

KÜLSŐ HENGERES FELÜLETEK MEGMUNKÁLÁSA HATÁROZOTT ÉLGEOMETRIÁJÚ SZERSZÁMMAL – ÁTTEKINTÉS

Sztankovics István 

adjunktus, Miskolci Egyetem, Gyártástudományi Intézet

3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: istvan.sztankovics@uni-miskolc.hu

Absztrakt

A megmunkáló eljárások fejlődésével a hagyományosan alkalmazott technológiák mellett újabbak jelennek meg, amelyekkel nagyobb termelékenységet vagy jobb felületi minőséget lehet elérni. Külső hengeres felületek megmunkálására a legelterjedtebben alkalmazott eljárás az esztergálás, amelynél az előírt felületminőség erősen lekorlátozza az elérendő termelékenységet. Ezért dolgoznak ki olyan kinematikai vagy geometriai viszonyaiban más eljárásokat, amelyekkel hatékonyan javítható a megmunkálás gazdaságossága. Ebben a cikkben a szóba jöhető jelentősebb, egyenes vonalú és körelőtölést alkalmazó változatok rövid áttekintése található.

Kulcsszavak: külső hengeres felület, megmunkálás, lineáris előtolás, körelőtölés

Abstract

Novel machining procedures appear in addition to the traditionally used technologies with the developments in the production engineering, which can be used to achieve higher productivity or better surface quality. The most widely used procedure for machining external cylindrical surfaces is turning, in which the required surface quality strongly limits the productivity that can be achieved. That is why other procedures with different kinematics or geometric conditions are developed, which can be used to effectively improve the economy of machining. In this paper, a brief review of the more significant variants can be found, which use linear or circular feed.

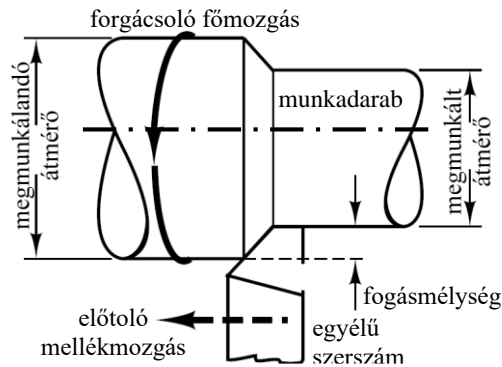
Keywords: external cylindrical surface, machining, linear feed, circular feed

1. Bevezetés

Külső hengeres felületek megmunkálására általánosan a hosszesztergálást alkalmazzák (Tschätsch and Dietrich, 2008), amelynek kinematikai vázlatát mutatja az 1. ábra. A hagyományos hosszesztergálás nagy előnye, hogy szabványosított egyélű szerszámokat használ, így a felületek mérete (és CNC gépen történő alkalmazás esetén az alakja) nem korlátozza alkalmazhatóságát. Ugyanakkor hátrányos tulajdonsága, hogy a folyamat során a forgácsoló él kis szakaszon (szerszámcsúc és környezete) érintkezik a munkadarab megmunkált felületével. Így a szerszám kopása erre a részre koncentrálódik, miáltal a szerszám éltartama erősen korlátozott (Aramesh et al., 2016). Emellett a hőtermelés is ezen szakasz környezetében jelentkezik legintenzívebben (Siller et al., 2015), ezért a szerszám hőterhelése egyenlőtlen.

Jellemzője, hogy a szerszámél felületképző szakasza a megmunkált felületen csavarfelület ír le a kinematikai és geometriai viszonyok miatt, vagyis egy „mikromenet”-szerű barázdát generál. Ezzel

magyarázható, hogy az esztergált felület erősen anizotróp (Waikar and Guo, 2008), míg például a köszörült felület közelít az izotróp tulajdonságúhoz.



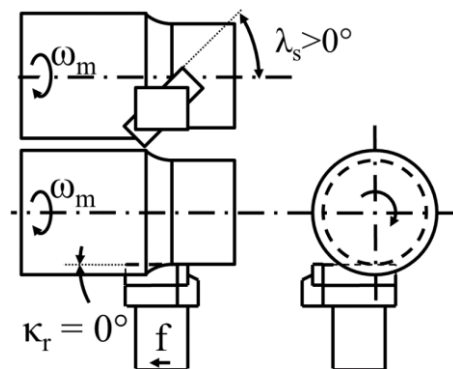
1. ábra. Hagyományos hosszsztergálás kinematikai vázlata (Black and Kohser, 2007).

A fent leírt korlátozó tulajdonságok csökkentésére a hagyományostól eltérő esztergáló eljárásokat is lehet alkalmazni, amelyeket két nagy csoportba oszthatók a mellékmovement szerint: a) megmunkálás egyenes vonalú és b) körelőtollással. Jelen kutatómunka ezek rövid bemutatását tartalmazza.

2. Egyenes vonalú előtolást alkalmazó eljárások

Az egyenes vonalú előtolást alkalmazó eljárások közös tulajdonsága, hogy a hagyományos esztergálástól kinematikailag nem (vagy csak részben) térnek el, viszont az alkalmazott szerszám konstrukciója eltérő. Ezen eljárások közül részletesebben hármatot emelek ki, melyekkel megfelelően választott technológiai adatok mellett alacsony felületi érdesség érhető el:

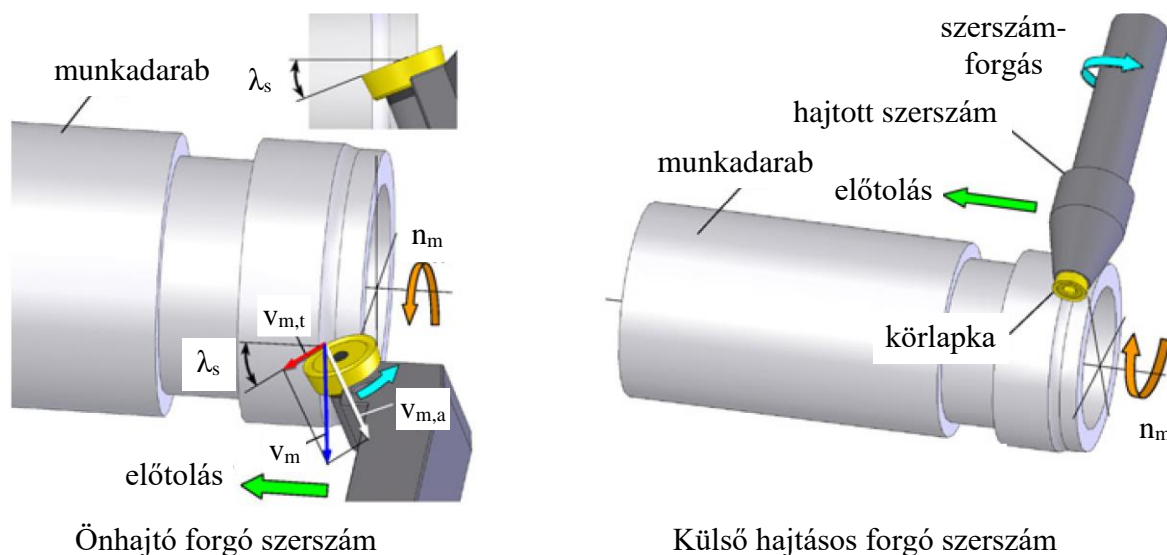
- hántoló esztergálás,
- esztergálás forgó dolgozó részű szerszámmal,
- tangenciális esztergálás.



