

A forgácsolási paraméterek hatása a felületi mikrogeometriára műszaki műanyagok esztergálásakor

Farkas Gabriella

tanársegéd, farkas.gabriella@bgk.bmf.hu

Budapesti Műszaki Főiskola, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

Dr. Palásti Kovács Béla

főiskolai tanár, palasti@bmf.hu

Budapesti Műszaki Főiskola, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

Bevezetés

A műszaki műanyagok a termék-előállítás szinte valamennyi iparágában előfordulnak. Előnyös tulajdonságaik (kis sűrűség, jó siklási tulajdonság stb.) miatt már nem pótanyagként, hanem teljes értékű szerkezeti anyagként alkalmazzák. A korszerű műanyagoknak gyakran egyszerre több követelményt kell kielégíteniük feldolgozásuk és felhasználásuk során egyaránt. Mechanikai, vegyi és fizikai tulajdonságaik megváltoztatására, javítására különféle eljárásokat alkalmaznak, mint pl. a társítás, a szálerősítés és a kompozitképzés stb. A műanyagok melegalakítással történő megmunkálása mellett a forgácsolásnak is nagy szerepe van. Forgácsolásakor a megmunkált felületen jellegzetes mikrogeometriai egyenetlenségek keletkeznek, melyek az alkalmazott technológiai paraméterektől, a szerszám geometriai jellemzőitől, valamint a megmunkálási körülményektől függenek. A végső felületi simaságot nagyban befolyásolja a forgácsolási folyamat instabilitása (azaz a technológiai rendszer statikus és dinamikus ellenállása), a szerszám és a munkadarab súrlódása, továbbá a vibráció.

A vizsgálatok célja az volt, hogy műszaki műanyagokon egy komplex forgácsolási kísérletet végrehajtva megállapítsuk a felületi simaság hogyan változik az egyes technológiai paraméter-beállításoknál. A cikkben bemutatjuk a kísérletekhez kiválasztott műszaki műanyagok forgácsolási tapasztalatait, továbbá a különböző forgácsolási paraméterekkel előállított felületek mikrogeometriai jellemzőinek értékelését.

A vizsgált műszaki műanyagok

A műszaki műanyagok azok a hőre lágyuló vagy hőre nem lágyuló műanyagok, amelyeket műszaki termékek gyártására használnak fel, mivel feldolgozásuk során viszonylag nagy méretpontosság érhető el. A közönséges műanyagoktól annyiban

térnek el, hogy kitűnő mechanikai tulajdonságokkal (mechanikai szilárdság, kopásállóság) rendelkeznek széles hőmérséklet tartományban. A műszaki gyakorlatban alkalmazva egy sor követelményt elégítenek ki, így ma már a konstrukciók fontos szerkezeti anyagai. A műszaki műanyagoknak két csoportját különbözteti meg a szakirodalom [1,2]:

1. Általános rendeltetésű műszaki műanyagok: poliamid (PA), poli(oxi-metilén) (POM), polietiléntereftalát (PET), ultranagy molekulatömegű polietilén (UHMW-PE).

2. Nagy teljesítményű műszaki műanyagok: poliéter-éterketon (PEEK), polifenilszulfid (PPS), polivinildénfluorid (PVDF), a poliimid (PI).

A vizsgálatokhoz a rendelkezésre álló műanyagfajták közül négy hőre lágyuló típust választottunk ki: poliamid 6, poli(oxi-metilén), poli(etilén-tereftalát), poli(éter-éterketon) [2].

Az öntött poliamid 6, PA6: olyan általános rendeltetésű műszaki műanyag, amely jó mechanikai szilárdsággal, kiváló kopásállósággal és siklási tulajdonsággal rendelkezik. Hőállósága a feldolgozhatóság szempontjából megfelelő. A forgácsolási teljesítmény szempontjából jól forgácsolható közepes és nagy forgácsolási sebességgel és kis előtolással.

Poli(oxi-metilén), POM C: olyan általános rendeltetésű műszaki műanyag, amely nagyfokú méretstabilitással rendelkezik, szívós, kemény, merev anyag. Magas szilárdság, nagy keménység jellemzi, nedvesség hatására nem duzzad. Forgácsolással könnyen megmunkálható.

