

TDK DOLGOZAT

Készítette: Makka Norbert,
IV. évf. gépészmérnök hallgató

Konzulens: Horváth Richárd,
ÓE-BGK, intézeti mérnök

2012
Budapest

TARTALOMJEGYZÉK

Tartalomjegyzék	4
Bevezetés	7
1. Marószerszámok	8
1.1. A marás szerszámainak fő csoportjai	8
1.2. A homlokmarás mozgásviszonyai és szerszámai	9
1.3. Forgácsolási adatok	11
1.3.1. Forgácsolóél érintkező mérete:	11
1.3.2. Forgácsolási adatok.....	11
1.3.3. A forgácsoló erő	13
1.3.4. A forgácsoló erőt befolyásoló tényezők.....	15
1.3.5. Erő és teljesítményszükséglet homlokmarásnál	16
1.3.6. A forgácsolási teljesítmény	17
1.3.7. A forgácsolási erő mérése	18
2. A marószerszámok élezésnek technológiája	20
2.1. A kísérlet során használt szerszámok kialakítása.....	20
2.2. Az elkészített szerszámok.....	22
3. Szerszámkísérlet megtervezése.....	23
3.1. A teljes faktoriális kísérlet-tervek	23
3.2. Másodfokú Ortogonális kísérlet-tervek.....	25
3.3. A kísérleti paraméterekkel szemben támasztott követelmények.....	25
3.3.1. Az optimalizációs paraméterrel szemben támasztott követelmények	25
3.3.2. A faktorokkal szemben támasztott követelmények.....	26
3.3.3. A variációs intervallum megválasztása	26
3.4. A felállított kísérleti terv.....	27
4. A kísérlet végrehajtása.....	29
4.1. A kísérlethez felhasznált eszközök.....	29

5.	Kísérleti eredmények.....	32
5.1.	Az R1,0 éllekerekítésű szerszám erő és nyomaték igényei.....	32
5.2.	Az R1x0,4x45° élettörésű szerszám erő és nyomaték igényei.....	36
5.3.	Az R1x0,6x45° élettörésű szerszám erő és nyomaték igényei.....	39
5.4.	Az R1x0,8x45° élettörésű szerszám erő és nyomaték igényei.....	41
5.5.	Varianciaanalízis	44
6.	Összefoglalás	50
	Felhasznált irodalmak.....	52

BEVEZETÉS

A forgácsoló megmunkálások során műszaki és gazdaságossági okok miatt fontos az anyagleválasztás során fellépő erők és nyomatékok ismerete. A forgácsoló erő nagysága alapján történik a szerszámgépek és a szerszámok szilárdsági vagy merevségi méretezése, a munkadarabok pontosságának számítása, valamint a szerszámgépek villamos teljesítményszükségletének meghatározása.

A dolgozatomban négy különböző élgeometriájú maró axiális, illetve radiális irányú erőkomponenseit és a keletkező nyomatékokat fogom összehasonlítani, ezen szerszámok kialakításának, s élezésének bemutatása mellett. A kísérlet előtt feltételezhető volt, hogy a letöréssel rendelkező szerszámoknak kedvezőbb forgácsolási tulajdonságokkal kell rendelkezniük, de a letörés mértékének hatása eddig ismeretlen volt számunkra.

A vizsgált szerszámaim egy hagyományos éllekerekítésű és három különböző nagyságú letöréssel ellátott, ám minden más geometriában megegyező 4 élű keményfém szármáró. (PCT/HU2009/000049 lajstromszámú szabadalom) Fő feladatom, annak kiderítése, hogy csak a sarokkialakítás különbözősége, hogyan befolyásolja a szerszámok erő-, illetve nyomaték igényét. A vizsgálat további eredményei választ adnak, hogy van-e szignifikáns különbség a szerszámok mért jellemzői között, és milyen sarok kialakítás mellett minimalizálhatóak ezek a jellemzők.

A vizsgálat egy „Mazak Nexus Verical Center 410A-II.” típusú megmunkáló központon történt, Kistler forgó erő- és nyomatékmérő segítségével. Az eredmények kiértékeléséhez a DynoWare v.2.5.3.8., a Minitab illetve a Microsoft Office Excel számítógépes szoftvereket használtam segítségül.

A dolgozatom elkészítésében az [1] és a [18] számú szakirodalmak jelentettek meghatározó szerepet.

1. MARÓSZERSZÁMOK

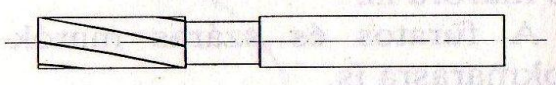
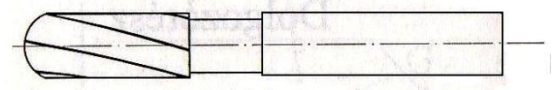
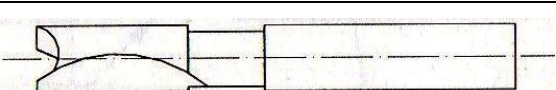
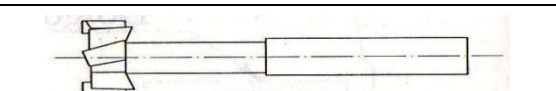
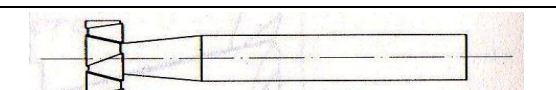
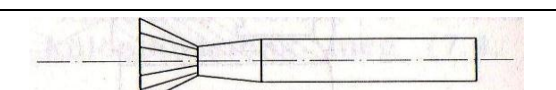
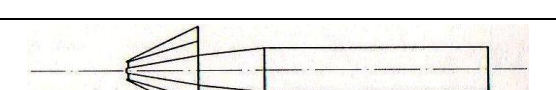
1.1. A MARÁS SZERSZÁMAINAK FŐ CSOPORTJAI

A rendkívül változatos szerkezeti kialakítás terén, a szerszámok befogórésze alapján, két nagy csoportot különböztetünk meg:

- a) Száras marók
- b) Furatos marók

A szár és a furat a marószerszámok felfogó eleme, azonban ezek segítségével is csak közvetve lehet a marókat felfogni a marógépekre vagy a megmunkáló központokra. Ezek főorsóiban ugyanis 7/24 kúposágú „meredek kúp” van, ebbe illeszkedik a szerszámbefogó egyik vége, a másik vége pedig a maró furata, vagy szára szerinti kialakítású. A száras marók monolit vagy hegesztett kivitelű legelterjedtebb változatait az 1. táblázat szemlélteti. [1,2,3,4,15,18]

1. Táblázat: A száras marók főbb típusai

1. Ujjmaró	
2. Süllyesztékmáró	
3. Hosszlyukmaró	
4. T-horonymaró	
5. Ívesreteszhorony-maró	
6. Szögmaró szár felé csökkenő kúppal	
7. Szögmaró szár felé növekvő kúppal	

A marók anyaga is igen változatos. A kis átmérőjű száras marók (2-16 mm-ig) monolit keménymérből is készülnek, de általánosabb a monolit

gyorsacél. Készülnek marók forrasztott keményfém lapkával, újabban pedig egyre jobban terjednek el a váltólapkás marók. Van példa monolit kerámia száras maróra is. A furatos és száras marók egyaránt alkalmasak palástmarásra is és homlokmarásra is.

A marók szerszám anyaga szerinti készülhetnek [4]:

- a) Szénacélból; tömör kivitelben
- b) Ötvözött szerszámacélból; tömör kivitelben
- c) Gyorsacélból; tömör, tompán hegesztett, lapkás és betétkéses kivitelben
- d) Öntött keményfémből; tömör, lapkás és betétkéses kivitelben
- e) Zsugorított keményfémből; tömör, lapkás és betétkéses kivitelben

A forgácsolóél kivitele szerint megkülönböztetünk [4]:

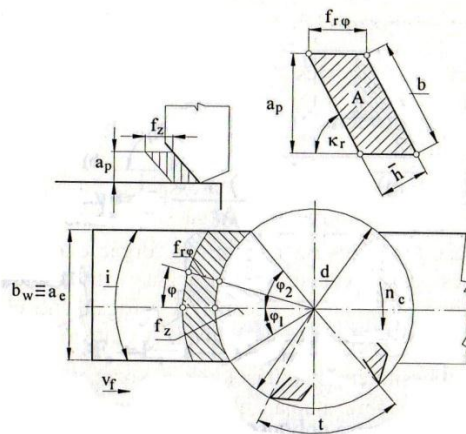
- a) Martfogazású
- b) Hátraesztergál fogazású
- c) Lapkás
- d) Betétkéses marókat

Természetesen számtalan szempont szerint csoportosíthatjuk a marók fajtáit (pl. méret, élszög vagy a megmunkálás minősége szerint stb.), de a fentiek a leginkább használatosak.

1.2. A HOMLOKMARÁS MOZGÁSVISZONYAI ÉS SZERSZÁMAI

Homlokmarásnál a forgácsoló mozgást a szerszám, az előtoló mozgást pedig a munkadarab vagy a szerszám végzi. A maró forgástengelye merőleges a megmunkált felületre, amely a legtöbb esetben sík felület.

A homlokmaró forgácsolási viszonyait az 1.1. ábra szemlélteti.



1.1. Ábra. Forgácskeresztmetszet homlokmarásnál¹

A forgácskeresztmetszet a marófog forgácsolási útja mentán változó. A legkisebb a belépés és a kilépés helyén, legnagyobb a marótengely irányába eső szimmetriasíkban. Itt jelentkezik a fogankénti előtolás (f_z), ami a homlokmarás egyik legfontosabb forgácsolási adata. A változó forgácskeresztmetszet miatt az erő- és teljesítmény-számításokhoz a közepes forgácsvastagság ($\bar{h}$) ismerete szükséges. Az 1.1. árba alapján kiszámíthatjuk azt az átlagos sugárirányú előtolást ($f_{r\varphi}$), amely a marótengelyre merőleges síkban a forgács közepes, vagy átlagos vastagságával kapcsolatos. Ez az érték egy bizonyos φ szögértéknél jelentkezik. [1,2,3,4,11,12,13,14,15,18]

Az átlagos sugárirányú előtolás értéke:

$$f_{r\varphi} = f_z \frac{b_w}{i} = f_z b_w \frac{360^\circ}{d\pi(\varphi_1 + \varphi_2)^\circ} \quad (1.1)$$

Ahol:

- f_z = fogankénti előtolás
- b_w = munkadarab szélessége
- i = forgács hossz

¹ Dudás Illés: Gépgyártás-technológia I. (3. kiadás) Műszaki Kiadó, Budapest, 2011. 196 p. (ISBN: 978-963-16-4030-4)

Az $f_{r\varphi}$ -ből a keresett $\bar{h}$ közepes forgácsvastagság:

$$\bar{h} = f_{r\varphi} \sin \kappa_r \quad (1.2)$$

Homlokmarásnál célszerű betartani a $\frac{d}{b_w} = 1.5 - 1.7$ viszonyt, hogy legalább 2-3 fog legyen fogásban.

1.3. FORGÁCSOLÁSI ADATOK

1.3.1. Forgácsolóél érintkező mérete:

A forgácsolóél érintkező mérete a szerszámél és a munkadarab kapcsolódásának mértéke. Nagyságát két olyan sík között kell meghatározni és mérni, amelyek merőlegesek a mérés kiválasztott irányára, és úgy mennek át a forgácsolóél dolgozó szakaszának két pontján, hogy a síkok közötti távolság maximális. Attól függően, hogy a mérés irányát a munkasíkhhoz viszonyítva hogyan vesszük fel a következő értékeit szokás értelmezni:

Fogásmélység, fogásszélesség: a szerszám élének és a munkadarab érintkezésének mértéke (mélysége vagy szélessége) a munkasíkra merőleges irányban mérve. Jele a_p [mm]. Ha a mérés iránya párhuzamos a munkasíkkal, és merőleges az előtolás irányára, akkor az érintkező méret jele a_e [mm], és a megmunkálástól függően lehet fogásmélység vagy fogásszélesség. [1,2,3,4,11,12,13,14,15,18]

1.3.2. Forgácsolási adatok

A forgácsolási adatok a forgácsolástechnikában kiemelkedő fontosságúak. Előírásuk helyességétől függ a forgácsolás gazdaságossága és termelékenység, de a munkadarab minősége is. Ezért meghatározásukra kiemelkedő figyelmet kell fordítani. A fejlett ipari államokban országos adatbankot hoztak létre a az optimális adatok tárolására és hatékony feldolgozására.

Általánosságban mindig három adat számszerű megadásáról van szó:

- a) fogásmélység [a_p, a_e]
- b) előtolás [f]
- c) forgácsolósebesség [v_c]

Ezeket közvetlenül vagy közvetve kell beállítani a forgácsolást végző szerszámgépeken, vagy egyes esetekben maguk a szerszámok hordozzák azokat. Van néhány megmunkálás, ahol kevesebb vagy több adatot kell beállítani, a relatív mozgások komponensei szerint. A forgácsolási adatokat céljuk és rendeltetésük alapján beállítási adatoknak is nevezik.

Az előtolás nagysága az előtoló mozgás útja egy fordulatra, egy löketre, egy kettős löketre, stb. értelmelve, az előtoló irányban mérve. Az előtolás jele f , amit szükség esetén indexszel is el lehet látni. Mértékegysége mm, de a gyakorlati életben a vonatkoztatási alapot is kiírjuk: pl. mm/ford, mm/löket, mm/kettős löket, mm/korongfordulás stb. Többfogú szerszámoknál (fúró, maró) az f_z fogankénti előtolást is értelmelik. Ez két közvetlenül egymás után elhelyezkedő szerszámél közötti előtolási utat jelenti az előtoló irányban mérve.

Nagysága z fogszám esetén:

$$f_z = \frac{f}{z} [mm/fog] \quad (1.3)$$

A fogankénti előtolás f_z , sugárirányú előtolás: f_r és az eredő előtolás: f_e , palástmarásnál.

Sugárirányú előtolás két közvetlenül egymás után elhelyezkedő szerszámél helyzete közti távolság a munkasíkban a forgácsoló irányra merőlegesen mérve.

Nagysága megközelítőleg:

$$f_r = f_z * \sin \varphi \quad (1.4)$$

Az eredő előtolás két közvetlenül egymás után elhelyezkedő szerszámél helyzete között távolság a munkasíkban az eredő irányra merőlegesen mérve. Nagysága megközelítőleg:

$$f_e = f_z * \sin (\varphi - \eta) \quad (1.5)$$

Sok esetben a $\frac{vf}{vc}$ viszony olyan kicsi, hogy az η szög elhanyagolható, ezért a gyakorlatban az alábbi közelítés elfogadható:

$$f_e = f_z * \sin \varphi = f_r \quad (1.6)$$

A gyakorlatban a sugárirányú előtolás és az eredő előtolás kevésbé jelentős, inkább a forgácsoláskutatásokban játszanak szerepet.