2. ábra. A hántoló esztergálás (Klimenko and Manokhin, 2009) és kinematikai vázlata.

A hántoló esztergálással végzett megmunkálás és a kinematikai vázlata az 2. ábrán látható (ω_m – munkadarab szögsebesség, λ_s – terelőszög, κ_r – főél-elhelyezési szög, f – előtolás). A forgácsoló főmozgást a munkadarab, az előtoló mellékmovement a szerszám végzi.

A hagyományos hosszsztergálástól való eltérést a szerszám főélelhelyezési szöge jelenti, mely jelen esetben 0° , vagyis a szerszám élsíkja érinti a munkadarab megmunkált hengeres felületét. Ezáltal elméletileg elérhető a $0 \mu\text{m}$ -es elméleti érdesség. Viszont a forgácsleválasztás szempontjából nem előnyös, ha az él párhuzamos a munkadarab szimmetriatengelyével. Ezért az egyenes élű szerszámot nullától jelentősen eltérő ($\lambda_s > 20^\circ$) terelőszöggel látják el. Így a szerszám axiális előtolása és a munkadarab forgó mozgása mellett az él folyamatosan lép be a munkadarab anyagába, míg végül elkészül a megmunkált felület. A hántoló esztergálás különleges geometriája miatt finom felület érhető el (Giles et al., 1981), így jó alternatíva befejező megmunkálásként való alkalmazása. Ez annak köszönhető, hogy az él által súrolt forgácsolt felület szimmetriasíkbeli metszete egy erősen nyújtott hiperbola lesz, mivel egy szimmetriatengely körül egy hozzá képest kitérő egyenest forgatunk meg. Többek között Klímenko és Manokhin is megmutatta (Klímenko and Manokhin, 2009), hogy az él terelőszögének növelésével a forgácsoló erő és a passzív erő csökkenthető, míg az előtolás irányú erő növekszik. Ez fontos szempont, hiszen keménysztergálásnál a radiális irányú (passzív) erőkomponens a domináns az alkalmazott negatív homlokszög miatt (Chen, 2000). Ugyanakkor hántoló esztergálásnál a terelőszög növelésével a forgácsolási hőmérséklet is nő, mert megnő az átlagos forgácsvastagság és ezáltal a súrlódás (Klímenko and Manokhin, 2009).

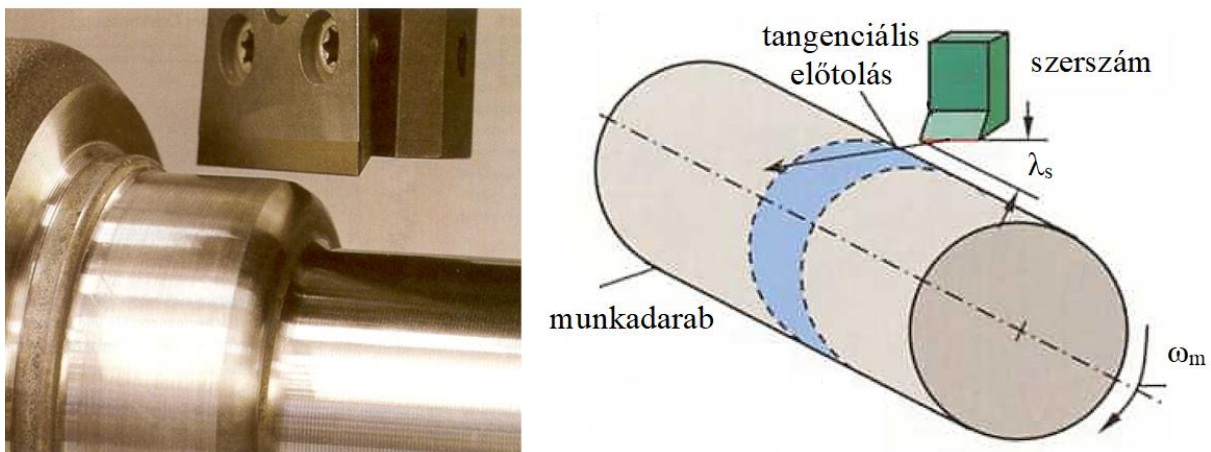


3. ábra. Forgó dolgozó részű szerszámmal végzett forgácsolás jellegzetes esetei (Hosokawa et al., 2010)

A hántoló esztergálás speciális esetének tekinthető, amikor forgó dolgozó részű szerszámmal végezzük a forgácsolást, amelynek jellegzetes eseteit mutatja a 3. ábra. Ezeknél az egyenes vonalú geometriával rendelkező él helyett körív geometriát alkalmazunk. A kör alakú forgácsoló lapka a szimmetriatengelye körül képes elfordulni. Ez az elfordulás bekövetkezhet a forgó munkadarabbal való érintkezés miatti tehetetlenségből (szabadforgatású), vagy külső hajtásból is származhat (kényszerforgatású). Az előbbi esetben a forgácsoló él a szimmetriasíkkal λ_s szöget zár be, emiatt a munkadarab kerületi sebességének (v_m) a körlapka síkjára merőleges komponense ($v_{m,a}$) mellett egy érintőirányú komponens ($v_{m,t}$) is megjelenik, amely a lapkát a tengelye körüli forgásra kényszeríti. A külső hajtású megoldás esetén a szerszámszár egy, a forgó mozgást létrehozó motorhoz van rögzítve, így 0° terelőszögű eset is lehetséges.

