



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gyártástudomány és -technológia Tanszék

Tézisfüzet

Öntött alumínium ötvözetek forgácsolhatóságának elemzése külső hengeres felületek
finomesztergálásánál

PhD értekezés tézisei

Horváth Richárd
2015.

A doktori iskola megnevezése:

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Pattantyús-Ábrahám Géza Gépészeti Tudományok Doktori Iskola

Tudományága: gépészeti tudományok

Vezetője: Dr. Stépán Gábor, egyetemi tanár az MTA rendes tagja

Témavezető: Dr. Mátyási Gyula, c. egyetemi tanár

Opponensek:

Tartalom

1 Bevezetés	5
2 Kutatás célkitűzései	5
3 Anyagok és módszerek	7
3.1 Kísérletekben felhasznált alapanyagok	7
3.2 Kísérletben felhasznált szerszámok	7
3.3 Kísérletben felhasznált szerszámgépek	8
3.4 Felhasznált érdességmérő	8
3.5 Kutatásban alkalmazott kísérletterv	8
3.6 Egyedi egyenletek építése	10
3.7 Összevont egyenletek építése	10
3.8 Optimum meghatározása kívánatossági függvényekkel	11
4 Erőmodell kidolgozása finomesztergálás technológiájához	12
5 Forgácsolási erőmérő tervezése és adaptálása finomesztergálás technológiájához	14
5.1 Erőmérővel szemben támasztott követelmények	14
6 Eredmények	16
6.1 R_a és R_z érdességi paraméterek eredményei	16
6.2 Optimum pont meghatározása kívánatossági függvényekkel	18
6.3 A felületi érdesség statisztikai paramétereinek (R_{sk} , R_{ku}) elemzése	19
6.4 Erőtani kísérletek eredményei	21
7 Tézisek	24
1. Tézis	24
2. Tézis	24
3. Tézis	24
4. Tézis	24

8 Összefoglalás	25
9 A Disszertációval kapcsolatos publikációk	27
9.1 Folyóiratok	27
9.2 Könyvfejezet.....	28
9.3 Konferencia kiadványok.....	28

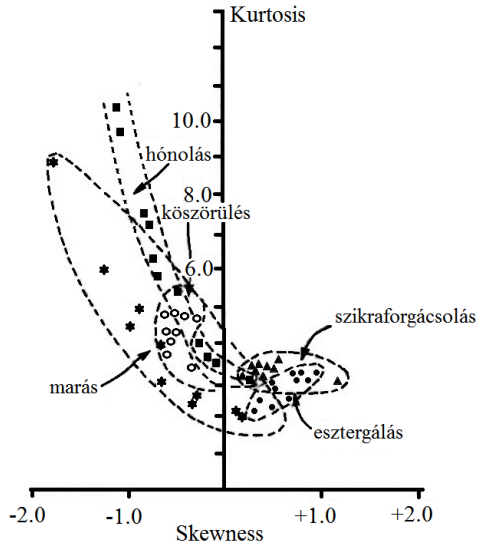
1 Bevezetés

Az alumínium (és alumínium ötvözet) gyártmányoknak az utóbbi évtizedekben egyre növekvő a felhasználási területük és felhasználási arányuk. Mind a járműipar, mind a repülőgépipar és a hadászat fokozottan egyre nagyobb arányban használja az alumínium ötvözeteket, számtalan jó mechanikai és kémiai tulajdonságuk miatt. Az alumínium termékeknek a befejező megmunkálása (vagy egy-egy kijelölt felületüké) gyakran történik forgácsolással. Vizsgálataimat ezért az iparban nagyon gyakran használt Si-vel ötvözött (ún. szilumin) két, nyomásosan öntött típusán végeztem.

2 Kutatás célkitűzései

Célkitűzéseim között szerepel, a vizsgálatba vont alapanyagok forgácsolhatóságának és a felhasznált szerszámok forgácsoló képességének vizsgálata, ami részletesebben az alábbiakat jelenti:

- Az iparban gyakran használt Ra és Rz érdességi paraméterek vizsgálata, azok becslésére fenomenológiai modellek építése, mely a (szokásos) forgácsolási paramétereken kívül a szerszám élananyagot és az alapanyagokat is tartalmazza, mint minőségi változó.
- Ha van az alapanyagok forgácsolhatósága között különbség (pl.: Ra , Rz értékek között) annak felderítése.
- Gyártáskor nem elég például a felületi érdesség minimalizálására törekedni, célszerű annak szórását is csökkenteni (ún. robosztus tervezés). Ezért vizsgálataimat kiterjesztem a mért érdességi paraméterek szórásának vizsgálatára is.
- A felületi érdesség statisztikai mérőszámai (Rsk , Rku) nagyban befolyásolják a működő felületek tribológiai tulajdonságait. Ezért vizsgálataimat kiterjesztem a felületi érdesség statisztikai mérőszámainak elemzésére is. Arra keresem a választ, hogy van-e szignifikáns hatása valamely (vizsgált) bemenő paraméternek a felületi érdesség statisztikai paramétereire.
- A topológiai térképen a szakirodalom (1. ábra) a különböző gyártási technológiák által gyártott felületeket jól elhatároltan definiálja. Ezek alapján arra is keresem a választ, hogy vajon finomesztergálás körülményei között eltérő élananyag és élgeometriájú szerszámok használatával, hogyan alakul a topológiai térkép elhelyezkedése, „viselkedése”.



1. ábra Különböző forgácsolási eljárásokkal készített felületek topológiai térképe

- A felületi érdesség statisztikai paramétereinek szórásának elemzése, szintén a vizsgálataimnak egyik célja.
- Finomesztergálaskor mikor a fogásban lévő élszakasz a csúcsugárnál kisebb, vagy ahhoz mérhető, a forgácskeresztmetszetet nem lehet a hagyományos h - forgácsvastagság és b – forgács szélesség paraméterrel definiálni. Ezért célom annak vizsgálata, hogy hogyan lehet a csúcsugárral összevethető fogásmélységeknél kialakuló forgácskeresztmetszetet pontosabban meghatározni.
- Finomesztergálás körülményeire (a vizsgált alapanyagoknál) olyan erőmodell építése, mely a finomesztergálásra jellemző forgácskeresztmetszet (és azokra jellemző) méretekkel operál.
- Az erőmodell validálására egy speciális alumínium finomesztergálás tartományát átfogó, háromkomponenses erőmérő rendszer tervezése, ellenőrzése, és a technológiához való adaptálása.

3 Anyagok és módszerek

3.1 Kísérletekben felhasznált alapanyagok

Vizsgálataimhoz kétféle, az iparban gyakran használt nyomásosan öntött alumínium ötvözetet választottam. Ezek az ötvözetek igen jól egyesítik a kiváló mechanikai tulajdonságokat a megfelelő technológiai előnyükkel.

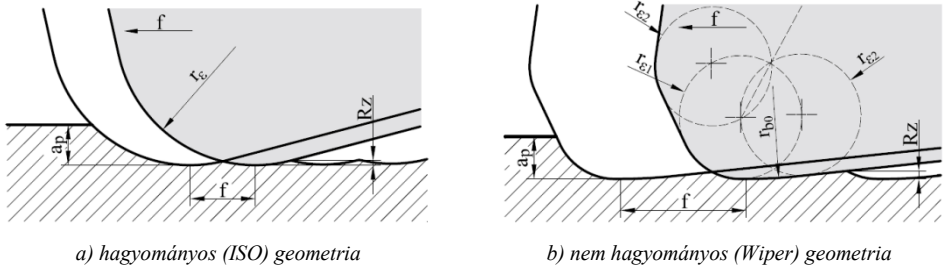
A vizsgálatba vont AS12-es jelű eutektikus alumínium ötvözet előnye kiváló önthetősége, míg az AS17-es típusú pedig a (dermedéskor kivált primer Si-nak köszönhetően) nagyobb keménység és kopásállóság.

Az AS17-es hipereutektikus ötvözet összetétele (tömeg %): Al = 79,44 %; Si = 18,21 %, Cu = 1,09 %; Mg = 0,45%. Keménysége: $114 \pm 3 \text{ HB}_{2,5/62,5/30}$.

Az AS12-es eutektikus ötvözet összetétele (tömeg %): Al = 88,54 %; Si = 11,46 %. Keménysége: $67 \pm 2 \text{ HB}_{2,5/62,5/30}$.

