

FORGÁCSOLT ALKATRÉSZ KOMPLEX GYÁRTÁSTECHNOLÓGIAI OPTIMALIZÁLÁSA

Bognár Dániel^a, Andó Mátyás^{b*}, Takács Gergő^c

^a ELTE, Informatikai Kar, Savaria Műszaki Intézet, Duális gépészmérnöki BSc, 4. évf.

^b ELTE, Informatikai Kar, Savaria Műszaki Intézet, egyetemi docens

^c Schaeffler Savaria Kft., szektorvezető

ABSZTRAKT

Vizsgálatunk során a kéttömegű lendkerékben alkalmazott másodlagos tömeg forgácsolási műveletének optimalizálását hajtottuk végre. A kompaktgrafitos öntöttvas alapanyag (GGV30) esztergálása során jelentkező mikroporozitás-hiba és a képlékeny deformáció öntödei módosításokat igényelt, ahol a ferrit és perlit %-os arányának változtatásával csökkent a selejtes termékek száma. Az esztergálás során jelentkező alacsony éltartam növelésére wiper geometriájú keményfém váltólapkákat alkalmaztunk, amelyekkel jelentős, 15 db-os éltartamot értünk el. A megváltozott forgácsolási paraméterekkel 3%-os megmunkálási idő csökkentést értünk el, miközben a szerszámköltség kis mértékben csökkent. Az új szerszámok lehetőséget adnak arra, hogy a mérési folyamat a termeléssel párhuzamosan történjen, így jelentős időmegtakarítás érhető el műszakonként.

Kulcsszavak: *forgácsolás, másodlagos tömeg, GGV 30, wiper geometria, PFU folyamatképesség vizsgálat*

1. Bevezetés

Napjainkban a fejlődő technológiák és a gyártók közti kiélezett verseny megteremti a szükségességét a folyamatos fejlesztésnek, optimalizálásnak. Ennek eredménye, hogy a műszaki területen dolgozó mérnökök megvalósítják a méretpontos és hatékony gyártást. Ez egy állandóan újra jelentkező feladat, mert időről-időre a folyamatok kapcsán javítás, változtatás, optimalizálás szükséges. Sorozatgyártás esetén a termelt mennyiségek növekedése és a költségek csökkentése sem teszik lehetővé, hogy selejtes terméket állítsunk elő. Ez a szemléletmód tette szükségessé az általunk vizsgált termék teljes gyártástechnológiai elemzését.

Az alkatrészt a kéttömegű lendkerék szerkezetébe építik be, amelynek elsődleges feladata a torziós lengések csökkentése [1], ezért a gyártás során a hibamentes forgácsolás és a gazdaságos megmunkálás kivitelezése a fő irányelv. A kompaktgrafitos öntöttvas megmunkálása esztergagépek alkalmazásával történik [2]. A forgácsolási paramétereket a szívós alapanyag függvényében állítják be. Az elkészült felületek minősége függ az alkalmazott előtolás és vágósebesség kombinációtól, amelyek optimális megállapítása az esztergálási művelet kritikus lépései közé sorolható [3]. A gyártás során tapasztalható hibák azonosítása egyszerű és gyors próbagyártásokkal történik. Számos módszer és eszköz áll rendelkezésünkre, mint a vizuális ellenőrzés, váltólapka tesztelések, folyamatképesség vizsgálatok [4]. A folyamatfejlesztési intézkedések ellenőrzésére és kiértékelésére statisztikai módszereket alkalmazunk; amelyeket számítógépes szoftverek támogatnak. Általánosan elvárt igény, az elért eredmények minősítése, amelyek segítségével egzakt módon ítéhető meg a változtatás.

Munkánk célja a kéttömeggű lendkerék másodlagos tömegének gyártási és gazdasági szempontból történő átfogó vizsgálata és optimalizálása. A változtatások nagy potenciált rejtnek magukban, amelyekkel jelentős gazdasági előnyök járhatnak, illetve rejtett kapacitások szabadíthatók fel a termelésben.

