

Magyar–német (TKA–DAAD) kutatócsere projekt

Záró beszámoló

TEMPUS KŐZALAPÍTVÁNY

Érkeztetési azonosító:
04511C/2017
2017 DEC 07

ÉRKEZETT
Iktatószám: DAAD-218-2/2016

A projekt adatai:

Nyilvántartási szám: 73526

Projektcím: Speciális marás folyamatjellemzői és a mart felület topográfiája

Magyar projektvezető neve: Prof. Kundrák János

Magyar intézmény neve: Miskolci Egyetem

Német projektvezető neve: Prof. Bernhard Karpuschewski

Német intézmény neve: Otto-von-Guericke Egyetem Magdeburg

Támogatási időszak: 2016–2017

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

- **A kutatás célja:**

Speciális szerszámmal végzett nagyelötölású homlokmarás elméleti és kísérleti vizsgálata.

- **Az elvégzendő feladatok**

A hatékony forgácsleválasztást különböző síkokban, speciális elhelyezéssel, nagy előtolással és fogásmegosztással, az $a_p/f_z < 1$ un. „inverz forgácsarány” jellemzett és speciális szerszámmal végzett homlokmarás elméleti és kísérleti vizsgálata, amelynek eredményként az eddiginél termelékenyebb marószerszám és technológia fejleszthető ki.

Speciális marószerszám tervezése. Az új, speciális marószerszámmal végzett forgácsleválasztás elméleti és kísérleti vizsgálata illetve az alapján ipari alkalmazásra érett megoldás kidolgozása. A megmunkált felület várható felületi topográfiájának (érdességének) tervezhetőségének kidolgozása, és a forgácsoló élek elhelyezését a megmunkált felület működési követelményeknek megfelelő minőségének és pontosságának létrehozása.

- **A munka megtervezése és az elvégzendő feladatok megosztása**

A projektben résztvevő partnerek évek óta együttműködnek kutatási és oktatási projekteknél kölcsönösen ismertek voltak a kutatók kutatási területei és speciális szakterületei, ezért a feladatok konkrét meghatározását rövid idő alatt elvégeztük és viszonylag hamar elkezdődött az érdemi munka. A kutatási feladatok megoldásába a projektben tervezett módon új kollégák is bekapcsolódtak.

A munka- és időtervnek megfelelően, meghatározásra kerültek az elkövetkező időszak feladatai és a konkrét feladatkiosztás. A különböző feladatok megoldásában az alábbi kutatók vettek részt:

2016-ban:

Kutatók	Kutatómunka helyszíne	Kutatási feladat
Prof. Kundrák J	Miskolc	Munkatervezés és feladatkiosztás, kísérlettervek készítése
Dr. Thomas Emmer, Prof. Bernhard Karpuschewski	Magdeburg	Munkaterv, a szükséges munkák meghatározása, a munka- és időterv alapján. Szerszámkonstrukció tervezés és kivitelezés
Prof. Kundrák János, Dr. Felhő Csaba	Magdeburg	Munka- és kísérlettervek egyeztetése, technikai feltételek körvonalazása. Kísérletek kiértékelése.

		Szerszámkonstrukció vizsgálata.
Nagy Nóra, PhD hallgató Sztankovics István, PhD hallgató	Magdeburg	Forgácsolási kísérletek végzése Magdeburgban
Prof. Bernhard Karpuschewski, Dr. Florian Welzel, Konstantin Risse	Miskolc	Az elvégzett kísérletek elemzése, további feladatok egyeztetése.
Dr. Varga Gyula, Dr. Maros Zsolt	Magdeburg	Forgácsolás modellezése, folyamatjellemzők vizsgálata Végeselemes vizsgálatok

2017-ben:

Kutatók	Kutatómunka helyszíne	Kutatási feladat
Prof. Kunderák János	Miskolc	Munkatervezés és feladat kiosztás, kísérlettervek készítése
Prof. Bernhard Karpuschewski, Dr. Thomas Emmer	Magdeburg	Munkaterv, a szükséges munkák meghatározása, a munka- és időterv alapján.
Prof. Kunderák János	Magdeburg	Munka- és kísérlettervek egyeztetése, technikai feltételek körvonalazása. Kísérletek kiértékelése.
Dr. Felhő Csaba, Dr. Varga Gyula	Miskolc	Módszer kidolgozása a különféle geometriájú forgácsoló lapkák összehasonlítására az elméleti érdekesség alapján. Felületi érdekesség CAD-alapú modellezésének a kidolgozása
Dr. Thomas Emmer, Patrick Niechciol és Sascha Schmidt hallgatók	Miskolc	A geometriai és kinematikai viszonyok hatásának elemzése a forgácsoló lapkák helyzetének, a forgácsoló él geometriájának optimalizálása szempontjából.
Dr. Varga Gyula, Dr. Deszpoth István	Magdeburg	Forgácsolási kísérletek végzése, mérési adatok kiértékelése
Dr. Thomas Emmer, Dmytro Borysenko PhD hallgató, Dau Manh Tung hallgató	Miskolc	Elméleti összehasonlító vizsgálatok végzése különböző a_p/f_z arányokra
Dr. Varga Gyula, Dr. Maros Zsolt, Dr. Felhő Csaba	Magdeburg	A kapott elméleti és kísérleti eredmények összefoglalása, javaslatok kidolgozása a projekt folytatására
Prof. Kunderák János, Prof. Bernhard Karpuschewski	Magdeburg	Projekt zárása, összefoglaló értékelése, jelentéskészítési feladatok egyeztetése. További pályázatok előkészítése a német partnerrel

2016-ban elvégzett kísérleti feladatok az alábbiak voltak:

A kutatás a forgácsolószerszámokra vonatkozó tervezési (konstrukciós) feladatok, a forgácsleválasztás folyamatának végeselemes elemzésére, valamint konkrét forgácsolási vizsgálatok elvégzésére irányultak.

Miskolcon végzett forgácsolási kísérletek

Marási kísérleteket végeztünk homlokmarásnál a szokványos $a_p/f_z > 1$, és az un. „inverzarányú” forgácsolás $a_p/f_z < 1$ forgácsarányjal jellemzett deformálatlan keresztmetszetről.

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 érdekességi jellemzői. A vizsgálatokat egy és öt lapkát tartalmazó marófejjel végeztük és tanulmányoztuk a lapka beállítási hiba hatását is a forgácsolási folyamatra. Az eredményeket feldolgoztuk és publikáltuk.

A Magdeburgban a miskolciak (PhD hallgatók) által végzett kísérletek

A marási kísérletek célja

A homlokmarási kísérleteink célja az előtolás változás forgácsoló erőre és felületi érdekességre gyakorolt hatásának vizsgálata volt különböző fogásmélységek esetén 0° főélelhelyezési szög mellett. Az egyes fogásmélység értékeknél (0,1; 0,4; 0,8) az előtolást úgy állítottuk be a kísérletek során, hogy azonos a_p/f_z arány adódjon (4, 2, 1, 0,5, 0,25). Emellett vizsgáltuk állandó nagyságú keresztmetszet mellett a forgácsalak hatását a forgácsoló erőre és a felületi érdekességre.

2017-ban elvégzett kísérleti feladatok az alábbiak voltak:

A kísérletek a kereskedelmi forgalomban beszerezhető és a kutató team által tervezett és legyártott marószerszámokkal végzett forgácsleválasztási folyamat tanulmányozására az alábbi feltételek mellett végeztünk kísérleteket:

R252.44-080027-15M homlokmaró fej R215.44-15T308M-WL GC4030 forgácsoló lapkával, C45 acél forgácsolása, egyidejűleg 1 db lapkával. $a_p = 0,4$ mm, $f_z = 0,1 \div 1,6$ mm paraméterekkel.

R590-080027A-11M marófej, R590-1105H-PS2-NL CD10 lapkával, AlSi9Cu3(Fe) anyag forgácsolása, $a_p = 1,5$; $f_z = 0,06 \div 1,5$ mm paraméterekkel (1 lapkával)

A speciális marófejjel: $\kappa_r = 45^\circ$ és 90° ; $\gamma_p = 0-15^\circ$; $\gamma_f = 0-40^\circ$:

Kísérleti beállítások: $a_p/f_z = 10$ és $0,1$; $v_c = 200$ m/min

A fenti kísérleti beállításokkal elvégeztük a 2D és 3D érdességi paraméterek modellezését illetve azok validálását kísérleti úton.