Marásnál és köszörülésnél az a_p mellett megjelenik az a_e is, emiatt a helyzet itt már bonyolultabb. Homlokmarásnál horonymarásnál az a_e a hazai gyakorlatban marási szélességként tudatosult. Palástmarásnál az a_e fogásmélységként, az a_p pedig marási szélességként vagy munkadarab szélességként ismeretes. Síkköszörülésnél az a_e fogásmélységként, az a_p pedig löketenkénti előtolásként (f, mm/l) a megszokott. Homlok palástmarásnál az a_p és az a_e is felfogható fogásmélységnek, a másik kapcsolódási mérték pedig marási szélesség lesz. Az érintkezési méret harmadik értelmezési lehetősége az a_f [mm], ami a forgácsolóél dolgozó szakaszának előtolás irányú érintkező mérete, ezért az előtolás irányában kell mérni. Gyakorlati jelentősége az előző kettőhöz képest csekély. [1,2,3,4,11,12,13,14,15,18]

1.3.3. A forgácsoló erő

A forgács leválasztásához szükséges erőt forgácsoló erőnek nevezzük. A forgácsoló erő ismerete azért fontos, mert ennek alapján történik a szerszámgépek és a szerszámok szilárdsági vagy merevségi méretezése, a munkadarabok pontosságának számítása, valamint a szerszámgépek villamos teljesítményszükségletének meghatározása.

A forgácsoló erő és annak összetevői meghatározására a Kienzle [5] és Victor [6] féle erőszámítása módszer a legismertebb és legelterjedtebb.

A forgácsoló erő a szerszámra ható térbeli erő, amelyet kötött forgácsoláskor három összetevőre szokás felbontani.

F_c - fő forgácsoló erő

F_f – előtolás irányú erő

F_p – fogásvétel irányú erő (mélyítő irányú erő, szárirányú erő, passzív erő)

A fő forgácsoló erő a forgácsoló irányba eső erő. Az összetevők közül a legnagyobb, ezért szilárdsági szempontból a teljes megmunkáló rendszerre nézve mértékadó. Az előtoló erő az előtoló hajtómű teljesítményszükségletének meghatározása szempontjából jelentős. A fogásvételi erő a teljesítményszükséglet szempontjából nem jön számításba, de a munkadarab és a szerszám igénybevétele szempontjából jelentősége nem elhanyagolható. A forgácsoló erő komponensei számítással a gyakorlat számára kielégítő pontossággal meghatározhatók, vagy megfelelő erőmérő berendezés segítségével viszonylag pontosan mérhetők és regisztrálhatók. A forgácsoló erő a valóságban a forgácskeresztmetszet területén fellépő megoszló erő, azonban az egyszerűség érdekében koncentrált erőnek tekintjük, amelynek a támadáspontját egyértelműen definiálni kell.

A fajlagos forgácsoló erő egységnyi (1mm^2) forgácskeresztmetszet leválasztásához szükséges erő. Amely 3 erőkomponensből áll:

k_c – fajlagos fő forgácsoló erő $\left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$

k_f – fajlagos előtoló irányú erő $\left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$

k_p – fajlagos mélyítő irányú erő $\left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$

A fajlagos forgácsoló erő az erőszámítás egyik alaptényezője. Nagymértékben függ a forgácsolt anyagtól, de nem tekinthető anyagjellemzőnek. Számos olyan tényezőtől is függ ugyanis, amely kifejezetten forgácsolástechnikai adat. Ilyen pl. a forgácsvastagság, a forgácsoló sebesség, a szerszám homlokszöge stb. A befolyásoló tényezők hatására akár 30%-os is lehet a változás az alaphelyzethez viszonyítva. A befolyásoló erők hatását az erőszámításoknál figyelembe kell venni. [1,2,3,4,11,12,13,14,15,18]

1.3.4. A forgácsoló erőt befolyásoló tényezők

A forgácsoló erőt sok tényező különféle mértékben befolyásolja. A gyakorlat számára a 10 legfontosabb tényező:

- a) A munkadarab anyaga
- b) Forgácsvastagság (előtolás)
- c) Forgácsszélesség (fogásmélység)
- d) Forgácsarány
- e) Homlokszög
- f) Szerszám elhelyezési szög
- g) Forgácsoló sebesség
- h) A szerszám anyaga
- i) Hűtés-kenés
- j) Szerszámkopás

A felsorolt általános tényezőkön kívül vannak olyanok, amelyek csak az egyes eljárásokra vonatkoznak, és olyanok is, amelyek még további tudományos kutatások területére esnek.

A munkadarab anyagának hatása a forgácsoló erőre abban nyilvánul meg, hogy különböző szilárdságú és keménységű anyagokat más-más erővel lehet forgácsolni. Az R_m és a HB értékek mellett az anyagtulajdonságok egész sora befolyásolja az erőt, pl. a szövetszerkezet, az ötvözők fajtái, az ötvözők mennyisége, a hőkezelési állapot stb. A kapcsolat az R_m és a HB értékkel nem arányos. A legfrissebb vizsgálatok szerint 400 és 1400 N/mm² szakító szilárdságú acéloknál a forgácsoló erő csupán maximum $\pm 20\%$ -os különbséget mutatott, holott az R_m növekedése 350%-os.

A forgácsvastagság – amit az előtolásból számítunk – az anyagminőséghez hasonlóan mértékadó hatású. Az $F_c = f(h)$ függvénynek jellegzetessége, hogy nem az origóból indul; $h \cong 0$ estében is van forgácsoló erő. Ezért a $h < 0.05$ forgácsvastagságokra eltérő számításokat kell alkalmazni.

A forgácsszélesség – amit a fogásmélységből számítunk – lineáris összefüggés szerint befolyásolja a forgácsoló erőt. A forgácsarány – amin a forgácsszélesség és a forgácsvastagság arányát értjük – lineárisan befolyásolja a

forgácsoló erőt. A forgácsarányt nagyoláskor általában $g = 2 \dots 10$ között, simításkor $g = 10 \dots 20$ között vesszük fel. Szakirodalmi tapasztalatok szerint a kis arány az erő szempontjából a legkedvezőbb, viszont az éltartam szempontjából a legrosszabb; míg 10-szeresre növelve a g -t az F_c mintegy 46%-al növekszik (jóval kisebb ez a hatás, mint a forgácsvastagság vagy a forgácsszélesség hatása). Kienzle és Victor munkássága [5] szerint az acélok és öntöttvasak forgácsolásakor minden egy fokos homlokszög változás 1-2%-os erőváltozást von maga után. Ez a becslés $\gamma = -20 \dots +30$ között érvényes. [1,2,3,4,11,12,13,14,15,18]

1.3.5. Erő és teljesítményszükséglet homlokmarásnál

A maró egy fogára eső forgácsolóerő (F_{c1}) az általános erőképlet szerint:

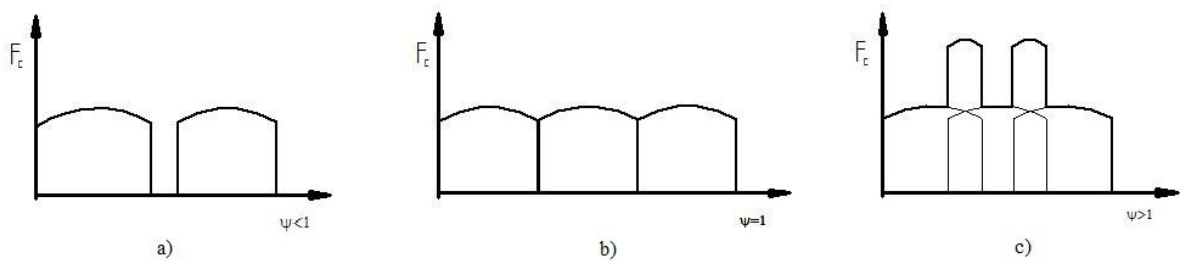
$$F_{c1} = k_c A_{cl} = k_c b_w \bar{h} \quad (1.7)$$

A teljes forgácsoló erőt (F_{cl}) a kapcsolási szám (ψ) figyelembevételével számítjuk ki:

$$F_c = \psi F_{c1} = \sum_{i=1}^z F_{c1} \quad (1.8)$$

A ψ kapcsolási szám az egyszerre forgácsolást végző marófogak számát fejezi ki:

$$\psi = \frac{i}{t} = \frac{d\pi z(\varphi_1 + \varphi_2)}{360^\circ d\pi} = \frac{z(\varphi_1 + \varphi_2)}{360^\circ} \quad (1.9)$$



1.2. Ábra. Kapcsolási számok²

A 1.2. ábra a forgácsoló erő kapcsolási számtól való függőségét szemlélteti. Az a) eset azt mutatja, amikor a kapcsolási szám kisebb, mint 1. Ez nagyon kedvezőtlen, mert itt az erőhullámlás 100%-os. Ezt a fajta megmunkálási lehetőséget kerülni kell.

A b) ábrán az erőhullámlás gyakorlatilag elhanyagolható mértékű. Itt a kapcsolási szám pontosan eggyel egyenlő. Ez egy ideális esetben elérhető állapot, melyet a gyakorlatban megvalósítani csak sztochasztikusan lehet.

A c) ábrán a kapcsolási szám nagyobb, mint 1. A gyakorlatban ez a megmunkálás egy kisebb mértékű erőingadozást ad, tehát arra kell törekedni, hogy a ψ értéke egynél nagyobb legyen. A legkedvezőbb eset, ha ψ értéke 1 és 2 között van. Ha túl nagy a kapcsolási szám értéke, akkor nagy lesz a fogsám és kicsi a h forgácsvastagság. A forgácsvastagság csökkenésével nő a fajlagos forgácsoló erő, ami csökkenti a szerszám éltartamát és kedvezőtlen a megmunkálás szempontjából. [1,2,3,4,11,12,13,14,15,18]

1.3.6. A forgácsolási teljesítmény

A forgácsoló erőnek csak az F_c komponense mértékadó teljesítmény szempontjából. Az F_p irányában általában nincsen, az F_f irányában pedig nem számottevő a sebesség. Ezért az utóbbi komponenst általában nem vesszük figyelembe. A szerszám élén jelentkező ún. tiszta P_h forgácsolási teljesítmény (hasznos vagy nettó teljesítmény) közelítőleg:

$$P_h = \frac{F_c v_c}{60 \cdot 10^3} [KW] \quad (1.10)$$

² Készítette: Makka Norbert, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2012.

Ahol:

- $F_c = \text{főforgácsoló erő}; [N]$
- $v_c = \text{forgácsoló sebesség}; [\frac{m}{min}]$

A villamos motor által felvett P_{δ} teljesítmény ennél nagyobb:

$$P_{\delta} = \frac{F_c v_c}{60 \cdot 10^3 \eta_m \eta_g} [KW] \quad (1.11)$$

Ahol:

- $\eta_m = \text{motor hatásfoka}$
- $\eta_g = \text{szerszámgép hatásfoka}$

A hatásfok figyelembevétele az ipari gyakorlatban legtöbbször becsléssel, vagy gyakorlati tapasztalatokkal történik. Ha nincsenek pontosabb adataink, akkor az $\eta_m \eta_g = 0,75$ értékű közelítéssel vehető fel. [1,18]

1.3.7. A forgácsolási erő mérése

A forgácsolási erő többféle elv, és azon belül is többféle módszerrel mérhető. Az egyik legkorszerűbb erőmérő a piezoelektromos felépítésű berendezés. Az eredő erő 1, 2, vagy 3 mozgásirányú összetevőjét mérjük. Az erőmérők a forgácsolóerő pillanatnyi nagyságát, vagy a maximális értékét mérik.

Marás esetében a mérőeszköz sokban függ attól, hogy milyen marási módban szeretnénk mérni. Ezekhez a módokhoz legáltalánosabban használható erőmérőket két csoportban lehet osztani:

- a) a tárgy asztalra felhelyezhető erőmérő F_x, F_y, F_z irányokat tudja mérni
- b) a főorsóba befogható forgó erő- és nyomatékmérő F_x, F_y, F_z, M_z , tud mérni

A mérőeszközök úgy működnek, hogy a bennük lévő piezoelektromos kristályok alakváltozását figyelik, ezeknek a jelét egy elektromos jelerősítővel felerősítik, és ezt egy számítógép és egy szoftver segítségével kiértékelik, majd tengelyekre lebontva fellépő erő – idő diagramokat készítenek.

A mérő műszer a három koordináta rendszer irányába ébredő erőket tudja mérni, tehát F_x , F_y , F_z , erőket és a z tengely körüli nyomatékot M_z . Ez a koordináta rendszer a mérőfejnek a saját koordináta rendszere. A z irányú tengely egybe esik a mérőfej forgástengelyével. Az x és az y irány rögzítve van a mérőfejen belül. Ezek az irányok a kiértékelés és a számítások során mértékadóak, azaz ehhez koordináta rendszerhez viszonyítva tudjuk meghatározni az erőket. [15,19]

2. A MARÓSZERSZÁMOK ÉLEZÉSNEK TECHNOLÓGIÁJA

A marók élezésére különös gond fordítandó, mert a szerszámok kellő időben történő és helyes élezése igen jelentős befolyással van a marás minőségére és gazdaságosságára, tehát a teljesítményre, éltartósságra és a maró teljes élettartamára. A maró eltompulásával emelkedik az erőszükséglet és rezgések lépnek fel.

2.1. A KÍSÉRLET SORÁN HASZNÁLT SZERSZÁMOK KIALAKÍTÁSA

A marók kialakítása illetve élezése a VILMÁNYI SZERSZÁM Kft. műhelyében történt. A szerszámok kiképzését egy „SAACKE UWIE-219330” típusú, öttengelyes CNC szerszámköszörű központon alakították ki. A megmunkáló központhoz „NUMROTO plus” vezérlőegység tartozik.



2.1. Ábra. Gyémántszemcsés köszörűkorongok³

A maró kialakításához háromféle köszörűkorong szükséges. A kísérlet során használt marók kialakításához az alábbi korongokat használták:

- a) 1v1 15°-os finomszemcsés gyémánt köszörűkorong
- b) 12v9 45°-os finomszemcsés gyémánt köszörűkorong
- c) 11v9 20°-os finomszemcsés gyémánt köszörűkorong

³ http://www.szsfang.com/en_cpjs.htm (letöltve: 2012.10.10.)

A szerszám egy 12 mm átmérőjű hengeres kialakítású szerszámacélból készül. A maró hornyának kialakítása két fő részre bontható, egy nagyolásra és egy simításra. A nagyolás során a palást homlokszög és homlokszög kialakítása, amely egy műveletben történik. A simítás során a forgácsolási szögek kerülnek kialakításra.

Ezek 4 további műveletre bonthatók. Az első műveletben a horony és a forgácstér kialakítása történik, az „1v1” szerszámmal, majd a következő műveletben a homlok forgácsterének kialakítása a „12v9” koronggal, ezután a harmadik műveletben készül a homlok és a palást kialakítása a „11v9” köszörűkoronggal. Fontos, hogy az érintkező felületek folytonossá tételéhez ezt egy műveletben végezze el a köszörűgép. A negyedik művelet - a sarokletörés - egy az előzőektől különálló programban történik, szintén a „11v9” szerszámmal. Fontos, hogy a négyből csak két egymással szemben lévő élen van letörés, mert csak így javítható a szerszám dinamikája, amivel nagyobb sebességű forgácsolásra lesz képes a szerszám, vagy hosszabb élettartamra.

