

# Nagypontosságú kemény esztergálás dinamikai vizsgálata megszakított felületek esetén

Bachrathy Dániel<sup>\*1</sup>, Mészáros Imre<sup>2</sup>

\* [bachrathy@mm.bme.hu](mailto:bachrathy@mm.bme.hu)

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Műszaki Mechanikai Tanszék

<sup>2</sup>Gyártástudomány és –technológia Tanszék

A nagy pontosságú kemény esztergálást többnyire befejező megmunkálásként használják, ezért szűk tűréseket, jó felületi érdességet kell előállítani[8]. Megszakított felület esztergálásakor a rövid időre megszűnő forgácsoló erő, rezgéseket kelt a rendszerben, amelyek a felület minőségének romlásához, hullámossághoz, alakhibához és számos esetben a szerszám élének kitérőredezéséhez vezetnek. A jelenség vizsgálatára dinamikai modell készült, a technológiai paraméterek és a kialakuló felület jellemző paramétereinek elemzésére. A rendszerre felírt mozgásegyenlet segítségével előállítható, a szerszám él által leírt felületet, így a várhatóan előálló felület alakhibái is prognosztizálhatók. Meghatározható a legjobb felület eléréséhez szükséges optimális forgácsolási sebesség, amelynek kiszámításához zárt alakú összefüggést dolgoztak ki.

Az elmélet ellenőrzésére forgácsolási kísérleteket végeztek. A kísérletek során használt munkadarab Uddeholm Rigor szerszámacélból készült, amely teljes mértékben átédzhető. Az esztergálás a Slantbed-Mikroturn 50 CNC ultra-precíziós esztergán SECO CCMW09T304S-L0-B CBN050C típusú lapkával történt. A kísérletterv összeállításakor a várható optimumhoz közel álló technológiát használták. A kísérletek során gyorsulásérzékelőkkel mérték a rezgés jellemzőit.

A kialakult valós felület topográfiai képe, valamint a mérési jelekből (azaz a valós szerszámmozgásból) a modell alapján számított és a mért szerszámmozgásból rekonstruált felületek jó egybeesést mutattak, ami alátámasztja az elmélet helyességét.

## 1 Bevezetés

A nagypontosságú keményesztergálás a legtöbb esetben befejező megmunkálás és csak ritkán követi polírozás, leppelés vagy hónolás. Ez azt is jelenti, hogy az előírt pontosságot, felületi érdességet általában keményesztergálással kell elérni. Egybefüggő, megszakítatlan felület esetén a rendszerelemek helyes megválasztásával mikrométer körüli méret és alakműrések is elérhetők [1-7]. A felület megszakításai (hornyok, furatok) a stabil anyagválasztási folyamatot megzavarják. A felület megszakításai két alapvető okból jelentenek problémát. Az első, amíg normál esztergálásakor a passzív erőkomponens gyakran elhanyagolható nagyságú, sőt esetenként akár negatív irányú is lehet, addig keményesztergálásakor a legnagyobb erőkomponens lép elő[9], ami a rendszer merevségét komoly próbára teszi. A második, hogy a felület megszakításakor a passzív erőkomponens először nullára csökken, majd gyors, átmenet nélküli belépéssel maximális értéket vesz fel. A hirtelen bekövetkező erőingadozás hatására a rendszer véges merevsége miatt, a rendszerelemek a passzív erő irányába mozdulnak el. Megszűnő erő esetén a munkadarab anyagoldala felé, míg belépéskor ezzel ellentétes irányba. A munkadarab felületétől eltávolodó szerszám él a felületen méret és alakhibát okoz, amelynek mérete a tűrésmező által megengedett értéket is meghaladhatja. A visszarugózó szerszám, a munkadarab és a szerszám éle között erőnövekedést okoz, ami gyakran a szerszám él kicsorbulásához vezet. Belátható, hogy a megmunkáló rendszer dinamikai tulajdonságainak tisztázása rendkívül fontos, ugyanakkor a modellezése rendkívül összetett feladat.

## 2 A megszakított forgácsolás leírása

Acélok nagypontosságú keményesztergálásakor, szinte kizárólag, köbös bórnitrid (CBN) szerszámanyagot használnak. A köbös bórnitrid a gyémánt után a második legkeményebb anyag. Mechanikai tulajdonságai nagy hasonlóságot mutatnak a gyémánthoz, a rendkívüli keménysége miatt nyomó feszültséggel jól terhelhető, de húzó feszültségekkel nem. Ennek eredménye, hogy ha az él olyan irányú terhelést kap, amelynek hatására nagy húzó feszültségek lépnek fel, a szerszám éle kitérőredezik, kicsorbul. Fizikai tulajdonságai közül leginkább a lényegesen magasabb hőállóságában különbözik a gyémánttól. A forgácsleválasztás dinamikai modelljének megalkotása előtt, részletesen elemezni kell a forgácsoló él és a munkadarab érintkezését.

Folyamatos forgácsolásakor, bekezdéskor, amikor a szerszám éle eléri a munkadarabot, a szerszám és a munkadarab között fellépő súrlódás következtében keletkező hő a forgácsötvet felmelegíti, létrejön a martenzit-ausztenit átalakulás, a kialakuló forgácsötben az anyag kilágyul, és lágy állapotban megy át forgácsba. A belépés így fokozatos, a dinamikus hatás elhanyagolható. Nagy pontosságú keményesztergálásakor általában viszonylag kis forgácsvastagságot állítanak be, így feltételezhető, hogy az egész forgácsötben létrejön a kilágyulás, fűrészfog alakú forgácsképződés dinamikai (rezgésgerjesztő) hatásával nem kell számolni [7]. Az él belépésekor

a forgácsolási erő és ennek következtében a rendszer deformációja csak lassan, legalább egy fordulat alatt épül fel, s kilépéskor egy fordulat alatt épül le.

