

KECSKEMÉTI FŐISKOLA
GÉPIPARI ÉS AUTOMATIZÁLÁSI MŰSZAKI FŐISKOLAI KAR
JÁRMŰTECHNOLÓGIAI TANSZÉK

TDK DOLGOZAT
OPTIMALIZÁLT FÚRÁS

2014



Készítette:

Sándor Roland

Szak: Gépészmérnök

Szakirány: Gyártásinformatika

Konzulens:

Dr. Liska János

Főiskolai docens

Tulajdonosi nyilatkozat

Kijelentem, hogy az alábbi dolgozat a saját munkám és nem sért szerzői jogokat.

Kecskemét, 2014. október 27.

.....

Sándor Roland

Tartalom	
Ábrajegyzék	4
Táblázat jegyzék.....	4
Rövidítések és jelölések.....	5
1. Köszönetnyilvánítás.....	6
2. Bevezetés	6
3. Optimalizált fúrás.....	7
3.1. A kísérlet menete	7
3.2. Megmunkált anyag.....	8
3.3. Vizsgált szerszámok	9
3.4. Forgácsolás.....	10
3.5. Bemeneti paraméterek	11
3.5. Erő	12
3.6. Szerszámkopás.....	13
3.7. Hengeresség.....	15
3.8. Delamináció.....	18
3.9. Kiértékelés.....	20
3.10. Döntéstámogatás.....	26
4. Összegzés	28
Felhasznált irodalom.....	29

Ábrajegyzék

3. ábra Erő- és nyomatékmérő berendezés	10
4. ábra Fz előtolás irányú erő alakulása az idő függvényében gyorsacél csigafúró esetén	12
5. ábra Fz előtolás irányú erő alakulása az idő függvényében tömör keményfém csigafúró esetén	12
6. ábra Gyorsacél csigafúró főele és főhátlapja.....	13
7. ábra Digitális képfeldolgozó rendszer.....	13
8. ábra Szerszámkopás alakulása az idő függvényében gyorsacél csigafúró esetén	14
9. ábra Szerszámkopás alakulása az idő függvényében tömör keményfém csigafúró esetén	14
10. ábra Kőralak hibamérő berendezés	15
11. ábra Gyorsacél csigafúró által készített furat jellegzetes képe ($v_c=40\text{m/perc}$; 9. furat)	15
12. ábra Keményfém csigafúró által készített furat jellegzetes képe ($v_c=60\text{m/perc}$; 50. furat)	16
13. ábra Furatok hengerességének alakulása az idő függvényében gyorsacél csigafúró esetén.....	16
14. ábra Furatok hengerességének alakulása az idő függvényében tömör keményfém csigafúró esetén	17
15. ábra Delaminációmakro felvételen.....	18
16. ábra Delamináció értelmezése	18
17. ábra Delamináció alakulása az idő függvényében gyorsacél csigafúró esetén.....	19
18. ábra Delamináció alakulása az idő függvényében tömör keményfém csigafúró esetén.....	19
19. ábra Közelítő függvények ábrázolása a gyorsacél szerszámok által készített furatok hengerességének alakulására.	23
20. ábra Közelítő függvények ábrázolása a tömör keményfém szerszámok által készített furatok hengerességének alakulására.	24
21. ábra Közelítő függvények ábrázolása a gyorsacél szerszámok által készített furatok delaminációjának alakulására.	25
22. ábra Közelítő függvények ábrázolása a tömör keményfém szerszámok által készített furatok delaminációjának alakulására.	25
23. ábra Számoló tábla kitöltendő illetve eredményt kijelző mezői.....	26

Táblázat jegyzék

1. táblázat Az egyes esetekhez tartozó bemeneti paraméterek	11
2. táblázat Kimeneti paraméterek A/1 jelű gyorsacél csigafúró esetén.....	20
3. táblázat Kimeneti paraméterek A/2 jelű gyorsacél csigafúró esetén	20
4. táblázat Kimeneti paraméterek A/3 jelű gyorsacél csigafúró esetén	20
5. táblázat Kimeneti paraméterek B/1 jelű tömör keményfém csigafúró esetén	21
6. táblázat Kimeneti paraméterek B/2 jelű tömör keményfém csigafúró esetén	22
7. táblázat Kimeneti paraméterek B/3 jelű tömör keményfém csigafúró esetén	22

Rövidítések és jelölések

Jelölés	Megnevezés	Mértékegység
F_z	előtolás irányú erő	N
VB	főél kopás	mm
/o/	hengeresség	μm
F_D	delamináció	-
f_z	fogankénti előtolás	mm/fog
v_f	előtoló sebesség	mm/perc
n_s	fordulatszám	1/ford
f_n	fordulatonkénti előtolás	mm/ford
v_c	forgácsolósebesség	m/perc

1. Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni Dr. Liska Jánosnak, hogy munkám során támogatott, szakszerű tanácsaival. Hálás vagyok Jámbor István matematikusnak, aki a kutatás matematikai problémáinak megoldása során segített. Köszönöm a Kecskeméti Főiskolának, hogy rendelkezésemre bocsátotta a kísérletek és mérések elvégzéséhez szükséges berendezéseket, és nem utolsósorban köszönöm, A Gépipari Automatizálás Fejlesztésének Alapítványának, hogy anyagilag támogatta a kutatást.

2. Bevezetés

Az optimalizált gyártás a gyakorlatban ritkán valósul meg. A termelő tevékenységet végző vállalkozások sok esetben nem fordítanak kellő figyelmet, a megfelelő szerszám és az adott megmunkáláshoz optimális technológiai paraméterek meghatározására. Tény, hogy a technológia optimalizálása időigényes és költséges tevékenység, azonban sorozat- illetve tömeggyártás esetén a befektetett pénz megtérül. **Kutatásom célja, egy olyan optimalizálási modell elkészítése, mely hatékonyan és pontosan alkalmazható.** Munkám során, a fúrás technológiáját vettem alapul. Két különböző élgeometriájú és anyagú szerszámot vizsgáltam, szerszám típusonként hármat, darabonként eltérő technológiai paraméterrel. A kifűrt anyag egy üvegszál erősítésű kompozit (GFRP) volt. A kutatás során mértem a szerszámok kopását (VB), a forgácsolás közben ébredő előtolás irányú erőt (F_z), az elkészített furatok alakhibáját (hengerességét /o/) és a kifűrt anyag delaminációját (F_D). Miután minden mérési eredmény a rendelkezésemre állt, kiértékeltem azokat és összefüggést kerestem közöttük. Az összefüggések megállapítása után pedig elkészítettem egy segédprogramot, mely az adott szerszámok esetén kiválasztja az általunk megadott minőségi paraméterek elérésére alkalmas, leggazdaságosabban alkalmazható szerszámot, és a hozzá tartozó technológiai paramétereket.

3. Optimalizált fúrás

A megmunkálási eljárások technológiai paramétereinek túlnyomó része az adott gyártási feladat és a kiválasztott gyártóeszköz által meghatározott. A szerszámgép-, a munkadarabbefogó-készülék-, a szerszámparaméterek egy része a konstrukció révén adott (a forgácsolási folyamat nem befolyásolható paraméterei), más része korlátozott tartományban szabadon választható (beállítható paraméterek). A megmunkálási eljárást a gyártási feladathoz a forgácsolási paraméterek (forgácsolósebesség, előtolás, fogásmélység) segítségével illesztjük.

Az optimalizálás alapjait olyan műszaki és gazdasági összefüggések alkotják, amelyeket forgácsolástechnológiai törvényszerűségekkel fejezünk ki. A forgácsolástechnológiai, vagy még inkább a gyártástechnológiai alapok részben már a megmunkálási eljárás sajátosságaira vonatkoznak.

Adott forgácsolási eljárás optimalizására olyan általános függvénykapcsolatot kell keresnünk a szerszámtartam és a forgácsolóerő, illetve forgácsleválasztási erő, valamint a forgácsolási paraméterek között, amely a különböző megmunkálási eljárások viszonyaihoz lehetőleg könnyen hozzáigazítható. Ezek az általánosított forgácsolási alapösszefüggések azért szükségesek, hogy a számos műszaki és gazdasági kritériumot egymással összekapcsolhassuk. [1]

3.1. A kísérlet menete

- Kísérlettervezés.
- Forgácsolás.
- Szerszámkopás meghatározása.
- Furatok alakhibájának (hengerességének) mérése.
- Furatok delaminációjának meghatározása.
- Kiértékelés.
- Segéd program elkészítése.

A kísérlet megtervezésének első lépésében kiválasztottam a megmunkálandó anyagot és a kutatás céljának leginkább megfelelő szerszámokat.

