

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

**Forgácsolt polimer alkatrészek gyártási és
termékváltási idejének optimalizálása**

FARKAS JÁNOS

Soproni Egyetem

Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti
Kar

Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori
Iskola



Sopron

2018

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Soproni Egyetem

Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar

Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola

Vezető: Prof. Dr. Csóka Levente egyetemi tanár

Doktori program: Rosttechnikai és nanotechnológiai tudományok

Programvezető: Prof. Dr. Winkler András és Prof. Dr. Csóka
Levente

Tudományág: anyagtudomány és technológiák

Témavezetők: Prof. Dr. Csanády Etele, Prof. Dr. Csóka Levente

Bevezetés

Napjainkban jól megfigyelhető tendencia, hogy a műanyagok, ezáltal a műanyagból készült termékek iránti kereslet évről évre növekszik. Hőre lágyuló műanyag termékek gyártásakor a technológiák nagy része az ömledék (vagy képlékeny) állapot> alakadás> hűtés folyamattal írható le. A tömeggyártásban szinte kizárólag ilyen gyártással találkozunk, de kisebb darabszámok, illetve prototípusgyártás esetén bővül a gyártástechnológiák köre. Prototípusgyártás, illetve nagyon kis szériaszámok esetén már számos RPT (Rapid prototyping) eljárás is rendelkezésünkre áll. Nagy előnyük, hogy veszteségmentesek, illetve bármilyen bonyolult, alámetszett termékgeometria is kialakítható. Hátrányuk lehet pl. a magas alapanyag ár, illetve a felhasználható műanyagok viszonylag szűk köre.

A forgácsoló eljárásokat is alkalmazhatjuk prototípusgyártáshoz, de gazdaságos lehet nagyobb szériák esetén is, főleg ha a kívánt geometriát (pl. kisméretű belső menetek vagy többszörösen alámetszett alkatrészek), vagy anyagot (pl. PTFE) más eljárással csak nagyon költségesen, vagy egyáltalán nem lehet elvégezni. Egyik fő hátránya a viszonylag magas ciklusidő, valamint az, hogy nagymennyiségű hulladék keletkezik, ami adott esetben a hűtőközfolyadék miatt szennyezett is lehet. Forgácsolás során a kívánt geometriát, illetve felületi minőséget anyagrészek lemunkálásával érjük el. A határozott élű szerszám az anyagba hatol, és onnan anyagot választ le. A folyamatot a „v_c” forgácsoló sebességgel, az „a” sugár irányú fogásvétellel, valamint a „f” fordulatonkénti előtolással, mint forgácsolási paraméterekkel jellemezzük. A forgácsolás témájú irodalmak nagy része a fémek forgácsolásával foglalkozik, de az eljárás természetesen nem szűkíthető le csak ezekre az anyagokra.

Célkitűzések

A saját tapasztalatok alapján, illetve a rendelkezésekre bocsátott adatbázisok elemzése alapján a hibák egy része szervezésből, illetve folyamat nyomon követésből/ellenőrzésből adódnak, ezekkel a jelen kutatás során nem foglalkozom. A hibák egy részét jelentősen csökkenteni, vagy megszüntetni vagy nem lehet, vagy nagyon nehéz és jelentős többletköltséggel járna. Bizonyos hibák viszont a műanyagok forgácsolása közben zajló folyamatok megismerésével kiküszöbölhetők, vagy redukálhatók.

A felületi érdesség vizsgálata: Cél a forgácsolt felületi érdességet befolyásoló tényezők megállapítása, az egyes tényezők, mint például a forgácsolási paraméterek hatásainak vizsgálata.

A forgácsolóerő vizsgálata: Cél a forgácsolóerőt befolyásoló tényezők (forgácsolási paraméterek, szerszámgeometria) vizsgálata, a forgácsolóerő értékének megállapítása, a darab kihajlásának vizsgálatához, illetve a szorítóerő megállapításához.

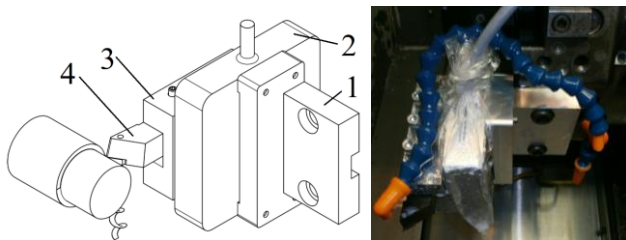
A szerszámkopás hatásainak vizsgálata: Cél a szerszámkopás vizsgálata, illetve módszer kidolgozása annak megállapításához, hogy mikor tekinthető egy szerszám kopottnak. Azon kopási módok feltárása, amelyek műanyagok esztergálásakor megjelennek.