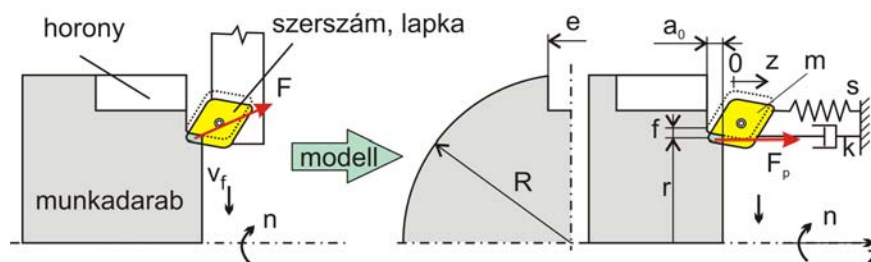
Megszakított forgácsoláskor ettől lényegesen eltérő folyamattal kell számolni.

A szerszám éle előtt forgácsolási sebességgel haladó kilágyult forgácsoló a furat, vagy horony peremének elérésekor azonnal megszűnik, ezzel együtt a forgácsoló erő is. A rugalmas deformáció gyorsan leépül. A megszűnő erő hatására a rugalmas rendszer csillapított rezgőmozgást végez, amelynek amplitúdója és frekvenciája a rendszer dinamikai tulajdonságaitól függ. A furat vagy horony másik oldali peremének elérésekor a szerszám éle a teljes forgácskeresztmetszettel lép az anyagba, amelynek hőmérséklete a munkadarab hőmérsékletével egyenlő. A martenzites szerkezetű rideg anyag a szerszám élén ütősszerű igénybevételt okoz. A martenzites szerkezet alakítási ellenállása lényegesen nagyobb, mint a kilágyult fázis, ezért a belépéskor fellépő erő lényegesen nagyobb lehet, mint állandósult állapotban. Ütősszerű igénybevétel hatására a rugalmas rendszer ismét csillapított rezgőmozgást végez, de most a szerszám él és a munkadarab felülete érintkeznek. Az él és a munkadarab relatív pályájának eltérése a horony előtti statikusnak tekinthető pályától a munkadarab felületének alak és mérethibáját eredményezi. A kitérés amplitúdója, frekvenciája és a csillapodási út hossza a rendszer dinamikai jellemzőitől függ.

A rugalmas rendszer viselkedése két megközelítésből vizsgálható. Az egyik megközelítéskor a szerszám él kilépési és belépési mikrokörnyezetét vizsgálva magyarázat adható a megszakított forgácsoláskor tapasztalt gyakori él-kicsorbulásra és törésre [10]. A másik megközelítéskor makroszkopikusan vizsgálva a rugalmas rendszert, a fellépő csillapított rezgőmozgás elsődleges következménye a forgácsolt felület méret-, és alakhibájában nyilvánul meg. A két hatás ugyan együttesen lép fel, de ezek a modellezés szempontjából szétválaszthatók. Ez a tanulmány csak az utóbbi megközelítésre szorítkozik.

### 3 A nagy pontosságú keményforgácsolás dinamikai modellje

A kidolgozott mechanikai modellel a rezgő szerszám által létrehozott megmunkált felület vizsgálható. A felület kialakulásakor csak a szerszámnak a felületre merőleges elmozdulásai fontosak, hiszen ezek a rezgések a forgácsolási folyamat során a felületre másolódnak. A keményesztergálás esetén a passzív erőkomponens a legnagyobb, amely szintén merőleges a felületre. A megfontolások alapján a dinamikai modell egy 1 szabadságfokú csillapított lengőrendszer, amelyet a periodikusan változó forgácsoló erő gerjeszt (1. ábra).



1. ábra: Mechanikai modell és paraméterei

A szerszámnak a felületre merőleges  $z$  irányú mozgásának a mozgásegyenlete a szokásos formában írható:

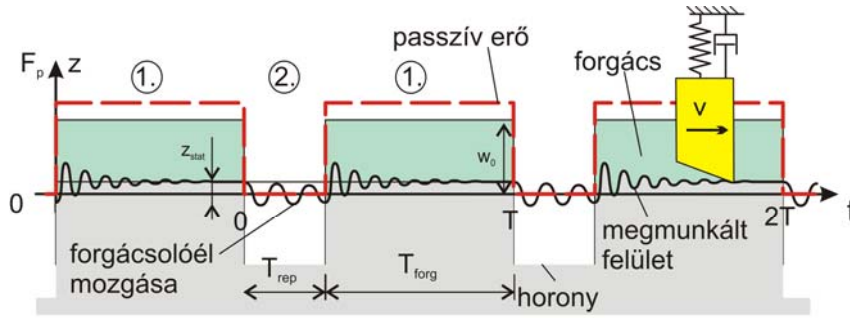
$$m\ddot{z}(t) + k\dot{z}(t) + sz(t) = F_p(t, z), \quad (1)$$

ahol

- $m$  a szerszám tömege,
- $k$  a csillapítás,
- $s$  a merevség.

Ezek a paraméterek meghatározhatók egy adott szerszám gép esetén méréssel és modális analízissel.