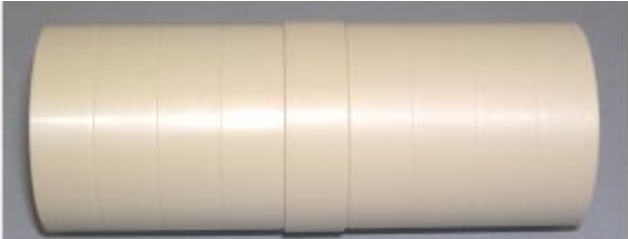
Poli(etilén-tereftalát), PET általános rendeltetésű műszaki műanyag. Nagy hőállóság, nagy mechanikai szilárdság, merevség jellemzi. A jó mérettartása és az alacsony hőtágulási együtthatója a megmunkálhatóságát, az alacsony vízfelvevő képessége és vegyszerállósága a széleskörű alkalmazhatóságát biztosítja. Jól forgácsolható, de a megmunkálás során nagy forgácsolási sebességet és kis előtolást kell alkalmazni.

Poli(éter-éterketon), PEEK nagy teljesítményű műszaki műanyagok közé tartozik. Kiváló hőállóság (250-360 °C), mechanikai szilárdság, nagy merevség jellemzi. A lágy acélokhoz hasonló körülmények között jól forgácsolható. Magas hőállósága miatt pedig a járműtechnikában is alkalmazható [2,3].

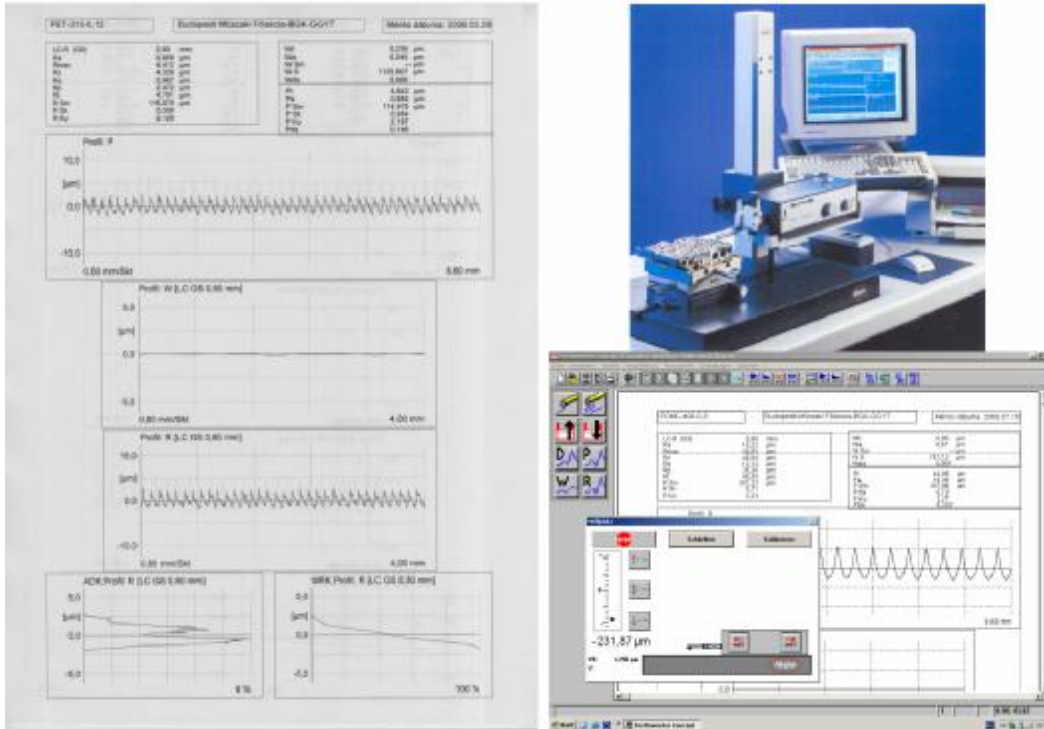
A forgácsolási kísérletek

A forgácsolási kísérleteket a BMF Anyagalakítási és Gyártástechnológiai Intézet Gépműhelyében, az NCT EUROTURN 12B CNC-vezérlésű, HSC esztergán végeztük. A munkadarabokat tokmányba fogtuk, az esztergálás 80 mm hosszon $\varnothing 40$ mm méreten történt. A munkadarabok anyagául a gépészeti alkalmazás szempontjából stratégiai fontosságú műanyagot választottuk: PA6, POMC, PET, PEEK [2,3]. A megmunkálás során hűtést nem alkalmaztunk. Az egyes kísérleti beállításoknál alkalmazott forgácsolási paraméterek-kombinációkat mutatja az 1. táblázat.