- A Magdeburgban a miskolci kollégák által végzett kísérletek

A vizsgálatok célja növelt előtolású esztergáláskor a fajlagos forgácsolóerő komponensek ($k_{c1.1}$, $k_{p1.1}$, $k_{f1.1}$) és a hozzájuk tartozó hatványkitevők (z_c , z_p , z_f) meghatározása, több kísérletsorozattal acél anyagú munkadarabnál. A Kienzle és Viktor által alkalmazott korrekciós tényezők közül a forgácsoló sebesség (v_c) és a homlokszög (γ_0) és a hátkopás hatását vettük figyelembe.

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

Vizsgálatokat végeztünk annak elemzésére, hogy a forgácsképződés mechanizmusát homlokmarásnál hogyan befolyásolja az a_p/f_z deformálatlan keresztmetszeti viszonyszám. elemeztük hogyan változik a forgácsolási folyamat energiaigénye, stabilitása, a szerszám igénybevétele és a megmunkált felület minősége. E hatások elméleti feltárásához vizsgáltuk a forgácsképződés mechanizmusát és a forgácsleválasztás sajátosságait.

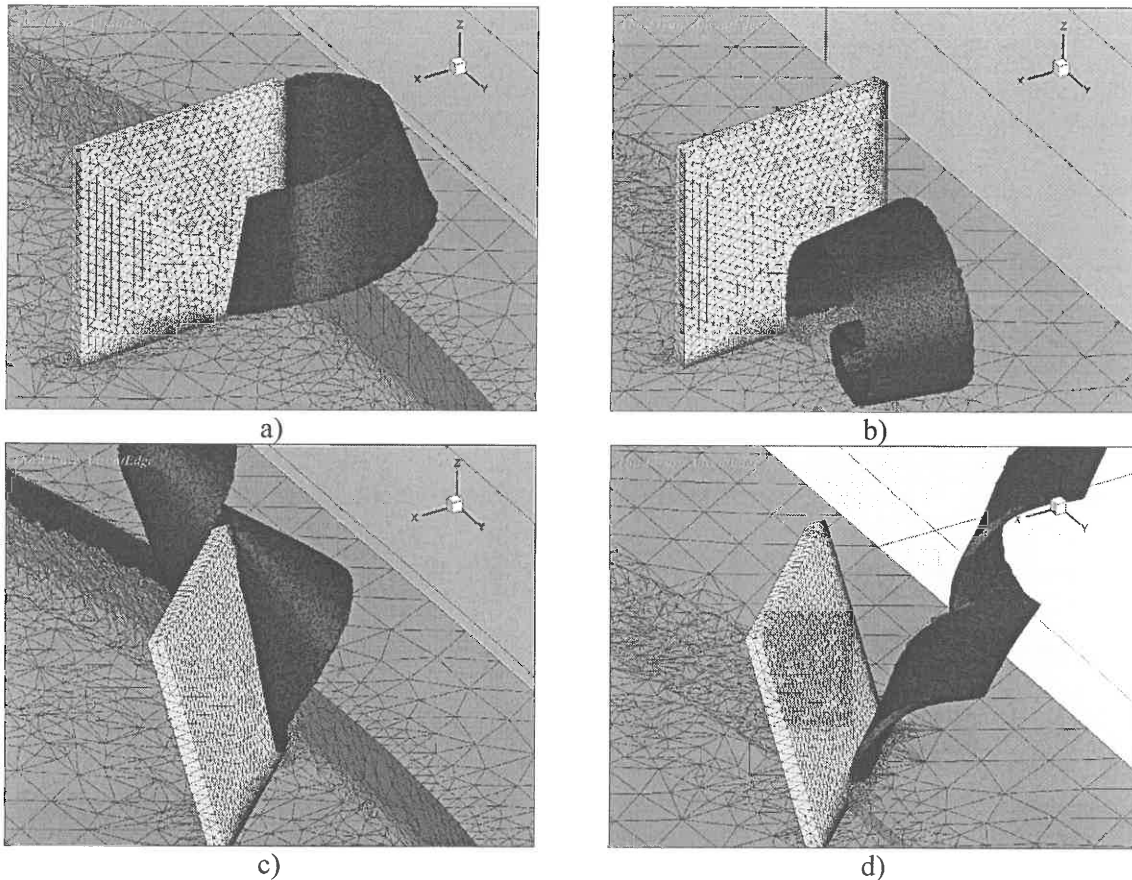
- Az a_p/f_z viszonyszámnak a forgácsképződés mechanizmusára gyakorolt hatását ortogonális forgácsolásnál VEM (végeelem-módszer) vizsgáltuk és elemeztük az a_p/f_z viszonyszám függvényében a szerszám és a munkadarab érintkezésének környezetét. Ennek vizsgálatát elvégeztük a 3D-s AdvantEdge végeelemes szoftverrel is.
- A forgácsolási kísérletek segítségével elemeztük a marásra jellemző szakaszos forgácsleválasztásra, az eltávolítandó réteg (ráhagyás) nagyságának, a forgácsaránynak, a forgácsoló lapkák számának hatását.
- Vizsgáltuk, hogy a nagy a/f aránynál a tengellyel párhuzamos főforgácsoló éléről hogyan megy át az él terhelése a homloksíokban elhelyezkedő mellékforgácsoló élre az a_p/f_z csökkenésekor.
- Forgácsolási kísérletek során vizsgáltuk a marási folyamat stabilitását egy, ill. több lapka egyidejű alkalmazásakor, figyelembe véve a lapkák beállítási hibáit is.
- Magdeburgban a mi javaslatainkat is figyelembe véve fejlesztették tovább a szerszám konstrukcióját.
- VEM elemzést és forgácsolási kísérleteket végeztünk a szerszám igénybevételének meghatározására a forgács a_p/f_z viszonyszáma, a lapka alak és elhelyezés, továbbá a technológiai adatok változtatásának függvényében.