Megszakított esztergálás két fázisra bontható. Az elsőben a passzív erő állandó nagyságúnak tekinthető. A passzív erő függ a forgácsvastagságtól, amely enyhén változik, ha a szerszám a munkadarabhoz képest elmozdul. Ennek hatására kialakulhat az úgynevezett regeneratív rezgés [11]. Munkánk során, ezt a jelenséget figyelmen kívül hagyjuk azáltal, hogy a passzív erőt konstansnak tekintjük. Amint a szerszám eléri a felület határát, elkezdődik a második fázis, az érintkezés nélküli ('repülési') fázis. Itt a szerszám nem érintkezik az anyaggal, ezért a forgácsoló erő zérus. Ebben a fázisban a szerszám szabad lengéseket végez. A megszakított esztergálás két fázisában, amelyek  $T_{\text{forg}}$  és  $T_{\text{rep}}$  időtartamúak, a forgácsoló erő 'ki - és bekapcsol'. A megmunkálás fázisait és a szerszám feltételezett rezgéseit szemlélteti a 2. ábra.



2. Ábra: A forgácsolási (1) és a 'repülési fázis' (2) a megszakított forgácsolás során és a rezgő szerszám feltételezett mozgása

A forgácsolási fázisban a konstans passzív erő  $F_p$  egy statikus deformációt  $z_{stat}$  hoz létre a rendszer véges merevségének köszönhetően:

$$z_{stat} = F_p / s . \quad (2)$$

A (2) egyenlet felhasználásával a mozgás egyenlet a következő alakra hozható:

$$\ddot{z}(t) + 2D\alpha \dot{z}(t) + \alpha^2 z(t) = \alpha^2 z_{stat} , \quad (3)$$

ahol  $\alpha = \sqrt{s/m}$  a rendszer csillapítatlan saját-körfrekvenciája és  $D = k / (2m\alpha)$  a relatív csillapítási tényező.

Feltételezhető, hogy a forgácsoló erő nagyon rövid idő alatt, pillanatszerűen leépül, amint eléri a felület határát. Ez az időpont a kezdete a második, érintkezés nélküli fázisnak, ahol a szerszám szabad lengéseket végez. A tapasztalatok szerint a rezgések az anyagba való visszalépést követően hamar lecsengenek, jóval előbb, mint ahogy a szerszám elérné az újabb kontaktus nélküli fázist. Ezért feltételezhető, hogy a forgácsolási fázis végén már nincs rezgés, azaz a transziens rezgések kihálnak  $T_{forg}$  idő alatt. Ennek megfelelően az érintkezés nélküli fázis kezdeti feltételei:

$$z(0) = z_{stat} , \quad \dot{z}(0) = 0 . \quad (4)$$

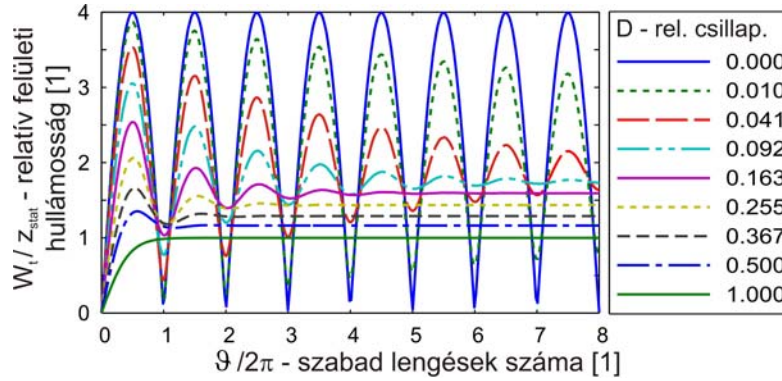
A szabad lengések végén ( $t=T_{rep}$ ), a szerszám újra eléri a munkadarabot, és kezdődik a megmunkálási folyamat, s ekkor a pozíció  $z(T_{rep})$  és a sebesség  $\dot{z}(T_{rep})$  zárt alakban számítható a mozgásegyenletből. A belépéskor a szerszám helyzete eltér a statikus deformációtól  $z_{stat}$  a csillapodó rezgések miatt. Ennek köszönhetően transziens rezgések alakulnak ki a forgácsolási folyamat kezdetekor is. Ezek a rezgések már a felületre másolódnak a forgácsolási sebesség irányába, rossz minőségű felületet hozva létre. A felületi hullámosság a forgácsolási sebesség irányában számítható a legnagyobb felületi csúcs és a legmélyebb felületi árok különbségeként. Ez a szerszám mozgásából is kiszámítható:

$$W_t = \max(z(t)) - \min(z(t)), \quad T_{rep} \leq t \leq T_{rep} + T_{forg} . \quad (5)$$

A 2. ábrán látható, hogy a szabad lengések száma nagy hatással lehet a kialakuló felületi minőségre. a lengések fázisait leíró  $\vartheta = \alpha t$  dimenzió nélküli idő-koordinátát bevezetésével a mozgásegyenlet tovább egyszerűsödik:

$$z''(\vartheta) + 2Dz'(\vartheta) + z(\vartheta) = z_{stat} , \quad (6)$$

ahol a  $z' = \partial z / \partial \vartheta$  deriválást jelöli. Megoldva ezt a mozgásegyenletet (6) az  $z(T_{rep})$  és  $\dot{z}(T_{rep})$  kezdeti feltételekkel a felületi hullámosság számítható (5) egyenlet segítségével. Mivel a (6) egyenlet lineáris ezért a kialakuló rezgés a statikus deformációtól  $z_{stat}$  lineárisan függ. Látható, hogy a felületi minőség jellegre csak két paramétertől függ: a relatív csillapítási tényezőtől  $D$  és a szabadlengések hosszától  $\vartheta_{rep} = T_{rep}\alpha$ . A 3. ábra a felületi hullámosság e két paraméter szerint kiszámított értékeit mutatja..



