doktori Iskola**

**tudományága:** **Agrárműszaki Tudomány**

**vezetője:** **Dr. Farkas István**  
egyetemi tanár, DSc  
Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar  
Környezetipari Rendszerek Intézet  
Gödöllő

**Témavezető:** **Dr. habil. Kalácska Gábor**  
egyetemi tanár, CSc  
Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar  
Gépipari Technológiai Intézet  
Gödöllő

**Társ-témavezető:** **Dr. Palásti Kovács Béla**  
főiskolai tanár, CSc  
Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai  
Mérnöki Kar, Anyagtudományi és Gyártástechnológiai Intézet  
Budapest

.....  
Az iskolavezető jóváhagyása

.....  
A témavezető jóváhagyása

**TARTALOMJEGYZÉK**

1. BEVEZETÉS.....	4
1.1. A kutatómunka jelentősége.....	4
1.2. A kutatómunka célkitűzései.....	4
2. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	6
2.1. Műszaki műanyagok.....	6
2.2. Műszaki műanyagok megmunkálása forgácsolással.....	6
2.3. A forgácsolási kísérlet.....	7
2.3.1. Az alkalmazott szerszámgép.....	7
2.3.2. Az esztergálás választott paraméterei.....	7
2.3.3. Az esztergálás szerszámai.....	7
2.4. A felületi érdesség mérésének körülményei.....	8
3. EREDMÉNYEK.....	9
3.1. Az elméleti érdesség vizsgálata esztergált műszaki műanyagoknál.....	9
3.2. Faktoriális kísérletterv a forgácsolási paraméterek hatásának vizsgálata a felületi érdesség magasságirányú jellemzőire.....	10
3.3. Növelt csúcscsugarú szerszámmal végzett forgácsolási kísérlet eredményei.....	12
3.4. Az átlagos érdesség és a műszaki műanyagok mechanikai jellemzőinek kapcsolata.....	13
3.5. Új tudományos eredmények.....	14
4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	16
5. ÖSSZEFOGLALÁS.....	17
SUMMARY.....	18
6. TÉMÁHOZ KAPCSOLÓDÓ SAJÁT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE.....	19

## 1. BEVEZETÉS

### 1.1. A kutatómunka jelentősége

A felület minőségét számos tényező befolyásolja, melyek megközelíthetők a gyártás és a felhasználás oldaláról. A megmunkálás során kialakult felület azonban hatással van a gépelemek működési tulajdonságaira, tribológiai viselkedésére. A felületi minőség jellemzésére érdekes mérőszámokat alkalmaznak a műszaki gyakorlatban, melyek lehetnek kétdimenziós, ún. mikrogeometriai paraméterek és háromdimenziós, ún. mikrotopográfiai jellemzők. A felületi mikrogeometria mérése és jellemzése többnyire szabványosított, így alkalmas az egyes felülettípusok összehasonlításra. Széles paraméterkészlet áll rendelkezésre a felületi textúra jellemzésére, az ipari gyakorlat mégis 2-3 mérőszámot alkalmaz. A számítástechnika fejlődése lehetővé tette nagymennyiségű adat viszonylag rövid idejű feldolgozását, s így a 3D-s felületértékelés bevezetését is. A tudományos élet kitüntetett érdeklődését a felületi topográfia iránt az okozza, hogy a felület lényegesen valóságosabb jellemzését teszi lehetővé. A háromdimenziós kiértékeléstechnika alapkövét Stout és társai tették le, amikor kiadványukban értelmezték a 3D-s felületi érdekséget és definiálták a 3D-s mérőszámokat is.

A műszaki tudományok területén napjainkban különösen nagy figyelmet fordítanak a különböző műanyagok fejlesztésére. A műanyagok egy évszázados történelme alatt olyan nagymértékű fejlesztési lépések történtek, hogy ma már nem pótanyagoknak, hanem igen fontos szerkezeti anyagoknak számítanak az ipar szinte minden területén. Tulajdonságaikban gyakran felülmúlják a hagyományos anyagokat, összetételük megváltoztatásával (pl. lágyítóanyag hozzáadásával, szálérosítással) konkrét felhasználási területre alakíthatók. A kisebb sűrűség, a nagy szilárdság, a korrózióállóság, vegyszerállóság, a villamos szigetelő képesség előnyként jelentkezik a fémekhez viszonyítva, de hátrányos tulajdonságaikat, mint a kis hőállóság, esetenként a magas nedvességfelvétel is figyelembe kell venni felhasználásuk során. „A műszaki műanyagok olyan polimerek, amelyek széles hőmérséklet tartományban kitűnő mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek”. Ezen műanyagokat több formában állítják elő, amelyek alapvetően a további feldolgozási módoktól függenek. Lehetnek por vagy granulátum termékek, félkész termékek (rudak, csövek, táblák stb.) illetve késztermékek. A műszaki műanyagok egyik jelentős csoportja az általános rendeltetésű műszaki műanyagok, melyek közül a dolgozatban az öntött poliamid 6, a poli(oxi-metilén) ko-polimer, és a poli(etilén-tereftalát) anyagokon végeztem forgácsolási kísérleteket. A nagyteljesítményű műszaki műanyagok közül a poli(éter-éterketon) anyagot választottam, mivel magas hőállóság, nagy szilárdság, nagy méretstabilitás és merevség jellemzi, felhasználása rendkívül széleskörű, mint például: a repüléstechnika, járműtechnika, vegyi és villamos ipar, stb.

A forgácsoló eljárás, ezen belül az esztergálás alkalmazása a műanyagok megmunkálásánál mára nagy jelentőségű és főleg a javítótechnológiában egyeduralgoló. Ennek ellenére az egyes anyagtípusokra jellemző forgácsolási paramétereket a szakirodalom igen tág határok között adja meg, amely elsősorban a hőmérséklet okozta deformáció, esetleges lágyulás elkerülésére irányulnak illetve a gazdaságos előállítás biztosítását szolgálják a műszaki gyakorlatban. A forgácsoló műszaki műanyagok elterjedése a szerszámgyártókat is rákényszerítette a műanyagok megmunkálására alkalmas szerszámok fejlesztésére.

### 1.2. A kutatómunka célkitűzései

A forgácsolási folyamatban a megmunkálás körülményeit és adatait úgy kell megválasztani, hogy a megmunkált munkadarab megfeleljen a tervező által megadott méretpontosságnak, alakhűségnek, valamint felületi minőségnek. Számos kutató foglalkozott a fémek forgácsolással történő megmunkálásával, illetve az adott eljárásra jellemző tényezőknek (esztergálás esetén például az előtolás, csúcscsúgár, forgácsolási idő, forgácsolási sebesség, élgeometria stb.) a felület érdességére gyakorolt hatásának vizsgálatával.

---

A kutatómunkám elsődleges célja az esztergálással előállított műszaki műanyag felületek érdességi paramétereinek kiértékelése és elemzése. További fontos feladat a műanyag alkatrészek megmunkálásakor létrehozott felületek elvárt működési viselkedésének megfelelő felülettervezési követelmények kidolgozása. A célok meghatározásánál a legfontosabb szempont az volt, hogy a kísérletek eredményei a műszaki gyakorlat számára is hasznosak legyenek. A műszaki műanyagok forgácsoló megmunkálásakor a felületi mikrogeometria és a technológiai adatok összefüggései ma még nem kellően feltártak. A vizsgálatok anyagaként a műszaki műanyagok közül néhány olyan hőre lágyuló típust választottam ki, amelyek a gépészeti alkalmazásban meghatározó szerepet töltenek be.