2. Gyártási folyamat bemutatása

Az alkatrész mindkét oldalán vannak megmunkált felületek, ezért két megfogásban történik a forgácsolás. Függetlenes főorsó elrendezésű karusszel esztergán alakítják ki a geometriát [3]. Az első felfogásban kialakul a csapágyülék és a kúpos sűrűdőfelület. A második felfogás a szegecseleési magasság felületét hozza létre, de itt nem tapasztalható kritikus forgácsolási jellemző. Az első felfogásban a leválasztandó nagy anyagmennyiség, illetve az ebből adódó vékony geometria deformációt eredményezhet, így kritikusan tekinthető forgácsolás szempontjából. Célszerűsége miatt a vizsgálatokat a későbbiekben erre az oldalra vonatkozóan végeztük el [5]. Az 1. ábrán a megmunkált alkatrész kúpos sűrűdő, valamint szegecseleési felülete látható.

3. Anyag és módszer

A másodlagos tömeg alapanyaga kompaktgrafitos öntöttvas (jele: GGK 30). Ez az öntvény típus a lemezgrafitos és a gömbgrafitos öntvények előnyös tulajdonságait egyesíti, így az autóiparban is közkedvelt az alkalmazásuk. A nyersanyag 168 HBW keménységű, szilíciumkarbid (SiC) tartalma miatt a forgácsoló élre fokozott koptató hatással van [2].

Az alkatrészen jelentkező problémák azonosításához a másodlagos tömeget egy új bevezetésre kerülő termékként elemezzük, így azok a módszerek használatosak a teljes gyártási folyamat alatt, amelyek új termék esetén is javasoltak. A vizsgálat célja a valós gyártási körülmények során jelentkező „zajok” kiszűrése a folyamatból. A problémák meghatározása folyamán három csoportra bontható hibák jelentkeztek. Az alapanyaggal összefüggésben a mikroporozitás [2], valamint a forgácsolás során az anyag képlékeny kenődése [2]. A másik csoportba sorolható tényező a forgácsolás során tapasztalható alacsony éltartam. Számos okra vezethető vissza ez a jelenség, mint például alacsony minőségű váltólapkák, helytelen forgácsolási paraméterek vagy rossz szövetszerkezeti összetétel a nyersanyag esetén. Az előbb felsorolt két csoport nehezíti a forgácsolási műveleteket, továbbá a selejtes termékhez vezetnek, így mielőbbi változtatás szükséges. A harmadik csoport ettől különböző, ugyanis itt a munkaszervezés kérdése kerül előtérbe, amely inkább menedzsment feladat, azonban ennek megváltoztatása is műszaki alapokon kell, hogy nyugodjon.

Nyersanyagban jelentkező hibák kizárólag öntödei módosításokkal javíthatók. A mikroporozitás és a képlékenységi változtatása is ennek megfelelően zajlik. Ipari körülmények között ez hosszabb folyamat, mint egy forgácsolási paraméter optimalizálás, ezért ritkábban választják ezeket a változtatásokat, azonban esetünkben szükségessé vált. A megmunkáló szerszámot optimalizáló módszerek



1. ábra: Másodlagos tömeg megmunkált felületei

közé helyezhető a váltólapka-tesztelés folyamata, amely a megmunkálási területen, helyben elvégezhető. Ekkor a váltólapkák addig forgácsolnak, amíg az alkatrész egy jellemző mérete ki nem lép a tűrésmezőből. Ez alapján határozható meg az egy éllel megmunkálható alkatrészek száma, tehát az éltartam. Számos keményfém váltólapka gyártó, mint például Sandvik, Taegutec és Zcc termékeit teszteltük, amelyek 1,2 mm-es rádiusszal és kémiai bevonattal készülnek.

A módszerek kiértékelése elkerülhetetlen a sorozatgyártási folyamatok esetén, amelyet folyamatképesség-tesztekkel hajtunk végre. A folyamat elve szerint 30 egymást követő alkatrész összes rajzi mérete kiértékelésre kerül koordináta mérőgép segítségével. A mérés által szolgáltatott adatokat számítógépes szoftverrel minősítettük. Az adatokból meghatározható az a statisztikai valószínűség, amely szerint a gauss görbe normál eloszlását követve a méretek tűrésmezőhöz képest hova rendeződnek. A szórás és variancia segítségével számolható potenciális képesség index 1,91-os elvárt érték elérése szükséges [6].

A gyártástechnológiai folyamat során lehetőség van az egyes műveleti idők meghatározására (gépi ciklusidő, kézi idő, sétaidő). Ezek segítséget nyújtanak az egyes változások hatékonyságának vizsgálatában (optimalizálás költségre, termelési teljesítményre). Esetünkben elsődleges a gépkezelői beavatkozások csökkentése úgy, hogy a költségek és a megmunkálási idő összességében ne emelkedjen.

