

## A minimális forgácsvastagság vizsgálata edzett melegalakító szerszámacél mikromarása esetén

### Investigation of the minimum chip thickness at micro milling of hardened hot work tool steel

BALÁZS Barnabás Zoltán PhD hallgató, TAKÁCS Márton Egyetemi docens

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar,  
Gyártástudomány és –technológia Tanszék, H-1111, Budapest, Műegyetem rakpart 3.,  
[www.manuf.bme.hu](http://www.manuf.bme.hu), E-mail: [balazs@manuf.bme.hu](mailto:balazs@manuf.bme.hu), [tm@manuf.bme.hu](mailto:tm@manuf.bme.hu)

#### Kivonat

*Mikromarásnál a méretcsökkenés miatt a folyamat viselkedése eltér a hagyományos méretű marásnál megismertekhez képest. A relatív nagy éllekerekedési sugár miatt fontos szerephez jut a minimálisan leválasztható anyagréteg vastagsága, mely számos folyamat- és minőségjellemzőt befolyásol. A kutatás ennek a kritikus értéknek a meghatározására irányul edzett melegalakító szerszámacél (AISI H13) mikromarásának vizsgálatán keresztül.*

**Kulcsszavak:** mikromarás, minimális forgácsvastagság, forgácsolási erő, rezgés, felületi minőség

#### Abstract

*Micro milling has many special characteristics compared to the conventional size milling because of the size reduction. The minimum chip thickness has great importance in the case of micro sizes due to the relatively large cutting edge radius since it affects many process- and quality characteristics. This research focuses on determining this critical value through the analysis of the micro milling of hardened hot-work tool steel (AISI H13).*

## 1. BEVEZETÉS

Napjainkban az egyre növekvő miniatürizálási igény miatt egyre fontosabb szerephez jutnak a kisméretű alkatrészek előállítására alkalmas technológiák. Az egyik legfontosabb eljárás a mikromarás, mivel alkalmas az anyagok széles körében, akár nagy pontosságú, 3D-s komplex geometriák előállítására is. A méretcsökkenésből adódóan viszont számos kihívást rejt még a folyamat. Az éllekerekedési sugár és a szemcseméret mikromarás esetén összehasonlítható méretű a forgácsvastagság értékével, valamint az anyag anizotrópiája is előtérbe kerül [1], [2]. További problémát jelent a szerszámok kis merevsége, relatíve nagy ütése és deformációja. A minimálisan leválasztható forgácsvastagság ( $h_{min}$ ) az erre irányuló kutatások alapján főként az éllekerekedési sugár ( $r_\beta$ ) értékétől függ [3], [4]. A  $h_{min}$  határvonalat képez a különböző anyagleválasztási mechanizmusok között, mint a nyírás és a vasalás. Az utóbbi esetében az anyag rugalmas-képlékeny deformációt szenved, és nem képződik forgács [5]. A vizsgálatok tárgyát képezi továbbá a  $h_{min}/r_\beta$  között fennálló arány vizsgálata is, mely a szakirodalom alapján 0,22 – 0,36 közötti értékű [6], [7].

A kutatás célja a minimális forgácsvastagság értékének a meghatározása  $50 \pm 1$  HRC keménységű AISI H13 edzett melegalakító szerszámacélon. Ehhez a mikromarás erőhatásaira, a rezgéseire és az előállított felületek érdességére vonatkozóan végeztünk vizsgálatokat.

## 2. KÍSÉRLETI KÖRÜLMÉNYEK

A kísérleteket egy öttengelyes VHTC 130 M típusú mikro-megmunkálóközponton hajtottuk végre  $50 \pm 1$  HRC keménységű AISI H13 melegalakító szerszámacélon. A vizsgálatokhoz a kereskedelmi forgalomban elérhető 500  $\mu\text{m}$  átmérőjű, kétélű, bevonatos keménységű mikromarót