Hőkezelések vizsgálata: A anyaghibák nagy része a nem megfelelő hőkezelésből adódik. A hőkezelési paraméterek; a hűtési/fűtési sebesség és a hőntartás elemzése a darabon belül mérhető hőmérséklet-különbség szempontjából. Főleg annak vizsgálata, hogy a hőmérséklet hogyan oszlik el a darabon belül hőkezelés közben, illetve a darab falvastagsága hogyan befolyásolja ezt a hőmérsékleti gradienst.

Anyagok és módszerek

A témát tekintve, a mérések során fontos, hogy a valós ipari termeléshez nagyon hasonló, vagy azzal egyező körülményeket biztosítsak. Ennek tükrében a forgácsolási kísérletek az EuroTec Kft. által biztosított, a termelésben aktívan részt vevő Mori Seiki SL-150 ellenorsós eszterga megmunkáló központon történtek. A forgácsolási kísérletek során hűtő-kenőanyagként hűtő emulziót, 95% víz, 5% Aral Sarol EP40 olajat használtam fel. A forgácsolási kísérletekhez többféle felhasználású és kialakítású szerszámot alkalmaztam. Az ipari gyakorlathoz hasonlóan váltólapkás kivitelű, bevonat nélküli forgácsoló szerszámokat használtam. A készrát az erőmérővel szerelt késtartóban rögzítettem a lehető legkisebb kilógással. A gyakorlati tapasztalat és az irodalomkutatás is kimutatta, hogy a műanyagok különböző típusai között jelentős különbségek lehetnek forgácsolás szempontjából is. Ezért fontos, hogy minél többféle anyagot vizsgáljak egy paraméterváltoztatás hatásainak elemzésekor. A választott anyagok a műanyagforgácsoló iparban leggyakrabban előforduló anyagok. Kivétel nélkül hőre lágyuló, erősítő, vagy töltőanyag nélküli műszaki, illetve tömegműanyagok, PP, PVC, POM, PA, PE, PET, PEI, PPSU, PEEK.

Az irodalomkutatás során jól megfigyelhető, hogy leggyakrabban két-három irányba mérő piezoelektromos erőmérő szenzort alkalmaznak a mérések lebonyolításához. Az erőméréshez használt eszköz felépítését mutatja be az 1. ábra. A kereskedelmi forgalomban kapható ME-systeme K3D120 (2) (max. 1kN) három irányban mérő piezoelektromos erőmérő rögzítéséért a revolverfejhez illeszkedő adapter (1) felel. A szenzor másik feléhez egy speciálisan ehhez a feladathoz tervezett 20x20mm-es eszterga készrát (4) befogására alkalmas szerszám tartót (3) rögzítettem.



1. ábra. A forgácsolóerő mérése

A felületi érdesség mérésénél is két módszert különböztethetünk meg. Az érintés nélküli, optikai vizsgálatok során egy nagyfelbontási mikroszkóppal szkenneljük be a próbatest felületét, majd ezt a geometriát elemezzük számítógépes szoftver segítségével. A másik lehetséges módszer az érintéses felületi érdesség mérés. Ilyenkor általában gyémánt végű szerszám meghatározott sebességgel halad végig a felületen. A mérés során a mérőberendezés összetartozó, x-z koordinátákat rögzít. Ezek a pontpárok határozzák meg a vizsgált felület profilját. A mérőeszköz kiválasztásánál szintén fontos szempontnak tartottam az iparihoz hasonló környezetet. A választást megkönnyítette, hogy az iparban nagyon gyakran alkalmazzák ezt a módszert. A felületi érdesség mérése esetünkben mechanikus letapintással történt; Mahr Perthometer S2 feldolgozóegységgel, Mahr PZK-250 előtolóművel, valamint 200.400-260 2 µm-es tüvel.

