

Óbudai Egyetem
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Gépszerkezettani és Biztonságtechnikai Intézet



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

**FELÜLETBEFEJEZŐ MEGMUNKÁLÁSOK
HATÁSA AUTÓIPARI ALKATRÉSZEK
FELÜLETI MINŐSÉGÉRE**

Szerző: **Nagy Viktor**
gépészmérnök BSc. szak, III. évf.

Konzulens: **Dr. Czifra Árpád**
egyetemi docens

Budapest, 2014.

1. Bevezetés

1.1 A dolgozat rövid ismertetése:

A dolgozat egy autóiipari alkatrész különböző befejező megmunkálásainak hatásait vizsgálja az alkatrész felületminőségére. A vizsgálatok egy autóiipari alkatrészeket gyártó cég megbízásából készültek 2013-ban a gyártástechnológia folyamat optimalizálása céljából. Öt megmunkálási típushoz összesen 100 db alkatrész állt rendelkezésre a méréshez, melyből 20-20 db jutott egy-egy típusra. A dolgozat bemutatja e darabok mérési körülményeit és a rajtuk elvégzett mérések eredményeinek elemzését.

A bevezető részben a mérés háttere és a téma jelentősége kerül ismertetésre. Szó esik még az érdekességi paraméterekről és értelmezésükről is, a dolgozat szakmai részének könnyebb megértése érdekében. Ezt követően az elvégzett vizsgálatok eredményei kerülnek kiértékelésre, feldolgozott, diagramokkal szemléltetett formában. Egy magyarországi autóiipari beszállító biztosította a vizsgálathoz az alkatrészeket. A cég számára az eredmények bizalmas információnak minősülnek, ezért a technológiai fázisok neve módosítva jelenik meg. Az méréshez felhasznált alkatrészek egy speciális porkohászati technológiával készültek, amelyet egy méretre alakítási, majd egy felületmódosító eljárás követ. A dolgozatban az előgyártmányt adó porkohászati technológia „A” jelöléssel, a névleges méretre alakító fázis „B” jelöléssel, a felületmódosító eljárások pedig „C” jelöléssel szerepel. Utóbbi kategória három részre bontva jelenik meg. „C1” és „C2” néven kerül említésre két eltérő finommegmunkáló eljárás, míg „C1+2” adódik ezek kombinációjából. Így valósul meg az öt kategória.

Az alkatrész hengeres és sík felületekkel is rendelkezik, melyeken 3-3 szabványos érdességmérés készült el. Tehát kategóriánként 20 alkatrész két felületén elvégzett három mérésből összesen 600 érdességmérési profil került felvételre. A mérések egy Mahr típusú tapintós érdességmérő készülékkel készültek, MFW-250 típusú, 90° csúcshögű, 5 µm csúcshögű tapintóval. A szoftverben $\lambda_c=0,8$ mm szűrési beállítás mellett M-rendszerű paramétereiből az Ra, Rq, Rz, Rt, Rp, Rv, Rsm, Rku, Rsk érdességi és Wa, Wt, Wp, Wv, Wsm hullámossági paraméterek, motif rendszer esetén pedig R, AR, Rx érdességi és W, AW, Wx hullámossági paraméterek kerültek felvételre. A dolgozat célkitűzése három főbb kérdés megválaszolása. Ebből az első, hogy a „C” felületmódosító eljárás képes-e a „B” fázis által elért felületi érdességet javítani. Második az érdességtartó képesség vizsgálata, azaz milyen szórással rendelkeznek az érdességi paraméterek a különböző eljárások esetén. A harmadik kérdés, hogy mely eljárás eredményez kedvezőbb felületet a működési tulajdonságok szempontjából.

A befejezésben a következtetések kerülnek levonásra. Ezen rész magába foglalja a kérdésekre kapott válaszokat, a jövőre vonatkozó ajánlásokat, és esetleges további kutatási lehetőségeket a témában.

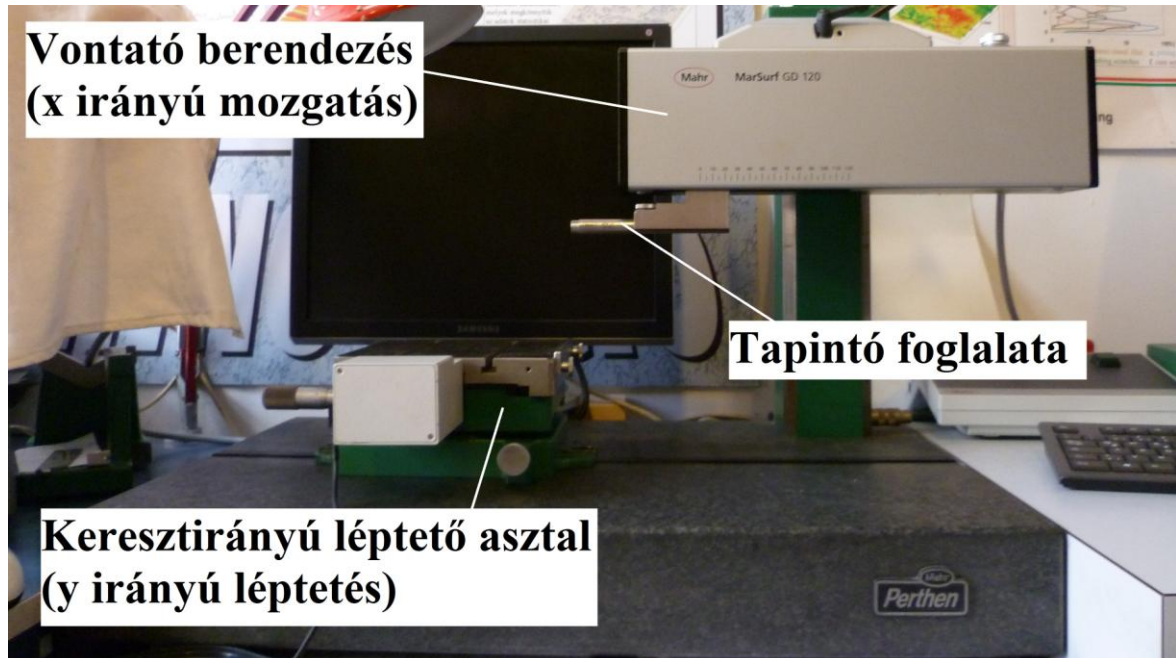
1.2 A dolgozat célja tehát választ kapni a következő kérdésekre:

1. Képes-e a 3. („C” jelű) technológiai lépcső érdemben javítani a „B” névleges méretre alakító eljárással elért felületi érdességet?
2. Az egyes eljárások esetén milyen a rendszer érdességtartó képessége (az érdességi paraméterek szórása)?
3. Mely technológiai eljárás eredményez kedvezőbb működési tulajdonságokkal leírható felületet?