4. Eredmények

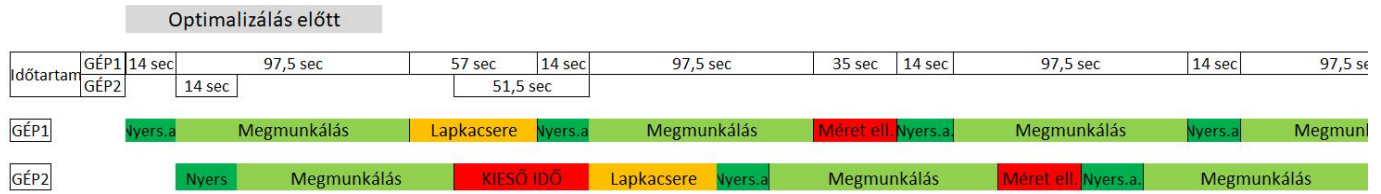
Öntvény megmunkálásánál jellemző az alapanyag vagy a szerszám minőségének kifogásolhatósága. A korábban említett fellazult szövetszerkezet az alkatrész működő felületén, az úgynevezett súrlódó felületen, 10%-os gyakorisággal jelentkezett, amely a 2. ábrán látható. A más alkatrészsel nem kapcsolódó felületeken mikroporozitás problémák megengedettek, ha ezeknek a teljes kiterjedése nem haladja meg a 45 mm-t. A hibák gyakran a hirtelen keresztmetszet-változásoknál lépnek fel, vagyis elsősorban bemetszés keresztmetszeti átmenetein, átkötési tartományaiban keletkeznek. Az okok a szilárdulási folyamatban keresendők, amelyet a vegyi összetétel, a szemcseállapot, a lehűlési feltételek és a geometriai hatások (pl. homokperem effektus, keresztmetszeti átmenetek) befolyásolnak. A módosítások esetén célszerű alkalmazni a Maurer-diagramot, amely segít a kívánt szövetszerkezet létrehozásában.

A forgácsolás közben jelentkező képlékenység tovább nehezíti a megmunkálást. Ezzel rontja a felületi érdességet és a minőséget, amely a selejt számok növekedését idézi elő. Az alapanyag változtatásánál az összetétel módosításával a keménység növelését is célul tűztük ki (185 HBW-re).

Öntödei változtatás során a szén és a szilícium tartalom arányának változtatásával a kívánt szövetszerkezet- és hűlési körülmények biztosíthatóak. Előírás szerint maximum 40%-ig növelhető a ferrit aránya. A perlit arányának növelésével és a ferrit %-os csökkentésével valósítottuk meg a



2. ábra: A súrlódó felület fellazult szövetszerkezete



3. ábra: Állásból származó veszteségidők azonosítása

módosítást, amely kedvezően a működő felületekről a nem működő felületekre helyezte át a felületi öntvényhibákat [7]. A keménység változtatása, amely a gyakorlatban a hűtési sebesség csökkentését jelenti, elősegíthető a grafitképződés, illetve a szilícium tartalom növekedésével elérhető az anyag keménységének növelése 168 HBW-ről 185 HBW-re [7]. A mikroporozitás az öntödei módosítások hatására pozitívan változott, azaz csökkent a selejtes termékek száma.

A gyártás során a másik probléma a szerszám alacsony éltartama. A forgácsolási folyamat során négy szerszámot alkalmaztunk, amelyek kialakítják a csapágyüléket, illetve a kúpos súrlódó felületet. Utóbbi simítása során jelentkezett az alacsony éltartam, amihez egy Taegutec TNMG 160412-TT7015 típusú váltólapkát használtunk. A biztonságosan alkalmazható éltartam 7 db termék megmunkálását teszi lehetővé. Jellemzően a lapkán abrazív kopás nyomai látszódnak. Az éltartam növelése céljából elvégzett váltólapka tesztekkel a megmunkálható darabszám növekedése tapasztalható. A következőben a folyamatot erre a simító szerszámmra mutatjuk be, mert a termelés szempontjából ez adja a kritikus keresztmetszetet. Az adott simítási műveletben a leghosszabb éltartamot a Sandvik lapkájával értük el. Az eredményeket az 1. táblázat foglalja össze.

