

**Akusztikus emissziós mérés alkalmazhatóságának vizsgálata  
a forgácsolás tranziens szakaszának jellemzésére,  
fúrás technológiai körülményei között**  
**Investigation of the applicability of acoustic emission measurement  
for characterizing the transient cutting stage  
under drilling technology conditions**

*POLYÁK István<sup>1</sup>, Dr. BIRÓ István<sup>2</sup>*

<sup>1,2</sup>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gyártástudomány és –technológia Tanszék  
H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., Tel.: +3614632515, Fax: +3614633176  
E-mail: <sup>1</sup>xpolyak@edu.bme.hu, <sup>2</sup>biro.istvan@gpk.bme.hu  
Honlap: <http://www.manuf.bme.hu>

**Abstract**

*Among the process indicators used to investigate the cutting process, acoustic emission (AE) effectively characterizes deformation and the friction intensity at the chip–tool–workpiece interfaces in the cutting zone. It does so using relatively small sensors and straightforward measurement systems. This research focuses on the signal features of the recorded AE signals during drilling experiments, especially during the transient stage of machining when the tool enters and exits the cutting process.*

**Keywords:** cutting, transient phase of cutting, acoustic emission, drilling, chip formation

**Kivonat**

*A forgácsolási folyamat vizsgálatára használt folyamatindikátorok között az akusztikus emisszió (AE) kompakt és egyszerű szenzorozással és mérőrendszerrel jól jellemzik az alakváltozást és a forgács-szerszám–munkadarab kapcsolatokon a súrlódás intenzitását a forgácsolási zónában. A kutatás a rögzített AE jelek jelsajátosságát vizsgálja fúrási kísérletek során, különös tekintettel a forgácsolás tranziens szakaszára, azaz a szerszám forgácsolásba belépésekor és kilépésekor.*

**Kulcsszavak:** forgácsolás, tranziens forgácsolás, akusztikus emisszió, fúrás, forgácsképződés

## 1. BEVEZETÉS

A forgácsképzési folyamatok vizsgálata és felügyelete a korszerű gyártástechnológia egyik kiemelt kutatási területe, mivel a folyamat állapotának megbízható jellemzése alapvető feltétele a termelékenység, a minőség [1] és a szerszámélettartam [2] optimalizálásának. Különösen igaz ez a kis méretű anyagleválasztással rendelkező forgácsolásoknál, a mikroforgácsolásnál [3]. A folyamat jellemzésére számos mérőszám és szenzortechnológia alkalmazható. Ezek közül az akusztikus emisszió (AE) mérés különösen ígéretes, mivel érzékenyen reagál a forgácsolási zónában lezajló gyors energiafelszabadulási folyamatokra, mint a képlékeny alakváltozás az elsődleges nyírási zónában és a súrlódás a másodlagos és harmadlagos nyírási zónákban.