1.3 A mérés körülményei:

A méréshez felhasznált eszközök:

Mahr tapintógép, PRK vontató, MFW-250 tapintó (csúcsszöge: 90° , csúcssugara: $5\mu\text{m}$), MarSurf XCR20 szoftver



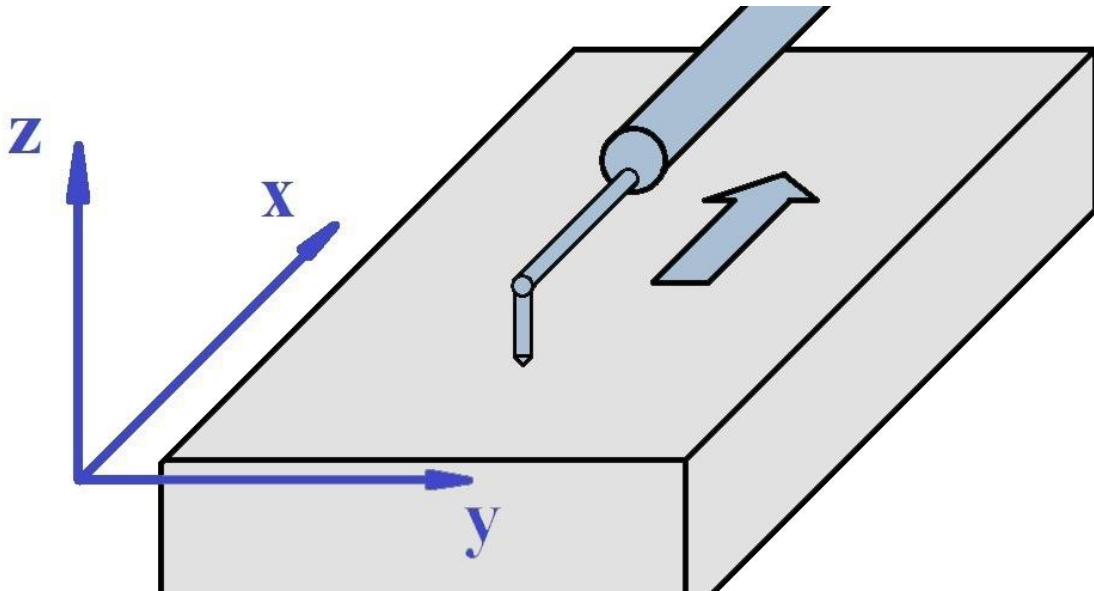
1.3.1. ábra. Mahr tapintógép és léptető asztala



1.3.2. ábra. Tapintó

1.4 Mérési folyamat leírása:

A munkadarab rögzítését követően a tapintóval megérintjük a felületet. Ezt követően x irányban elindul a tapintó vontatása, mellyel megteszi a beállított távolságot a felületen. Eközben regisztrálja a gép a tapintó Z irányú elmozdulásait, amelyet a mérési és szűrési folyamat végén digitálisan kijelez a hozzá csatlakoztatott számítógép segítségével. Ezzel megkapjuk a felület érdességi profilját. Hengeres és sík geometria esetén is megegyezik a mérés folyamata.



1.4. ábra. Az érdességmérési folyamat modellezése sík geometrián

1.5 Mérési beállítások:

Sík geometrián: Mérési hossz: 5,6 mm. Kiértékelési hossz: 4,0 mm. Alaphossz: 0,8 mm.

Hengeres geometrián: Mérési hossz: 2,4 mm. Kiértékelési hossz: 0,8 mm. Alaphossz: 0,8 mm.

Cut-off: $\lambda_c = 0,8$ mm (szűrő: másodfázisú polinom)

1.6 A téma jelentősége:

Az autóiipari alkatrészeknél meglehetősen gyakori, hogy kenésre van szükség a súrlódási veszteségek csökkentése érdekében. A kenés hatékonyságában nemcsak a kenőanyag, hanem a felület minősége is kiemelt szerepet játszik. [1] Ezért különösen fontos nemcsak abból a szempontból kiértékelni az eredményeket, hogy a potenciális vevőkör előírásainak megfeleljen, hanem abból a szempontból is, hogy valós körülmények között is megfelelően működjön a beszerelt alkatrész.

2. Az érdességi paraméterek ismertetése

2.1 Felületi érdesség:

A munkadarab felületének minősége komplex fogalom, nem jellemezhető egyetlen számmal. [1] Ezért a felületek geometriai eltéréseinél három nagy csoportot különböztetünk meg:

- Makrogeometriai eltérések
- Mikrogeometriai eltérések
- Nanoérdesség

A felületi érdességmérés témakörébe a mikrogeometriai eltérések tartoznak, ami további két nagyobb kategóriára bontható:

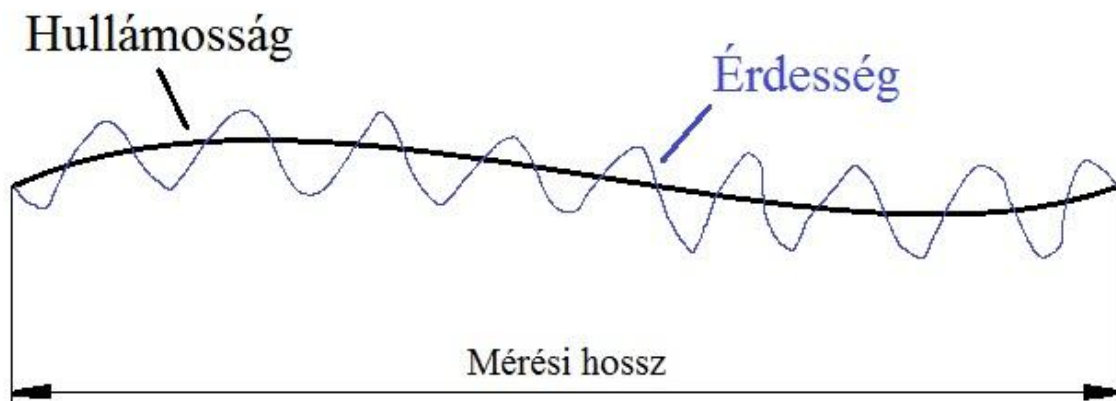
- Érdesség:
 - Függhet a megmunkáló szerszám alakjától
 - Gyártástechnológiai körülmények befolyásolhatják
 - Az anyagszerkezet mintázatahoz köthető
- Hullámosság:
 - A munkadarab vagy szerszámgép által keltett rezgésekre vezethető vissza, általában periodikusan jelentkezik

Ezen kategóriákon belül helyezkednek el az M-rendszerű és motíf paraméterek. A könnyebb érthetőség érdekében rövid ismertetésre kerül a dolgozatban felhasznált paraméterek jelentése.

2.2 M-rendszerű paraméterek:

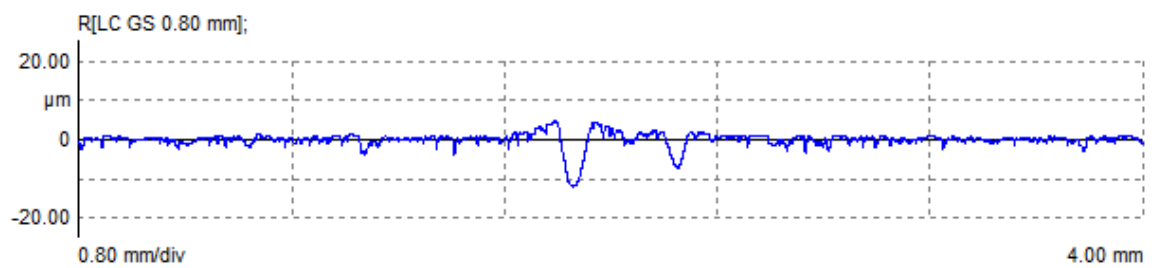
Az M-rendszer lényege a középvonalas (Mean line) szűrés. [5] A felületről készült érdességi profil szüretlenül tartalmazza még az alakhibát, ez a D-profil. Az alakhiba kiszűrése után a felület P-profiljához jutunk, ami már csak a hullámosságot és az érdességet tartalmazza.

P-profil



2.2.1 ábra. A felület P-profilja

Ebből további szűréssel megkapható a W (hullámossági) profil. W-t kivonva P-profilból pedig megmarad az R (érdesség) profil. Erre történik a középvonal ráillesztése, ami alapján már meghatározhatók a következő paraméterek.



2.2.2. ábra. A felület szűrt, R érdességi profilja

Ra: Átlagos érdesség

Az egyik legáltalánosabban használt felületi érdességi mérőszám. Értéke a tényleges profil és a középvonal közötti távolságok abszolút értékeinek átlaga. A felület magasságirányú jellemzésére szolgál.

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |z_i|$$

Rq: Négyzetes középérték

Simasági mérőszám. A tényleges profil és a középvonal közötti távolságok négyzetes középértéke. Szintén a felület magasságirányú jellemzésére szolgál.

$$R_q = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (z_i)^2}$$

Rz: Érdesség magasság

Megmutatja az alaphosszon legmagasabb érdességi csúcs és legmélyebb völgy távolságát. A teljes hosszra vetítve több alaphosszon mért érték átlagából tevődik össze.

$$R_z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_{pi} + z_{vi})$$

Rp: A profil maximális csúcsmagassága

Az alaphosszon a középvonal felett elhelyezkedő maximális csúcsmagasság a kiértékelési hosszon átlagolva.

$$R_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_{pi}$$

Rv: A profil maximális völgmélysége

Hasonló módszerrel kapható meg, mint az Rp értéke. A különbség, hogy a középvonal alatt elhelyezkedő legmélyebb völgyeket vesszük a kiértékelési hosszon átlagolva.

$$R_v = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_{vi}$$

Rsk: Ferdeségi mérőszám

A profil magasságeloszlás függvényének alakját, a középvonallhoz viszonyított aszimmetriáját jellemzi. Értéke negatív, ha a magasságeloszlás görbe hosszabbik része a közvonal feletti területre tolódik el, ellentétes esetben pozitív. A kenés szempontjából kiemelten fontos a paraméter negatív értéke, mely ezzel a kenőanyag megtartásához ideális völgyeket képez.[1] Pozitív értéke esetén a felület túszerű csúcsai kedvezőtlen kopási tulajdonságokat eredményeznek, a csúcsok „letörésével” járó kopadék szemcsék miatt.

$$R_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \left(\frac{1}{lr} \int_0^{lr} |z^3(x)| dx \right)$$

Rku: Lapultsági mérőszám

A profil magasságeloszlásának csúcsosságát, szórásterjedelmét jelenti. Gaussi felületek esetében Rku=3. Magas értéke a profilban kiugró csúcsokra vagy völgyekre utalhat. Magas Rku érték negatív Rsk értékkel párosítva a már említett kenőanyag megtartására kiválóan alkalmas mély völgyeket jelent. Pozitív Rsk értékkel párosítva azonban csúcsosság okozta problémák erősebben jelentkeznek. Kenés szempontjából tehát negatív Rsk és magas Rku az optimális párosítás.

$$R_{ku} = \frac{1}{R_q^4} \left(\frac{1}{lr} \int_0^{lr} z^4(x) dx \right)$$

Wa: Hullámossági profil közepes eltérése

Értelmezése tekintetében megegyezik Ra paraméterrel, de a hullámossági és a szűretlen profilt jellemzi.