A hatékonyságnövelés harmadik lehetősége a munkarendhez kapcsolódik. A forgácsolási megmunkálás elkerülhetetlen jelensége a váltólapka csere, amit egy műszakon belül 25 alkalommal hajtanak végre az optimalizált éltartam végett. A párhuzamosan dolgozó gépek két oldali szerszámcsereje csak egymást követően végezhető el, ekkor fedezhető fel az állásból származó kieső idő, amelyet a 3. ábrán láthatunk. A gép állásideje 51,5 s, amely egy teljes műszak során jelentős veszteséget jelent. Továbbá az ábrán megfigyelhető szerszámcserek utáni méret ellenőrzésből adódó kieső idő, amely szintén jelentős, 35 s kiesést jelent. Egy műszak alatt 25-ször cserélnek lapkát, így a gép állásából kieső idő 21,5 perc 8 órára vetítve.

5. Értékelés

Az 1. táblázat alapján látszik, hogy a Sandvik TNMX 160412-WMX3210 típusú lapka teljes biztonsággal 15 darab legyártására alkalmas. A 4. ábrán megtekinthető a javasolt lapka új és a forgácsolás utáni állapotban [8].

1. táblázat: Optimális szerszámmal elért eredmények

Sandvik TNMX 160412-WMX3210	
Teszt	Éltartam
1	15
2	15
3	17
4	21
5	17
1 él átlagosan	17



4. ábra: Sandvik típusú lapka új és károsodott képe

A szerszámon jellemzően kráteres kopások alakultak ki, a megnövekedett forgácsoló erő hatására. A wiper típusú élkialakításnak és az öntöttvasra kifejlesztett bevonattal megfelelő felületi érdesség érhető el (WMX3210). A lapka speciális geometriája (a felülettel párhuzamos forgácsoló él) csak nagyobb ráhagyások és leválasztandó anyagok megmunkálását segíti (általános ISO kialakításhoz viszonyítva). Ezért a lapka optimális működéséhez a forgácsolási paramétereket is változtatni kellett. Az előtolás fokozott növelésével elérhető az optimális forgácsolás, azonban el kell kerülni a lapka túlzott hőterhelését, amit a vágósebesség csökkentésével értünk el. A módosított értékek a 2. táblázatban láthatóak. A váltólapka teszteléseket követően elvégeztük azok kiértékelését folyamatképesség vizsgálattal, ezt szemlélteti az 5. ábra. A kiinduló állapot esetén a méretek nagy szóródása tapasztalható a kúpos súrlódó felületen. A méretek bizonytalansága mellett az éltartamok is változó értékeket mutatnak.

Az új Sandvik típusú váltólapkával megfigyelhető a méretek kis szóródása, így alkalmas akár szerzőszámkorrekció nélkül is biztosítani a 15 db-os éltartamot, a módszer a 6. ábrán látható. Váltólapkák alkalmazása során a paraméterek változtatása is elengedhetetlen tényező a megfelelő forgácsolási viszonyok eléréséhez. Ennek következtében a megmunkálási idő is változik. A vágósebesség csökkentése önmagában a megmunkáló program teljes idejének növekedését eredményezi, azonban az előtolás érték markáns változtatása az új lapkával 3,4 s időnyereséget jelent.

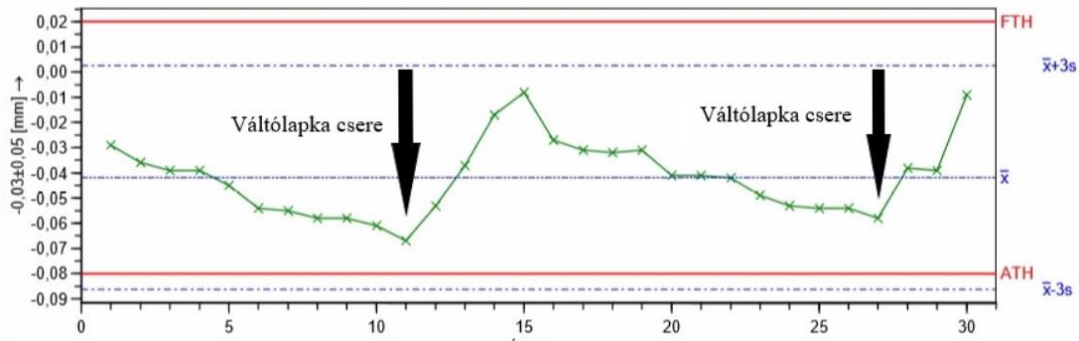
Az adott simító lapka esetén hátrányos a magas egységár, amely 5,53 €/db. Azonban a súrlódó felületet megmunkáló nagyoló szerszámra vonatkozó kritérium szerint, a simító és nagyoló lapkák éltartamának egyeznie kell az azonos időben történő csere megvalósításához minőségügyi szempontok végett. Így az éltartam mindkét szerszám esetén 15-re növekedett, amelynek így a magas egységárat ellensúlyozza. A nagyoló szerszámon nem jelentkezett kritikus forgácsolási hatás, így akár több mint 15 alkatrész megmunkálására is alkalmas lenne. Összességében 1711,85 €/év költség takarítható meg, mindemellett a résztvevő szerszámok egységesen tudják a 15 munkadarab legyártását. Az összességében 3%-os megmunkálási idő csökkenés éves szinten 97 óra gépkapacitás felszabadulását jelenti.