- Geometriailag határozott szerszámél (különböző lapkageometriák, technológiai paraméterek) és a megmunkált felület kölcsönhatásának vizsgálata. A kísérletek első két fázisában az alkalmazott esztergálási paraméterek: a forgácsoló sebesség:  $v_c = 200; 250; 315; 400$  m/min, az előtolás a nagyolási fázisban:  $f = 0,2; 0,25; 0,315; 0,4$  mm/ford, az előtolás a simítási fázisban:  $f = 0,05; 0,08; 0,12; 0,16$  mm, a fogásmélység:  $a = 0,5$  mm (állandó értéken tartva). A kísérletek harmadik fázisában forgácsoló sebesség:  $v_c = 400$  m/min (állandó értéken tartva), az előtolás:  $f = 0,08; 0,125; 0,2; 0,315$  mm/ford, a fogásmélység:  $a = 1,0$  mm és  $a = 2,0$  mm.
- Elektronmikroszkópikus (SEM) úton nyert felületképek jellemzőinek és információtartalmának vizsgálata PEEK műszaki műanyag esetén.
- Függvénykapcsolatok feltárása, a legfontosabb befolyásoló tényezők hatását is figyelembe vevő empirikus összefüggésekkel. Kísérlettervezési módszerrel az  $R = C_R \cdot v_c^{x_1} \cdot f^{x_2}$  függvénykapcsolatot vizsgálom, melyben a választott paraméterek az  $R_a$  (átlagos érdesség) és az  $R_z$  (egyenletlenség magasság), a kijelölt faktorok a forgácsoló sebesség ( $v_c$ ) és az előtolás ( $f$ ).

A fentiekben vázolt témákhoz szerteágazó szakirodalom tartozik, ezért a szakirodalmi áttekintést a dolgozat témái szempontjából legfontosabbakra korlátoztam, és a következő fejezetben ezeket ismertetem

## 2. ANYAG ÉS MÓDSZER

### 2.1. Műszaki műanyagok

A műanyagok olyan szerves eredetű, műszaki eljárásokkal előállítható és feldolgozható, óriásmolekulájú anyagok, melyeket szintetikus vagy természetes óriásmolekulák átalakításával hoznak. A műanyagok évtizedek óta teljes értékű szerkezeti anyagok, melyeket a műszaki gyakorlat számos területen alkalmaz. A műanyagok előállításához és feldolgozásához kapcsolódó technológiai eljárások – alkalmazási területük folyamatos szélesedésével – napról napra nagymértékben fejlődnek.

A műanyagok alapvetően két csoportba sorolhatók hővel szembeni viselkedésük alapján, lehetnek hőre lágyuló és hőre nem lágyuló műanyagok. A szakirodalom további két típust is megkülönböztet:

- általános rendeltetésű műszaki műanyagok, ide tartoznak a poliamidok (PA), a poli(oxi-metilén) (POM), a polietiléntereftalátok (PET), valamint az ultranagy molekulatömegű polietilének (UHMW-PE) stb.,
- nagy teljesítményű műszaki műanyagok, melyek közé soroljuk többek között a poliéter-éter-ketont (PEEK), a polifenilszulfidot (PPS), a polivinilidénfluoridot (PVDF), a poliimidet (PI) stb.

A kutatási munkában a műszaki műanyagok széles választékából négy kristályos szerkezetű hőre lágyuló polimert választottam ki: öntött poliamid 6 (PA6), poli(oxi-metilén) (POM C), poli(etiléntereftalát) (PET), poli(éter-éter-keton) (PEEK). A műszaki műanyag féltermékekből forgácsolással előállított gépelemek esetén az az érdekesség figyelhető meg, hogy a molekulaszervezet függvényében – azonos forgácsolási paraméterek esetén is – jelentősen eltérhet a kapott felület minősége és méretpontossága. Ezért mindenképpen indokolt a jelentősen eltérő molekulaszervezetű polimerek külön vizsgálata és kutatása a forgácsolás optimalása érdekében.

### 2.2. Műszaki műanyagok megmunkálása forgácsolással

A korszerű termékek fejlesztésekor nem hagyhatók figyelmen kívül azok a szerkezeti anyagok, amelyek szilárdsági és hőfizikai tulajdonságaikkal, valamint kis sűrűségükkel tűnnek ki. Ilyen anyagok többek között a műanyagok is, amelyek elterjedésével egyre jobban kell számolniuk a tervezőknek. A gyakorlatban felhasznált műanyagoknak egy sor követelményt kell kielégíteniük:

- károsodás nélkül feldolgozhatóknak kell lenniük;
- a felhasználás során tulajdonságaikat hosszú időn át képesek legyenek megőrizni;
- mechanikai, termikus és egyéb tulajdonságaikat az adott igénynek megfelelően lehessen alakítani.

A műanyagok elsődleges alakadása kétségkívül a melegalakítás (fröccsöntés, extrudálás, stb.), azonban másodlagos folyamatként – különösen bonyolult alakzatokat tartalmazó, pontos alkatrészeknél – a forgácsolásnak is fontos szerep jut. A szakirodalomban néhány utalás található a különféle műanyaféleségek forgácsolási körülményeire. A közölt irodalmakat tanulmányozva az állapítható meg, hogy mindegyik műanyag félkész terméket előállító (vagy forgalmazó) cég nagyon tág határok közé eső forgácsolási adatokat ajánl az egyes műanyagok forgácsolásához. A műanyagok forgácsolását általánosságban a következő körülmények befolyásolják:

- Egyes műanyagok hőmérséklet okozta méretváltozása tízszer nagyobb, mint a fémeké.
- A műanyag rossz hővezető a fémhez képest, ezért a helyi felhevítéstől meg kell óvni, ilyen esetben a megmunkálás során hűtést kell alkalmazni.
- Lágyulási (olvadás) hőmérséklete sokkal kisebb a fémekhez viszonyítva. Bár a műanyagok forgácsolásakor általában nem használnak hűtő-kenő folyadékot, azonban kis túrések tartásakor vagy minimális érdesség elérése céljából nem aromás olajból készített emulzió megfelelő. Kódhűtést vagy sűrített levegőt szoktak alkalmazni a forgács-szerszám

érintkezésénél. Petróleum alapú általános hűtőfolyadék sok fémmel és műanyagnál is felhasználható, amennyiben a forgácsképződést javítja (egyres műanyagoknál elősegíti).

- A műanyag sokkal rugalmasabb, mint általában a fémek, ezért a mérettartás (és mérettűrési tartása) is nehezebb.
- Az élrátét csökkenhető és a forgácsolt felület érdessége javítható finoman köszörült hátfelületű és fenéssel tükrösített homloklapú szerszámok alkalmazásával.
- Az esztergálási munkákhoz finomszemcsés keményfémlapka használata a legcélszerűbb megfelelően nagy hátszög alkalmazásával.
- Megfelelően megtámasztott munkadarab korlátozza a szerszám lehajlását.

Optimális eredmény csak a befogás, a szerszámanyag, az élgeometria és a forgácsolási adatok együttes és helyes megválasztásától várható.

## 2.3. A forgácsolási kísérlet

### 2.3.1. Az alkalmazott szerszámgép

A forgácsolási megmunkálást NCT EUROTURN 12B CNC-vezérlésű HSC-esztergán végeztem el, melyet az Intézet 2004-ben vásárolt. A szerszámgép a kísérleteim elvégzéséhez jól illeszkedett, állapota még kiválónak minősíthető. A CNC-program megírásánál messzemenőkéig figyelembe vettem a kísérleti jelleget, így a különböző adatkombinációk lefuttatása után mindig lehetőség volt a forgácsgyűjtésre, illetve a váratlan események elhárítására (pl. forgács megszorulás, szerszámcsorbulás, stb.).