$$W_a = \frac{1}{l} \int_0^l |z(x)| dx$$

Wt: Hullámossági profil maximuma

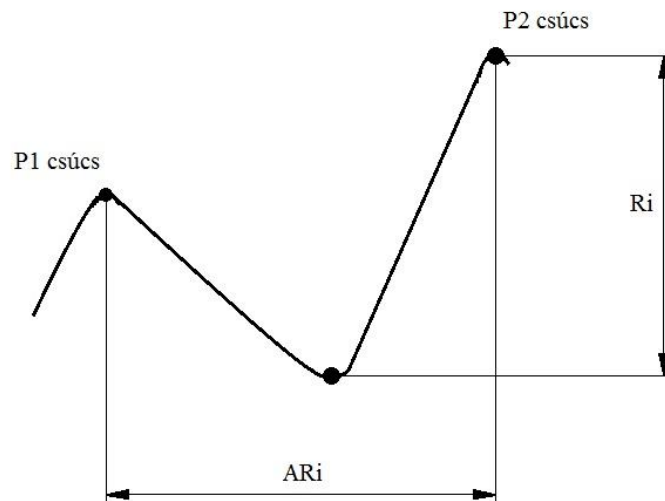
A kiértékelési hosszon a legnagyobb és legalacsonyabb érték közötti távolságot vesszük, átlagolás nélkül.

$$W_t = z_p^{max} + z_v^{min}$$

2.3 Motif rendszerű paraméterek:

Motif rendszer esetén nincs közép vonal. A motif alapelve, hogy a mért profil egyes részei bizonyos feltételek mellett elhanyagolhatók. Motifnak a profilban lévő két szomszédos csúcs közötti profilszakaszt nevezünk. Két szomszédos motif összevonásához négy feltételnek szükséges teljesülnie:

1. Burkoló görbe feltétel: Két motif közös csúcsa kisebb legyen, mint a szomszédos csúcsok valamelyike.
2. Szélességi feltétel: Az összevonás akkor megengedett, ha annak eredményeképpen kapott motif szélessége nem nagyobb a vizsgált egyenetlenségre rögzített határértéknél.
3. Növelési feltétel: Az összevonás nem csökkentheti a motifok jellemző mélységét
4. Viszonyítási feltétel: Két szomszédos motif kombinációja csak akkor megengedett, ha valamelyik jellemző mélysége kisebb, mint az összevonással létrejövő motif jellemző mélységének 60 %-a.



2.3 ábra. Érdességi motif vázlata

Az összevonásokat követően meghatározhatók a profil motif paraméterei. Az AR érdességi motifhossz a motifok szélességének átlagát jelenti.

R: Motifok átlagos magassága

A motifok közepes magasságának átlaga.

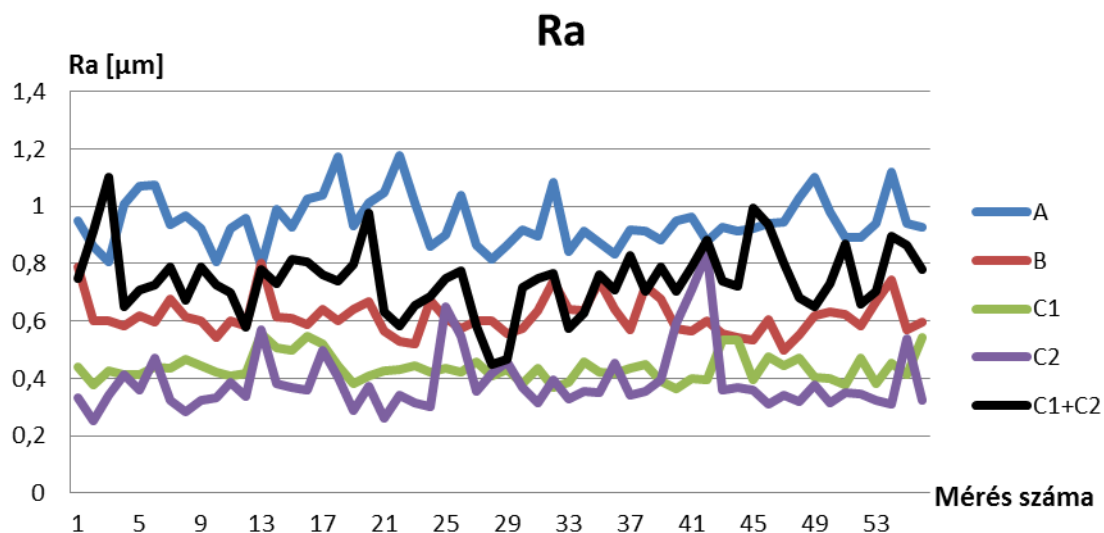
$$R = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m H_j \quad m = 2n \quad VAGY \quad R = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^{2n} R_i$$

3. Az eredmények kiértékelése

Korábban említésre került, hogy a munkadarab két különböző geometriájú felületén zajlott le a mérés. Egy sík és egy hengeres felületen. Ezáltal a kiértékelésben két részre bontva kerülnek elemzésre az eredmények. Előbb a sík, majd a hengeres felület eredményei kerülnek tárgyalásra.

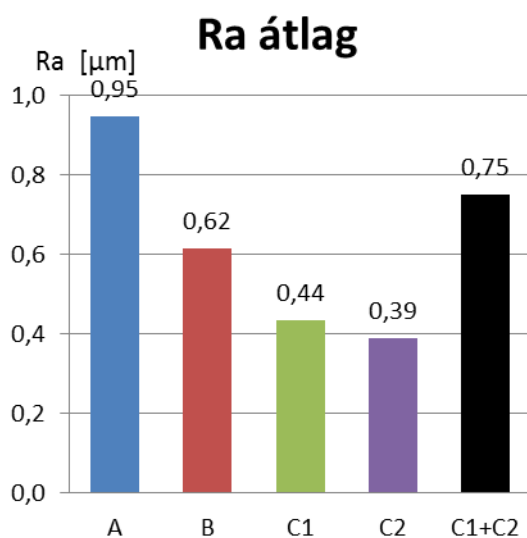
3.1 Sík felületen mért eredmények elemzése

Ra (átlagos érdesség)