3. ábra: Szabadlengések száma szerint ábrázolt relatív felületi hullámosság a forgácsolási sebesség irányában  $W_t / z_{stat}$  különböző relatív csillapítási értékekre

A 3. ábrán látható, hogy ha a rendszer kis egészszámú lengést végez elhanyagolható csillapítás mellett, akkor az elmélet szerint a felületi hiba csaknem zérus. Ez az eset határozza meg az optimális érintkezés nélküli időt:

$$T_{rep\,opt} = j \frac{2\pi}{\alpha} = jT_n \quad j = 0,1,2,3,\dots, \quad (7)$$

ahol,  $T_n$  a szabad lengés periódusideje. Ez a periódusidő könnyen mérhető egy egyszerű ütési kísérlettel, vagy számítható, ha ismertek a modális paraméterek.

Látható, hogy a legrosszabb esetben, ha rendszer fél lengés után lép vissza az anyagba, akkor a felületi hullámosság akár a statikus deformáció négyszerese is lehet ( $W_{t\,max} = 4z_{stat}$ ). A relatív csillapítási tényezőt növelve az elérhető felületi hullámosság rövid érintkezés nélküli idő esetén romlik. A nagy csillapítás előnyös lehet, ha az érintkezés nélküli idő hosszabb, hiszen ekkor a felületi minőség csak kis mértékben függ az érintkezés nélküli időtől.

Egy valós szerszám gép esetében a csillapítási tényező csak kismértékben befolyásolható, viszont az érintkezés nélküli idő jól beállítható a megfelelő forgácsolási sebesség, fordulatszám megválasztásával.

#### 4 Optimális forgácsolási sebesség

A vizsgált esetben a megszakított felületet egy horony jelenti, amelynek a szélessége  $e$  [mm] (1. ábra). Ebben az esetben az érintkezés nélküli idő  $T_{rep}$  [s] az alábbi képlettel számítható:

$$T_{rep} = \frac{2 \arcsin(e/2r)}{\Omega} \cong \frac{e}{r\Omega} = \frac{e}{v} \cdot \frac{60}{1000}, \quad (8)$$

ahol

- $r$  - a szerszám csúcsának sugárirányú helyzete [mm],
- $v$  - a forgácsolási sebesség (kerületi sebesség) [m/min],
- $\Omega$  - a szögsebesség [rad/s].

A (8) képletben a közelítés hibája  $r/e=2$  esetén 1.178%, míg ez hiba  $r/e=4$  esetén csak 0.067%. A forgácsolási fázis ideje ( $T_{forg}$  [s]) is könnyen számítható felhasználva a forgás periódusidejét  $T_\Omega$  [s]:

$$T_{forg} = T_\Omega - T_{rep} \cong \frac{2\pi}{\Omega} - \frac{e}{v} \cdot \frac{60}{1000} = \frac{2\pi r - e}{v} \cdot \frac{60}{1000}. \quad (9)$$

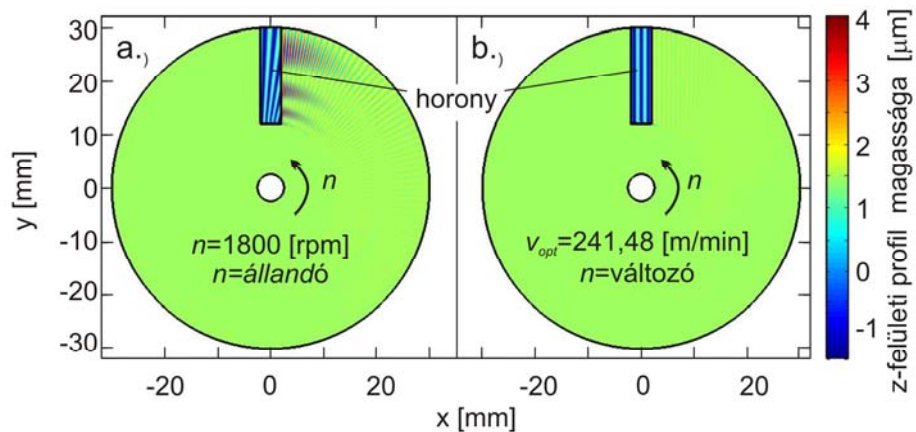
Felhasználva a (7) és (8) egyenleteket az optimális forgácsolási sebesség ( $v_{opt}$  [m/min]) meghatározható

$$v_{opt} = \frac{e\alpha}{j2\pi} \cdot \frac{60}{1000} = \frac{e}{jT_n} \cdot \frac{60}{1000} \quad j = 0,1,2,3,\dots \quad (10)$$

A 4.a ábra állandó fordulatszám mellett síkesztergált munkadarab számított felületét mutatja. Ebben az esetben a forgácsolási sebesség változik a megmunkálás során a sugár függvényében. Jól látható, hogy néhány sugár

mentén a forgácsolási sebesség igen közel esik az optimálishoz, azaz egész számú szabad lengést végez a szerszám, így egyenletes, jó felület alakul ki.

A 4.b ábra a (10) egyenlet alapján meghatározott optimális forgácsolási sebességgel (változó fordulatszámmal) modellezett felületet mutat. Ebben az esetben a felület minden sugár értéknél egyformán jó minőségű.

