

## Mikromarási folyamat dinamikai hatásainak elemzése

### Analysis of dynamic effects in micro milling process

BALÁZS Barnabás Zoltán<sup>1</sup>, doktorandusz hallgató, RESÉNDIZ R. Juvenal<sup>2</sup>, PhD, egyetemi tanár,  
TAKÁCS Márton<sup>1</sup>, PhD, egyetemi docens

<sup>1</sup>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Gyártástudomány és –technológia  
Tanszék, H-1111, Budapest, Műegyetem rakpart 3., Tel.: +36 1 4632641, E-mail: balazs@manuf.bme.hu,  
tm@manuf.bme.hu, Honlap: [www.manuf.bme.hu](http://www.manuf.bme.hu)

<sup>2</sup>Queretaro-i Autonóm Egyetem, Centro Universitario, 76010 Santiago de Querétaro, Qro., Mexico, Tel.: +52  
442 1921200/6086, E-mail: juvenal@uaq.edu.mx, Honlap: [www.uaq.mx](http://www.uaq.mx)

#### Kivonat

*A mikromarás különböző anyagú, miniatűr struktúrák megmunkálásának az egyik legrugalmasabb és leggyorsabb módja. Az eljárás valójában a hagyományos méretű marás 0-999 µm-es mérettartományba történő átültetése. A mikromarást viszonylag jelentős dinamikai hatások jellemzik, amik befolyásolják a megmunkálási minőséget és pontosságot is. A kutatás célja ezeknek a hatásoknak a részletes feltérképezése, megértése, ezek által is a folyamat stabilitásának a tudatos növelése. A forgácsolási erők és a rezgések elemzése céljából szisztematikus kísérletsorozat végeztünk C45-ös anyagon. Meghatároztuk a domináns frekvenciákat, valamint megvizsgáltuk az öngerjesztett rezgés jelenségét.*

**Kulcsszavak:** mikromarás, FFT analízis, CWT analízis, domináns frekvencia, öngerjesztett rezgés

#### Abstract

*Micro milling is the most flexible and fastest way to machine miniature structures prepared of different kind of materials. This method is actually the transportation of conventional sized milling into the range of 0-999 microns. Micro milling is characterized by relative large dynamic effects, which have impacts on the machining quality and accuracy. Main aim of this research work is mapping and understanding of these effects, and hence the active increasing the stability of the process. Systematic series of experiments were carried out in order to analyse the cutting forces and vibrations. Dominant frequencies were determined, and phenomenon of chatter was investigated.*

## 1. BEVEZETÉS

Napjainkban a növekvő miniatűrítési igény miatt egyre fontosabb szerephez jutnak a kisméretű alkatrészek előállítására alkalmas technológiák, köztük mindenképp a mikromarás, mivel ez az eljárás az anyagok széles körében alkalmas 3D-s komplex geometriák előállítására is. Mikromarásnál a mérethatás miatt különösen fontos szerepet kap a minimális forgácsvastagság, a sorjaképződés, a szerszám ütése és deformációja, valamint a megmunkálási stratégia hatása. Mindezek közvetve vagy közvetlenül kapcsolatba hozhatók a mikromarás jelentős dinamikai sajátosságaival. Számos kutató végzett vizsgálatokat a szerszámok dinamikus viselkedését illetően. Mamedov és mtsai. átfogó modelleket mutattak be alumínium 7075-re, melyek a forgácsoló erőt és a szerszám deformációját hivatottak megbecsülni mikromarás esetén. Mindkét modellt validálták kísérletekkel, melyek jó egyezést mutattak [1].

Jelen kutatás célja adott paraméterkombinációkkal végzett mikromarási folyamat rezgéseinek részletes elemzése, ezáltal a technológia sajátosságainak minél jobb megismerése a stabilitás tudatos növelése céljából.