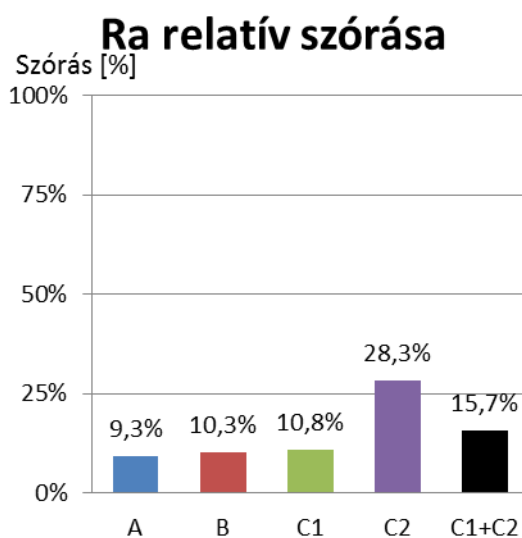


3.1.1 ábra. Sík felületen mért összes Ra érték, megmunkálásonként ábrázolva

A felső ábrán a teljes méréssorozat Ra eredményei láthatók, amik a sík felületen kerültek felvételre. Minden görbe az átlagos érdesség változását mutatja mérésről mérésre adott felületen. Ez a diagram magába foglalja az érdességi értékek mellett a szórások szemléltetését. Pontosabb elemzéshez érdemes további két részre bontani a diagramot.



3.1.1/a ábra. Ra értékek átlaga

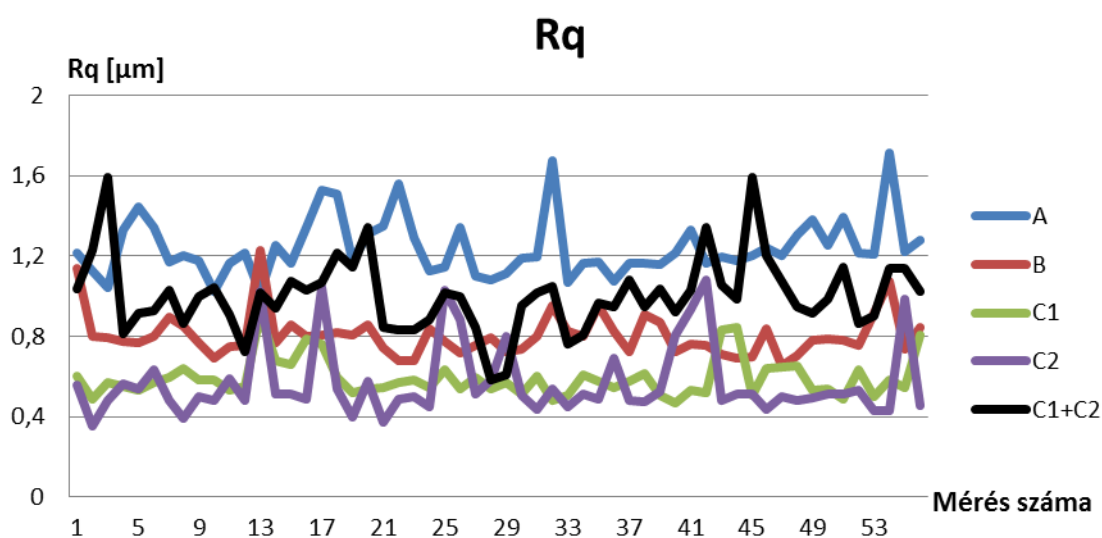


3.1.1/b ábra. Ra értékeinek szórása

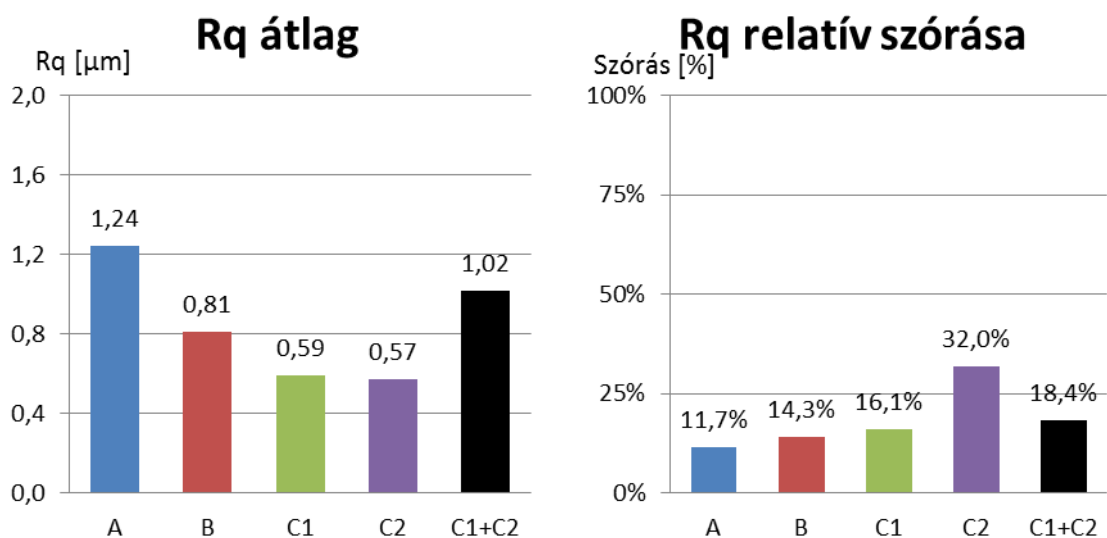
A két új diagram bevezetésével már tisztábban látható, amit 3.1-es ábra bemutat. A porkohászati technológiával készült előgyártmány (A) rendelkezik a legmagasabb átlagos érdességi értékkel az átlagot tekintve. Ezt követően a felületmódosító (B), majd a finommegmunkáló eljárások külön-külön (C1;C2) rendre javítanak a felület átlagos érdességén. A két finommegmunkáló eljárás kombinációja viszont nem hozza az elméletben elvárt javulást az együtt alkalmazásuk következtében, sőt, közel az előgyártmány érdességi szintjére rontja a felület minőségét.

Szórás tekintetében, már módosul a megmunkálások sorrendje. Az átlagos érdességi értéket tekintve legjobban szereplő C2 eljárás éri el messze a legrosszabb értéket. Ezt követi a C1+C2 kombinációja, ami már közel a felére csökkenti a szórást ugyan, de még mindig magasabb értékkel bír, mint az A, B és C1 eljárás, amik 10% körül mozognak.