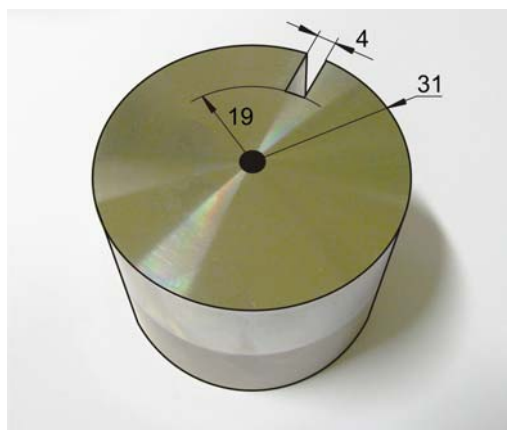


4. Ábra: Számítással meghatározott szerszám szabad lengései és a kialakított felületállandó fordulatszám (a) és állandó forgácsolási sebesség (b) mellett

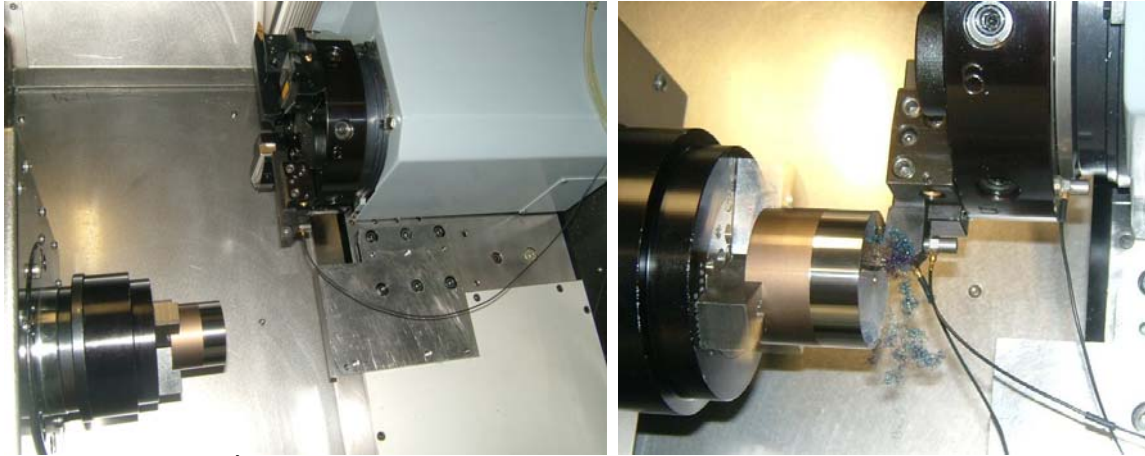
Fekete folytonos vonalak a munkadarab határait jelölik: Paraméterek:  $m=0.0556$  [kg],  $k=21.11$  [Ns/m],  $s=20 \cdot 10^6$  [N/m],  $e=4$  [mm],  $r=30$  [mm]

## 5 Kísérleti igazolás

Az elmélet igazolására esztergálási kísérletet végeztek az 5. ábrán bemutatott munkadarabon. A hengeres, horonnyal ellátott munkadarab anyaga Uddeholm Rigor szerszámacél, amely teljes keresztmetszetében átédzhető. A mérések egy Slantbed-Mikroturn 50 CNC esztergán, a 6. ábrán bemutatott mérési elrendezésben történtek. A forgácsoláshoz használt szerszám SECO CCMW09T304S-L0-B CBN050C típusú lapka volt. A mérés során a szerszámfej rezgéseit gyorsulásérzékelőkkel (B&K 4397) mérték és a jeleket a PULSE hardver és szoftver dolgozta fel. Az szerszám pozíciója a mért jel kétszeres integrálásával adódik és felül áteresztő szűrő szűrte.



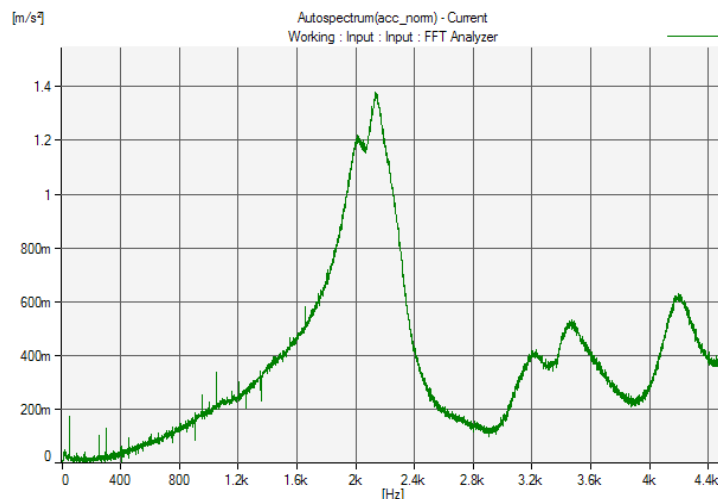
5. Ábra: A munkadarab geometriai méretei



6. Ábra: Mérési elrendezés: munkadarab, szerszám, gyorsulásérzékelő

### 5.1 A modális paraméterek meghatározása

A a rendszer frekvencia átviteli függvényét ütési kísérlet segítségével állapították meg (7. Ábra). A rendszernek a domináns sajátfrekvenciája  $\alpha = 2240$  [Hz]. A relatív csillapítási tényezője megközelítőleg  $D = 0,05$ .



