

Magyar–német (TKA–DAAD) kutatócsere projekt

Záró beszámoló

A projekt adatai:

Nyilvántartási szám: 307695

Projektcím: Egyidejűleg végzett maró–köszörülő megmunkálás megvalósíthatóságának vizsgálata folytonos és megszakított sík felületek előállításakor

Magyar projektvezető neve: Dr. Maros Zsolt

Magyar intézmény neve: Miskolci Egyetem

Német projektvezető neve: Prof. Dr. Matthias Hackert–Oschätzchen /2019–ben Dr–Ing.

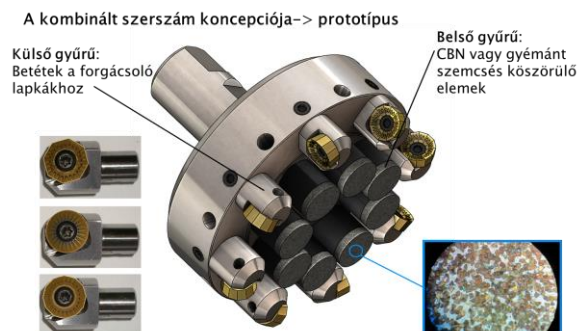
Florian Welzel/

Német intézmény neve: Otto von Guericke Universität Magdeburg

Támogatási időszak: 2019–2021

A. A projektidőszakban elvégzett munka összefoglalása (max. 2 oldal)

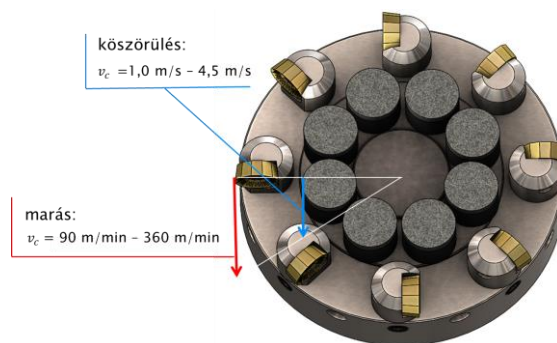
A projektben résztvevő partnerek évek óta együttműködnek kutatási és oktatási projekteken, kölcsönösen ismertek voltak a partner intézmények kutatóinak kutatási területei és speciális szakterületei, ezért a feladatok konkrét meghatározását rövid idő alatt elvégeztük és viszonylag hamar elkezdődött az érdemi munka. A munka- és időtervnek megfelelően – bár a Covid-19 általi korlátozások és lezárások okozta nehézségek által hátráltatva – igyekeztünk az eredeti tervnek megfelelően elvégezni a vizsgálatokat. Elsőként a szerszámkonstrukció tervezését és vizsgálatát végeztük el, amelyhez digitális 3D modell készült a SolidWorks szoftverben. Statikus és dinamikus szimulációkat végeztünk az elkészült modellen, majd az ezen vizsgálatok eredményei alapján elkészítettük a véglegesnek gondolt háromdimenziós modellt (amely, mint később kiderült csak az 1. verzió volt, lásd. 1. ábra).



