



Kompozitok Esztergálása

Készítette:

Gál Balázs

Szak:

Gépészmérnök

Évfolyam:

2009

Intézmény:

KF-GMAFk.

Konzulens:

Dr. Liska János

Készítve:

2012-2013/1. félév

Tartalom

Tartalom	2
Ábrajegyzék.....	3
Táblázatjegyzék	4
Jelek, rövidítések jegyzéke	5
1. A kompozitokról általában	7
1.1 A kompozitok csoportosítása	7
1.2. A dolgozat célja.....	9
2. Kísérlettervezés és előkészületek.....	10
2.1 Kísérlettervezés	10
2.2 A kísérlettervezés menete	11
2.3 Munkadarab	12
2.4 Szerszámgép	13
2.5 Szerszám	13
2.6 Erőmérő berendezés	14
2.7 Hőkamera	14
2.8 Érdességmérő berendezés	14
2.9 Hőkamera felfogatás.....	15
2.10 A hőkamera védőburkolata	15
3. Kísérlet és eredmények	16
3.1Az eredmények összehasonlítása	17
3.2 Forgácsoló erők.....	17
3.3 Felületi érdességek	20
3.4 A hőmérsékletmérés eredményei	26
4. Összegzés	29
Irodalomjegyzék	30

Ábrajegyzék

1. ábra - Szemcsés és szálerősítésű kompozitok.....	8
2. ábra - Rétegelt és felületi réteggel bevont kompozitok.....	8
3. ábra - Kör keresztmetszetű anyagok	9
4. ábra - „fekete-doboz”	10
5. ábra - Csúcsgár bemutatása.....	11
6. ábra - Üvegszál erősítésű köranyag	12
7. ábra - SU50/1500-as egyetemes csúcseszterga.....	13
8. ábra - Késszárak és lapkák	13
9. ábra - Három koordinátás erőmérő	14
10. ábra - Flir T360 hőkamera	14
11. ábra - Érdesség mérő berendezés	14
12. ábra - Kamera felfogás tervei.....	15
13. ábra - Tartókonzol és védőburkolat.....	15
14. ábra - Védőlencsével ellátott burkolat.....	15
15. ábra - Forgácsoló erők.....	17
16. ábra - Forgácsolás erőkomponensei	18
17. ábra - Főforgácsoló erők összehasonlítása	19
18. ábra - Rozsdamentes acélerősítésű szénszálas hajtóműtengely.....	21
19. ábra - Teljes profil (D-profil).....	21
20. ábra - R-profil	21
21. ábra - Ra - átlagos felületi érdesség származtatása	22
22. ábra - Ra - átlagos felületi érdesség	22

23. ábra - R_z - egyenetlenségmagasság.....	22
24. ábra - R_q - simasági mérőszám.....	23
25. ábra - Az $R_{max,e1}$ felületi érdesség	23
26. ábra - A valóságos forgácskeresztmetszet esztergáláskor	24
27. ábra - Átlagos felületi érdességek alakulása.....	25
28. ábra - 2D-s hőkép készítése	26
29. ábra - 10. mérés során készített kép	26
30. ábra - 12. mérés során készített kép	26
31. ábra - 3D-s hőtérkép.....	27
32. ábra - Maximális hőmérsékletek.....	28

Táblázatjegyzék

1. táblázat - Kísérletterv	11
2. táblázat - Kapott eredmények	15
3. táblázat - Horváth Tibor eredményei	16
4. táblázat - A fajlagos forgácsolóerő és z kitevő értékei	17
5. táblázat - forgácsoló erők konstansai és kitevői	18

Jelek, rövidítések jegyzéke

Jel	Megnevezés	Mértékegység
%	Százalék	%
a	Fogásmélység	mm
a _p	Fogásmélység	mm
E235	Gépacél jele 235 Mpa-os szakítószilárdsággal	
f	Előtolás	mm/ford
F	Erő	N
F _c	Főforgácsoló erő	N
F _f	Előtolás irányú forgácsoló erőkomponens	N
f _{max}	Legnagyobb előtolás	mm/ford
f _{min}	Legkisebb előtolás	mm/ford
f _n	Előtolás	mm/ford
F _p	Fogásvétel irányú, passzív forgácsoló erőkomponens	N
h _{kr}	Kritikus forgácsvastagság	mm
K _{cl.1}	Fajlagos forgácsolóerő	N/mm ²
kg	Kilogramm - súly mértékegység	kg
L	Forgácsolási hossz	mm
l _e	Egyedi mérэшossz	mm
m	Méter- hosszmérték	m
mm	Milliméter - hosszmérték	mm
n	Fordulatszám	1/perc
Nm	Nyomaték mértékegység	Nm
Ø	Átmérő	mm
PCD	Polikristályos gyémánt szerszám	
R _a	Átlagos érdesség	µm
R _{max}	Maximális érdesség	µm
R _{max,e1}	Bauer féle elméleti átlagos felületi érdesség	µm
R _{max,e2}	Brammetz féle elméleti átlagos felületi érdesség	µm
r _n	Szerszámél-lekerekedés	mm
R _q	Simasági mérőszám	µm
R _y	Érdesség mélység	µm

R_z	Egyenetlenségmagasság	μm
R_z	Egyenetlenségmagasság	μm
r_ε	Csúcssugár lekerekítés	mm
$r_{\varepsilon\text{max}}$	Legnagyobb csúcssugár lekerekítés	mm
$r_{\varepsilon\text{min}}$	Legkisebb csúcssugár lekerekítés	mm
T	Hőmérséklet	$^{\circ}\text{C}$
v_c	Forgácsoló sebesség	m/perc
$v_{c\text{ max}}$	Legnagyobb forgácsoló sebesség	m/perc
$v_{c\text{ min}}$	Legkisebb forgácsoló sebesség	m/perc
v_f	Előtoló sebesség	mm/perc
X_i	Faktorok, független változók	
$\tilde{y}$	Vizsgálati függő változó	
z	Kitevő	
κ_r	Főél elhelyezési szög	$^{\circ}$
Θ	Hőmérséklet	$^{\circ}\text{C}$

1. A kompozitokról általában

A kompozitok az 1940-1950-es években váltak ismerté. A kompozit szó jelentése *társított anyag*. Általános alapelvként tekinthető, hogy egy kemény, de törékeny anyagot szívósabbá ágyaznak. Ezeket különleges tulajdonságok és a fémektől nagyobb szilárdság jellemzi. Egyre nagyobb teret hódítanak ezek az anyagok. Főbb felhasználási területként említhetjük a járműipart (repülőgépgyártás, űrhajógyártás, autógyártás), reaktortechnikát, vegyipart, szórakoztató ipart, a sporthoz kapcsolódó iparágakat. Az élet minden területén megtalálhatóak ezek az anyagok. „*Composite-materials (kompozit-anyagok) - mondják az angolszászok, s szerintük e névvel nevezendő anyagi világunk minden olyan képviselője, amely hártyák, szálak, töltelékek és kötőanyagok változatos egybeépítésének eredményeként több fajta struktúrából épül fel.*” (1) Ez alapján kompozitnak tekinthetjük a fától kezdve a csontszöveten és a tojáshéjon át szinte minden anyagot.

1.1 A kompozitok csoportosítása

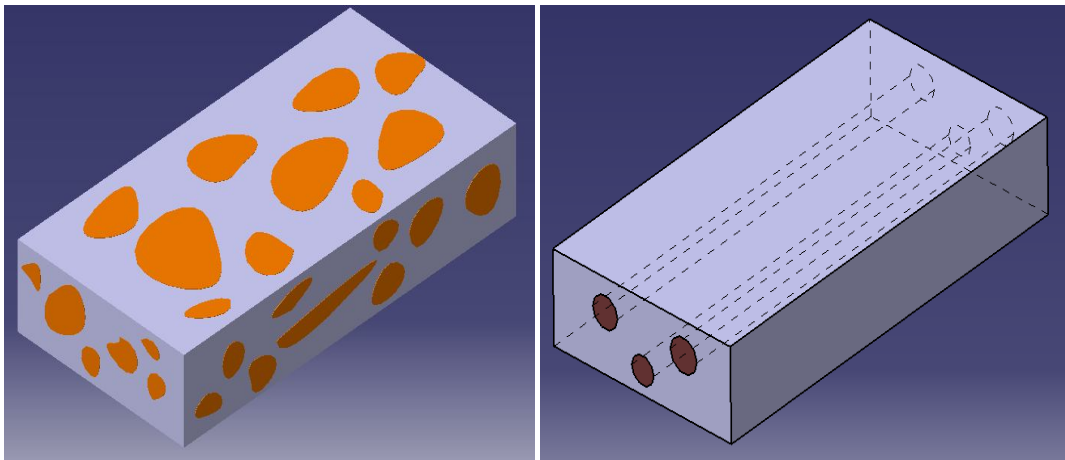
Műszaki szempontból a kompozitokat osztályozhatjuk az **ágyazó anyag szerint**. Az ágyazó anyag minőségét a vele képzett kompozit alkalmazási hőmérséklete határozza meg:

- *Műanyag ágyazású kompozitok* (200°C-ig), melyek fő ágyazó fázisa a műgyanták és epoxi gyanták.
- *Fém ágyazású kompozitok* (200 - 400°C) ágyazó anyaga lehet alumínium, titán, magnézium és ötvözetek. Nagy hőállóság és szilárdság, nagy sűrűség és nehézkes előállítás jellemzi.
- *Kerámia ágyazású kompozitok* (500°C felett). Az ágyazó és ágyazott anyag is kerámia. Az ágyazott anyag az esetleges repedés-terjedést akadályozza úgy, hogy ha repedés egy erősítő szálhoz ér irányt változtat, vagy kimozdítja a szálát az ágyazatból, ami energiát igényel, így a terjedés lelassul, sőt a szálak áthidalhatják a repedést, és a törés nem következik be. (2)