3.2 Kísérletben felhasznált szerszámok

Vizsgálataimat a kereskedelmi forgalomban is kapható gyémánt szerszámokkal végeztem el (lapka kód: DCGW 11T304). Háromféle élyanyagú szerszámot alkalmaztam, úgy mint polikristályos gyémánt (PCD), kémiai rétegfelvitelű gyémánt (CVD-D), és szintetikus egykristály gyémánt (MDC). Ezeket a szerszámokat hagyományos (úgynevezett ISO) és nem hagyományos (úgynevezett Wiper) geometriával is vizsgálat alá vontam (2. ábra).



2. ábra ISO és Wiper élgeometria közötti különbség [S1]

Jelölések: f —előtolás; a_p —fogásmélység; r_e —csúcscsugár; r_{e1} és r_{e2} —Wiper görbület sugara; r_{bo} —simító rész sugara; R_z —egyenetlenség magasság

A vizsgálatokhoz felhasznált szerszámokat összesíti az 1. Táblázat.

1. Táblázat A kísérletben felhasznált szerszámok (x)

		él anyag		
		PCD	CVD-D	MDC
él geometria	ISO	x	x	x
	Wiper	x	x	-

3.3 Kísérletben felhasznált szerszámgépek

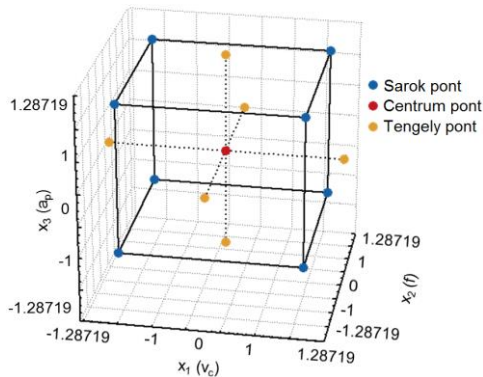
A felületi édességre vonatkozó kísérleteket EuroTurn 12B CNC esztergagépen, míg a forgácsolóerő méréseket Dugard Eagle BNC 1640-es CNC esztergagépen végeztem.

3.4 Felhasznált érdességmérő

Az esztergált felületek érdességét Mitutoyo SJ301 típusú érdességmérővel mértem (mérési beállítások: $\lambda_c = 0,8$ mm, $N = 5$ - mintavételi hossz száma). A felületi érdességet a munkadarabok kerületén 30° -onként 12-szer mértem így a dolgozatban szereplő érdességi értékek ezen 12 mérési pontnak az átlagai.

3.5 Kutatásban alkalmazott kísérletterv

Az RSM (válasz felület) módszer alkalmazása során úgynevezett centrál kompozit tervet (CCD tervet) alkalmaztam, ahol minden beállított paramétert 5 szinten lehet vizsgálni. A kísérletterv alapja egy 16 kísérletről álló terv, amelyben a három forgácsolási paramétert, faktort (forgácsolási sebesség, v_c , m/min; előtolás, f , mm; fogásmélység, a_p , mm) változtatok szisztematikusan (öt szinten), beleértve egy centrumponthoz mért és annak ismételt mérését (3. ábra, 2. táblázat).

**3. ábra** Kísérleti pontok [S1]

2. Táblázat Kísérleti pontok szintjei

Kísérleti pontok, N	v_c	f	a_p
1	-1	-1	-1
2	-1	-1	1
3	-1	1	-1
4	-1	1	1
5	1	-1	-1
6	1	-1	1
7	1	1	-1
8	1	1	1
9	1,28719	0	0
10	1,28719	0	0
11	0	-1,28719	0
12	0	1,28719	0
13	0	0	-1,28719
14	0	0	1,28719
15 (C)	0	0	0
16 (C)	0	0	0

Mivel a vizsgálatba vont szerszámok kétféle élgeometriával rendelkeznek (ISO és Wiper), figyelembe vettem azt is, hogy a Wiper geometriájú szerszámok érdességelőállító képessége jobb. Ezért a Wiper geometriájú szerszámokkal történő kísérletek esetén kétszeres előtolást alkalmaztam, hogy a felületi érdesség adatok összehasonlíthatóak legyenek. A forgácsolási paraméterek beállításainak értékei a 3. táblázatban találhatóak.

3. Táblázat A forgácsolási paraméterek szintjei

	-1,28719	-1	0	1	1,28719
v_c , m/min	500	667	1250	1833	2000
f_{ISO} , mm	0,05	0,058	0,085	0,112	0,12
f_{Wipers} , mm	0,1	0,116	0,17	0,224	0,24
a_p , mm	0,2	0,267	0,5	0,733	0,8

A 2. és a 3. táblázatból adódik a 16 kísérleti beállítás ISO és Wiper szerszámokra (melyek csak az előtolás értékében térnek el) (4. és 5. táblázat).

4. Táblázat ISO élgeometriájú szerszámok kísérletterve

Mérési pontok, N	v_c , m/min	f , mm	a_p , mm
1	667	0,058	0,267
2	667	0,058	0,733
3	667	0,112	0,267
4	667	0,112	0,733
5	1833	0,058	0,267
6	1833	0,058	0,733
7	1833	0,112	0,267
8	1833	0,112	0,733

5. Táblázat Wiper élgeometriájú szerszámok kísérletterve

Mérési pontok, N	v_c , m/min	f , mm	a_p , mm
1	667	0,116	0,267
2	667	0,116	0,733
3	667	0,224	0,267
4	667	0,224	0,733
5	1833	0,116	0,267
6	1833	0,116	0,733
7	1833	0,224	0,267
8	1833	0,224	0,733

9	500	0,085	0,5
10	2000	0,085	0,5
11	1250	0,05	0,5
12	1250	0,12	0,5
13	1250	0,085	0,2
14	1250	0,085	0,8
15	1250	0,085	0,5
16	1250	0,085	0,5

9	500	0,17	0,5
10	2000	0,17	0,5
11	1250	0,1	0,5
12	1250	0,24	0,5
13	1250	0,17	0,2
14	1250	0,17	0,8
15	1250	0,17	0,5
16	1250	0,17	0,5

3.6 Egyedi egyenletek építése

A mérési eredményekre az alábbi függvény szerinti összefüggéseket kerestem:

$$Y = \alpha(v_c, f, a_p) \tag{1}$$

ahol α az úgynevezett válaszfüggvény, Y a kimenő paraméter (Ra , Rz), v_c , f és a_p a bemenő paraméterek. Minden szerszámra és alapanyagra meghatároztam a válaszfüggvényt az alábbi fenomenológiai modellek felépítésével:

$$Ra = b_0 + b_1 \cdot v_c + b_2 \cdot f + b_3 \cdot a_p + b_{11} \cdot v_c^2 + b_{22} \cdot f^2 + b_{33} \cdot a_p^2 + b_{12} \cdot v_c \cdot f + b_{13} \cdot v_c \cdot a_p + b_{23} \cdot f \cdot a_p + \varepsilon \tag{2}$$

$$Rz = c_0 + c_1 \cdot v_c + c_2 \cdot f + c_3 \cdot a_p + c_{11} \cdot v_c^2 + c_{22} \cdot f^2 + c_{33} \cdot a_p^2 + c_{12} \cdot v_c \cdot f + c_{13} \cdot v_c \cdot a_p + c_{23} \cdot f \cdot a_p + \varepsilon \tag{3}$$

ahol, b_0 , b_i , b_{ij} , c_0 , c_i , c_{ij} a számított koeficiensok és ε a hiba. Ez gyakorlatilag 20 egyedi (szerszámokra, alapanyagokra) egyenlet építését jelenti.

3.7 Összevont egyenletek építése

A technológiai tervezés megkönnyítésére, és a 20 egyedi egyenlet helyettesítésére célszerű olyan összevont egyenletet építeni, mely magában foglalja a vizsgált munkadarab anyagokat és szerszám élananyagokat is mint bemenő paramétert. Két összevont egyenletet dolgoztam ki a kétféle szerszámgeometriára:

$$Y = \Omega(v_c, f, a_p, TM, WM) \tag{4}$$

ahol, TM a szerszámanyag típusa, WM az alapanyag típusa minőségi változóként értelmezve (6. táblázat), Ω a válaszfüggvény.