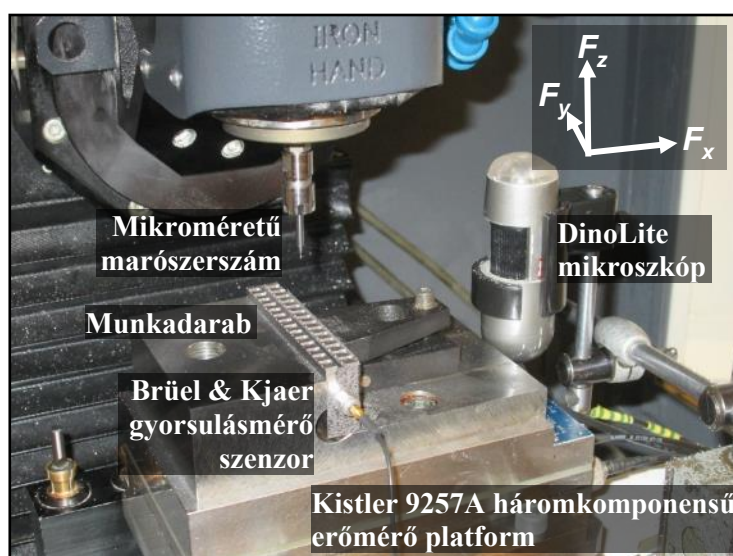
## 2. KÍSÉRLETI KÖRÜLMÉNYEK

A forgácsolási kísérleteket egy VHTC 130 M típusú, öttengelyes, 60 000 1/min maximális fordulatszámú főorsóval szerelt mikro-megmunkálóközponton végeztük, C45-ös anyagon. A rezgések méréséhez Brüel & Kjaer 4518-001 gyorsulásmérő szenzort alkalmaztunk, az erőméréshez pedig Kistler 9257A háromkomponensű erőmérő platformot. Az adatgyűjtésről két darab National Instruments USB 4431 eszköz, valamint egy Labview program gondoskodott. A mikromarási kísérleteknél 5 mm hosszú, egyenes hornyok készültek különböző paraméterbeállításokkal. Az alkalmazott paramétereket az 1. táblázat foglalja össze, a kísérleti elrendezés az 1. ábrán látható. Az adatok kiértékeléséhez LabVIEW, DIAdem és AutoSignal szoftvereket alkalmaztunk.

*Mikromarási kísérletek során alkalmazott paraméterek*

1. táblázat

$v_c$ (m/min)	$a_p$ ( $\mu\text{m}$ )	Stratégia	$f_z$ ( $\mu\text{m}$ )
40	30	Teljes horonymarás	1
60	50	Ellenirányú marás	2
90		Egyenirányú marás	4



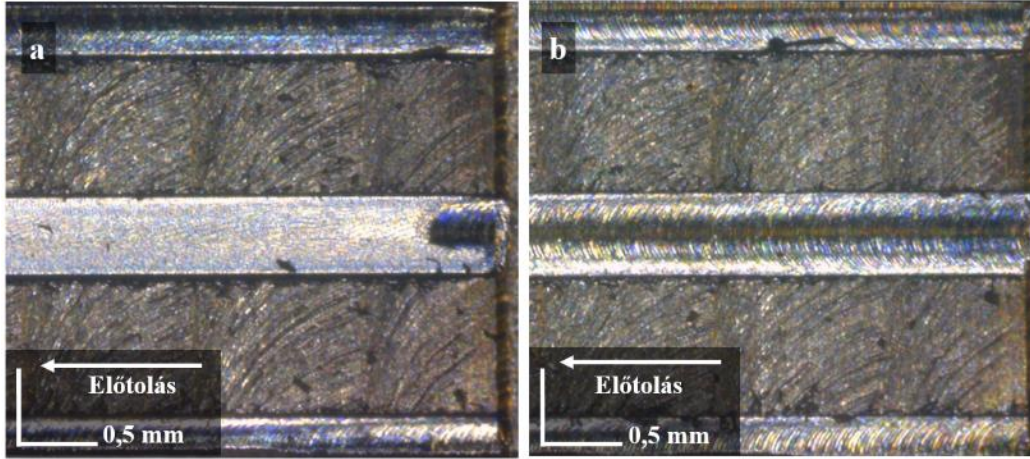
1. ábra C45-ös anyagon végzett mikromarási kísérletek elrendezése