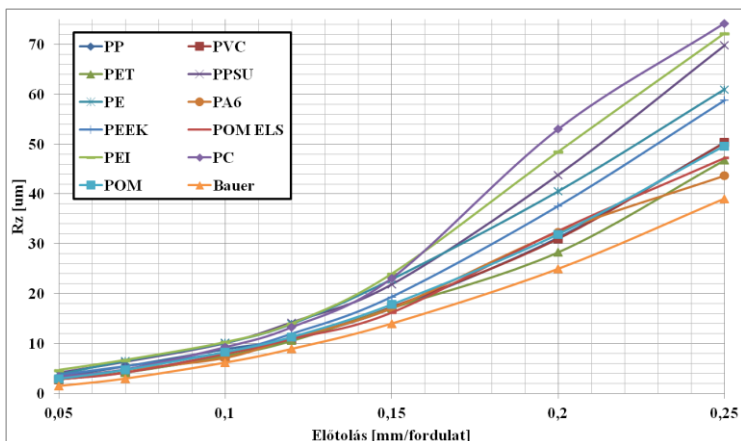
A hőkezeléshez köthető vizsgálatok során a falvastagság, valamint a felfűtési/hűtési sebesség hatásait vizsgáltam. A vizsgálatok során 20, 30, 40, 50, 60 mm átmérőjű, 60 mm hosszúságú POM próbatesteket használtam fel. Központjukban 30 mm mélységű 3mm-es átmérőjű furatot fűrtam a T-típusú hőelem főröhelyeként. Az adatokat EL-USB-TC (sorozatszám: 24371) USB-s adatregiszter egységgel gyűjtöttem 10 másodperces mintavételezési idővel. A próbatesteket évente kalibrált Memmert UNP 700 típusú univerzális kemencével hevítettem, illetve hűtöttem.

Eredmények és kiértékelésük

A kísérletek során először a forgácsolási paraméterek változásának a felületi minőségre, és a forgácsolóerőre gyakorolt hatását vizsgáltam. Az első vizsgált paraméter a fordulatonkénti előtolás. Az előtolás növelésével az irodalomkutatás, valamint a gyakorlati tapasztalat alapján az várható, hogy a forgácsolt felület érdessége, valamint a forgácsolóerő értéke is növekszik. A vizsgálatok során a vágósebesség és a fogásvétel állandó ($v_c=250\text{m/perc}$, $a=2\text{mm}$), a fordulatonkénti előtolás értékeknek pedig a következőket választottam:

0,05 0,07 0,1 0,12 0,15 0,2 0,25
[mm/fordulat]

A mérések alapján látszik, hogy az előtolás növelésével mind a felületi érdesség, mind a forgácsolóerő növekszik, a felületi érdességgel a 2. ábrán is jól látható másodfokú kapcsolat adódik.



2. ábra. A felületi érdesség az előtolás függvényében

A következő vizsgált paraméter a forgácsolási sebesség. Az irodalmakban különböző anyagok, különböző módszerrel való forgácsolását tanulmányozva nincs egyértelmű megállapítás arról, hogy a felületi érdességet, illetve a forgácsolóerőt hogy befolyásolja. Mindkét ábrát tekintve jó közelítéssel elmondható, hogy a vágósebesség növelésével a felületi érdesség csökken, azonban figyelembe kell venni, hogy ez a változás kismértékű, alig 10%-os. Megállapítható továbbá, hogy a forgácsolási sebesség növelésével a felületi érdesség kismértékben csökken, vagy közel állandó értéken marad.

Az utolsó vizsgált forgácsolási paraméter a sugárirányú fogásvétel. Az előzetes irodalomkutatás és a gyakorlati tapasztalatok alapján az várható, hogy a forgácsolóerő növekszik, a felületi érdesség változását azonban a kutatások nagy részében nem vizsgálták. Kivehető egy kismértékű érdesség növekedés a fogásvétel növelésével, de kijelenthető, hogy a fogásvételnek nincs számottevő hatása a felületi érdességre. Inkább úgy lehetne meghatározni, hogy egy felső határ felett a próbatest beremeg, ami rendkívül rossz felületet eredményez. A forgácsolóerő esetén egyértelmű, jól látható módon határozott növekedés állapítható meg.