1. táblázat: Kísérletek során alkalmazott beállítások

Kísérleti beállítás:	1		2		3		4	
forgácsolási sebesség, v_c [m/min]	200		250		315		400	
előtolás, f [mm]	0,05 0,08 0,12 0,16	0,2 0,25 0,315 0,4	0,05 0,08 0,12 0,16	0,2 0,25 0,315 0,4	0,05 0,08 0,12 0,16	0,2 0,25 0,315 0,4	0,05 0,08 0,12 0,16	0,2 0,25 0,315 0,4
fogásmélység, a [mm]	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
lapkák éllekerekedése, r_n [μ m]	8-12							
	f = 0,05 0,08 0,12 0,16 0,2 0,25 0,315 0,4							
Forgácsolókésgéometriája: κ_r : 93°; α_0 : 7°; λ_s : 0°; r_e : 0,4 mm.							Munkadarab: $\varnothing 40 \times 80$ mm	

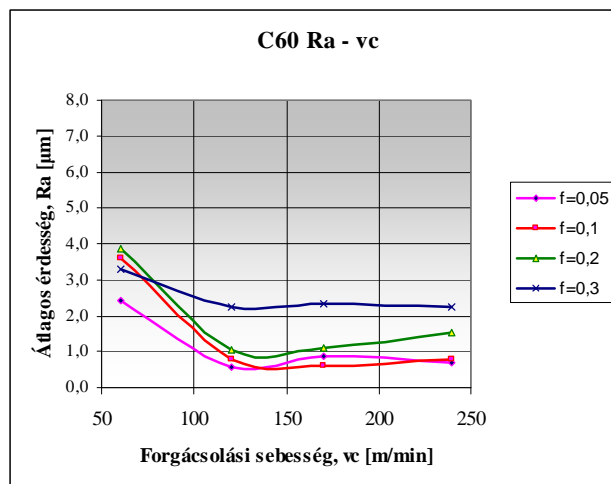
A forgácsolási paraméterek meghatározásakor a szakirodalom javaslatát vettük figyelembe [3,4,5]. Az esztergált felületek mikrogeometriai vizsgálatát Mahr Perthometer-Concept típusú tapintófejes műszerrel végeztük el. A megmunkált felületek a szabványnak megfelelő hosszon ($l_m=4$ mm) kerültek kiértékelésre az előírt szűrő ($l_c=0,8$ mm) alkalmazásával [6]. A mérések során a mérési technika lehetőségei szerint felvettük a szűretlen (P) profilt, a szűrt érdességi (R) profilokat, valamint 9 érdességi (R), 5 hullámossági (W) és 6 szűretlen (P) paramétert (1. ábra) [7].



1. ábra. Mérési lap és kiértékelő szofver (Mahr Perthometer-Concept)