1. ábra: Az 1. verziójú szerszámkonstrukció

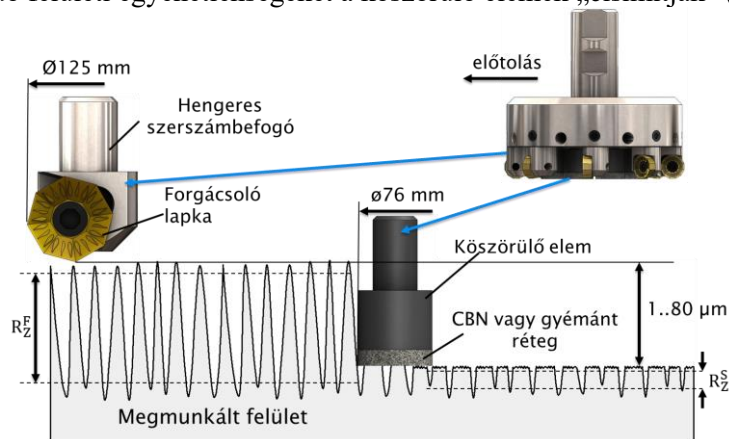
Ezt követően a digitális háromdimenziós modell segítségével elkészítettük az első verziójú szerszám alaptest, valamint a forgácsoló lapkák és a köszörülő elemek befogásához szükséges betétek megmunkálásának CNC programjait. Ezek segítségével a német partner elkészítette a fizikai szerszámelemeket, valamint a készre szerelt szerszámkonstrukciót. Ezzel párhuzamosan az új szerszámmal végzendő forgácsolási kísérletek tervezésével foglalkoztunk, amelynek során a faktoriális kísérlettervezés alkalmazásával meghatároztuk az elvégzendő kísérletek számát és az optimálisnak ítélt kísérleti paramétereket. Itt figyelembe kellett vennünk,

hogy a marófejnél a marólapkák és a köszörülő elemek eltérő forgácsolási sebességgel dolgoznak, amint az a 2. ábrán látható.



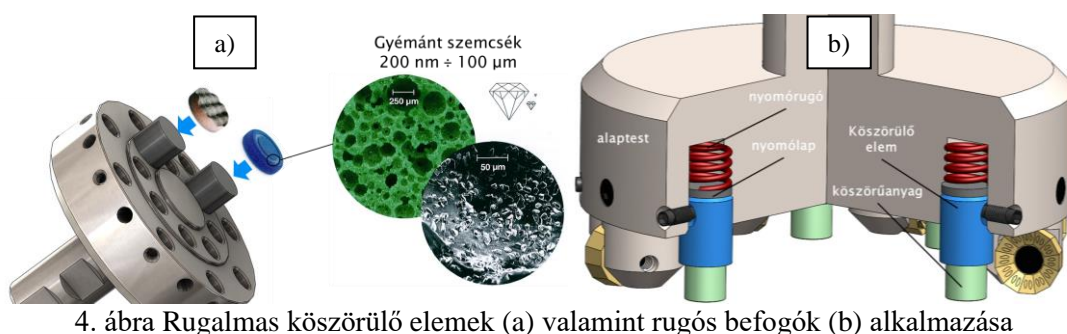
2. ábra A marás és a köszörülés során alkalmazott sebességek

Az elkészített forgácsoló szerszámmal mind a magdeburgi partner laboratóriumában, mind pedig a Miskolci Egyetem forgácsoló laboratóriumában elvégeztük a megtervezett kísérleteket. Ennek során arra jutottunk, hogy a köszörülő elemek alkalmazásával ténylegesen csökkenthető a megmunkált felületek érdessége, mivel a marásnál visszamaradó felületi egyenetlenségeket a köszörülő elemek „elsimítják” (3. ábra).



3. ábra A marásnál visszamaradó felületi egyenetlenségeket a köszörülő elemek elsimítják
 Rz^F : marásnál visszamaradó érdesség, Rz^S : köszörülés utáni érdesség

Ugyanakkor azt találtuk, hogy a köszörülő elemek merev rögzítése az MKGS rendszer dinamikus terhelése miatt nem optimális, több esetben lépett fel szerszámtörés, a köszörülő réteg sérülése. Ezen probléma megoldására két javaslatot dolgoztunk ki: az első javaslatunk, amelyet a gyakorlatban is teszteltünk, gyémántbevonatos hab köszörülő réteg alkalmazása a szerszámon (4/a ábra).