Az élgeometria és lapkaelrendezés fejlesztésének fő iránya olyan geometria létrehozása, amelynél növelhető a felületképzési sebesség és az anyagleválasztási sebesség. Ennek vizsgálata a magdeburgi kollégák vezetésével folyt.

- Vizsgáltuk (VEM-el is) a lapka munkadarabra való belépésének körülményeit. 9 eset különíthető el a radiális (γ_f) és az axiális (γ_p) homlokszög értéke, a munkadarab szélessége, valamint a szerszám átmérője alapján. Megállapítottuk, hogy a forgácsarány függvényében változik a forgácsleválasztás homlokszöge és terelőszöge, mégpedig $a_p/f_z > 1$ esetén $\gamma_p = \lambda_s$, $\gamma_f = \gamma$, ugyanakkor $a_p/f_z < 1$ esetén $\gamma_p = \gamma$, $\gamma_f = \lambda_s$. Véges elemes vizsgálatokat végeztünk az egyes esetekre $a_p/f_z = 10$ és $0,1$ esetén $\kappa_r = 45^\circ$ és 90° szerszámmal.
- Összehasonlító vizsgálatokat végeztünk a szerszám élgeometria hatásának elemzésére az egy síkon lévő fogak optimális elrendezésének meghatározásához nagy előtolás mellett és kis, $1 \div 0,1$ érték közötti a_p/f_z érték melletti forgácsolásra.

- Kísérletek és VEM vizsgálatok alapján megadtuk a forgácskeresztmetszet és az előtolás megfelelő arányát
- A lapkaelhelyezéssel összefüggésben előkísérleteket végeztünk a működő szögek értékének és hatásának meghatározása.

A szimuláció néhány eredménye látható az 1. ábrán. A leválasztott forgács alakja mellett vizsgáltuk a forgácsoló erőt, a hőmérsékletet és a szükséges teljesítményt az érintkezés során.



1. ábra VEM futtatások eredményei a leválasztott forgács alakjára

A megmunkált felületek topográfiájának vizsgálata azon előtolás értékek meghatározására irányult, amelyeknél még biztosíthatóak az előírt érdességi értékek. A forgácsolás kinematikája, a szerszám geometriai jellemzői, illetve a forgácsolási adatok alapján terveztük meghatározni az elméleti érdességi mérőszámokat.