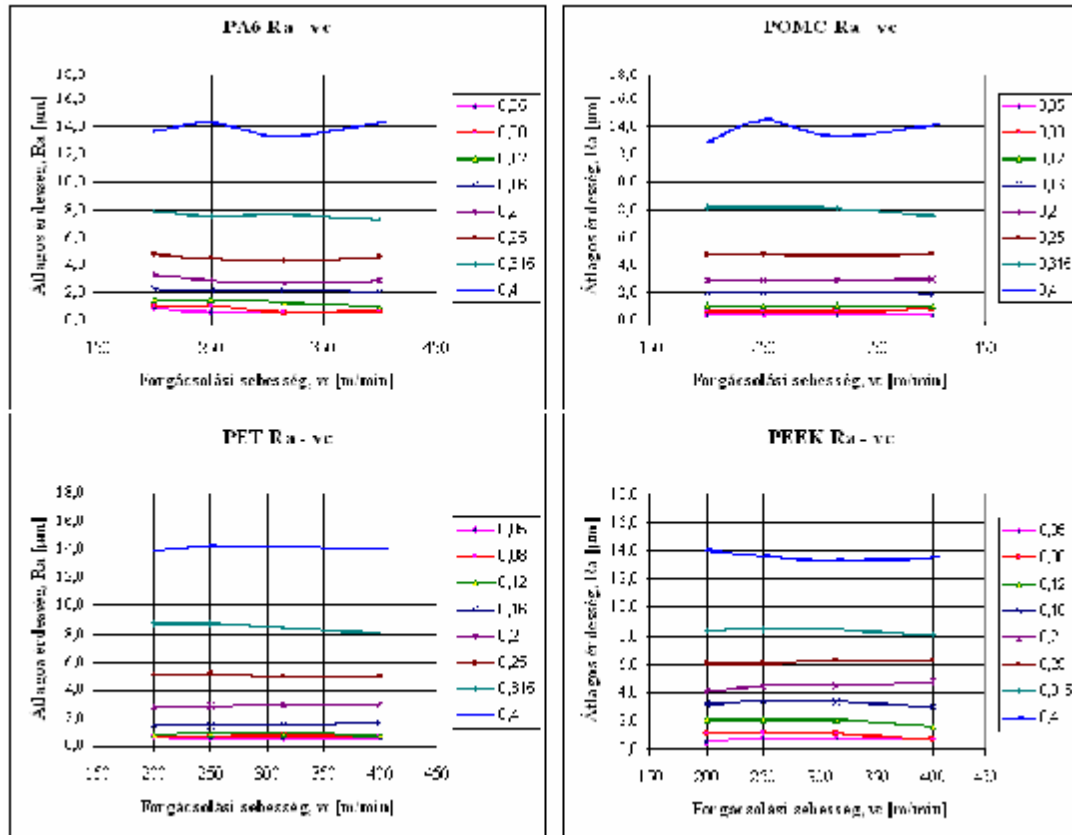
a) Az átlagos érdesség vizsgálata a forgácsolási sebesség függvényében azonos előtolásokkal és fogásmélységgel

Az acélok forgácsolással történő megmunkálását, az esztergált felület érdességi jellemzőit, azok változását a különböző forgácsolási paraméter-beállításokkal már évtizedek óta vizsgálják, kutatják. [8,9,10]



2. ábra. Az átlagos érdesség (R_a) a forgácsolási sebesség függvényében különböző előtolásokkal C60 esetén

A C60 acél esetében a 2. ábra szerint a vizsgált tartományban a forgácsolási sebesség növelése csökkenő R_a -t eredményez, az előtolás növelésével pedig az R_a értéke is nő. A kísérletekkel célunk az volt, hogy megvizsgáljuk a műanyagok forgácsolása mennyiben tér el az acéloknál tapasztaltaktól.



3. ábra. Az átlagos érdesség (R_a) a forgácsolási sebesség függvényében azonos előtolásokkal és fogásmélységgel a vizsgált műanyagok esetén

A forgácsolási sebesség befolyása az R_a értékére az öntött poliamid (PA 6) esetén nem jelentős – az acélok viselkedésétől eltérően – a vizsgált $v_c=200-400$ m/min tartományban. Az előtolás növelésének ellenben jelentősebb hatása figyelhető meg. Kis előtolásokkal ($f = 0,05-0,12$ mm) az R_a értéke $1,6$ μm alatt tartható.

A poli(oxi-metilén) esetében is az érdességet alapvetően az előtolás befolyásolta. Az $f = 0,05-0,12$ mm tartományban az R_a értéke $1,6$ μm alatti, tehát igen finom felület érhető el, és ez a forgácsolási sebesség növelésével – $v_c=200-400$ m/min tartományban – biztosan tartható.

A poli(etilén-tereftalát) esetében ugyanazon előtolásnál a különböző forgácsolási sebesség függvényében az R_a értéke a v_c -től függetlenül tartható. A kis előtolás-tartományban ($f=0,05-0,12$ mm) esztergálással elérhető, tartható – az alkalmazott forgácsolási sebességekkel ($v_c=200-400$ m/min) – az $R_a \leq 1,6$ μm finomságú felület.