6. Munkaszervezési változtatások

Az öntvény anyagának változtatásai és az új szerszám alkalmazása lehetőséget ad egy új munkaszervezés tesztelésére is. A párhuzamosan futó megmunkálások növelik a hatékonyságot, azonban váltólapka csere során a vele szinkronban dolgozó gépállásból származó veszteségek is megnőnek. Sorozatgyártás idején és az éves megrendeléseket figyelembe véve, szignifikáns kieső idő azonosítható.

2. táblázat: Forgácsolási paraméterek változtatása

Elnevezés	Kiinduló érték	Optimalizált érték
vágósebesség [m/min]	500	400
előtolás [mm/ford]	0,23	0,4



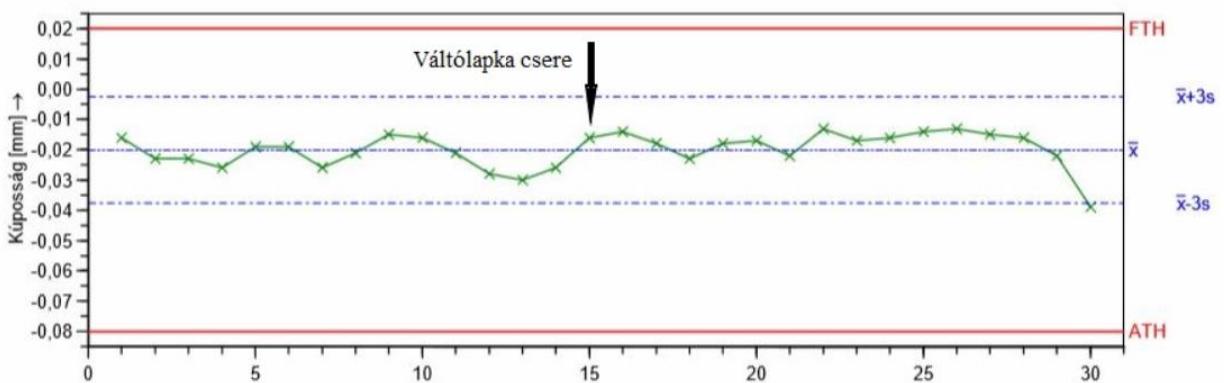
5. ábra: Folyamatképesség vizsgálati módszer

A korábbi eredmények alapot adtak arra, hogy a megmunkálási folyamat során ne kelljen a szerszámkopással foglalkozni 15 db megmunkálásáig. Továbbá a lapkacsere után a szerszám kinyúlási értékei a szerszám pontosságától függenek csak. Ennek nagyságrendje egyel kisebb, mint a gyártandó darab tűrése. Ez megadja a lehetőséget, hogy a darab ellenőrzését nem a gyártási folyamatban, hanem azzal párhuzamosan lehessen elvégezni. Ez további időmegtakarítást jelent, az optimalizált idővonalat a 7. ábra mutatja be.

