

A MIKROFÚRÓ SZERSZÁMOK ÁLLAPOTFELÜGYELETE

*Dr. Dömötör Ferenc*¹ egyetemi adjunktus, *Farkas Balázs Zsolt*² egyetemi tanársegéd,
*Dr. Szalay Tibor*³ egyetemi docens, *Újvári Zoltán*⁴ egyetemi hallgató

¹ BME Közlekedésmérnöki, és Járműmérnöki Kar, Gépjárművek,- és Járműgyártás
Tanszék, H-1111 Budapest, Stoczek utca 4.

^{2, 3, 4} BME Gépészmérnöki Kar, Gyártástudomány és -technológia Tanszék
H-1111 Budapest, Egry József utca 1.

ABSTRACT

Condition monitoring of metal cutting procedure has always been of primary importance. In this paper the research project about vibration behaviour of the micro drilling has been described. The rectangular workpiece was made of 1.2345 steel. Altogether more, than 1 type accelerometer during the drilling procedure has been tested. For the first part of the measurements an SKF made vibration analyser has been used. For the second part of the tests National Instruments made equipment has been used. The sensor was a Brüel & Kjaer made 4318 accelerometer. The results have been interpreted as frequency-amplitude diagrams. A conclusion was drawn, that there is strong correlation between the wear of the drilling tool and the vibration severity.

KEY WORDS: micro drilling, condition monitoring of metal cutting tools, cutting process of machine tools, vibration measurements, abrasive wear of drills

BEVEZETÉS

Az ipari feladatok között, például a nyomtatott áramkörök, gyógyászati eszközök, üzemanyag befecskendezők gyártása során, egyre gyakoribb igény jelentkezik a nagyon kis átmérőjű furatok megmunkálására. Az ilyen, általában 1 mm átmérőnél kisebb furatok megmunkálása komoly kihívás elé állítja a gyártókat, több különböző eljárást is alkalmaznak, de mind a mai napig a fúrószerszámmal történő anyagleválasztás jelenti a minőségben és gazdaságosságban is leginkább elfogadható alternatívát a termelésben [1], [3].

A mikrofúrás technológiai megvalósítása igényes megmunkáló berendezéseket és gyártóeszközöket követel. A megmunkáló gép kellő merevségét, nagy fordulatszám biztosítását és a precíziós mozgás pontosságát kell biztosítani, miközben a furatok belső hűtését nehezen lehet megvalósítani, így a hőhatások is jelentősen nehezítik a megmunkálást.

A BME Gyártástudomány és -technológia Tanszéke kutatási prioritásai között szerepel mind a precíziós megmunkálások fejlesztése, vizsgálata, mind pedig a gyártóeszközök, a gyártási folyamat felügyelete a megbízhatóbb megmunkálás biztosítása érdekében. A jelen kutatások egyik fókuszja éppen a mikro fúráskor alkalmazható szerszámfelügyeleti módszerek fejlesztése, amely az Indian Institute of Technology Patna együttműködésével valósul meg [2], [4], [5], [9].

A KITŰZÖTT CÉLOK

A mikrofúrásnál jelentkező legnagyobb problémát a megmunkáló szerszám törése jelenti, ami főként a szerszám kopásának előrehaladásával jelentkezik. A fúrószerszám merevsége rendkívül kicsi, ami folyamatosan csökken a furat belsejében, és végül töréshez vezet. Ilyen esetekben a hűtőfolyadék használata sem hatékony, hiszen nem tud kellően behatolni a vágási zónába, ezáltal a hőmérséklet folyamatosan emelkedik. Próbatesztek, tapasztalati értékek alapján van lehetőség az előbbieken említett problémák kiküszöbölésére, de érdemi eredményt egy átfogó, felügyeleti rendszer megléte jelentene. A kísérletsorozatok célja a megmunkálás során tapasztalható szerszámkopások vizsgálata, a dolgozó szerszám állapotának felügyelete volt rezgésdiagnosztikai eszközök alkalmazásával.

