

A fajlagos forgácsoló erő jellemzése vékonyforgácsleválasztás technológiai körülményei között, akusztikus emisszió és mikrokeménység mérés segítségével

Characterisation of the specific cutting force under the conditions of fine chip-removal with the help of acoustic emission and microhardness measurement

POLYÁK István¹, Dr. BIRÓ István²

^{1,2}Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gyártástudomány és –technológia Tanszék
H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., Tel.: +3614632515, Fax: +3614633176
E-mail: gttadmin@m365.bme.hu, ¹polyak.i@freemail.hu, ²biro.istvan@gpk.bme.hu
Honlap: <http://www.manuf.bme.hu>

Abstract

The specific process parameters of cutting, which are specified to the uncut chip section, can provide important information about the materials' expectable behaviour under cutting. Understanding the condition of fine-chip removal is especially important for the precision and micro cutting processes. In order to examine this special condition, a set of face grooving turning tests were carried out, where the removed material's cross-section could be measured afterwards. The specific cutting force and specific acoustic emission calculated in this way (depending on the removed material layer's thickness) deviate from the exponential characteristic when cutting with small uncut chip thickness. Microhardness measurements were realised to provide additional insight to what kind of changes occurred to the part's machined surface layer.

Keywords: cutting, specific cutting force, specific acoustic emission, microhardness, steel

Kivonat

Az elméleti forgáskeresztmetszetre fajlagosított folyamatjellemzői az anyagok forgácsolás során mutatott viselkedésének előrejelzéséhez szolgáltathatnak fontos információkat. A vékonyforgácsleválasztás technológiai körülményének ismerete különösképp lényeges precíziós és mikromegmunkálások esetén. E speciális körülmény vizsgálata céljából olyan beszűrő homlokesztergálási kísérletsorozat került végrehajtásra, melynek előnye, hogy a leválasztott forgáskeresztmetszet utólagosan mérhető. Az így számított fajlagos forgácsoló erő és fajlagos akusztikus emisszió (az eltávolított rétegvastagság függvényében) az exponenciális jellegtől eltérnek a forgácsolás kis elméleti forgácsvastagságú szakaszában. Megtámogatandó ezen eredményeket, mikrokeménységmérésekkel vizsgáltuk a felület közeli anyagréteg változásának mértékét.

Kulcsszavak: forgácsolás, fajlagos forgácsolóerő, fajlagos akusztikus emisszió, mikrokeménység, acél

1. Bevezetés

Napjaink miniatürizálódó világában egyre nagyobb az igény a megmunkált felületek minőségének növelésére, a folyamatok optimalizálására. A precíziós és mikromegmunkálások technológiájának jellegzetessége, hogy a megmunkálás mérvadó része a vékonyforgácsleválasztás körülményei között zajlik, ahol az elméleti forgácsvastagság (h) a szerszám éllekerekítésével (r_β) összehasonlítható méretű. Ezen körülmények vizsgálata az említett technológiák tervezéséhez, a megmunkálás során várható folyamatok és kimeneteik (pl. forgácsolási erőkomponensek, felületi minőség) becsléséhez lényeges.

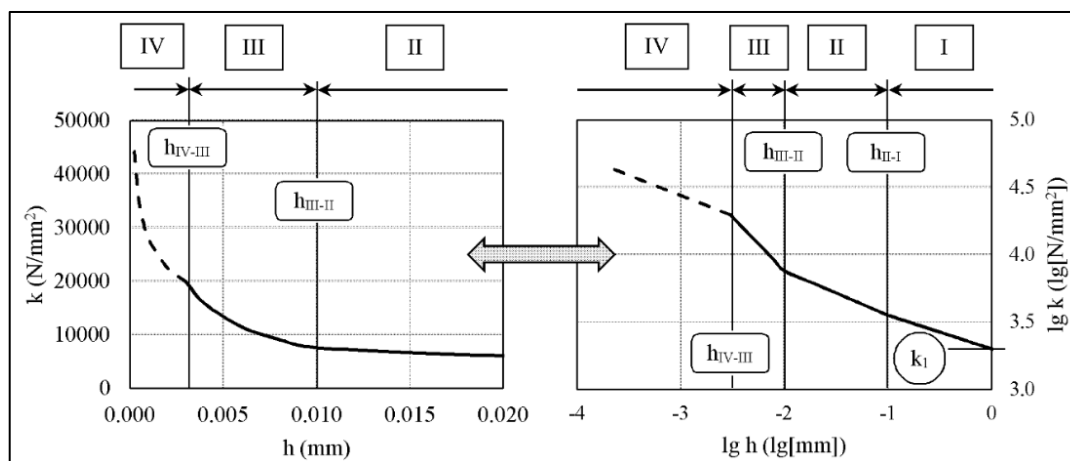
Az előzetes kísérleti eredmények [1] azt mutatják, hogy ellenirányú marás esetén a szerszámél belépésénél, illetve egyenirányú esetén a kilépésénél – azaz a kis elméleti forgácsvastagságú tartományban – a fajlagos forgácsoló erő (k) az exponenciális jellegtől eltér. A jelenség modelljét az 1. ábra szemlélteti.