3.2. Megmunkált anyag

A megmunkált anyag egy üvegszál erősítésű kompozit (GFRP). A vizsgált anyagban az üvegszál és a gyanta aránya 60%-40%.

Napjainkban a kompozit anyagokat egyre szélesebb körben használják fel olyan iparágakban, mint a repülő ipar vagy gépjármű ipar. Az iparnak olyan ágazatai ezek, melyekben különösen nagy jelentősége van a termelékenységnek és a pontosságnak. A kompozit anyagok megmunkálása során azonban felvetődik néhány probléma. Ezen problémák közé tartoznak az anyag delaminációja, mely ronthatja a legyártott alkatrész mechanikai tulajdonságait, és a szerszám gyors kopása, mely negatívan hat a gyártás gazdaságosságára. Azért választottam üvegszál erősítésű kompozitot a kutatás során, mert ezen anyagok megmunkálása esetén remekül érzékeltethető az optimalizált megmunkálás fontossága.

A kompozitok a műszaki célú szerkezeti anyagok legkorszerűbb családját képezik. Kialakításuk abból a felismerésből indult ki, hogy az alkatrészek terhelése a legkritikább esetben azonos a tér minden irányában. A leggyakrabban minden műszaki alkotásban, gépben, gépalkatrészben, építményben vagy bármely használati eszközben az igénybevétel, a terhelés jól meghatározott erővonalak mentén érvényesül. Ezen erővonalak irányában gyakran nagyságrendekkel nagyobb szilárdságra van szükség, mint más irányokban. Ez indokolja a homogén szerkezeti anyagok megerősítését (reinforcing, Verstärkung) nagyobb szilárdságú erősítőanyagokkal, a teherviselés kitüntetett irányában.

A kompozit:

Többfázisú (alkatrészeiben fázishatárokkal elválasztott), összetett: több anyagból álló szerkezeti anyag, amely erősítőanyagból (tipikusan szálerősítésből) és befoglaló (beágyazó) anyagból: matrix-ból áll, és az jellemzi, hogy a nagy szilárdságú és rendszerint nagy rugalmassági modulusú (szálas) erősítőanyag és a rendszerint kisebb szilárdságú, de szívós (nagy ütésállóságú) matrix között kitűnő kapcsolat (adhézió, tapadás) van, amely, a deformáció, az igénybevétel magas szintjén is tartósan fennmarad. [3]

3.3. Vizsgált szerszámok

Két típusú szerszámot vizsgáltam. Egy hagyományos gyorsacél csigafúrót (1. ábra Gyorsacél csigafúró) (továbbiakban „A” szerszám) és egy, a gyártó által kifejezetten kompozit anyagok fúrására ajánlott tömör keménymetall csigafúrót (2. ábra Tömör keménymetall csigafúró) (továbbiakban „B” szerszám). Az „A” szerszám darabonkénti ára ~1000Ft, míg a „B” szerszámé ~15 000Ft.



1. ábra Gyorsacél csigafúró



2. ábra Tömör keménymetall csigafúró

A gyakorlatban mindkét szerszámot használják üvegszál erősítésű kompozit anyagok megmunkálására, azonban a gyártók ajánlásai valamint a szakirodalom alapján nehéz megállapítani, hogy az egyes szerszámok milyen minőségű furatok elkészítésére alkalmasak, és hogy melyik szerszám milyen körülmények között alkalmazható gazdaságosan. Az alapvető kérdés az volt, hogy milyen elvárások mellett éri meg megvenni a drágább szerszámot. Úgy gondolom a két kiválasztott szerszám remekül szemlélteti a problémát.

3.4. Forgácsolás

A megmunkálás közben egy a CNC szerszámgép főorsójára rögzíthető erő- és nyomatékmérő berendezés (1. ábra Erő- és nyomatékmérő berendezés) segítségével, megmértem és rögzítettem az F_z értékeket. A megmunkálást adott darabszámú elkészített furat után megszakítottam, és megmértem a szerszám fő élének kopását a szerszám hátlapján, egy digitális képfeldolgozó rendszer segítségével.(5. ábra Digitális képfeldolgozó rendszer). Ezt követően folytattam a megmunkálást.



1. ábra Erő- és nyomatékmérő berendezés

A megmunkálás után, az elkészített furatokon lemértem az anyag delaminációját és a furat hengerességét. Az így kapott összes értéket táblázatba foglaltam.

3.5. Bemeneti paraméterek

A kísérlet tervezés részét képezte továbbá a bemenő technológiai paraméterek meghatározása. A megmunkálás bemeneti paramétereit, (a felhasznált szerszámokat és technológiai paramétereket) az (1. táblázat Az egyes esetekhez tartozó bemeneti paraméterek) foglalja össze.

1. táblázat Az egyes esetekhez tartozó bemeneti paraméterek

Bemenő paraméterek									
jelölés	szerszám átmérő [mm]	szerszám ár [Ft]	anyagok		technológiai adatok				
			szerszámanyag	megmunkált anyag	forgácsolósebesség (v_c) [m/perc]	fogankénti előtolás (f_z) [mm/fog]	fordulatonkénti előtolás (f_n) [mm/ford]	előtoló sebesség (v_n) [mm/perc]	fordulatszám (n_s) [1/ford]
A/1	6	1000	Gyorsacél	GFRP	40	0,025	0,05	107	2123
A/2					55	0,025	0,05	146	2918
A/3					60	0,025	0,05	160	3184
B/1	6,35	15000	Keménymű		60	0,025	0,05	151	3008
B/2					100	0,025	0,05	251	5013
B/3					150	0,025	0,05	376	7520

A technológiai paraméterek meghatározásánál, mindkét esetben a gyártó ajánlásából indultam ki. „A” szerszám esetén ez 40 m/perc-es forgácsolósebességet jelent míg „B” szerszám esetén az ajánlott forgácsolósebesség 60 m/perc. Ezen alapesetek jelölése „A/1” illetve „B/1”. A többi esetben (A/2; A/3; B/2; B/3) az ajánlottnál nagyobb értékeket választottam. Úgy gondoltam, ezekben az esetekben a minőségi paraméterek romlani fognak a termelékenység javára. Arra számítottam, hogy ezen esetek alapján megállapíthatóvá válik, hogy alacsonyabb minőségi elvárások esetén mennyivel növelhető a termelékenység.

A fogankénti előtolás (f_z) értékét, mind a hat esetben ugyanakkorára vettem fel, így csupán egy változó paramétert kellett vizsgálni. A fordulatonkénti előtolás (f_n), az előtoló sebesség (v_f) és a fordulatszám (n_s), a forgácsolósebesség (v_c) és a fogankénti előtolás (f_z) alapján számítható.

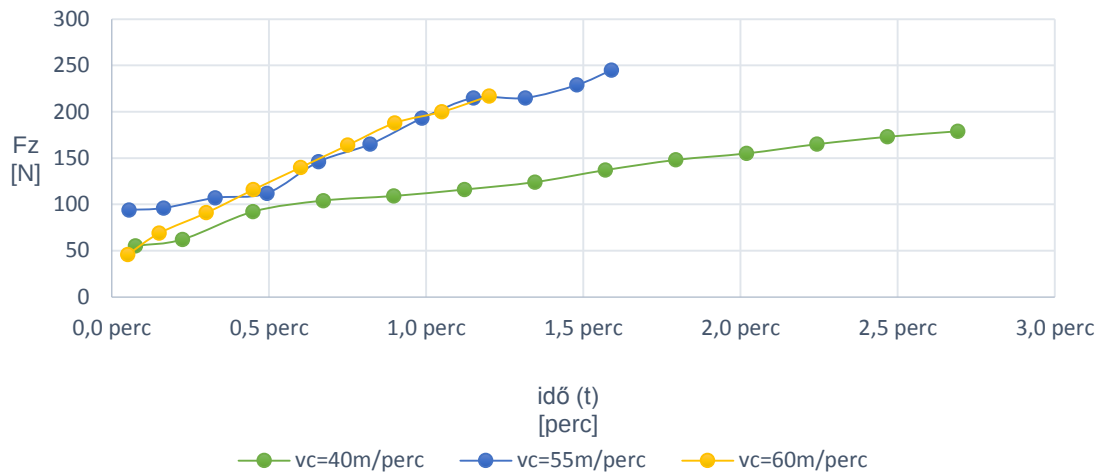
$$f_n = f_z \times z \quad 1. \text{ képlet}$$