A PEEK esetében az $f=0,05-0,12$ mm előtolás-tartományban esztergálással nagyon jó felületi érdesség érhető el ($R_a \leq 2$ μm), amely a forgácsolási sebesség növelésével is biztosan tartható. Az előtolás növelése nagyobb R_a értéket eredményezett.

b) Az elméleti és a mért felületi érdesség vizsgálata az előtolás függvényében

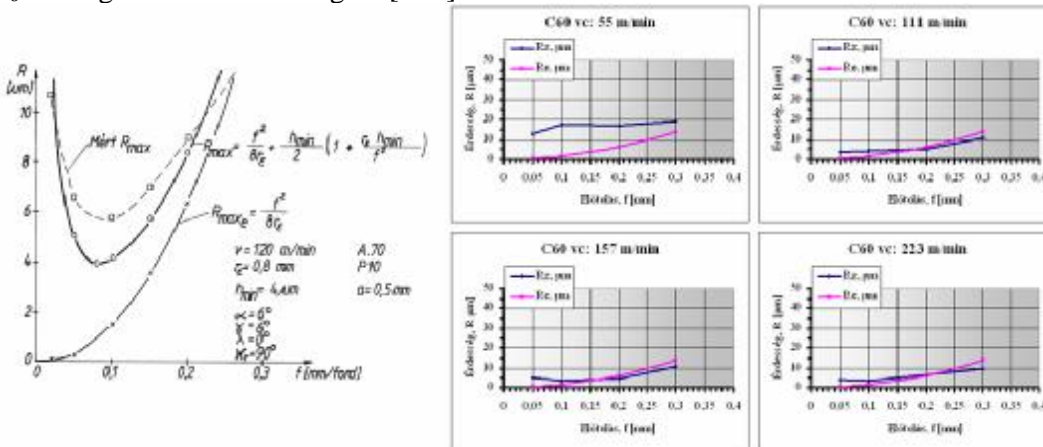
Esztergáláskor a felületen a forgácsolás nyomaként jellegzetes mikrogeometriai egyenetlenségek keletkeznek, melyek nagy mértékben függenek az alkalmazott technológiai paraméterektől (forgácsolási sebesség, előtolás, fogásmélység), a szerszám geometriai jellemzőitől (csúcsgugár) valamint a megmunkálási körülményektől (hűtés, kenés stb.) [8,10]. Az esztergálás során keletkező felület elméleti érdességét az alábbi összefüggéssel lehet meghatározni (4. ábra): $R_e = \frac{f^2}{8 \cdot r_e}$ (1) [11], ahol:

$$R_e = \frac{f^2}{8 \cdot r_e} \quad (1) \quad [11], \text{ ahol:}$$

R_a : elméleti érdesség [μm]

f : előtolás [mm]

r_e : a forgácsolókés csúcsgugara [mm].



4. ábra. Az elméleti és a valóságos érdesség szabályos élgeometriájú esztergálásnál

A képlet szerint az R_a (átlagos érdesség) és R_z (egyenetlenség magasság) paraméterek elméleti értéke négyzetesen függ az előtolástól. Az acélok esetében azt tapasztalhatjuk (4. ábra), hogy az egyszerű, geometrián alapuló képlet a kisebb előtolási tartományban

megengedhetlenül nagy hibával írja le a várható érdességet, a műszaki gyakorlat mégis széles körben használja. A várható érdesség meghatározására simító esztergáláskor az ún. Brammertz-féle képletet érdemes alkalmazni, amely figyelembe veszi a leválasztható minimális forgácsvastagságot (h_{\min}) és ehhez kapcsolódóan a

$$R_{eBr} = \frac{f^2}{8 \cdot r_e} + \frac{h_{\min}}{2} \cdot \left(1 + \frac{r_e \cdot h_{\min}}{f^2}\right) \quad (2)$$