alkalmaztunk. A befogott szerszám ütése az élék végénél mérve  $\pm 1 \mu\text{m}$ . A pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálataink alapján az élkerekedési sugár pedig  $2\text{--}4 \mu\text{m}$  között helyezkedik el. A forgácsolást száraz megmunkálási körülmények között végeztük. Az erőméréshez egy Kistler gyártmányú, 9257A típusú erőmérő platformot Kistler 5080A típusú töltéserősítővel kombinálva, a rezgések méréséhez pedig Brüel-Kjaer 4518-001 típusú egykomponensű gyorsulásmérő szenzort alkalmaztunk. Az adatgyűjtésről 2 db National Instruments USB 4431 eszköz gondoskodott. Az érdességmérést egy Mitutoyo SJ-400 kontakt érdességmérővel végeztük a mikromart hornyok középvonalában. A kísérleteknél alkalmazott forgácsolósebességet a főorsó maximális fordulatszámához igazodva választottuk meg. A minimális forgácsvastagság vizsgálata során az 1. táblázatban látható kísérlettervet hajtottuk végre.

Kísérletterv

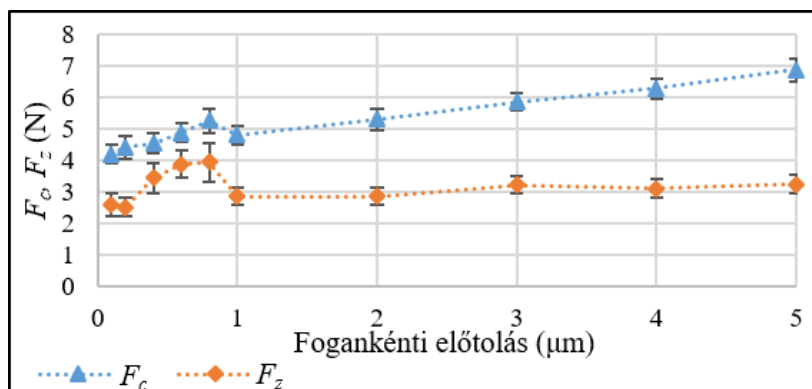
1. táblázat

$v_c$ (m/min)	$a_p$ ( $\mu\text{m}$ )	Stratégia	$f_z$ ( $\mu\text{m}$ )
90	100	Teljes horonymarás	0,1 0,2 0,4 0,6 0,8 1 2 3 4 5

### 3. EREDMÉNYEK

#### 3.1 Erőhatások

Az erőkomponensek ismerete kiemelt fontosságú a mikromarásnál, mivel kapcsolatban állnak számos jellemzővel, mint például az anyageltávolítási mechanizmusokkal és a szerszámdeformációval. Az erők kiértékeléséhez saját programot fejlesztettünk LabVIEW környezetben. A bemutatott értékek az állandósult forgácsleválasztási szakaszból származnak, ahol a szerszám 100 körülforduláshoz tartozó maximumértékek átlagait vettük alapul. A vizsgálatok során a forgácsolóerőt és az axiális irányú erőhatásokat elemezzük. A kísérletek eredményei az 1. ábrán láthatók.

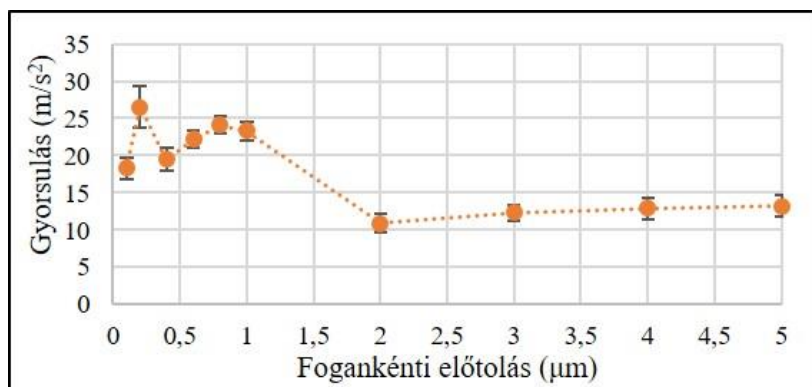


1. ábra Az erőhatások alakulása a fogankénti előtolás függvényében

Az eredményekből kitűnik, hogy ha  $f_z < 1 \mu\text{m}$ , akkor ez erők növekedést mutatnak, amit a vasalási jelenség erősödése eredményezhet. Ebben az esetben a minimális forgácsvastagság alatt jellemző anyagdeformációs folyamatok részaránya – a szerszám egy körülfordulásán belül – jelentősen megnő. Tehát az erőmérés alapján – technológiai megfontolásból – legalább  $f_z = 1 \mu\text{m}$  beállítása javasolt. Az eredmények alapján megállapítható, hogy az axiális erő érzékenyebb a fogankénti előtolás csökkentésére. Ez az erőkomponens azonban a szerszámot leginkább annak merev irányában terheli (tengelyirányban), ezáltal kisebb szerepe lehet a szerszámdeformációk kialakulásában, mint az  $F_c$ -nek.