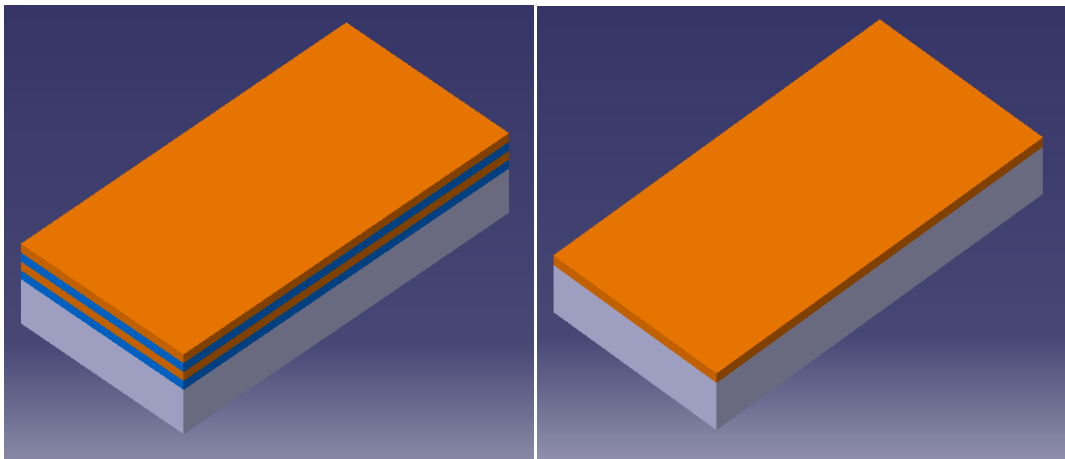
Társított anyag formája szerint:

- *Szemcsés adalékú társított anyag:* A fém, kerámia vagy műanyag ágyazó anyag fém, kerámia vagy műanyag szemcséket fog közre. A szemcsék mennyisége elérheti a 80%-ot is. (2) Térfogatnövelés (beton), kopásállóság növelése (köszörűkorong), vagy súlycsökkentés (mikroballon) lehet a cél.

- *Szálerősítésű társított anyag:* Az ágyazó anyag szilárdságának növelésére általában nagyszilárdságú szálakat (néhány század mm átmérőjű aramid-szál, üvegszál, szénszál, bórszál, alumínium-oxid, szilícium-karbid) használnak. (2)
- *Rétegelt társított anyag:* Az egyes rétegek szendvicsszerűen kapcsolódnak egymáshoz.
- *Bevont anyagok:* A bevonat készítés célja lehet a kopásállóság növelése, dekoráció, korrózióállóság létrehozása/növelése. A bevonat anyaga lehet műanyag, kerámia, fém.



1. ábra - szemcsés és szálerősítésű kompozitok



2. ábra - rétegelt és felületi réteggel bevont kompozitok

1.2. A dolgozat célja

A kutatás fontossága abban rejlik, hogy manapság nemcsak sík és alakos felületű kompozitokat alkalmaznak, hanem kör keresztmetszetű anyagokat is egyre szélesebb körben. Ezeket meg kell munkálni (esztergálni), hogy összecsatolva fémes alkatrészekkel beépíthetővé, szerelhetővé váljanak. Ezen kívül a rendelkezésre álló kis terjedelmű szakirodalom bővítése is cél. Ez azért is fontos, mert a fémektől eltérő eredmények adódnak a kutatások során. A kompozitokkal foglalkozó gyárak-cégek viszonylag kevés megszerzett szellemi tulajdont bocsájtanak közkézre. A kapott eredményekkel a kompozitipar fejlődésének segítése és az esztergával történő megmunkálásokhoz szükséges paraméterek meghatározása a cél.



3. ábra - kör keresztmetszetű anyagok (3)

2. Kísérlettervezés és előkészületek

Kísérletemet egy már elvégzett kísérletre alapoztam. A Szlovák Műszaki Egyetemen 2012 őszén msc. diplomatervét készítő Horváth Tibor kísérleteit ismételttem meg, valamint kiegészítettem hőkamerás vizsgálattal.

2.1 Kísérlettervezés

A gépgyártás-technológiai kísérleteket általában az úgynevezett teljes faktoriális kísérlettervezés segítségével tervezik meg, amely szerint „egy forgácsolási folyamat kísérleti vizsgálatára a 4. ábrán vázlatosan bemutatott „fekete doboz” alkalmazható.” (4).



4. ábra „fekete doboz”

A jobb oldali kimenő nyíl az úgynevezett vizsgálati függő változó melynek jele: $\hat{y}$. Szükséges feltétel, hogy befolyásolni lehessen a függő változó értékét. A befolyásoló tényezőket faktoroknak vagy független változóknak nevezik, és X_i -vel jelölik. Több $\hat{y}_i$ kimenete is lehet a „fekete doboznak”. A faktorok több értéket vehetnek fel. Ezek az értékek a szintek. A faktorok szintjeinek kombinálásával létrehozhatóak a kísérleti beállítások, melyek az $\hat{y}$ függő változó értékeit eredményezik. Ha sok faktorszintet variálnánk sok faktorszinttel oda kellene figyelni, hogy csak a szükséges számú variációt készítsük el a kísérlethez. Ellenkező esetben az összes lehetséges kísérleti beállítás száma nagyon nagy lehet, mely gátolhatja a megvalósíthatóságot. Ha mégis ezt a módszert választanánk, akkor az úgynevezett passzív kísérleti módszert alkalmaznánk. Az eredmények kiértékelése nehéz lehet és a „bőség zavara” miatt valószínűleg hamis következtetésekre is juthatnánk. Ezzel szemben az úgynevezett aktív kísérletekben az összes vizsgálandó faktort csak 2 esetleg 3 szinten állítják be és egy előre meghatározott sorrendben variálják azok értékeit. A függő változók alakulását a mérési adatok matematikai és statisztikai módszerekkel történő feldolgozása útján határozzák meg. Ez a

módszer általában kevesebb kísérleti beállítással megbízhatóbb és több információt biztosít. (4)

2.2 A kísérlettervezés menete

Az előzőekben ismertetett okok miatt én is az úgynevezett teljes faktoriális kísérlettervezés segítségével készítettem elő a kísérletemet. Aktív kísérletként 4 változó minimum és maximum értékének kombinációjával terveztem meg a kísérletet. A változók a következők:

- forgácsoló sebesség: v_c ; (v_{cmin} ; v_{cmax}),
- előtolás: f ; (f_{min} ; f_{max}),
- szerszám csúcssugár lekerekítés: r_ϵ ; ($r_{\epsilon min}$; $r_{\epsilon max}$),
- főél elhelyezési szög: κ_r ($\kappa_r=45^\circ$; $\kappa_r=90^\circ$).

A faktorok kiválasztásában úgy indultam el, hogy rendelkezésre állt két késszár, melyek főél elhelyezési szöge $\kappa_r=45^\circ$; $\kappa_r=90^\circ$ volt. Ez az első faktor.

A főél elhelyezési szög a lapka fő forgácsoló éle és a munkadarab felülete által bezárt szög. Nagymértékben befolyásolja a forgácsvastagságot, forgácsoló erőket és a szerszám éltartamát. A legáltalánosabb főél elhelyezési szögek a 90° , 45° , 10° . (5).

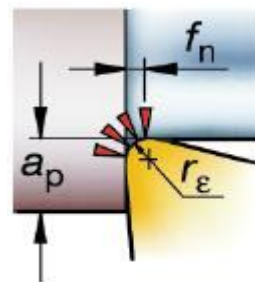
A második faktort a rendelkezésre álló két fajta csúcssugár lekerekítésű, forrasztott keménymet PCD polikristályos gyémánt lapka határozta meg.

Ezek $r_\epsilon=0,2\text{mm}$; $r_{\epsilon max}=0,4\text{mm}$ -ek voltak.

5. ábra jelölései: f_n - előtolás nagysága

a_p - fogásmélység

r_ϵ - csúcssugár lekerekítés



5. ábra Csúcssugár bemutatása (10)

A harmadik és negyedik faktort a szerszámkatalógusból határoztam meg a szerszámra előírt minimális és maximális forgácsoló sebességet és előtolást kiválasztva.