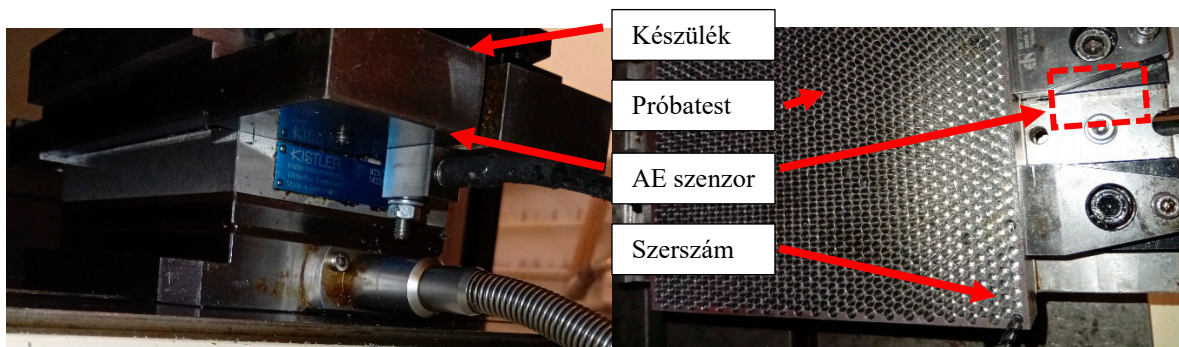
A forgácsolási folyamat egyik kevésbé vizsgált, ugyanakkor technológiai szempontból jelentős része a tranziens szakasz, amely a szerszám forgácsolásba történő belépésekor, illetve onnan való kilépésekor jelentkezik. Ezekben a rövid időtartamú állapotokban a forgácsképződés minőségében változik, amely változás a folyamatindikátorokban (például fajlagos forgácsoló erő) is megfigyelhető esztérgálás [4], illetve marás [5] technológiák esetében. Előzetes tapasztalatok alapján, telibefúrás technológiai körülményei között történő anyagleválasztás tranziens szakasza kevésbé jellemezhető a forgácsolási erő alapú mérések alapján. Fúrás során a forgácsoló nyomaték erősen zajjal terhelt, a szerszám eltolásának irányába eső erőkomponens pedig a keresztél miatt jóval nagyobb, mint egyéb technológiák esetében.

Jelen kutatás célja a fúrási kísérletek során rögzített akusztikus emissziós jelek alkalmazhatóságának vizsgálata a forgácsolás tranziens szakaszának jellemzésére.

## 2. KÍSÉRLET

Fúrési kísérleteket végeztünk S235 acélon, a Budapesti Műszaki Egyetem, Gyártástudomány és -technológia Tanszéken található Kondia 640B típusú megmunkáló központján. A próbatest anyaga S235J2+N minőségű. Az alkalmazott forgácsolószerszám egy TiAlN bevonatos, Din 338 szabvány szerinti geometriájú, keményfém fűrő. A kísérlet során a gyártó által javasolt technológiai paraméterek alkalmaztuk, melyek a forgácsolósebesség  $v_c=90 \text{ m/min}$  és a fordulatonkénti előtolás  $f=0,08 \text{ mm}$ , illetve az elárasztásos hűtés. A kísérlet során mélyfűrő ciklust alkalmaztunk a furatok elkészítésére, azaz három különálló szakaszra bontva vizsgáltuk a furatmélység hatását. Az így elkészített furatszakaszok:

- A szakasz, 0.2 mm mélységben, ahol a fűrő kezdetben nem dolgozik teljes átmérőben, fokozatosan nő a dolgozó átmérő és a szakasz végén már teljes átmérőn történik az anyagleválasztás;
- B szakasz, 2..7 mm mélységben, ahol teljes átmérőn kezdődik és fejeződik be a forgácsleválasztás, de kezdetben még minimális a fűrő mellékéle (élszalagja) és az elkészült furat közötti kontaktus, súrlódás, majd folyamatosan nő;
- C szakasz, 7..12 mm mélységig, ahol a fűrő és elkészült furat között már kezdetben is jelentős súrlódás várható, illetve a hűtőközeg is csak korlátozottan jut el a forgácsképzés helyére.