#### 3.2 Rezgések

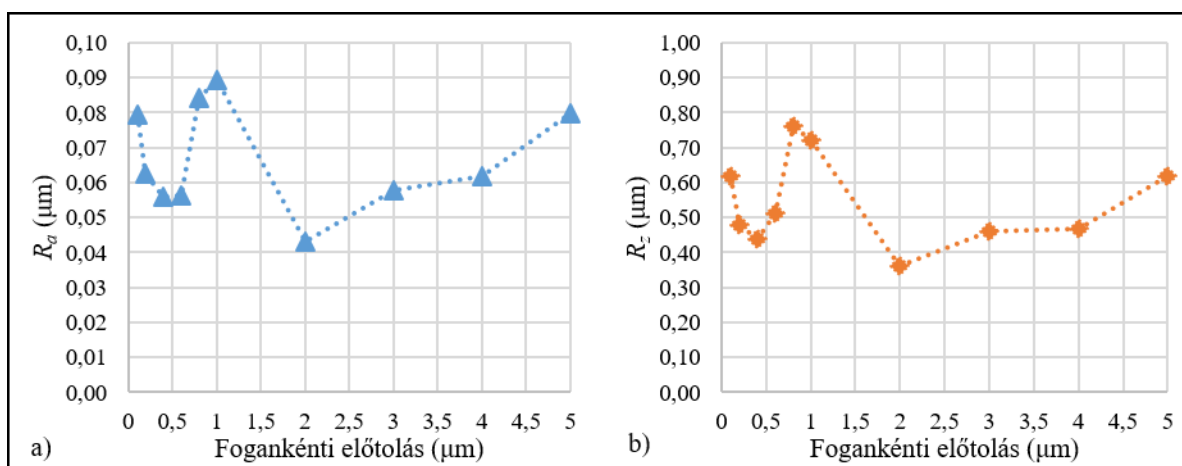
Az egykomponensű gyorsulásmérő-szenzorral rögzített eredmények a 2. ábrán láthatók. Megfigyelhető, hogy  $f_z = 2 \mu\text{m}$  alatt jelentősen erősebb rezgések jellemzik a folyamatot. Az  $f_z = 0,4 \mu\text{m}$ -nél azonban egy visszaesés tapasztalható, feltehetőleg itt van a  $h_{min}$  értéke. Ezen körülmények között,  $r_\beta = 2 \mu\text{m}$ -es élkerekedési sugarat feltételezve a  $h_{min}/r_\beta$  aránya 0,2, ami a szakirodalomban fellelhető egyéb kutatások eredményeinek is megfelel.

2. ábra  $A$  rezgések alakulása a fogankénti előtolás függvényében

Figyelembe véve a mikromarási folyamatot jellemző rezgésamplitúdókat, legalább  $f_z=2 \mu\text{m}$  fogankénti előtolás beállítása javasolt, mivel ebben az esetben a rezgések már csak fele akkora, mint a minimális forgácsvastagság értékénél mért lokális minimum esetén.

### 3.3 Felületi minőség

Az érdességmérésnél az ipar által leggyakrabban alkalmazott  $R_a$  és  $R_z$  érdességi mérőszámokon keresztül elemeztük a mikromart felületek érdességét. A méréseket a hornyok középvonalában hajtottuk végre. Az eredmények a 3. ábrán láthatók, ahol a feltüntetett értékek 3-3 mérés átlagaiból adódnak. A 3a ábra az  $R_a$  értékeket, a 3b ábra pedig az  $R_z$  értékeket mutatja be.