4. ábra Rugalmas köszörülő elemek (a) valamint rugós befogók (b) alkalmazása

Ezzel a megoldással biztosítható, hogy közel állandó erővel történjen a köszörülő elemeknek a felültre történő nyomása, ne történjen szerszámkárosodás. Az elemek rögzítése rugalmas ragasztóval történt, amelynél sajnos gyakori probléma volt a gyors leválás. Ezért kidolgoztunk egy másik lehetséges szerszámkonstrukciót, amelynek a kivitelezésére és gyakorlati tesztelésére sajnos már nem kerülhetett sor: egy rugós befogó elemekből álló forgácsolószerszámot terveztünk (4/b ábra), amelynek a köszörülő elemeket

egy nyomólapnak támaszkodó állítható nyomóerőt biztosító rugó nyomja a felülethez. Ezáltal a köszörülő elemek magassága is állítható, valamint könnyű a szerszám gyártása, össze- valamint szétszerelése is.

A különböző feladatok megoldásában a következő kutatók vettek részt:

A Miskolci Egyetem részéről:

- Dr. Maros Zsolt: Munkatervezés és feladatkiosztás, kísérlettervek készítése, projekt szakmai irányítása.
- Prof. Kundrák János: Szerszámkonstrukció vizsgálata, módosítási javaslatok kidolgozása.
- Dr. Felhő Csaba: A köszörülő elemek terhelésének a megmunkált felületre gyakorolt hatásának a vizsgálata. Felületi struktúra vizsgálata. A felületi érdesség modellezése, új geometriák tesztelése. Kapcsolattartás, projekt adminisztráció.
- Dr. Varga Gyula: Munka- és kísérlettervek egyeztetése, technikai feltételek körvonalazása. Közös publikáció kereteinek feltérképezése. Kísérleti eredmények kiértékelése.
- Dr. Molnár Viktor: A szerszám gyakorlati alkalmazhatóságának a vizsgálata, végelemes vizsgálatok.
- Sztankovics István: Forgácsolási előkísérletek végzése Magdeburgban. Előkísérletek kiértékelése. Forgácsolási kísérletek végzése Miskolcon.

Az Otto von Guericke Egyetem részéről:

- Dr.-Ing Florian Welzel: Munkaterv, a szükséges munkák meghatározása a munka- és időterv alapján.
- Dr. Thomas Emmer: Szerszámkonstrukció tervezés és kivitelezés. A projekt menedzsment és adminisztráció elvégzése (2019-ben).
- Dmytro Borysenko: Kísérleti feltételek meghatározása a szerszámkonstrukció vizsgálatához. Szerszámkonstrukció készre szerelése, köszörülő elemek rögzítési módjainak a vizsgálata, javaslatok kidolgozása. Forgácsolási kísérletek végzése.
- Dr. Christoph Lerez: A felületi struktúra vizsgálata. A módosított szerszámkonstrukció véglegesítése, kísérleti feltételek meghatározása a konstrukció vizsgálatához. A projekt menedzsment és adminisztráció elvégzése (2020/21-ben).
- Dr. Martin Beutner: Geometriai optimalizációk elvégzése, szimulációs vizsgálatok végzése. A szerszám gyakorlati tesztelése. Tervezési és alkalmazási irányelvek összefoglalása.

A fenti feladatok elvégzéséhez megvalósult mobilitások 2019-ben:

Név	Időtartam	Kutatómunka helyszíne
Prof. Kundrák János	2019.05.10.- 05.16.	Magdeburg
Dr. Varga Gyula	2019.05.10.- 05.16.	Magdeburg
Dr. Thomas Emmer	2019.07.27.-08.05.	Miskolc
Dmytro Borysenko	2019.07.27.- 08.07.	Miskolc
Sztankovics István	2019.09.01.-09.31.	Magdeburg
Dr. Maros Zsolt	2019.09.16.-09.23.	Magdeburg
Dr. Felhő Csaba	2019.09.16-09.21.	Magdeburg
Dr. Varga Gyula	2019.09.16-09.21.	Magdeburg
Dr. Thomas Emmer	2019.11.18-11.27.	Miskolc
Dmytro Borysenko	2019.11.18-11.27.	Miskolc
Christoph Lerez	2019.11.18-11.27	Miskolc

A 2020.-as évben a Covid-19 járvány miatt nem történt mobilitás, így a projekt meghosszabbítását kértük 2021-re.