A marószerszámok állandó szögeinek értékeit a 2. Táblázatban foglaltam össze.

2. Táblázat: Állandó szögek

Horony szöge	5°
Homlok horonyszöge	2°
Paláston az egyes hátlapszög	4°
Paláston a ketten hátlapszög	16°
Sarok életörés szöge az egyes hátlapon	4°
Sarok életörés szöge a kettes hátlapon	16°

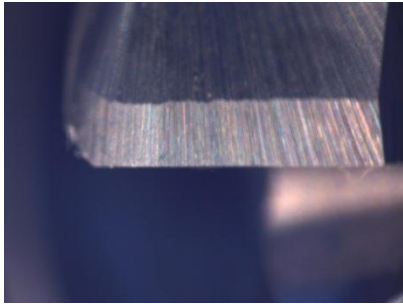
Az élezés során beállított vágási hossz 33 mm. A szerszám hornyának mélysége 2,5 mm, a homlokszöge 1°.

A készre munkált szerszám palástalakja henger, a homlokformája sarok-rádiusz, a fogalakja központosított vágó.

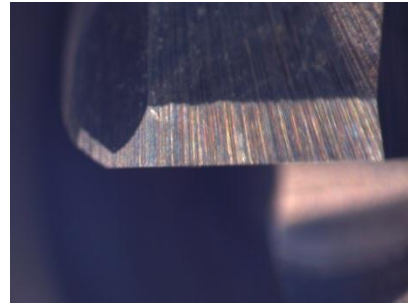
2.2. AZ ELKÉSZÍTETT SZERSZÁMOK

Az élezés után egy speciális sarokgeometriával rendelkező, négy élű, egy központi vágóélel rendelkező, szármaró szerszámot kaptunk.

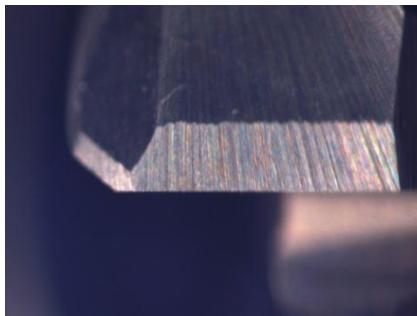
A 2.2. ábra a különböző szerszámok sarokkialakítását szemlélteti 20x nagyításban.



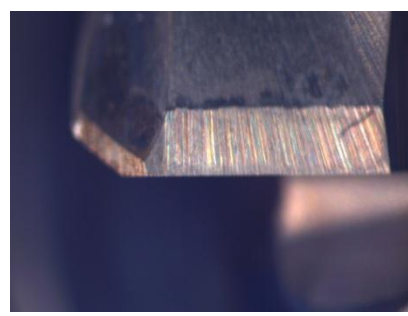
a)



b)

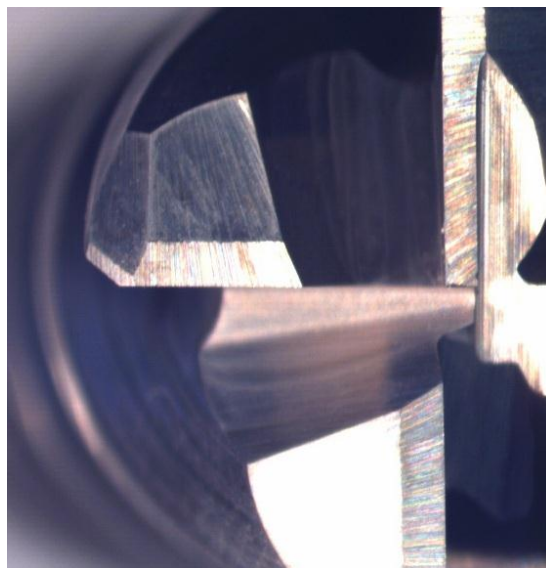


c)



d)

**2.2. Ábra. a) R1 sarokrádiuszú szerszám b) R1x0,4x45° sarokkialakítás
c) R1x0,6x45° sarokkialakítás d) R1x0,8x45° sarokkialakítás**



2.3. Ábra.) R1x0,8x45° sarokkialakítású szerszám felülnézetből

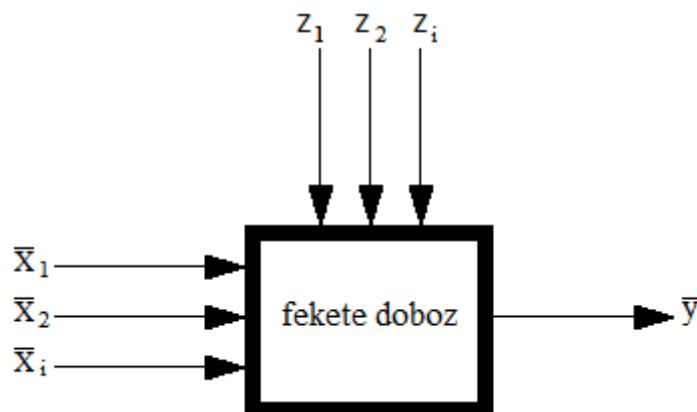
3. SZERSZÁMKÍSÉRLET MEGTERVEZÉSE

A gépgyártás-technológiában a tervezés egzakt elvi és módszertani megalapozást igényel, hogy a tervezéshez szükséges kísérleti adatbázis minősége és a valóságos viszonyokat reprodukáló pontossága javuljon.

Ezen kutatás során olyan kísérleti tervet kellett készítenem, amely megmutatja, hogy a speciális élettöréssel kialakított szerszámok erő és nyomaték igényeinek mért eredményei mutatnak-e szignifikáns eltérést a standard éllekerekítésű szerszám erő illetve nyomaték igényeihez képest.

3.1. A TELJES FAKTORIÁLIS KÍSÉRLET-TERVEK

Egy kutatási objektum leírására a legszemléletesebben a „fekete doboz” nevű vázlatos ábra alkalmazható. (4.1. Ábra)



3.1. Ábra. A kutatási objektum vázlata

A jobb oldali nyíl a vizsgálat céljának numerikus jellemzőjét reprezentálja, $\bar{y}$ -ral jelöljük és a fekete doboz kimenetének vagy függő változónak nevezzük. A kísérlet eredményességéhez az szükséges, hogy befolyásolni lehessen az $\bar{y}$ függő változó értékét. A befolyásoló tényezőket $\bar{x}_i$ -vel jelöljük, és a fekete doboz bemeneteinek, faktoroknak vagy független változóknak nevezzük. A fekete doboznak lehet több függő változója is. A kísérlet célja az $\bar{y}$ függő változó és az $\bar{x}_i$ független változó közötti függvénykapcsolat meghatározása.

Az $\bar{y} = \varphi(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots, \bar{x}_i, \dots, \bar{x}_f)$ függvényt válaszfüggvénynek nevezzük.

A kísérletekben mindegyik független változó több értéket vehet fel. Ezeket az értékeket szinteknek nevezzük. Az $\bar{x}_i$ faktorok szintjeinek egy rögzített szintkombinációja egy lehetséges kísérleti beállítás, ami az $\bar{y}$ függő változó egy adott értékét eredményezi. A lehetséges, egymástól független kísérleti beállítások száma:

$$n = p^f \quad (4.1.)$$

Ahol:

- p = szintek száma
- f = *faktorok száma*

Ebből az egyenletből könnyen belátható, hogy így az összes lehetséges kísérleti beállítás száma nagyon nagy lehet. Például, ha egy forgácsolószerszám éltartamának ($\bar{y} = T$) változását vizsgáljuk az előtoló sebesség ($\bar{x}_1 = v_c$), a fogásmélység ($\bar{x}_2 = a$), az előtolás ($\bar{x}_3 = f$), a szerszám homlokszöge ($\bar{x}_4 = \gamma$), és hátszöge ($\bar{x}_5 = \alpha$) függvényében, úgy hogy mind az 5 faktornak 5 szintjén kívánjuk az éltartamot mérni, akkor az $n = 5^5 = 3125$ számú mérést kellene elvégeznünk és kiértékelnünk. Továbbá, ha a mérési eredmények megbízhatóságának növelése céljából minden mérést háromszor ismételnénk meg, akkor a kísérleteink száma közel tízezres nagyságú lenne. Ez az ún. passzív kísérleti módszer azon túlmenően, hogy sok kísérleti beállítást tételez fel, az eredmények kiértékelése is nagyon nehézkesé válna, a „bőség zavara” miatt. Sőt akár hamis következtetésekre is vezethet, a nagyobb hibalehetőség miatt.

Ezzel szemben az ún. aktív kísérletekben az összes vizsgálandó faktort csak két, esetleg három szinten állítjuk be, és egy előre meghatározott sorrendben variáljuk azok értékeit. A függő változó alakulását pedig a mérési adatoknak matematikai, statisztikai módszerekkel történő feldolgozása útján határozzuk meg. Az ilyen kísérleteket a faktoriális kísérlettervezés módszerével tervezzük meg. A módszer általában kevesebb kísérleti beállítással megbízhatóbb és több információt biztosít. A faktoriális kísérlettervezés felhasználható olyan aktív kísérletek megtervezéséhez, melynek célja empirikus, tapasztalati úton

megszerezhető függvények meghatározására, vagy optimális feltételek, esetleg szélső értékek keresésére. [16,17]

3.2. MÁSODFOKÚ ORTOGONÁLIS KÍSÉRLET- TERVEK

A szélsőértékek közelében a válaszfelületnek jelentős görbülete lehet, emiatt adekvát, egyenlő értékű leírása polinommal nem lehetséges. Ekkor a válaszfüggvényt másodfokú polinommal fogjuk közelíteni. Ha a szélsőérték környezetében az elsőfokú válaszfüggvényünk nem adekvát, akkor az erre az első fokú tervre építjük rá a kísérletek másodfokú tervét. Ezt úgy készítjük el, hogy a faktortér értelmezési tartományának középpontjában és attól d távolságban is végzünk kísérleteket. Így az egymástól független kísérleti beállítások száma:

$$n = 2^f + 2f + 1 < 3^f \quad (4.2)$$

Azaz a kísérleti beállítások száma egyenlő lesz a csúcspontok (2^f) számának, és a csillagpontok ($2f$) számának, valamint az egy középpont (1) összegével. A csúcspontokat a terv magjának szokás nevezni. A csillagpontoknak a d távolságát úgy kell megválasztani, hogy a kísérletterv mátrixa ortogonális maradjon, tehát a skaláris szorzatuk nullával egyenlő. Ez geometriailag azt jelenti, hogy a két vektor merőleges egymásra. [16,17]

3.3. A KÍSÉRLETI PARAMÉTEREKSEL SZEMBEN TÁMASZTOTT KÖVETELMÉNYEK

3.3.1. Az optimalizációs paraméterrel szemben támasztott követelmények

Ha egy folyamatot optimalizálni akarunk, akkor a válaszfüggvény függő változóját optimalizációs paraméternek nevezzük. Ez a paraméter legyen mennyiségi jellegű, vagyis számértékkel megadható, és szükséges, hogy ez a

számérték a faktorok választott szintjeinek bármely lehetséges kombinációján mérhető legyen. Legyen egyetlen számmal kifejezhető, statisztikai értelemben egyértelmű, azaz a faktorok adott szintkombinációjának egyetlen optimalizációs paraméterérték feleljen meg, a kísérletezési hibát meg nem haladó pontatlansággal. Legyen statisztikai értelemben hatékony is, tehát az optimalizációs paramétert kielégítő pontossággal lehessen mérni. Legyen univerzális, tehát segítségével a kutatási objektum sokoldalúan jellemezhető. Továbbá fizikailag értelmezhető, egyszerűen és gyorsan kiszámítható. [16,17]

3.3.2. A faktorokkal szemben támasztott követelmények

A kísérlettervezésben a faktoroknak irányíthatónak kell lenniük, ami annyit jelent, hogy a szükséges faktorérték a kísérletet végző személy akaratától függetlenül állítható be és a kísérlet folyamán állandó értéken tartható. A faktoroknak a kutatási objektumokra közvetlenül kell hatniuk. A faktoroknak egyértelműnek kell lenniük, és nagy pontossággal mérhetőnek. A faktorok összességével szemben támasztott követelmény azok függetlensége, tehát a közöttük lévő összefüggés hiánya. [16,17]

3.3.3. A variációs intervallum megválasztása

A variációs intervallum nagyságát a faktorok beállítási pontossága, a válaszfelület görbületének jellege, és az optimalizációs paraméter változásának terjedelme határozza meg. Ha a variációs intervallum nem nagyobb mint az értékkészlete 10%-a, akkor szűknek, ha 10% és 30% között van, akkor közepesnek, 30% fölött pedig széles tartománynak tekintjük. A válaszfelület görbületére három különböző eset lehetséges: a válaszfüggvény lineáris, erősen nem lineáris, vagy nincs információnk a görbületre vonatkozóan. Az optimalizációs paraméter értékeinek változatossága kismértékű. Ha nem tér el lényegesen az optimalizációs paraméter értékeinek a kísérletek megismétlésekor mutatkozó ingadozásától; ellenkező esetben nagynak tekintjük, és előfordulhat, hogy nincs információnk ezekről a mennyiségekről. [16,17]

3.4. A FELÁLLÍTOTT KÍSÉRLETI TERV

A kísérlet során a fő feladatom a különböző nagyságú letörésekkel ellátott szerszámok erő illetve nyomaték igényeinek összehasonlítása volt, az 1 mm-es éllekerekítésű, standard maró szerszámmal szemben.

A nem lineáris modellek kanonikus, mintaképül vett egyenleteiből kiindulva tanulmányozhatók a válaszfelületek. A 3 forgácsolási paraméterből, mindig egy adat állandó értéken tartásával 3 szintfelületet kapunk.

Olyan összehasonlítható, és jól kiértékelhető kísérletterv létrehozása volt a célom, amiben 3 forgácsolási paramétert viszonylag széles tartományban lehet vizsgálni (v_c – forgácsoló sebesség, f_z – fogankénti előtolás, a_e – radiális fogásmélység).

Ennek mérési pontjait az 3. táblázat mutatja.

3. Táblázat. Forgácsolási paraméterek

Mérési pontok	v_c m/min	f_z mm	a_e mm
1.	85	0,06	1,6
2.	85	0,06	5,4
3.	85	0,14	1,6
4.	85	0,14	5,4
5.	116	0,06	1,6
6.	116	0,06	5,4
7.	116	0,14	1,6
8.	116	0,14	5,4
9.	80	0,1	3,5
10.	120	0,1	3,5
11.	100	0,05	3,5
12.	100	0,15	3,5
13.	100	0,1	1
14.	100	0,1	6
15.	100	0,1	3,5
16.	100	0,1	3,5

Az a_p axiális fogás nem lett változtatva, sőt az szándékosan kis értéken lett tartva (2 mm), hogy könnyebben fel lehessen térképezni a sarok kialakítások közötti különbségeket.