$$h_{\min} = 84 \cdot v_c^{-0,7} \cdot r_n^{0,25} \quad (3), \text{ ahol:}$$

R_{eBr} : elméleti érdesség [μm],

f : előtolás [mm],

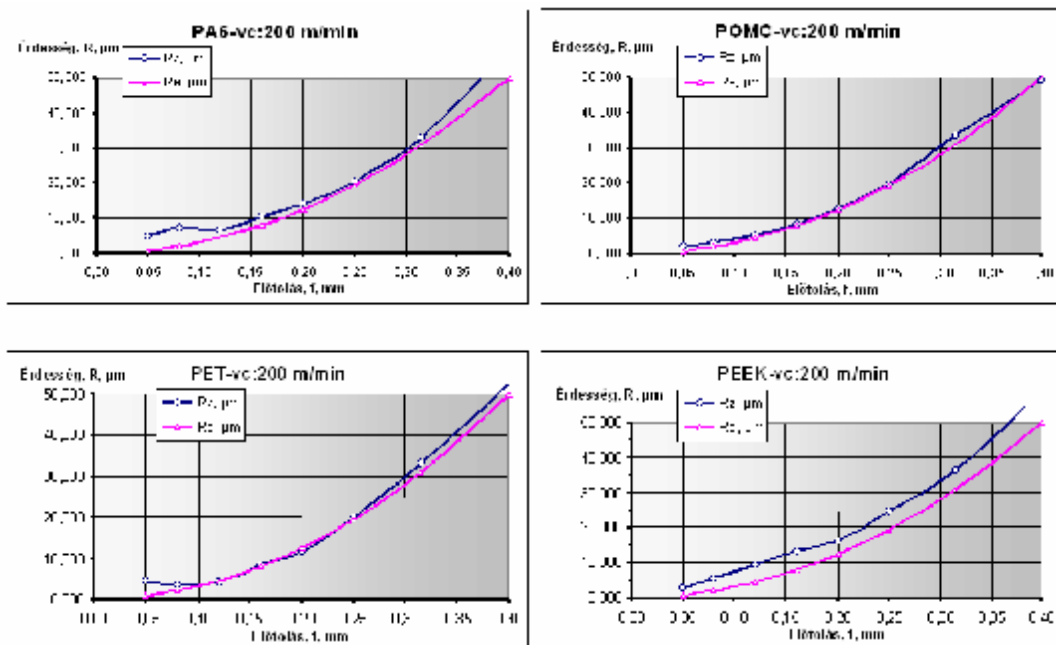
r_e : a lapka csúcssugara [mm],

h_{\min} : a leválasztható minimális forgácsvastagság [μm],

v_c : forgácsolósebesség [m/min],

r_n : éllekerekedés [μm].

Az optimális forgácsolási paraméterek a műanyagok egyes típusainál a felületi érdesség vonatkozásában még nem pontosan meghatározottak. A kísérletekkel célunk az volt, hogy megvizsgáljuk a műanyagok forgácsolása mennyiben tér el az acéloknál tapasztaltaktól, továbbá a mért egyenetlenség magasság (R_z) értéke hogyan alakul a számított, elméleti érdességhez (R_e) képest az előtolások függvényében.



7. ábra. Az elméleti (R_e) és a mért (R_z) felületi érdesség az előtolás függvényében az egyes műszaki műanyagoknál $v_c=200$ m/min esetén

Az öntött poliamid (PA 6) esetén a mért érdesség az elméleti érdesség (R_e) görbétől jelentősen eltér. Az eltérés $f=0,05-0,08$ mm esetén igen nagy: 31-521 %. Az egyenetlenség magasság (R_z) értéke az előtolás növelésével $f=0,2-0,3$ mm tartományban 5-14 % között mozog, $f=0,3$ mm felett 6-11 %, azaz az eltérés az előtolás növelésével csökken.