3. ábra  $R_a$  és  $R_z$  érdességi mérőszámok alakulása a fogankénti előtolás függvényében

Mindkét diagramon jól megfigyelhető, hogy  $f_z=2 \mu\text{m}$ -nél minimumpont van. Ez az érték a feltételezett  $r_\beta$  érték tartományába esik. Hasonló eredményeket tapasztaltak Aramcharoen és mtsai. [8] 45 HRC keménységű anyag esetén. Ennél kisebb előtolásoknál növekvő felületi érdesség adódott, majd  $f_z=0,4 \mu\text{m}$ -nél látható egy lokális minimumpont. Az érdességmérés eredményei alapján is ez lehet a minimális forgácsvastagság értéke. Figyelembe véve a technológiai szempontokat, a felületi érdességgel kapcsolatos vizsgálatok alapján is az  $f_z=2 \mu\text{m}$  beállítása javasolt. Az előtolás további növelése a felületi érdesség növekedéséhez vezet, hasonlóan a hagyományos méretű maráshoz.

## 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A minimális forgácsvastagság vizsgálatára szisztematikus kísérletsorozatot végeztünk, melyhez egy 500  $\mu\text{m}$  átmérőjű kétélű bevonatos keményfém mikromarót és egy VHTC 130 M mikro-megmunkálóközpontot alkalmaztunk. A kísérletek során felhasznált anyag  $50\pm 1$  HRC keménységű edzett melegalakító szerszámacél volt (AISI H13). A vizsgálatok alapján a következő állítások fogalmazhatók meg:

- Megállapítottuk, hogy a minimális forgácsvastagság értéke a vizsgált anyag és szerszám esetében  $\sim 0,4 \mu\text{m}$ .
- Megfigyeltük, hogy  $2 \mu\text{m}$ -es élénkenti előtolás felett a forgácsolási erőkomponensek, a rezgések és a felületi érdesség értékei is folyamatosan nőnek.
- A kísérletek alapján a forgácsolás szempontjából a legkedvezőbb körülményeket az éllekerekedési sugár értékéhez közeli élénkenti előtolások beállítása biztosítja.

## 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 kollégánknak a kísérletek során nyújtott segítségéért. Ezen kívül hálával tartozunk a Fraisa és Böhler cégeknek a kutatásunk támogatásáért.

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] B. Z. Balázs, T. Szalay, és M. Takács, „Investigation of micro milled surface characteristics”, *Proc. Int. Conf. Innov. Technol.*, o. 161–164, 2017.
- [2] V. Csala, T. Szalay, B. Z. Farkas, és S. Markos, „Application Benchmark of Three Micro Hole Machining Processes for Manufacturing the Nozzle of a Medical Water Jet Machine”, *Acta Polytech. Hung.*, köt. 12:2, o. 53–69, 2015.
- [3] A. C. Ramos, H. Autenrieth, T. Strauß, M. Deuchert, J. Hoffmeister, és V. Schulze, „Characterization of the transition from ploughing to cutting in micro machining and evaluation of the minimum thickness of cut”, *J. Mater. Process. Technol.*, köt. 212, sz. 3, o. 594–600, 2012, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2011.07.007.
- [4] I.-S. Kang, J.-S. Kim, és Y.-W. Seo, „Investigation of cutting force behaviour considering the effect of cutting edge radius in the micro-scale milling of AISI 1045 steel”, *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, jún. 2010, doi: 10.1243/09544054JEM1762.
- [5] G. Bissacco, H. N. Hansen, és L. De Chiffre, „Micromilling of hardened tool steel for mould making applications”, *J. Mater. Process. Technol.*, köt. 167, sz. 2–3, o. 201–207, 2005, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2005.05.029.
- [6] F. B. de Oliveira, A. R. Rodrigues, R. T. Coelho, és A. F. de Souza, „Size effect and minimum chip thickness in micromilling”, *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, köt. 89, o. 39–54, 2015, doi: 10.1016/j.ijmachtools.2014.11.001.
- [7] M. H. M. Dib, J. G. Duduch, és R. G. Jasinevicius, „Minimum chip thickness determination by means of cutting force signal in micro endmilling”, *Precis. Eng.*, köt. 51, o. 244–262, 2018, doi: 10.1016/j.precisioneng.2017.08.016.
- [8] A. Aramcharoen és P. T. Mativenga, „Size effect and tool geometry in micromilling of tool steel”, *Precis. Eng.*, köt. 33, sz. 4, o. 402–407, 2009, doi: 10.1016/j.precisioneng.2008.11.002.