## 3. EREDMÉNYEK

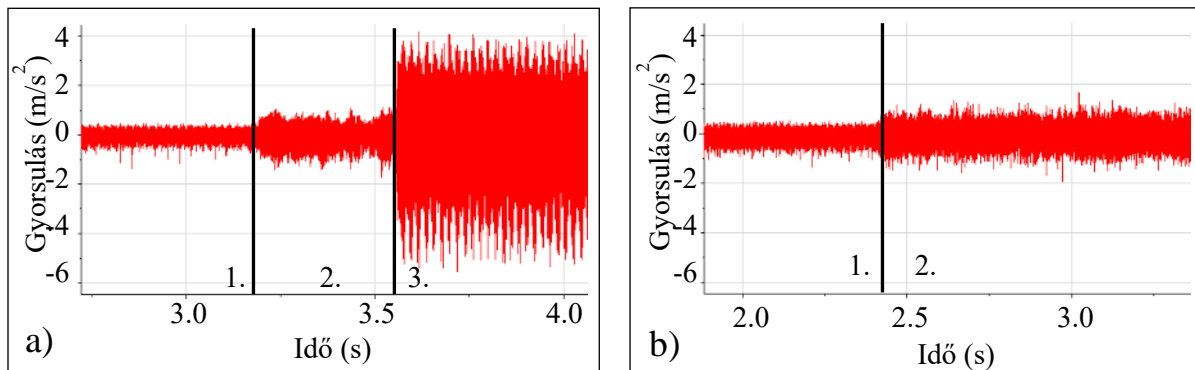
A mért jelek kiértékelése során gyors Fourier-transzformációt (FFT) és folytonos wavelet transzformációt (CWT) végeztünk. Az eredmények közül két jellemző esetet mutatunk be összehasonlításként, az egyiknél  $v_c=40$  m/min, a másiknál pedig  $v_c=60$  m/min forgácsolási sebesség mellett történt a mikromarás (2. ábra). A fogásmélység  $50 \mu\text{m}$ , az élénkenti előtolás pedig  $1 \mu\text{m}$  volt mindkét esetben. A 3. ábra az adott forgácsolási paraméterekkel végzett telibemarás esetén mutatja a gyorsulásmérő szenzor által regisztrált jelviszonyokat. Amint az a bal oldali diagramon látható, az 1. szakaszt (munkadarab megközelítése) követő megmunkálási rész (2. szakasz) rezgése egy idő után (kb. 3,2 s-nál) hirtelen megnő (3. szakasz), a folyamat instabillá válik, és ez a megmunkált felület minőségét is befolyásolja (1. ábra bal oldali felvételének középső, telibemart hornya). 60 m/min-es forgácsolási sebesség mellett ilyen öngerjesztett rezgés nem tapasztalható (3. ábra jobb oldali diagramja)

Mindkét vizsgált esetben – FFT segítségével – megkerestük a tíz legnagyobb amplitúdójú frekvenciát, valamint meghatároztuk az amplitúdók értékét (2. táblázat). Megállapítható, hogy az öngerjesztett rezgésnél a többitől eltérő frekvenciáknál kaptunk kiugró értékeket, elsősorban a 8000-10000 Hz frekvencia között jelentkeztek nagy amplitúdók. A másik 4 esetben mindenhol

megjelenik az 50 Hz körüli hálózati frekvencia, valamint láthatók a főorsó pillanatnyi fordulatszámának megfelelő frekvenciaértékek, ami  $v_c=40$  m/min-nél  $\sim 420$  Hz ( $n=25465$  1/min),  $v_c=60$  m/min-nél pedig  $\sim 630$  Hz ( $n=38197$  1/min). Ugyancsak megjelenik ezeknek a frekvenciáknak a kétszerese is, egyrészt az előbb említett frekvenciájú rezgések felharmonikusaként, másrészt pedig a szerszám két élének behatása miatt.



2. ábra Mikromart hornyok összehasonlítása. a)  $v_c=40$  m/min,  $f_z=1$   $\mu\text{m}$  és  $a_p=50$   $\mu\text{m}$ )  
b)  $v_c=60$  m/min,  $f_z=1$   $\mu\text{m}$  és  $a_p=50$   $\mu\text{m}$ )

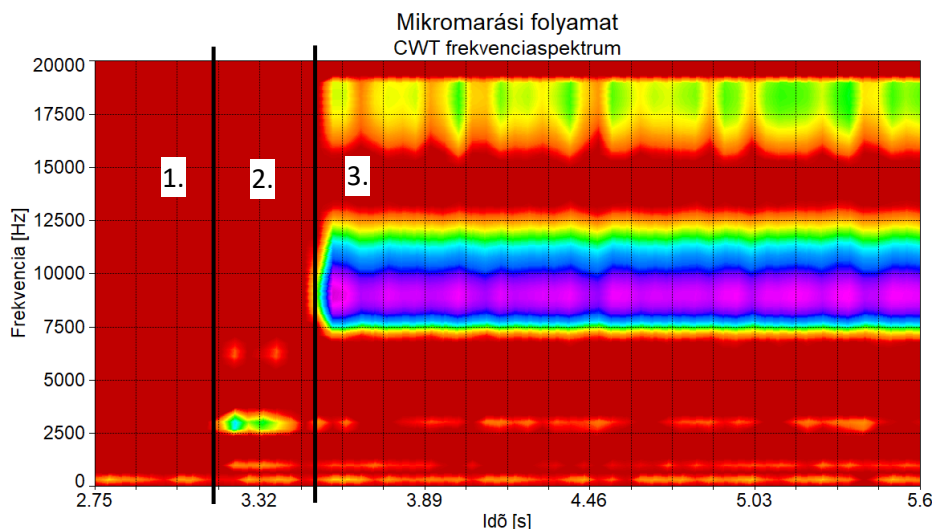


3. ábra Gyorsulásmérő szenzor által regisztrált jelfolyam telibemart horony esetén.  
a)  $v_c=40$  m/min,  $f_z=1$   $\mu\text{m}$  és  $a_p=50$   $\mu\text{m}$ , b)  $v_c=60$  m/min,  $f_z=1$   $\mu\text{m}$  és  $a_p=50$   $\mu\text{m}$ .