A 2021-es évben megvalósult mobilitások:

Kutatók	Időtartam	Kutatómunka helyszíne
Dr. Felhő Csaba	2021.09.27-10.01.	Magdeburg
Dr. Molnár Viktor	2021.09.27-10.01.	Magdeburg
Dr. Varga Gyula	2021.09.27-10.01.	Magdeburg
Dr. Christoph Lerez	2021.11.02- 2021.11.12.	Miskolc
Dr. Martin Beutner	2021.11.02-11.12	Miskolc

B. A közös projekt eredményei (max. 2 oldal)

A közös projekt eredményeként számos vizsgálatot és forgácsolási kísérletet végeztünk el, amelyek közül itt a magyar fél által elvégzett vizsgálatok eredményeit mutatjuk be.

Miskolcon végzett forgácsolási kísérletek

Marási kísérleteket végeztünk homlok-marásnál a szokványos $a_p/f_z > 1$, és az ún. „inverzarányú” forgácsolás $a_p/f_z < 1$ forgácsaránnyal jellemzett elméleti keresztmetszetről. Itt az volt a cél, hogy a normál homlokmarásnál kialakuló felületi érdességet vizsgáljuk, amely összehasonlítási alapot fog képezni a későbbekben tervezett, speciális maró-köszörülő szerszámmal elvégzendő forgácsolási kísérleteknél. A kísérleteket állandó előtolás és változó fogásmélység, majd állandó fogásmélység és változó előtolás mellett, ezt követően pedig állandó értékű, de változó a_p/f_z arányú forgácskeresztmetszet leválasztásával végeztük. Ez utóbbi esetben az a_p/f_z arány 8–0,5 értékek között változott. Mértük a forgácsoló erőket és a megmunkált felületek 2D és 3D érdességi jellemzői. Az elkészített kombinált marófejjel (1.verzió) is végeztünk forgácsolási kísérleteket. Ennek során a Gyártástudományi Intézetben található Perfect Jet MCV–M8 típusú 3D CNC megmunkáló központot alkalmaztuk. A felületi érdesség mérését az Altisurf 520 típusú 3D felületi topográfia vizsgáló berendezés segítségével végeztük el. A CAD modellezésnél a Siemens NX rendszert alkalmaztuk, amely jó kompatibilitást mutatott a német fél által alkalmazott SolidWorks szoftverrel. A számítógépes szimulációkat (végelemes vizsgálatok) a ThirdWave AdvantEdge valamint a DEFORM szoftverekkel végeztük.

A Magdeburgban a miskolci PhD hallgató által végzett kísérletek

A maró-köszörülő előkísérletek célja

A speciális maró-köszörülő szerszámmal végzett homlokmarási előkísérleteink célja annak meghatározása, hogy milyen hatással van a felületi érdességre a speciális köszörülő betétek alkalmazása a marófejben. Emellett vizsgáltuk a szerszámmódosítás hatását a forgácsoló erő komponenseire is. Ezek alapul fognak szolgálni a második évben tervezett tényleges forgácsolási kísérletek tervezéséhez és elvégzéséhez.