A forgácsolási paraméterek jelentik a faktorok számát, tehát $f = 3$. Mindegyik faktort 5 szinten kívánjuk mérni, tehát $p = 5$. A mérések száma $n = p^f = 5^3 = 125$ szerszámonként. A négy szerszám együttesen 500 mérést igényelne, és ha a mérési eredmények megbízhatóságának növelése céljából minden mérést háromszor ismételnék meg, akkor 1500 mérést kellene elvégezni, továbbá ezek eredményeit kiértékelni.

Ezek alapján könnyen belátható, hogy ha a passzív kísérleti tervet használom a kutatás során az túl sok kísérletet és túl sok adat feldolgozását eredményezné. Ezért választottam az ortogonális faktoriális kísérleti tervet, mely a kísérletek számát összesen 64 darab mérésre redukálta le.[16,17]

Az 5. fejezetben a négy szerszám mért eredményeit mutatom be.

4. A KÍSÉRLET VÉGREHAJTÁSA

A kísérlet végrehajtását az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar műhelyében végeztem el.

4.1. A KÍSÉRLETHEZ FELHASZNÁLT ESZKÖZÖK

A marók kísérletét egy „Mazak Nexus Vertical Center 410A-II” típusú CNC megmunkáló központon végeztem el.



4.1. Ábra. Mazak Nexus Vertical Center 410A-II⁴

A forgácsolás egy CrMo ötvözetű, 115x36x50 méretű acélban történt. A maráskor fellépő erők és a nyomatékok nagyságát egy főorsóba fogott Kistler típusú forgó erő- és nyomatékmérő készülék segítségével mértem meg. (4.2. ábra)

⁴ http://www.techspex.com/techspex/milling_centers/model?milling_id=4876 (letöltve: 2012.10.26.)



4.2. Ábra. Főorsóba fogott forgó erő- és nyomatékmérő⁵

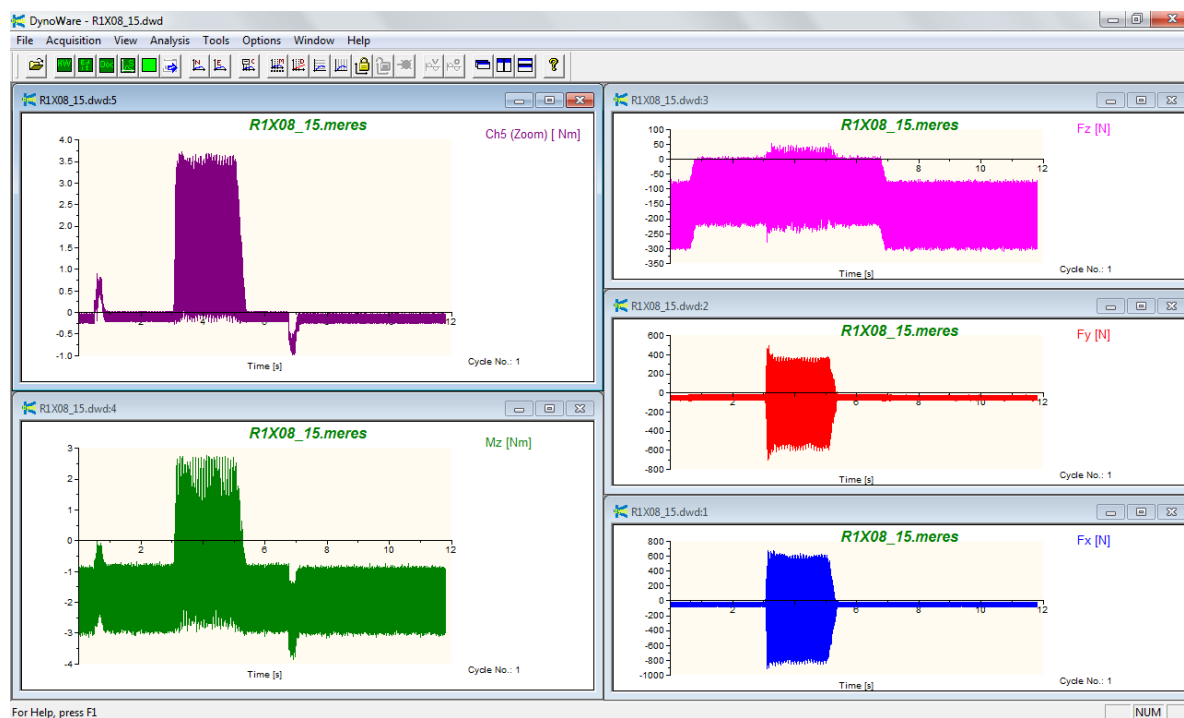
A mérőműszer a három koordináta-rendszer irányába ébredő erőket képes mérni, vagyis az F_x , F_y , F_z erőket és a z tengely körüli M_z nyomatékot. Ez a mérőfejnek a saját koordináta-rendszere. A z irányú tengely egybe esik a mérőfej forgástengelyével, az x és y irány rögzítve van a mérőfejen belül. Ezek irányadóak és ehhez a koordináta-rendszerhez viszonyítva tudjuk meghatározni az erőket. A mérő úgy mér, hogy a forgástengelyek elmozdulását figyeli. Az erők és elmozdulások hatására a műszerben lévő piezoelektromos kristályok alakváltozást szenvednek. Ezalatt a kristályok néhány mV feszültséget adnak, ezt a feszültséget dolgozzuk fel a mérés során.

⁵

http://rs1.sze.hu/~papaig/FORG_SZERSZ_AJ012_AJ040_NGB_LGB_MM_AutomobilProd/ELOADAS%20ANYAGOK/05_Ero_es%20Homeres%20labor.pdf (letöltve: 2012.10.12)

A kapott értékeket a „DynoWare Type 2825D-02” nevű, illetve a Microsoft Excel számítógépes programmal értékeltem ki.

A 4.3. ábra az R1x0,8x45° szerszám 15. mérési pontjához tartozó értékeket mutatja be.



4.3. Ábra. Kiértékelés DynoWare szoftverkörnyezetben⁶

Ezek után a DynoWare-ből exportált adatokat a Microsoft Excel szoftverben értékeltem ki, ahol a legmagasabb, a legalacsonyabb, illetve az átlagolt értékeiket tudtam meghatározni mind az erőknek, mind pedig a nyomatékoknak.

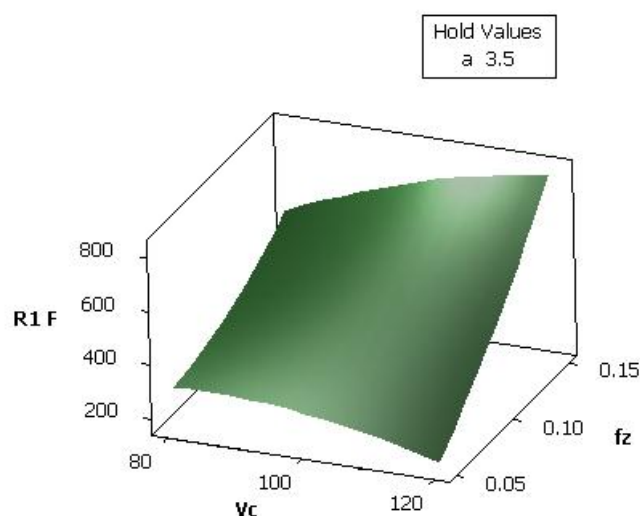
⁶ Készítette: Makka Norbert, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2012.

5. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK

Ebben a fejezetben a négy szerszám erő illetve nyomaték igényeit vizsgálom egyenként, egy háromdimenziós függvény segítségével, ahol a radiális fogásmélység állandó 3,5 mm-es nagyságon tartott értéket vesz fel, illetve három darab szintfelületet értékelek ki. Azon esetekben, amikor egy függvényt vagy szintfelületet csak két forgácsolási paraméter határoz meg, akkor a harmadik paraméter közepes, állandó értéken értelmezendő, melynek értékei az alábbiak:

- $v_c = 100 \text{ m/perc}$
- $f_z = 0,1 \text{ mm}$
- $a_e = 3,5 \text{ mm}$

5.1. AZ R1,0 ÉLLEKEREKÍTÉSŰ SZERSZÁM ERŐ ÉS NYOMATÉK IGÉNYEI

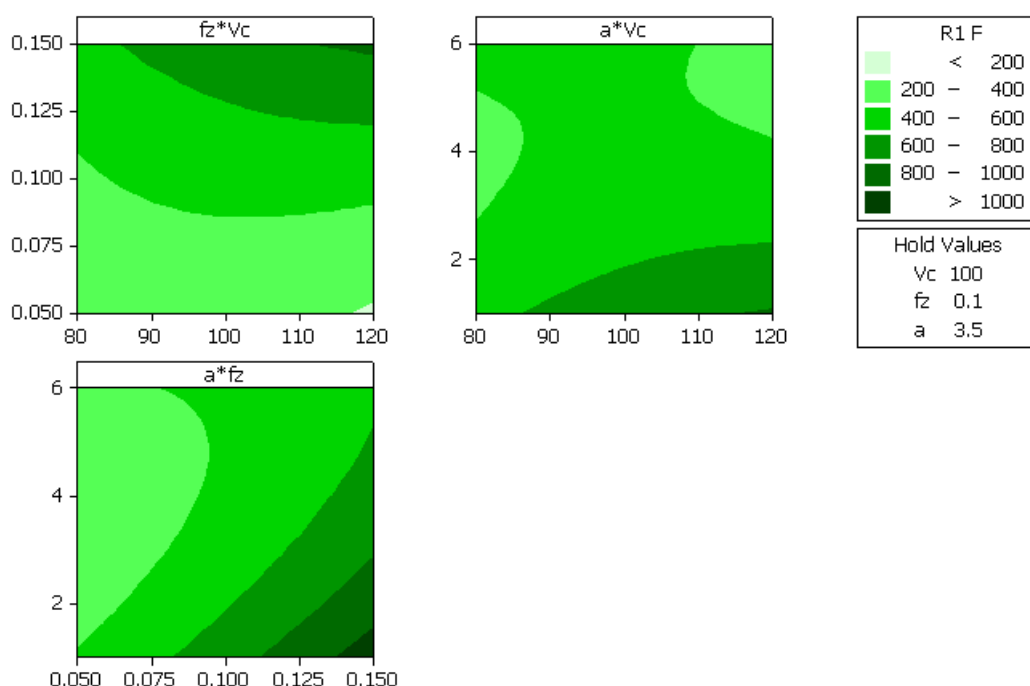


5.1. Ábra. R1,0 éllekerekítésű szerszám erőigényei a fogankénti előtolás és a vágósebesség függvényében ⁷

Az R1 éllekerekítésű szerszám erőszükséglete csökken az f_z fogankénti előtolás növelésével és a v_c vágósebesség csökkentésével. A vágósebesség alacsonyabb értéken tartva viszonylag kisebb erőnövekedést igényel, ellentétben

⁷ A 3D és 2D szintfelületeket készítette: Horváth Richárd Intézeti Mérnök, Óbudai Egyetem, 2012.

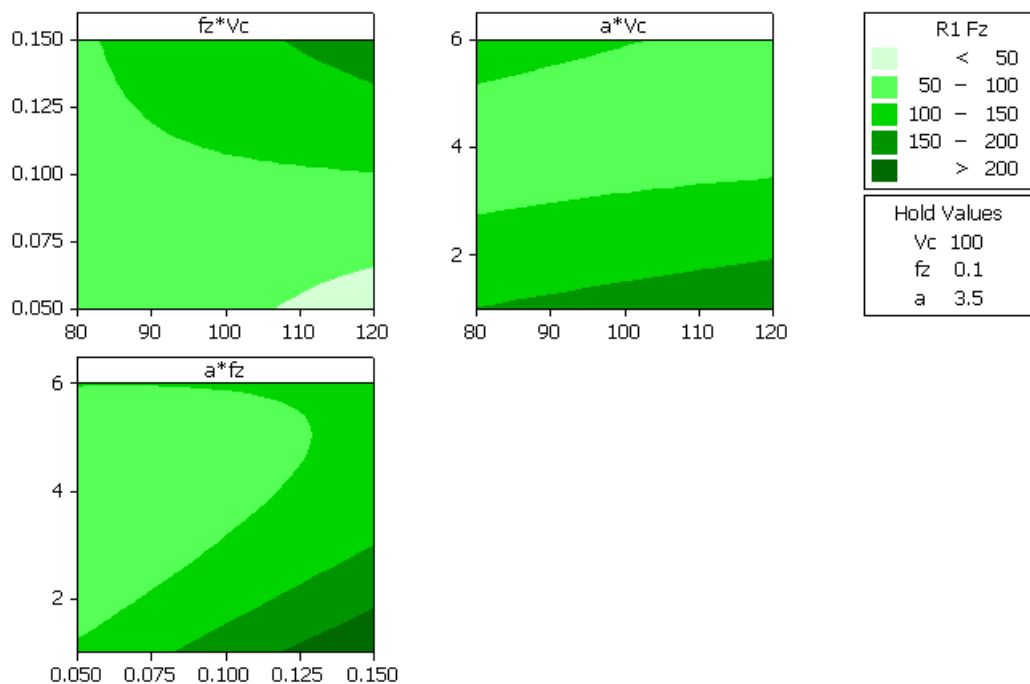
a fogankénti előtolás növelésével, ami már drasztikusan megemeli a szerszám erőfelvételét.



5.2. Ábra. R1,0 élekkerekítésű szerszám kerületi forgácsoló ereje szintfelületekkel

Az átlagos forgácsoló erő minimális értéke a kontroll mérési pontokon 200 N alá csökkenthető $v_c=120$ m/perc vágósebességnél és $f_z=0,05$ mm fogankénti előtolásnál. A diagramból viszont megállapítható, hogy nagyobb v_c -nél és kisebb f_z -nél kevesebb a szerszám erőszükséglete. A kísérlet nem tartalmaz szélesebb mérési skálát, ezért erre pontosabb adatot nem tudok kimutatni.

A 3 diagram együttes vizsgálatából megállapítható, hogy ha az erőszükségletet 200 és 400 N között akarjuk tartani, akkor az f_z -t 0,1 alatt kell tartani, és ha $v_c < 85$ m/perc, akkor $a_e=3 \dots 5$; ha $v_c > 110$ akkor $a_e > 4,5$.