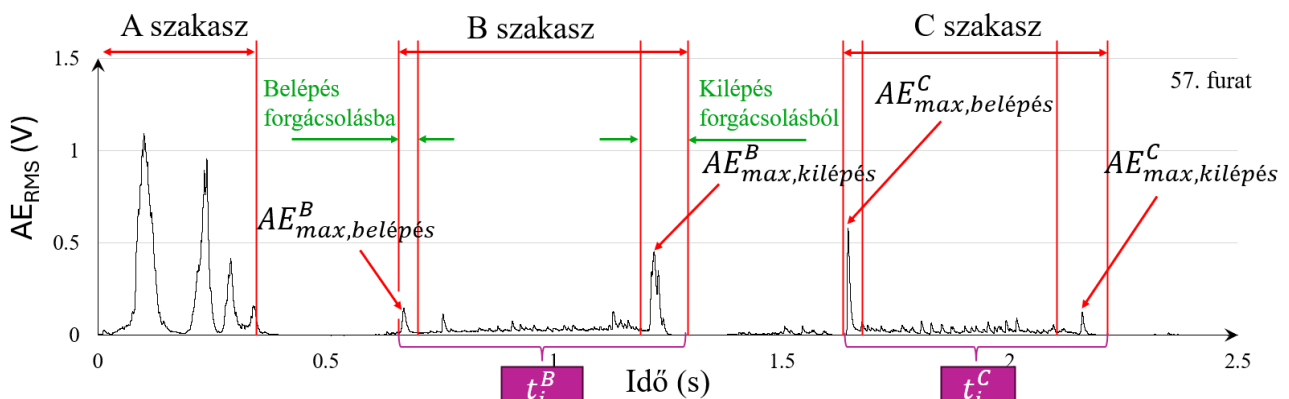
1. ábra. A kísérleti környezet

A kísérlet során akusztikus emissziós (AE) mérést végeztünk, ahol az AE szenzor a próbatestet befogó készüléken helyeztük el (1.ábra). Az egytengelyű AE szenzor (Kistler 8152B) felfogatása a fúrás előtolási irányával megegyezően történt. Az akusztikus emissziós jel előfeldolgozó egység által analóg módon képzett (szűrés 50-1000 kHz sáv áteresztéssel, integrálás 1,2 msec időállandóval)  $AE_{RMS}$  (Root Mean Squared) értékét rögzítettük. A folyamat közbeni mérés rögzítéséhez NI USB-4421 adatgyűjtőt, és LabView2025 szoftverkörnyezetet használtunk.

A használt szerszámot mikroszkópos vizsgálatnak vetettük alá, a szerszámállapot ellenőrzése céljából.

## 3. KIÉRTÉKELÉS ÉS EREDMÉNYEK

A mért akusztikus emissziós értékek LabView2025 szoftverkörnyezetben kerültek kiértékelésre. A mért  $AE_{RMS}$  jelen belül az egyes furatoknak és furatszakaszoknak a meghatározása határérték átlépési kereséssel történt, melynek küszöbértéke az alapjelszint 110%-át választottuk.



2. ábra. Az 57. furat elkészítése során mért  $AE_{RMS}$  értékek és a vizsgált jelsajátosságok értelmezése