7. Ábra: Az ütési kísérletnél mért gyorsulás jel gyors Fourier transzformáltja

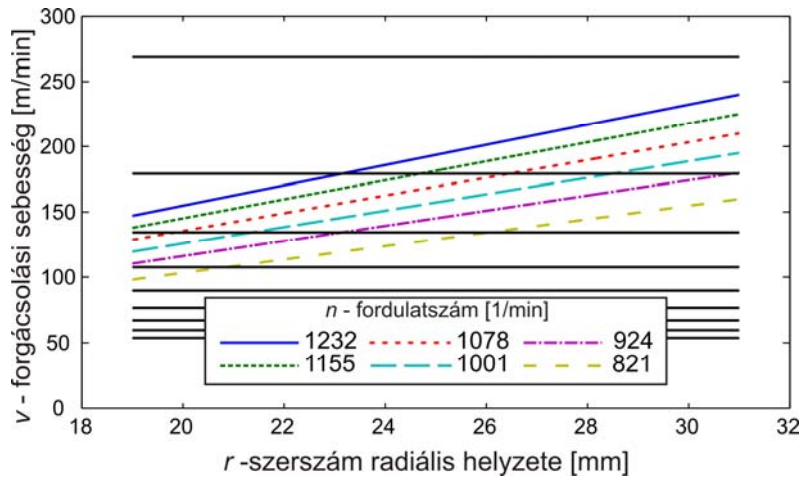
A (10) egyenlet segítségével az optimális forgácsolási sebességek meghatározhatók:

$$v_{\text{opt}} = \frac{537.6}{j} \left[ \frac{\text{m}}{\text{min}} \right] \quad j = 0,1,2,3,\dots \quad (11)$$

$$v_{\text{opt}} = (537.6; 268.8; 179.2; 134.4; 107.5; 89.6; \dots) \left[ \frac{\text{m}}{\text{min}} \right].$$

### 5.2 Technológiai jellemzők

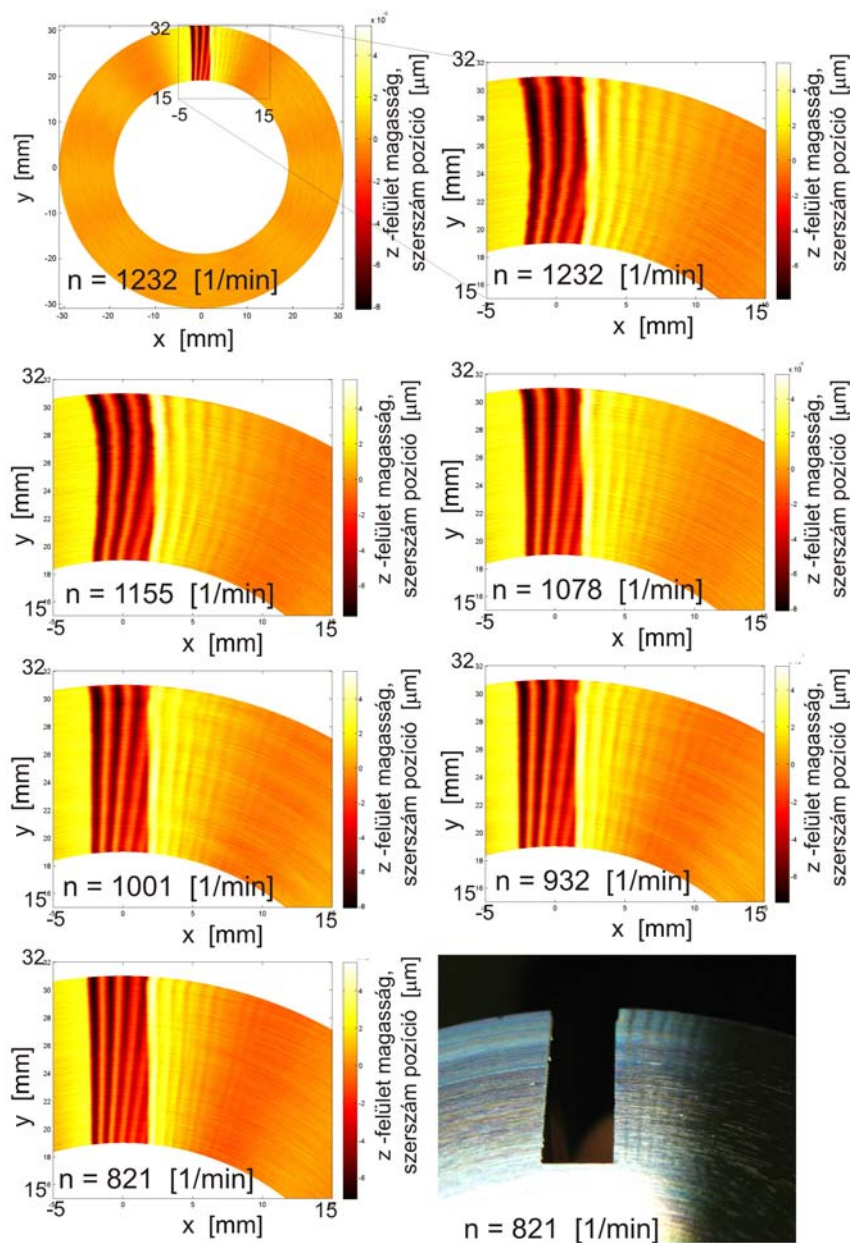
Az esztergálásnál az előtolás  $25 \text{ } [\mu\text{m}/\text{ford}]$  és a fogásmélységet  $40 \text{ } [\mu\text{m}]$  állandó volt. A mérések több különböző állandó fordulatszám mellett,  $n = 1232; 1155; 1078; 1001; 924; 821 \text{ } [1/\text{min}]$ , történtek. A forgácsolási sebesség a sugár mentén egyenletesen változik, így egy mérésen belül több forgácsolási sebességet lehetett vizsgálni. A 8. ábra bemutatja a sugár mentén változó forgácsolási sebességeket a különböző mérések során használt fordulatszámok esetén (ferde vonalak). Ábrázolja továbbá a (11) egyenletből megkapott optimális forgácsolási sebességeket (vízszintes vonalak). Azoknál a sugár értékeknél, ahol a vonalak metszik egymást, kis rezgés alakul ki a forgácsolási folyamat megkezdése után, így a felületi minősége kedvezőbb lesz az elmélet szerint. Például, a  $1001 \text{ } [1/\text{min}]$  fordulatszám esetén  $r = 21,6 \text{ } [\text{mm}]$  és  $28,5 \text{ } [\text{mm}]$  esetén jobb felületi minőség várható.