$$v_f = n_s \times f_n = n_s \times f_z \times z \quad 2. \text{ képlet}$$

$$n_s = \frac{v_c \times 1000}{D_s \times \pi} \quad 3. \text{ képlet}$$

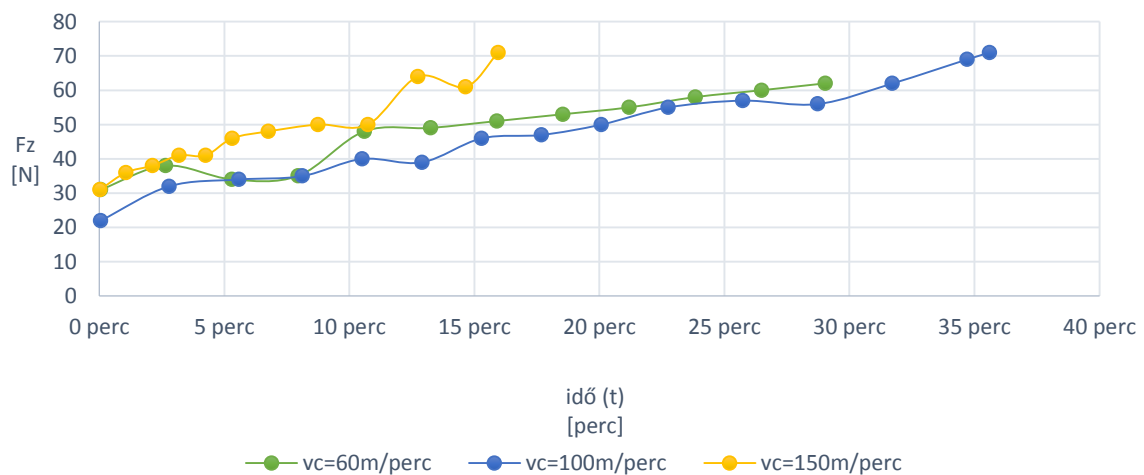
3.5. Erő

(Fz) Erő az idő függvényében



2. ábra Fz előtolás irányú erő alakulása az idő függvényében gyorsacél csigafúró esetén

(Fz) Erő az idő függvényében

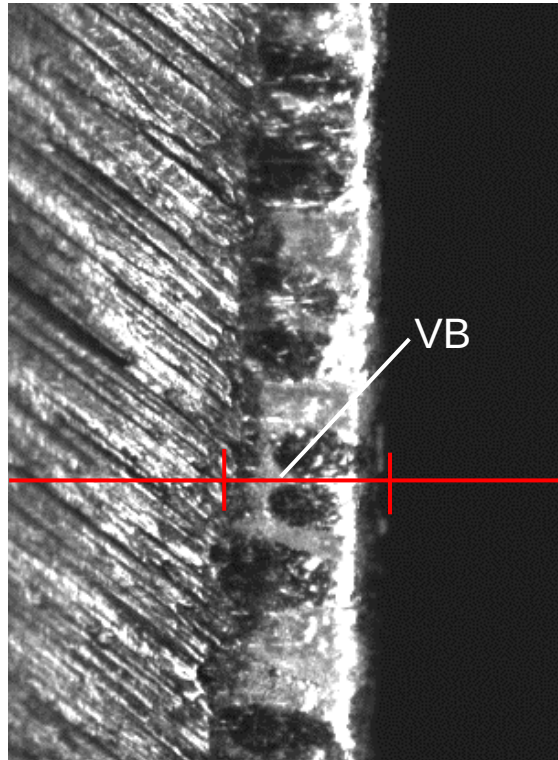


3. ábra Fz előtolás irányú erő alakulása az idő függvényében tömör keménységű csigafúró esetén

Az eredményeket ábrázoló grafikonokon (2. ábra Fz előtolás irányú erő alakulása az idő függvényében gyorsacél csigafúró esetén, 3. ábra Fz előtolás irányú erő alakulása az idő függvényében tömör keménységű csigafúró esetén) látható, hogy az idő elteltével a tengely irányú erő nő, minden esetben. Ennek oka a szerszám kopása, mely hatással van a fúrás közben ébredő hőmérsékletre és ez által, a hengerességre és a delaminációra is.

3.6. Szerszámkopás

A szerszámok kopását a főélen, a hátlap vizsgálatával végeztem (4. ábra Gyorsacél csigafúró főéle és főhátlapja) digitális képfeldolgozó rendszer (5. ábra Digitális képfeldolgozó rendszer) segítségével. A szerszám főélkopásának meghatározásánál ügyeltem arra, hogy minden mérésnél a főél ugyanazon pontján mérjek. Ez fontos mert a kopás mértéke (fúrók esetén) a keresztéltől a főél végéig növekszik, mivel ott a legnagyobb a fogácsolósebesség tényleges értéke és így ott ébrednek a legnagyobb erők is.

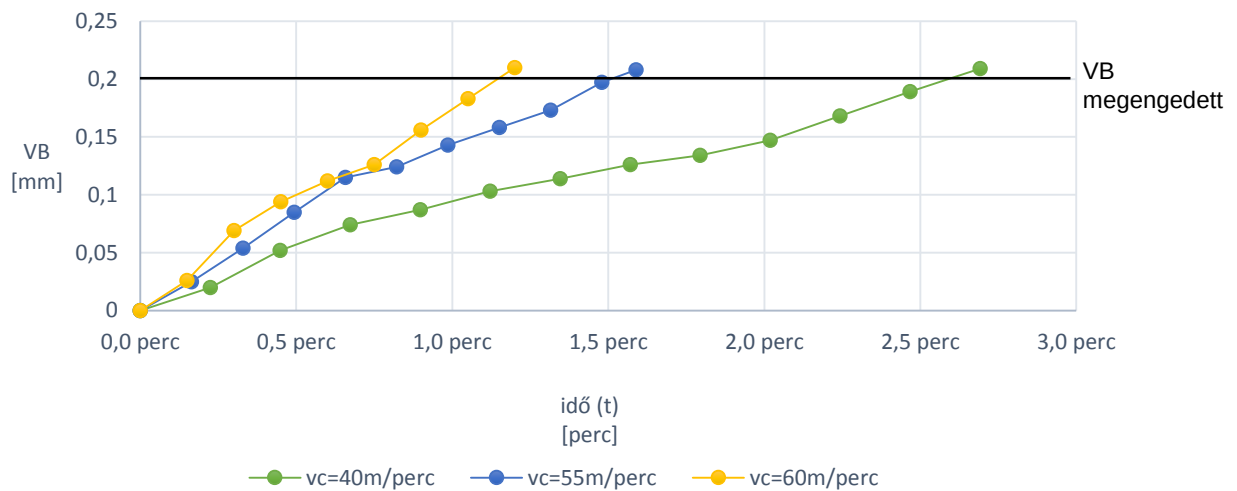


4. ábra Gyorsacél csigafúró főéle és főhátlapja



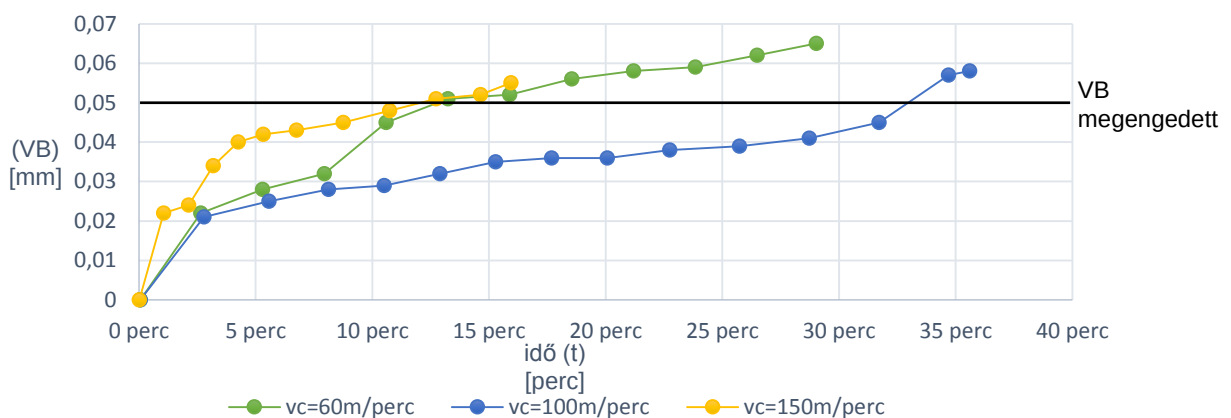
5. ábra Digitális képfeldolgozó rendszer

Kopás az idő függvényében



6. ábra Szerszámkopás alakulása az idő függvényében gyorsacél csigafűrő esetén

Kopás az idő függvényében



7. ábra Szerszámkopás alakulása az idő függvényében tömör keményfém csigafűrő esetén

A gyorsacél szerszámok esetén a megengedett kopás mértékét (VB megengedett) 0,2 mm-re vettem fel. Ekkora kopás esetén már fennáll a szerszámtörés veszélye, és nagy hő keletkezik forgácsolás közben, ami károsíthatja az üvegszál erősítésű kompozit alapanyagot, tehát a szerszám használhatatlanná válik. A keményfém szerszámok esetén csak addig folytattam a fúrást, amíg el nem értük a 0,05 mm-es kopás értékét. Ennek oka, hogy a keményfém szerszám élettartama többszöröse a gyorsacél szerszáménak, és nem állt rendelkezésre kellő mennyiségű alapanyag. A kopás alakulásának jellege azonban az addig lemerített értékekből is remekül származtatható.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a gyorsacél szerszámok élettartama töredéke csupán a keményfém szerszámok élettartamának. Gyorsacél szerszámmal, legjobb esetben is

csak 2,6 perces éltartamról beszélhetünk, míg keményfém szerszámok esetén 35 perces megmunkálási idő után is csak 0,05 mm-es kopást mértem, szemben a 0,2mm-es határral.