Az akusztikus emisszió (AE) nem más, mint egy hanghullám vagy nyomáshullám, melynek forrása jellemzően egy deformációs energiaváltozás. Forgácsolást tekintve az AE legfőbb forrása a

(képlékeny)alakítás, illetve a szerszám és a munkadarab közötti súrlódás. Az egyre kisebb elméleti forgácsoló méret (illetve annak mérete a szerszám élsugarához viszonyítva) azonban további tényezők hatásait felnagyítja [2]. Mian és mtsai. [3] marási kísérletekkel – a 10 (μm) feletti elméleti forgácsoló vastagság tartományban – a fajlagos akusztikus emisszió értékekre (a fajlagos forgácsoló erőhöz hasonlóan) exponenciális jelleget kapott.

Lu és mtsai. [4] mikrohoronymarás kísérletei során az élenkénti előtolás – amely közvetlenül befolyásolja az elméleti forgácsoló vastagságot – változtatásával (lokális) maximumot figyeltek meg a felületen mérhető mikrokeményiség alakulásában. Ez a maximum néhány μm -es elméleti forgácsoló vastagság tartományában található.

A jelen kutatásban elvégzett kísérletek célja annak vizsgálata, hogy a két fajlagos mérőszám és a mikrokeményiség is hasonló trendeket mutat-e a szakirodalomban bemutatott, de eltérő eljárásokkal végzett kísérletekből származó adatokéval a 10 (μm)-nél kisebb elméleti forgácsoló vastagságú tartományban.



1. ábra. A fajlagos forgácsoló erő alakulása az elméleti forgácsoló vastagság függvényében [1, 3. o.]

2. A kísérlet

A vékonyforgácsoló leválasztás körülményeinek vizsgálatára olyan homlokbeszűrő esztergálási kísérletsorozat került megtervezésre, amely során a forgácsolás (tehát a szerszám be- és kilépése is az anyagból) a próbatest adott ármérőjén egy körülforduláson belül valósul meg, így nem egy teljes horony kerül kialakításra. Mivel a szerszám ugyanazon a felülelelemlen csak egyszer halad át, a leválasztott elméleti forgácsoló keresztmetszet utólagosan mérhető. A kísérlet a Budapesti Műszaki Egyetem Gyártástudomány és -technológia Tanszékének ultraprecíziós és mikro-megmunkáló laboratóriumában került elvégzésre egy Hembrug Mikrotorn 50 típusú esztergán. A próbatest anyaga S960QL nagy szilárdságú szerkezeti acél. A kísérlet technológiai paramétereit az 1. táblázat tartalmazza.

A kísérleti környezet a 2. ábrán látható. Az erőmérő (Kistler 9257A) a késtartó szánra került felhelyezésre. Ezen foglalt helyet a késtartó készülék, benne a CEAL2525M10D kódú SECO szerszámszár és 10EAL2.5FA kódú beszűrőlapka. A szerszámszáron az előtolás irányára merőleges felületen került elhelyezésre a Kistler 8152B221 kódú akusztikus emissziós szenzor. A valós fordulatszám, ezáltal a próbatest egy körülfordulási idejének pontos meghatározásához egy OMRON E3F-DS10B4 típusú jelenlétérzékelő is elhelyezésre került.