6. Táblázat Felhasznált alapanyagok változói

	AS12	AS17	
WM – alapanyag típusa	0	1	
	PCD	CVD	MDC
TM – szerszámanyag típusa	0	1	2

Így a minőségi változókkal bővített összevont fenomenológiai modellek:

$$Ra = d_0 + d_1 \cdot WM + d_2 \cdot TM + d_3 \cdot v_c + d_4 \cdot f + d_5 \cdot a_p + d_{22} \cdot TM^2 + d_{33} \cdot v_c^2 + d_{44} \cdot f^2 + d_{55} \cdot a_p^2 + d_{12} \cdot WM \cdot TM + d_{13} \cdot WM \cdot v_c + d_{14} \cdot WM \cdot f + d_{15} \cdot WM \cdot a_p + d_{23} \cdot TM \cdot v_c + d_{24} \cdot TM \cdot f + d_{25} \cdot TM \cdot a_p + d_{34} \cdot v_c \cdot f + d_{35} \cdot v_c \cdot a_p + d_{45} \cdot f \cdot a_p + \varepsilon \quad (5)$$

$$Rz = e_0 + e_1 \cdot WM + e_2 \cdot TM + e_3 \cdot v_c + e_4 \cdot f + e_5 \cdot a_p + e_{22} \cdot TM^2 + e_{33} \cdot v_c^2 + e_{44} \cdot f^2 + e_{55} \cdot a_p^2 + e_{12} \cdot WM \cdot TM + e_{13} \cdot WM \cdot v_c + e_{14} \cdot WM \cdot f + e_{15} \cdot WM \cdot a_p + e_{23} \cdot TM \cdot v_c + e_{24} \cdot TM \cdot f + e_{25} \cdot TM \cdot a_p + e_{34} \cdot v_c \cdot f + e_{35} \cdot v_c \cdot a_p + e_{45} \cdot f \cdot a_p + \varepsilon \quad (6)$$

ahol $d_0, d_i, d_{ij}, e_0, e_i, e_{ij}$ a számított koeficiensek és ε a hiba. d_{22} és e_{22} értékei zérus a Wiper vizsgálatok esetén, mivel a szerszámnyag csak kétféle lehet.

3.8 Optimum meghatározása kívánatossági függvényekkel

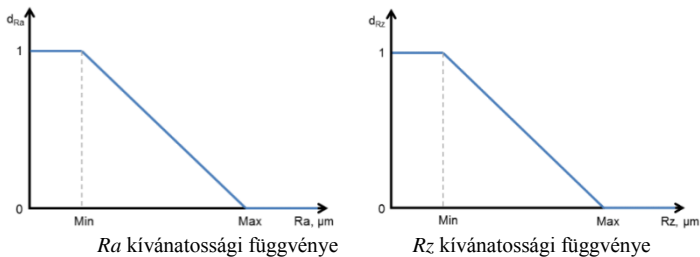
A termelékenység meghatározható a forgácsolási sebesség és az előtolás szorzataként. E három célfüggvény:

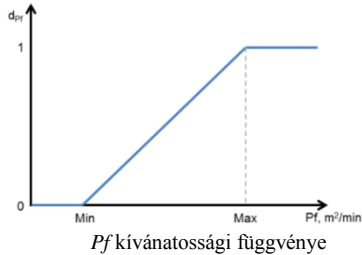
$$Ra \Rightarrow Min \quad (7)$$

$$Rz \Rightarrow Min \quad (8)$$

$$Pf = v_c \cdot f \Rightarrow Max \quad (9)$$

együttes optimumának meghatározására alkalmasak az úgynevezett kívánatossági függvények. A kívánatossági függvények 0 és 1 közötti értéket vehetnek fel. Minél nagyobb a kívánatossági érték, annál jobban megközelítjük az elvárt értéket. Vizsgálatomban a kiválasztott kívánatos függvények a d_{Ra} , d_{Rz} és d_{Pf} (3. ábra).





3. ábra Kívánatossági függvények

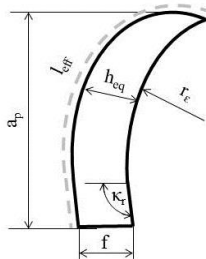
A kompozit kívánatossági függvény (D) az, amellyel lehet keresni az egymásnak ellentmondó kritériumok optimumát úgy, hogy vesszük a geometriai átlagát a három egyedi kívánatossági függvénynek:

$$D = \sqrt[3]{d_{Ra} \cdot d_{Rz} \cdot d_{Pf}} \quad (10)$$

Ahol ez a D érték maximum lesz, ott található a három célfüggvény együttes optimuma.

4 Erőmodell kidolgozása finomsztergálás technológiájához

A finomsztergálás körülményei között a fogásban lévő élszakasznak kisebb részét képezi a főél (vagy részt sem vesz a forgácsolásban), a szerszám csúcsgugara viszont teljes egészében részt vesz a forgácsleválasztásban. Ezért a Kienzle által használt h és b forgácsgeometriai adatok értelmüket veszítik. Ennek az is a következménye, hogy a $k_{1,1}$ jellemző sem alkalmazható finomsztergáláskor. Ezért két olyan forgácsjellemzőt vezettem be (h_{eq} – ekvivalens forgácsvastagság; l_{eff} – élvonalhossz) (4. ábra), amelyekkel a finomsztergáláskor adódó forgácsgeometriai jellemzők ezakt módon tárgyalhatóak.



4. ábra Jellemző forgácskeresztmetszet finomsztergálásnál [S5]

Finomesztergáláskor a működő élvonalhossz az alábbi képlet segítségével számítható:

$$l_{eff} = \frac{a_p - r_\varepsilon \cdot (1 - \cos \kappa_r)}{\sin \kappa_r} + \frac{2 \cdot r_\varepsilon \cdot \pi}{360^\circ} \cdot \left(\kappa_r + \arcsin \frac{f}{2 \cdot r_\varepsilon} \right) \quad (11)$$

Az esztergáláskor beállított adatokból és az effektív élvonalhosszból az ekvivalens forgácsvastagság tehát a következő formulával számolható:

$$h_{eq} = \frac{a_p \cdot f}{l_{eff}} \quad (12)$$

Finomesztergáláskor minden esetben teljesül a $h_{eq} \ll 1$ mm reláció, ezért $k_{1,1}$ nem használható. Ezért bevezettem a forgácsgeometriát jobban leíró számítási módszert. Ez pedig a finomesztergálás technológiájára jellemző fajlagos forgácsoló erő főértéke, amely $l_{eff} = 1$ mm és $h_{eq} = 0,1$ mm vonatkozik, jele pedig $k_{1,0,1}$.

A bevezetett forgácsolóerő modell az erőméréssel megállapított fajlagos forgácsolóerő számítását igényli, amely a következő alakban írható fel:

$$k = \frac{F}{A} = \frac{F}{h_{eq} \cdot l_{eff}} \quad (11)$$

A kapott k értékek azonban függenek a h_{eq} és a l_{eff} értékeiktől, ezért ezeket kétfaktoros, hatványfüggvény regresszióval érdemes modellezni az alábbiak szerint:

$$k = C \cdot h_{eq}^q \cdot l_{eff}^y \quad (12)$$

A regressziószámítás eredményeként kapott q kitevő természetesen éppúgy negatív, mint a nagy keresztmetszetű forgácsok esetén. Ha alkalmazzuk a $h_{eq} = 0,1$ mm behelyettesítést, akkor a megállapítandó $k_{1,0,1}$ értéke a következő:

$$k_{1,0,1} = C \cdot 0,1^q \quad (13)$$

Ebből pedig a keresett forgácsolóerő modell [S5]:

$$F = k \cdot h_{eq} \cdot l_{eff} = k_{1,0,1} \cdot 10^q \cdot h_{eq}^{1+q} \cdot l_{eff}^{1+y} \quad (14)$$

Az általam meghatározott elvégzendő kísérletsorozat (7. táblázat) úgy alakítottam ki, hogy a 21. mérési pont a $k_{1,0,1}$ érték meghatározására (ellenőrzésére) szolgál.