A kísérleti vizsgálatok körülményei

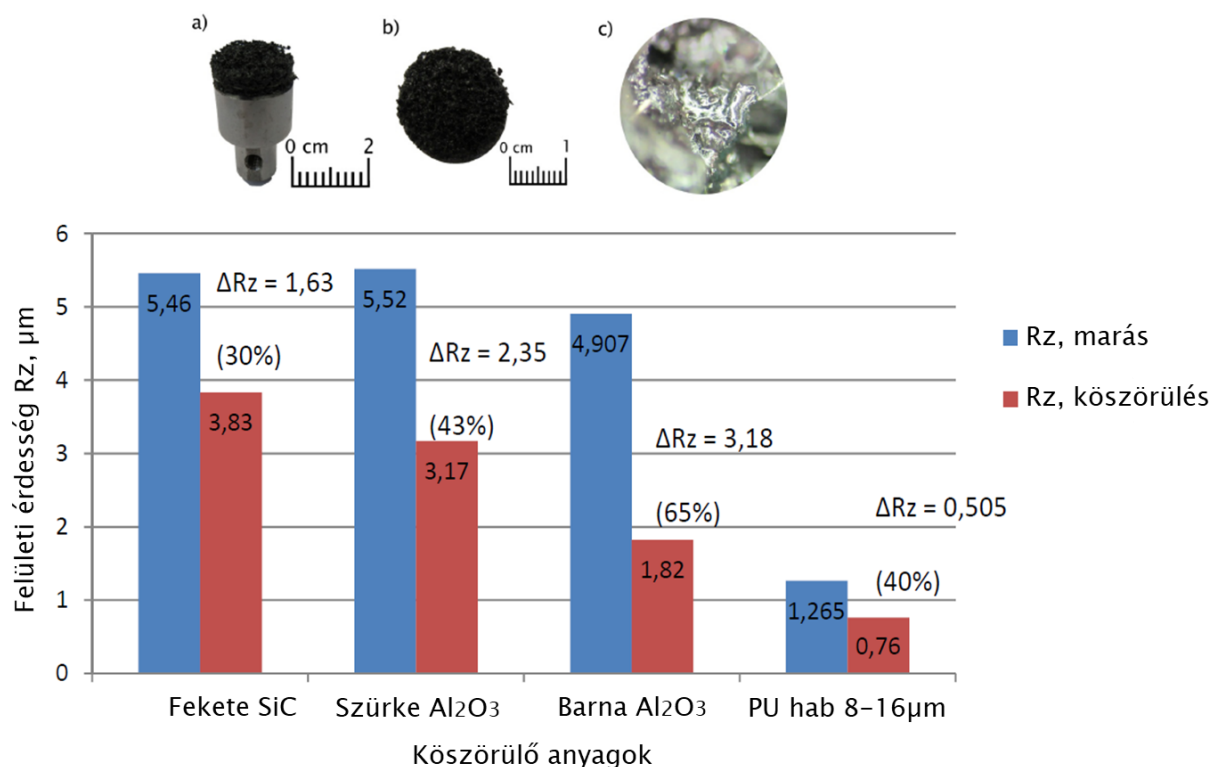
A marási kísérleteket Heller FT2000 többtengelyes megmunkáló központon végeztük el. A kísérletekhez a munkadarab anyagának C45 szénacélt választottunk, melynek keménysége 300 HV10 volt. A forgácsoló erő három komponensét Kistler Dynamometer Typ 9255B erőmérő egységgel, a felületi érdesség értékeit MAHR MarSurf M300C mérőeszközzel rögzítettük.

A megmunkálás után a munkadarabon érdességmérést végeztünk. A felületekről fényképfelvételek is készültek a későbbi elemzésekhez.

A kísérletek eredményei:

A közösen elvégzett kutatómunka legfőbb eredménye, hogy sikerült bemutatnunk, hogy a kombinált maró-köszörülő szerszám koncepció a gyakorlatban is alkalmazható. Három

lehetséges szerszámkonstrukciót dolgoztunk ki, amelyek közül kettőt le is gyártottunk, és elvégeztük velük a forgácsolási kísérleteket. Az elvégzett kísérletek során azt tapasztaltuk, hogy a felületi érdesség jelentősen csökkent a köszörülő elemek alkalmazásával. Az 5. ábra azt mutatja, hogy az egyes köszörülő elemek (köszörülő anyagok) alkalmazásánál milyen érdességcsökkenést, tehát felületminőség javulást tudtunk elérni.