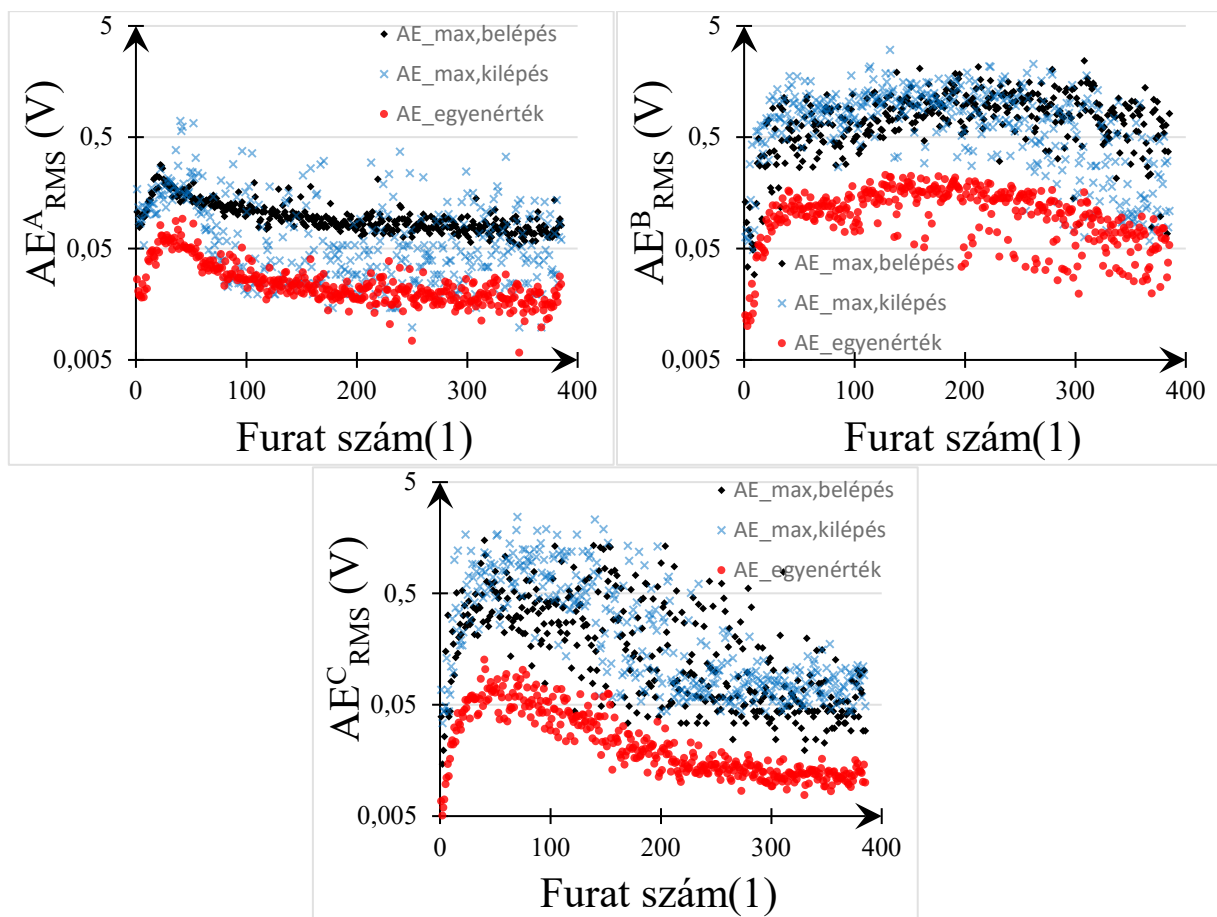
Az egyes furatszszakaszokon mért akusztikus emissziós értékekből a LabView beépített csúcserték keresője segítségével meghatároztuk a szerszámél forgácsolásba való belépése és forgácsolásból való kilépése során jelentkező lokális maximumainak értékét ( $AE_{max, belépés}^i$ , ahol  $i = A, B, C$  index a vizsgált furatszszakasz jelölése).

Meghatároztuk továbbá az egyenértékű akusztikus emisszió értékét az egyes furatszszakaszokra vonatkoztatva (1).

$$AE_{egyenérték}^i = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^n AE_{RMS}(t_j) \quad (i = A, B, C) \quad (1)$$