A kísérlet paramétertáblája

1. táblázat

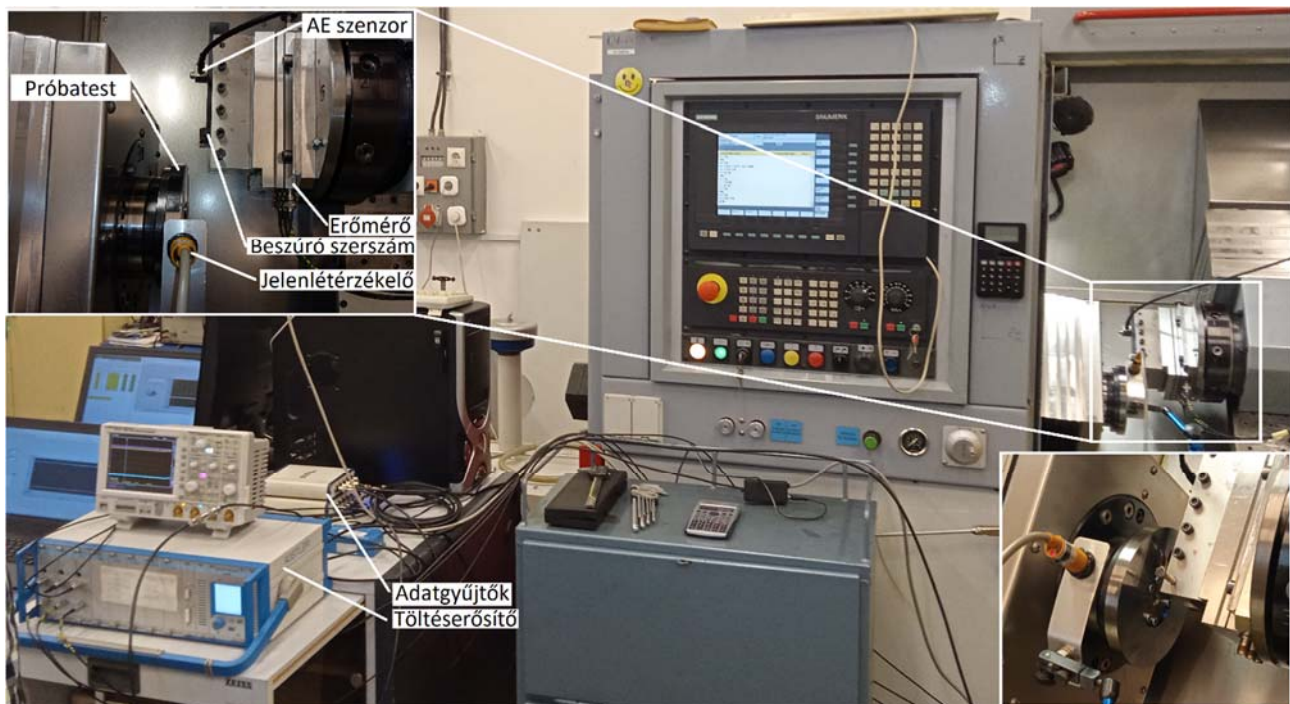
Ssz.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
v_c (m/min)	119	119	119	200	100	84	59	168	119	119
f (mm/1)	0,061	0,081	0,106	0,092	0,053	0,106	0,106	0,106	0,106	0,139

Az erőmérő által mért jel egy töltéserősítőn (Kistler 5070A) keresztül került bevezetésre az egyik adatgyűjtő (National Instruments USB-4431) berendezésbe, amely kommunikált a LabView keretrendszerben futó adatrögzítő szoftverrel. Az akusztikus emissziós szenzor jelét átvezetve egy 50...1000 (kHz) sáváteresztő szűrőn kapjuk a precíz („detailed”) AE-jel. Ezt kettéosztva az egyik ágát egy 1,2 (ms) időállandójú integráló tagon keresztül vezetve kapjuk az AE_{rms} jelet. Ezen két jelet egy másik adatgyűjtőbe kötve lehetővé vált a

kétféle mérőberendezés különböző frekvenciájú mintavételezése. A két adatgyűjtés között a mindkét adatgyűjtőbe bevezetett OMRON jelenlétszenzor létesít kapcsolatot.

Az eltávolított rétegkeresztmetszet meghatározásához profilmérést hajtottunk végre. A használt mérőberendezés egy Mitutoyo SJ 400 felületi érdesség és profilmérő. A 60°-os kúpszögű és 2 (μm) csúcsgugarú tapintófejjel mért felületi profilt a próbatest homlokfelületén, 5°-os osztásonként került mérésre. A 8 (mm) hosszú mérési hossz, 1600 mérési pont került rögzítésre, egy mérési fájlban 2 horony és a köztük lévő (kiértékelést segítő) karc található.

A mikrokeménység mérésére egy Buehler Indentamet 1100 mikrokeménységmérő berendezést használtunk. A terhelést 1 (kg)-ra, a terhelés időtartamát a szabványnak (ISO 6507) megfelelően 12 (s)-re definiáltuk. A mérések a próbatest középpontjába (forgáspontjába) illesztett polárkoordináta-rendszerben értelmezett szögpozíciókban történtek. A szögpozíciók a szerszám belépési és kilépési zónájában 5° osztással történtek, míg azon kívül 30°-onként. A pozicionálás kézzel történt. Az egyes szögpozíciókban és egyes hornyokban a mikrokeménység mérés háromszor került lemérésre. A mérés bizonytalanságát a három mért érték szórásaként definiáltuk. A mérésre a BME Anyagtudomány és Technológia Tanszékén került sor.