### 2.3.2. Az esztergálás választott paramétere

Az egyes kísérleti beállítások forgácsolási adatkombinációit, valamint az alkalmazott esztergákéseket, a szakirodalom javaslatait figyelembe véve választottam ki. A kísérletekhez négyféle forgácsoló sebességet alkalmaztam, az esztergálást egy nagyolási és egy simítási fázisra bontva végeztem el. A megvalósított kísérleti beállítások a következők voltak:

- forgácsoló sebesség:  $v_c = 200; 250; 315; 400$  m/min,
- előtolás a simítási fázisban:  $f = 0,05; 0,08; 0,12; 0,16$  mm/ford,
- előtolás a nagyolási fázisban:  $f = 0,2; 0,25; 0,315; 0,4$  mm/ford,
- fogásmélység:  $a = 0,5$  mm (állandó érték),
- munkadarab méretei:  $d_{md} = \varnothing 40$  mm  
 $l_{md} = 80$  mm,
- hűtést a megmunkálás során nem alkalmaztam.

### 2.3.3. Az esztergálás szerszámjai

A forgácsolószerszámok kiválasztásánál maximálisan figyelembe vettem a szakirodalmi javaslatokat. Ez alapján a kereskedelmi forgalomban kapható alumínium megmunkálásra alkalmas lapkák közül választottam ki a forgácsolási kísérletekhez alkalmazott lapkákat (2.1. táblázat). Mindegyik lapkatípusból 4-4 db. használtam fel, tehát mindegyik műszaki műanyagtípus forgácsolásánál új lapkát alkalmaztam.

#### 2.1. táblázat Forgácsolószerszámok geometriai jellemzői

Lapka geometriai jellemzői	„A” lapka	„B” lapka
csúcshög: $\epsilon_r$ (°)	35	55
hátszög: $\alpha_\theta$ (°)	5	7
csúcsgár: $r_z$ (mm)	0,4	0,4
lapkavastagság: $s$ (mm)	2,4	3,9

A lapkákat a kísérletek megkezdése előtt élláapot vizsgálatnak vettem alá, amely állt egy éllekeredés és egy élérdesség vizsgálatból. „A” lapkatípusnál a mért éllekeredés meglepően nagy szórás, az él érdességi paramétereiben pedig közel 50%-os eltérés mutatkozott. Az  $Ra$  értéke  $1,29 \mu\text{m}$  körül alakult, az  $Rz$  értéke pedig  $6,43 \mu\text{m}$ . Élgeometriai szempontból a 4. lapka bizonyult a legjobbnak ( $Ra = 1,16 \mu\text{m}$ ,  $Rz = 5,47 \mu\text{m}$ ). A „B” lapkák előzetes éllekeredés és élérdesség vizsgálata során azt tapasztaltam, hogy a lapkákat szabatos él, nagyon kis lekerekedés jellemezte, ráadásul – a szakszerű élfénés eredményeként – minimális érdesség szórással rendelkeztek. Az átlagos érdesség értéke  $Ra = 0,58 \mu\text{m}$ , míg az egyenetlenség magasság értéke  $Rz = 2,66 \mu\text{m}$  körül alakult kis szórással, tehát a nagyobb csúcshosszú lapkák igen jó minőségűek voltak.

#### 2.4. A felületi érdesség mérésének körülményei

A forgácsolt munkadarabokat előzetes vizsgálatnak vettem alá. A felületeket Perthometer C3A műhelyi érdességmérő készülékkel mértem meg. A műszer alkalmas az  $Ra$ ,  $Rz$ ,  $Rt$  jellemző számszerű kijelzésére és profilgörbe előállítására. Analóg kimeneti jele A/D átalakítón keresztül közvetlenül is alkalmas az adatok számítógépes feldolgozására. A megmunkált felületek 2D-s és a 3D-s érdességi vizsgálatait a Mahr Perthometer-Concept típusú tapintófejes műszerrel végeztem az Intézet méréstechnikai laboratóriumában. A felületek kiértékelésénél alkalmazott beállítások az ISO 4288:1996 szabvány szerint:

- kiértékelési hossz,  $l_m = 4 \text{ mm}$ ;
- az előírt szűrő,  $l_c = 0,8 \text{ mm}$ .

A mérések során felvett profilok és paraméterek:

- a szűretlen ( $P$ ) profil;
- a szűrt érdességi ( $R$ ) profil;
- 9 érdességi paraméter:  $Ra$ ,  $Rmax$ ,  $Rz$ ,  $Rq$ ,  $Rp$ ,  $Rt$ ,  $RSm$ ,  $Rsk$ ,  $Rku$ ;
- 5 hullámossági paraméter:  $Wt$ ,  $Wa$ ,  $WSm$ ,  $WS$ ,  $Wdq$ ;
- 6 szűretlen paraméter:  $Pt$ ,  $Pa$ ,  $PSm$ ,  $PSk$ ,  $PKu$ ,  $Pdq$ .

A méréseket a Mahr RHT 3/50e és a Mahr BFRW 750 típusú tapintóval végeztem a megmunkálási irányra merőlegesen. A választott tapintók alkalmasak voltak a kutatásban alkalmazott műanyagok felületi textúrájának mérésére, a mérés során a felületet nem sértették meg, nem okoztak karcot vagy egyéb hibát. A 3D-s paraméterek a vizsgált terület  $2 \times 2 \text{ mm}$ -es részéről készültek. A mérés során a topográfiai kép kialakítása – a mintavételi felület letapogatása során – egymástól meghatározott távolságra lévő profilmetszetek (jelen esetben 501) létrehozásával történik, a szabványnak megfelelő mérési hosszon és előírt szűrő alkalmazásával.

A PEEK műszaki műanyag esztergált felületeiről a JEOL JSM 5310 típusú pásztázó elektronmikroszkópos felvételeket az Intézet Anyag és Alakítástechnológiai Szakcsoport laboratóriumában készítettem.

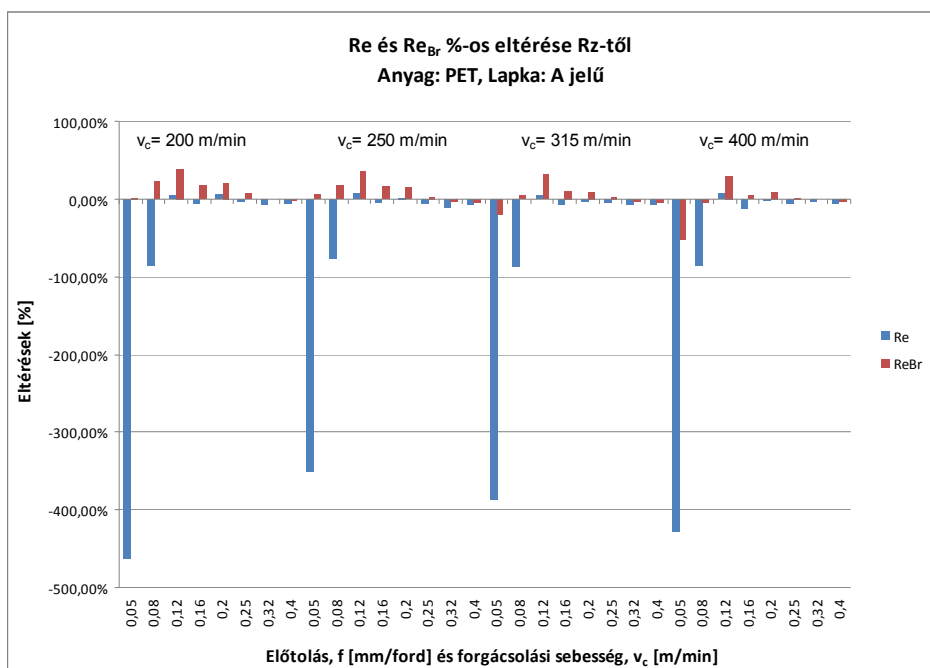
### 3. EREDMÉNYEK

#### 3.1. Az elméleti érdesség vizsgálata esztergált műszaki műanyagoknál

Az optimális forgácsolási paraméterek a műanyagok egyes típusainál a felületi érdesség vonatkozásában még nem pontosan meghatározottak. A vizsgálatokkal a célom az volt, hogy megállapítsam a megmunkálási paraméterek ( $v_c$ ,  $f$ ) hatását az érdességi profil legjellemzőbbnek tartott paramétereire ( $Ra$ ,  $Rz$ ), azaz az  $Ra = Ra(v_c; f)$  és az  $Rz = Rz(v_c; f)$  kapcsolatot kerestem. A bemutatott diagramok a várható elméleti érdességek – a Bauer-féle összefüggés ( $Re$ ) és a Brammertz-féle formula ( $Re_{Br}$ ) – a valóságos, mért érdességtől ( $Rz$ ) való eltéréseit mutatják %-ban.