A forgácsolási paraméterek után a különböző szerszámgeometria hatásait vizsgálom. Mivel a forgácsolt felület elméletileg az előtolás és a szerszám csúcsának kombinációjából adódó lenyomat, így a felületi érdességre nagy hatással van a lapka csúcsrádiusza. A rádiusz értékét 0,2-ről 0,8 mm-re változtattam, ami 300%-os növekedést jelent. A nagyobb csúcsrádiusszal elért felületi érdesség csökkenés az előtolás növelésével egyre nagyobb mértékű. A forgácsolóerő növekménye nem nevezhető jelentősnek a csúcsrádiusz nagymértékű változtatásának függvényében, alig 16%-os növekedés jellemző.

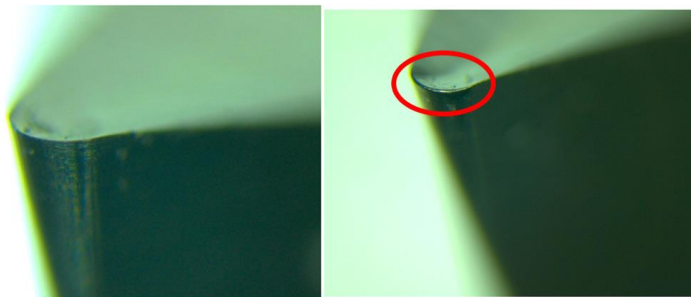
A szerszámgeometriát leíró tulajdonságok közül a következő vizsgálat során hasonló szerszámokkal forgácsoltam. A kísérletsorozat célja, hogy meghatározzam, az adott lapkával végzett kísérletek mennyire „univerzálisak”, azaz más gyártmányú, de hasonló geometriai paraméterekkel bíró szerszámoknál milyen forgácsolóerő és felületi érdesség értékek mérhetők. A felületi érdességben nagy különbség a legkisebb, 0,05 mm/fordulatos előtolásnál mérhető. Ez akkor érdekes, ha nagyon finom felület elérése a cél. Érdekes többféle, főbb paramétereket tekintve azonos lapkát is kipróbálni. A különböző gyártmányú lapkákkal 0,15 mm/fordulat előtolásnál lassabban végzett esztergálásnál a lapkák közötti különbségek a forgácsolóerő szempontjából nem jelentősek. A mért erő értékek közötti különbség 0,15 mm/fordulat válik kissé szignifikánsabbá, de itt is 10% körüli értékekről beszélhetünk. A forgácsolóerőre minimális, a felületi érdességre főleg csak kis előtolásoknál van hatása a lapka gyártmányának.

A következő szerszámgeometriát érintő vizsgálat a különböző élelhelyezési szög, valamint az ehhez kapcsolódó csúcshelyezési szög. Ahogy azt már az előző méréseknél is megállapítottam, a különbségek az előtolás növelésével egyre szignifikánsabbá válnak. A legjobb felületi érdességet az 50°-os élelhelyezési szöggel és 35°-os lapka csúcshelyezéssel lehetett elérni, de ez a változás nem túl nagymértékű, kb. 20%-os változást jelent. A forgácsolóerő minimumára optimalizálva érdemesebb 55°-os csúcshelyezési lapkákat alkalmazni, mivel ezeknél a lapkáknál kisebb eredő erő mérhető, mint 35°-os lapkáknál. Az élelhelyezési szögnél a 95° és a 30° között számottevő különbség nem tapasztalható, a legkedvezőtlenebb konfiguráció minden anyag, előtolás és fogásvétel esetén 95°-os élelhelyezési szög és 35°-os csúcshelyezési szög.

A szerszámozási és forgácsolási jellemzőkön kívül egy folyamatot egyéb, de nagyban meghatározó jellemzők is leírják. Ilyen az alkalmazott hűtő-kenőközeg használata.

A műanyagok esetén a legtöbbször alkalmazott két módszer a levegőhűtés vagy a hűtőemulzió. A felületi érdesség tekintetében az alkalmazott hűtőemulzió hatása nagyon csekély, alig 4%. A forgácsolóerő esetén az eltérés kissé nagyobb, kb. 8,5%, az emulzióval mérhető a magasabb forgácsolóerő. Összességében kijelenthető, hogy a két hűtőközeg között nagy különbség nincs a vizsgált műanyagok esetén, gyakorlati tapasztalatok alapján a hűtőemulzió alkalmazása kedvezőbb a jobb forgácselvezetés miatt.