A kiválasztott faktorokból a Minitab statisztikai és kiértékelő szoftver segítségével generáltam egy kísérlettervet, amit az 1. számú táblázat mutat be:

1. táblázat Kísérletterv

mérés	κ_r	f	v_c	n	r_ϵ	a_p	r_n	v_f
1.	90°	0,05	111	355	0,2	0,5	0,011	17,75
2.	90°	0,05	222	710	0,2	0,5	0,011	35,5
3.	90°	0,12	222	710	0,2	0,5	0,011	85,2
4.	90°	0,12	111	355	0,2	0,5	0,011	42,6
5.	45°	0,05	111	355	0,2	0,5	0,011	17,75
6.	45°	0,05	222	710	0,2	0,5	0,011	35,5
7.	45°	0,12	222	710	0,2	0,5	0,011	85,2
8.	45°	0,12	111	355	0,2	0,5	0,011	42,6
9.	90°	0,05	111	355	0,4	0,5	0,011	17,75
10.	90°	0,05	222	710	0,4	0,5	0,011	35,5
11.	90°	0,12	222	710	0,4	0,5	0,011	85,5
12.	90°	0,12	111	355	0,4	0,5	0,011	42,6
13.	45°	0,05	111	355	0,4	0,5	0,011	17,75
14.	45°	0,05	222	710	0,4	0,5	0,011	35,5
15.	45°	0,12	222	710	0,4	0,5	0,011	85,2
16.	45°	0,12	111	355	0,4	0,5	0,011	42,6

Az 1. számú táblázatban szereplő n - fordulatszám értékét a következő képen határoztam meg:

A munkadarab átmérője: $\varnothing 110\text{mm}=0,11\text{m}$

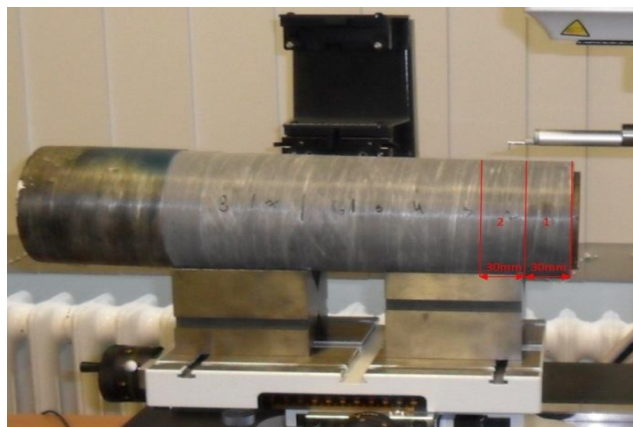
forgácsoló sebesség képlete $V_c = \frac{d \cdot \pi \cdot n}{1000}$, ahol d - a munkadarab átmérője méterben
n - fordulatszám

a képletből így a fordulatszám kifejezve: $n = \frac{v_c \cdot 1000}{d \cdot \pi}$.

A kapott eredményt összevetve a szerszámgép beállítható fordulatszámaival, kiválasztottam a hozzá eső legközelebbi értéket.

2.3 Munkadarab

A kísérlethez szükséges volt egy üvegszál erősítésű köranyagra (6.ábra), hogy a kapott eredményeim a diplomatervhez készített kísérlettel azonos feltételekkel tudjam elvégezni, ezért ugyanazt a munkadarabot esztergáltuk, mint amit Horváth Tibor is.



6. ábra Üvegszál erősítésű köranyag

2.4 Szerszámgép

A forgácsolást is azonos típusú szerszámgépen végeztem. A szerszámgép egy SU50/1500-as egyetemes csúcseszterga volt (7. ábra). A használt szerszámgép a Kecskeméti Főiskola GAMF karának Járműtechnológiai tanszéken található.



7. ábra SU50/1500-as egyetemes csúcseszterga

2.5 Szerszám

Kísérleteim során két különböző főél elhelyezkedési szögű késszárat és két féle csúcssugar lekerekítésű lapkát használtunk. Ezek SECO típusúak voltak. Forrasztott keménységű PCD polikristályos gyémánt szerszámok. (8. ábra)

lapka:

- SECO CCMW 09T302 F-L1 PCD20
- SECO CCMW 09T304 F-L1 PCD20

késszár:

- SECO SCD CR 1212M09 s $\kappa r=45^\circ$
- SECO SCACR 1212M09 s $\kappa r=90^\circ$



8. ábra Késszárok és lapkák

2.6 Erőmérő berendezés

Az forgácsoláskor fellépő erőket egy három koordinátás KISTLER 625 7/B forgácsolási erőmérővel készülékkal mértem (9.ábra).

2.7 Hőkamera

A kísérlethez az előzőekben már említett hőkamerát is alkalmaztam. A Kecskeméti Főiskola tulajdonában lévő Flir T360-as hőkamera segítségemre volt a forgácsoláskor fellépő hőmérséklet alakulásának vizsgálatában. (10. ábra)



10. ábra Flir T360 hőkamera (6)

2.8 Érdességmérő berendezés

A kísérlet során a különböző forgácsolási paraméterekkel elért felületi érdességeket egy Mitutoyo Formtracer SV- C3100 kontúr- és felületi érdességmérő műszerrel mértük le.



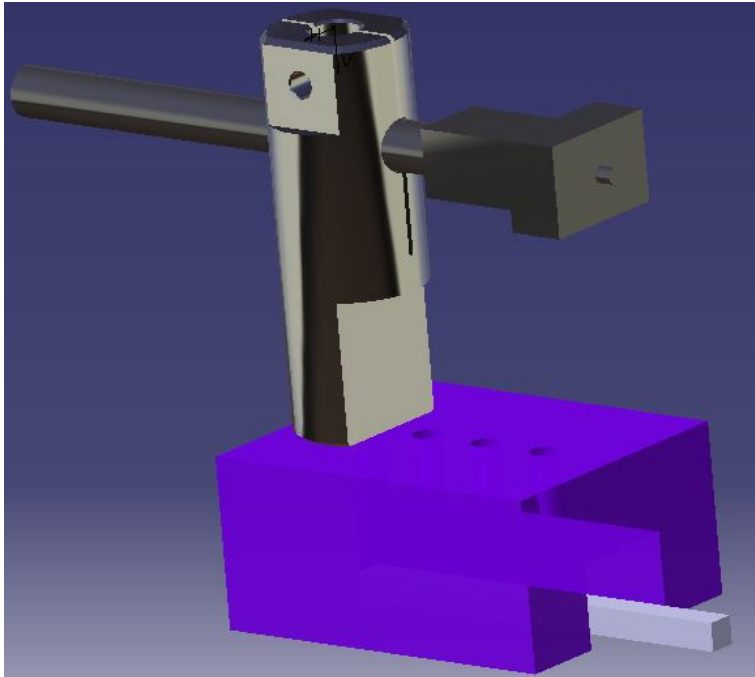
11. ábra Érdességmérő berendezés (11)



9. ábra Három koordinátás erőmérő

2.9 Hőkamera felfogatás

Terveim között szerepelt, hogy a forgácsolási zónát megfigyelem hőkamerával és a forgácsoláskor fellépő hőmérsékletet is vizsgálom a munkámban. Hogy jó minőségű képet tudjak készíteni, meg kellett oldani, hogy a szerszám és a kamera objektívje közötti távolság 100mm-en belül legyen. Ezért megterveztem és legyártottam egy a cél teljesítésére alkalmas készüléket. Ezzel a



készülékkel elértem, hogy a 12. ábra Kamera felfogatás tervei

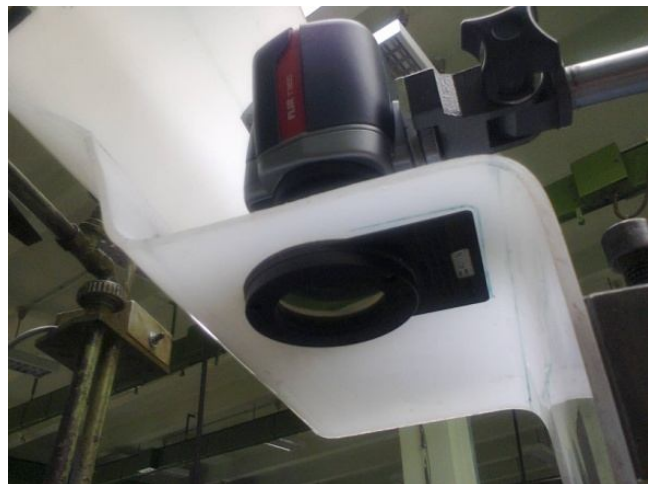
forgácsolási zónát 80mm távolságból tudjam figyelni a kamera segítségével. A készüléket a szerszámtartóra lehet fogatni egy csavar segítségével, így a forgácsolási zóna a kamera fókuszpontjába állítható. A készülék előzetes terve a 12. ábrán látható.

2.10 A hőkamera védőburkolata

Mivel forgácsolás során a leváló forgácsdaraboktól a kamerát védeni kell,



13. ábra Tartókonzol és védőburkolat



14. ábra Védőlencsével ellátott burkolat

megterveztem és elkészítettem egy védőburkolatot. Egyszerűen és gyorsan elkészíthető burkolatot akartam, így egy plexilapból indultam ki. Melegítéssel a kívánt alakúra formáltam és hozzáfogattam a tartókészülékhez. A plexire egy védőlencse is került (14. ábra). A komplett felfogó készülék és védőburkolat látható a 13. ábrán.

3. Kísérlet és eredmények

A kísérletet a Kecskeméti Főiskola Járműtechnológiai tanszékének műhelyében végeztük. A munkadarabot a kísérlettervnek megfelelően 16 db 30mm-es hosszonzsztergáltunk különböző beállításokkal. Minden hossz szsztergálásakor 3db hőképet készítettünk. A forgácsolás során fellépő erők átlagát az erőmérő cellával összekötött számítógép képernyőjéről leolvastuk és feljegyeztük. A forgácsolt hosszak sorszámát a munkadarabon számozással jelöltük. Ez alapján a tanszék mérőlaborjában a Mitutoyo Formtracer érdességmérővel szakaszonként három méréssel megállapítottuk az érdességi mérőszámok átlagát. Az eredményeket táblázatba foglaltam (2. táblázat).