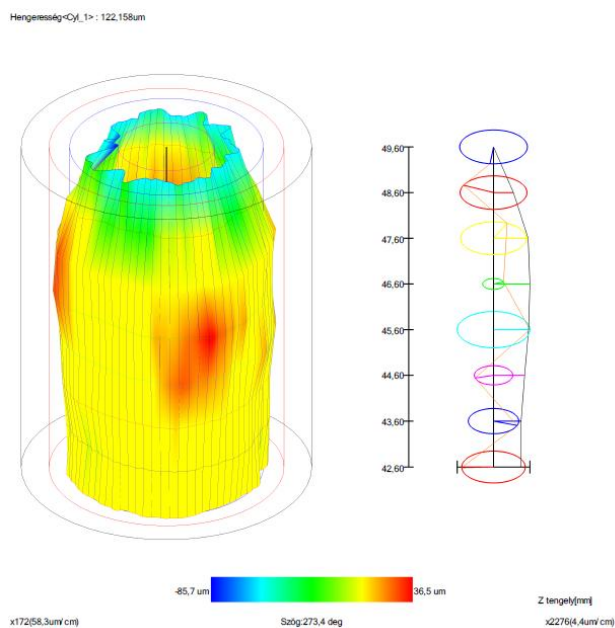
3.7. Hengeresség

Hengeresség meghatározása

A furatok alakhibáját köralak hibamérő berendezés (8. ábra Köralak hibamérő berendezés) segítségével állapítottam meg. Ügyelnem kellett arra, hogy a mérőgép tapintója a furat teljes hosszán képes legyen tapintani. Ezt, egy erre a célra általam tervezett egyszerű készülékkel biztosítottam. A berendezés szoftvere háromdimenziós grafikonon ábrázolja a mért pontokat.

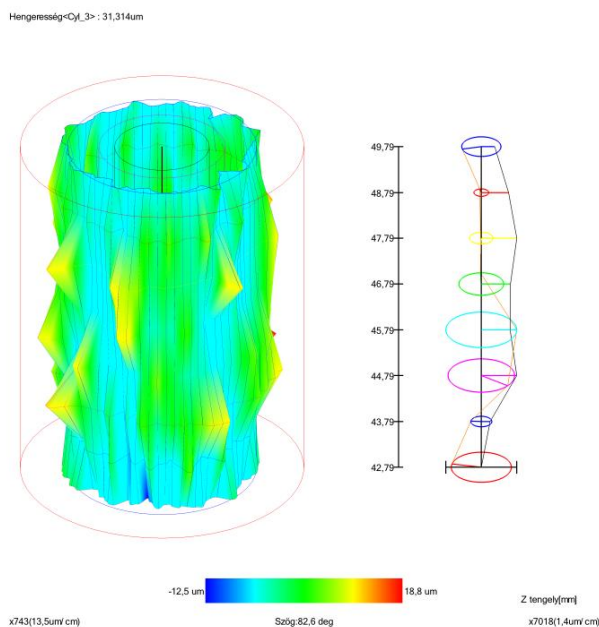


8. ábra Köralak hibamérő berendezés



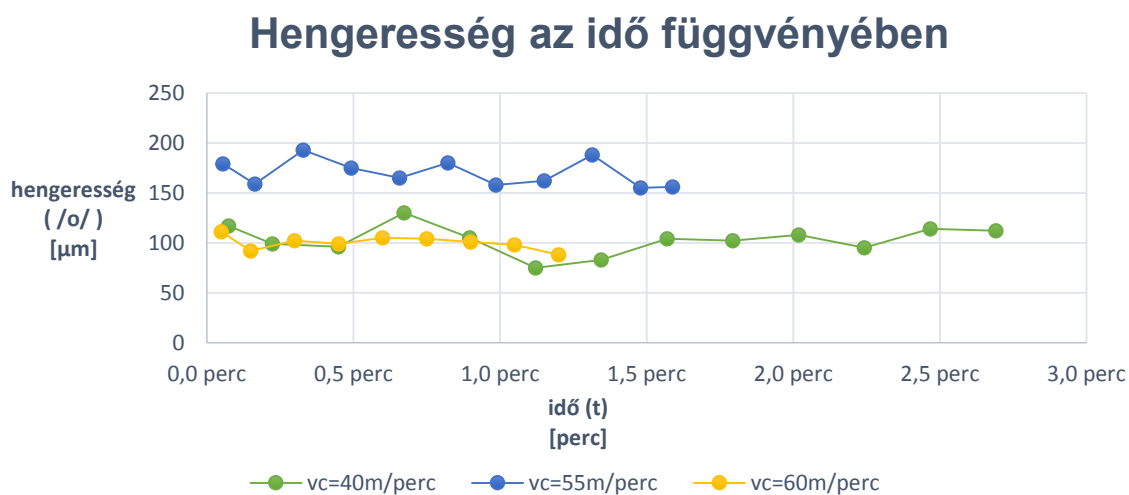
9. ábra Gyorsacél csigafűrő által készített furat jellegzetes képe ($v_c=40\text{m/perc}$; 9. furat)

A köralak hibamérő szoftvere által készített diagramon (9. ábra Gyorsacél csigafúró által készített furat jellegzetes képe ($v_c=40\text{m/perc}$; 9. furat)) látható, hogy a kimeneti oldalon (az ábra felső részén) a furat szűkül. Ennek oka, hogy fúró az utolsó rétegeket kitolja.



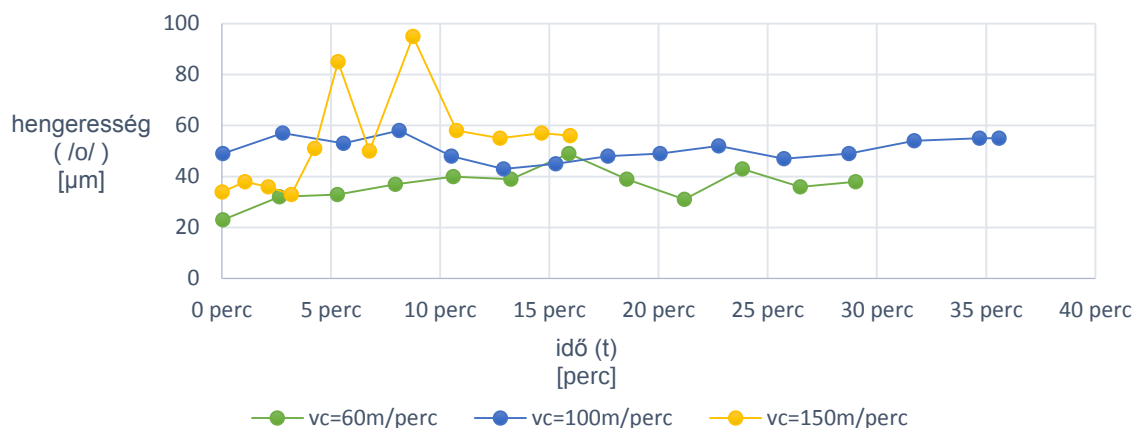
10. ábra Keményfém csigafúró által készített furat jellegzetes képe ($v_c=60\text{m/perc}$; 50. furat)

A tömör keményfém csigafúró által készített furatok képén, látható, hogy a kimeneti oldalon (az ábra felső részén) a furat nem szűkül. Ennek megfelelően a „B”-vel jelölt tömör keményfém szerszámokkal készített furatok alakpontossága, jelentősen jobb, mint az „A”-val jelölt gyorsacél szerszámok esetén.