Az öntött poliamid 6 esetében az elméleti érdesség meghatározására a Brammertz-formula jobban alkalmazható. Az ezzel kapott eredmények a kisebb csúcshöngű „A” lapkával történő megmunkáláskor a mért érdességtől 12 % vagy annál kisebb eltérést tapasztaltam az  $f=0,12-0,4$  mm/ford előtolás tartományban és a teljes vizsgálati sebességtartományban. A „B” lapkával forgácsolt felület értékelésekor megállapítható, hogy a Bauer-féle elméleti érdesség jelentősen nagyobb eltérést mutat, mint a Brammertz-féle formulával kapott értékek.  $Re_{Br}$  értékei az  $f=0,16-0,2$  mm/ford előtolás tartományban nagy biztonsággal, mindössze 5-12 % körüli eltéréssel közelítik meg a valós  $Rz$  értékeket.

A PET esetében „A” lapkával történő esztergáláskor az  $f = 0,12-0,4$  mm/ford előtolásoknál a Bauer-formula is jól alkalmazható, míg az  $f = 0,05$  mm/ford, valamint az  $f = 0,315-0,4$  mm/ford tartományokban a Brammertz-formula még jobban közelítette a mért  $Rz$  értékeket. A „B” lapkával forgácsolt felület értékelésekor elmondható, hogy az  $f = 0,12-0,25$  mm/ford előtolásoknál a Brammertz-féle formulával számított elméleti érdességek nagy biztonsággal közelítik meg a valós  $Rz$  értékeket.



**3.1. ábra** Az elméleti érdesség ( $Re$ ,  $Re_{Br}$ ) eltérése a mért  $Rz$  értékéhez viszonyítva %-ban a vizsgált előtolásoknál és forgácsolási sebességnél PET esetén

A poli(oxi-metilén) esetében a „B” lapkával forgácsolt felület értékelésekor a Bauer-féle elméleti érdesség kissé nagyobb eltérést mutat, mint a Brammertz-féle formulával kapott értékek. Mivel itt kaptuk a legjobb forgácsolt felületet, ezért a kisebb mértékű eltérések is itt adódtak a Bauer-formulával is. Az „A” lapkával történő megmunkáláskor a mért érdességtől 10 % vagy annál kisebb eltérés tapasztaltam az  $f = 0,12-0,4$  mm/ford előtolás tartományban  $v_c = 200$  m/min és  $v_c = 400$  m/min esetén a Brammertz-féle formulával

A PEEK esetében mind az „A” és a „B” lapka alkalmazásánál a Brammertz-féle formulával számított elméleti érdességi értékek nagy biztonsággal közelítik meg a valós  $Rz$  értékeket

### 3.2. Faktoriális kísérletterv a forgácsolási paraméterek hatásának vizsgálata a felületi érdesség magasságirányú jellemzőire

A vizsgálatokat a kísérlettervezés módszerével terveztem meg és hajtottam végre, melyet gyakran alkalmaznak a forgácsolási paraméterek hatásának vizsgálatára. A megmunkált felületek érdességi profilja magasságirányú jellemzőinek ( $Ra$ ,  $Rz$ ) mért értékeit kétfaktoros hatványfüggvényekkel modelleztem. A faktoriális kísérlettervben tehát:

- a paraméterek:
  - a profil átlagos eltérése:  $Ra$  [ $\mu\text{m}$ ],
  - a profilegeenetlenség magassága:  $Rz$  [ $\mu\text{m}$ ],
- a faktorok:
  - forgácsoló sebesség,  $v_c$  [m/min],
  - előtolás,  $f$  [mm/ford] voltak.

A felületi érdesség két jellemzője (paraméterei) és a beállított forgácsolási adatok (faktorok) az alábbi függvénnyel írható le:

$$R = C_R \cdot v_c^{x_1} \cdot f^{x_2} \quad [\mu\text{m}] \quad (3.1)$$

A regressziós függvényvizsgálatokat és az eredmények kiértékelését a Minitab14 statisztikai szoftverrel végeztem el. A program segítségével meghatároztam az egyes modellek együttthatóját és kitevőit ( $C_R$ ,  $x_1$ ,  $x_2$ ), a szórás ( $s$ ) és a korrelációt mutató determinációs együttható ( $R^2$ ) értékeit.

Az  $Ra$  és  $Rz$  paraméterekre kapott regressziós függvények (3.1. táblázat) a mérési eredményeket kis szórással ( $s = 0,093-0,111$ ) és viszonylag nagy korrelációval ( $R^2 = 0,921-0,971$ ) írják le.

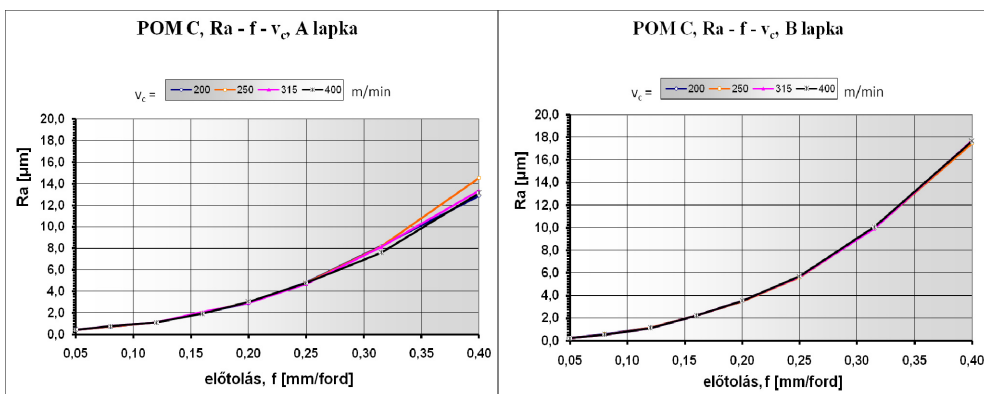
Az „A” lapkával történő megmunkáláskor a beállított forgácsolási sebességnek csak a PA6 esztergálásánál volt kisebb hatása ( $-0,292 \leq x_1 \leq -0,316$ ) van a felületi érdességre, míg az összes többi esetben ez minimálisnak mondható. Az előtolás kitevői  $1,2 \leq x_2 \leq 1,46$  között alakultak, tehát kisebb hatása van a mérési eredményre, mint ahogy azt a Bauer-féle formula mutatja. A „B” lapka esetében a sebesség hatása elhanyagolható, míg az előtolás  $1,58 \leq x_2 \leq 1,8$  kitevőértékeket mutat, ez tehát jobban megfelel a szabályos élgeometriájú esztergálásnál alkalmazott elméleti képletnek.