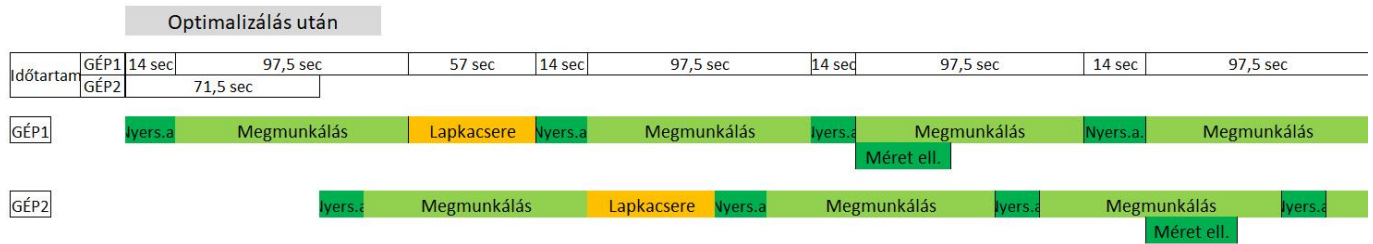
A megmunkálási folyamatok eltolása annak érdekében, hogy a másik gép mindig termeljen lapkacsere közben, illetve a mérés kiemelése a termelési folyamatból összesen 36 perc megtakarítást eredményezhet egy műszak során. A kiesések csökkentése növeli a gép kihasználtságát, illetve a dolgozó leterheltsége is egyenletesebb szintet mutat. Fontos megjegyezni, hogy ez a folyamat erősen függ a gépkezelőktől, vagyis az elérhető 36 perc csupán egy elvi érték. A kialakított új folyamat bevezetése még nem történt meg. Kiemelten fontos a szerszámkorrekciók nyomon követése a bevezetés során, mert ezzel igazolható a méretellenőrzés kiemelése és párhuzamosítása.

7. Eredmények

A teljes gyártási folyamat során a változtatások hatására szignifikáns eredmények jelentkeztek. A nyersanyag csoportjába sorolható és a gyártást nehezítő problémák az egész gyártástechnológiára hatással voltak. A váltólapka tesztek kiinduló állapotából, ahol a Taegutec TNMG 160412-TT7015 típusú szerszám dolgozott 7 éltartam volt elérhető. Az optimalizált szerszámmal, amely egy wiper kialakítású Sandvik TNMX 160412-WMX3210 típusú lapka az éltartamok 15-re javultak. Az éves költségeket tekintve több megmunkálási folyamat lapka cseréjét is beleszámolva 1711,85 €/év megtakarítás érhető el.



6. ábra: Javított folyamatképesség vizsgálati módszer.



7. ábra: Optimalizált idővonal

A simító szerszám forgácsolási paramétereinek módosítása a teljes megmunkáló programot 3,4 másodperccel javította. Ez megközelítőleg 3%-os időcsökkenést eredményezett. A kapacitás növekedés további termékek bevezetését is elősegítheti állandó dolgozói létszám és megmunkáló gép esetén.

Gyártási folyamatok során azonosított állásból származó veszteségek kiszűrése markáns időmegtakarítást eredményezhet. Azonban fontos megjegyezni, hogy ezek a változtatások hosszú távon csak magas gyártási fegyelem mellett tarthatók meg. A beavatkozások a megmunkálások javítása érdekében időben megvalósultak, ezzel jelentős eredmény valósítható meg. A fejlődő technológiák hatására mindig jelennek meg újabb és újabb eszközök, szerszámok és módszerek, amelyekkel a folyamatok optimalizálhatósága tovább növelhető.

8. Köszönetnyilvánítás

Az ED_18-1-2019-0030 szerződésszámú projekt (Alkalmazásiterület-specifikus nagy megbízhatóságú informatikai megoldások tématerület) a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a Tématerületi kiválósági program támogatásával valósult meg.

9. Irodalomjegyzék

- [1] A. Walter, S. Brummund és B. Merz, *Estimation of the instaneous engine torque for vehicles with dual mass flywheel*, IFAC Proceedings Volumes 40(10), 2007, pp. 167-174 [CrossRef](#)
- [2] Tisza M., *Az anyagtudomány alapjai*, Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 2013.
- [3] Ambrusné A.M., Árva J. és Nagy P.S., *Forgácsoló eljárások*, Műszaki Kiadó, Budapest, 2013.
- [4] Michelberger P., Szeidl L., Várlaki P., *Alkalmazott folyamatstatisztika és idősoranalízis*, Typo-text Kiadó, Budapest, 2001.
- [5] Hollanda D., *A forgácsolás alapjai*, Scienta Kiadó, Kolozsvár, 2008.
- [6] Kemény S., Papp L. és Deák A., *Statisztikai minőség szabályozás*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 2000.
- [7] C. Fragassa, G. Minak és A. Pavlovic, *Tribology in Industry*, Alma Mater Studiorum University of Bologna, Bologna, 2006.
- [8] A. Thakur, S. Gangopadhyay, *Influence of tribological properties on the performance of uncoated, CVD and PVD coated tools in machining of Incoloy 825*, Tribology International 102, 2016, pp. 198-212 [CrossRef](#)