11. ábra Furatok hengerességének alakulása az idő függvényében gyorsacél csigafúró esetén

Hengeresség az idő függvényében

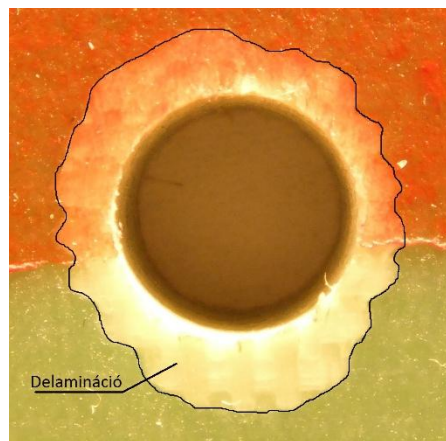


12. ábra Furatok hengerességének alakulása az idő függvényében tömör keményfém csigafúró esetén

Az eredményeket ábrázoló grafikonokon (11. ábra Furatok hengerességének alakulása az idő függvényében gyorsacél csigafúró esetén 12. ábra Furatok hengerességének alakulása az idő függvényében tömör keményfém csigafúró esetén) látszik, hogy a hengeresség az időfüggvényében lineáris (szórással) képet mutat, minden esetben. Az is megállapítható, hogy a tömör keményfém fúróval elkészített furatok alakhűsége jelentősen jobb a gyorsacél szerszám által készített furatokénál.

3.8. Delamináció

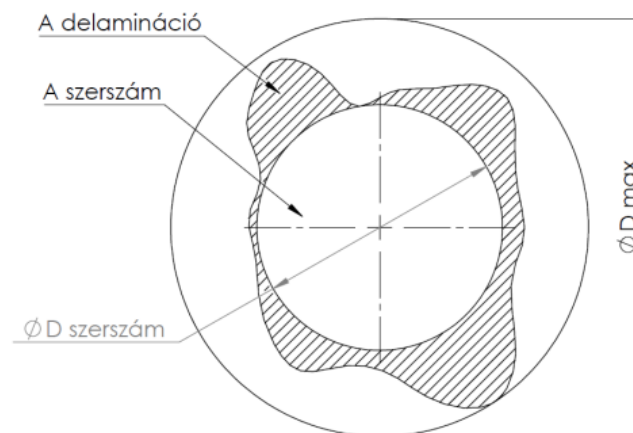
A kompozit anyagok a gyakorlatban ritkán használhatóak anélkül, hogy mechanikai megmunkálást végeznénk rajtuk. Ezen anyagok forgácsolása közben azonban (főleg fúrás közben) az anyagban úgynevezett delamináció jön létre. A delamináció nem más mit az anyag rétegeinek egymástól való elválása, eltávolodása. Ez a jelenség csökkenti az anyag élettartamát, így nagy problémát jelent.



13. ábra Delaminációmakro felvétel

Delamináció (F_D) meghatározása

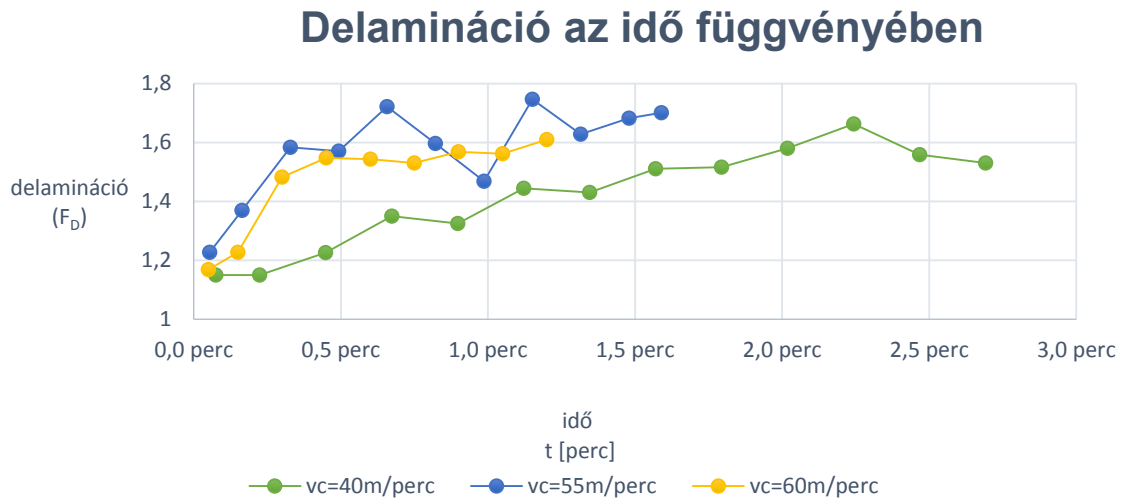
A furatokat egy digitális képfeldolgozó rendszer (5. ábra Digitális képfeldolgozó rendszer) segítségével vizsgáltam. A károsodott terület határán pontfelhőt vettem fel a képfeldolgozó rendszer szoftvere segítségével és azt txt. formátumban exportáltam. Ezt követően matematikai szoftver segítségével kiszámoltam a károsodott anyagrész területét. (integráltam a pontfelhő pontjai által meghatározott függvényt) Az így kapott területet elosztottam a szerszám átmérőjéből adódó névleges területtel és megkaptam a delamináció értékét.



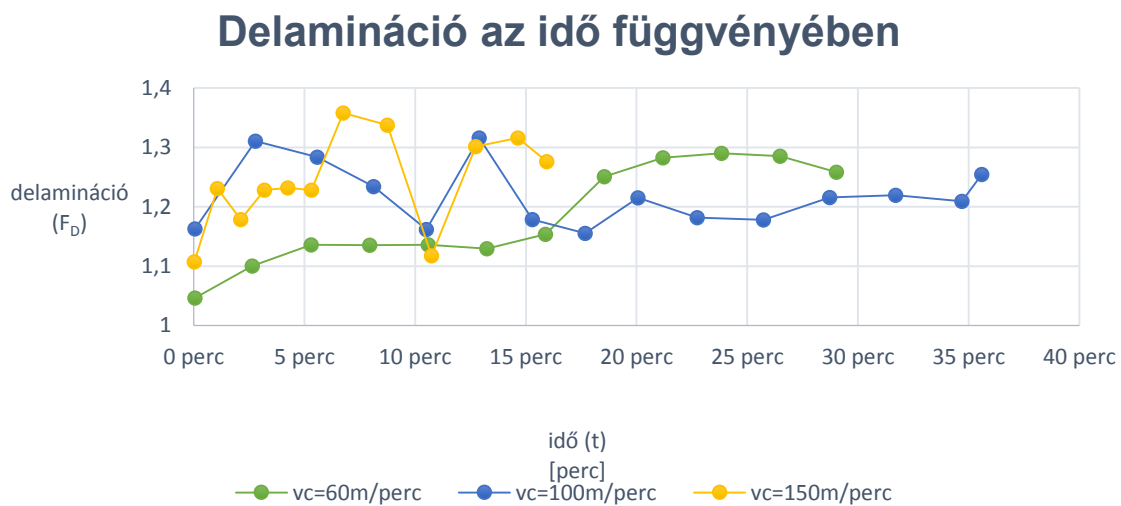
14. ábra Delamináció értelmezése

$$F_D = \frac{A_{delamináció}}{A_{szerszám}}$$

4.képlet



15. ábra Delamináció alakulása az idő függvényében gyorsacél csigafűró esetén



16. ábra Delamináció alakulása az idő függvényében tömör keményfém csigafűró esetén

Az eredményeket ábrázoló grafikonokból (15. ábra Delamináció alakulása az idő függvényében gyorsacél csigafűró esetén 16. ábra Delamináció alakulása az idő függvényében tömör keményfém csigafűró esetén) jól látható hogy a gyorsacél szerszám a leg ideálisabb esetben is lényegesen nagyobb delaminációt okoz. Valamint az is leolvasható, hogy az idő elteltével nő a delamináció is. Ennek oka a szerszám kopása. Minél kopottabb a szerszám, annál nagyobb delaminációt okoz.

3.9. Kiértékelés

Az egyes esetekben mért kimeneti paramétereket az alábbi táblázatok tartalmazzák. Ezen táblázatok alapján határoztam meg az egyes paraméterek alakulását leíró függvényeket, melyeknek a segédprogram működésében van fontos szerepük.