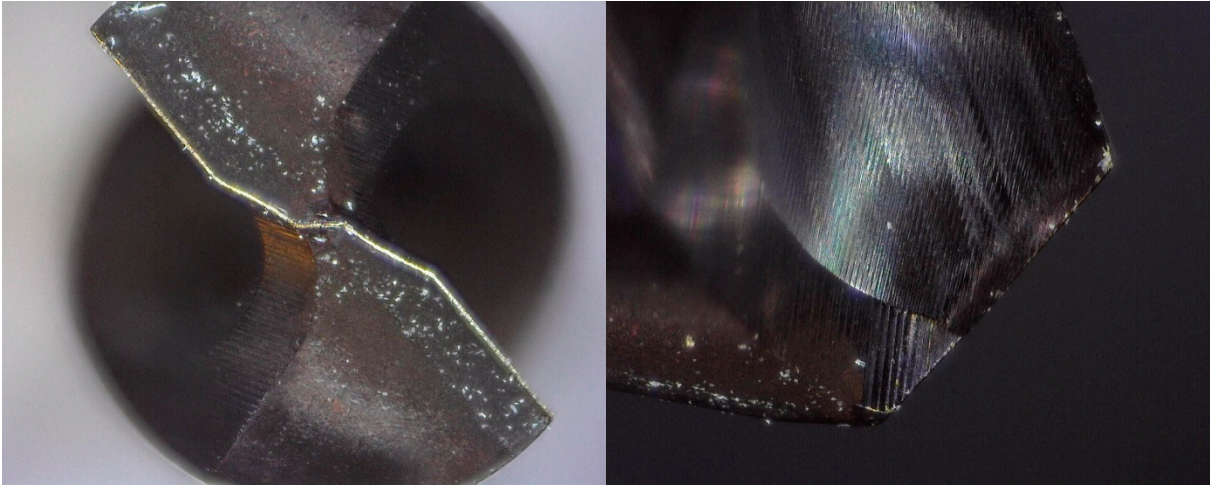
ahol  $j \dots n$  a vizsgált furatszszakasz mérési pontjai.

Az így kapott három akusztikus emissziós mérőszám a furatszszám és a furatszszakasz függvényében a 3. ábrán látható. A diagrammok alapján megállapítható, hogy mindhárom akusztikus emissziós mérőszám hasonló karakterisztikát mutat. Erős növekedés után folyamatos, stabilizálódni látszó tendencia. Azaz a vasalás dominálta képlékeny felületalakításból való áttérés a nyírás dominálta forgácsleválasztásra kisebb energiaigénybevétel mellett valósul meg. A szerszámél kilépése esetében a másik két mérőszámnál nagyobb bizonytalanság figyelhető meg. Ez utal a forgácsleválasztás helyén már jelen lévő forgácsra, illetve összhangban van a forgácsleválasztás tranziens szakaszában ismert forgácsleválasztási sajátosságokkal.



3. ábra. Az  $AE_{max}$  és  $AE_{egyenérték}$  mérőszámok a furatszszám és a furatszszakasz (A, B, C) függvényében

A folyamatindikátorban történő jelentős változás okának vizsgálata céljából a használt fűrőt mikroszkópos vizsgálatnak vetettük alá. A szerszámról készült mikroszkópos képek szemrevételezése alapján nem történt számszerűsíthető mértékű makro-geometriai kopás. Azonban a használt fűrő esetében a szerszám bevonatának elszíneződése figyelhető meg, mely a bevonat oxidálódását jelentheti. A jelenség további vizsgálatot igényel. Az axiális irányból vizsgált mikroszkópi képen a szerszám főélén kis mértékű, stabil élrátét van jelen. Az elvégzett vizsgálatok alapján nem állapítható meg teljes bizonyossággal a jelsajátosságok viselkedésének közvetlen fizikai oka a szerszám mikro-kopásán belül. Ennek meghatározásához további felületintegritást vizsgáló mérések szükségesek a szerszám főélén.



4. ábra. A fúró mikroszkópos képe

## 4. ÖSSZEGZÉS

Fúrési kísérleteket végeztünk S235 acélon, TiAlN bevonatos, Din 338 szabvány szerinti geometriájú, keményfém fúróval. A fúrásokat a gyártó által javasolt technológiai paraméterek és elárasztásos hűtés körülményei között valósítottuk meg. A fúrások Kondia 640B típusú megmunkálóközponton valósultak meg. A mérés során mélyfúró ciklust alkalmaztunk a furatok elkészítésére, azaz három különálló szakaszra bontva vizsgáltuk a furatmélység hatását. A kísérlet során akusztikus emissziós (AE) mérést végeztünk, ahol az AE szenzor a próbatestet befogó készülékelemen helyeztük el. Az egytengelyű AE szenzor felfogatása a fúrás előtolási irányával megegyezően történt. Az akusztikus emissziós jel előfeldolgozó egység által analóg módon képzett  $AE_{RMS}$  (Root Mean Squared) értékét rögzítettük. Vizsgáltuk ezen folyamatjellemző három jelsajátosságát: a szerszámél forgácsolásba belépésekor ( $AE_{max, belépés}^i$ ) és kilépésekor ( $AE_{max, kilépés}^i$ ) mérhető lokális maximumát (3. ábra), illetve a furatszakra vonatkoztatott egyenértékű akusztikus emissziót ( $AE_{egyenérték}^i$ ). A használt szerszámot mikroszkópos vizsgálatnak vetettük alá, a szerszámállapot ellenőrzése céljából.