7. Táblázat Erőtani vizsgálatok kísérleti pontjai

Mérési pont	a_p , mm	f , mm	l_{eff} , mm	h_{eq} , mm	A , mm ²
1.	0,25	0,03	0,493	0,015	0,0075
2.	0,25	0,05	0,503	0,025	0,0125

<i>Mérési pont</i>	<i>a_p, mm</i>	<i>f, mm</i>	<i>l_{eff}, mm</i>	<i>h_{es}, mm</i>	<i>A, mm²</i>
3.	0,25	0,07	0,513	0,034	0,0175
4.	0,25	0,09	0,523	0,043	0,0225
5.	0,25	0,11	0,533	0,052	0,0275
6.	0,25	0,13	0,543	0,060	0,0325
7.	0,25	0,15	0,554	0,068	0,0375
8.	0,5	0,03	0,743	0,020	0,015
9.	0,5	0,05	0,753	0,033	0,025
10.	0,5	0,07	0,763	0,046	0,035
11.	0,5	0,09	0,774	0,058	0,045
12.	0,5	0,11	0,784	0,070	0,055
13.	0,5	0,13	0,794	0,082	0,065
14.	0,5	0,15	0,804	0,093	0,075
15.	0,7	0,03	0,944	0,022	0,021
16.	0,7	0,05	0,954	0,037	0,035
17.	0,7	0,07	0,964	0,051	0,049
18.	0,7	0,09	0,974	0,065	0,063
19.	0,7	0,11	0,984	0,078	0,077
20.	0,7	0,13	0,994	0,092	0,091
(<i>k_{l,0,1}</i>) 21.	0,7	0,143	1,001	0,100	0,1001
22.	0,7	0,15	1,004	0,105	0,105

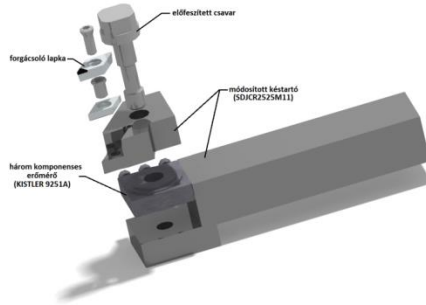
5 Forgácsolási erőmérő tervezése és adaptálása finomsztergálás technológiájához

5.1 Erőmérővel szemben támasztott követelmények

A tervezett és finomsztergálás technológiájához adaptált erőmérővel szemben támasztott követelményeket a következőkben fogalmaztam meg:

- képes legyen finom esztergálás közbeni kis erők korrekt mérésére (0...100 N) tized N-os pontossággal.
- mindhárom erőkomponens mérésére legyen képes valós időben (F_c - főforgácsoló erő, F_f - előtoló erő, F_p - passzív erő).
- könnyen, gyorsan legyen elkészíthető.
- a szerszámbefogóban való rögzítése ne legyen bonyolultabb, mint egy késszáré.
- a konstrukció előzze meg a drága mérőcella esetleges sérülésekből adódó meghibásodását.

Az erőmérő szétvetett modelljét mutatja az 5. ábra.

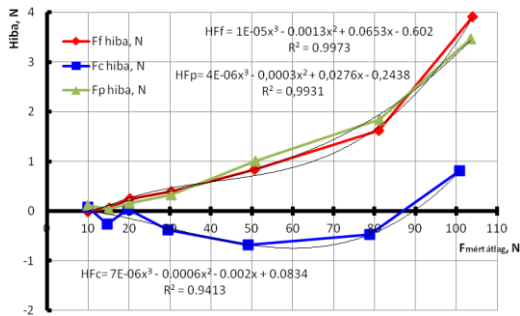


5. ábra Átalakított késszár ún. robbantott modellje

Az erőkomponensek méréséhez tartozó (és beállítandó) érzékenységeket meghatároztam melyek a következők:

- F_c érzékenysége: $-3,463 \text{ pC/N}$
- F_f érzékenysége: $-7,47 \text{ pC/N}$
- F_p érzékenysége: $-7,05 \text{ pC/N}$

Az erőmérő tervezett mérési tartományában (0...100N) felvettem annak hibagörbéit mindhárom erőkomponensére (6. ábra).



6. ábra F_c , F_f és F_p erőkomponensek hibagörbéje a tervezett méréstartományban [S10]

A hibagörbéket (6. ábra) harmadfokú polinomokkal megfelelő korrelációval le lehet írni, így ezzel kompenzálni (és még pontosabbá tenni) a mért értéket. Ebből adódóan a valós erő komponensek a következő módon számíthatók:

$$F_c = F_{c_mért} - HF_c \tag{15}$$

$$F_f = F_{f_mért} - HF_f \tag{16}$$

$$F_p = F_{p_mért} - HF_p \quad (17)$$

ahol, HF_c , HF_f és HF_p a három erőkomponens hibagörbéjét leíró (mint korrekciós tag) egyenlet [S10]:

$$HF_c = 7 \cdot 10^{-6} x^3 - 0,0006x^2 - 0,002x + 0,0834 \quad (18)$$

$$(R^2=0,9413)$$

$$HF_f = 1 \cdot 10^{-5} x^3 - 0,0013x^2 + 0,0653x - 0,602 \quad (19)$$

$$(R^2=0,9973)$$

$$HF_p = 4 \cdot 10^{-6} x^3 - 0,0003x^2 + 0,0276x - 0,2438 \quad (20)$$

$$(R^2=0,9931)$$

A méréstartományon belül a mért érték és a valódi érték közötti eltérés F_c erőkomponens esetén: a legkisebb eltérés $-0,097\%$ a legnagyobb eltérés $-1,415\%$, míg az F_f irányú erőkomponens esetén a legkisebb eltérés $-0,079\%$ a legnagyobb eltérés pedig $0,667\%$. F_p irányú erőkomponensnél pedig a legkisebb eltérés $0,192\%$ a legnagyobb eltérés $1,132\%$.

6 Eredmények

6.1 Ra és Rz érdességi paraméterek eredményei

A mérési eredményekre a (2) (3) egyenletnek megfelelő matematikai modellt illesztettem. Az egyes együtthatókra megvizsgáltam, hogy értékük szignifikánsan eltér-e nullától, vagyis van-e az adott faktornak szignifikáns hatása az eredményekre. Az egyedi egyenletek szignifikancia vizsgálatából jól látszik, hogy a felületi érdességre leginkább az előtolás és a forgácsolósebesség van hatással, valamint ezen faktorok keresztszorzatai is jelentősen befolyásolják a mérések eredményeit.

Redukált modelleket alkottam (2) (3) alapján, Ra és Rz érdességi paraméter becslésére az eltérő élananyag és munkadarab alapanyagánál ahol a főhatások paraméterein kívül (b_1 , b_2 , b_3 ; ill. c_1 , c_2 , c_3) csak azon együtthatókat vettem figyelembe, amelyek szignifikánsan eltérnek zérustól.

A (5) (6) egyenletnek megfelelően a különféle vizsgálatba vont szerszámokra és alapanyagokra összevont modellt építettem. A modellek (5) (6) együtthatóira szignifikancia vizsgálatot végeztem.

Az összevont redukált egyenletek a következőképpen alakulnak [S1]:

$$\begin{aligned}
 Ra_{ISO} = & 5,76 \cdot 10^{-1} + 2,510 \cdot 10^{-1} \cdot WM + 3,687 \cdot 10^{-2} \cdot TM + 3,694 \cdot 10^{-4} \cdot vc - 14,806 \cdot f + \\
 & + 3,753 \cdot 10^{-2} \cdot a - 1,019 \cdot 10^{-1} TM^2 - 1,430 \cdot 10^{-7} \cdot vc^2 + 184,3 \cdot f^2 + 4,679 \cdot 10^{-2} \cdot WM \cdot TM - \\
 & - 5,191 \cdot 10^{-5} \cdot WM \cdot vc - 2,306 \cdot WM \cdot f + 8,865 \cdot 10^{-5} \cdot TM \cdot vc + 4,702 \cdot 10^{-1} \cdot TM \cdot f - \\
 & - 1,151 \cdot 10^{-3} \cdot vc \cdot f
 \end{aligned} \tag{21}$$