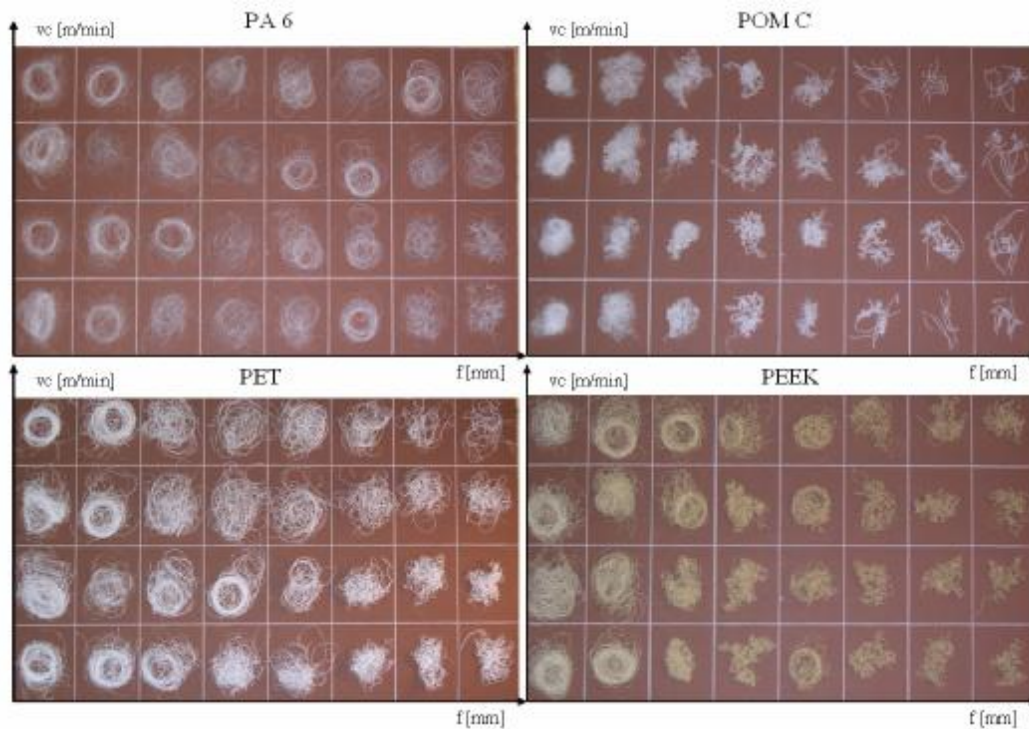
A poli(oxi-metilén) esetén is látható, hogy az R_z értéke az előtolás növelésével az R_e elméleti érdességhez szorosan illeszkedik, az eltérés: 1-173% összességében itt kisebb, mint a többi műszaki műanyag esetében. A mért érdességi értékek – az acélok viselkedésétől eltérően – jó egyezést mutatnak az elméletivel.

A poli(etilén-tereftalát) diagramjából megfigyelhető, hogy az egyenetlenség magasság (R_z) értéke nagyobb előtolásoknál szorosan illeszkedik az elméleti (R_e) érdességhez. A $v_c=200$ m/min forgácsolási sebesség esetén a kis előtolás-tartományban ($f=0,05-0,08$) az R_z értéke 185 %-kal nagyobb, mint a számított R_e . Az $f=0,12-0,4$ mm előtolásoknál a mért érdesség értéke az elméleti értékkel közel megegyező, csak kisebb eltérés jellemzi (3-7 %).

A PEEK esetén az egyenetlenség magasság értéke viszonylag szabályosan követi az elméleti érdességet, de a mért érdesség (R_z) értékei minden előtolásnál meghaladták az R_e elméleti érdesség értékeit (19-275%). A kisebb előtolásoknál kevésbé volt tapasztalható az egyre növekvő érdességkülönbség, viszont az R_z és R_e között nincs átmetszés.

c) A forgácsalak vizsgálata

A forgácsalak vizsgálata során ún. forgácstablót készítettünk, amely szemléletesen mutatja, hogy az egyes kísérleti beállításoknál milyen jellegű forgács keletkezett. A tablón a forgácsok a forgácsolási sebesség és az előtolás függvényében láthatók (6. ábra).



6. ábra. Forgácstablók

A vizsgált műszaki műanyagok közül az öntött poliamid (PA 6) forgácsolása volt a legbizonytalanabb a kisebb előtolásoknál. A forgácsleválasztás sokszor bizonytalaná vált, a fonalszerű forgács a munkadarabra rátekeredve a szerszám és a munkadarab közé került.

A poli(oxi-metilén) megmunkálása az általunk alkalmazott forgácsolási paraméterek között a legkedvezőbb forgácsot adta. Az összes vizsgált műanyag közül ez az anyagféleség volt a legjobban esztergálható. Nagy előtolásnál és nagy sebességnél tört forgácsot kaptunk.

A poli(etilén-tereftalát) jól forgácsolható, de a forgácsalak sokszor fonalszerű volt. Ennek oka az lehet, hogy kis előtolásoknál a forgácsleválasztás a csökkenő r_n/f viszony miatt egyre bizonytalanabbá válik.