Az 3. ábrán látható forgó szerszámos eljárásváltozatokkal nemcsak teljesíthető az alkatrészrajzon előírt felületminőség, hanem a műveleti idő és a teljesítményigény is csökkenthető (Popov, 2021). Nieslony és társai munkájában (Nieslony et al., 2020) a felületi érdesség csökkenését mérték az előtolás és a forgácsoló sebesség növelésével, mivel így a forgácsolóerő periodikus változását csökkentették. Ugyanakkor Joch és társai kutatásából kiderül, hogy az alkalmazott nagy előtolás miatt folyóforgács keletkezik, ezért megfelelő forgácsoló alkalmazása célszerű (Joch et al., 2019). A kényszerhajtásos szerszám esetén Olgun és Budak (Olgun and Budak, 2013) bebizonyították, hogy a hagyományos hosszlejtőtolásos esztergáláshoz képest jobb lesz a szerszámkopás, mert a szerszám éle nem csak egy pontban kopik, hanem a kör alakú lapka teljes kerülete mentén, mely a szerszám forgó segédmozgása miatt következik be. Olgun megfigyelte, hogy a terelőszög növelésével – azaz a lapka dőlésének növelésével – javul az éltartam. Ugyanakkor a terelőszög befolyásolja a megmunkált felületi minőséget is. Mivel az alkalmazott szerszám alapsíkbeli vetülete erősen nyújtott ellipszisnek (a zérus terelőszögű speciális esetben körnek) tekinthető, ezért érhetőek el kis érdességi értékek. Azonban a terelőszög növelésével a profil szélessége egyre kisebb lesz, ezért megfigyelhető az érdességi paraméterek romlása. A fenti eredményeket is alátámasztják a Vasilko kísérletei (Pilc and Vasilko, 2013).

Az alkalmazott lapka (ön- vagy külső hajtásból eredő) forgó mozgása miatt a folyamat hőmérsékleti jellemzői is kedvezőbbek lesznek, mint hagyományos eljárásnál. Hosokawa és társai kutatásából kiderül (Hosokawa et al., 2010), hogy külső hajtásos szerszám esetén a forgácsoló él hőmérséklete 25%-kal (115C°-kal) csökken egy körülfordulás során. A forgó kiegészítő mozgás miatt mindig a lapkának egy alacsonyabb hőmérsékletű része lép be a forgácsolási zónába, ugyanakkor az ebből a zónából kilépő élszakasznak a fogásból kilépve van ideje hűlni (Ahmed et al., 2021). Armarego elméleti (Armarego et al., 1994a) és kísérleti (Armarego et al., 1994b) munkájában a gombakéssel végzett megmunkálásnál fellépő erőket az ún. vékony nyírási zóna modellel kapcsolta össze a hagyományos esztergálással és az eredményeket kísérleti úton is igazolta.

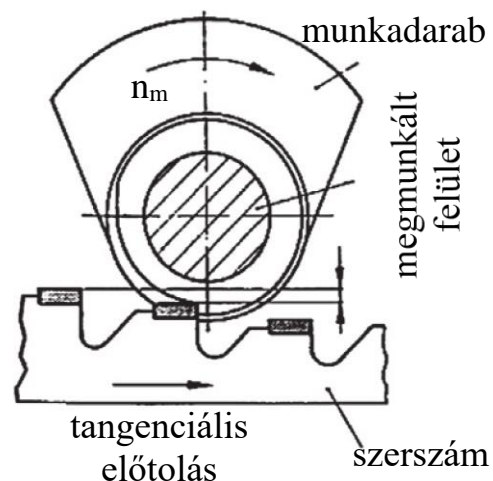
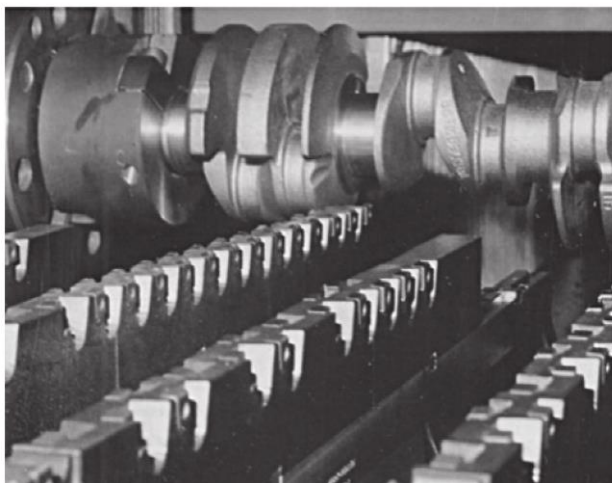


4. ábra. A tangenciális esztergálás és kinematikai vázlata (Schneider and Schreiber, 2002)

A hagyományos hosszsztergálástól eltérő egyenes vonalú előtoló mozgású külső hengeres felületek megmunkálására alkalmazott eljárások közül harmadikként a tangenciális előtolással végzett forgácsleválasztás elemzése következik (Schreiber and Trott, 1999). Ezen eljárásnál a szerszám konstrukciója mellett alkalmazott kinematika is eltér a hosszlejtőtolásos esztergálástól (4. ábra). Ebben az esetben a szerszám a munkadarab megmunkált felületét érintő pályán halad. A kinematika miatt ez a

technika nem csak külső hengeres felületek, hanem alakos felületek megmunkálására is alkalmazható megfelelő élprofil mellett. Ebben az esetben a szerszámprofil geometriája a megmunkálni kívánt felület geometriájából számítható. Külső hengeres felület megmunkálása esetén egyenes élű szerszám alkalmazandó. Itt is célszerű ferde élhelyzetű szerszámot alkalmazni. A hagyományostól eltérő geometria és kinematika miatt az éltartam jelentősen javul, a szerszám éle minden pontján kopik. A kopás nem koncentrálódik egy pontban, mint hagyományos hosszsztergálás esetén. Emiatt a folyamat hőmérsékleti jellemzői is jobbak lesznek, mivel a forgácsolási zónába mindig a szerszám alacsonyabb hőmérsékletű része kerül be. Mivel a mellémozgás eltérő, ezért a szerszám gép szempontjából is eltérő követelmények szükségesek, például megfelelő merevségűnek kell lennie (Fine, 1970). Ennek fő oka, hogy a megváltozott viszonyok miatt egyrészt a forgácsoló erő komponensei megváltoznak a hagyományoshoz képest; másrészt az egyszerre fogásban lévő hosszabb élszakasz miatt megnő a rezgésveszély. A megmunkálási pontosság is több tényezőtől függ (Nee and Venkatesh, 1985), például a terelőszög mértékétől, a tangenciális előtolás nagyságától vagy a fogásmélység értékétől. Alkalmazható az eljárás sodrásmentes felületek előállítására is (Schneider and Schreiber, 2002). Ennek oka, hogy a szerszám éle a megmunkálás folyamán végig érinti a munkadarab megmunkált felületének burkolóhengerét, így nagyon kis mértékű barázdamélység érhető el. Tömítőfelületek tangenciális esztergálással való megmunkálásának vizsgálatokor kielégítő eredmények születtek a szerszámkopás, az olajszivárgás és a költségek csökkentésében (Leichner et al., 2011). Próbálkoznak a kutatók a tangenciális előtolású esztergálás alkalmazására keményesztergálás esetén is (Schubert et al., 2013), többek között az EMAG szerszámgyártó cégnek is van ilyen megoldása (emag.com).