(R²=0,8621)

$$\begin{aligned}
 Rz_{ISO} = & 1,717 \cdot 10^{-1} + 1,421 \cdot WM - 2,333 \cdot 10^{-1} \cdot TM + 2,475 \cdot 10^{-3} \cdot vc - 11,36 \cdot f + \\
 & + 1,013 \cdot a - 4,937 \cdot 10^{-1} \cdot TM^2 - 6,934 \cdot 10^{-7} \cdot vc^2 + 532,2 \cdot f^2 + \\
 & + 1,354 \cdot 10^{-1} \cdot WM \cdot TM - 1,735 \cdot 10^{-4} \cdot WM \cdot vc - 14,10 \cdot WM \cdot f + \\
 & + 2,903 \cdot 10^{-4} \cdot TM \cdot vc + 8,249 \cdot TM \cdot f + 2,437 \cdot 10^{-1} \cdot TM \cdot a - 1,1653 \cdot 10^{-2} \cdot vc \cdot f - 12,69 \cdot f \cdot a
 \end{aligned} \tag{22}$$

(R²=0,8384)

$$\begin{aligned}
 Ra_{Wiper} = & 1,150 + 1,445 \cdot 10^{-1} \cdot WM + 1,569 \cdot 10^{-1} \cdot TM - 3,291 \cdot 10^{-4} \cdot vc - \\
 & - 7,799 \cdot f - 1,023 \cdot a + 9,717 \cdot 10^{-8} \cdot vc^2 + 31,06 \cdot f^2 + \\
 & + 7,602 \cdot 10^{-1} \cdot a^2 - 1,263 \cdot WM \cdot f - 4,718 \cdot 10^{-5} \cdot TM \cdot vc - 7,103 \cdot 10^{-1} \cdot TM \cdot f + \\
 & + 8,152 \cdot 10^{-4} \cdot vc \cdot f + 2,463 \cdot f \cdot a
 \end{aligned} \tag{23}$$

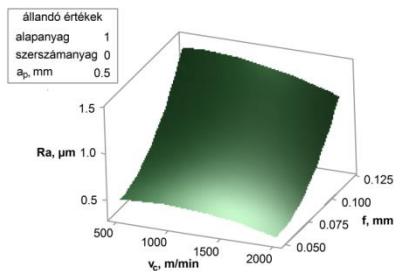
(R²=0,7857)

$$\begin{aligned}
 Rz_{Wiper} = & 3,041 - 2,991 \cdot 10^{-1} \cdot WM + 2,042 \cdot 10^{-2} \cdot TM - 9,093 \cdot 10^{-4} \cdot vc - \\
 & - 2,103 \cdot f - 1,064 \cdot a + 3,131 \cdot 10^{-7} \cdot vc^2 + 52,65 \cdot f^2 + 1,010 \cdot a^2 + \\
 & + 2,133 \cdot 10^{-4} \cdot WM \cdot vc - 3,298 \cdot WM \cdot f + 5,701 \cdot 10^{-1} \cdot WM \cdot a - 2,951 \cdot TM \cdot f
 \end{aligned} \tag{24}$$

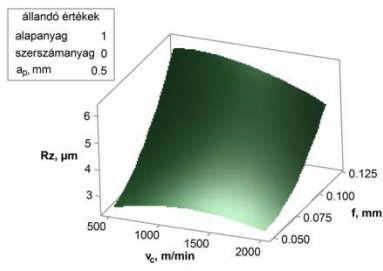
(R²=0,7742)

Az összevont redukált egyenletek (21) (22) (23) (24) jól leírják az egyes felületi érdesség paramétereket (Ra , Rz) az ISO, valamint a Wiper szerszámok esetén. Alapvetően a forgácsoláskor beállítható paramétereket (vc , f , a_p) szokás a fenomenológiai modellekbe építeni. Tehát ezen egyenletek használata esetén a forgácsolási paraméterek mellett az alapanyag típusa és a szerszám élanagya ismeretében meghatározható a finomesztérgálással kapható felületi érdesség értéke.

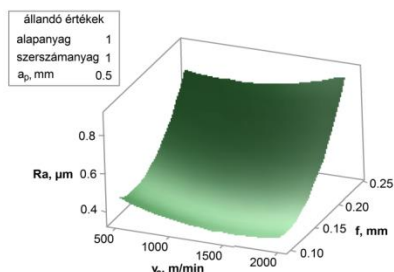
Annak illusztrálására, hogy a forgácsolósebesség és az előtolás változására hogyan viselkednek az összevont redukált (21) (22) (23) (24) matematikai modellek mutat példát a 7. ábra.



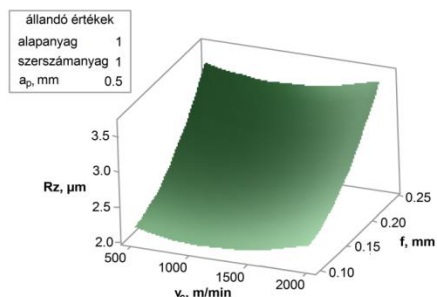
(21)-es egyenlet diagrammja, anyag: AS17; szerszám: PCD-ISO



(22)-es egyenlet diagrammja, anyag: AS17; szerszám: PCD-ISO



(23)-as egyenlet diagrammja, anyag: AS17; szerszám: CVD-D-Wiper

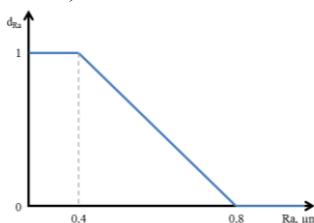


(24)-es egyenlet diagrammja, anyag: AS17; szerszám: CVD-D-Wiper

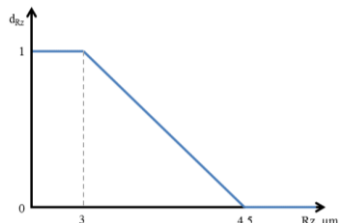
7. ábra Az összevont redukált egyenletek grafikus ábrázolása [S1]

6.2 Optimum pont meghatározása kívánatossági függvényekkel

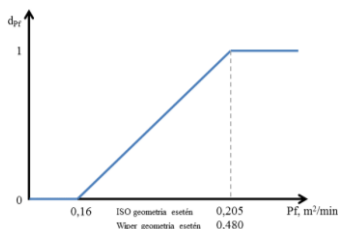
A felületi érdesség kritériumokat úgy állítottam be, hogy a kedvező érték összevethető legyen a köszörülés technológiájánál kapott érdességgel, a nem megfelelő érték pedig a simító esztergálás felső határa. A termelékenységi faktor határértékei ISO szerszámok esetében és 0,160 m²/min és 0,205 m²/min, illetve Wiper szerszámoknál 0,160 m²/min és 0,48 m²/min (8. ábra).



a) Ra kívánatossági függvénye



b) Rz kívánatossági függvénye



b) P_f kívánatossági függvénye

8. ábra Kívánatossági függvények [S1]

Az optimalizálását elvégezve azt kaptam, hogy ISO szerszámok esetén [S1]:

WM = 1 (AS17), és TM = 0 (PCD), a beállítandó forgácsolási paraméterek: $v_c = 2000$ m/min, $f = 0,089$ mm, $a_p = 0,2$ mm. Az elérhető érdességi paraméterek és termelékenység: $Ra = 0,579$ μ m, $Rz = 3,301$ μ m, $P_f = 178$ m²/min.

Ebben az esetben a kívánatossági függvények: $d_{Ra} = 0,552$, $d_{Rz} = 0,799$, $d_{Pf} = 0,426$, a kompozit kívánatossági függvény: $D = 0,573$.

Wiper szerszámok esetén:

WM = 1 (AS17), és TM = 1 (CVD-D), a beállítandó forgácsolási paraméterek: $v_c = 2000$ m/min, $f = 0,158$ mm, $a_p = 0,42$ mm. Az elérhető érdességi paraméterek és termelékenység: $Ra = 0,444$ μ m, $Rz = 2,587$ μ m, $P_f = 315,9$ m²/min.