2. táblázat Kimeneti paraméterek A/1 jelű gyorsacél csigafűró esetén

A/1 Gyorsacél $v_c=40$ m/perc						
furatok darabszáma (db)	forgácsolt hossz (l) [mm]	idő (t) [perc]	delamináció (F_D)	szerszámkopás (VB) [mm]	erő (F_z) [N]	hengeresség (/o/) [μm]
1	8	0,07 perc	1,15	0	55	117
3	24	0,22 perc	1,1502	0,02	62	99
6	48	0,45 perc	1,2256	0,052	92	96
9	72	0,67 perc	1,3496	0,074	104	130
12	96	0,90 perc	1,3249	0,087	109	105
15	120	1,12 perc	1,444	0,103	116	75
18	144	1,35 perc	1,4303	0,114	124	83
21	168	1,57 perc	1,5104	0,126	137	104
24	192	1,79 perc	1,516	0,134	148	102
27	216	2,02 perc	1,5797	0,147	155	108
30	240	2,24 perc	1,6624	0,168	165	95
33	264	2,47 perc	1,5588	0,189	173	114
36	288	2,69 perc	1,5304	0,209	179	112

3. táblázat Kimeneti paraméterek A/2 jelű gyorsacél csigafűró esetén

A/2 Gyorsacél $v_c=55$ m/perc						
furatok darabszáma (db)	forgácsolt hossz (l) [mm]	idő (t) [perc]	delamináció (F_D)	szerszámkopás (VB) [mm]	erő (F_z) [N]	hengeresség (/o/) [μm]
1	8	0,05 perc	1,2264	0	94	179
3	24	0,16 perc	1,3697	0,025	96	159
6	48	0,33 perc	1,5836	0,054	107	193
9	72	0,49 perc	1,5704	0,085	112	175
12	96	0,66 perc	1,722	0,115	146	165
15	120	0,82 perc	1,5965	0,124	165	180
18	144	0,99 perc	1,4685	0,143	193	158
21	168	1,15 perc	1,7465	0,158	215	162
24	192	1,32 perc	1,6277	0,173	215	188
27	216	1,48 perc	1,6825	0,197	229	155
29	232	1,59 perc	1,7013	0,208	245	156

4. táblázat Kimeneti paraméterek A/3 jelű gyorsacél csigafűró esetén

A/3 Gyorsacél $v_c=60$ m/perc						
furatok darabszáma (db)	forgácsolt hossz (l) [mm]	idő (t) [perc]	delamináció (F_D)	szerszámkopás (VB) [mm]	erő (F_z) [N]	hengeresség (/o/) [μm]
1	8	0,05 perc	1,1679	0	46	111
3	24	0,15 perc	1,2267	0,026	69	92
6	48	0,30 perc	1,4822	0,069	91	102
9	72	0,45 perc	1,5474	0,094	116	99
12	96	0,60 perc	1,5428	0,112	140	105
15	120	0,75 perc	1,5306	0,126	164	104
18	144	0,90 perc	1,5685	0,156	188	101
21	168	1,05 perc	1,5615	0,183	200	98
24	192	1,20 perc	1,6092	0,2098	217	88

5. táblázat Kimeneti paraméterek B/1 jelű tömör keményfém csigafűrő esetén

B/1 Keményfém $v_c=60$ m/perc						
furatok darabszáma (db)	forgácsolt hossz (l) [mm]	idő (t) [perc]	delamináció (F_D)	szerszámkopás (VB) [mm]	erő (F_z) [N]	hengeresség (/o/) [μm]
1	8	0,05 perc	1,0465	0,005	31	23
50	400	2,65 perc	1,1006	0,022	38	32
100	800	5,30 perc	1,136	0,028	34	33
150	1200	7,95 perc	1,1352	0,032	35	37
200	1600	10,60 perc	1,1359	0,045	48	40
250	2000	13,25 perc	1,1297	0,051	49	39
300	2400	15,89 perc	1,1537	0,052	51	49
350	2800	18,54 perc	1,2511	0,056	53	39
400	3200	21,19 perc	1,2828	0,058	55	31
450	3600	23,84 perc	1,2904	0,059	58	43
500	4000	26,49 perc	1,2851	0,062	60	36
548	4384	29,03 perc	1,2582	0,065	62	38

6. táblázat Kimeneti paraméterek B/2 jelű tömör keményfém csigafúró esetén

B/2 Keményfém $v_c=100$ m/perc						
furatok darabszáma (db)	forgácsolt hossz (l) [mm]	idő (t) [perc]	delamináció (F_D)	szerszámkopás (VB) [mm]	erő (Fz) [N]	hengeresség (/o/) [μ m]
1	14	0,06 perc	1,1627	0,017	22	49
50	700	2,79 perc	1,3107	0,021	32	57
100	1400	5,58 perc	1,2837	0,025	34	53
150	2038	8,12 perc	1,2343	0,028	35	58
200	2638	10,51 perc	1,1617	0,029	40	48
250	3238	12,90 perc	1,316	0,032	39	43
300	3838	15,29 perc	1,1785	0,035	46	45
350	4438	17,68 perc	1,1553	0,036	47	48
400	5038	20,07 perc	1,215	0,036	50	49
450	5710	22,75 perc	1,1817	0,038	55	52
500	6460	25,74 perc	1,1781	0,039	57	47
550	7210	28,73 perc	1,2158	0,041	56	49
600	7960	31,71 perc	1,2195	0,045	62	54
650	8710	34,70 perc	1,2091	0,057	69	55
665	8935	35,60 perc	1,2547	0,058	71	55

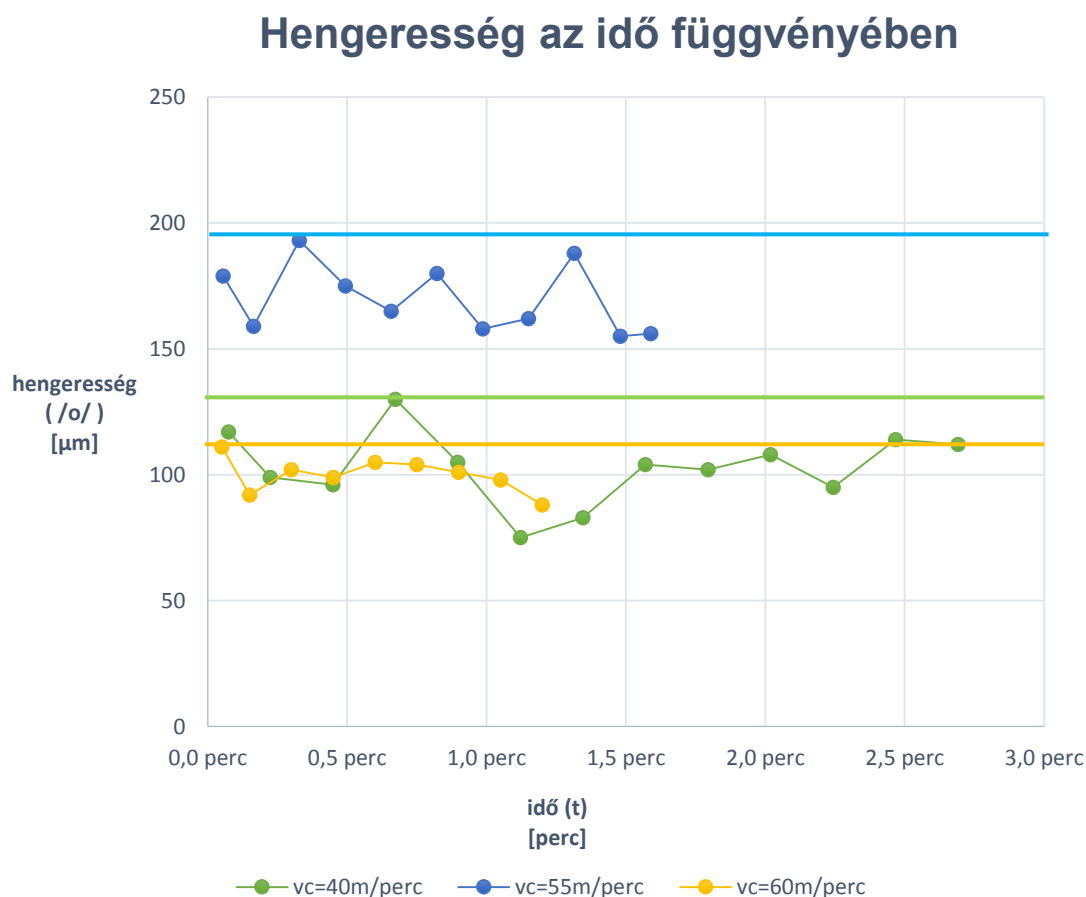
7. táblázat Kimeneti paraméterek B/3 jelű tömör keményfém csigafúró esetén

B/3 Keményfém $v_c=150$ m/perc						
furatok darabszáma (db)	forgácsolt hossz (l) [mm]	idő (t) [perc]	delamináció (F_D)	szerszámkopás (VB) [mm]	erő (Fz) [N]	hengeresség (/o/) [μ m]
1	8	0,02 perc	1,1075	0,013	31	34
50	400	1,06 perc	1,231	0,022	36	38
100	800	2,13 perc	1,1784	0,024	38	36
150	1200	3,19 perc	1,228	0,034	41	33
200	1600	4,26 perc	1,2318	0,04	41	51
250	2000	5,32 perc	1,2282	0,042	46	85
300	2540	6,76 perc	1,3579	0,043	48	50
350	3290	8,75 perc	1,3379	0,045	50	95
400	4040	10,74 perc	1,1178	0,048	50	58
450	4790	12,74 perc	1,3014	0,051	64	55
500	5507	14,65 perc	1,3163	0,052	61	57
535	5997	15,95 perc	1,2762	0,055	71	56

A paraméterek változását leíró függvények.