A MUNKADARAB ÉS AZ ALKALMAZOTT SZERSZÁMOK

A munkadarab P20 1.2343 típusú acélból készült. Alakja téglatest, melynek fő méretei rendre a következők: 152x35,5x14,75 [mm]. Az alkalmazott fúrószerszám típusa Hartner 87011, anyaga gyorsacél, jellemző méretei: a csúcshög 118°, a hátsög 10°, a csavarvonal hajlásszöge pedig 35°. A megmunkáló gép, egy Hembrug Mikrotorn 50 típusú eszterga, amely jelen esetben mikrofúráshoz lett előkészítve. A megmunkáláshoz tartozó NC programkódot korábbi kísérletekből emeltük át, csupán a forgácsolási paraméterek megadására volt szükség. A megmunkálás módját jelentő technológiai paramétereket az alábbiak szerint adtuk meg:

- $n=15915$ [1/s] –os fordulatszám,
- 3-szoros kiemelés a mélyfúróciklus esetén, valamint a
- fogankénti elötölésnek 3 [μm]-t állítottunk be.

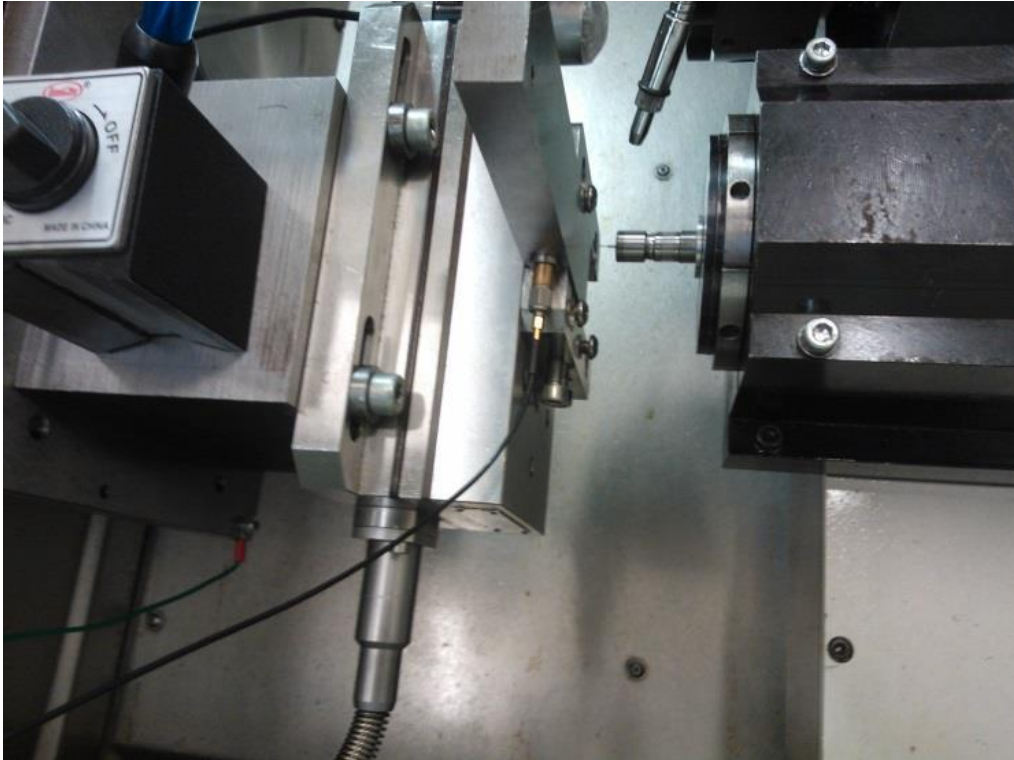
A hűtés levegő segítségével történt. A kísérletek során a szerszámütést igyekeztünk minimalizálni, ami ennek köszönhetően 3-6 [μm]-es tartományon belül mozgott.