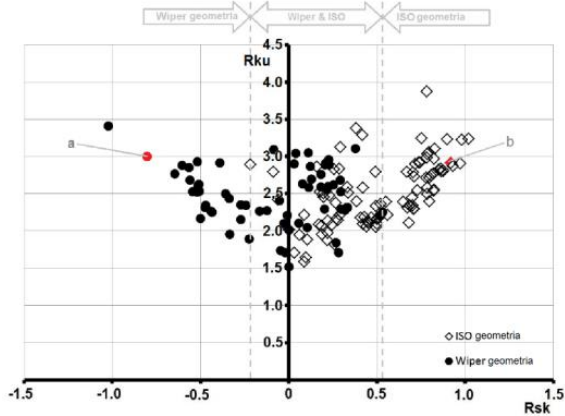
Ebben az esetben a kívánatossági függvények: $d_{Ra} = 0,889$, $d_{Rz} = 1$, $d_{Pf} = 0,516$, a kompozit kívánatossági függvény: $D = 0,771$.

Az optimum keresés utolsó lépéseként az optimum pontban ellenőrzést végeztem, mind ISO és mind Wiper szerszámok esetében.

Az ellenőrzős során az érdességi értékeket szintén 12-szer mértem. A mért és becült értékek közötti különbségek Ra és Rz érdességi paraméter esetében meglehetősen kicsik, a különbség nagysága a technológiai előtervezésben nem számottevő (elhanyagolható).

6.3 A felületi érdesség statisztikai paramétereinek (Rsk , Rku) elemzése

A felületi érdesség statisztikai paramétereit (Rsk , Rku) szintén 12 mérés kiértékeléséből adódnak. A topológiai térkép minden pontja (9. ábra) ennek a 12 mérési pontnak az átlaga, élgeometria szerint csoportosítva.



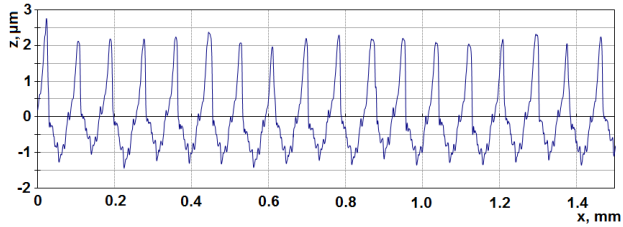
9. ábra Eltérő szerszámgeometriával (élkialakítás) gyártott felületek topológiai térképei [S2]

8. Táblázat Rsk értékek tartománya az élgeometriák függvényében [S2]

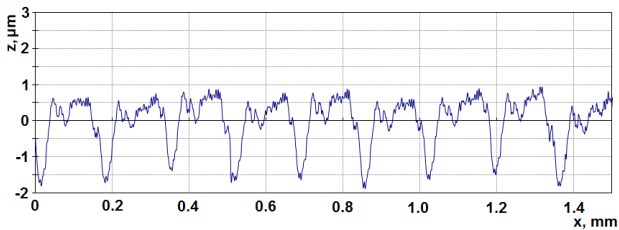
Wiper geometria	Wiper & ISO geometria	ISO geometria
-1...-0,2	-0,2...0,55	0,55...1,0

A topológiai térképen (9. ábra) három elkülönülő Rsk tartomány figyelhető meg egyértelműen (8. Táblázat). Az Rku értékek nem érzékenyek a szerszám geometriára. A gyártott felületek Rku tartománya 1,5...4 között van. Ez összhangban van a szakirodalommal.

Két szélsőséges profilt kiemelve, amelyek csak az előtolásban (összehasonlíthatóság miatt) és a szerszámél geometriájában különböznek (9. ábra, pirossal jelölve), az érdességi profilok adnak magyarázatot a jelenségre. Az ISO szerszámmal esztergált felület tipikus esztergált profilt mutat, magas éles csúcsok, előtolásnyomok. Ezzel szemben a Wiper szerszám által gyártott érdesség platószerű profillal rendelkezik. Ennek magyarázata, hogy a Wiper geometria (2. ábra) r_{e1} és r_{e2} sugarát összekötő r_{b0} sugár miatt, a fogásban lévő élszakasz mellékél elhelyezési szöge kisebb, mint az ISO geometriánál. Ezáltal a gyártott felület egyenetlenség magassága (Rz) is kisebb. Ennek eredményeként a magas csúcsok eltűnnek és a felület finomabbá válik, ennek köszönhető, hogy a Wiper szerszámok termelékenysége nagyobb. Van azonban ennek a jelenségnek egy másik hatása, a vasaló hatás következtében létrejövő platós felület azt jelenti, hogy a valódi érintkező felületnek jobb lesz a tribológiai viselkedése, mint a magas csúcsokkal jellemzett felületé (10. ábra).



ISO geometriájú szerszámmal esztergált felület
(érdességi paraméterek: $Ra = 0,806 \mu\text{m}$; $Rz = 4,056 \mu\text{m}$; $Rsk = 0,917$; $Rku = 2,915$
forgácsolási paraméterek: $v_c = 500 \text{ m/min}$; $f = 0,085 \text{ mm}$; $a_p = 0,5 \text{ mm}$)



Wiper geometriájú szerszámmal esztergált felület
(érdességi paraméterek: $Ra = 0,493 \mu\text{m}$; $Rz = 2,783 \mu\text{m}$; $Rsk = -0,803$; $Rku = 2,995$
forgácsolási paraméterek: $v_c = 500 \text{ m/min}$; $f = 0,17 \text{ mm}$; $a_p = 0,5 \text{ mm}$)

10. ábra Eltérő Rsk érdességi paraméterrel rendelkező felületek [S2]

6.4 Erőtani kísérletek eredményei

Az erőtani kísérleteket a 3. fejezet szerint végeztem. Az erőtani vizsgálatokat az optimum vizsgálatoknál kapott szerszámmal végeztem (élananyag: PCD, élgeometria: ISO). A méréseket úgy végeztem, hogy azonos fogásvétel mellett szakaszonként növeltem az előtolás értékét és így vettem fel majd értékeltem ki az erőregisztrátumokat.

A (12) egyenletnek megfelelően az ekvivalens forgácsvastagságtól és a fogásban lévő élhossztól függő fajlagos forgácsoló, előtoló és passzív erő egyenlete a két alapanyagra a következő [S5]:

$$k_{c_AS12} = 438,9 \cdot h_{eq}^{-0,198} \cdot l_{eff}^{-0,039} \quad (25)$$

$$k_{c_AS17} = 407,57 \cdot h_{eq}^{-0,272} \cdot l_{eff}^{-0,088} \quad (26)$$

$$k_{f_AS12} = 27,74 \cdot h_{eq}^{-0,607} \cdot l_{eff}^{-0,85} \quad (27)$$

$$k_{f_AS17} = 29,7 \cdot h_{eq}^{-0,66} \cdot l_{eff}^{-0,78} \quad (28)$$

$$k_{p_AS12} = 44,06 \cdot h_{eq}^{-0,66} \cdot l_{eff}^{0,43} \quad (29)$$

$$k_{p_AS17} = 40 \cdot h_{eq}^{-0,75} \cdot l_{eff}^{0,44} \quad (30)$$

A (13) és a (25) (26) (27) (28) (29) (30) egyenletekből adódik a speciálisan finomesztergálás esetére használandó fajlagos erők főértéke, amelyek:

- $k_{c1,0.1_AS12}=692 \text{ N/mm}^2$ illetve $k_{c1,0.1_AS17}=763 \text{ N/mm}^2$;
- $k_{f1,0.1_AS12}=112 \text{ N/mm}^2$ illetve $k_{f1,0.1_AS17}=135 \text{ N/mm}^2$;
- $k_{p1,0.1_AS12}=202 \text{ N/mm}^2$ illetve $k_{p1,0.1_AS17}=226 \text{ N/mm}^2$;

A (4. fejezetben) bemutatott (14) erőmodell alapján a három erőkomponensek becslésére (anyagok szerint) az alábbi egyenleteket építettem [S5]:

$$F_{c_AS12} = 692 \cdot 10^{-0,198} \cdot h_{eq}^{0,8} \cdot l_{eff}^{0,96} \quad (31)$$

$$F_{c_AS17} = 763 \cdot 10^{-0,272} \cdot h_{eq}^{0,728} \cdot l_{eff}^{1,089} \quad (32)$$

$$F_{f_AS12} = 112 \cdot 10^{-0,607} \cdot h_{eq}^{0,393} \cdot l_{eff}^{0,153} \quad (33)$$

$$F_{f_AS17} = 135 \cdot 10^{-0,657} \cdot h_{eq}^{0,343} \cdot l_{eff}^{0,221} \quad (34)$$

$$F_{p_AS12} = 202 \cdot 10^{-0,66} \cdot h_{eq}^{0,34} \cdot l_{eff}^{1,43} \quad (35)$$

$$F_{p_AS17} = 226 \cdot 10^{-0,752} \cdot h_{eq}^{0,248} \cdot l_{eff}^{1,44} \quad (36)$$

A legjobb pontosságot, (legkisebb eltérést) az F_c komponensre kidolgozott modell mutatta mindkét anyag esetében, de néhány kiugró hiba értéktől eltekintve a technológiai tervezésben megfelelő pontossággal írják le az F_f és F_p erőkomponenseket is az épített erőmodellek.