A tangenciális esztergálás speciális esete, amikor húzótüskét alkalmaznak az 5. ábra szerinti elrendezés szerint. Ekkor a fogásmélység a fogak megfelelő helyzetével van felosztva az egyes forgácsoló élek között. Az eljárás a bonyolult szerszám miatt kevésbé terjedt el külső hengeres felületek megmunkálására. Forgattyús tengelyek megmunkálásánál azonban az alkatrészen található rövid, két oldalról zárt hengeres felületek megmunkálásának hatékony módja (Berkold, 1992). A nagy termelékenység mellett megfelelő felületminőséget képes előállítani például vasalófogak alkalmazásával. Hátránya, hogy komplex gépet igényel, valamint tömeggyártásban használható a hosszadalmas szerszám- és gépbeállítás igénye miatt.



5. ábra. Külső hengeres felület megmunkálása húzótüskével és kinematikai vázlata (Grzesik, 2017)

A fenti elemzést összefoglalva megállapítom, hogy a terelőszög növelésével és ezzel együtt az élgeometriai viszonyok változtatásával a hagyományos esztergáláshoz képest jobb felületminőség, kedvezőbb éltartam érhető el. Hatékonyan javíthatóak a hőmérsékleti viszonyok és a forgácsoló erő komponenseinek aránya.

3. Körelőtollással dolgozó eljárások

Az egyenes vonalú előtolás mellett körelőtollás is alkalmazható külső hengeres felületek megmunkálására. Ezek közül három olyan eljárást mutatok be, melyeket napjainkban egyre szélesebb körben alkalmaznak tömeggyártásban: a spirálüregelést, a rotációs marást és a rotációs esztergálást.



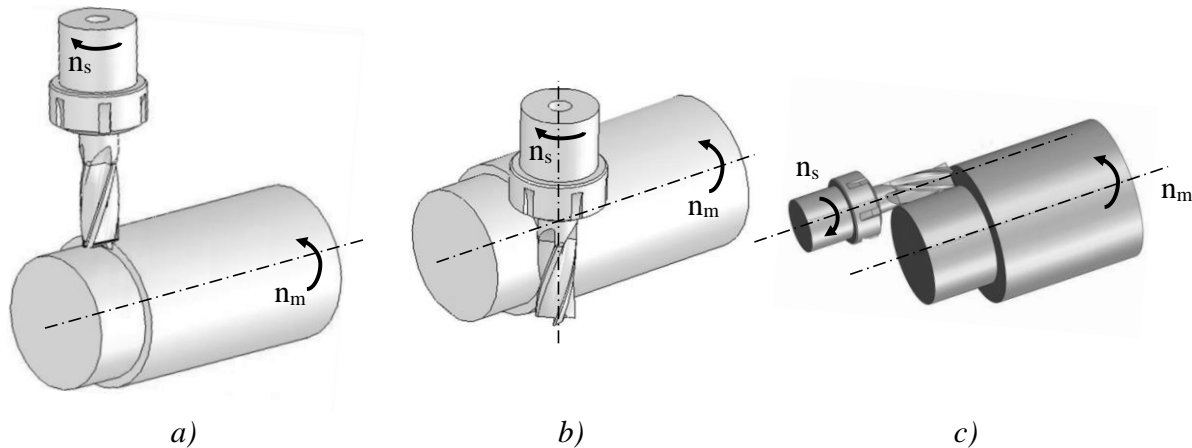
6. ábra. Spirálüregelés és a megmunkálás kinematikája (Grzesik, 2017; Knecht, 2014)

Az 6. ábrán a spirálüregelés (Reiter et al., 1989) és kinematikája látható (v_f – körelőtollásból származó előtoló sebesség, v_c – forgácsoló sebesség). Az eljárás hasonlít a lineáris üregeléshez, azonban itt az egymást követő élek egy spirálvonalon helyezkednek el. Így a körelőtollás közben fokozatosan változik az élék radiális irányú helyzete a munkadarab kész átmérő méretének eléréséig. Ezzel az eljárással a különböző méretű és alakú betétkések alkalmazása miatt különféle felületek munkálhatóak meg nagy ráhagyás mellett is (Arrazola et al., 2020). A szerszám lassú forgómozgása adja a körelőtollást, ezért az élgeometriai viszonyok a forgácsleválasztás közben változnak. A forgácsolóerő a terelőszög növelésével csökkenthető (Schroeter et al., 2007). A speciális szerszám és gépigény miatt tömeggyártásban alkalmazzák leginkább forgattyús tengelyek megmunkálására.

A külső hengeres felületeknek körelőtollással végzett eljárásai közül jelenleg a legelterjedtebb változata az ún. rotációs marás. (Karagüzel et al., 2015) Ebben az esetben vegyítik a marás és az esztergálás jellemzőit, így alakítva ki a megmunkált felületet. A marószerszám megmunkálás közbeni helyzetének és mozgásának függvényében számos változata alakult ki ennek az eljárásnak. A rotációs marás főbb lehetséges kinematikai viszonyait mutatja az 7. ábra (n_s – szerszám fordulatszáma, n_m – munkadarab fordulatszáma), melyek a következők:

- ortogonális: a szerszám és a munkadarab szimmetriatengelyei merőleges,
- tangenciális: a szerszám tengelye érinti a megmunkált hengeres felületet,
- koaxiális: a szerszám és a munkadarab forgástengelyei párhuzamosak.

Ebben az esetben a forgácsoló főmozgás a marószerszám forgómozgásából származik, míg az előtoló mozgás két összetevőből áll. Egyrészt a munkadarabnak szükséges lassú forgó mozgást – körelőtolást – végeznie ($n_s \gg n_m$), hogy a külső hengeres felület teljes kerületén meg lehessen munkálni.



7. ábra. A rotációs marás néhány eljárásváltozata (Karagüzel et al., 2015): a) ortogonális; b) tangenciális; c) koaxiális

Emellett szükséges a szerszám és a munkadarab elhelyezkedésétől függő irányban (a munkadarabhoz képest axiális, radiális vagy tangenciális) egyenes vonalú mozgásra is a fogásvételhez, illetve a teljes megmunkált felület előállításához a munkadarab és a szerszám méreteinek függvényében. Az eljárás forgácsleválasztási viszonyai és a felületképzés elve nagyon hasonlít a síkmarás esetére, amely tulajdonképpen végtelen átmérőjű hengeres munkadarab rotációs marásának felel meg.

Speciális szerszámgépre (hajtott szerszámhellyel rendelkező esztergaközponttra) van szükség a rotációs marással való megmunkáláshoz, amely a szerszám forgó mozgását biztosítani tudja. Az ilyen modern gépeken a két mozgás összehangolását a vezérlés segítségével érik el, így a főhajtást és a szerszám tartón elhelyezett hajtást mechanikailag nem szükséges összekötni. Ugyanakkor kellően merev gépre van szükség, hogy a megmunkálás közben jelentkező dinamikus igénybevétel ne befolyásolja a megengedettnél nagyobb mértékben a megmunkálás pontosságát.