A VIZSGÁLATHOZ HASZNÁLT MÉRŐ ÉS ADATFELDOLGOZÓ ESZÖZÖK

A felhasznált gyorsulásérzékelő szenzor típusa Brüel & Kjaer 4518-001, érzékenysége 98,3 mV/g, melyet egy ciklus során egyszer a munkadarab alsó részére, a megmunkálás irányára merőlegesen helyeztünk el. Két mérési sorozatot végeztünk. Az egyik mérési sorozatnál a jellevő, átalakító berendezés egy SKF gyártmányú analizátor, melynek segítségével vettük és tároltuk a szenzorok által érzékelt rezgések jeleit. A készüléket a 2. ábrán láthatjuk. Típusa CMVA10, dinamikai tartománya 80 dB, amelyhez 1 Mbyte memória és 16 bites adatfeldolgozó processzor tartozik.

A másik esetben egy National Instruments (NI) gyártmányú, 4431-es típusú, 24 bites felbontású adatgyűjtőt alkalmaztunk. A jel-zaj viszony 118 dB. [6] Ehhez saját szoftver is tartozik, amellyel a kapott jelek diagnosztizálhatóak. Az említett berendezés a 3. ábrán látható. A kiértékeléshez használt, NI [7], [8] gyártmányú szoftverek az alábbiak:

- Sound and Vibration: amivel lehetőség nyílik zajok/rezgések valós idejű elemzésére, a jelek tárolására. Alkalmas 10-1000 csatorna között is vételezni a jeleket.
- DIAdem és a My DataFinder szoftverek, amelyek révén az adatokat meg lehet találni, betölteni, megjeleníteni, illetve analizálni. A mintavételezés 20 kHz-en történt.



1. ábra – A munkadarab, a mikrofűró szerszám és a gyorsulásérzékelő



2. ábra – A rezgésméréshez használt CMVA10-es rezgésanalizátor

A szerszámról készített fényképeket egy erre alkalmas program segítségével vettük vizsgálat alá. Egy korábbi diplomaterv [9] kapcsán született meg maga a program, illetve a felhasználói

felület, melyet a Matlab nevű szoftverrel lehet megnyitni. A kiértékelő felület segítségével lehetőség adódik az elkészült képek korrekciójára, telítettségének, élességének állítására. Kijelöli a szerszámra vonatkozó részt, majd ezen tartományon belül vizsgálja a fehér képpontok számát. Így adódik a szerszám kopottságára vonatkozó adat, melyet a kiértékelés végén közöl a program.