Domináns frekvenciák és amplitúdóik értékei

2. táblázat

$v_c=40$ m/min, $f_z=1$ $\mu\text{m}$ és $a_p=50$ $\mu\text{m}$					$v_c=60$ m/min, $f_z=1$ $\mu\text{m}$ és $a_p=50$ $\mu\text{m}$				
1. szakasz		2. szakasz		3. szakasz		1. szakasz		2. szakasz	
Freq.	Ampl.	Freq.	Ampl.	Freq.	Ampl.	Freq.	Ampl.	Freq.	Ampl.
49	0,033	49	0,050	418	0,113	49	0,046	49	0,045
300	0,059	298	0,050	836	0,109	300	0,052	300	0,052
418	0,042	417	0,110	7727	0,125	1253	0,044	626	0,131
836	0,065	835	0,133	8985	0,198	3761	0,024	3760	0,023
2508	0,034	2922	0,184	9814	0,483	10001	0,025	10001	0,024
8747	0,112	6257	0,100	10653	0,801	11881	0,025	11881	0,023
11255	0,141	8747	0,107	11255	0,140	15641	0,035	14361	0,019
13763	0,045	9007	0,056	17961	0,091	16240	0,061	16241	0,031
16239	0,028	11255	0,142	18379	0,097	19701	0,050	19901	0,020
17493	0,045	13762	0,043	18796	0,138	20000	0,25	20000	0,221



4. ábra CWT diagram a rezgésszenzor adatai alapján  
(telibemart horony,  $v_c=40$  m/min,  $f_z=1$   $\mu$ m és  $a_p=50$   $\mu$ m)

A 4. ábra CWT diagramján a különböző frekvenciák időbeli változása követhető nyomon. Ezen az ábrán is jól látszik az adott horony megmunkálásánál az öngerjesztett rezgés szakasza. A CWT diagramok jól alkalmazhatók a mikromarási folyamat és a szerszám állapotának a felügyeletére [2].

## 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Szisztematikus kísérletsorozat hajtottunk végre C45 anyagban, melynek során egyenes hornyok készültek különböző paraméterbeállításokkal. A kísérletek során mért rezgéseleken FFT és CWT elemzést végeztünk. A vizsgálatok alapján a következő állítások fogalmazhatók meg:

- $v_c=40$  m/min forgácsolósebesség esetén a mikromarási folyamat öngerjesztett rezgéssel terhelt, ha  $a_p=50$   $\mu$ m és  $f_z=1$   $\mu$ m.
- A mikromarási folyamat domináns frekvenciái között megtalálhatók a főorsó fordulatszámából, valamint a kétélű szerszám behatásából származó frekvenciák.
- A CWT elemzés hozzájárulhat a mikromarási folyamat állapotának, valamint a szerszám kopottsági állapotának a felügyeletéhez.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány alapjául szolgáló kutatást az Emberei Erőforrások Minisztériuma által meghirdetett Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program támogatta, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nanotechnológia (BME FIKP-NANO) tématerületi programja keretében. A kutatást részben a K 132430 (Tranziens deformációs, termikus és tribológiai folyamatok kemény fémfelületek finomforgácsolásánál) számú kutatási projekt finanszírozta. Az előadó részvételét az OGÉT 2020 konferencián az NTP-HHTDK-19-0068 azonosítójú, "A hazai Tudományos Diákköri műhelyek és rendezvények támogatása" pályázat támogatta. Köszönjük a segítséget Jacsó Ádám kollégáinknak.

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] A. Mamedov, S. E. Layegh K., and I. Lazoglu, Machining Forces and Tool Deflections in Micro Milling, Procedia CIRP, vol. 8, pp. 147–151, 2013.
- [2] Jauregui J.C., Resendiz J.R., Thenozhi S., Szalay T., Jacso A., Takacs M., Frequency and Time-Frequency Analysis of Cutting Force and Vibration Signals for Tool Condition Monitoring. IEEE Access. 2018;6:6400–6410. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2797003