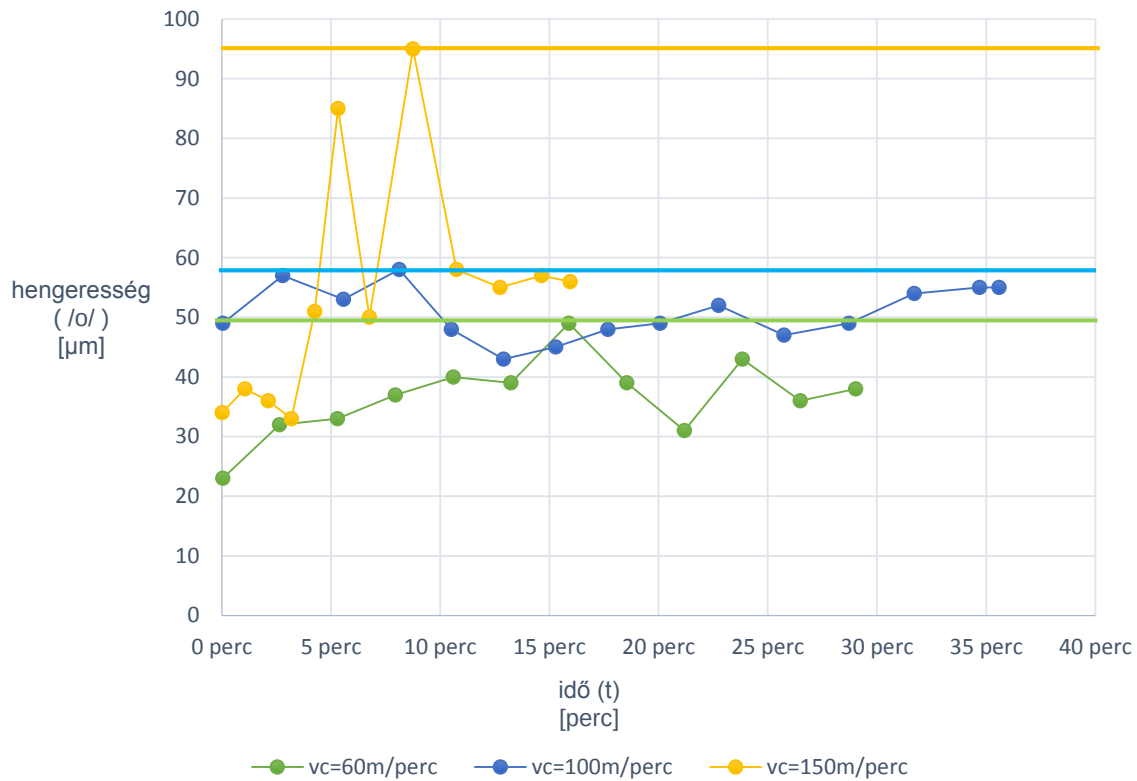
Hengeresség:

Azt tapasztaltam, hogy a furatok hengerességének értéke a szerszám kopásával csak kis mértékben nő. Figyelembe kell vennünk azonban hogy az anyag szerkezete miatt a hengerességi értékek szóródnak. Éppen ezért a hengeresség alakulását az idő függvényében az egyes eseteknél konstanssal jellemeztem. Ez a konstans az a legmagasabb hengerességi érték, amelyet az egyes fúrók (adott technológiai paraméterek mellett) elértek. Ez az az érték, amelyet a szerszám a meghatározott technológiai paraméterek mellett, a teljes éltartam alatt stabilan biztosítani tud. A közelítő függvények ábrázolását a 17. ábra Közelítő függvények ábrázolása a gyorsacél szerszámok által készített furatok hengerességének alakulására. 18. ábra Közelítő függvények ábrázolása a tömör keményfém szerszámok által készített furatok hengerességének alakulására. tartalmazza.



17. ábra Közelítő függvények ábrázolása a gyorsacél szerszámok által készített furatok hengerességének alakulására.

Hengeresség az idő függvényében

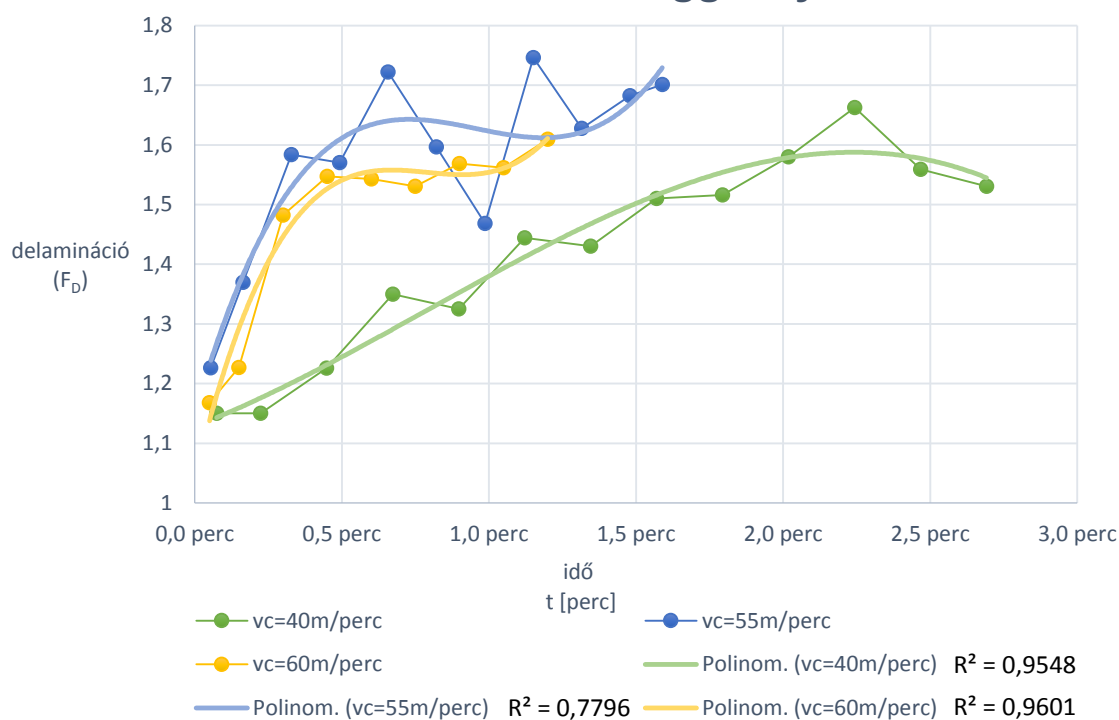


18. ábra Közelítő függvények ábrázolása a tömör keményfém szerszámok által készített furatok hengerességének alakulására.

Delamináció:

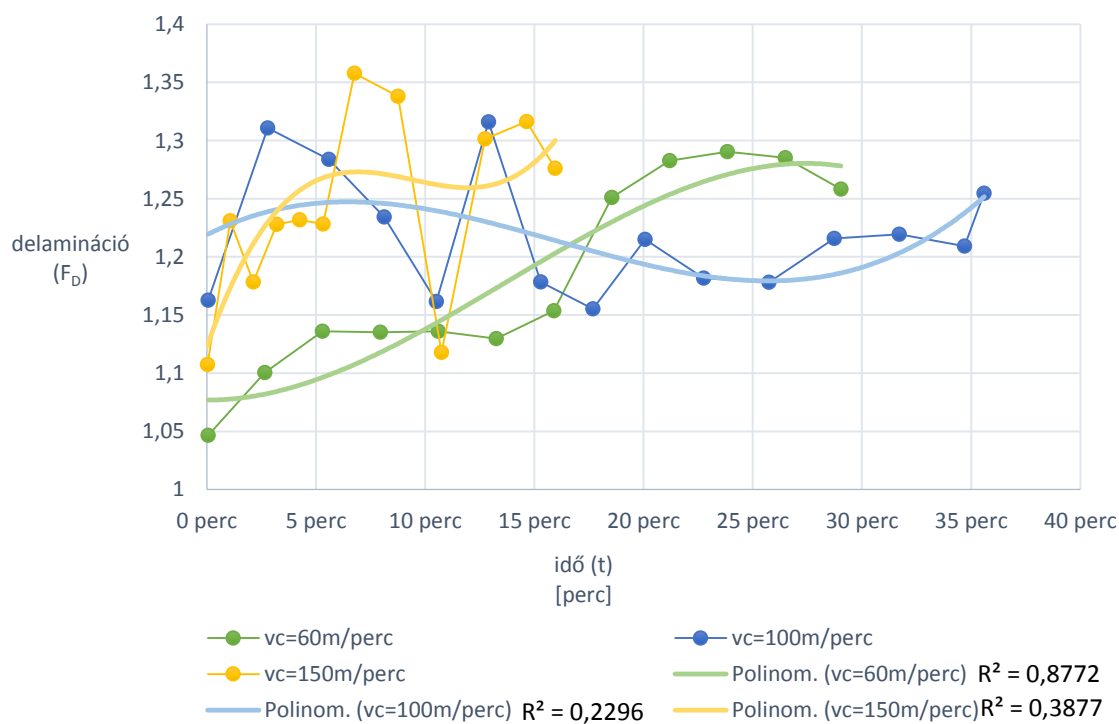
A delamináció mértékét erősen befolyásolja az anyag szerkezete, ezért a mért értékek szórása nagy. Nagyobb minta (több mérés) esetén pontosabb eredményt kapnánk, azonban erre, esetünkben nem volt lehetőség. A gyorsacél szerszámok által elkészített furatokon mért delaminációs értékek alakulását nagy jósági fokkal tudtam harmadfokú polinommal közelíteni. A keményfém szerszámok esetén a mért értékek szórása nagyobb így a függvénnyel való közelítés is nehezebb, de a harmadfokú polinom ebben az esetben is jól jellemzi az értékek alakulását. A közelítő függvényeket a 19. ábra Közelítő függvények ábrázolása a gyorsacél szerszámok által készített furatok delaminációjának alakulására. 20. ábra Közelítő függvények ábrázolása a tömör keményfém szerszámok által készített furatok delaminációjának alakulására. tartalmazza.

Delamináció az idő függvényében



19. ábra Közelítő függvények ábrázolása a gyorsacél szerszámok által készített furatok delaminációjának alakulására.

Delamináció az idő függvényében



20. ábra Közelítő függvények ábrázolása a tömör keményfém szerszámok által készített furatok delaminációjának alakulására.

Szerszámkopás:

A szerszámkopásának alakulásának az éltartam meghatározásában van szerepe. Közelítő függvény meghatározására az optimalizálás elvégzéséhez nem volt szükség.

Előtolás irányú erő:

Az előtolás irányú erő időbeni alakulására szintén nem volt szükség az optimalizáláshoz. Jól látszik azonban hogy a keményfém fúrók esetén az F_z értékek jelentősen kisebbek, mint a gyorsacél szerszám esetén. Az táblázat értékei alapján az is egyértelmű hogy a kisebb előtolás irányú erők esetén a delamináció és a hengerességi értékek is kisebbek.

3.10. Döntéstámogatás

A segédsoftver elkészítéséhez excel táblázatkezelőt használtam. (21. ábra Számoló tábla kitöltendő illetve eredményt kijelző mezői). A számoló tábla elkészítésének első lépése az volt, hogy meghatároztam a vizsgált paraméterek (erő, kopás, delamináció, hengeresség) alakulását jellemző függvényeket. A felhasználónak négy mezőt kell kitölteni ahhoz, hogy a számolótábla meg tudja határozni az optimális szerszámot és az optimális technológiai paramétereket.

Szükséges furatok száma		db		
Furat hossza		mm		
Delamináció		-		
Hengeresség		μm	v_c	f_z
Szerszám				
Egy szerszám éltartama		perc		
Szükséges fúrók száma		db		
Költség		Ft		

21. ábra Számoló tábla kitöltendő illetve eredményt kijelző mezői

A tábla első mezőjének (szükséges furatok száma) kitöltésekor többféle képen is gondolkodhatunk. Beírhatjuk ide, hogy egy műszak, vagy akár egy év alatt hány darab furatot szeretnénk legyártani. A második mező (furat hossza) ahhoz kell, hogy a program ki tudja számolni egy furat elkészítéséhez mennyi idő kell. A következő két mezőbe a delaminációval illetve a hengerességgel szemben támasztott elvárásaink kerülnek. Miután kitöltöttük mind a négy mezőt a számolótábla következő celláiban már láthatjuk is a végeredményt. A számolás végeredménye a kiválasztott szerszám jelöléséből (a hozzá tartozó fogácsolósebességgel és

fogankénti előtolással együtt) egy darab szerszám éltartamából, a szükséges szerszámok számából és a szerszámköltségből áll. Amennyiben a vizsgált szerszámok között nincs olyan, ami megfelel az igényeinknek, a tábla „Nincs megoldás” hibaüzenetet jelez.

A számoló tábla működése

Első lépésben a program meghatározza, hogy az egyes esetekben meddig végezhetünk forgácsolást az adott szerszámmal úgy, hogy az elkészített furatok delaminációja legfeljebb az általunk megadott érték legyen. Ezt egy harmadfokú egyenlet megoldással végzi, mivel a delamináció alakulását harmadfokú polinommal közelítettem. Ahhoz hogy elvégezhető legyen az egyenlet a számoló táblának először nullára kell redukálnia az egyenletet az általunk megadott delaminációs érték alapján.

Az egyes esetekben az egyenleteknek három megoldása van. A feladat az, hogy kiválasszuk ezek közül az első pozitív értéket. Problémát jelent, hogy az egyenleteknek vannak nem valós megoldásai is és az egyenletmegoldó metódus ezen megoldások esetén csak az eredmény valós részét jeleníti meg. Ezek kiszűrésére a számológép elvégzi az eredmények nullára redukált összefüggésébe való behelyettesítését, és az első olyan pozitív megoldásokat választja ki egyenletenként, amikre igaz, hogy behelyettesítés eredménye nulla. Ettől eltérő esetben az adott megoldás nem valós szám és a továbbiakban nem számolhatunk vele.

Miután a tábla meghatározta, hogy az egyes szerszámokkal meddig fúrhatunk, úgy hogy azok még teljesítsék a delaminációval szemben támasztott elvárásunkat, kiszámolja (a furatok darabszáma a furatok hossza illetve az előtoló sebesség alapján) hogy hány darab fűrora van szükségünk a megadott darabszámú furat elkészítéséhez és ez alapján azt is, hogy mennyi a szerszám költség. Ezt követően ki szűri azokat a lehetőségeket, amelyeknél a szerszám nem tudja biztosítani az elvárt hengerességgel rendelkező furatok megmunkálását.

Az utolsó lépésben pedig, kiválasztja a legolcsóbb szerszámot azok közül, amelyek minden elvárt minőségi paramétert teljesítenek.

4. Összegzés

A kutatás végeredményeként sikerült megalkotni egy számolótáblát, mely az előzetesen, az ismertetett módszer szerint megvizsgált szerszámok közül, képes kiválasztani az adott feladathoz megfelelő szerszámot.

A kutatás során a fúrás technológiáját vizsgáltam, kompozit alapanyag forgácsolása esetén. A módszer kisebb módosításával azonban az optimalizálás lehetséges más technológiák és anyagok esetén is. A delamináció vizsgálatának csak kompozit, vagy az ahhoz hasonló tulajdonságú anyagok forgácsolása esetén van lényege. Más anyagoknál, e kísérő jelenség helyett például az anyag mikrogeometriai jellemzőinek alakulását lehetne figyelni, majd a szerszám választás során ezen megfigyelések eredményeit figyelembe venni ugyanúgy, mint ahogyan az a delamináció vizsgálatakor történt.

A kutatás során felmerültek olyan kérdések is, melyek további kísérletezésre adnak okot. Kompozit anyagok esetén, a forgácsolás közben keletkező magas hőmérséklet károsíthatja az anyagot. A jövőben szeretnék kidolgozni egy eljárást mely segítségével vizsgálható a furat közvetlen környezetében, az anyagban keletkező hőmérséklet is.

A kísérlet során összesen 1837 darab furatot készítettem el, és ezt 72 darab szerszámkopás, erő és delamináció mérés követte. A pontosabb eredmény érdekében a hengeresség mérést furatonként többször is elvégeztem, így összesen 216 db hengeresség mérés történt.

Felhasznált irodalom

1. **Hans Jürgen Jacobs.** *Optimális forgácsolás.* Budapest Műszaki könyvkiadó 1981
2. **Kodácsy János.** *Gépgyártás.* Kecskemét: Dr. Danyi József, 2010 ISBN 978-963-7294-81-5
3. www.tankonyvtar.hu [Online] [Hivatkozva: 2014.10.28.]
<http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/polimertechnika-alapjai/index.html>