A poli(etilén-tereftalát) műanyagra a 3.1. táblázat tanúsága szerint összességében igaz az, hogy a vizsgált tartományban a sebesség hatása az érdesség magasságirányú jellemzőire igen kicsi ( $-0,008 \leq x_1 \leq -0,105$ ) (4.10. ábra). Az előtolás hatása az  $Ra$  és  $Rz$  értékeire „A” lapkánál egynél nagyobb kitevőt eredményezett ( $1,37 \leq x_2 \leq 1,6$ ), míg a „B” lapkánál  $x_2$  értéke jobban megközelíti a kettőt.

A poli(oxi-metilén) esztergálásakor – mindkét lapkánál – a vizsgált tartományban a sebesség hatása igen kicsi ( $-0,002 \leq x_1 \leq -0,062$ ), nem gyakorol szignifikáns hatást az érdesség vizsgált jellemzőire. Az előtolás hatása azonban jobban érvényesül, viszonylag szabályosan követi a várható érdességet meghatározó Bauer-féle formulát, az  $Ra$ ,  $Rz$  értéke az  $f$  értékével közel négyzetesen növekszik ( $1,54 \leq x_2 \leq 2,1$ ), megjegyezve, hogy a „B” jelű lapka függvénye itt is magasabb kitevőt ad (3.2. ábra).

## 3.1. táblázat Regressziós függvényvizsgálat eredményei

Ötött poliamid 6					
„A” lapka			„B” lapka		
Függvénykapcsolat	s	R <sup>2</sup>	Függvénykapcsolat	s	R <sup>2</sup>
$Ra = 191 \cdot v_c^{-0,292} \cdot f^{1,46}$	0,111	0,94	$Ra = 93 \cdot v_c^{-0,036} \cdot f^{1,8}$	0,093	0,971
$Rz = 631 \cdot v_c^{-0,316} \cdot f^{1,2}$	0,106	0,921	$Rz = 240 \cdot v_c^{-0,017} \cdot f^{1,58}$	0,105	0,953
Poli(etilén-tereftalát)					
„A” lapka			„B” lapka		
Függvénykapcsolat	s	R <sup>2</sup>	Függvénykapcsolat	s	R <sup>2</sup>
$Ra = 46 \cdot v_c^{-0,008} \cdot f^{1,6}$	0,1606	0,899	$Ra = 120 \cdot v_c^{-0,067} \cdot f^{1,88}$	0,052	0,992
$Rz = 117 \cdot v_c^{-0,026} \cdot f^{1,37}$	0,154	0,877	$Rz = 490 \cdot v_c^{-0,105} \cdot f^{1,75}$	0,074	0,98
Poli(oxi-metilén)					
„A” lapka			„B” lapka		
Függvénykapcsolat	s	R <sup>2</sup>	Függvénykapcsolat	s	R <sup>2</sup>
$Ra = 50 \cdot v_c^{0,003} \cdot f^{1,68}$	0,077	0,977	$Ra = 110 \cdot v_c^{-0,002} \cdot f^{2,1}$	0,035	0,997
$Rz = 234 \cdot v_c^{-0,062} \cdot f^{1,54}$	0,076	0,974	$Rz = 288 \cdot v_c^{0,0319} \cdot f^{1,95}$	0,060	0,99
Poli(éter-éterketon)					
„A” lapka			„B” lapka		
Függvénykapcsolat	s	R <sup>2</sup>	Függvénykapcsolat	s	R <sup>2</sup>
$Ra = 63 \cdot v_c^{-0,048} \cdot f^{1,48}$	0,067	0,978	$Ra = 42 \cdot v_c^{0,04} \cdot f^{1,6}$	0,110	0,95
$Rz = 275 \cdot v_c^{-0,089} \cdot f^{1,36}$	0,054	0,983	$Rz = 135 \cdot v_c^{0,062} \cdot f^{1,47}$	0,128	0,923



3.2. ábra Az Ra alakulása „A” és „B” lapkával történő megmunkálásnál POM C esetén

A mérési eredmények a poli(éter-éterketon) esetében hasonlóan alakultak, mint a többi vizsgált műszaki műanyagnál. A kapott regressziós függvények azt mutatják, hogy ezek jól illeszkednek a mérési eredményekhez: viszonylag kis szórást ( $s = 0,054-0,128$ ) és igen magas korrelációt ( $R^2 = 0,923-0,983$ ) tapasztaltam.

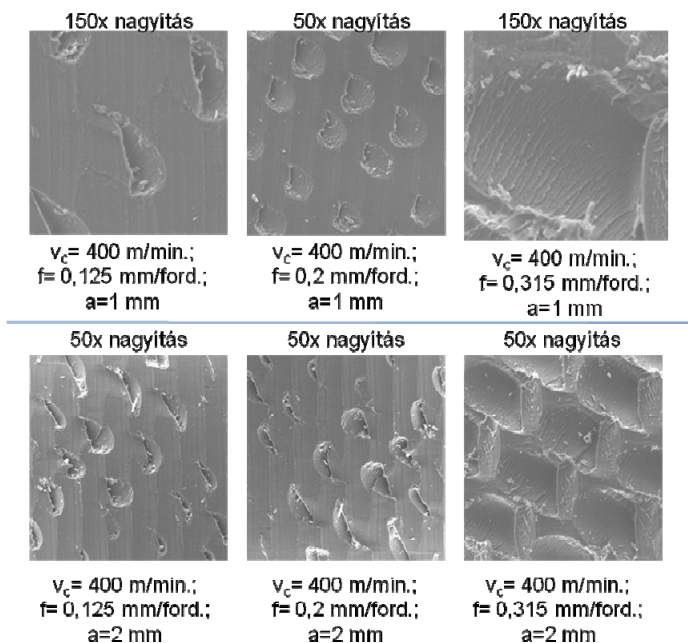
Összességében a vizsgált műszaki műanyagféléseknél az érdességi jellemzőkre a forgácsoló sebesség csekély hatása figyelhető meg. Ez a tapasztalat ellentétes azokkal a mérési eredményekkel, amelyeket kísérleteinkben az acélok forgácsolásánál tapasztaltunk.

### 3.3. Növelt csúcssugarú szerszámmal végzett forgácsolási kísérlet eredményei

A kísérletek harmadik fázisában növelt csúcssugarú ( $r_c = 0,8$  mm) szerszámmal végeztem forgácsolási kísérleteket. Az egyes kísérleti beállítások forgácsolási adatkombinációi a következők voltak:

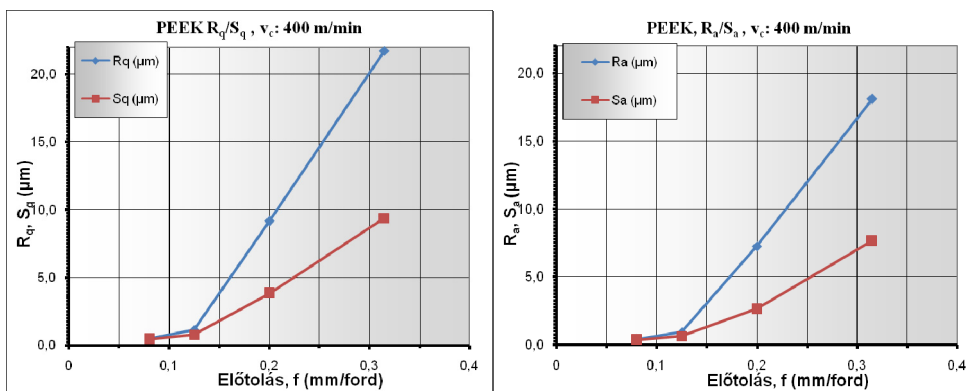
- forgácsoló sebesség,  $v_c = 400$  m/min (állandó érték),
- előtolás,  $f = 0,08; 0,125; 0,2; 0,315$  mm/ford,
- fogásmélység,  $a = 1,0$  mm
- fogásmélység,  $a = 2,0$  mm
- munkadarab méretei:  $d_{md} = \text{Ø } 40$  mm  
 $l_{md} = 80$  mm,
- hűtést a megmunkálás során nem alkalmaztam.