A bevezetett és finomesztergálás technológiájára kidolgozott erőmodellről a következők mondhatók el:

- Az erőmodell a finomesztergálásra jellemző forgácsolási paraméterekkel operál (bevezettem a h_{eq} – közepes forgácsolási vastagság és l_{eff} – fogásban lévő élhossz, paraméterek használatát).
- Az általam bevezetett fajlagos forgácsolási erő (12) formulával jellemzett modellje igen pontosan számítja a fajlagos erő értékeket mindhárom komponens esetében.

- A fajlagos erők főértékei finomsztergálás technológiájára a (13) összefüggéssel egyszerűen számíthatóak.
- A vizsgálatok szerint a forgácsolóerő komponenseinek (14 alapján) egyenletei nagy pontossággal leírják és modellezik a méréssel meghatározott erőértékeket.

7 Tézisek

1. Tézis

Finomesztergálás technológiájára kidolgoztam négy olyan összevont redukált fenomenológiai modellt az Ra és Rz érdességi paraméterek becslésére a vizsgált forgácsolási paramétertartományon belül, amelyben a forgácsolási paramétereken kívül a vizsgált alapanyagok és a vizsgálatba vont szerszámok élanysága is szerepel, mint minőségi, diszkrét változó. Ezekkel a fenomenológiai modellekkel technológiai előtervezésben becsülhető az Ra és Rz felületi érdességi paraméterek várható értéke. A vizsgált alapanyag: AS12 és AS17 alumínium ötvözet. A forgácsoló szerszámok élének anyagai: PCD, CVD-D, és MCD. A vizsgált forgácsolási paraméter tartomány: $v_c=500-2000$ m/min; $f_{ISO}=0,05-0,12$ mm; $f_{Wiper}=0,1-0,24$ mm; $a_p=0,2-0,8$ mm.

Az I. tézis az alábbi publikációkra épül: [S1][S3][S4][S7][S11][S12][S16][S17]

2. Tézis

Finomesztergálásnál a tervezési célként elérendő felületi érdességre (Ra és Rz), illetve a termelékenységre kívánatosági függvényeket definiáltam, melyek felhasználásával optimumot állapítottam meg a két vizsgált élgeometriánál. Az optimalizálás a forgácsolósebességre, a fogásmélységre, az előtolásra, a szerszám élanyságára, és az alapanyagra terjed ki. A vizsgált forgácsolási paraméter tartomány és feltételek az 1-es tézisben leírtakkal megegyezők.

Az II. tézis az alábbi publikációkra épül: [S1][S3][S4][S13][S17]

3. Tézis

Kísérletekkel bizonyítottam, hogy a felületi érdesség statisztikai paraméterei (Rsk , Rku), amelyek jelentős hatással vannak a működő felületek jellemzőire, a vizsgált technológiai tartományban csak az élgeometriától függenek. A finomesztergálás általam vizsgált topológiai térképe három tartományra bontható (az Rsk statisztikai paraméter függvényében), amelyek a vizsgált élgeometriától függenek (Wiper geometria = $-1 \dots -0,2$; Wiper & ISO geometria = $-0,2 \dots 0,55$; ISO geometria = $0,55 \dots 1$). Kimutattam, hogy finomesztergálaskor a topológiai térkép eddig nem ismert (szakirodalomban ismertettől eltérő) tartománya is gyártható, így a működő felületek várható jellemzői is tervezhetővé válnak a finomesztergálás technológiai tervezésénél. A vizsgált forgácsolási paraméter tartomány és feltételek az 1-es tézisben leírtakkal megegyezők.

Az III. tézis az alábbi publikációkra épül: [S2][S8][S15][S16]

4. Tézis

A finomesztergálás technológiájára kidolgoztam egy olyan erőmodellt, amelyben bevezettem az l_{eff} - fogásban lévő élhosszt, az ezzel és a leválasztott forgácskeresztmetszetből képezhető h_{eq} - közepes forgácsvastagságot, valamint a $k_{1,0,1}$ -

fajlagos forgácsoló erő főértékét. Az általam bevezetett erőmodellel technológiai tervezésnél a forgácsleválasztás valós geometriai körülményeinek megfelelően becsülhető mindhárom (F_c , F_f , F_p) forgácsolási erőkomponens. Finomesztergálási technológiai vizsgálatokhoz terveztem, kiviteleztem, 0...100 N tartományra hitelesítettem és a kísérleteimnél alkalmaztam egy speciális erőmérőt.

Az IV. tézis az alábbi publikációkra épül: [S5][S10][S14]

8 Összefoglalás

Munkám során kétféle iparban gyakran használt nyomásosan öntött alumínium ötvözet (eutektikus és hipereutektikus) forgácsolhatóságát vizsgáltam finomesztergálás körülményei között. A vizsgálatba három féle élananyagú és kétféle élkialakítású gyémánt szerszámokat vontam be.

Kísérletterv segítségével végeztem el a forgácsolási kísérleteket, melyek után mértem a felületi érdesség (iparban is gyakran használt) magasságirányú R_a és R_z paramétereit. A méréseket a munkadarab felületén 30° -os osztásokkal 12-szer végeztem el. Felületi érdesség becslésére létrehoztam minden szerszámra és alapanyagra egy forgácsolási paraméterektől függő redukált (csak szignifikáns hatásokat tartalmazó) fenomenológiai modellt (összesen 20 db egyenlet). Ezek után olyan összevont redukált fenomenológiai modelleket alkottam, amelyben az alapanyagok és szerszám élananyagok mint minőségi változók szerepelnek.

Két féle módszerrel, célfüggvények szerint forgácsolási optimumot kerestem (finomesztergálásra jellemző érdesség minimalizálása), a vizsgált forgácsolási paraméter tartományon, a vizsgálatba vont élananyagokkal és alapanyagokkal. Majd az optimumot validáló, ellenőrző méréseket végeztem.

A forgácsolt felületekről készült csiszolatokkal (forgácsolt felület közelében lévő primér szilíciumok) megvizsgáltam a különböző élkialakítású szerszámok forgácsoló hatásmechanizmusát, érdesség kialakító képességüket.

Nem elég a felületi érdességet minimalizálni, hanem annak szórását is csökkenteni kell, ezért az érdességi paraméterek szórásának vizsgálatát is elvégeztem és arra jutottam, hogy a szórásokat egyértelműen az alapanyag határozza meg.

Ezekután a felületi érdesség statisztikai paramétereit (R_{sk} , R_{ku}) vizsgáltam, melyek az esetleg leendő működő felületek tribológiai viselkedéséről adnak előzetes jellemzést. Az R_{sk} - R_{ku} pontpárokat a szakirodalom topológiai térképeknek nevezi. A topológiai térképen egymástól elkülönülő csoportok jelzik az egyes forgácsolási technológiákat. Vizsgálataimból kiderült, hogy az R_{sk} érdességi paraméter a szerszámgeometriától függ.

Három jól elkülönülő csoportra lehet osztani az általam vizsgált finomesztergálás topológiai térképét az élkialakítás függvényében. Ráadásul speciális élgeometriával a szakirodalomtól eltérő esztergálásra nem jellemző topológiai térkép is „gyártható”. Tehát olyan felületek melyek működés közbeni várható tribológiai viselkedése jobb lehet (pl.: kisebb súrlódás, kisebb kopás).

A statisztikai paraméterek szórásának elemzését is elvégeztem, és hasonlóan az (R_a és R_z paraméterekhez) arra jutottam, hogy a statisztikai paraméterek szórása egyértelműen az alapanyagoktól függött.