A kísérletek alapján az alábbi megállapítások tehetők:

- Mindhárom akusztikus emissziós mérőszám hasonló karakterisztikát mutat. Erős növekedés után folyamatos, stabilizálódni látszó tendencia.
- A szerszámél kilépése esetében a másik két mérőszámnál nagyobb bizonytalanság figyelhető meg. Ez várható a forgácsleválasztás helyén már jelen lévő forgács, illetve a forgácsleválasztás tranzien szakaszában ismert forgácsleválasztási sajátosságok miatt.
- A szerszámról készült mikroszkópos képek alapján nem történt számszerűsíthető mértékű makro-geometriai kopás. Azonban a használt fúró esetében a szerszám bevonatának elszíneződése figyelhető meg, mely a bevonat oxidálódását jelentheti. A jelenség további vizsgálatot igényel.
- Az axiális irányból vizsgált mikroszkópi képen a szerszám főélén kis mértékű, stabil élrátét van jelen.

Az elvégzett mérések alapján nem állapítható meg teljes bizonyossággal a jelsajátosságok viselkedésének közvetlen fizikai oka a szerszám mikro-kopásán belül. Ennek meghatározásához további felületintegritást vizsgáló mérések szükségesek a szerszám főélén. Továbbá javasoljuk a vizsgálati tartomány kiterjesztését az elkészített furatok számának növelésével és az AE szenzor elhelyezésének hatását vizsgáló méréseket.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A Doktoranduszi Kiválósági Ösztöndíj Program (DKÖP) által támogatott projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott, valamint a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem közös támogatásával, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatallal kötött támogatási szerződés alapján valósult meg.

**IRODALMI HIVATKOZÁSOK**

- [1] M. Sarıkaya és mtsai., „A state-of-the-art review on tool wear and surface integrity characteristics in machining of superalloys”, *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.*, köt. 35, o. 624–658, nov. 2021, doi: 10.1016/j.cirpj.2021.08.005.
- [2] P. Twardowski, M. Tabaszewski, M. Wiciak – Pikuła, és A. Felusiak-Czyryca, „Identification of tool wear using acoustic emission signal and machine learning methods”, *Precis. Eng.*, köt. 72, o. 738–744, 0 2021, doi: 10.1016/j.precisioneng.2021.07.019.
- [3] P. Sahoo, K. Patra, T. Szalay, és A. A. Dyakonov, „Determination of minimum uncut chip thickness and size effects in micro-milling of P-20 die steel using surface quality and process signal parameters”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, köt. 106, sz. 11, o. 4675–4691, febr. 2020, doi: 10.1007/s00170-020-04926-6.
- [4] I. Polyák, I. Biró, és T. Szalay, „Identification of the Transient Phase of Cutting by the Specific Cutting Force and Acoustic Emission During Metal Cutting”, *Period. Polytech. Mech. Eng.*, köt. 69, sz. 4, o. 318–328, nov. 2025, doi: 10.3311/PPme.41227.
- [5] Z. Shi, Y. Li, Z. Liu, és Y. Qiao, „Determination of minimum uncut chip thickness during micro-end milling Inconel 718 with acoustic emission signals and FEM simulation”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, köt. 98, sz. 1, o. 37–45, szept. 2018, doi: 10.1007/s00170-017-0324-z.