Az előtolás növelésével a PEEK anyagszerkezetében olyan változások következtek be, amelyek a felületi minőség drasztikus romlásához vezettek. Az elektronmikroszkópos felvételek egyértelműen igazolják, hogy a megmunkálási nyomokban kiszakadások és felületi hibák jelentkeztek, melyek nagymértékben befolyásolták a felület minőségét (3.3. ábra). A forgács a felületről nem folyamatosan vált le, hanem egy ideig felgyűrődött, majd kiszakadt, tört forgácsot adva, de a felületen kagylószerű krátereket hagyva.



3.3. ábra Esztergált PEEK műanyagfelületének SEM képe

A 2D-s és 3D-s mérőszámok összevetéséből megállapítható, hogy az amplitúdó paraméterek közül az  $Ra$  és az  $Sa$  viszonylag jó egyezést mutatnak a kis előtolások tartományában ( $f = 0,05-0,125$  mm/ford). A nagyolási fázisban, ahol már a felületet durva hibák jellemzik, a két paraméter közötti eltérés jelentős. Az  $Rq$  és az  $Sq$  paraméterek esetében is hasonlóak az eredmények (3.4. ábra). A magasságeloszlás hegyessége ( $Rku$  és  $Sku$ ) jól jellemzi az egyenetlenségek formáját és ezáltal utalnak a felületek működési jellemzőire is, a 2D-s és 3D-s paraméterek jó egyezést mutatnak. Lényeges eltérés tapasztalható az  $Rsk$  és  $Ssk$  mérőszámok esetében. A 3D-s paraméter jó hordozótulajdonságú, kopásálló felületre utal, míg a 2D-s jellemző az egyedi, „síkbeli” mérés következtében azt mutatja, hogy a felületen több hegyes csúcs is található



3.4. ábra 2D-s és 3D-s paraméterek összevetése PEEK műanyagnál

### 3.4. Az átlagos érdesség és a műszaki műanyagok mechanikai jellemzőinek kapcsolata

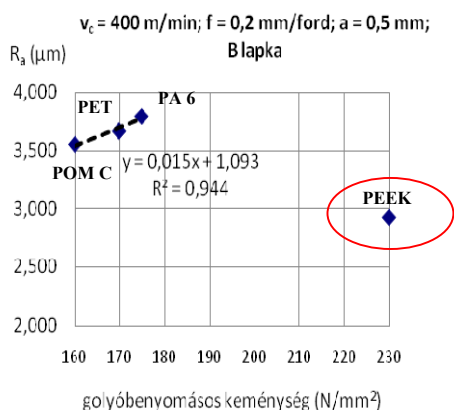
A vizsgálat célja az volt, hogy meghatározzam a kísérletben alkalmazott műszaki műanyagok mechanikai jellemzői (folyási feszültség, szakadási nyúlás, rugalmassági modulus), fajlagos ütmunkája (Charpy) valamint keménysége (golyóbenyomásos, Shore D) hogyan befolyásolja az átlagos érdességet ( $Ra$ ).

A **folyási feszültség** értékeknek nincs jelentős hatása állandó  $v_c$  érték mellett a mért  $Ra$  értékekre az „A” és „B” él-kialakítás esetén. A forgácsoló él-kialakítás változtatása „C” típusra már változtatja a függetlenséget: 85 MPa folyási feszültség felett növekvő  $Ra$  volt tapasztalható. A jelenség kivételnek tekinthető, mivel a PEEK anyagminőség – a nagyteljesítményű anyagcsoport tagja - esetén következett be

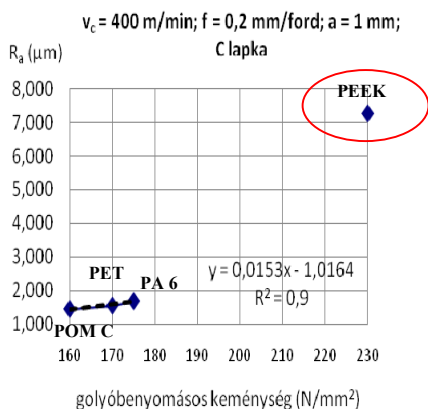
A **szakadási nyúlás** és **rugalmassági modulus** függvényében vizsgált  $Ra$  értékek alapvetően függetlenséget mutatnak az „A” és „B” lapka él-kialakítás esetén, kis, közepes- és nagy előtolások esetén is (néhány esetben a PEEK kivétel). A „C” típusú lapka alkalmazása során a PEEK anyag határozottan kivételt képez az eredmény sorban. Kiugróan magas  $Ra$  értékeket mutat az előtolás növelésével.

A **Charpy fajlagos ütmunka** függvényében elemzett  $Ra$  értékekről megállapítható, hogy a nagyteljesítményű műszaki műanyagok közé tartozó PEEK itt is elkülöníthető az általános rendeltetésű műszaki műanyagoktól. Az „A” és „B” lapka kialakítás esetén az eltérés kismértékű, míg a „C” lapka esetén, növelve az előtolás értékét  $f = 0,315$  mm/ford-ra, kiugróan nagy eltérés adódik az  $Ra$ -ra, mely lineáris regresszióval nem vehető figyelembe.

A **golyóbenyomásos keménységnél**, az „A” lapka esetén, a növekvő előtolással nem fogalmazható meg egyértelmű összefüggés vagy trend az  $Ra$  és a keménység között. „B” lapka esetén – a PEEK kedvezően elkülönül – a vizsgált általános műszaki műanyagok esetén, a növekvő golyóbenyomásos keménység növekvő  $Ra$  értéket eredményezett. A „C” lapka esetén a PEEK kiugróan eltér a többi anyagtól, melyeknél az  $Ra$  enyhén növekszik a golyóbenyomásos keménység növekedésével (3.5. ábra).



a)



b)

**3.5. ábra** a)  $R_a$  értékei „B” lapka esetén, a golyóbenyomásos keménység függvényében, közepes előtolásnál. b)  $R_a$  a golyóbenyomásos keménység függvényében, közepes előtolásnál, „C” lapka esetén.

**Shore D keménység** függvényében vizsgálva  $R_a$ -t, „A” és „C” lapka esetén megállapítható, hogy a legkisebb előtolás mellett ( $f = 0,08$  mm/ford) függetlenség állapítható meg a Shore D értékek és az  $R_a$  között. Növelve az előtolást, az  $R_a$  a Shore-D növekedésével szintén nő. „B” lapkával forgácsolt felületeknél, a növekvő előtolás esetén, a keménység növelése az  $R_a$  csökkenésével járt.