Rq (négyzetes középérték)



3.1.2. ábra. Sík felületen mért összes Rq érték, megmunkálásonként ábrázolva



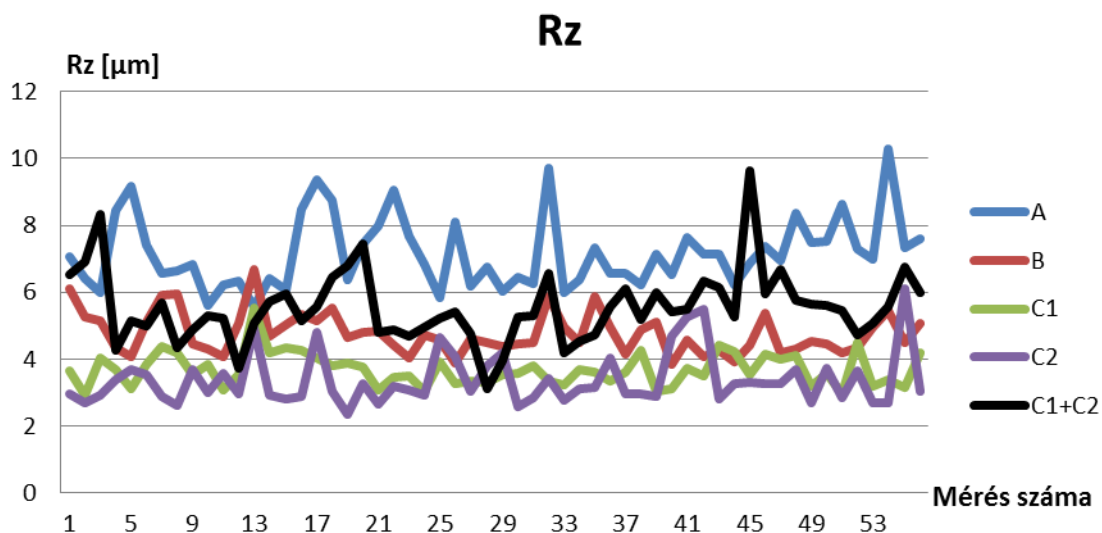
3.1.2/a ábra. Rq értékek átlaga

3.1.2/b ábra. Rq értékeinek szórása

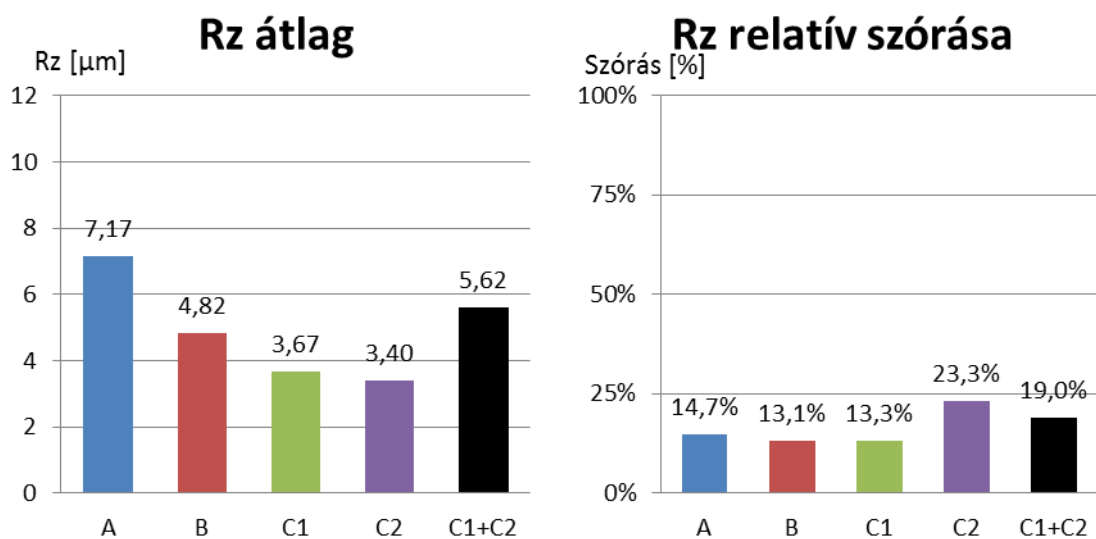
Az előző paraméterhez hasonlóan Rq értékénél is a 3 diagramos megjelenítést alkalmaztam. Az eredmények nagy hasonlóságot mutatnak Ra eredményeivel.

Megfigyelhető viszont, hogy C1 értékeiben már alig-alig marad el C2 értékeitől, átlagban is mindössze két század a különbség úgy, hogy közben a szórása szinte pontosan a fele C2 értékeinek. C1+C2 kombinációja továbbra is gyengébb értékeket ér el átlag tekintetében, mint a külön-külön alkalmazva, szórásban pedig Ra-nál tapasztalthoz hasonlóan csak a C2-höz képest tud javítani.

Rz (érdesség magasság)