2. táblázat - Kapott eredmények

sorszám	F _c [N]	F _a [N]	F _f [N]	T [°C]	R _a [μm]	R _y [μm]	R _z [μm]	R _q [μm]
1.	6,24	5,95	12,2	59,8	2,579	20,595	12,701	3,135
2.	8,78	6,11	12,1	65,6	2,562	22,463	12,835	3,193
3.	7,2	5,63	10	71,7	2,65	21,445	12,753	3,303
4.	6,19	5,32	8,65	61,2	2,691	26,215	13,67	3,4
5.	6,78	11,8	8,97	59,8	2,615	25,498	12,752	3,306
6.	6,93	11,4	9,1	73,3	2,564	22,308	11,82	3,207
7.	15,1	16	12,9	82,1	3,459	33,135	16,029	4,36
8.	12,3	16,9	13,6	69,2	4,34	45,617	18,699	5,634
9.	19,8	12,1	10,2	77,4	3,449	31,491	16,736	4,389
10.	24,1	12,3	10,4	85,8	3,526	34,705	16,219	4,525
11.	5,92	7,1	8,06	64,8	2,437	21,101	11,877	3,05
12.	6,99	6,95	10,7	63,6	2,229	21,315	20,676	2,89
13.	7,01	13,7	9,17	58,2	2,885	30,148	13,875	3,668
14.	7,74	14,2	10,5	72,1	3,533	22,365	12,098	3,17
15.	10,1	15,6	9,02	89	3,019	29,454	14,018	3,87
16.	14	17,1	12,9	70,2	3,441	28,82	14,687	4,233

3.1 Az eredmények összehasonlítása

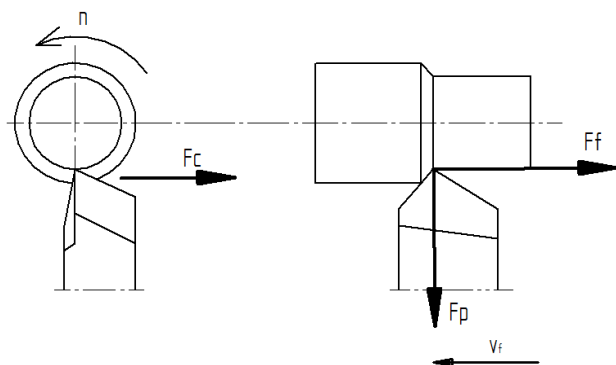
Horváth Tibor eredményit a következő táblázat mutatja be (3. táblázat):

3. táblázat - Horváth Tibor eredményei

sorszám	F_c [N]	F_a [N]	F_f [N]	R_a [μ m]	R_q [μ m]	R_z [μ m]
1.	6,35	15,13	11,6	2,4	3,1	16,7
2.	11,62	25,52	25,72	2,43	3,16	17,77
3.	9,44	17,86	12,12	2,79	3,55	18,71
4.	9	11,2	12,24	2,46	3,04	16,12
5.	6,79	9,49	13,98	2,47	3,21	17,94
6.	10,12	6,91	19,6	2,79	3,6	19,28
7.	16,53	33,4	29,65	3,36	4,35	23,78
8.	18,83	35,72	34,06	3,17	3,96	20,78
9.	9,25	9,67	13,56	1,94	2,54	15,16
10.	19,48	10,4	28,55	2,12	3,35	15,28
11.	8,73	19,32	13,89	2,56	3,2	17,28
12.	10,4	23,75	23,19	2,56	3,26	17,19
13.	8,95	6,76	15,83	2,24	2,93	16,58
14.	17,81	10,16	26,07	2,34	2,97	15,85
15.	4,85	11,35	8,62	2,85	3,59	18,93
16.	5,63	7,78	12	2,82	3,66	20,71

3.2 Forgácsoló erők

A táblázatban feltüntetett erőkomponenseket a 15. ábra szemlélteti. A forgács leválasztásához szükséges forgácsoló erő (F) a szerszámra ható térbeli erő.



15. ábra - forgácsoló erők

leválasztásához szükséges forgácsoló erő (F) a szerszámra ható térbeli erő.

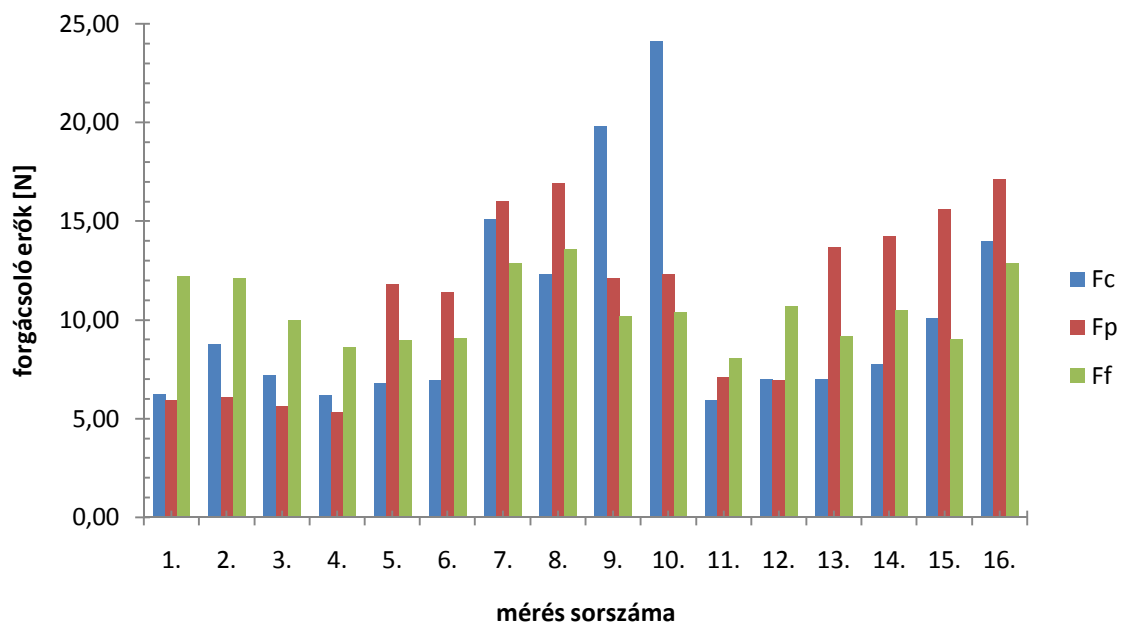
Három összetevőre bontható:

- a fő forgácsolóerő (F_c),
- az előtolás-irányú erő (F_f),
- a fogásvétel-irányú erő (F_p).

Az erőkomponensek nagysága általában a következő összefüggés (3.2.1) szerint alakul:

$$F_c > F_p > F_f \quad (3.2.1)$$

A kapott eredmények alapján az erőkomponensek alakulását a 16. ábra mutatja be.



16. ábra - Forgácsolás erőkomponensei

A diagramból megállapítható, hogy a forgácsolási erőkomponensek a szokásostól eltérő módon alakulnak. Érdekes jelenség, hogy az F_p fogásvételi irányú passzív erő mutatkozik legtöbbször a legnagyobb erőkomponensnek, az F_c főforgácsoló erő viszont többször a másik két erőkomponenstől kisebb nagyságú és nem követi a fémekre általában jellemző értékeket. Ez az anyag anizotróp jellegével és a szálak tekercselési irányával magyarázható. A fémek általában izotróp jellegűek, mivel a kristályosodási folyamat során szabályos kristályszerkezet jön létre.

Példaképp meghatároztam egy E235 jelű gépacél elméleti főforgácsoló erőszükségletét a Kienzle-féle összefüggéssel (3.2.2), a kompozit forgácsolásakor beállított paraméterekkel. Hogy a Kienzle-féle összefüggéssel meg tudjuk határozni a főforgácsoló erőt, szükség van a szerkezeti acél anyagjellemzőire is.

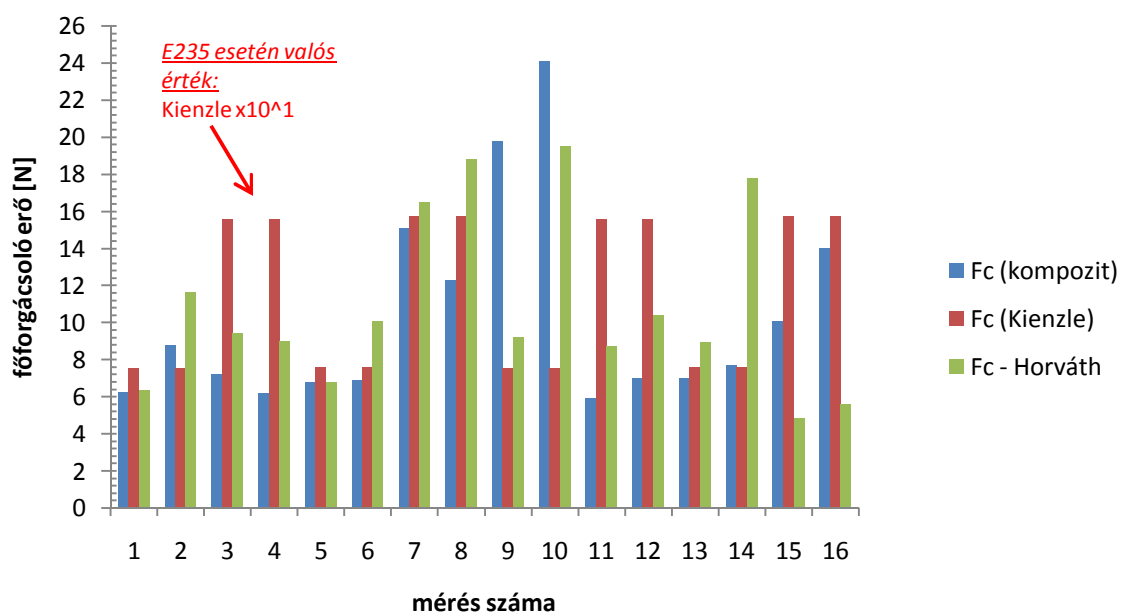
4. táblázat. A fajlagos forgácsolóerő és a z kitevő értékei (7)

Anyag	K _{c1.1} , [N/mm ²]	z
Fe235	1780	0,17

$$F_c = k_{c1.1} * f^{1-z} * a * (\sin \kappa_r)^{-z} \quad [N] \quad (3.2.2) (7)$$

ahol:

K_{c1.1} - fajlagos forgácsolóerő; **z** - kitevő; **f** - előtolás; **a** - fogásmélység; **κ_r** - főél elhelyezési szög



17. ábra - Főforgácsoló erők összehasonlítása

A 17. ábra is igazolja, hogy a kompozit forgácsolásakor döntő többségben a főforgácsoló erő alatta marad az elvárt értéknek.