A rotációs marással magas felületi minőség, jó forgácsleválasztási viszonyok és alacsony hőterhelés érhető el megfelelően megválasztott eljárásváltozat és technológiai adatok esetén (Schulz and Spur, 1990), akár köszörülthöz hasonló minőségű felület is létrehozható (Schulz and Kneisel, 1994). Az eltérő kinematikai és élgeometriai viszonyok miatt jobb felület érhető el termelékenyebben, mint hagyományos hosszesztergálásnál, ugyanakkor ezekből következően a gépi és technikai követelmények is magasabbak (Ekinović et al., 2007). A több éllel végzett megmunkálás miatt az eljárás matematikai leírása nem egyszerű feladat, amely többek között a felületi minőség és a forgácsoló erő vizsgálatához elengedhetetlen (Zhu et al., 2015). Például Döbberthin és társai is rámutattak az ortogonális és a tangenciális rotációs marás modellezésénél, hogy egy matematikai-analitikai alapokra építő számítógépes modellezéssel meghatározott elméleti felületi topográfia is eltér a valóságostól a gépmerevség és egyéb dinamikai tényezők miatt (Döbberthin et al., 2019).

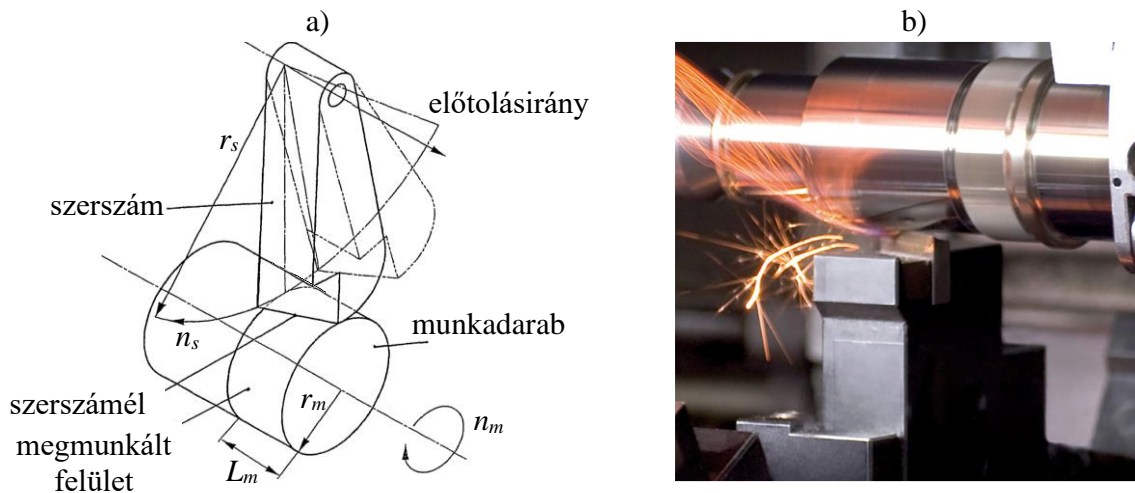
A merőleges tengelyű változat (7. ábra a) része) esetében a marószerszám homloklapjának síkja érinti a munkadarabot, vagyis a forgácsoló él a megmunkált felület alkotójával vonalmentén érintkezik. Karagüzel és társai az eljárás analitikus modelljét felhasználva határozta meg többek között a forgácsoló erő, a felületi érdesség és az anyagleválasztási ráta elméleti értékét (Karagüzel et al., 2017). A kísérleti

eredmények azt mutatják, hogy azonos kinematika mellett is az él helyzetének változtatása jelentős mértékben csökkentheti (közel 1/4-ére, 0,4 μm -re) az átlagos érdességet (Uysal et al., 2014). Berenji és társai a forgácsgeometria analitikus leírását felhasználva határozta meg az ortogonális rotációs marás folyamatjellemzőit (Berenji et al., 2019). Qiu és társai a forgácsolóél egyenletének és az egy előtolással későbbi szerszámhelyzet matematikai leírásából határozták meg a forgácsolóél számításának módját (Qiu et al., 2016), az elméleti és kísérleti vizsgálataikkal az él mentén az erőeloszlást tudták vizsgálni. A forgácsolóél vizsgálatát Martins és Filho modellezéssel oldották meg (Martins and Filho, 2012). 5D megmunkálóközponton részleges hengeres felületet munkáltak meg, lehetővé téve 3 egymásra merőleges irányú erőkomponens tanulmányozását, és az elméleti modell igazolását. A szakaszos forgácsleválasztásából adódik az ortogonális rotációs marás egyik korlátja, az elérendő köralakhiba, mely a munkadarab és a szerszám sebességviszonyától függ (Karaguzel et al., 2012).

Az 7. ábra b) részében látható a tangenciális rotációs marás, melyet ujjmaróhoz hasonló szerszámmal végeznek. Nagy hátránya lehet ennek az eljárásnak, hogy a szerszám burkolófelülete a megmunkált felületet egy pontban érinti, azonban Savas és Ozay munkájában látható (Savas and Ozay, 2007), hogy megfelelően választott technológiai adatok mellett biztosíthatóak a befejező megmunkálásokkal szemben elvárt felületminőségi követelmények, mivel a tangenciális rotációs marásnál az él alapsíkbeli vetülete a szerszámátmérőnek megfelelő körnek tekinthető. Az érdesség számítóképletének meghatározásához faktoriális kísérlettervezést alkalmaztak a forgácsoló sebesség, a fogásmélység, az axiális- és a körelőtölés figyelembevételével (Savas et al., 2016). Ez az eljárás alkalmazható többek között gördülőcsapágyak futófelületeinek megmunkálására a tribológiai feltételek javítására (Karpuschewski et al., 2017). Ennek oka a munkadarab felületén kialakuló barázdastruktúra (Jiang et al., 2011).

A rotációs marás harmadik változata koaxiális szerszámelhelyezésű (7.c) ábra). Ennél az eljárásnál a megmunkált felületen axiális irányú barázdák figyelhetőek meg a relatív mozgások miatt (Yohanes et al., 2018). Berenji és társai kutatásukban megmutatták, hogy a beállítási adatok közül szerszám és a munkadarab fordulatszám, illetve azok aránya befolyásolják leginkább a felületminőséget és a termelékenységet (Berenji et al., 2018). A szerszám és a munkadarab egymáshoz viszonyított helyzete miatt a leválasztott forgács geometriája hasonló a homlokmarást jellemzőjéhez (Karaguzel et al., 2015). Vizsgálatokat végeznek a koaxiális marás és az esztergálás együttes alkalmazására, ahol az előbbi eljárással nagyolják, az utóbbi eljárással simítják a felületet egy előtolás alatt (Maksimov and Firsov, 2016).