1. ábra. Esztergálási kísérlet elrendezése

3. Kiértékelés és eredmények

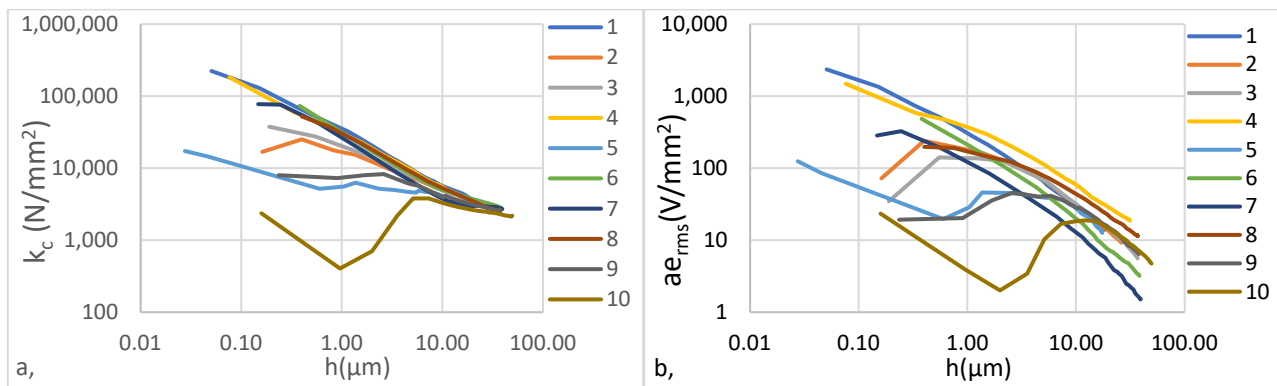
A kiértékelés LabVIEW 2022 szoftverkörnyezetben történt. A profilmérésekből meghatározásra került a leválasztott réteg szélessége (horonyszélesség, elméleti forgácsszélesség), melynek értéke ($b=2,48$ mm) a névleges értéktől (2,5 mm) kis mértékben eltért. A leválasztott rétegvastagság (elméleti forgácsvastagság) értékét a horonyfenék profilpontjainak átlagos értékeként adódott. Ezen értékek szorzataként megkaptuk az elméleti forgácskeresztmetszetet a próbatest szögelfordulásának függvényében ($A(\varphi)(mm^2)$). A vizsgált szögpozíciókhoz tartozó forgácsolóerő ($F_c(\varphi)$) és akusztikus emisszió „rms” (négyzetes közép) értéke ($AE_{rms}(\varphi)$) a pozícióhoz tartozó 5°-os tartományban mért értékek átlagolásából kerültek meghatározásra. A próbatest szögelfordulása ($\varphi(^{\circ})$) a jelenlétérzékelő által adott jel alapján nagy pontossággal meghatározható. Az értékek ($h(\varphi)$ ismeretében) átírhatóak az elméleti forgácsvastagság függvényeként, hányadosukból képezhető a fajlagos forgácsolóerő (I) és fajlagos akusztikus emisszió (2) értéke.

$$k_c(h) = \frac{F_c(h)}{A(h)} \quad (1)$$

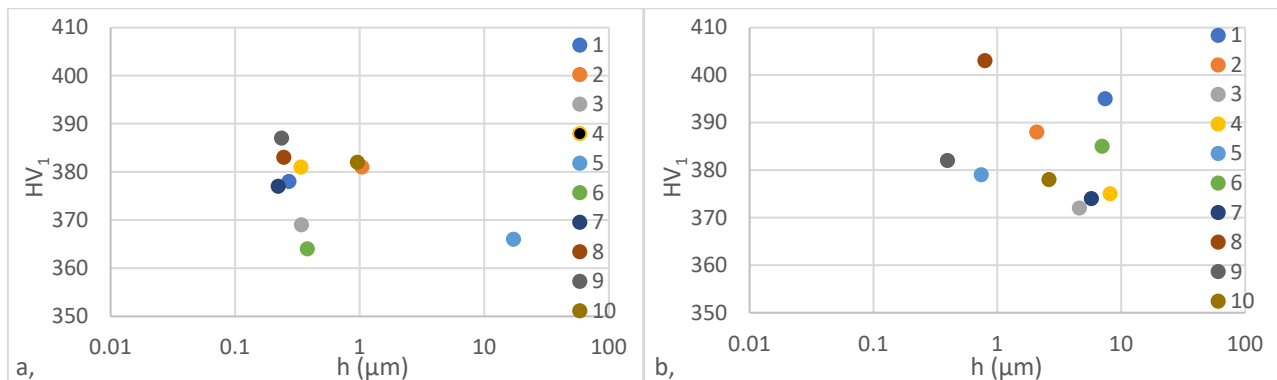
$$ae_{rms}(h) = \frac{AE_{rms}(h)}{A(h)} \quad (2)$$