Az eredmények matematikai úton történő kiértékelése során a kapott eredményekből empirikus képleteket határoztunk meg. A teljes faktoriális kísérletek során az eredményekből a függő változó értékét az alábbi polinommal közelíthetjük meg:

$$y = b_0 + \sum_{j=1}^k b_j x_j + \sum_{j < g=1}^k b_{jg} x_j x_g \quad (3.2.3)$$

A forgácsolás erőkomponenseinek nagysága a változók függvényében az alábbi képlet szerint alakul:

$$F = C \cdot \chi_r^{x1} \cdot f^{x2} \cdot v_c^{x3} \cdot r_\varepsilon^{x4} \quad (3.2.4)$$

A C konstans és a változók kitevő értékeinek bonyolult számítási módjának levezetését mellőzve az alábbi értékeket kaptuk:

5. táblázat - forgácsoló erők konstansai és kitevői

	C	x1	x2	x3	x4
F _c	10,2928	-0,0592	-0,0456	0,0942	0,3537
F _f	17,7991	-0,0572	0,0304	0,07	-0,1044
F _p	984,5121	-0,9854	-0,0405	-0,0044	0,4083

Ezek alapján a forgácsolás elméleti erőkomponenseit a következő képen számolhatjuk:

$$F_c = 10,2928 \cdot \chi_r^{-0,059} \cdot f^{-0,0456} \cdot v_c^{0,0942} \cdot r_\varepsilon^{0,3537} \quad (3.2.5)$$

$$F_f = 17,7991 \cdot \chi_r^{-0,0572} \cdot f^{0,0304} \cdot v_c^{-0,07} \cdot r_\varepsilon^{-0,1044} \quad (3.2.6)$$

$$F_p = 948,5121 \cdot \chi_r^{-0,9854} \cdot f^{-0,0405} \cdot v_c^{-0,0044} \cdot r_\varepsilon^{0,4083} \quad (3.2.7)$$

A képletekből megállapítható, hogy az egyes erőkomponensek alakulását melyik faktor milyen mértékben befolyásolja. A legnagyobb kitevőjű faktor az, amelytől a legjobban függ az erőkomponens nagysága. Ez alapján az F_c - főforgácsoló és F_p - fogásvétel irányú erőt a szerszám csúcssugár lekerekítés, az előtolás irányú erőt (F_f) az előtolás mértéke befolyásolja leginkább.

3.3 Felületi érdességek

A munkadarab felületi érdességével is foglalkozni kell, hogy megfelelő ismeretek birtokában a munkadarab beépíthetővé váljon. Tribológiai, vagyis illeszkedési, csúszási, súrlódási és kopási szempontokat veszünk figyelembe a fémeknél (7). A kompozitokat általában ragasztással tudják az egyes elemekkel egybeépíteni. Ha egy autó féltengelyeit szeretnénk kompozit köranyagból elkészíteni, a tengelyt fémes alkatrészekkel kell összeépíteni, hogy a kopó alkatrészek fémből legyenek (3. ábra). Tehát a kompozit tengelyt forgácsolással meg kell munkálni, hogy az a fém alkatrészekkel összeragasztható legyen. A ragasztott kötések létrehozásánál is kiemelkedően fontos tényezőknek tekinthetjük az anyag egyes tribológiai jellemzőit. Ezért is fontos ezekkel foglalkozni.

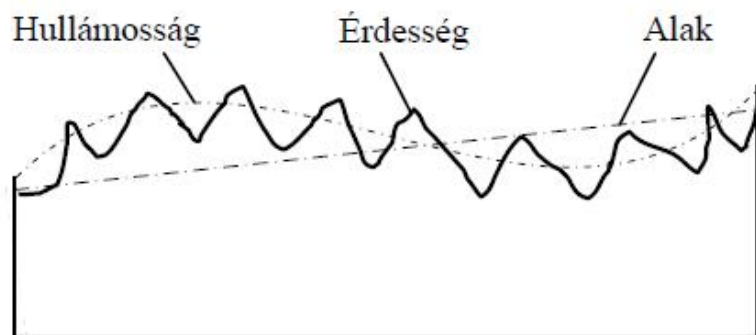
A kompozitból készült alkatrészek igen nagy terhelést is el tudnak viselni jóval kisebb súlyú alkatrészként, mintha fémből készülne. A 2012-es *Aerospace Forum 2012* elnevezésű konferencián volt megtekinthető a *Volvo Aero* által kiállított hajtóműtengely (18. ábra), mely az erőátviteli pontjait (titánium) kivéve, rozsdamentes acél erősítésű szénszálas kompozitból készült. A tájékoztató tábla szerint **2500Nm nyomaték** átvitelére képes, a súlya viszont csak **3,3 kilogramm**, ami **70%-os tömeg megtakarítást** jelent (8).



18. ábra - Rozsdamentes acél erősítésű szén-szál hajtóműtengely (8)

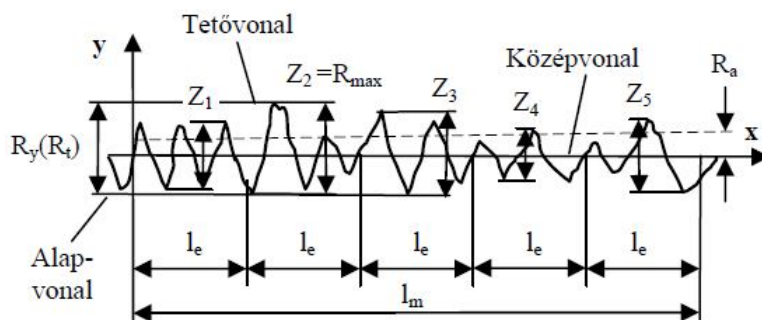
Az esztergált munkadarab teljes profiljának (D-profil) tekintjük a profilszűrés nélküli profilt, amely tartalmazza az alak-, hullámossági és érdességi hibákat (19. ábra) is (7).

D profil



19. ábra - teljes profil

R profil



$$R_z = (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5)/5; \quad l_e = l_m/5; \quad R_{max} = (Z_i)_{max} = Z_2$$

$$R_a = \frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} |y| dx$$

20. ábra R-profil (7)

A teljes profilból az alakhibát és a hullámossági hibát kiszűrve megkapjuk az érdességi profilt (20. ábra) (7).

l_e - egyedi mérэшossz

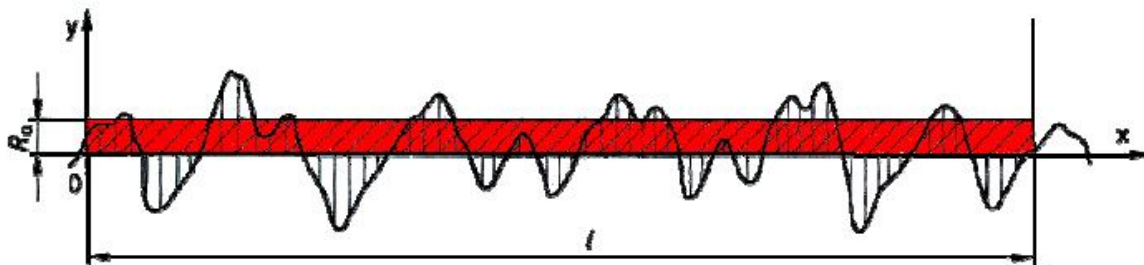
R_z - egyenetlenségmagasság

R_{max} - maximális érdesség

R_y - érdességmélység

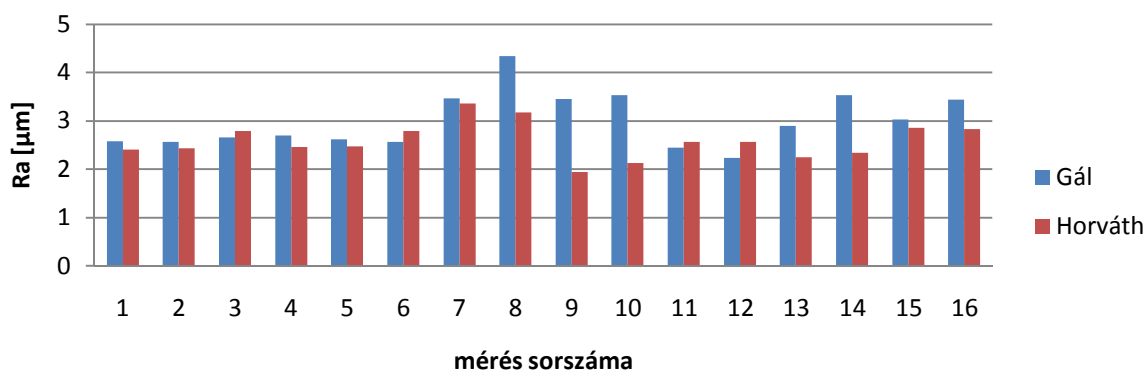
R_a - átlagos érdesség

Az egyik legáltalánosabban használt felületi érdességi mérőszám az R_a , vagyis az átlagos érdesség. Az átlagos érdesség a tényleges profil és a középvonal közti y_i távolságok abszolút értékeinek számtani átlaga (21. ábra). Ez azt jelenti, hogy a függőlegesen sraffozott területek összege pontosan ugyanakkora, mint a piros téglalap területe. (9)