A rotációs esztergálás (Kummer, 2004) a koaxiális rotációs marás és a hántoló esztergálás egyesítésének tekinthető. Az eljárással elérhető felülettopográfia megfelel a rajzi előírásoknak és így a köszörülés kiváltására (Kummer and Vogt, 2004). A rotációs esztergálás geometriai és kinematikai viszonyait a 8. ábra alapján írom le. Az eljárás legfontosabb jellemzője az alkalmazott szerszám konstrukciója, és az ebből következő hagyományostól eltérő kinematikai viszonyok. A forgácsoló szerszám éle csavarvonal geometriájú, amely görbének a középvonala párhuzamos a munkadarab forgástengelyével. Emiatt az előtolás a szerszám lassú forgó mozgásából származik, míg a forgácsoló sebesség a munkadarab gyors forgó mozgásának kerületi sebességéből adódik. A fogásmélység a szerszám és a munkadarab tengelytávjának módosításával állítható be.



8. ábra. A rotációs esztergálás kinematikai vázlata

Rotációs esztergálás esetén az él eredő axiális előtolása két mellékmozgás összegzéséből ered: a körelőtolásból és a kiegészítő axiális irányú előtolásból. Az első komponens esetében figyelembe kell venni a csavarvonal emelkedési szögét. A körelőtolás tangenciális sebességkomponense a szerszám burkolóhengerét érintő vektorként képzelhető el.

Kundrák és társai a szerszám és a munkadarab normálmetszetében és az alapsíkban felírt jellegzetes élhelyzetek alapján határozták meg a szükséges szögelfordulás közelítő értékének számítási módját, amely alapján az eljárás termelékenységét elemezték (Kundrák et al., 2011). Megállapították, hogy a keményesztergálás reális alternatívája lehet edzett felületek megmunkálásánál. A geometriai elemzés alapján rámutattak a minimális eltávolítható anyagrétegvastagság befolyásoló szerepére a forgács szélesség és -vastagság arányának nagy értéke miatt (Kundrák et al., 2012).

Klocke és társai (Klocke et al., 2013) az elméleti érdekesség meghatározására egy olyan összefüggést javasoltak, amelynél a szerszámél alapsíkbeli vetületét egy kör geometriával közelítik, így visszavezetve az eljárást a rádiuszos lapkával végzett hosszelőtolásos esztergálásra. Kísérleti munkájukban azt tapasztalták, hogy az előtolás növelésével a szerszám lenyomata egyre jellemzőbbé válik. A számított értékek az előtolás függvényében jól követik a mért értékek változását, azonban 0,4 mm előtoláson 60%-kal, míg 1,0 mm előtoláson 20%-kal kevesebb értéket eredményeznek. Degen és társai (Degen et al., 2014) kutatásukban a keményesztergálással való összehasonlítás során arra jutottak, hogy lényegesen kisebb érdesség érhető el rotációs esztergálásnál (10-15-öd része (Felho and Varga, 2022; Martikán et al., 2017)). Ugyanakkor a kis forgácsvastagság miatt a szerszám beremegését tapasztalták.

Šajgalík és társai kutatásában (Šajgalík et al., 2016) a maximális érdesség számítási módjához a csavarvonalú szerszám alapsíkbeli vetületét elemezték és meghatározták trigonometrikus szögfüggvényként. A felírt cosinus függvényből számították ki az elméleti megmunkált felület csúcsmagasságát. Martikan és társai (Martikán et al., 2017) valamint Mrazik és társai (Mrázik et al., 2017) bemutatnak egy hagyományos esztergára szerelhető, egyedileg tervezett hajtott szerszám befogó készüléket, amellyel a körelőtolás biztosítható. Az elvégzett kísérletekben azt tapasztalták, hogy a munkadarab keménységének függvényében változik a Šajgalík és társai (Šajgalík et al., 2016) által meghatározott érdességszámító képlet pontossága. 50 HRC keménységnél 97%-os pontosságot, 40HRC

keményiségnél 61%-os pontosságot, 60 HRC-esetén 27%-os pontosságot tapasztaltak. További kutatómunka végzését javasolják a számítóképlet pontosítására.

A bemutatott körelőtolással végzett eljárásokat nagy termelékenység jellemzi. Helyesen megválasztott szerszámgeometria mellett teljesíthető az előírt felületminőségi kritérium. Azonban a mozgásviszonyok létrehozása merev szerszámgépkonstrukciót igényel.

4. Összefoglalás

A cikkben bemutattam azokat a külső hengeres felületeket megmunkálni képes eljárásokat, melyekkel hatékonyan javítható a termelékenység vagy a megmunkált felületi minőség. Az áttekintés során két csoportba soroltam az eljárásokat: egyenes vonalú előtolást alkalmazó és körelőtolással dolgozó. Elemeztem a hagyományos hosszsztergáláshoz képesti geometriai és kinematikai különbségeiket, valamint az elérhető hazai és nemzetközi szakirodalom alapján számba vettem előnyös és hátrányos tulajdonságaikat. Megfelelő beállítással képesek a befejező megmunkálásoknál megszokott felületi minőséget, méret és alakpontosságot elérni.

A hántoló esztergálás hasonlít legjobban a hagyományos hosszsztergálásra, így azt lehet a legszélesebb körben kivitelezni. Hátránya, hogy biztosítani kell a geometriából adódó szerszámkifutást, így leginkább csak a darab legnagyobb átmérőjű felületi munkálhatóak meg ezzel az eljárással. A forgó dolgozórésszű szerszámmal végzett megmunkálás különleges szerszámbe fogó berendezést igényel, mellyel a forgácsoló lapka forgatását meg lehet oldani. Ugyanakkor ezzel az eljárással lehet a legkisebb szerszámkopást és legjobb hőelvezetést elérni. A tangenciális esztergálás nem igényel szerszámkifutást a hántoló esztergáláshoz képest, viszont olyan gépen valósítható meg, amely képes érintőirányú előtolást alkalmazni. Emellett a szerszámbeállításra is érzékeny, amennyiben az él által a megmunkálás közben leírt síkfelület szögét zár be a munkadarab szimmetriatengelyével.

A spirálüregelés a költséges szerszám miatt leginkább tömeggyártásban alkalmazható, elsősorban olyan darabok megmunkálásánál, amelyek gyártása hagyományos esztergálással nem lenne gazdaságos. A rotációs marás hajtott szerszámhellyel rendelkező szerszámgépet igény, amely forgástengelyének főorsóhoz viszonyított helyzete behatárolja az alkalmazható eljárásváltozatot. Nagy termelékenység érhető el vele, azonban további simító megmunkálás alkalmazását igényli. A rotációs esztergálás is hajtott szerszámhelyes gépet igényel, azonban geometriai viszonyai miatt kielégíti a nagy pontosságot igénylő felületek által támasztott igényeket.