5. ábra: Az egyes köszörülő elemek alkalmazásával elérhető érdességcsökkenés

Az eredmények alapján a következő általános megállapításokra jutottunk a kialakított szerszámkonstrukció tekintetében:

A megtervezett és elkészített szerszámkonstrukcióval ténylegesen csökkenthető a homlokmarat felületek érdessége. A köszörülő elemek nélküli szerszámmal végzett homlokmaráshoz képest az Rz egyenetlenségmagasság értékeinek a változásai a következők voltak: fekete SiC: marás: $R_{zm} = 5,46 \mu\text{m}$, köszörülés: $R_{zk} = 3,83 \mu\text{m}$ (30% javulás); szürke Al₂O₃: $R_{zm} = 5,52 \mu\text{m}$, $R_{zk} = 3,17 \mu\text{m}$ (43% javulás); barna Al₂O₃: $R_{zm} = 4,907 \mu\text{m}$, $R_{zk} = 1,82 \mu\text{m}$ (65% javulás); PU hab: $R_{zm} = 1,265 \mu\text{m}$, $R_{zk} = 0,76 \mu\text{m}$ (40% javulás).

A harmadik kidolgozott szerszámkonstrukció gyakorlati vizsgálatára a projekt rövidege miatt már nem kerülhetett sor, azonban az elvégzett elméleti számítások és számítógépes szimulációk (végeselemes vizsgálatok) alapján ezzel a szerszámmal még hatékonyabb felületminőség javulás várható.

C. Az együttműködés további szempontjai: (max. 3 oldal)

1. Mennyiben alapulnak a projekt elért eredményei a német–magyar együttműködésen?

A speciális szerszámmal végzett maró–köszörülő megmunkálás elméleti és kísérleti vizsgálatának feltétele a sikeres együttműködés. A maró–köszörülő szerszám tervezését és legyártását a Magdeburgi Egyetem Gyártástechnológia és Minőségmenedzsment Intézete végezte, a forgácsolásméleti kutatást a két intézmény Intézetei megosztva, folyamatosan összehangolva végzi. A szükséges szimulációs vizsgálatokat szintén a magyar fél végezte. Az elkészített szerszámkonstrukciók gyakorlati tesztelését mindkét helyszínen végeztük, a német partner által biztosított szerszámokkal. A kísérleti eredményeket is közösen értékeljük és várhatóan közös közleményeket jelentetünk meg a kutatás eredményeiből.

2. Hogyan befolyásolta a támogatás a projekt előmenetelét?

A kapott támogatás biztosította a kutató csoportok többszöri szakmai találkozáját Miskolcon és Magdeburgban. Ezeken a kutatási feladatok részletes megbeszélésére, kísérlettervek egyeztetésére, az elért eredmények bemutatására került sor. Továbbá egy magyar PhD hallgató egyhónapos magdeburgi és több német kolléga miskolci kutatómunkáját segítette megvalósítani.

3. Hogyan csatlakozott a második évi munka az első év eredményeihez?

A Pályázati anyagban leírt módon második év eredményei szorosan kapcsolódnak az első évben tervezett tevékenységekhez. Egyrészt a második évben elsődleges feladat volt a szerszámkonstrukcióval szemben feltárt hibák kiküszöbölése (rezgések csökkentése). Másrészt a továbbfejlesztett szerszámmal minősítő kísérleteket végeztünk el, amelynek során kimutattuk, hogy a megtervezett, majd módosított szerszámkonstrukció alkalmas a felületi érdesség csökkentésére.

4. Milyen szempontból volt jelentős a projekt a fiatal kutatók tapasztalatszerzése, szakmai fejlődése szempontjából?

Jelen pályázatunk segítségével egy magyar doktorandusz kapott lehetőséget külföldi kutatási tapasztalat szerzésére. Egy hónapon keresztül végzett kísérleteket a partner Intézetben.