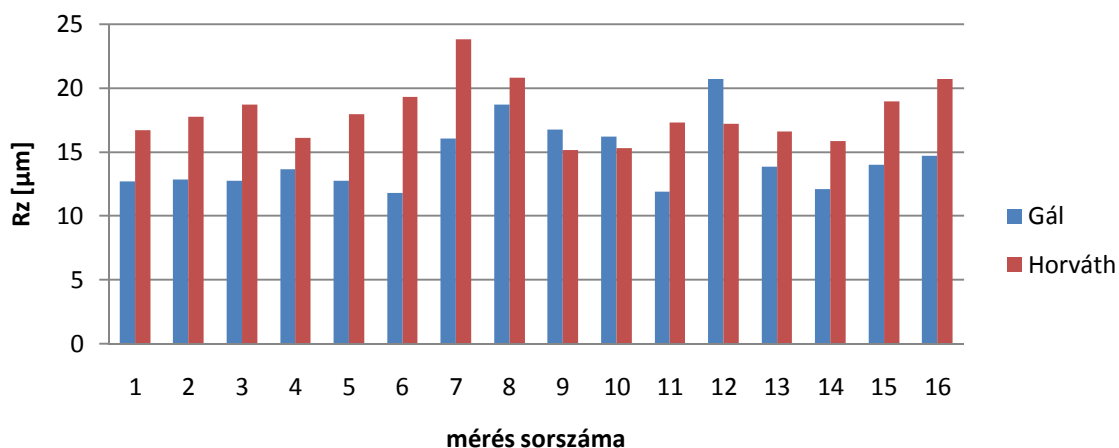


21. ábra - R_a átlagos felületi érdesség származtatása

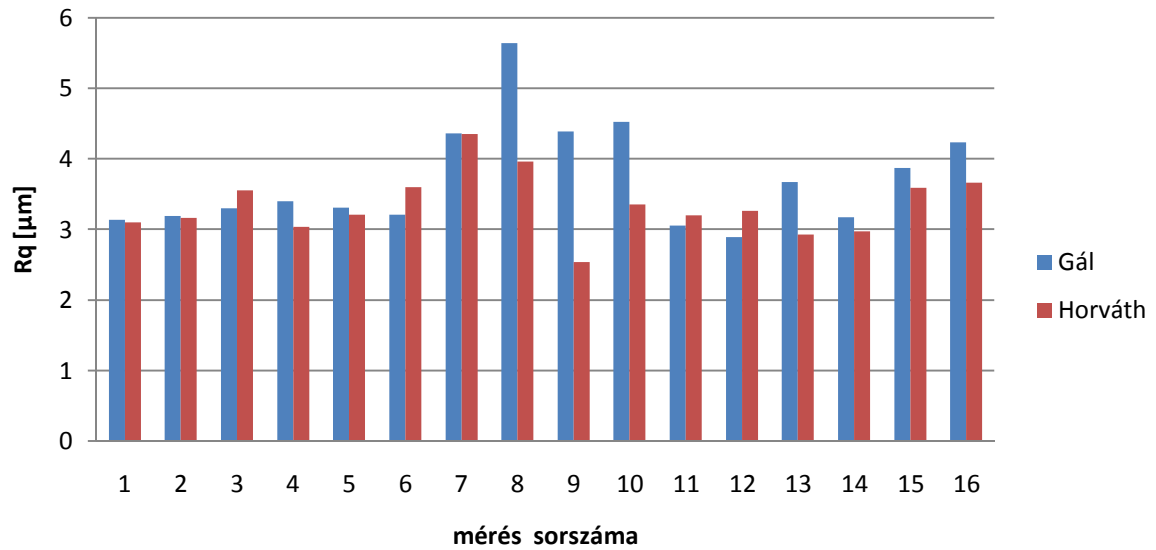
Az eredmények összehasonlítása alapján megállapítható, hogy a mérés reprodukálása sikeres volt. A mikrogeometriai mérőszámok csekély mértékű szórásáról a 22., 23. és 24. ábra ad tanúbizonyságot.



22. ábra - R_a átlagos felületi érdesség



23. ábra - R_z egyenetlenségmagasság

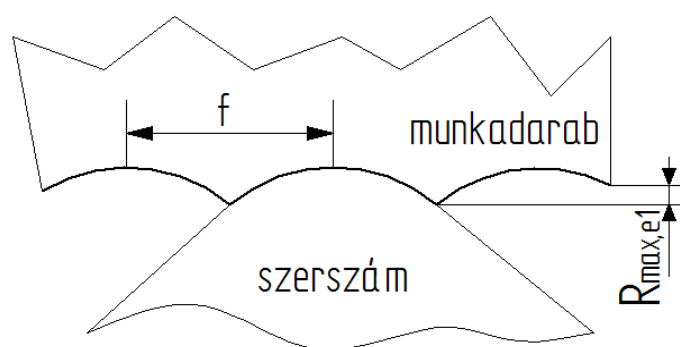


24. ábra - R_q simasági mérőszám

A simasági mérőszám R_q a profileltérések négyzetes középértéke. Az eltéréseket fokozottan, nagyságukat súlyozva veszi figyelembe. (9)

Léteznek olyan képletek melyekkel az átlagos felületi érdesség értékét a forgácsolási adatok függvényében jó közelítéssel meg tudjuk határozni. Ezt elméleti felületi érdességnek hívjuk. Kétféle képlet ismert:

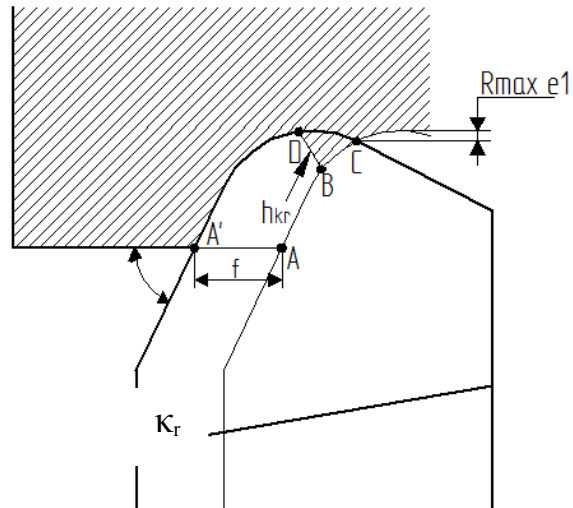
A *Bauer-képlet* (3.3.1) nagy csúcssugarú szerszám és kis előtolási érték esetén érvényes:



25. ábra. Az $R_{max,e1}$ felületi érdesség

$$R_{max,e1} = \frac{f^2}{8 \cdot r_\epsilon} \quad (3.3.1) \quad (7)$$

A *Brammetz-képlet* (3.3.2) a Bauer-képlettől eltérően már figyelembe veszi, hogy a szerszám lekerekített csúcsa is forgácsol. (26. ábra) A valóságos forgácskeresztmetszet az AA'C pontok által kijelölt terület. A normál metszetben mérhető forgácsvastagság a C pont felé haladva nullára csökken, miközben elér egy h_{kr} kritikus értéket, amely alatt elméletileg nincs



forgácsleválasztás, csak vasalás. A 26. ábra A valóságos forgácskeresztmetszet esztergáláskor

BCD terület által határolt anyagréteg szívós anyagok forgácsolásakor a megmunkált felületre kenődhet növelve a felületi érdességet. Ezt a Bauer-képlet nem veszi figyelembe. (7)

$$R_{\max e2} = \frac{f^2}{8 \cdot r_\epsilon} + \frac{h_{kr}}{2} \left(1 + \frac{r_\epsilon \cdot h_{kr}}{f^2} \right) \quad [\mu\text{m}] \quad (3.3.2) \quad (7)$$

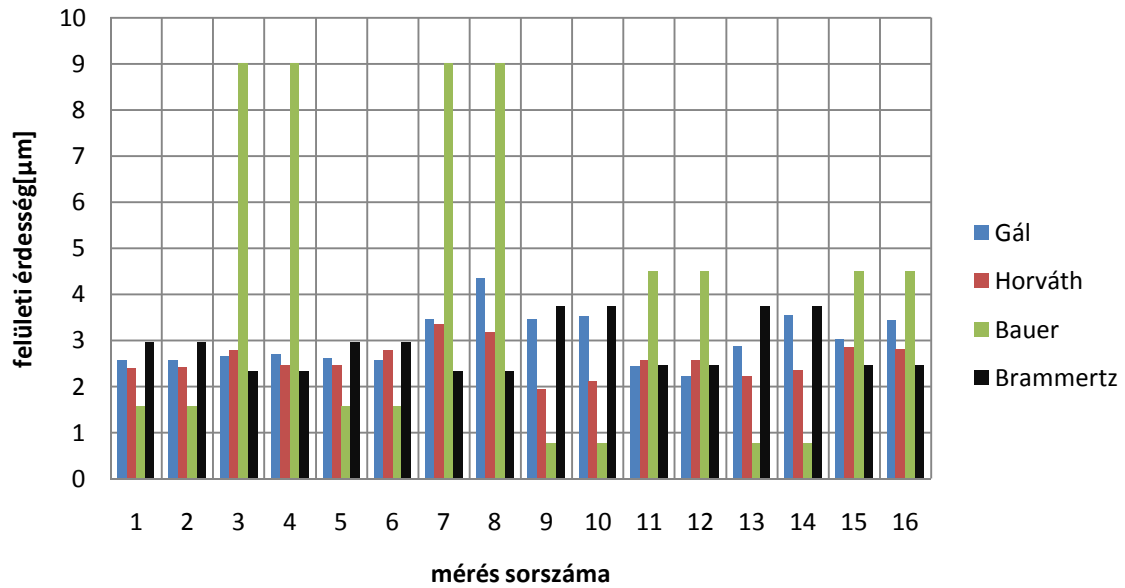
Az összefüggésben a h_{kr} - a kritikus forgácsvastagság

$$h_{kr} = (0,3 \dots 0,45) r_n \quad [\mu\text{m}] \quad (3.3.3) \quad (7)$$

r_n - a szerszámél-lekerekedése.