Az így kapott fajlagos értékeket tartalmazza (logaritmikus skálázással) a 3.ábra, mely alapján kijelenthető, hogy mind a fajlagos forgácsolóerő, mind a fajlagos akusztikus emisszió hasonlóképp térnek el az exponenciális jellegtől. Az elméleti forgácsvastagság 10 (μm) alatti tartományában mindkét fajlagos mérőszám esetében deviancia figyelhető meg, mely mértéke a 3,2,9,5,10 számú kísérleteknél sorra nő. A mérőszámok viselkedése arra utal, hogy ezen tartományon a forgácsolási folyamatot kísérő sztochasztikus jelenségek hatása felerősödik, a folyamat instabilitása megnő.

A mikrokeménység vizsgálat eredményeképp (4.ábra) elmondható, hogy a legnagyobb mért keménységértékek (egy kivételével) a kis elméleti forgácsvastagság szakaszában találhatóak, – a fajlagos mérőszámokhoz hasonlóan – 10 (μm) alatti tartományában. Megfigyelhető továbbá, hogy élkilépés esetében ezek a maximumok átlagosan nagyobb elméleti forgácsvastagság értékekhez tartoznak.



3. ábra. Fajlagos forgácsolóerő (a) és fajlagos akusztikus emisszió (b) élbelépés esetén



4. ábra. Az élbelépésnél (a) és kilépésnél (b) mért legnagyobb mikrokeménységek

4. Összefoglalás

Az elvégzett homlokbeszűrő esztergálási kísérlet alapján az alábbi megállapítások tehetők:

- a fajlagos akusztikus emisszió a fajlagos forgácsoló erőhöz hasonló karakterisztikát mutat a forgácsolás 10 (μm) alatti elméleti forgácsvastagság szakaszában, vagyis a két mennyiség hasonló karakterisztikus jellegzetességgel bír;
- a felületen mérhető mikrokeménység maximuma szintén a 10 (μm) alatti elméleti forgácsvastagság szakaszában található, azaz ebben a tartományban keményedik fel leginkább a felület, itt szenved el a legnagyobb alakváltozást;
- szerszámkilépésnél a felületen mérhető mikrokeménység maximuma átlagosan nagyobb elméleti forgácsvastagság értéknél található.

A kísérletsorozat tovább folytatható a forgácsolási paraméterek változtatásával, illetve azonos paraméterekkel újbóli alkalmazásával az ismételhetőség is vizsgálható.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást az OTKA K132430 „Tranziens deformációs, termikus és tribológiai folyamatok kemény fémfelületek finomforgácsolásánál” és a 2021-1.2.4-TÉT-2021-00054 „Mikromegmunkálás gépi tanulással támogatott folyamatfelügyelete az Ipar 4.0 keretén belül” projektek támogatták.

Irodalmi hivatkozások

- [1] I. Biró és T. Szalay, „Extension of empirical specific cutting force model for the process of fine chip-removing milling”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, kötet. 88, szám. 9, o. 2735–2743, február. 2017, doi: 10.1007/s00170-016-8957-x.
- [2] D. E. Lee, I. Hwang, C. M. O. Valente, J. F. G. Oliveira, és D. A. Dornfeld, „Precision manufacturing process monitoring with acoustic emission”, *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, kötet. 46, szám. 2, o. 176–188, február. 2006, doi: 10.1016/j.ijmachtools.2005.04.001.
- [3] A. J. Mian, N. Driver, és P. T. Mativenga, „Chip formation in microscale milling and correlation with acoustic emission signal”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, kötet. 56, szám. 1, o. 63–78, szeptember. 2011, doi: 10.1007/s00170-011-3185-x.
- [4] X. Lu, Z. Jia, H. Wang, Y. Feng, és S. Y. Liang, „The effect of cutting parameters on micro-hardness and the prediction of Vickers hardness based on a response surface methodology for micro-milling Inconel 718”, *Measurement*, kötet. 140, o. 56–62, július. 2019, doi: 10.1016/j.measurement.2019.03.037.