8. Ábra: Számított optimális (vízszintes vonalak) és a sugár mentén változó forgácsolási sebességek (ferde vonalak)

### 5.3 Eredmények

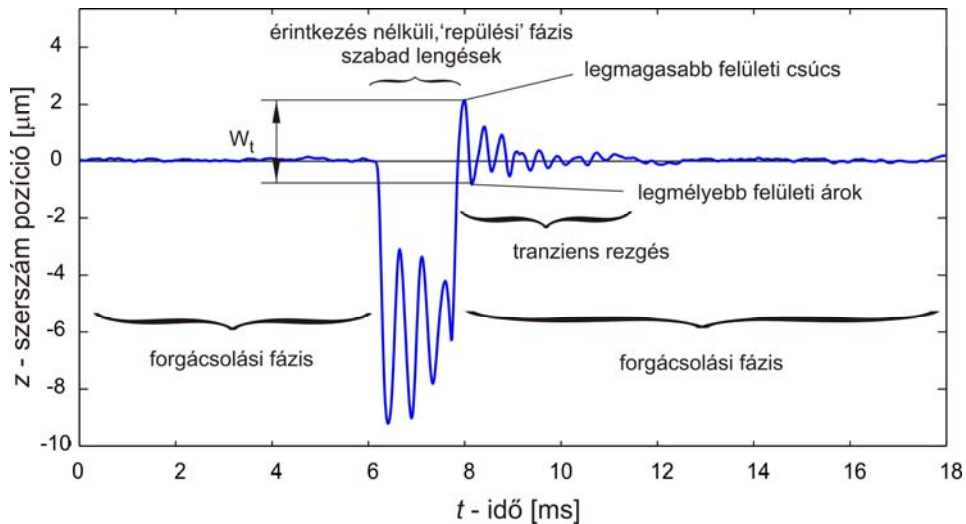
A mérések során a kialakuló felületi hullámosság közvetlen mérésére nem volt mód. Ennek pontos mérése igen nehéz feladat, amelyet minden egyes forgácsolás után el kellett volna végezni, mivel a következő forgácsolási vizsgálathoz az előzőleg kialakított felületet eltávolították. Feltételezve, hogy a szerszám mozgása teljes egészében a felületre másolódik, a megmunkált felület előállítható a mért rezgésjel transzformálásával. Ebben az esetben a szerszám munkadarabhoz viszonyított spirális pályája mentén kell ábrázolni a rezgésjelet. Az így kapott felületeket mutatja a 9. ábra. Az így mért rezgésjelből létrehozott felületi profil nem ugyanaz, mint a valóságos felület, mivel a megmunkálás során létrejönnek rugalmas és képlékeny alakváltozások a forgácstő közelében. Ezek a deformációk feltehetőleg igen kicsik. A 9. ábra fényképén láthatóak a belépést követő rezgések nyomai a munkadarab felületén. A fényképen és a hozzá tartozó generált felületen is azonos mintázat figyelhető meg.



9. Ábra: A szerszámon mért rezgési jelekből előállított felületek különböző fordulatszámok esetén: fénykép a megmunkált hullámos felületről (jobb-alsó kép)

A 10. ábrán a megszakított felületű esztergáláskor kialakuló rezgésjelek egy tipikus periódusa látható. Jól elkülöníthető a forgácsolási folyamat és a szabad lengés, amelyeknek a struktúrája azonos a 2. ábrán bemutatottal. A feltételezés, hogy a forgácsolási fázis végére a transziens rezgések elhalnak, helyesnek bizonyult. Az időpont, amikor a szerszám visszalép az anyagba, azaz a forgácsolási folyamat kezdődik, jól érzékelhető a rezgésjelből egyszerű maximumkeresési eljárással. A mérési jelből előállított felület hullámossága a forgácsolási sebesség irányában számítható a forgácsolási fázisban a maximális és minimális szerszámelmozdulás különbségéből.

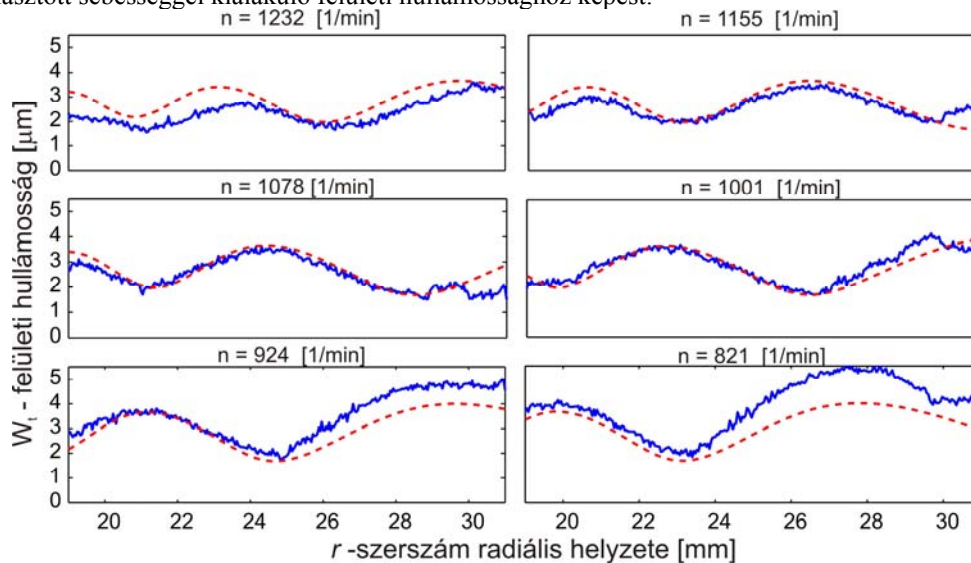




10. Ábra: A szerszám pozíciójának mért jele egy tipikus periódus során.  
Jellemzők:  $n = 1001$  [1/min],  $r=24$  [mm]