Irodalom

- [1] Tschätsch, H. and Dietrich, J. (2008). *Praxis der Zerspantechnik*. Springer DE.
- [2] Aramesh, M., Attia, M. H., Kishawy, H. and Balazinski, M. (2016). Estimating the remaining useful tool life of worn tools under different cutting parameters: A survival life analysis during turning of titanium metal matrix composites (Ti-MMCs). *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 12, 35–43. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2015.10.001>
- [3] Siller, A., Steininger, A. and Bleicher, F. (2015). Heat dissipation in turning operations by means of internal cooling. *Procedia Engineering*, 100, 1116–1123. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.01.474>
- [4] Waikar, R. A. and Guo, Y. B. (2008). A comprehensive characterization of 3D surface topography induced by hard turning versus grinding. *Journal of Materials Processing Technology*, 197(1), 189–199. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.05.054>

- [5] Black, J. T. and Kohser, R. A. (2007). *DeGarmo's materials and processes in manufacturing*. 10th edition, John Wiley & Sons, Inc.
- [6] Klimenko, S. A. and Manokhin, A. S. (2009). Hard “skiving” turning. *Journal of Superhard Materials*, 31(1), 42–54. <https://doi.org/10.3103/S1063457609010079>
- [7] Giles, C. R., Halliday, M. G. and Stone, B. J. (1981). Some power and geometry characteristics of axial skiving. *Annals of the CIRP*, 30(1), 83–86. [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)60900-7](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)60900-7)
- [8] Chen, W. (2000). Cutting forces and surface finish when machining medium hardness steel using CBN tools. *Int. Journal of Machine Tools and Manufacture*, 40(3), 455–466. [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(99\)00011-5](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(99)00011-5)
- [9] Hosokawa, A., Ueda, T., Onishi, R., Tanaka, R. and Furumoto, T. (2010). Turning of difficult-to-machine materials with actively driven rotary tool. *CIRP Annals*, 59(1), 89–92. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2010.03.053>
- [10] Popov, M. (2021). Prospects for the application of rotary cutting tools. *Materials Today: Proceedings*, 38(4), 1757–1759. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.254>
- [11] Nieslony, P., Krolczyk, G., Chudy, R., Wojciechowski, S., Maruda, R., Biłous, P., Lipowczyk, M. and Stachowiak, L. (2020). Study on physical and technological effects of precise turning with self-propelled rotary tool. *Precision Engineering*, 66, 62–75. <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2020.06.003>
- [12] Joch, R., Pilc, J., Daniš, I., Drbúl, M. and Krajčoviech, S. (2019). Analysis of surface roughness in turning process using rotating tool with chip breaker for specific shapes of automotive transmission shafts. *Transportation Research Procedia*, 40, 295–301. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.044>
- [13] Olgun, U. and Budak, E. (2013). Machining of difficult-to-cut-alloys using rotary turning tools. *Procedia CIRP*, 8, 81–86. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.06.069>
- [14] Pilc, J. and Vasilko, K. (2013). Development and applications of a rotating turning tool. *Manufacturing Technology*, 13(2), 226–231. <https://doi.org/10.21062/ujep/x.2013/a/1213-2489/MT/13/2/226>
- [15] Ahmed, W., Hegab, H., Kishawy, H. and Mohany, A. (2021). Estimation of temperature in machining with self-propelled rotary tools using finite element method. *Journal of Manufacturing Processes*, 61, 100–110. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.10.080>
- [16] Armarego, E. J. A., Karri, V. and Smith, A. J. R. (1994a). Fundamental studies of driven and self-propelled rotary tool cutting processes - I. Theoretical investigation. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 34(6), 785–801. [https://doi.org/10.1016/0890-6955\(94\)90059-0](https://doi.org/10.1016/0890-6955(94)90059-0)
- [17] Armarego, E. J. A., Karri, V. and Smith, A. J. R. (1994b). Fundamental studies of driven and self-propelled rotary tool cutting processes - II. Experimental investigation. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 34(6), 803–815. [https://doi.org/10.1016/0890-6955\(94\)90060-4](https://doi.org/10.1016/0890-6955(94)90060-4)
- [18] Schreiber, L. and Trott, K. (1999). *Verfahren zur drallfreien spanenden Bearbeitung von rotationssymmetrischen Flächen*. Patent DE19963897A1.
- [19] Schneider, J., Schreiber, L. (2002). Mit dem Tangentialdrehen zu drallfreien Oberflächen. *Werkstatt und Betrieb*, 6, 40–45.
- [20] Fine, L. (1970). Off centre turning. *International Journal of Machine Tool Design and Research*, 10(1), 15–24. [https://doi.org/10.1016/0020-7357\(70\)90022-3](https://doi.org/10.1016/0020-7357(70)90022-3)

- [21] Nee, A. Y. C. and Venkatesh, V. C. (1985). Form accuracy of tangentially skived workpieces. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 34(1), 121–124. [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)61738-7](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)61738-7)
- [22] Leichner, T., Franke, V., Sauer, B. and Aurich, J. C. (2011). Investigation of the tribological behavior of radial shaft rings and soft turned shafts under the influence of abrasive particles. *Production Engineering*, 5(5), 531–538. <https://doi.org/10.1007/s11740-011-0342-x>
- [23] Schubert, A., Zhang, R. and Steinert, P. (2013). Manufacturing of twist-free surfaces by hard turning. *Procedia CIRP*, 7, 294–298. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.05.050>
- [24] EMAG, *Scroll-free turning from EMAG: Fast, Precise, Reliable*. EMAG GmbH & Co. KG. [Online]. <https://www.emag.com/technologies/scroll-free-turning.html>. [Hozzáférés dátuma: 16. február 2021.].
- [25] Berktold, A. (1992). *Drehräumen gehärteter Stahlwerkstoffe*. PhD thesis, Aachen.
- [26] Grzesik, W. (2017). *Advanced machining processes of metallic materials*. 2nd edition, Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63711-6.00015-6>
- [27] Knecht, S. (2014). *Component solutions, Automotive - Crankshaft excellence*. Sandviken: Sandvik Coromant.
- [28] Reiter, N., Müller, M., Stallwitz, E. (1989). Technologie des Drehräumen. *Werkstatt und Betrieb*, 122(3), 201–206.
- [29] Arrazola, P. J., Rech, J., M'Saoubi, R., Axinte, D. (2020). Broaching: Cutting tools and machine tools for manufacturing high quality features in components. *CIRP Annals*, 69(2), 554–577. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2020.05.010>
- [30] Schroeter, R. B., Bastos, C. M., Filho, J. M. C. (2007). Simulation of the main cutting force in Crankshaft turn broaching. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47(12-13), 1884–1892. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2007.03.008>
- [31] Karagüzel, U., Uysal, E., Budak, E. and Bakkal, M. (2015). Analytical modeling of turn-milling process geometry, kinematics and mechanics. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 91, 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2014.11.014>
- [32] Schulz, H. and Spur, G. (1990). High speed turn-milling - a new precision manufacturing technology for the machining of rotationally symmetrical workpieces. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 39(1), 107–109. [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)61013-0](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)61013-0)
- [33] Schulz, H. and Kneisel, T. (1994). Turn-milling of hardened steel-an alternative to turning. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 43(1), 93–96. [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)62172-6](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)62172-6)
- [34] Ekinović, S., Begović, E. and Silajdžija, A. (2007). Comparison of machined surface quality obtained by high-speed machining and conventional turning. *Machining Science and Technology*, 11(4), 531–551. <https://doi.org/10.1080/10910340701804112>
- [35] Zhu, L., Jiang, Z., Shi, J. and Jin, C. (2015). An overview of turn-milling technology. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 81, 493–505. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7187-y>
- [36] Döbberthin, C., Taschenberger, S., Welzel, F. and Elmar, W. (2019). Modelling of turn-milled surfaces. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 101, 849–857. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2921-x>
- [37] Karaguzel, U., Bakkal, M. and Budak, E. (2017). Mechanical and thermal modeling of orthogonal turn-milling operation. *Procedia CIRP*, 58, 287–292. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.191>