### 3.5. Új tudományos eredmények

1. tézis: Az egyélű szabályos élgeometriájú szerszámmal végzett esztergálási kísérletek eredményeiből kimutattam, hogy a megmunkált felület magasságirányú mikrogeometriai jellemzőit ( $R_a$ ,  $R_z$ ) a  $200 \leq v_c \leq 400$  m/min forgácsolási sebesség csak minimálisan befolyásolja az általam alkalmazott vizsgálati tartományban. Ez ellentétes az acélok forgácsolásánál tapasztaltakkal. A megállapítás érvényes a kísérletben alkalmazott négy hőre lágyuló műszaki műanyagra (PA 6, PET, POM C, PEEK)
2. tézis: A forgácsolási kísérletsorozattal megállapítottam, hogy a vizsgált műszaki műanyagoknál az alkalmazott lapkatípusokkal („A”, „B” lapka), az  $f = 0,05$ - $0,16$  mm/ford előtolásokkal a forgácsoló sebesség  $v_c = 200$ - $400$  m/min között tartásával az átlagos érdesség,  $R_a < 2$  µm.
3. tézis: Megállapítottam, hogy az acélok esztergálásakor a várható felületi érdesség előre jelzésére alkalmazott elméleti összefüggések (Bauer, Brammertz-formula) a műszaki műanyagok esztergált felületeinek minősítésére eltérő adattartományban - a műszaki műanyag tulajdonságaitól függően - alkalmazhatók.
4. tézis: Kimutattam, hogy a műszaki műanyagok esztergáló megmunkálásánál a várható felületi érdesség ( $R_a$ ,  $R_z$ ) jól modellezhető törtkitevős hatványfüggvényekkel ( $R_a = C_{Ra} \cdot v_c^{x_1} \cdot f^{x_2}$ ;  $42 \leq C_{Ra} \leq 191$ ;  $-0,002 \leq x_1 \leq 0,04$ ;  $1,46 \leq x_2 \leq 2,1$ ;  $0,035 \leq s \leq 0,16$ ; ;  $0,95 \leq R^2 \leq 0,997$ , és  $R_z = C_{Rz} \cdot v_c^{x_1} \cdot f^{x_2}$ ;  $117 \leq C_{Rz} \leq 631$ ;  $-0,017 \leq x_1 \leq 0,062$ ;  $1,2 \leq x_2 \leq 1,95$ ;  $0,054 \leq s \leq 0,154$ ; ;  $0,87 \leq R^2 \leq 0,99$ ).

5. tézis: Megállapítottam, hogy a vizsgált forgácsolási tartományban az „A” típusú és a „B” típusú lapkával esztergált felületen mért profílegyenetlenség magasság ( $R_z$ ) értékei jelentősen meghaladták az elméleti érdesség ( $R_e$ ) számított értékeit. Az elméleti érdességet meghatározó Bauer-formula ebben az adattartományban nagy hibával írja le a várható érdességet, ezért használata a vizsgált műszaki műanyagokra nem alkalmas.
6. tézis: Az „A” típusú és a „B” típusú lapkával esztergált felületen mért profílegyenetlenség magasság ( $R_z$ ) értékeit a PA 6, PET, POM C, PEEK műanyagoknál a Brammertz-formula sokkal jobban közelítette, mint a Bauer-formula, ezért a vizsgált adattartományban jól alkalmazható a várható érdesség meghatározására.
7. tézis: Megállapítottam, hogy az alkalmazott esztergálási paraméterekkel ( $v_c = 400$  m/min;  $f = 0,08-0,315$  mm/ford;  $a = 1-2$  mm) a növelt csúcscsugarú szerszám („C” lapka) hasonló érdességet állított elő a PA 6, PET, POM C általános rendeltetésű műszaki műanyagoknál. A PEEK nagyteljesítményű műszaki műanyag  $r_c = 0,8$  mm csúcscsugarú késsel történő esztergálásánál fellép egy felületi minőséget rontó jelenség. A forgácsleválás során váltakozva, pulzáló jelleggel, szívós- és rideg nyírási repedésterjedés jön létre a forgácsolási rendszerben. Ennek látható eredménye a pikkelyes jellegű forgácsolt felület. A jelenség a felületi minőség romlásához vezet.
8. tézis: Az átlagos érdesség ( $R_a$ ) mérési eredményeket értékelve a mechanikai tulajdonságok, a változó előtolás és eltérő él-kialakítás („A”, „B”, „C”-típusú lapka) függvényében, megállapítottam, hogy:
- Létezik olyan esztergálási rendszer, mikor a nagyteljesítményű anyagkategóriába tartozó PEEK esetén mért  $R_a$  értékek elkülöníthetők a vizsgált általános műszaki műanyagok (PA 6, POM C, PET) esetén tapasztalt trendektől. Az előtolás növelésével, eltérő él-kialakítások („A”, „B” és „C” lapkák) esetén, a golyóbenyomásos keménység,- a folyási feszültség,- a rugalmassági modulus függvényében értékelt  $R_a$  trendek nem értékelhetők közösen a két anyagcsoport esetén.
  - Shore D keménység függvényében elemezve az  $R_a$  értékeket megállapítható, hogy a PEEK nem képez kivételt az általános műszaki műanyagok között. Mindhárom él-kialakítás esetén, a legkisebb előtolás mellett ( $f = 0,08$  mm/ford) függetlenség állapítható meg a Shore D értékek és az  $R_a$  között. Növelve az előtolást, az  $R_a$  az „A” és „C” él-kialakítás esetén a Shore-D növekedésével szintén nő. „B” lapkával forgácsolt felületeknél, a növekvő előtolás esetén, a keménység növelése az  $R_a$  csökkenésével járt.
  - A vizsgált általános műszaki műanyagok esetén – PEEK nélkül - megállapítottam az alábbi törvényszerűségeket:
    - az egyes anyagok szakadási nyúlása, rugalmassági modulusa, valamint folyási feszültsége függvényében az  $R_a$  – növekvő előtolás esetén is – függetlennek tekinthető, a regressziós egyenesek meredeksége nulla.
    - az egyes anyaghoz tartozó golyóbenyomásos keménység függvényében, eltérő előtolásoknál megállapított  $R_a$  trendek függnek a forgácsoló kés kialakításától. „A” „B” és „C” lapka esetén eltérő trendek állapíthatók meg.

#### 4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A dolgozatban bemutatott kutató munkám alapján a következőkben azokat az összefüggéseket foglalom össze, amelyek tovább bővíthetik ismereteinket, és segítséget jelenthetnek a gyakorlati alkalmazások terén. A műszaki műanyagok forgácsolt felületének érdességi vizsgálatai az alábbiakra engednek következtetni:

- Összeállítottam egy olyan komplex forgácsolási tervet, amely négyféle műszaki műanyag típusra alkalmazva lehetőséget adott az egyes anyagféleségek esztergálás közbeni viselkedésének vizsgálatára, különös tekintettel a felületi textúra mikrogeometriájára és a forgácsképződésre. Ebből kimutattam, hogy az általam meghatározott vizsgálati tartományban a forgácsoló sebességnek csekély hatása van a vizsgált felületi érdességre, ez alapvetően eltér az acélok forgácsolásánál tapasztaltaktól.
- A kísérleti eredmények abba az irányba mutatnak, hogy a forgácsolás adatkombinációi a felületi érdesség vonatkozásában még pontosíthatók a vizsgált műszaki műanyag féltermékeknél.
- A 2D-s és 3D-s érdességi jellemzők összevetésekor megállapítottam, hogy a mikrogeometriai paraméterek érzékenyebben reagálnak a felület durva egyenetlenségeire, ezért a mikrotopográfiai mérőszámok alkalmazása a felületi minőség meghatározására elengedhetetlen lenne a műszaki gyakorlatban, de a mérőműszerek magas ára és a hosszú mérési folyamatok még gátat szabnak a gyakorlati felhasználásban történő elterjedésnek.