A forgácsolóerő növekedése mindkét műanyag, minden forgácsolási paraméter kombinációban egyértelmű a lapka kopásával. A lapka kopása hatással van a forgácsolóerőre és a felületi érdességre is. Az érdesség romlik, a forgácsolóerő pedig növekszik, de jó regressziós függvény a forgácsolóerőre mutatkozik, így ez lehet kedvezőbb megoldás a szerszámél-monitoringa. A mérések másik célja a tipikusan műanyagok forgácsolása esetén megjelenő szerszámkopások bemutatása. A 3. ábrán látható lapkán az egyik legjelentősebb kopás, az élkopás figyelhető meg, az is főleg a szerszám csúcán a legjelentősebb.



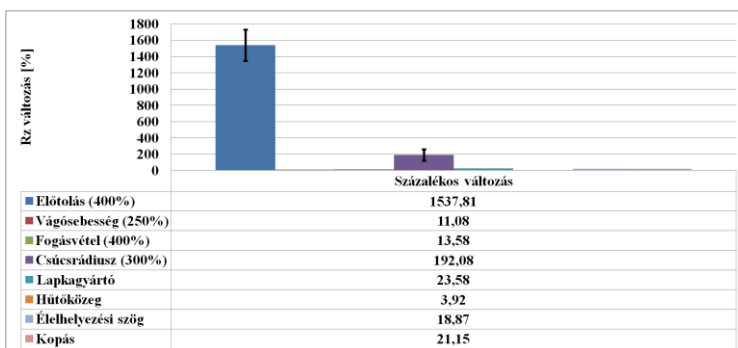
3. ábra. Ép és kopott lapkák műanyag esztergáláshoz

Az élkopás a leggyakrabban előforduló kopástípus erősítő-, és töltőanyagot nem tartalmazó hőre lágyuló műanyagok esetén. A másik gyakori kopás, vagy inkább szerszám tönkremeneteli forma a kipattogzás (az angol irodalmakban „pitting”). A két tönkremeneteli forma nem kizárólagosan jelenik meg, gyakran mindkét típus egyszerre jelentkezik a szerszámokon.

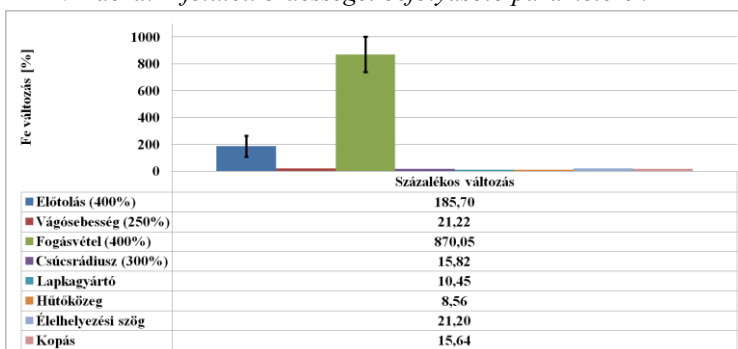
A hőkezelések vizsgálata során a korábban bemutatott módon, a valóságoshoz nagyban hasonló mérési módszert alkalmaztam. A próbatest külső hőmérséklete, azaz a hőkezelő kemence belső hőmérséklete és a munkadarab belsejében mérhető hőmérséklet közötti különbséget vizsgálom. A cél, hogy ezt a lehető legalacsonyabbra szorítsam. Összességében elmondható, hogy a hőmérséklet különbség alapvetően a fűtési sebességtől függ, mivel a hőmérséklet különbség maximuma mindig a felfűtés utolsó szakaszában jelentkezett. A folyamat gyorsításánál a hűtési sebességet érdemes növelni. A falvastagság hatásának vizsgálatakor pedig kijelenthető, hogy a felfűtés utolsó szakaszában érdemes a sebességet csökkenteni, hogy a darabban a hőmérséklet eltérés méeeséklődjön. Tényleges javaslattal élve, a vizsgált POM műanyag esetén érdemes 8 vagy vastagabb darabok esetén a 10 órás felfűtést választani, de olyan hőkezelési programmal, ahol az említett visszalassítás 125°C felett megtörténik. Ekkor a 125°C-ról 155°C-ra való felfűtéshez 3 óra, azaz 10°C/óra fűtési sebesség beállítása javasolt.