A valóságos felületi érdesség általában nagyobb a számított értéknél, mert az elméleti számításoknál például a megmunkáló rendszer dinamikai viselkedését figyelmen kívül hagyják. (7)

Az átlagos felületi érdesség eredményeket ezek alapján összevetettem a képlettel meghatározott elméleti értékekkel (27. ábra):



27. ábra - Átlagos felületi érdességek alakulása

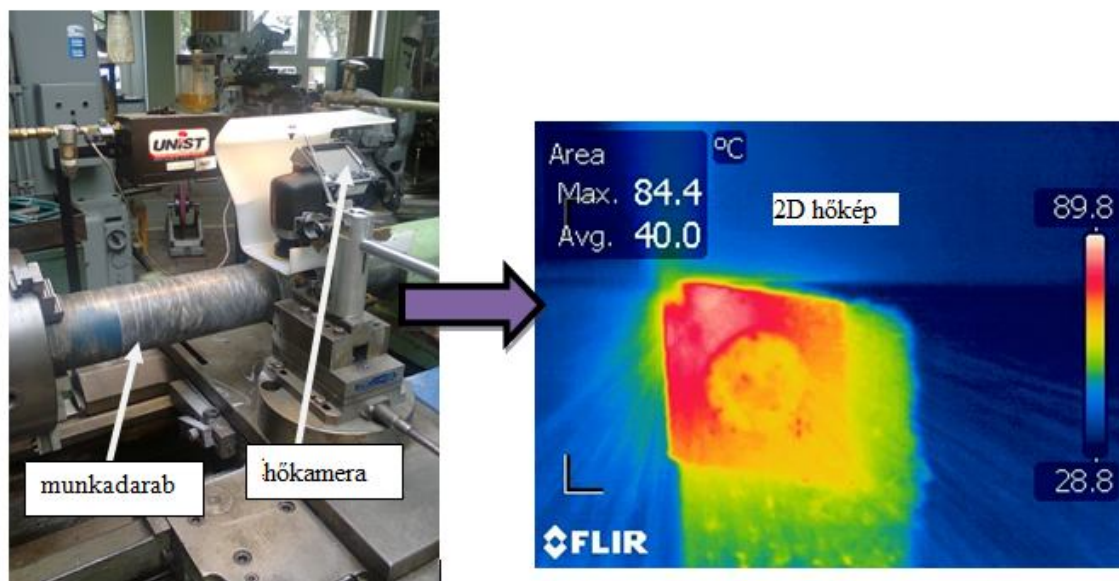
A mérési eredmények alapján meghatározott empirikus képlet a következő:

$$R_a = C_{R_a} \cdot \chi_r^{x1} \cdot f^{x2} \cdot v_c^{x3} \cdot r_\varepsilon^{x4} \quad (3.3.4)$$

$$R_a = 9,0744 \cdot \chi_r^{-0,222} \cdot f^{0,0136} \cdot v_c^{-0,0154} \cdot r_\varepsilon^{0,0701} \quad (3.3.5)$$

A diagramból megállapítható, hogy az átlagos felületi érdesség nem követi törvényszerűen az elméleti értékeket, viszont annak közelében helyezkedik el. Az empirikus képletből pedig kiolvasható, hogy a csúcssugár lekerekedése az a faktor, amely leginkább befolyásolja az átlagos felületi érdességet.

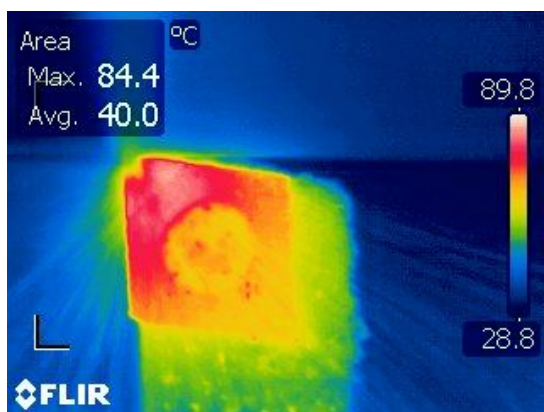
3.4 A hőmérsékletmérés eredményei



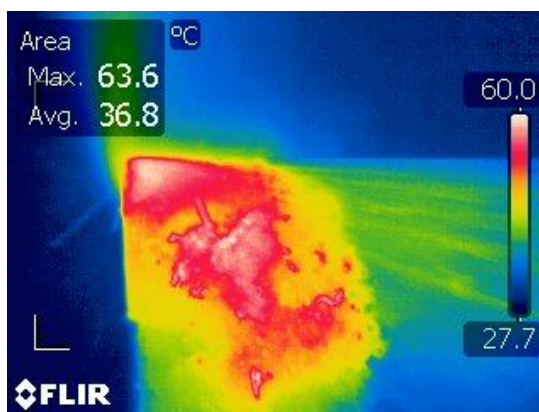
28. ábra - 2D-s hőkép készítése

A kompozitok forgácsolásakor fontos, hogy a forgácsolás során jelentkező hőmérséklet ne haladja meg a 85-135 °C-ot. E hőmérséklet felett jelentkezik a gyanta degradációja. Ez azt jelenti, hogy a szilárd gyanta minősége romlik a hőmérsékleti behatás közvetlen környezetében.

A Flir T360-as hőkamera egy 0,9 Megapixeles készülék. Felbontása 320x240 pixel. Alapesetben minimum 0,4 méteres távolság ideális a kamera és a mérendő elem között. Hogy a forgácsolási zónát közlelről tudjuk vizsgálni a kamerával egy *Flir Close Up lens 4x* lencsét használtunk kiegészítésként. Ezzel elértük, hogy 80mm távolságból tudjunk felvételt készíteni. Így egy pixel megközelítőleg 0,27mm²-t foglal magába a munkadarab méreteiből.



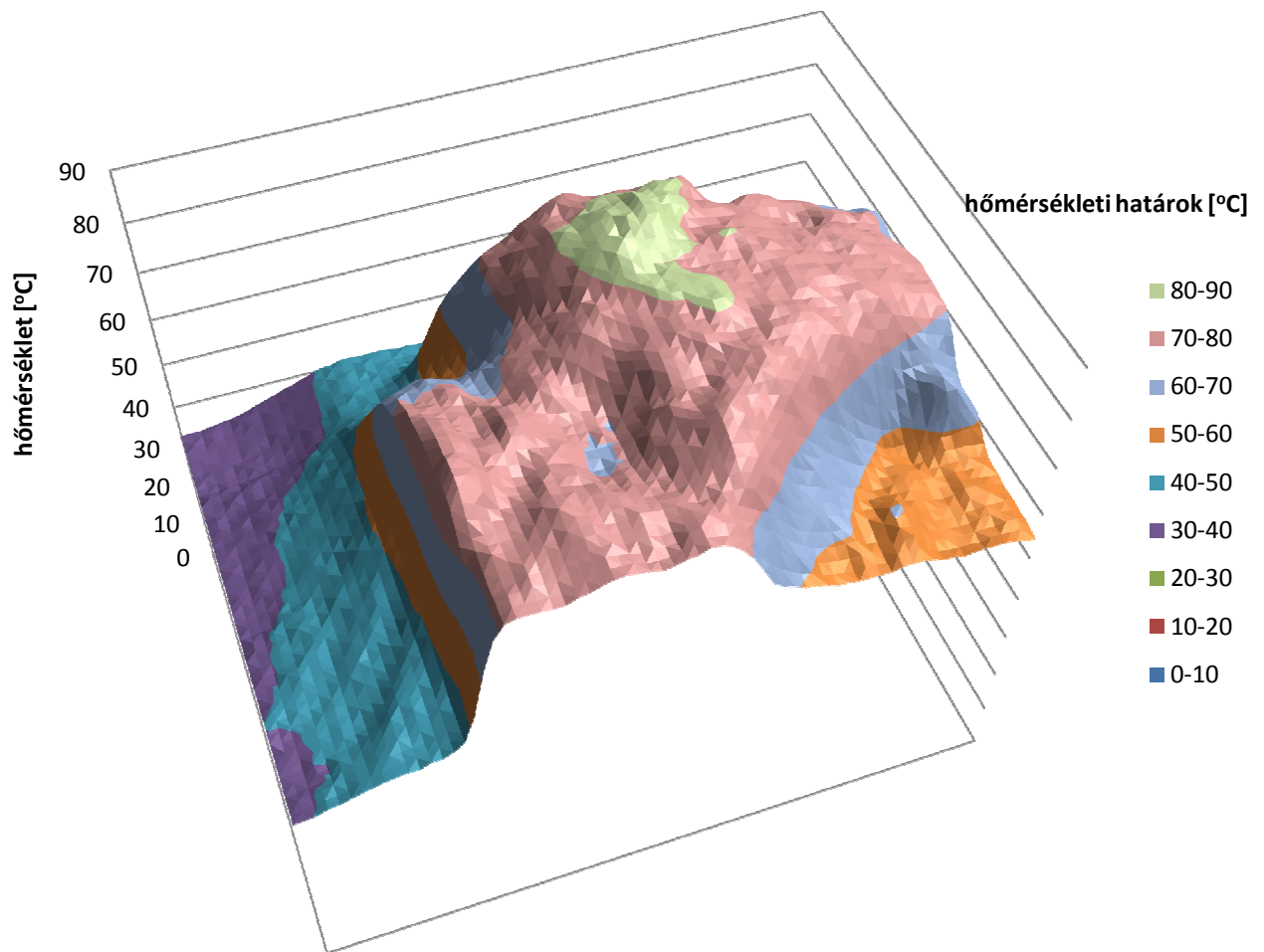
29. ábra - 10. mérés során készített kép