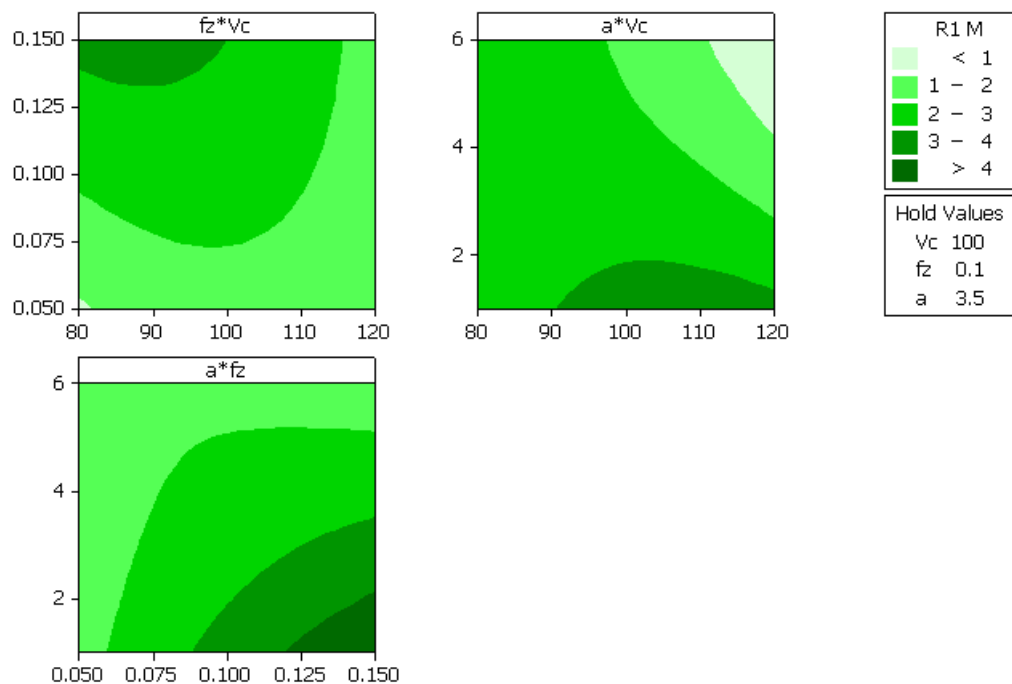
5.3. Ábra. Az R1,0 élekkerekítésű szerszám axiális irányú forgácsoló ereje szintfelületekkel

Mivel a kísérlet során az eredmények azt mutatták, hogy az axiális irányú erőszükségletek a négy szerszámnál közel azonosak, ezért a fenti standard szerszámhoz tartozó ábra grafikonjai a letöréssel rendelkező szerszámokra is érvényesek.

Az ábrából megállapítható, hogy axiális irányú erőszükséglet 50 N alá csökkenthető a vágósebesség 110 m/perc feletti tartásával, valamint a fogankénti előtolás maximum 0,06 mm értéket vehet fel.

Ha a z irányú erőt 50 és 100 N között szeretnénk tartani, a radiális fogásmélység értéke 3 és 6 mm közé kell, hogy essen, ehhez pedig a vágósebesség [80;120] m/perc. Ha a v_c 100-ról 80 mm-re csökken, akkor a fogásmélység maximális értékét 6-ról 5 mm-re kell redukálni.

Ha a fogásmélységet 1,5-ről 5 mm-ig emeljük, ahhoz a fogankénti előtolást egyenesen arányosan 0,05-ről 0,125 mm-re kell emelni; Ha az a_e értéke 5-ről 6-ra nő, akkor az f_z egyenesen arányosan 0,125-ről 0,05-re csökken, hogy az erőszükséglet ne legyen nagyobb, mint 100 N.



5.4. Ábra. R1,0 éllekerekítésű szerszámnál fellépő nyomaték nagysága szintfelületekkel

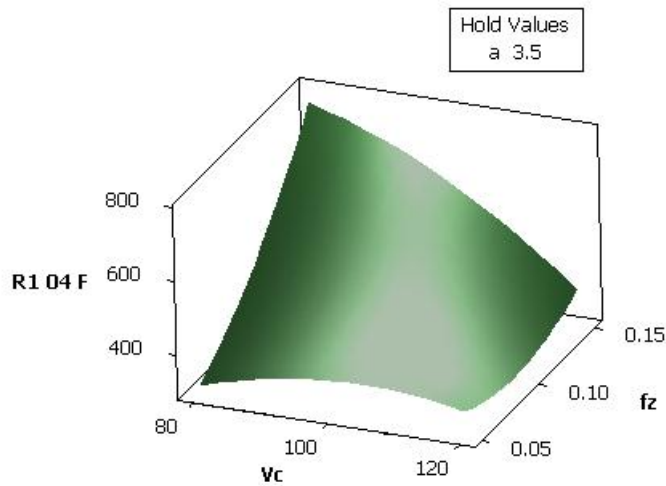
Az R1-es rádiuszú szerszám nyomatékszükséglete legjobb esetben 1 Nm alá csökkenthető a vágósebesség 110 m/perc fölé emelésével, a radiális fogásmélység 4 mm feletti értékével, valamint a fogankénti előtolás 0,055 mm alatti értéken tartásával.

Ha a nyomatékot 1 és 2 Nm között szeretnénk tartani, a radiális fogásmélység értéke 3 mm fölé kell, hogy essen, ehhez pedig a vágósebesség: $v_c > 95$ m/perc. Ha a v_c 100-ról 80 mm-re csökken, akkor a fogásmélység maximális értékét 6-ról 5 mm-re kell redukálni.

Ha a vágósebességet 110 m/perc fölé emeljük, akkor a fogankénti előtolást [0,05;0,15] értéken vehetjük fel. Ha az f_z értéke 0,05-ről 0,1-re nő, akkor az a_e egyenesen arányosan 1,5-ről 5 mm-re emelkedik, hogy a nyomatékszükséglet ne legyen nagyobb, mint 2 Nm. Ha a fogankénti előtolás $f_z > 0,1$, akkor a radiális fogásmélység $a_e > 5$.

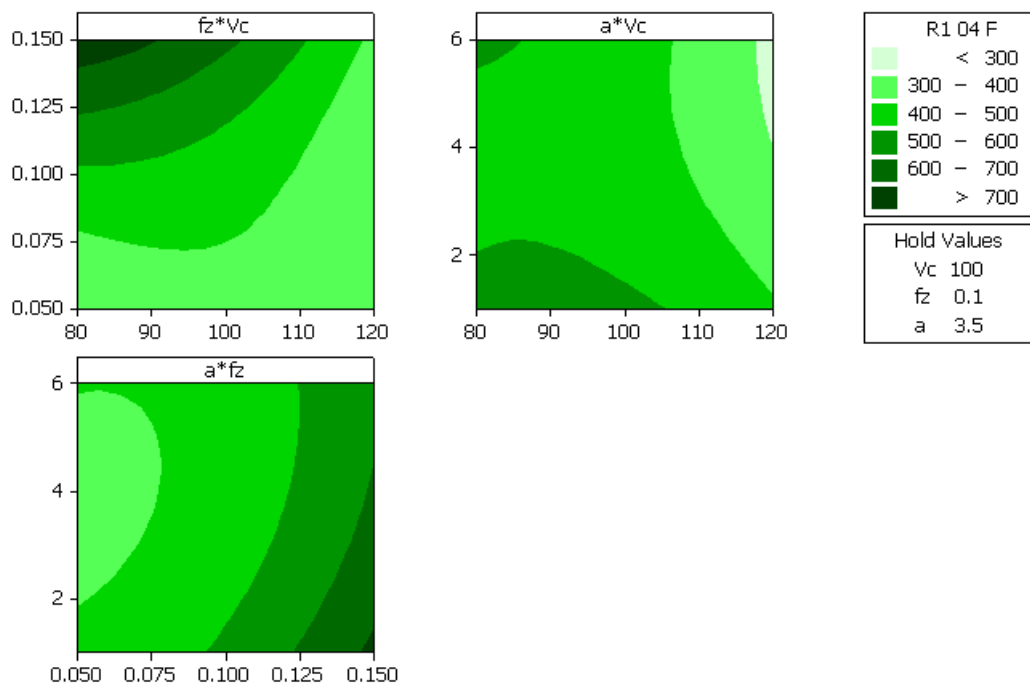
Ez az iparban használatos sarokkialakítású marószerszám. A továbbiakban ezekhez az adatokhoz fogom hasonlítani a letöréssel rendelkező szerszámok erő- és nyomatékigényeit.

5.2. AZ R1X0,4X45° ÉLLETÖRÉSŰ SZERSZÁM ERŐ ÉS NYOMATÉK IGÉNYEI



5.5. Ábra. Az R1x0,4x45° élettörésű szerszám erőigényei a fogankénti előtolás és a vágósebesség függvényében

Az R1x0,4x45° élettörésű szerszám erőszükséglete csökken az f_z fogankénti előtolás csökkentésével és a v_c vágósebesség együttes növelésével. A vágósebesség értéke csökkenthető, ha a fogankénti előtolást megfelelően alacsony értéken tartjuk ($<0,1$ mm). A fogankénti előtolás viszont a erőigénytől viszonylag függetlenül növelhető, ha a vágósebesség értéke nagyobb, mint 115 m/perc.



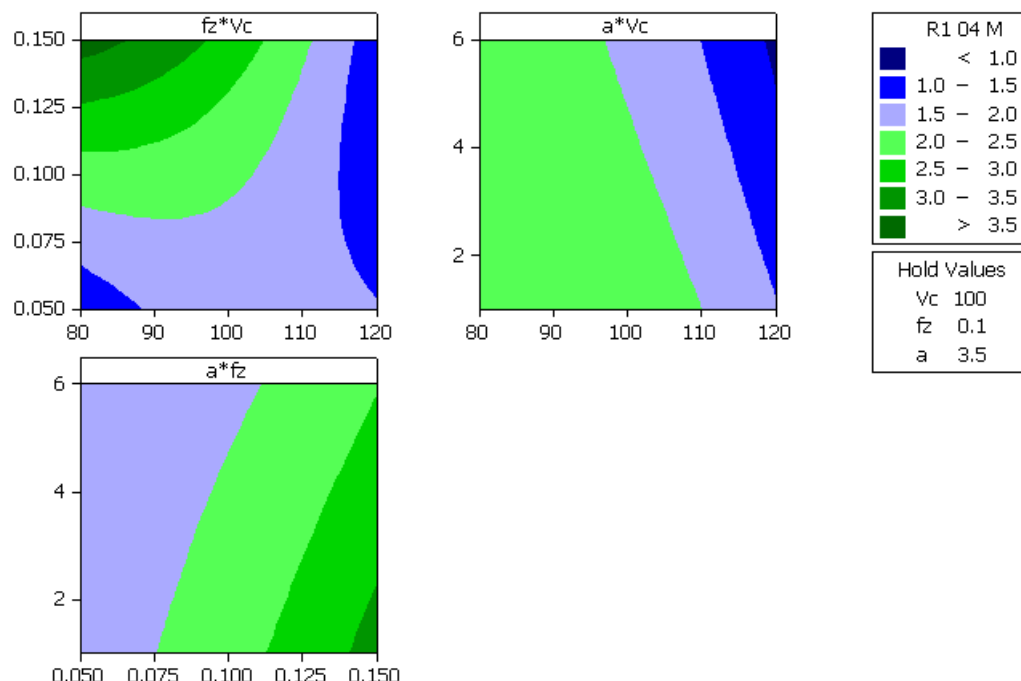
5.6. Ábra. R1x0,4x45° életörésű szerszám kerületi forgácsoló ereje szintfelületekkel

Az átlagos forgácsoló erő minimális értéke az R1x0,4x45° szerszám kontroll mérési pontján 300 N alá csökkenthető $v_c > 120$ m/perc vágósebességnél és $a_e > 4$ mm radiális fogásmélységnél. A diagramból viszont megállapítható, hogy nagyobb v_c -nél és kisebb f_z -nél kevesebb a szerszám erőszükséglete. A kísérlet nem tartalmaz szélesebb mérési skálát, ezért erre pontosabb adatot nem tudunk kimutatni.

A megmunkáláshoz szükséges erő 300 és 400 N közötti értéken tartásához a vágósebességet 110 m/perc feletti értéken kell tartani, a fogankénti előtolást 0,075 mm alatt, a fogásmélységet pedig [2;6] mm.

Ha a fogankénti előtolás $f_z = 0,075$, akkor a radiális fogásmélység $a_e = 4$. Ha f_z csökken az a_e lehet kisebb vagy nagyobb is a [2;6].

Ha a v_c [100;120] növekszik, akkor az f_z [0,075;0,150] növelhető.



5.7. Ábra. R1x0,4x45° éllekerekítésű szerszámnál fellépő nyomaték nagysága szintfelületekkel

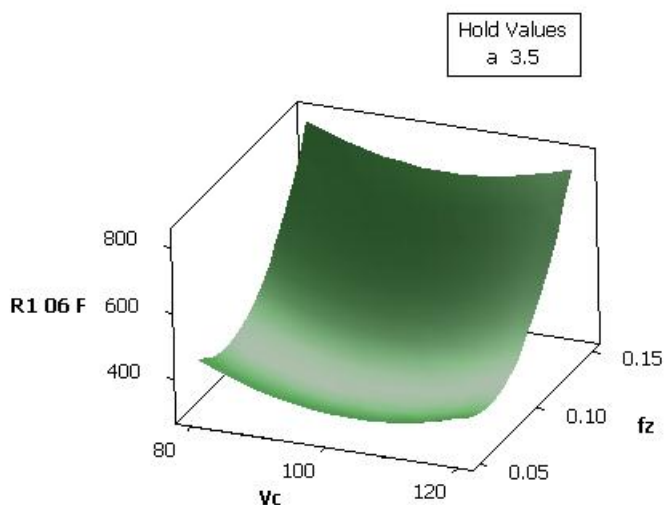
Az R1x0,4x45° szerszám nyomatékszükséglete legjobb esetben 1 Nm alá csökkenthető a vágósebesség 118 m/perc fölé emelésével, a radiális fogásmélység 5,5 mm feletti értékével. A kísérlet nem tartalmaz szélesebb mérési skálát, ezért erre pontosabb adatot nem tudunk kimutatni.

A szerszám nyomatékszükségletének 1 és 1,5 Nm közötti értéken tartásához az alábbi értékek szükségesek:

A vágósebesség nagysága legyen $v_c < 111$ M/perc. A radiális fogásmélység nagysága legyen $a_e > 6$ mm. A továbbiakban a v_c növelésével a fogásmélység csökkenthető. Ha a vágósebesség $v_c = [90; 80]$ m /perc, akkor a fogankénti előtolás $f_z = [0,05; 0,075]$ mm. Ha $v_c > 115$ m/perc fölé emeljük, akkor az $f_z = [0,05; 0,15]$ mm közötti értéken tartandó.