A felületi érdességek vizsgálata után a vizsgálatba vont alapanyagok forgácsolás erőtani viszonyait elemeztem. Finomesztergáláskor, mikor a szerszám főéle alig vagy egyáltalán nem vesz részt a forgácsleválasztásban (csúcsgár „dolgozik”) a kialakuló forgácskeresztmetszet méreteit nem lehet a hagyományos (h - forgácsvastagság, b - forgács szélesség) módon definiálni. Ezért a finomesztergálásra jellemző forgácskeresztmetszetek geometriai jellemzésére bevezettem a h_{eq} – közepes forgácsvastagság és l_{eff} - fogásban lévő élhosszúság paramétereket. A finomesztergálás forgácskeresztmetszeti jellemzői (nagysága miatt) bevezettem egy erre a technológiára használható úgynevezett $k_{1,0,1}$ jellemzőt (fajlagos forgácsolóerő főértéke, ahol $h_{eq} = 0,1$ mm és $l_{eff} = 1$ mm). Majd a bevezetett finomesztergálás technológiáját jellemző paraméterrel kidolgoztam egy új erőmodellt.

A finomesztergálás erőtani viszonyai vizsgálatára, terveztem, és adaptáltam egy speciális erőmérőt. Egy eszterga készszárat alakítottam át úgy, hogy a háromkomponenses erőmérő cella a lapka alatt helyezkedjen el. Eztuán mindhárom irányban meghatároztam az erőmérő érzékenységét (pC/N).

Természetesen a forgácsolás az erőmérő cellára egy külpontos terhelést jelent. Ezért a tervezett méréstartományban (0...100 N) elvégeztem az erőmérő rendszer statikus ellenőrzését, felvettem annak hibagörbéit, mellyel kompenzálni kell a mérés utáni értékeket.

Kidolgoztam egy mérési sorozatot, és forgácsolási erőméréseket végeztem mindkét vizsgálatba vont alapanyag típusnál. Az erőtani vizsgálatokat kétszer végeztem el, majd azok átlagát használtam fel a további kiértékeléshez. Az erőtani vizsgálatok alapján megállapítottam mindkét vizsgált alapanyag, általam bevezetett $k_{1,0,1}$ fajlagos forgácsolóerő főértékeit. Majd felállítottam mindhárom forgácsolási erő komponensre jól illeszkedő erőmodellt.

9 A Disszertációval kapcsolatos publikációk

9.1 Folyóiratok

- [S1] Horváth, R., Drégelyi-Kiss, Á.: Analysis of surface roughness of aluminum alloys fine turned: United phenomenological models and multi-performance optimization, *Measurement* 65 (2015) 181–192.
Lektorált külföldi folyóirat IF: 1,526.
- [S2] Horváth, R., Czifra, Á., Drégelyi-Kiss, Á.: Effect of conventional and non-conventional tool geometries to skewness and kurtosis of surface roughness in case of fine turning of aluminium alloys with diamond tools, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (2014) 1-8
Lektorált külföldi folyóirat IF: 1,779.
- [S3] Horváth, R., Mátyási, Gy., Drégelyi-Kiss, Á.: Optimization of machining parameters for fine turning operations based on the response surface method *ANZIAM Journal* 55 (2014) C250-C265.
Lektorált külföldi folyóirat
- [S4] Horváth, R., Drégelyi-Kiss, Á., Mátyási, Gy.: Application of RSM method for the examination of diamond tools, *Acta Polytechnica Hungarica* 11:(2) (2014) 137-147.
Lektorált magyar folyóirat IF:0,471
- [S5] Horváth, R.: A new model for fine turning forces, *Acta Polytechnica Hungarica (elfogadva)*
Lektorált magyar folyóirat IF:0,471.
- [S6] Horváth, R., Mátyási, Gy., Drégelyi-Kiss, Á.: The examination of homogeneity in the fine turning of aluminium alloy, *Journal of Production Engineering* 17:(2) (2014) 35-39.
Lektorált külföldi folyóirat.
- [S7] Horváth, R., Mátyási, Gy., Drégelyi-Kiss, Á.: Examination of the machinability of eutectic aluminium alloys, *Manufacturing Technology (bírálat után javítva, visszaküldve, elfogadásra várva)*
Lektorált külföldi folyóirat

- [S8] Horváth, R., Drégelyi-Kiss, Á., Mátyási, Gy.: The Examination of surface roughness parameters in the fine turning of hypereutectic aluminium alloys, *University POLITEHNICA of Bucharest Series D Mechanical Engineering, (elfogadva)*
Lektorált külföldi folyóirat
- [S9] Horváth, R., Mátyási, Gy., Drégelyi-Kiss, Á.: The Examination of the Cutting Capacity of Different Aluminium Alloys with Statistical Methods, Using Different Edge Material Non-Conventional (Wiper) Edge Geometry Diamond Tools, *Materials Science Forum* 812 (2015) 71-76.
Lektorált külföldi folyóirat
- [S10] Horváth, R., Pálincás, T., Mátyási, Gy.: Erőmérő rendszer tervezése, kivitelezése és adaptációja finom esztérgáláskor fellépő kis erők méréséhez, *GÉP* 6 (2013) 48-53.
Lektorált magyar folyóirat.
(Gépipari Tudományos Egyesület Műszaki Irodalmi díj 2013.)

9.2 Könyvfejezet

- [S11] Drégelyi-Kiss, Á., Horváth, R., Mikó, B.: Design of experiments (DOE) in investigation of cutting technologies In: Zebala W, Mankova I (szerk.) *Development in Machining Technology* Vol.3. Cracow: Cracow University of Technology Tadeusz Kosciuszko, (2013) 20-34.

9.3 Konferencia kiadványok

- [S12] Horváth, R., Drégelyi-Kiss, Á.: Analysis of surface roughness parameters in aluminium fine turning with diamond tool In: Ján Manka, Milan Tysler, Viktor Witkovsky, Ivan Frollo (szerk.) *Measurement 2013 9th International Conference on Measurement*. Konferencia helye, ideje: Smolenice, Szlovákia, 2013.05.27-2013.05.30. Bratislava: Vydavateľstvo Slovenskej Akadémie Vied (VEDA), (2013) 275-278.
- [S13] Horváth, R., Tóth-Laufer, E.: Fuzzy Model-Based Cutting Parameter Combination Optimization In: Szakál A (szerk.) *18th International Conference on Intelligent Engineering Systems - INES 2014*. Konferencia helye, ideje: Tihany, Magyarország, 2014.07.03-2014.07.05. Tihany: IEEE Hungary Section, (2014) 151-155.

- [S14] Horváth, R., Lukács, J.: Erőtani Vizsgálatok Acél Simító Esztergálásánál, In: Bitay Enikő (szerk.) *Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka XX*: Nemzetközi Tudományos Konferencia, Konferencia helye, ideje: Kolozsvár, Románia, 2015.03.19-2015.03.20. Kolozsvár: Erdélyi Múzeum-Egyesület, (2015)
- [S15] Horváth, R.: Felületi érdesség statisztikai paramétereinek vizsgálata alumínium finomesztergálásakor, In: Bitay Enikő (szerk.) *Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka XIX*: Nemzetközi Tudományos Konferencia, Konferencia helye, ideje: Kolozsvár, Románia, 2014.03.20-2014.03.21. Kolozsvár: Erdélyi Múzeum-Egyesület, (2014) 205-207.
- [S16] Horváth, R., Fazekas, A., Mátyási, Gy.: Nyomásosan öntött alumínium ötvözetek forgácsolhatóságának vizsgálata, In: Bitay Enikő (szerk.) *Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka XIX*: Nemzetközi Tudományos Konferencia. 480 p. Konferencia helye, ideje: Kolozsvár, Románia, 2014.03.20-2014.03.21. Kolozsvár: Erdélyi Múzeum-Egyesület, (2014) 201-204.
- [S17] Horváth, R., Mátyási, Gy.: Alumínium alkatrészek forgácsolhatóságának vizsgálata kísérletterv segítségével, In: Bitay Enikő (szerk.) *Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka XVIII*: Nemzetközi Tudományos Konferencia, Kolozsvár, 2013. március 21-22. Konferencia helye, ideje: Kolozsvár, Románia, 2013.03.21-2013.03.22. Kolozsvár: Az Erdélyi Múzeum-Egyesület, (2013) 159-163.