3. ábra – A KISTLER, és a National Instruments mérőegység

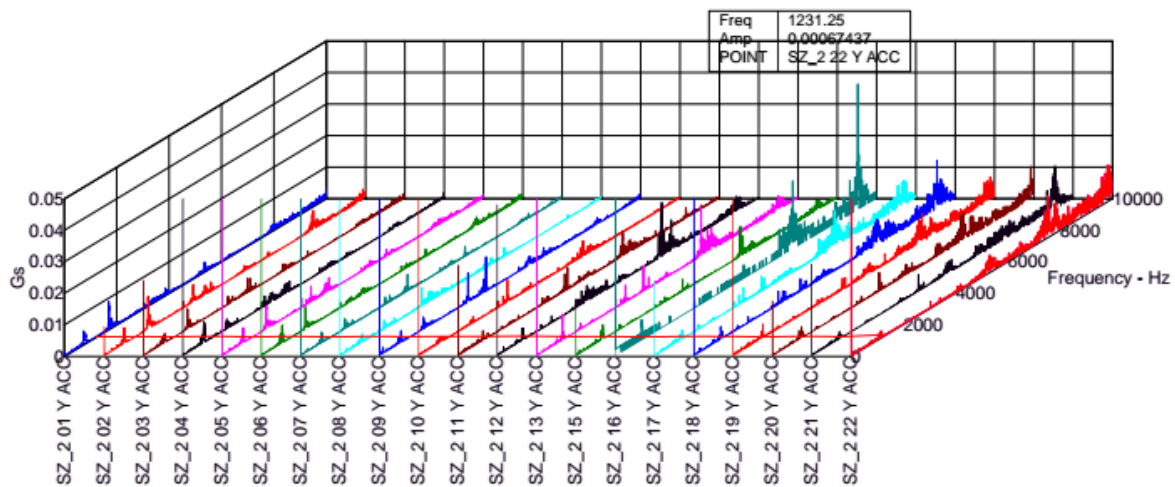
A KÍSÉRLETSOROZAT LEFOLYÁSA

Ciklusonként 30 furatot elkészítve vizsgáldtunk két irányban. Egyszer a megmunkálás tengelyére merőleges irányban, a munkadarab alsó felületére helyeztük fel a gyorsulásérzékelő szenzort, és így gyűjtöttünk jeleket. A másik esetben a megmunkálás tengelyével párhuzamosan, a munkadarab hátsó felületére helyeztük az érzékelőt. Az egyik esetben egy kézi működtetésű, SKF típusú analizátor segítségével gyűjtöttük a megmunkálás során keletkező rezgésekből adódó jeleket, míg a másik esetben egy National Instruments típusú vevőegységgel. Minden más tekintetben azonos módon jártunk el.

Az SKF típusú műszer memóriája nem tette lehetővé, hogy viszonylag sok fúrési ciklusból származó jelet vételezzünk, így összesen 22 alkalommal történt mérés mind a két, korábban már említett irányban. Egy fúrési ciklus 30 furat elkészítését tette lehetővé, így összesen 660 furat készült el azonos forgácsolási paraméterek mellett. A National Instruments szoftvereinek segítségével nem okozott gondot a hosszabb ideig tartó jelvételezés, így 23 fúrési ciklust végeztünk el, majd itt szerszámtörés is bekövetkezett. Egy fúrési ciklus 30 furat elkészítését tette lehetővé, így összesen majdnem 690 furat készült el azonos forgácsolási paraméterek mellett. Egy ciklushoz 2 irányból származó adatsor, illetve egy kép tartozik. A z irány megegyezik a korábbi y iránnyal.

KUTATÁSI EREDMÉNYEK

A 4. ábrán azt láthatjuk, hogy az idő elteltével erősödnek a rezgésjelek, amely jelenség egyértelműen a szerszám kopottságára vezethető vissza. Tudni kell, hogy a felhasznált szenzor mérési tartománya optimális esetben 6000 Hz alatti, így a felette jelentkező jelek nem kerülnek vizsgálatra, mindenesetre érdekes jelenségnek tudható be, hogy a felerősödő jelek eltolódnak a 8000-10000 Hz-es tartományban a magasabb frekvencia irányában, miközben maga a jel is erősödik. A számunkra fontos tartományban, ha csekélyebb erősségű is a vételezett jel, de érzékelhető az erősödés. Természetesen a tendencia nagymértékben függ a vételezési pontosságtól is, ugyanis előfordulhatott, hogy a szűk mérési időtartományban épp nem volt annyi fűrés, mint egy másik esetben.