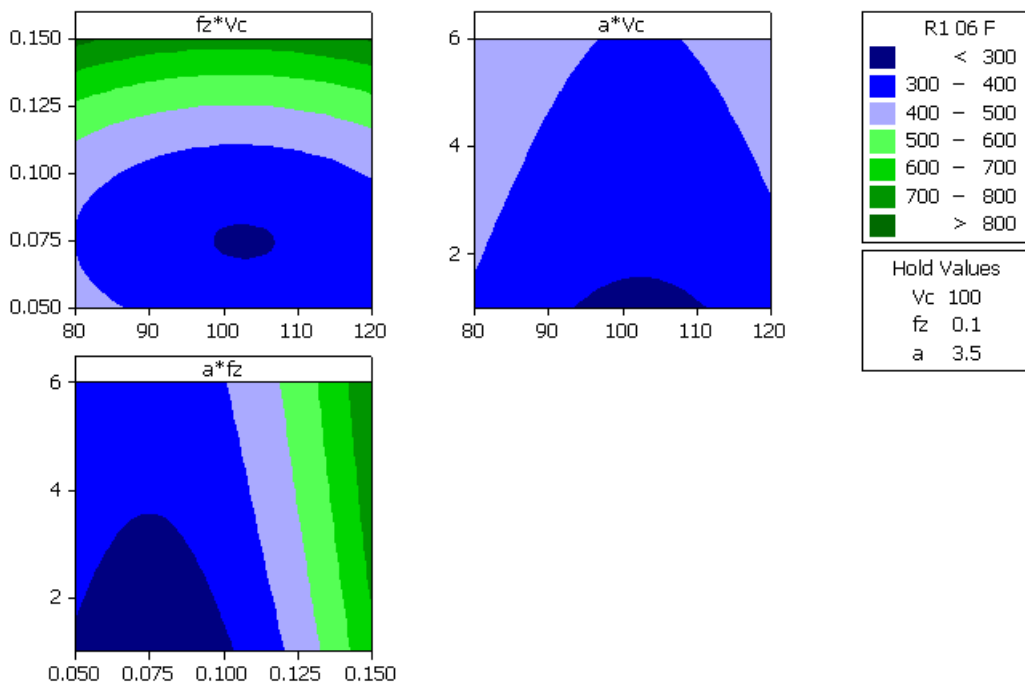
A standard szerszámhoz képest a legalacsonyabb kerületi erő értéke 2%-kal csökkent, a legmagasabb 41%-kal. A legkisebb nyomaték értéke nem tér el, de a maximális nyomatékigény 33%-kal kevesebb.

5.3. AZ R1X0,6X45° ÉLLETÖRÉSŰ SZERSZÁM ERŐ ÉS NYOMATÉK IGÉNYEI



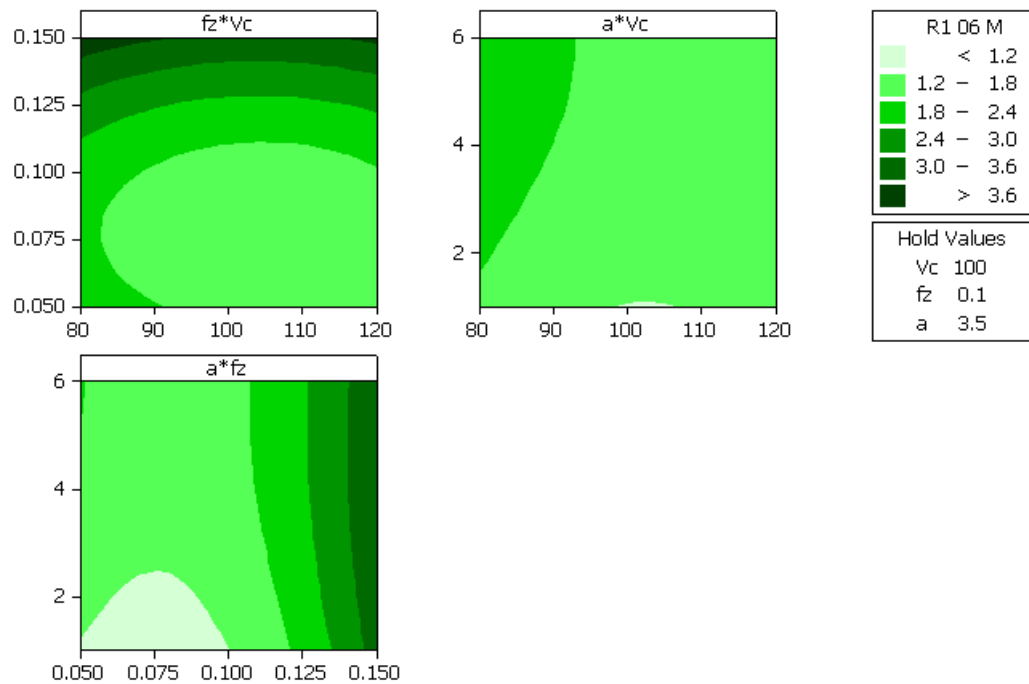
5.8. Ábra. Az R1x0,6x45° élettörésű szerszám erő igényei a fogankénti előtolás és a vágósebesség függvényében

Az R1x0,6x45° szerszám erőszükséglete csökken az f_z fogankénti előtolás és a v_c vágósebesség növelésével.



5.9. Ábra. Az R1x0,6x45° élettörésű szerszám kerületi forgácsoló ereje szintfelületekkel

Az átlagos forgácsoló erő minimális értéke az R1x0,6x45° szerszám kísérleti mérései során az alábbiak szerint alakul. A megmunkálási sík eredő ereje 300 N alá csökkenthető, ha a radiális fogás nagysága kisebb, mint 2 mm, a forgácsolási sebesség 95 és 112 m/perc közötti. Abban az esetben, ha a fogankénti előtolást 0,075-re emeljük az a 3,5 mm-re növelhető. Ha az f_z értéke nagyobb, mint 0,075 akkor a fogást csökkenteni kell az f_z értékének növelésével arányosan.

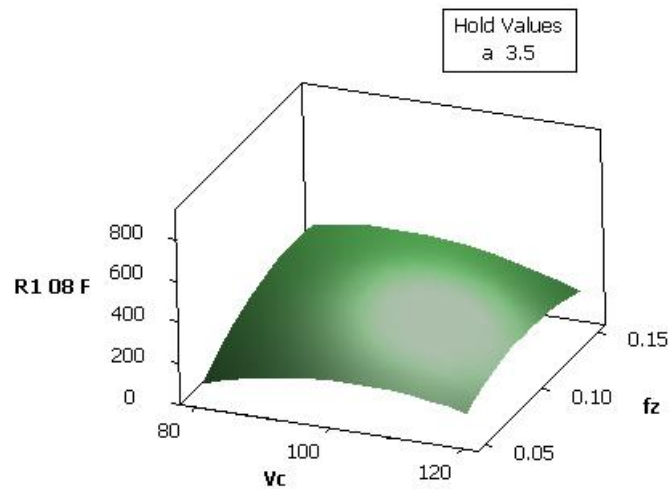


5.10. Ábra. R1x0,6x45° élettörésű szerszámnál fellépő nyomaték nagysága szintfelületekkel

Az R1x0,6x45° szerszám nyomatékszükséglete legjobb esetben 1,2 Nm alá csökkenthető, ha a vágósebességet 100 és 105 m/perc közötti értéken tartjuk, illetve az axiális fogás nagysága kisebb, mint 1,5 mm. Ha a fogankénti előtolás 0,075 mm, akkor az a_e 2.5 mm-re is növelhető. Ha a v_c nagyobb, mint 90 m/perc, és az f_z kisebb, mint 0,1 akkor a nyomatékszükséglet nem függ a fogásvastagságtól, és nagysága 1,2 és 1,8 Nm közötti értéket vesz fel.

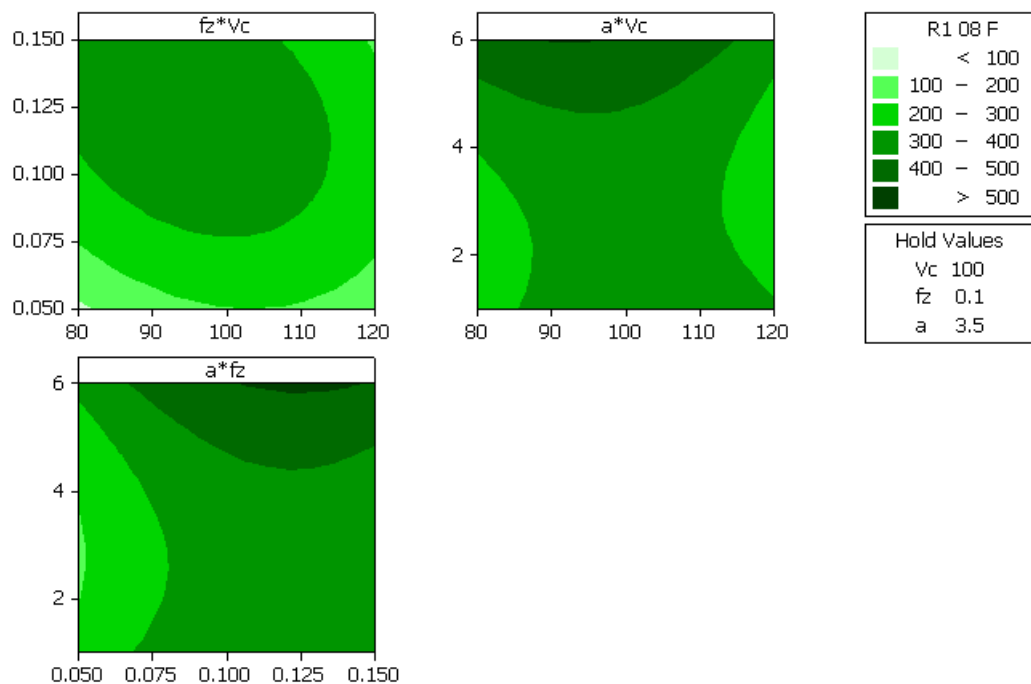
A standard szerszámhoz képest a legalacsonyabb kerületi erő értéke 55%-kal csökkent, a legmagasabb 39%-kal. A legkisebb nyomaték értéke 20%-kal nagyobb, de a maximális nyomatékigény 22%-kal kevesebb.

5.4. AZ R1X0,8X45° ÉLLETÖRÉSŰ SZERSZÁM ERŐ ÉS NYOMATÉK IGÉNYEI



5.11. Ábra. Az R1x0,6x45° élettörésű szerszám erő igényének növekedése a fogankénti előtolás és a vágósebesség függvényében

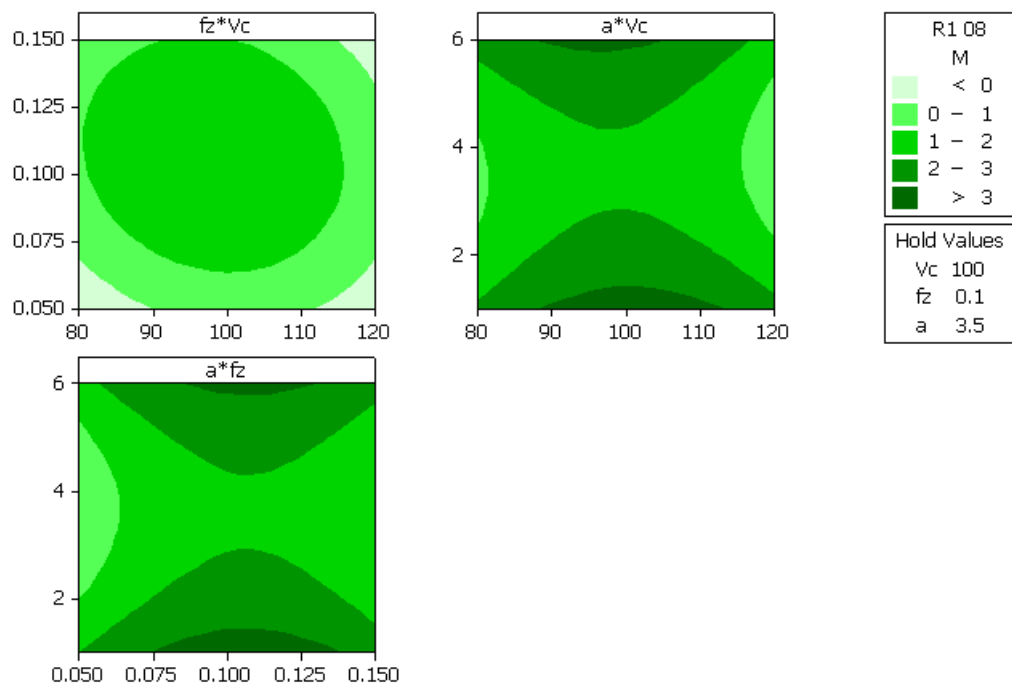
Az R1x0,8x45° szerszám erőigényeiben nem mutatkozik említésre méltó változás a fogankénti előtolás és a forgácsolási sebesség változtatásával. Következésképp a forgácsolási sebesség és a fogankénti előtolás is növelhető, anélkül, hogy a megmunkáláshoz szükséges erő érdemben történő növekedését produkálná. A kísérletben résztvevő szerszámok közül ennek, van a legkisebb erő- illetve nyomatékigénye, ráadásul gyorsabb megmunkálás végezhető vele, s ezek mellett a szerszám éltartama is növekszik.



5.12. Ábra. Az R1x0,8x45° életörésű szerszám kerületi forgácsoló ereje szintfelületekkel

A R1x0,8x45° szerszám átlagos forgácsoló erő nagysága 100 és 200 N közötti értéken tartható, ha a fogankénti előtolás maximális értéke 0,08 mm, valamint a forgácsolási sebesség kisebb, mint 90 m/perc, vagy nagyobb, mint 115 m/perc. Ha a $v_c < 90$ m/perc, akkor az $a_e < 4$ mm, ha $v_c = 115$ m/perc, akkor az $a_e = 3$ mm. A v_c további növelésével az a_e akár 6 mm is lehet.

A forgácsoló erő 100 N alá csökkenthető, ha az $f_z < 0,05$ mm, $v_c < 80$ m/perc és $a_e = 3$ mm. Ennél a szerszámnál az $a_e = 1$ mm-es fogásnál mind az erő, mind a nyomaték mértéke kiugró nagyságú volt, ezért ezek az értékek nem szerepelnek az átlagos kiértékelésben.