A poli(éter-éterketon) esetében elmondható, hogy a kísérlet során alkalmazott forgácsolási paraméterekkel jól esztergálható. A forgács fonalszerűen ugyan, de a felületről egyenletesen választódott le, a szerszám és a munkadarab közé nem ragadt be.

Következtetések

Az elvégzett vizsgálatok alapján az alábbi megállapításokat tehetjük:

- Egyes műanyagok – mint például a POMC és a PEEK – kifejezetten jól forgácsolhatóak, a képződött forgácsalak kedvező, melynek oka a kis hőérzékenység és a kristályszerkezet lehet. A PA6 és a PET forgácsolásakor gyakran gondot okozott a fonalszerű forgács, amely a megmunkálás során az anyagra rátekeredett és kedvezőtlenül befolyásolta a folyamatot.
- 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 R_a értékét döntően az előtolás befolyásolta. Kis előtolásokkal ($f = 0,05-0,12$ mm) végzett esztergálással nagyon finom felület ($R_a \leq 1,6$ μm) érhető el, amely a forgácsolási sebességek tág határok ($v_c = 200-400$ m/min) közötti változtatásával is biztosan tartható.
- A felületi mikrogeometria vizsgálata során kapott eredményekből megállapítható, hogy a mért R_z érdességi értékek a vizsgált tartományban az elméleti érdesség folyamatosan növekvő görbáját csak a nagyobb előtolásoknál követte. A legjobb egyezés a $f=0,16-0,315$ mm-es tartományban mutatkozott a PEEK kivételével mindegyik műanyag esetén.
- Az egyenetlenség magasság kis előtolásoknál ($f=0,05-0,12$ mm) jelentős eltérést mutatnak az elméleti értéktől (19-521%), a forgácsolási sebesség elhanyagolható befolyása mellett a $v_c=200-400$ m/min tartományban.

A műanyagok simító forgácsolása során tehát a kis előtolások tartományában fokozottan figyelni kell a fenti jelenségekre, a felületminőség pontos tervezésénél, a technológiai paraméterek megválasztásánál ezt feltétlenül figyelembe kell venni.

Irodalom

- [1] dr. Kalácska Gábor: Műszaki műanyagok gépészeti alapjai, Mineva-Sop. 1997. 62. old.
- [2] dr. Füzes László, dr. Kelemen Andorné: Műszaki műanyagok zsebkönyve. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1989. 182-362. old.
- [3] dr. Kalácska Gábor: Műszaki műanyag féltermékek forgácsolása. Quattroplast Kft. Gödöllő, 2005. 5-17. old.

- [4] Mehmet Sagdic, Friedrich Dubbert: Spanende Bearbeitung von Kunststoffen. Bildschirmpräsentation, LBK, FSM-02, 2002.
- [5] George Southard: High Performance Thermoplastics. Materials, properties and applications. The IAPD Education Committee (Module 5), 2001.
- [6] ISO 4288:1996 Geometrical product specifications (GPS) – Surface texture: Profile method – Rules and procedures for the assessment of surface texture.
- [7] ISO 4287:1996 Geometrical product specifications (GPS) – Surface texture: Profile method – Terms, definition and surface texture parameters.
- [8] Palásti, K. B., Czifra, Á., Kovács, K.: Microtopography of machined surfaces, tribological aspects of surface and operation, DMC 2002 The 4th International Scientific Conference Development of Metal Cutting, Kassa, 22-23. May 2002. p.:50-57.
- [9] Ildiko Maňková, Josef Beňo, Gabriella Marková, Martin Melcher: Assessment of surface roughness produced by turning and grinding. MicroCAD 2006 International Scientific Conference. Miskolc. 16-17 March 2006. p.:203-209
- [10] dr. Sipos Sándor, Bíró Szabolcs, Tomoga István: A termelékenység és a minőség egyidejű növelése wiper élgeometriával. Gépgyártás XLVI. évfolyam, 2006/4. 17-24. old.
- [11] Palásti Kovács Béla: Forgácsolással megmunkált felületek mikrogeometriájának értékelése, Kandidátusi értekezés, Budapest, 1983. 31-35. old.