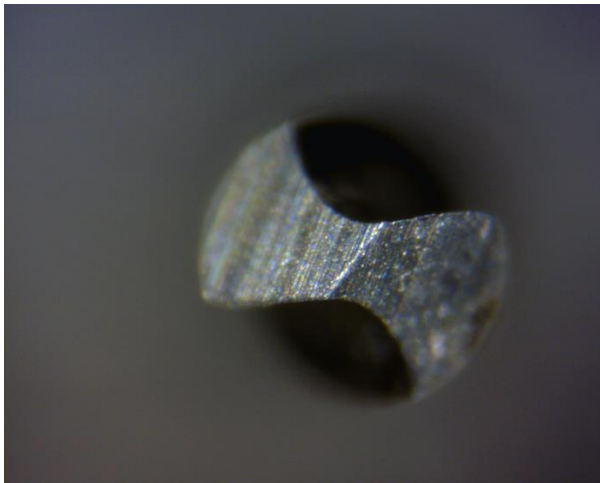


4. ábra – A rezgésmérés eredménye Palogram típusú diagramban

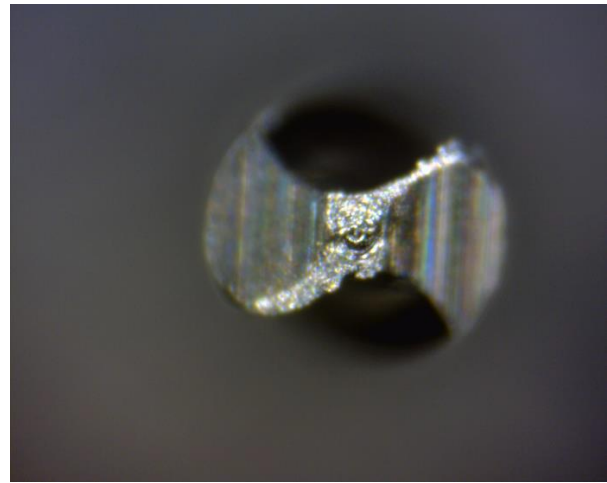
Az 5. a és 5.b ábrákon jól látható, hogy a szerszám a kísérlet során jelentős kopást szenvedett el. Elsősorban a keresztél kopottsága feltűnő, de emellett szabálytalan formában a főél kopottsága is érzékelhető. A fenti eredmények ismeretében elmondhatjuk, hogy a mikromegmunkálások esetén is van létjogosultsága a rezgésekből származó jelek vételének. Ugyanis a kapott eredmények birtokában, megfelelő állapotfigyelő rendszer kiépítésével folyamatosan naprakész információkat gyűjthetünk a szerszám állapotáról, így az esetleges törések is elkerülhetővé válnak, amivel pénz, idő, illetve energia spórolható meg. A National Instruments eszközeivel történő mérés során már fontos szempontként jelentkezett, hogy a törést is vizsgáljuk, vajon abban az esetben milyen jelek keletkeznek, mire kell számítani a megelőzés érdekében

A második mérésnél is igazoltuk az első eset eredményeit. Azonban itt azt is láthatjuk, hogy a törés előtti pillanatban drasztikusan megemelkedik a rezgések amplitúdója, így segítségével tudunk következtetni a törés bekövetkezésére, amit egy jól felépített állapotfigyelő rendszerrel előre jelezhetünk. Hasonlóan az első kísérletsorozathoz, itt is jól megfigyelhető a szerszám kopottsága. Elsősorban a keresztél kopottsága szembetűnő, de mellette szabálytalan módon a főél is kopott. A szerszámokról készített fényképeket a feldolgozó programba töltöttük, majd a megfelelően beállított paraméterek mellett a kopott területeket meghatároztuk. Az első mérési sorozat esetén készített képek minősége nem tette lehetővé a pontos, érdemi

következtetést, de a tendenciát jól érzékelteti. A 6. ábrán láthatjuk a kopottság alakulását az idő függvényében.