Kutatási feladata: A forgácsolóerők és a felületi érdesség meghatározása a kialakított speciális maró–köszörülő szerszámmal a forgácsoló adatok függvényében. A kísérletek kiértékelésében is részt vettek a fiatal kollégák mindkét intézmény részéről. A Magdeburgban töltött idő elősegítette önálló munkavégzésre való képesség fejlődését, valamint fejlesztette az idegennyelvű szakmai kommunikációt is. A témához kapcsolódóan a Miskolci Egyetem Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskolában várhatóan témakiírásra kerül majd sor. A német fél részéről két PhD hallgató kapott lehetőséget a magyarországi mobilitásra 2019-ben. Ezt követően 2020-ban mindketten PhD fokozatot szereztek. Szeretnénk azt gondolni, hogy a Magyarországon szerzett szakmai és személyes tapasztalatok, az elvégzett szakmai konzultációk és személyes

találkozók is segítették őket a fokozatszerzésben, és a jövőben is hasznosítani tudják a projekt megvalósítása során szerzett tapasztalataikat.

5. Sorolja fel azokat a hazai vagy külföldi tudományos közleményeket és publikációkat, amelyek az együttműködés eredményeként jelentek meg!

A közös kutatási együttműködés részeredményeit is tartalmazza a projekt futamideje (2019–2021) alatt megjelent alábbi publikációk:

- Borysenko, Dmytro ; Karpuschewski, Bernhard ; Welzel, Florian ; Kundrák, J ; Felhő, Cs: Influence of cutting ratio and tool macro geometry on process characteristics and workpiece conditions in face milling, CIRP JOURNAL OF MANUFACTURING SCIENCE AND TECHNOLOGY 24 pp. 1–5. , 5 p. (2019)
- Mohammad, Zaher Akkad ; Dr. Csaba, Felhő: Effect of depth of cut and feed rate on the forces in face milling, MultiScience – XXXIII. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference, Miskolc–Egyetemváros, Magyarország : Miskolci Egyetem, (2019) pp. 1–8. Paper: D1–1 , 8 p.
- Mohammad, Zaher Akkad ; Csaba, Felhő: SIMULATING THE EFFECT OF DEPTH OF CUT AND FEED RATE ON THE FORCE COMPONENTS IN FACE MILLING, MULTIDISZCIPLINÁRIS TUDOMÁNYOK: A MISKOLCI EGYETEM KÖZLEMÉNYE 9 : 1 pp. 65–72. , 8 p. (2019)
- Csaba, Felhő ; Eszter, Rakonczai: FEM INVESTIGATION OF CUTTING FORCE COMPONENTS IN HIGH-FEED FACE MILLING, REZANIE I INSTRUMENTY V TEKHNOLOGICHESKIH SISTEMAH 91 : 1 pp. 191–199. , 9 p. (2019)
- Kékedi Petra – Maros Zsolt: Homlokmaráshoz alkalmazott forgácsoló lapkák vizsgálata a megmunkált felület érdességének amplitúdó paraméterei alapján, Multidiszciplináris tudományok, 9. kötet. (2019) 1 sz. pp. 81–87
- Felhő, Cs. ; Nagy, A. ; Kundrák, J.: Effect of Shape of Cutting Edge on Face Milled Surface Topography, LECTURE NOTES IN MECHANICAL ENGINEERING 2020 pp. 525–534. Paper: Chapter 46 , 10 p. (2020)
- Csaba, Felhő: Finite Element Modelling of Cutting Force Components in Face Milling, MULTIDISZCIPLINÁRIS TUDOMÁNYOK: A MISKOLCI EGYETEM KÖZLEMÉNYE 10 : 1 pp. 119–128. , 10 p. (2020)
- Kundrák, János ; Pálmai, Zoltán ; Karpuschewski, Bernhard ; Felhő, Csaba ; Makkai, Tamás ; Borysenko, Dmytro: Force and Temperature Conditions of Face Milling with Varying Chip Quotient as a Function of Angle of Rotation, MANUFACTURING TECHNOLOGY 21 : 2 pp. 214–222. , 9 p. (2021)
- Kundrák, J.; Karpuschewski, B. ; Pálmai, Z. ; Felhő, C. ; Makkai, T. ; Borysenko, D.: The energetic characteristics of milling with changing cross-section in the definition of specific cutting force by FEM method, CIRP JOURNAL OF MANUFACTURING SCIENCE AND TECHNOLOGY 32 pp. 61–69. , 9 p. (2021)
- Felhő, Csaba: A felületi érdesség CAD alapú modellezése nagytermelékenységű forgácsoló eljárásoknál, MULTIDISZCIPLINÁRIS TUDOMÁNYOK: A MISKOLCI EGYETEM KÖZLEMÉNYE 11 : 2 pp. 48–54. , 7 p. (2021)