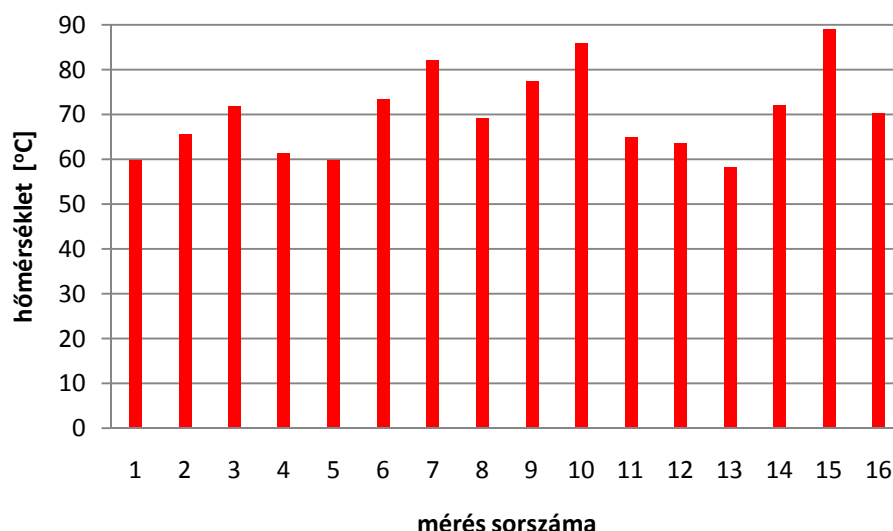
30. ábra - 12. mérés során készített kép

A 2D-s hőkép segítségével tájékoztatót kapunk a hőmérséklet alakulásáról, és pontos értéket kapunk a maximális hőmérsékletről. Ellenben az átlagos hőmérsékleti értékre nem tekinthetünk pontos adatként. Ez azért van, mert a szenzor a munkadarabon, szerszámon és a környezeten mért hőmérsékletek értékeit veszi alapul. Ennek kiküszöbölésére az elkészített képen a kamera számítógépes szoftverével grafikus úton kijelölhetjük a vizsgálni kívánt területet. A kijelölt terület hőmérséklet-értékeit Excel táblázatba menthetjük. A táblázat minden egyes cellája az egy pixelen mért hőmérsékletet mutatja.

Az így elkészített táblázatból generálható a 3D-s hőtérkép, amelyen a színek segítségével elkülöníthetők a szerszám, munkadarab és környezet hőmérsékletei.



31. ábra - 3D-s hőtérkép



32. ábra - maximális hőmérsékletek

A 32. ábra a mérések során kapott maximális hőmérsékleteket mutatja be. Az ábrából megállapítható, hogy a mérések során a hőmérséklet nem lépte túl az anyagra megengedett maximális hőmérsékletet, melynél a gyanta degradálódik.

A hőmérsékletmérésből meghatározott empirikus képlet a következő képen alakul:

$$\Theta = C_{\Theta} \cdot \chi_r^{x1} \cdot f^{x2} \cdot v_c^{x3} \cdot r_{\varepsilon}^{x4} \quad (3.4.1)$$

$$\Theta = 31,3104 \cdot \chi_r^{-0,0588} \cdot f^{0,0417} \cdot v_c^{0,2161} \cdot r_{\varepsilon}^{0,0929} \quad (3.4.2)$$

Ez alapján a forgácsoló sebesség az a faktor, amely leginkább befolyásolja a forgácsolás során létrejövő hőmérsékletet. A szerszám főél elhelyezési szöge pedig az, amely a legkisebb mértékben befolyásolja azt.

4. Összegzés

Az üvegszál erősítésű tekercselt kompozit henger forgácsolásakor mért forgácsoló erőkomponensek a fémek forgácsolásától eltérően alakultak. Ez az anyag inhomogén, anizotróp jellegével, a szálak tekercselési irányával magyarázható. A felület-érdességi mérőszámok esetén jobb eredményeket kaptunk az elvárttól. A kapott eredmények nem követik törvényszerűen az elméleti értékeket, tehát a forgácsolási paraméterek nem befolyásolják olyan mértékben a kapott felületi minőséget, mint a fémek esetében. Rossz hővezető lévén az anyag viszonylag kevés hőt von el a forgácsolási zónából. A forgácsoláskor fellépő hőt így a szerszámnak és a környezetnek kell elvezetnie. Hűtést nem alkalmaztunk a forgácsolás során, mert folyadékhűtéssel a kompozitokat nem szabad hűteni, mivel a hajszálcsövesség hatására az anyag magába szívna a hűtőfolyadékot. Hűtés hideg levegővel történhetne, de a kivitelezéséhez elszívó berendezést kellene építeni, mert a kompozitok porai mind az egészségre, mind a szerszámgép állapotára is káros harással vannak az abrazív tulajdonságaik miatt. A szerszámkatalógusból vett minimális és maximális értékű paraméterek alapján elkészített kísérlet során az eredmények hűtés nélkül is a megengedett maximális érték alatt maradtak.

Ezek alapján a forgácsolási paraméterek optimalizálására nem került sor, mivel az összes eredmény optimálisnak tekinthető. Ahhoz, hogy optimalizálni tudjunk, olyan paraméterek mellett is el kell végezni a kísérleteket, amelyeknél a kapott eredmények már nem tekinthetők optimálisnak. Ezért a jövőben célunk a forgácsolási paraméterek változtatása magasabb értékekre. Szeretnénk diagramokat és tapasztalati képleteket létrehozni, melyekből megállapíthatók, hogy különböző paraméterek mellett milyen eredményeket kaphatunk az üvegszál erősítésű kompozitok esztergálásakor.

Irodalomjegyzék

1. **Sz. Benedek István**, *Világunk anyaka, a kompozit*. Kolozsvár-Napoca : Dacia Könyvkiadó, 1981.
2. **KF-GMAFk. Anyagtechnológiai tanszék**, *Oktatási segédlet Anyagismeret AII. című tantárgyhoz*. Kecskemét : ismeretlen szerző.
3. **Horváth Tibor**, *Kompozit anyagok esztergálása. Diplomaterv*. Trnava, 2012.
4. **Dr. Fridik László**, *Válogatott fejezetek a gépgyártás-technológiai kísérletek tervezése témakörből - Kézirat*. hely nélkül. : Nemzeti tankönyvkiadó, 1993.
5. www.sandvik.coromant.com. [Hivatkozva: 2012. 10 09.]
http://www.sandvik.coromant.com/hu-hu/knowledge/milling/getting_started/general_guidelines/entering_angle/pages/default.aspx.
6. <http://www.shopflir.com/> [Hivatkozva: 2012. 10 09.]
[http://www.shopflir.com/enlarge_image.php?products_id=8046&getID=enlarged_image& height=450&width=850&inlineId=price_match_terms&modal=false](http://www.shopflir.com/enlarge_image.php?products_id=8046&getID=enlarged_image&height=450&width=850&inlineId=price_match_terms&modal=false).
7. **Dr. Kodácsy János**. *Gépgyártás*. Kecskemét : Dr. Danyi József rektor, 2010. ISBN 978-963-7294-81-5.
8. <http://radarfigyelo.hu>. [Hivatkozva: 2012. 10 11.]
<http://radarfigyelo.hu/2012/06/11/erdekessegek-linkopingbol/>.
9. **Andó Mátyás**. *Felületi érdekesség, jelzőszámok közötti kapcsolatok*. Budapest : Gépész Tuning Kft., 2010.
10. www.sandvik.coromant.com. [Hivatkozva: 2012. 10 09.]
http://www.sandvik.coromant.com/hu-hu/knowledge/general_turning/getting_started/choice_of_insert/nose_radius/Pages/default.aspx.
11. <http://tts.uni-obuda.h.>, Kecskeméti Főiskola, 2012. 10 09. [Hivatkozva: 2012. 10 09.]
<http://tts.uni-obuda.hu/instruments/458>.
12. <http://www.mmspektrum.com/>. [Hivatkozva: 2012. 10 10.]
<http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-jak-je-to-s-reznyi-silami.html>.