Összefoglalás

A forgácsolási paramétereket, több szerszámgeometriát leíró, valamint egyéb a forgácsoláshoz köthető jellemzőt elemeztem. Az egyes jellemzők különböző mértékben befolyásolták a felületi érdesség, vagy a forgácsolóerő értékét. Fontos megjegyezni, hogy az egyes műanyagoknál a tapasztalt változások eltérő mértékűek, így egyértelműen kijelenthető, hogy a műanyagok nem kezelhetők egyként. Mégis, hogy összehasonlíthatók legyenek az egyes vizsgálatok, a következő pontokban minden jellemzőre egy adott átlagot számoltam.



4. ábra. A felületi érdességet befolyásoló paraméterek



5. ábra. A forgácsolóerőt érdességet befolyásoló paraméterek

A felületi érdességet leginkább az előtolás, valamint a lapka csúcsrádusza határozza meg. Ennek a két paraméternek a megváltozásával tudtam leginkább befolyásolni a felületi érdesség értékét. Az előtolás módosítására reagál legérzékenyebben a minta, közel 20-szoros növekedés tapasztalható az előtolást az ötszörösére növelve. A csúcsráduszt 0,2-ről 0,8 mm-re növelve befolyásolható az érdesség értéke, ekkor közel 200%-al csökken. Ha forgácsolóerőnél is megvizsgálom a korábbi pontokban leírt eredményeket az 5. ábrán látható diagramokat kapom. A fogásvétel, valamint az előtolás határozza meg leginkább a forgácsolóerő értékét. A fogásvételnek rendkívül nagy hatása van az erő értékére, 0,5 mm-ről 6 mm-re növelve a fogásvételt a forgácsolóerő közel a tízszeresére növekszik. A másik ilyen jellemző az előtolás, ezt a korábban már említett ötszörös értékre növelve a forgácsolóerő közel háromszorosára emelkedik.

A fenti eredmények alapján, a mérési eredményeket felhasználva állapítható meg a (1)-ben Bauer formula hőre lágyuló műanyagokra optimált formája, amivel megfelelő pontossággal határozható meg a fogácsolt felület érdessége.

$$Rz_{számolt} = \frac{(30f - 0,8)^2 + 5}{5 \cdot r_\epsilon} \quad (1)$$

A forgácsolóerő esetén szintén a két legjelentősebb forgácsolási paramétert felhasználva megállapítottam a lineárist összefüggéseket a fogásvétel és előtolás, valamint a forgácsoló erő között. Ezen kívül meghatároztam a (2) képletbe helyettesíthető fajlagos forgácsolóerő értéket, melyet több műanyagra sikerült meghatároznom.

$$Fe = \kappa_c \cdot a \cdot f \quad (2)$$

Tézisek

(1) A forgácsolási paramétereket tekintve kijelenthető, hogy a **fordulatonkénti előtolás hatással van mind a forgácsolóerő, mind a forgácsolt felületi érdesség értékre**, így ennek növelésével mindkét kimeneti érték nő. A **forgácsolási sebességet többféle értéken vizsgálva kismértékű változás** tapasztalható, de egyik változási érték sem domináns. A **fogásvétel növelése a felületi érdességet nem befolyásolja, a forgácsolóerőt azonban a többszörösére növeli.** [85]

(2) A szerszámozási paraméterek közül főleg a csúcsrádiust érdemes megemlíteni, ugyan a forgácsolóerőt nem befolyásolja, **de csúcsrádiusz növelésével a felületi érdesség jelentősen csökken.** A **forgácsolóerőre minimális, a felületi érdességre főleg csak kis előtolásoknál van hatása a lapka gyártmányának. Az élhelyezési szög, illetve a csúcshézag** mind a forgácsolóerőre, mind a felületi érdességre 20%-os hatással bír, így nem **nevezhető döntően nagy befolyásoló tényezőnek.** Gyakorlati szempontból előnyösebb lehet a 95°-os főél elhelyezési szög, mivel így az oldalazás és a lépcsős kialakítás is megoldható. [86]

(3) A műanyagok forgácsolásánál legtöbbször **hűtő emulziót** alkalmaznak. Ezt a **levegőhűtéssel** összehasonlítva megállapítottam, hogy a **két hűtőközeg között nagy különbség nincs** a vizsgált műanyagok esetén. A hűtőemulzió alkalmazása kedvezőbb a jobb forgácselvezetés miatt, mivel műanyagok forgácsolásakor ez is kiemelten fontos. [86]