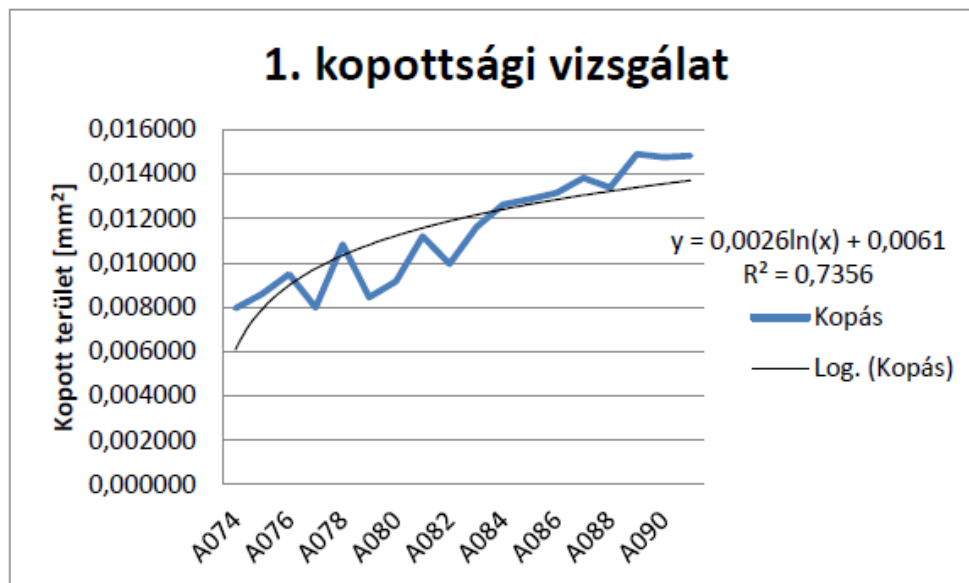


5.a ábra – a fűrőfej az 1. kísérlet előtt



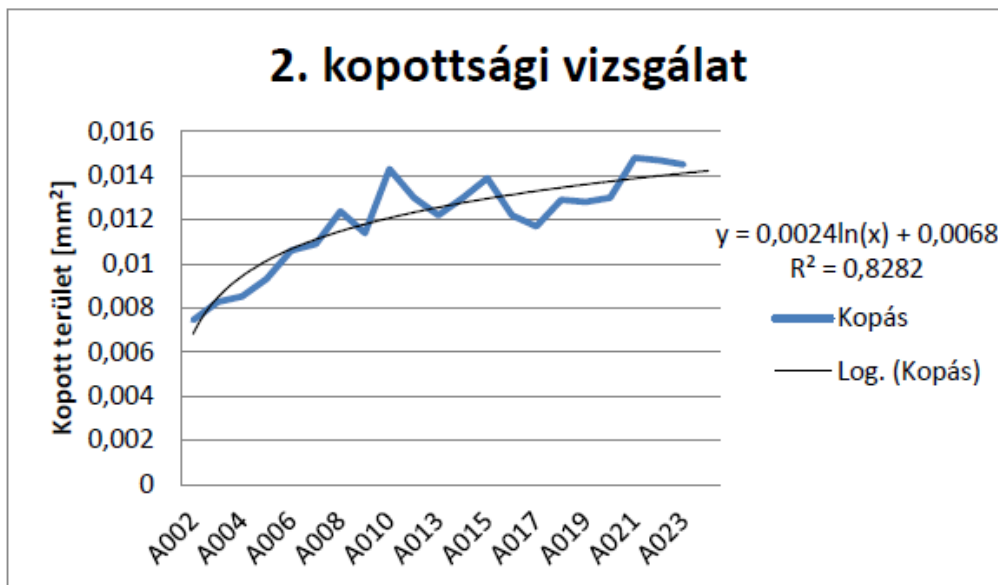
5.b ábra – a fűrőfej az 1. kísérlet után

A 6. ábrán látható, hogy a kopási értékek, vagyis a kopott területek nagysága folyamatosan növekedik a képek előrehaladásával. Tehát elmondhatjuk, hogy időben növekvő tendenciát kapunk. A képek eltérő minőségéből fakadóan azonban csak közelíteni lehet ennek mértékét.



6. ábra – a kopás mértéke a fűrások számának növekedésével

Egy logaritmus függvény segítségével viszont képesek vagyunk az egyenletét is meghatározni. Az így kapott korrelációs együttható értéke jónak mondható, tehát vehetjük jól megközelített eredménynek. Jelen beállítási paraméterek mellett elmondható, hogyha a kopott terület nagysága megközelíti a 0,015 [mm²]-t, akkor valószínűleg törés fog bekövetkezni. Természetesen ez függ a szerszámtól, a szerszám rögzítettségétől, illetve a megmunkálandó darabtól is.