- Forgószerszámokra olyan általános modell kifejlesztésén/továbbfejlesztésén dolgoztunk, amely a megmunkált felületen (tetszőleges irányokban értelmezve) alkalmas az elméleti érdességi mérőszám meghatározására.
- A projekt keretében kidolgozásra került egy olyan új modellezési eljárás, amelynek a segítségével meghatározható a forgácsolt felületek várható érdességi jellemzőinek értéke a homlokmaró szerszám által generált felületi topográfia CAD-alapú modellezése alapján.
- Elkészítettük a hagyományos és a nagyelőtolású homlokmarás kinematikáját megvalósító CAD modelleket, amelyek segítségével létrehoztuk az elméleti megmunkált felületeket. Az így kapott felületek pontjait egy általunk kidolgozott speciális illesztőprogram segítségével áttanszformáltuk a felületi érdesség kiértékelésére alkalmazott AltiMap nevű szoftverbe. A módszer alkalmas mind 2D mind 3D érdességi mérőszámok meghatározására is.
- Elvégeztük az elméleti érdesség meghatározását a kidolgozott módszer segítségével hagyományos és nagyelőtolású homlokmarás esetére is, különböző szerszámgeometriák esetén. Az német partnerrel közösen elvégzett forgácsolási kísérletek eredményeivel validáltuk, amelyek során az elméleti modellel számított érdességi jellemzők értékei jó egyezést mutattak a mért adatokkal.

- A kidolgozott módszer lehetőséget biztosít az érdességi mérőszámok alapján a különféle geometriájú forgácsológépek összehasonlítására.

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

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

Ebben a kutatási munkában meghatározó volt az együttműködés. Miskolcon végeztük a forgácsolási folyamat VEM szimulációját, míg ennek eredményét felhasználva a marószerszám tervezését és legyártását a Magdeburgi Egyetem Gyártástechnológia és Minőségmenedzsment Intézete végezte. A forgácsolásméleti kutatást a két intézmény Intézetei megosztva, folyamatosan összehangolva végeztük. A kísérleti munkát is mindkét helyszínen végeztük, a német partner által biztosított marószerszámmal. Az érdesség vizsgálatához a modellezést Miskolcon, a validálást mindkét helyen elvégeztük. A kísérleti eredményeket is közösen értékeljük és ezekből közös közleményeket jelentettünk, ill. jelentetünk meg.

2. Hogyan befolyásolta a támogatás a projekt előmenetelét?

A támogatás hatékonyan tudta segíteni a projektben megfogalmazott célok megvalósítását. Lehetővé tette és/vagy segítette, hogy mindkét helyszínen folyamatos lehessen a szakmai konzultáció, közös kísérleteket végezhesünk, érdemben elemezzük és értékeljük a kutatási eredményeket. A kutató csoportok szakmai találkozói Miskolcon és Magdeburgban nemcsak az egyeztetéseket és az elért eredmények bemutatását tette lehetővé, hanem a munkába újonnan bekapcsolódó résztvevők személyesen is megismerhették egymást.

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

Az első év eredményeire alapozva végeztük a második évre tervezett tevékenységünket. Míg az első évben döntően a forgácsleválasztási folyamat elméleti kérdéseit és a hatékony alkalmazás kérdéseit vizsgáltuk, addig ebben az évben a továbbfejlesztett szerszámmal a forgácsoló szerszám élgeometriájának és lapkaelrendezésének valamint a működő szögeinek vizsgálatát végeztük el. Folytattuk továbbá a megmunkált felület minőségének vizsgálatát, valamint az elméleti érdesség meghatározására készült modell továbbfejlesztését (általános modell kifejlesztése) valamint validálását.

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

A pályázat keretében fiatal doktoranduszok és mérnökstanárok szereztek kutatási tapasztalatokat, hazai és nemzetközi kutatási teamben végzett, konkrét feladatok megoldásában. Szakmai fejlődésüket a további tevékenységükben jelentősen segítheti a kísérlettervezésben, a vizsgálatok és mérőrendszerek kidolgozásában, a kísérletek lefolytatásában, az adatok feldolgozásában és értékelésében és az eredmények közlésre való előkészítésében szerzett tapasztalatok.

5. Sorolja fel azokat a hazai vagy külföldi tudományos közleményeket és publikációkat, amelyek megjelenését az együttműködés eredményei is segítették!