13. Ábra. R1x0,6x45° életörésű szerszámnál fellépő nyomaték nagysága szintfelületekkel

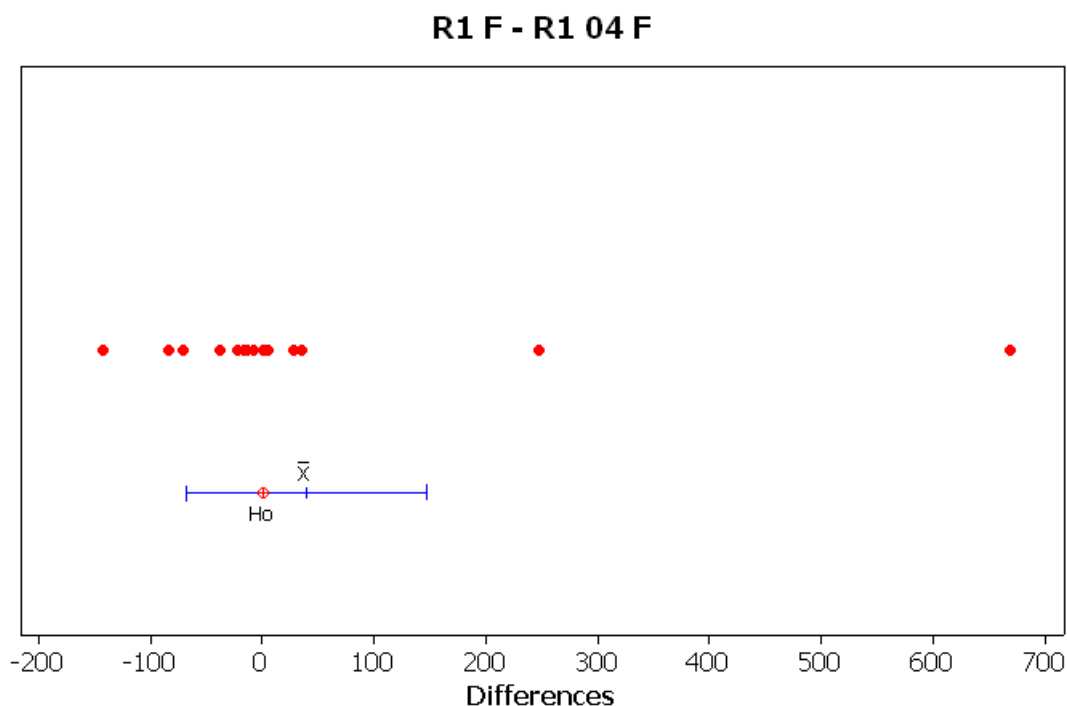
Az R1x0,8x45° szerszám nyomatékigénye 1 Nm alá csökkenthető, ha a $v_c < 85$ m/perc-es forgácsoló sebesség mellett az $f_z < 0,065$ mm fogankénti előtolást biztosítjuk, ahol az $a_e = 3,5$ mm. Szintén hasonló a nyomaték nagysága, ha a $v_c > 115$ m/perc. A v_c további növelésével, illetve az f_z csökkentésével az a_e 2 és 5,5 mm között tetszőlegesen variálható az 1 Nm alatti nyomatékigény megtartása mellett.

A standard szerszámhoz képest a legalacsonyabb kerületi erő értéke 53%-kal csökkent, a legmagasabb 55%-kal. A legkisebb nyomaték értéke 61%-kal csökken, és a maximális nyomatékigény 41%-kal kevesebb.

5.5. VARIANCIAANALÍZIS

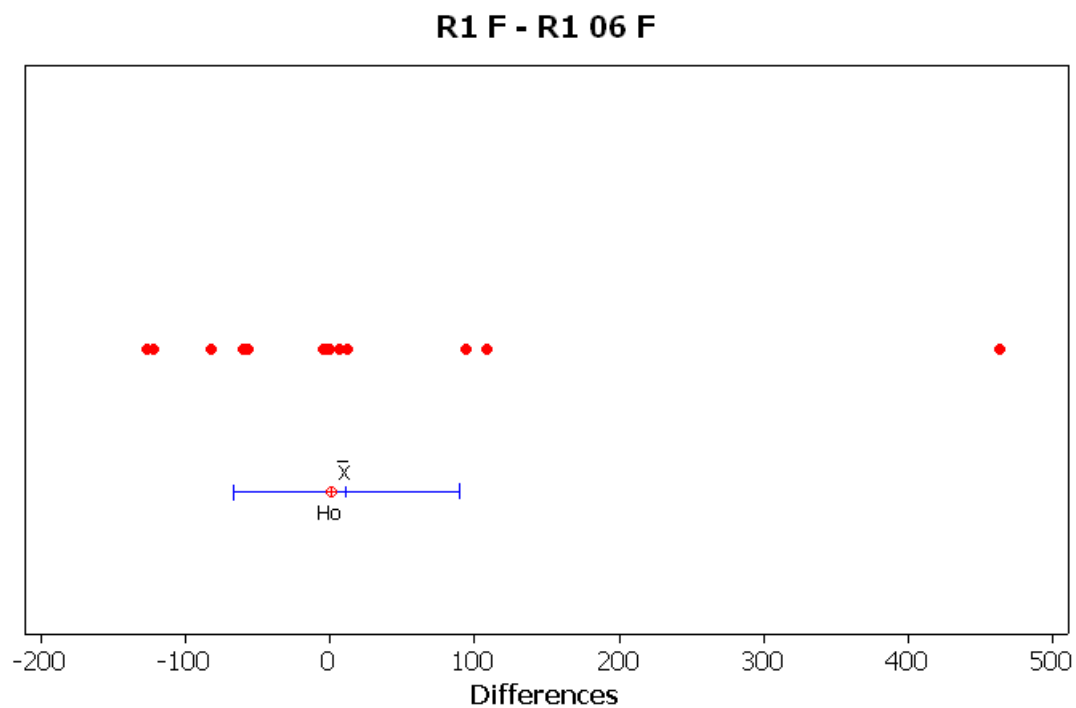
A varianciaanalízist a kontrollált kísérletekből származó mérési eredmények kiértékelésére dolgozták ki. A módszer a kontrollált kísérletek eredményeinek értékelése mellett természetesen minden olyan esetben használható, amikor előre meghatározott részsokaságokból származó, egymástól független minták alapján áll csak módunkban a részsokaságok várható értékeinek egyezésére vagy éppen eltérésére vonatkozó feltevésünk helyességét ellenőrizni. Az átlagos forgácsoló erő, összes, mért eredményeinek összehasonlítása a standard szerszám mérési eredményeihez viszonyítva. Ha a standard szerszám átlagos erőértékétől a viszonyított szerszám átlagos értéke (H_0 pont) 5%-nál nagyobb mértékben eltér, akkor van a két szerszám között szignifikáns különbség.

Az alábbi ábrák az egyes mérési pontok közötti különbségeket mutatják.

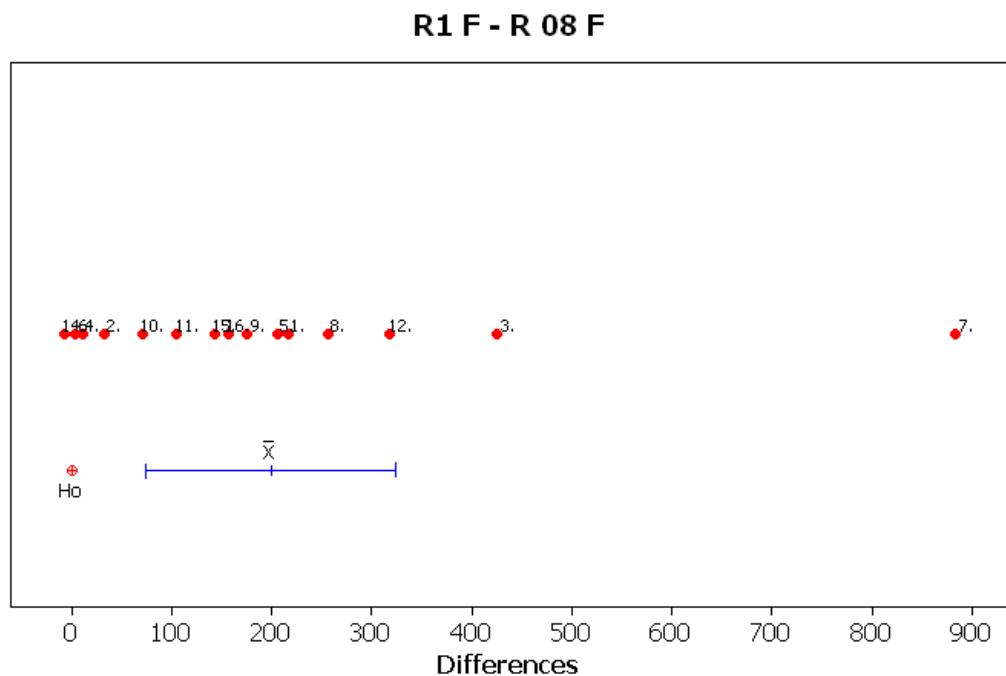


5.14. Ábra. Az R1x0,4x45° sarok kialakítású szerszám kerületi forgácsoló erejének H_0 hipotézist tesztelő próbafüggvény ábrázolása⁸

⁸ 5.14-5.22. Ábrákat készítette: Horváth Richárd Intézeti Mérnök, Óbudai Egyetem, 2012.

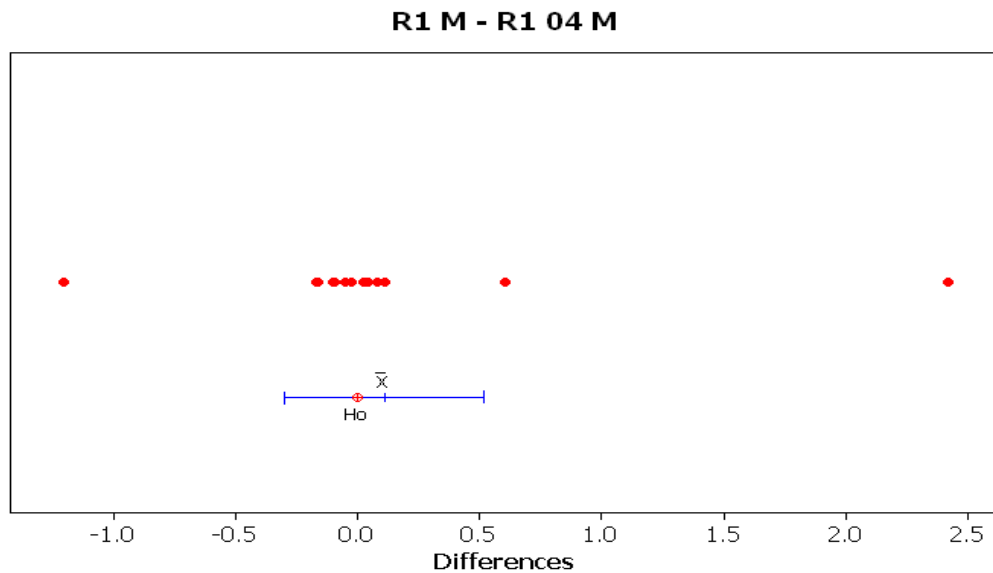


5.15. Ábra. Az R1x0,6x45° sarok kialakítású szerszám kerületi forgácsoló erejének H_0 hipotézist tesztelő próbafüggvény ábrázolása

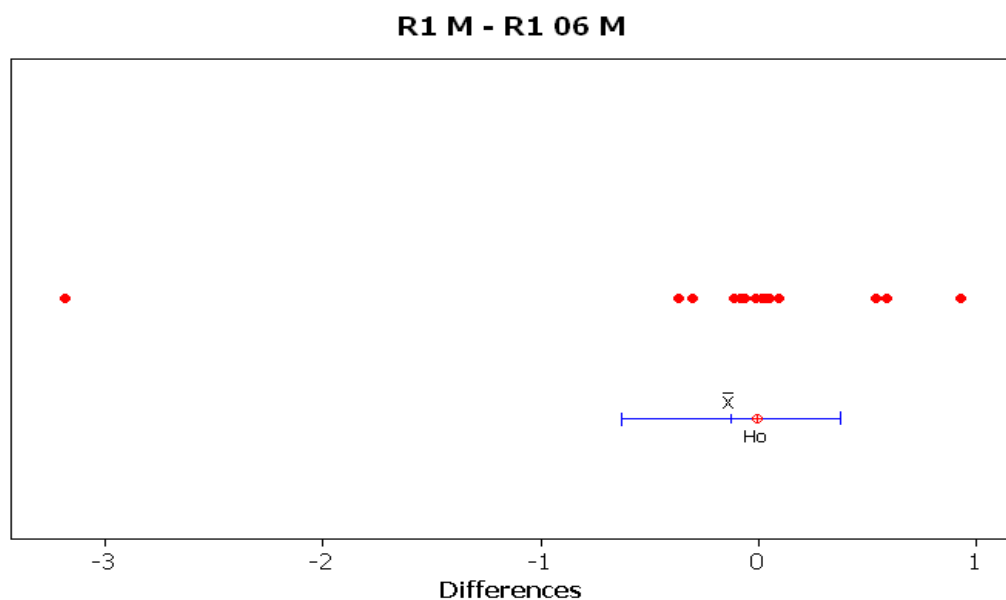


5.16. ábra. Az R1x0,8x45° sarok kialakítású szerszám kerületi forgácsoló erejének H_0 hipotézist tesztelő próbafüggvény ábrázolása

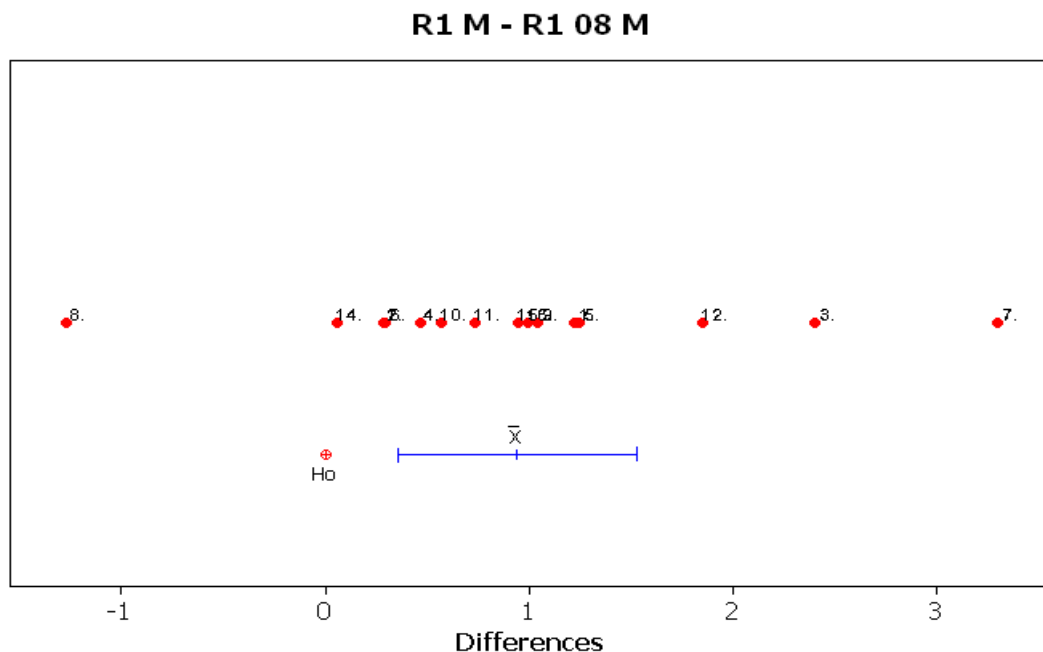
Az 5.14. 5.15. és az 5.16. ábra a letöréssel rendelkező szerszámok erőigényét hasonlítja össze a standard szerszám erőigényével. Az 5.14. és 5.15. ábrából látszik, hogy a 0,4-es és a 0,6-os letörésű szerszámoknál az erőigények átlagos eltérése még nem számottevő, viszont az 5.16. ábrán a 0,8-as szerszámnál fellépő erőbeli eltérés már számottevő.