- [38] Uysal, E., Karaguzel, U., Budak, E. and Bakkal, M. (2014). Investigating eccentricity effects in turn-milling operations. *Procedia CIRP*, 14, 176–181. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.042>
- [39] Berenji, K. R., Karagüzel, U., Özlü, E. and Budak, E. (2019). Effects of turn-milling conditions on chip formation and surface finish. *CIRP Annals*, 68(1), 113–116. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.067>
- [40] Qiu, W., Liu, Q. and Ding, J. Y. S. (2016). Cutting force prediction in orthogonal turn-milling by directly using engagement boundaries. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 86, 963–975. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-8173-0>
- [41] Martins, J. and Filho, C. (2012). Prediction of cutting forces in mill turning through process simulation using a five-axis machining center. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58, 71–80. <https://doi.org/10.1007/s00170-011-3391-6>
- [42] Karaguzel, U., Bakkal, M. and Budak, E. (2012). Process modeling of turn-milling using analytical approach. *Procedia CIRP*, 4, 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2012.10.024>
- [43] Savas, V. and Ozay, C. (2007). Analysis of the surface roughness of tangential turn-milling for machining with end milling cutter. *Journal of Materials Processing Technology*, 186(1), 279–283. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.09.040>
- [44] Savas, V., Ozay, C. and Ballikaya, H. (2016). Experimental investigation of cutting parameters in machining of 100Cr6 with tangential turn-milling method. *Advances in Manufacturing*, 4(1), 97–104. <https://doi.org/10.1007/s40436-016-0134-9>
- [45] Karpuschewski, B., Döbberthin, C., Risse, K., Deters, L. (2017). Analysis of the textured surface of tangential turn-milling. *Materials Performance and Characterization*, 6(2), 182–194. <https://doi.org/10.1520/MPC20160012>
- [46] Jiang, Z., Liu, X. and Deng, X.: *Modeling and simulation on surface texture of workpiece machined by tangential turn-milling based on matlab*, 2011 2nd International Conference on Artificial Intelligence, Management Science and Electronic Commerce (AIMSEC), Deng Feng, China, IEEE, 8-10 Aug. 2011, pp. 4072-4075.
- [47] Yohanes, Y., Handika, R., Jefryanto, G. and Yulianto, E. (2018). Development of turn-milling in conventional lathe machine. *Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace -science and engineering-*, 53(1), 10–17.
- [48] Berenji, K. R., Kara, M. E. and Budak, E. (2018). Investigating high productivity conditions for turn-milling in comparison to conventional turning. *Procedia CIRP*, 77, 259–262. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.09.010>
- [49] Maksimov, A. D. and Firsov, A. K. (2016). New roughing method for external surfaces of revolution of hard-to-machine workpieces. *Russian Eng. Research*, 36(5), 392–393. <https://doi.org/10.3103/S1068798X16050117>
- [50] Kummer, N. (2004). *Method and device for machining rotationally symmetrical surfaces of a workpiece*. Szabadalom száma: DE102004026675C5.
- [51] Kummer, N. and Vogt, B. (2004). Drallfreies Drehen ersetzt aufwändige Schleifprozesse. *IDR*, 38(IV), 332–335.
- [52] Kundrák, J., Gyáni, K. and Deszpoth, I. (2011). Precision hard turning of external cylindrical surfaces by rotation procedure. *Cutting & Tool in Technological Systems*, 77, 108–117.
- [53] Kundrák, J., Gyáni, K., Deszpoth, I. and Szabó, S. (2012). Hard turning with rotational feed procedure. *Development in Machining Technology - Scientific Research Report*, 2, Cracow, Cracow University of Technology, 42–49.

- [54] Klocke, F., Bergs, T., Degen, F. and Ganser, P. (2013). Presentation of a novel cutting technology for precision machining of hardened, rotationally symmetric parts. *Production Engineering*, 7(2-3), 177–184. <https://doi.org/10.1007/s11740-012-0438-y>
- [55] Degen, F., Klocke, F., Bergs, T. and Ganser, P. (2014). Comparison of rotational turning and hard turning regarding surface generation. *Production Engineering*, 8, 309–317. <https://doi.org/10.1007/s11740-014-0530-6>
- [56] Felho, Cs., Varga, Gy. (2022). Theoretical roughness modeling of hard turned surfaces considering tool wear. *Machines*, 10(3), 188. <https://doi.org/10.3390/machines10030188>
- [57] Martikán, P., Czán, A., Holubják, J., Varga, D., Martinček, J. and Czánová, T. (2017). Verification of new method of determining the roughness parameters for rotational turning with non-linear cutting edge. *Procedia Engineering*, 192, 563–568. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.097>
- [58] Šajgalík, M., Martikán, A., Czán, A., Pilc, J., Holubják, J. and Mrázik, J. (2016). Computing of the theoretical value of roughness parameter Rz when turning with helical cutting edge. *Technological Engineering*, 13(2), 9–10. <https://doi.org/10.2478/teen-2016-0013>
- [59] Mrázik, J., Martikán, P., Czán, A., Holubják, J., Varga, D., Martinček, J. and Czánová, T. (2017). Verification of new computing method for determining of the roughness parameters for rotational turning with non-linear cutting edge. *Technological Engineering*, 13, 44–46. <https://doi.org/10.2478/teen-2016-0023>