A számított és a mért jeltől meghatározott felületi hullámosság összehasonlításához szükség van még az állandó nagyságú forgácsoló erő által okozott statikus kitérésre  $z_{stat}$ , (2) egyenlet. Ennek mérésére nem volt lehetőség, ezért a figyelembe vett statikus deformáció  $z_{stat}=1.48$  [ $\mu\text{m}$ ] volt. Ennél az értéknél adódott a legjobb egyezés a mérés és az elmélet között.

A mért rezgésjelből számított és az elméleti felületi minőségek a 11. ábrán láthatóak. Igen jó az egyezés a mérés és az elmélet között. Az optimális forgácsolási sebesség választásával a felületi minőség kétszer jobb lehet egy rosszul választott sebességgel kialakuló felületi hullámossághoz képest.



11. Ábra: A mérésből készített (kék folytonos vonal) és a számítással kapott (piros szaggatott vonal) felületi hullámosság a sugár mentén különböző fordulatszámok esetén

## 6 Összefoglalás

A cikk ismerteti a keménysztergálásakor fellépő hatásokat és a leíró dinamikai modellt. A modell segítségével meghatározták a rendszer mechanikai paramétereinek (relatív csillapítási tényező, saját-körfrekvencia) hatását a kialakuló felületi minőségére. Az elmélet alapján egyszerű, zárt alakú összefüggést dolgoztak ki az optimális forgácsolási sebesség meghatározására., aminek helyességét forgácsolási kísérlekkel is alátámasztották... A megszakított felületű esztergálás során mérték a megmunkáló szerszám gyorsulását a felületre merőleges irányban. A mért jel kétszeres integrálásával és felül áteresztő szűréssel meghatározták a szerszám helyzetét. A jel transzformációja az elméleti megmunkált felületet eredményezte, amelyből a felületi hullámosság a forgácsolási sebesség irányában meghatározható volt.

A mérési eredmények nagyon jó összhangban voltak az elméleti eredményekkel. A számítás során a statikus deformáció értékét illesztették méréshez, de ez nem befolyásolta a görbék lefutásának jellegét. A levezetéseknél

használt elhanyagolások használhatók és a kapott egyszerű összefüggés használható az optimális forgácsolási sebesség kiszámítására.

Az optimális forgácsolási sebességnél mért felületi hullámosság kétszer jobb lehet, mint egy rosszul megválasztott sebesség esetén.

#### **Köszönetnyilvánítás**

A szerzők köszönetet mondanak a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal (NKTH) és az Országos Tudományok Kutatási Alapprogramok (OTKA, projetszám: 62762) által nyújtott támogatásért.

#### **Hivatkozások**

- [1] Imre Mészáros, Dénes Szepesi: Edzett acélok nagy pontosságú esztergálása I. Rész, Gépgyártás, XLV évfolyam, 2005, 3. Szám, pp.18-19
- [2] Imre Mészáros, Dénes Szepesi: Edzett acélok nagy pontosságú esztergálása II. Rész, Gépgyártás, XLV évfolyam, 2005, 4. Szám, pp.20-25
- [3] Imre Mészáros, Dénes Szepesi: Edzett acélok nagy pontosságú esztergálása III. Rész, Gépgyártás, XLV évfolyam, 2005, 6. Szám, pp.20-25
- [4] Imre Mészáros, Dénes Szepesi: Edzett acélok nagy pontosságú esztergálása IV. Rész, Gépgyártás, XLVI évfolyam, 2006, 1. Szám, pp.20-25
- [5] Imre Mészáros, Dénes Szepesi: Optimization of finish hard turning, Proceedings of the EUSPEN 6th International Conference, Vienna, Austria, May 28<sup>th</sup> –June 1<sup>st</sup>, 2006., pp. 100-103
- [6] M. Takacs, B. Veró: Material Structural Aspects of Micro Scaled Chip Removal, Materials Science Forum (Switzerland, IF=0.602), Vols. 414-415 (2003) Trans Tech Publications Ltd., pp. 337-342
- [7] K.-F. Koch, Technologie des Hochpräzisions-Hartdrehens, D82, Diss. RWTH Aachen 1995
- [8] W. Schuman, Das Bearbeiten harter Eisenwerkstoffe mit geometrisch bestimmter Schneide, Industrie Diamanten Rundschau, III/07, pp.52-71.
- [9] H. Kratz, Belastungsoptimierte Werkzeuge in Wichtigen Anwendungsgebieten der CBN Schneidstoffe, Industrie Diamanten Rundschau III/06, pp. 62-67.
- [10] Y. Kevin Chou, Chris J. Evans, Cubic boron nitride tool wear in interrupted hard cutting. Wear, Volumes 225-229, Part 1, 1999, pp. 234-245
- [11] R. Szalai, G. Stepan, Lobes and lenses in the stability chart of interrupted turning. Journal of Computational and Nonlinear Dynamics, Transactions of the ASME, 2006 1. Szám 3. Kiadás pp. 205–211.