5.17. Ábra. Az R1x0,4x45° sarok kialakítású szerszám nyomatékigényeinek H_0 hipotézist tesztelő próbafüggvény ábrázolása

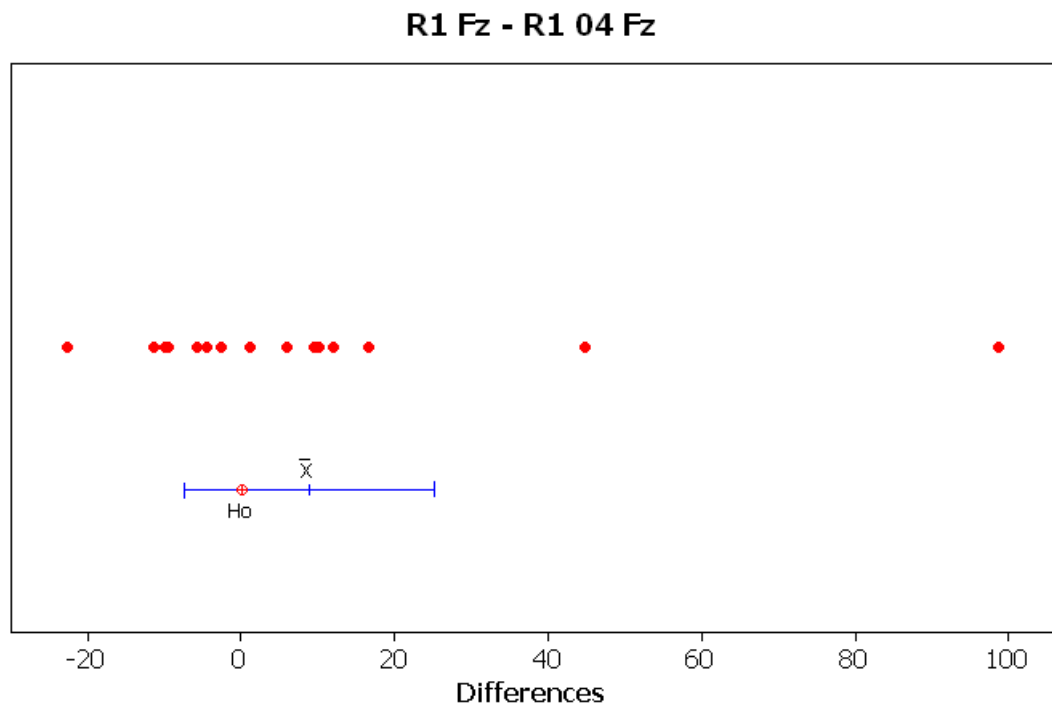


5.18. Ábra. Az R1x0,6x45° sarok kialakítású szerszám nyomatékigényeinek H_0 hipotézist tesztelő próbafüggvény ábrázolása

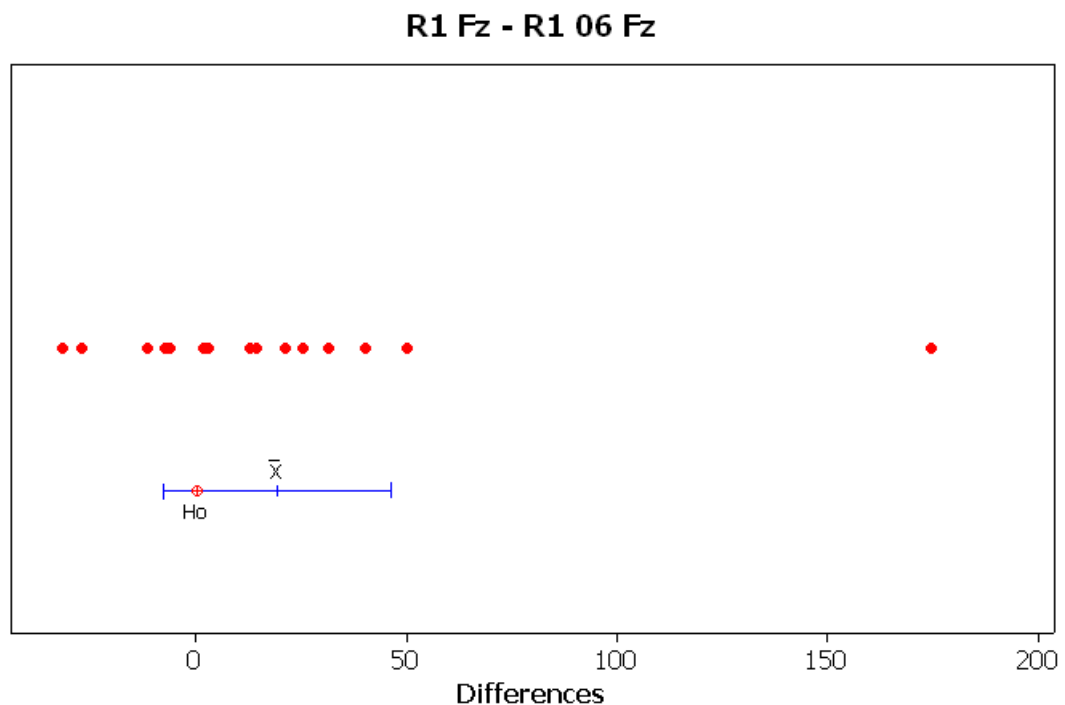


5.19. Ábra. Az R1x0,8x45° sarok kialakítású szerszám nyomatékigényeinek H_0 hipotézist tesztelő próbafüggvény ábrázolása

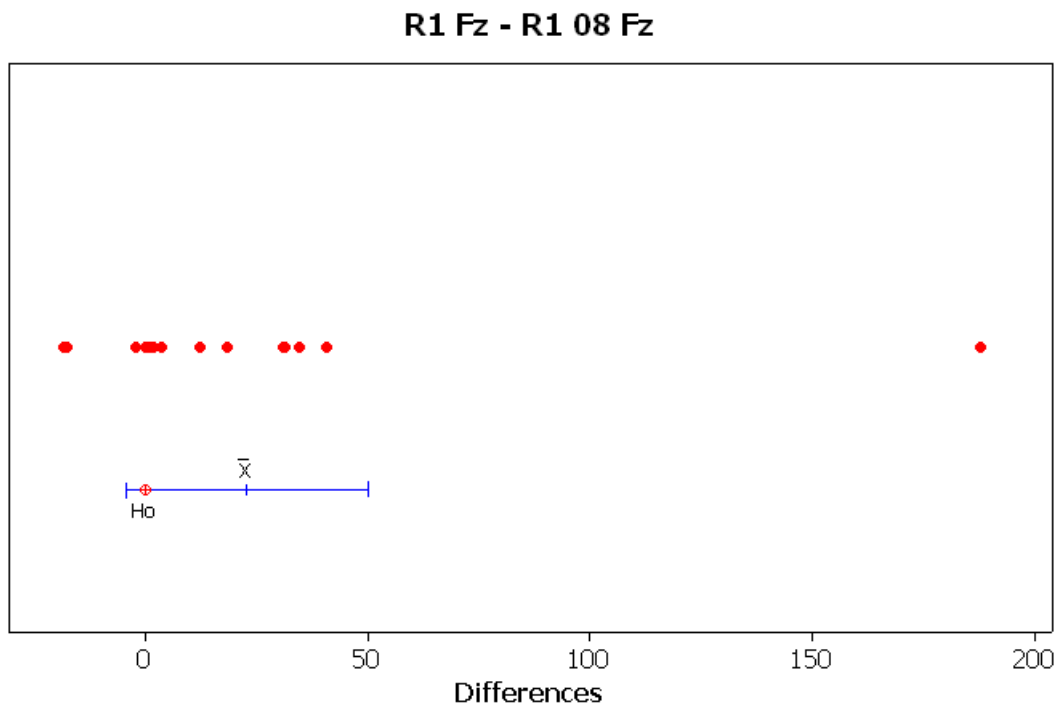
Az 5.17. 5.18. és 5.19. ábra a letöréssel rendelkező szerszámok nyomatékigényét hasonlítja össze a standard szerszám nyomatékigényével. Az 5.17. és az 5.18. ábrából látszik, hogy a 0,4-es és a 0,6-os letörésű szerszámoknál az nyomatékigények átlagos eltérése még nem számottevő, viszont az 5.19. ábrán a 0,8-as szerszámnál fellépő nyomatékbeli eltérés már számottevő.



5.20. Ábra. Az R1x0,4x45° sarok kialakítású szerszám z irányú forgácsoló erejének H_0 hipotézist tesztelő próbafüggvény ábrázolása



5.21. Ábra. Az R1x0,6x45° sarok kialakítású szerszám z irányú forgácsoló erejének H_0 hipotézist tesztelő próbafüggvény ábrázolása



5.22. Ábra. Az R1x0,4x45° sarok kialakítású szerszám z irányú forgácsoló erejének H_0 hipotézist tesztelő próbafüggvény ábrázolása

Az 5.20. 5.21. és az 5.22. ábra a letöréssel rendelkező szerszámok z irányú erőigényét hasonlítja össze a standard szerszám z irányú erőigényével. Ezekből látszik, hogy egyik letört szerszámnál sincs szignifikáns eltérés az alap szerszámhoz képest.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A kísérlet során a marásokat egy 42CrMo4 ötvözetű acélban végeztem 50 mm hosszan. A forgácsolási adatokat a következő tartományokban határoztam meg: a vágósebesség 80 és 120 m/perc közötti, a fogankénti előtolás 0,05 és 0,15 közötti, a radiális fogás nagysága 1 és 6 mm közötti, az axiális fogásmélység állandó nagyságú volt, sőt az szándékosan kis értéken lett tartva (2 mm), hogy könnyebben fel lehessen térképezni a sarok kialakítások közötti különbségeket.

Az eredmények egyértelműen kimutatták, hogy a 0,4 és a 0,6 mm-es letöréssel rendelkező szerszámok erő és nyomatékigénye bár csökken a letörések nagyságával, de nem tér el számottevő mértékben. Az R1x0,8x45° szerszámnál már az összes erő átlagos értéke 200 N-al, a nyomatékok átlagos értéke 2,11 Nm-ről 1,42 Nm-re csökkent, valamint a szerszám eredő erő igénye alig függött a beállított forgácsolási értékektől, a vizsgált forgácsolási paraméter tartományban.

A legfontosabb adatokat a 4. táblázat foglalja össze. Az f_z , a v_c és az a_e táblázatban szereplő értékei mellett lesz a legkisebb az erők és nyomatékok nagysága.

4. táblázat

	R1,0	R1x0,4x45°	R1x0,6x45°	R1x0,8x45°
F_{min} [N]	200	300	300	100
F_{max} [N]	1156	690	710	529
M_{min} [Nm]	1	1	1,2	0,39
M_{max} [Nm]	4,18	3,23	3,35	3,35
F_{zmin} [N]	70	66	70	59
F_{zmax} [N]	267	169	112	121
f_z [mm]	<0,075	0,075-0,15	0,075	0,05
v_c [m/perc]	95-110	100-120	80-120	>115
a_e [mm]	6-5	2-6	2-4	2-6

További kutatás eredménye lehet az erő- és nyomatékigények vizsgálata szélesebb tartományban vett forgácsolási paraméterekkel, továbbá ezen kísérlet során meg határozott legoptimálisabb beállításokkal kialakított felületek érdességének mérése, valamint a szerszámok éltartambeli javulásának tesztelése.

FELHASZNÁLT IRODALMAK

- [1] DUDÁS ILLÉS: Gépgyártás-technológia I. (3. kiadás) Műszaki Kiadó, Budapest, 2011 (ISBN: 978-963-16-4030-4)
- [2] DUDÁS ILLÉS: Gépgyártástechnológia II. Miskolci Egyetemi Kiadó, 2001. (ISBN 963 661 431 8 ö)
- [3] DUDÁS ILLÉS: Gépgyártástechnológia III. Miskolci Egyetemi Kiadó, 2003. (ISBN 963 661 572 1)
- [4] Heimer Emil: Fémforgácsoló szerszámok, Nehézipari Könyv- és Folyóiratkiadó Vállalat, 1952,
- [5] Kienzle O. – H. Victor: Spezifische Schnittkräfte bei der Metallbearbeitung Wekstattstechnik und Maschinenbau 47, 1957, 224-225 p.
- [6] VICTOR H. R. – MÜLLER M. – R. OPFERKUCH: Spanende Fertigungsverfahren Teil 1: Drehen wt – Z ind. Fertig. 70, 1980, Nr. 7, 733-735 p.
- [7] DR. BAKONDI KÁROLY – DR. KARDOS ÁRPÁD: A gépgyártás technológiája I. Tankönyvkiadó, Budapest, 1979. (ISBN 963 17 4034 x)
- [8] SANDVIK: Új forgácsolószerszámok a Sandvik Coromant-tól, 2008.
- [9] WALTER: 2. Kiegészítés a Főkatalógushoz, II/2006
- [10] HUNYADI LÁSZLÓ – VITA LÁSZLÓ: Statisztika közgazdászoknak, Központi Statisztikai Hivatal, Budapest, 2004. (ISBN 963 215 742 7)
- [11] HÉBERGER KÁROLY – ILIÁSZ DIMITRISZ – DR. KALÁSZI ISTVÁN – REZEDEK ÖDÖN – TÓTH ISTVÁN: A gépgyártás technológiája III. Tankönyvkiadó, Budapest, 1972.
- [12] FARKAS JÁNOS – DR. HÉBERGER KÁROLY – DR. RÁNKY MIKLÓS – REZEK ÖDÖN – TÓTH ISTVÁN: A gépgyártás Technológiája II. Tankönyvkiadó, Budapest, 1979. (ISBN 963 17 4036 6)

- [13] DR. HÉBERGER KÁROLY – ILIÁSZ DIMITRISZ – DR. KALÁSZI ISTVÁN – REZEDEK ÖDÖN - TÓTH ISTVÁN: A gépgyártás technológiája, Tankönyvkiadó, Budapest, 1981. (ISBN 963 17 4694 1)
- [14] HEIMER EMIL: Fémforgácsoló szerszámok: Nehézipari Könyv- és Folyóiratkiadó Vállalat, Budapest, 1952.
- [15] DR. FRIEDRICK LÁSZLÓ: Forgácsolás I.; Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, kézirat, 1992.
- [16] DR. FRIEDRICK LÁSZLÓ: Válogatott fejezetek a gépgyártás-technológiai kísérletek tervezése témaköréből, kézirat, Nemzeti tankönyvkiadó, Miskolc, 1993.
- [17] DR. FRIEDRICK LÁSZLÓ: Faktoriális kísérlettervezés I. ;oktatási segédlet Miskolc, 1988.
- [18] DR. ANGYAL BÉLA – DR. DOBOS LÁSZLÓNÉ – DR. PALÁST KOVÁCS BÉLA – SIPOS SÁNDOR: A forgácsolás és szerszámai; Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 2012.
- [19] http://rs1.sze.hu/~papaig/FORG_SZERSZ_AJ012_AJ040_NGB_LGB_MM_AutomobilProd/ELOADAS%20ANYAGOK/05_Ero_es%20Homeres%20labor.pdf (letöltve: 2012.10.12.)