- János Kundrák, Csaba Felhő: 3D Roughness Parameters of Surfaces Face Milled by Special Tools, Manufacturing Technology 16:(3) pp. 532-538. (2016)
- Kundrák J, Sztankovics I: Surface Roughness in Machining with Single Defined Edged Rotating Cutting Tool, Development in Machining Technology Vol. 6.. Cracow: Cracow University of Technology Press, 2016. p. 19. 10 p.
- Csaba Felho, Janos Kundrak: Effect of the Changing of the Feed on Surface Topography at Face Milling, 4th International Conference on Optimization Techniques in Engineering (OTENG '16) Rome, Italy October 21-23, 2016
- Janos Kundrak, Csaba Felho: Influence of the Feed Rate on the Workpiece Surface in Face Milling, WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics (ISSN: 1991-8747) (eISSN: 2224-3429) 11: pp. 183-191. (2016)
- János Kundrák, Csaba Felhő: A Method for the Determination of Theoretical Roughness in Face Milling Considering the Run-Out of the Inserts, Solid State Phenomena (ISSN: 1012-0394) (eISSN: 1662-9779) 261: (1) pp. 251-258. (2017)

- Kundrák J., Gyáni K., Felho C., Deszpoth I.: The effect of the shape of chip cross section on cutting force and roughness when increasing feed in face milling, *Manufacturing Technology* (ISSN: 1213-2489) 17: (3) pp. 335-342. (2017)
- Gyula Varga, János Kundrák: Effects of Technological Parameters on Surface Characteristics in Face Milling, *Solid State Phenomena* 261:(1) pp. 285-292. (2017)
- Bernhard Karpuschewski, János Kundrák, Thomas Emmer, Dmytro Borysenko: A New Strategy in Face Milling - Inverse Cutting Technology, *Solid State Phenomena* 261:(1) pp. 331-338. (2017)
- János Kundrák, Tamás Makkai, István Deszpoth: Effect of Cutting Feed and Chip Size Ratio on Cutting Force, *SOLID STATE PHENOMENA* 261:(1) pp. 3-8. (2017)
- Kundrák János, Makkai Tamás, Deszpoth István, Nagy Antal: Investigation of Cutting Force in Face Milling, *Rezanie I Instrumenty V Tekhnologicheskikh Sistemah* 87:(1) pp. 118-125. (2017)
- Sztankovics István, Kundrák János: Chip removal characteristics with constant chip cross-sectional area and different a_p/f_z ratios in face milling, *Rezanie I Instrumenty V Tekhnologicheskikh Sistemah* 87:(1) pp. 155-163. (2017)

Tervezett, előkészített közös közlemények:

- Bernhard Karpuschewski, János Kundrák, Csaba Felhő, Gyula Varga, István Sztankovics, Tamás Makkai, Dmytro Borysenko: **Preliminary investigations for the effect of cutting tool edge geometry in high-feed face milling**, 2nd International Conference on Vehicle and Automotive Engineering 2nd International Conference on Vehicle and Automotive Engineering, 23-25. May 2018.
- Bernhard Karpuschewski, János Kundrák, Gyula Varga, István Deszpoth, Dmytro Borysenko: **Determination of specific cutting force components and exponents when applying high feed rates**, 8th CIRP Conference on High Performance Cutting (HPC 2018), June 25 – 27. 2018, Budapest, Hungary
- János Kundrák, Csaba Felhő: **Topography of the machined surface at high performance face milling**, 8th CIRP Conference on High Performance Cutting (HPC 2018), June 25 – 27. 2018, Budapest, Hungary
- Bernhard Karpuschewski, Dmytro Borysenko, Florian Welzel, János Kundrák, Csaba Felhő: Influence of cutting ratio and tool macro geometry on process stability and workpiece conditions in face milling, *CIRP Annals Manufacturing Technology* (várhatóan 2018-ban jelenik meg).

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

A közös munka során minden akadályt időben sikerült elhárítani. Mind a magdeburgi, mind a miskolci munka feltételeit időben meg tudtuk szervezni.

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

Azon kidolgozott módszereket és vizsgálati eljárásokat, amelyek elvégzése és eredményessége hozzájárult egy új kutatási irányban értékes forgácsolásméleti, szerszámkonstrukciós, és alkalmazásitechnikai újdonságok megfogalmazására. Az elvégzett forgácsolási kísérletek és elméleti elemzések hasznosítását az új konstrukciójú marószerszámok teljesítésénél, valamint a megmunkált felület elméleti profiljának egzakt leírására alkalmas modell kifejlesztése.

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

Meg kellene fontolni, hogyan lehetne sikeres és a folytatásra érdemesre tartott témáknál, a folyamatosságot biztosítani.

Kelt: Miskolc, 2017. december 4.


Aláírás