A téma által felvetett, további kutatási területeket érintő javaslataim a következők:

- Az esztergálási kísérletek alapján kapott valós érdességi értékek ( $R_z$ ) jól összevethetők a Brammertz-formulával kapott eredményekkel. Az itt jelentkező hibahatár maximuma egy kiugró értéktől eltekintve a legkisebb előtolásoknál sem haladja meg az 50-60 %-ot. Mindez a Bauer-formuláról nem mondható el. Ezek alapján további vizsgálatokkal célszerű és kívánatos lenne a Brammertz-formulában szereplő  $h_{min} = f(v_c, r_n)$  összefüggést műszaki műanyagokra adaptálni, amely várhatóan a formula még pontosabb alkalmazását tenné lehetővé.
- A felületi érdesség vizsgálatánál peremfeltételként kötöttem ki, hogy az érdességi jellemzők magasságirányú paramétereit veszem figyelembe, mivel a műszaki gyakorlatban ez a legelterjedtebb. Jövőbeli feladatként érdemes lenne megvizsgálni további 2D-s és 3D-s paramétereket.
- Az általam összeállított forgácsolási kísérletterv egyéltű szabályos élgeometriájú szerszámmal végzett esztergálásra vonatkozik. Jövőbeli feladatként további forgácsoló eljárásokra kidolgozott kísérletterv javasolt, amely lehetővé tenné a műszaki műanyagok viselkedésének megismerését.
- A forgácsolási kísérleteknél nem vettem figyelembe az idő tényezőt, ezért mindenképpen indokolt a jövőbeli feladatok között szerepeltetni a forgácsolás során az időtartam vizsgálatot.

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A gépalkatrészek felületi minőségével szemben támasztott követelmények egyre szigorúbbak lesznek. A felületi minőség jellemzése a műszaki gyakorlatban döntően 2D-s mikrogeometriai mérőszámokkal valósul meg, de már számos kutató munka foglalkozik a 3D-s mikrotopográfiai paraméterek alkalmazhatóságának vizsgálatával. Műszaki műanyagok megjelenése a szerkezeti anyagok között új lehetőségeket kínál mind a termékfejlesztés mind a gyártástechnológia területén. Kutatómunkámban ezért olyan műszaki műanyagok esztergálásával és a forgácsolt felület vizsgálatával foglalkoztam, amelyek eredményei a műszaki gyakorlat számára hasznosak lehetnek.

A szakirodalom áttekintése során száz, hazai és nemzetközi tudományos cikket dolgoztam fel. Összefoglaltam a felület minőségét meghatározó tényezőket továbbá a felületi textúra jellemzésére alkalmazott mikrogeometriai (2D-s) és mikrotopográfiai (3D-s) paramétereket. Ismertettem azokat a jellegzetes mérési eljárásokat, amelyek elterjedtek a felületi érdesség témakörében és a tapintótűs mérési eljárást valamint az elektronmikroszkópiát részletesen bemutattam, mert ezeket a kutatási munkám során alkalmaztam.

A műszaki műanyagok ismertetését különös tekintettel a kutatásban alkalmazott négy műanyagféleségre: öntött poliamid 6, poli(etilén-tereftalát), poli(oxi-metilén) és poli(éter-éterketon) végeztem el. Ezután összefoglaltam a műanyag félkésztermékek forgácsoló megmunkálására vonatkozó irodalmat. A fejezet végén kritikai jelleggel utaltam az adott terület hiányosságaira majd a megoldásra váró feladatokra.

Komplex forgácsolási kísérlettervet állítottam össze, melyben az esztergálás paramétereit ( $v_c$ ,  $f$ ,  $a$ ) valamint az alkalmazott esztergakéseket a szakirodalom javaslatai alapján választottam ki. A forgácsolási kísérletekből értékes tapasztalatokat nyertünk a műanyagok esztergálás közbeni viselkedéséről. Egyes műanyagok – mint például a POMC és a PEEK – kifejezetten jól forgácsolhatók, a képződött forgácsalak kedvező, melynek oka a kis hőérzékenység és a kristályszerkezet lehet.

A műanyagok felületi érdességének vizsgálata során kapott eredményekből megállapítható, hogy a forgácsolási sebességnek az érdesség alakulására – a vizsgált tartományban – nincs számottevő hatása, amely eltér az acéloknál tapasztaltaktól. A műanyagok forgácsolása során a felületi simaságot meghatározó  $Ra$  értékét döntően az előtolás befolyásolta.

A vizsgálataim alapján megfogalmaztam az új tudományos eredményeimet, amelyeket külön téziszűzetben is összefoglaltam. Végezetül javaslatokat tettem az elért eredmények gyakorlati hasznosítására, és további kutatási feladatok kitzűzésére.

## SUMMARY

The requirements of the surface quality of the machines parts increase constantly. The characterization of the surface quality occurs mainly with 2D microgeometric parameters in technical practice however a number of research works with the examination of the application of 3D parameters. The appearance of engineering plastics gives new opportunities for product development and production. Therefore in my research I have dealt with turning such engineering plastics and the examinations of cutting surface which results could be useful in engineering practice.

During the reading of the professional literature I have processed hundred national and international scientific publications. I have summarized the determining factors of the surface quality the parameters of 2D mikrogeometric and the parameters of the 3D topographic. I have described the typical measurement processes which are current in the topic of the surface roughness I have also described the stylus scanning instrument and the electronmikroscope in detail because they were used during my study.

I have summarized the technical polymers such as PA6, PET, POMC, PEEK in part 3. Later I have written the literature of the machined polymers. In the end of the chapter I have named the deficiencies of the given field.

I have made a complex design of experiments of cutting and I have selected the parameters of the cutting related to the various publications. We have got valuable experience from the cutting and behavior of the polymers in the process of cutting. Some polymers were cutted very good (e. g. POMC and PEEK). The form of chip was good because of the low thermal sensitivity and the structure of crystal.

The results of the cutting surfaces of polymers show that the cutting speed has not effect on the surface roughness and it is contrary with the experience of the metal cutting. The value of  $Ra$  have desicively influenced by the feed rate.

I have formulated my new scientific results which are summarized in an individual thesis booklet. Finally I have made suggestions for the empirical usage of the results and for further research tasks.

## 6. TÉMÁHOZ KAPCSOLÓDÓ SAJÁT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

### Lektorált cikk idegen nyelven:

Kalacska, G., Farkas, G.: The effect of the different cutting tools on the microgeometrical surface of engineering plastic, *Sustainable Construction & Design*, 2010 Vol. 1, pp. 102-107

### Lektorált cikk magyar nyelven:

Farkas, G., Czifra, Á., Palásti, K. B., Horváth, S.: Műszaki felületek mikrogeometriai vizsgálatában alkalmazott 2D-s és 3D-s paraméterek összevetése, információtartalmuk elemzése, *Gép*, LVI. évf., 2005/2-3. szám, 51-59 o.

Farkas, G., Palásti, K. B.: Forgácsolt műszaki műanyagok felületi simasága, *Gépgyártás*, XLVI évfolyam, 2006/5. szám, 6-10 o.

Farkas, G.: A megmunkálási körülmények hatása a felületi mikrogeometriára műszaki műanyagok esztergálásakor, *Gyártóeszközök, szerszámok, szerszámgépek*, 2007/1. szám, 9-12 o.

Farkas, G., Kalácska G.: Felületi mikrogeometria vizsgálata forgácsolással megmunkált műanyagok esetén. *Gép*, LVIII. évfolyam, 2007/4. szám, 7-12 o.

Kalácska G., Farkas G.: Forgácsolt műszaki műanyagok felületi érdességének vizsgálata, *Műanyag és Gumi*, 2007/44. évfolyam, 10. szám, 419-423 o.

### Nemzetközi konferencia kiadvány:

Palásti K., B.; Farkas, G.: Relationship between the cutting surface-microgeometry and it's evaluation. The 5<sup>th</sup> International Scientific Conference, Development of metal cutting DMC, Kosice, 2005. pp. H 15.

*Hivatkozás: Maňková, I., Beňo, J., Marková, G., Melcher, M.: Assessment of surface roughness produced by turning and grinding, microCAD 2006 International Scientific Conference, 16-17 March, Miskolc. pp. 203-209*