3.1.3. ábra. Sík felületen mért összes Rz érték, megmunkálásonként ábrázolva



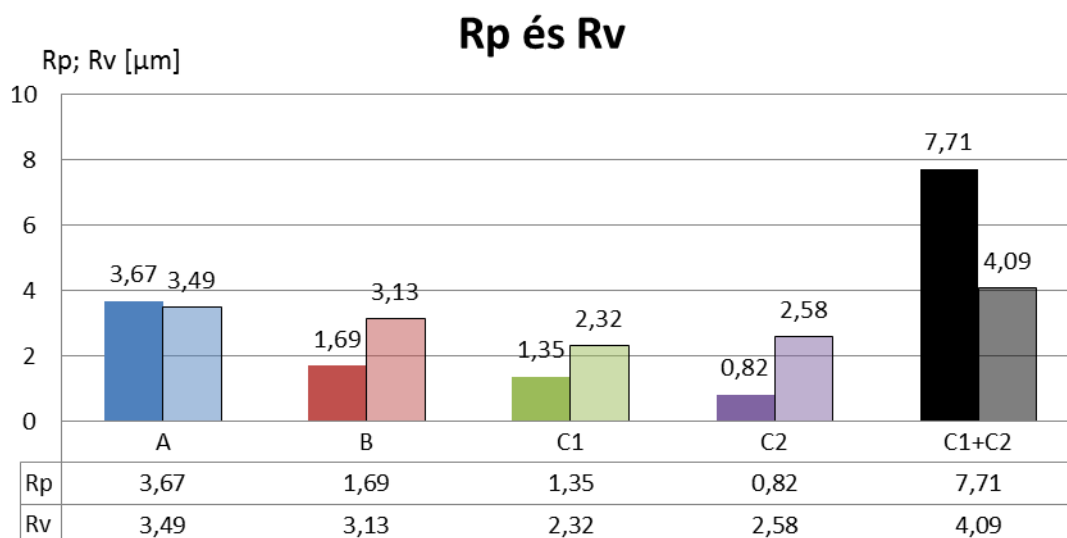
3.1.3/a ábra.. Rz értékek átlaga

3.1.3/b ábra. Rz értékeinek szórása

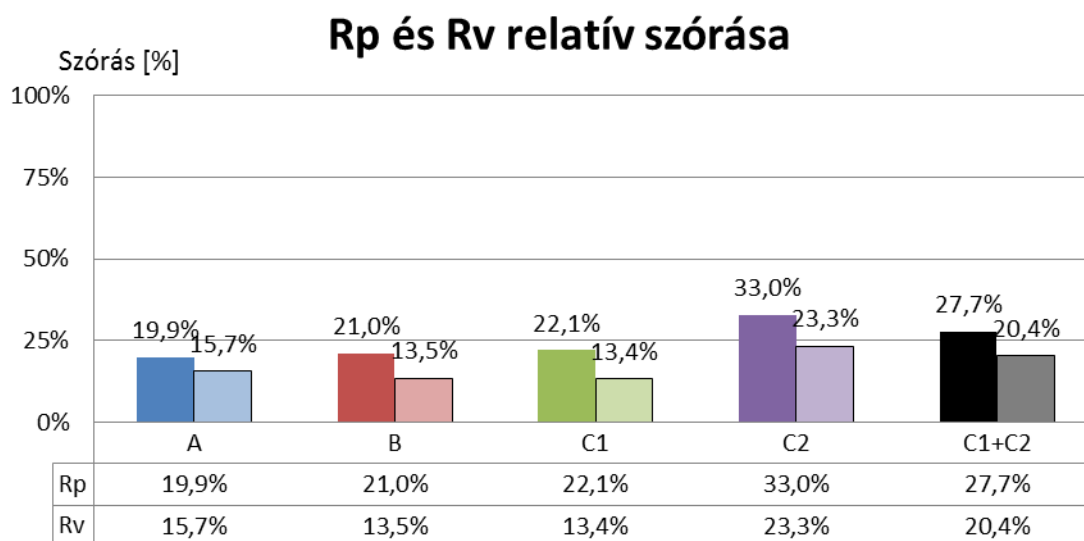
Rz értéke jelentős információkat hordoz. Definíció szerint „Megmutatja az alaphosszon legmagasabb érdességi csúcs és legmélyebb völgy távolságát. A teljes hosszra vetítve több alaphosszon mért érték átlagából tevődik össze.”. Tehát ez a paraméter nemcsak a minőségi sorrend szempontjából, hanem a felületi egyenetlenségének szempontjából is. Az A jelű előgyártmány felületéhez társított 7,17 μm -es érték tehát azt jelenti, hogy a felületén hiába volt az átlagos érdesség 0,95 μm , mégis átlagosan 7 μm körüli ugrások is megtalálhatók a felületen függőleges irányban. Itt jól látszik a felületmódosító és finommegmunkáló eljárások előnye, ugyanis közel a felére csökkentik ezen a felületen

lévő kiugrásokat és völgyeket, mondhatni „kisimítják” a felületet. Mindez addig igaz, amíg C1 és C2 nem kerül kombinálásra. Amint ez megtörténik, sajnos újra magasabb kiugrások és mélyebb völgyek kezdenek el létrejönni, az előgyártmány minősége felé tolva a felület minőségét. A befektetett plusz munka által tehát romlik a felület minősége. Szórás tekintetében követik az eljárások az eddigi mintát.

Rp (maximális csúcsmagasság) és Rv (maximális völgymélység)