(4) **A lapka kopásával mind a forgácsolóerő, mind a forgácsolt felületi érdesség változik.** A **forgácsolóerő** mérése alkalmas kopás monitorozására, mert **a kopással arányosan nő,** és a mérés közvetlenül **forgácsolás közben alkalmazható,** a folyamat megszakítás nélkül. A két domináns kopástípus az élkopás, valamint a forgácsoló él kipattogzása. [84][86]

(5) A mérési tapasztalatokra támaszkodva megállapítottam, hogy a forgácsolt *felületi érdességet az előtolás és a lapka csúcsrádusza határozza meg*. Ez az összefüggés az előtolással másodfokú kapcsolatot mutat, így a Bauer-formulát választottam és optimaláltam hőre lágyuló műanyagokra. *Megállapítottam az egyes műanyagokra külön-külön jellemző, és minden vizsgált műanyagnál kellő pontossággal alkalmazható formulát* is, amely jó illeszkedést mutat a mérési adatokkal. Ez alól kivétel a PC, ahol a csúcsrádus változása eltérő hatást mutat, illetve a PVC, ahol nagyobb csúcsrádusú lapka alkalmazása rendkívül rossz, tépett felületet eredményez. [83]

(6) A *forgácsolóerőre legjelentősebb hatása az előtolásnak, illetve a fogásvételnek van*. Ez a forgácsoláselelmélet alapján várható, és a mérési eredmények is alátámasztják. A két jellemzőt külön-külön vizsgálva jó korreláció mutatkozik a lineárisan illesztett egyenessel, így *a kettő szorzatára is egy lineáris egyenes illeszttem*. *A szorzatban még egy, a hőre lágyuló műanyagokra általam megállapított fajlagos forgácsolóerő is szerepel*. Visszaellenőrzéssel igazoltam, hogy *kellő pontosságú összefüggést alkottam meg*. A fajlagos forgácsolóerő PEEK esetében nem határozható meg. [85]

(7) Az egyes forgácsolt felületet leíró paramétereket tapasztalati képletekkel gyakran számolják át egymásba. *Hőre lágyuló műanyagoknál az $R_z = 4,1 \times R_a$ alkalmazható*, de az arányszámot a *kisebb előtolás és a nagyobb csúcsrádus is felfelé tolja el*. [83]

(8) *A hőkezelések során a hőmérséklet eltérés maximuma a felfűtési szakasz végén mérhető, nagyobb falvastagságnál egyre nagyobb mértékben*. Ebben szakaszban lassítani kell a felfűtési sebességet. A felfűtési sebesség lassításával a próbatest külső és belső hőmérséklete közötti különbség számottevően csökken.

Publikációs munkáim

[1] János Farkas, Etele Csanády, Levente Csóka: Optimisation of the Bauer Equation Using the Least Squares Method for Thermoplastics Turning. *International Journal of Manufacturing, Materials, and Mechanical Engineering* 8 (2018). 21-36.

[2] János Farkas, Etele Csanády, Levente Csóka: Effects of Tool Wear on Surface Roughness and Cutting Force in Thermoplastics Turning. *International Journal of Materials Forming and Machining Processes* 5 (2018) 1-11.

[3] Farkas János, Csanády Etele, Csóka Levente: A forgácsolóerőt és a felületi érdességet befolyásoló tényezők hőre lágyuló műanyagok esztergálásakor I.: A forgácsolási paraméterek hatása. *Műanyagipari szemle* 14 (2017) 78-88.

[4] Farkas János, Csanády Etele, Csóka Levente: A forgácsolóerőt és a felületi érdességet befolyásoló tényezők hőre lágyuló műanyagok esztergálásakor II.: A szerszámgeometria és a hűtő/kenőfolyadék hatása. *Műanyagipari szemle* 14 (2017) 92-104.

[5] Viharos Zs. J., Kis K. B., Paniti I., Belső G., Németh P., Farkas J.: Artificial Neural Network Model Based Setup Period Estimation for Polymer Cutting: *Industrial and Manufacturing Engineering journal. International Journal of mechanical aerospace industrial mechatronic and manufacturing engineering* 11 (2017) 452-458.

[6] Viharos Zs J., Paniti I., Farkas J.: Beállási idők előrejelzése polimerek forgácsolásánál *Gépgyártás* 55 (2015) 99-103.