7. ábra – A kopás mértéke a fúrások számának növekedésével

KÖVETKEZTETÉSEK

Adott gyártási paraméterek mellett vizsgáltuk a megmunkálás során jelentkező rezgéseket, melyek szoros kapcsolatban állnak a kopottságot szemléltető képekkel. Azt a következtetést vonhatjuk le, hogy határozottan van összefüggés a szerszám kopása és a rezgésállapot között.

A fúrási folyamat és a szerszám folyamatos állapotfelügyeletével lehetne igazán megoldani a kérdést. Ehhez korszerűen kiépített rendszerre van szükség, melynek főbb elemei az adatgyűjtő eszközök, a jelvevők, a jelfeldolgozó berendezések, illetve a kiváló minőségű kamerás egység is. Így volna lehetőség arra, hogy a tapasztalati értékek alapján megállapított küszöbértékek elérése esetén automatikusan megállítsa a megmunkálási folyamatot, ezáltal a törés elkerülhető lenne, amivel pénz, idő, és energia spórolható meg. Egyszeri, nagyobb költségű beruházásról lenne szó, de hosszabb távon serkentőleg hatna a termelésre, a termelékenységi mutatók emelhetőek lennének, ezáltal a rendszerbe fektetett tőke hamar megtérülne.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetüket fejezik ki a Dr. Karali Patra úrnak, a „Multiszenzor alapú intelligens szerszámállapot felügyeleti rendszer kidolgozása mechanikus mikroforgácsolási folyamathoz” című pályázat keretében nyújtott segítségével. Ugyancsak köszönjük Dr. Szabó József docens úrnak, az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kara oktatójának a mérési adatok feldolgozásában nyújtott segítséget. A kutatás a TÉT_10-1-2011-0233 Magyar-Indiai NKHT-DST projekt keretében valósult meg. A kutatást és a publikáció megjelenését az OTKA K101703 projekt támogatta. A munka szakmai tartalma kapcsolódik a "Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását a TÁMOP-4.2.2.B-10/1--2010-0009 program támogatja.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Vilmos Csala, Sándor Markos, Tibor Szalay COMPARATIVE ANALYSIS OF THREE MICRO-HOLE MACHINING TECHNOLOGY, International Conference on Innovative Technologies: IN-TECH 2012. Konferencia helye, ideje: Rijeka, Horvátország, 2012.09.26-2012.09.28. Rijeka: InTech, 2012. pp. 429-433.
- [2] Amit Kumar Jha, Karali Patra, Tibor Szalay: Monitoring of prefailure phase and detection of tool breakage in mechanical micro-drilling using thrust force and torque signals, Proceedings of the Second International Conference on Intelligent Robotics, Automation and Manufacturing: IRAM 2013, Indore, India, 2013.12.16-2013.12.18. Emerald Group Publishing Ltd., pp. 339-347.
- [3] Jae-hoon, KANG * Jong-kweon, PARK Jun-yeop, SONG Intelligent Precision Machine Dept.Korea Institute of Machinery & Materials Micro-drilling Using Step-forward Method
- [4] Farkas Balázs Zsolt, Mikroméretű forgácsleválasztás diasor /Forgácsolási folyamatok című tárgy/ (2014)
- [5] Horváth Antal Zsolt: Szerszámgépek megmunkáló képességének vizsgálata Diplomaterv, 46, (2010), Tanszéki konzulens: Dr. Markos Sándor, BME GPK GTT Üzemi konzulens: Lakos Péter, Gravitás 2000 Kft.
- [6] <http://www.ni.com/diadem/whatis/managingdata/> (2014. 10. 15.)
- [7] <http://www.ni.com/diadem/whatis/visualization/> (2014. 10. 15.)
- [8] <http://www.ni.com/diadem/whatis/calculations/>
- [9] Csaba Vilmos: Mikro fúrás szerszám állapot felügyeleti rendszerének tervezése, Diplomaterv, BME Budapest, 2013.