Az együttműködés eredményeként tervezett közlemények/publikációk:

- A maró–köszörülő szerszámmal megmunkált felületek topográfiájának vizsgálata. Közös publikáció a Miskolci Egyetem és a magdeburgi Otto von Guericke Egyetem projektben résztvevő kutatóinak a részvételével, angol nyelven (részben már elkészült).
- A maró köszörülő eljárás hatása az érdességre és a forgácsolóerőre, valamint a szerszámrezgésre. Szintén közösen kidolgozni és megjelentetni tervezett publikáció angol nyelven (előkészítés alatt).

6. Milyen akadályokat vagy problémákat érzékelt a projekt végrehajtása során?

A projekt kidolgozását az ütemtervnek megfelelően igyekeztünk elvégezni. A közös munka során a több hátráltató tényezővel szembesültünk. Nyilvánvalóan a legnagyobb nehézséget 2020-tól kezdődően a Covid-19 járványhelyzet miatti lezárások, és mobilitási, személyes kapcsolattartási nehézségek okozták. Ebben nagy segítséget jelentett a projekt egy évvel történő meghosszabbításának a lehetősége, azonban így sem sikerült a tervezett mobilitásokat teljes egészében megvalósítanunk. A másik nehézséget (az első támogatási évben) a projekt támogatási szerződésének aláírásának a késése okozta. Ez nehézségeket okozott mind a magyar kutatók külföldi utazása, mind a külföldi partner kutatók magyarországi tartózkodása tekintetében, mivel a pénzügyi támogatás bizonytalansága miatt a mobilitások szervezését nem tudtuk időben elkezdni. Mindazonáltal a partnerek rugalmassága biztosította, hogy ez a probléma ne legyen nagy hatással az elvégzendő szakmai feladatokra.

7. Mi a legjelentősebb szakmai eredmény, amit kiemelne a projektegység együttműködés kapcsán?

A kidolgozott új konstrukciójú maró–köszörülő szerszám, amely az elvégzett előkísérletek alapján alkalmas a felületi érdesség csökkentésére homlokmarásnál. Ezzel a korábban alkalmazott külön köszörülési művelet elhagyható homlokmarással megmunkált gépalkatrészeknél. Bemutattuk, hogy ezen köszörülő elemek a gyakorlatban is működnek, konkrét számszerű eredményeket tudtunk felmutatni.

8. Van-e olyan javaslat, amivel módosítaná a pályázati felhívás és végrehajtás szempontjait a jövőre nézve?

Meg lehetne fontolni, hogy a sikeres és a folytatásra érdemesre tartott témáknál, a folyamatosságot hogyan tudnák biztosítani. Kiemelten figyelni kellene arra, hogy a támogatás elnyerése után a résztvevők a tervezett ütemben tudják a mobilitásokat megvalósítani, ne kelljen a támogatási szerződések aláírására várniuk, mert ez mindenképpen hátráltatja a projektek sikeres megvalósítását, és rossz benyomást kelthet a partnerekben is.

Kelt: Miskolc, 2021. december 03.



Aláírás