3.1.4. ábra. Sík felületen mért Rp és Rv értékek átlaga

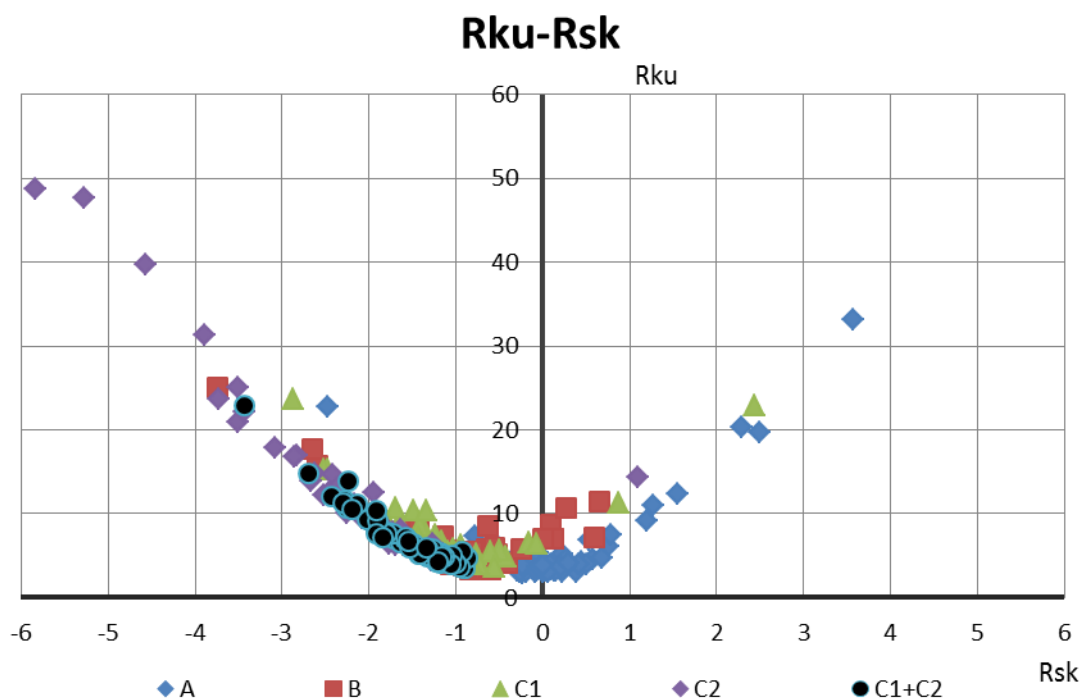


3.1.5. ábra. Sík felületen mért Rp és Rv értékeinek relatív szórása

Rp és Rv paramétereket érdemes az eddigiektől eltérően ábrázolni, mivel mindkettő középvonaltól mért távolságot mutat, csak Rp a legmagasabb csúcs és a középvonal távolságát, míg Rv ennek ellentétét, a legmélyebb völgy és a középvonal távolságát mutatja. A kettőt egymás mellett ábrázolva tehát a felület érdességének szimmetriájáról kaphatunk információt. „A” előgyártmánynál például a 3.1.4-es ábra alapján átlagosan közel szimmetrikus, a csúcsok és völgyek magassága. Tehát a csúcsok és a völgyek szinte azonos mértékben térnek ki a középvonaltól. Ezzel szemben viszont, amint sor kerül a további eljárásokra, -B, C1, vagy C2 eljárást alkalmazva- veszít a szimmetrikusságából, a

csúcsok kisebbek lesznek, amíg a völgyek mélysége alig csökken. Ami tribológiai szempontból pozitívum, mivel a kisebb csúcsok által javulnak a súrlódási tulajdonságok. Ez a tendencia egyedül C1+C2-nél fordul meg, ott ugyanis, hatalmas csúcsok keletkeznek az eljárás következtében, amíg a völgyek mélysége csak minimálisan változik. Szórásban az eddigi tendencia folytatódik.

Rku (lapultsági mérőszám) és Rsk (ferdeségi mérőszám)

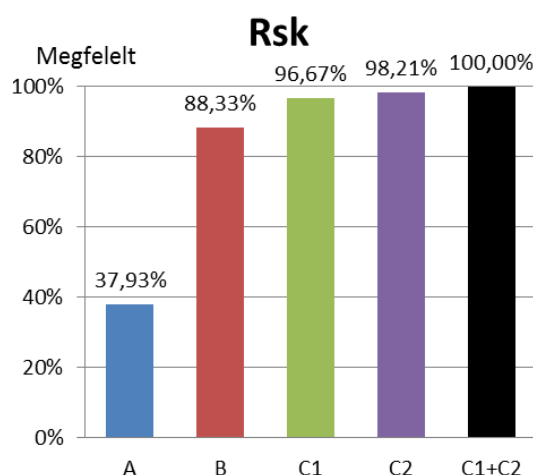


3.1.6. ábra. Sík felületen mért Rsk értékei Rku függvényében ábrázolva

Rku és Rsk kapcsolatát szintén érdemes más nézőpontból megvizsgálni. A dolgozat egyik fő kérdése, a felület kenési tulajdonságainak leírása szempontjából ez az egyik legfontosabb paraméter kapcsolat. Akkor a legkedvezőbbek a kenési tulajdonságok, ha Rsk értéke negatív tartományba esik, amelyhez lehetőség szerint minél nagyobb Rku érték társul.[1] Tehát ahhoz, hogy megtudjuk, a darabok mekkora része felelt meg ennek a követelménynek, szükség van egy új diagramra.

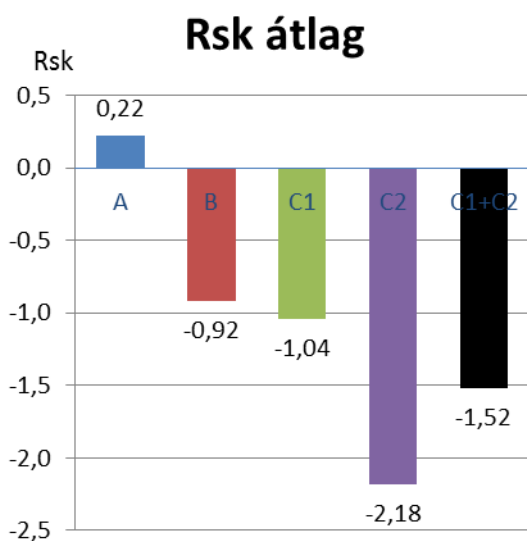
Az új diagram az egyes megmunkálásokon belül a negatív Rsk feltételnek eleget tevő darabok számát adja meg, a teljes minta viszonyában. C1+C2 kombinációja először hoz a többenél jobb eredményt. A sík felületen mért teljes minta minden egyes darabja megfelel a jó kenéshez szükséges egyik feltételnek.

Ennek meredek ellentéte az előgyártmány, amin szintén jól megmutatkozik, hogy a

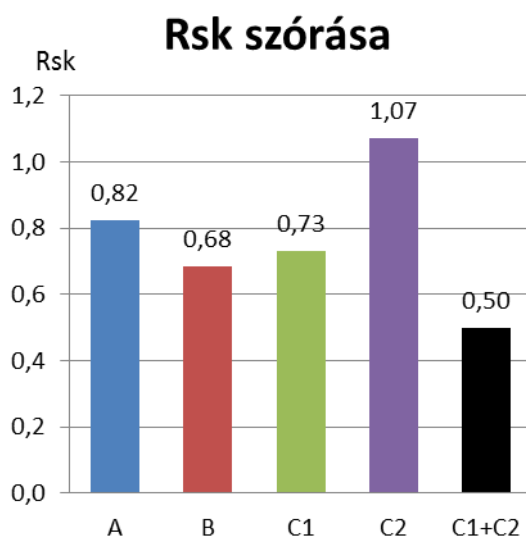


3.1.6/a ábra. Rsk-ban megfelelt darabok aránya a teljes mintából

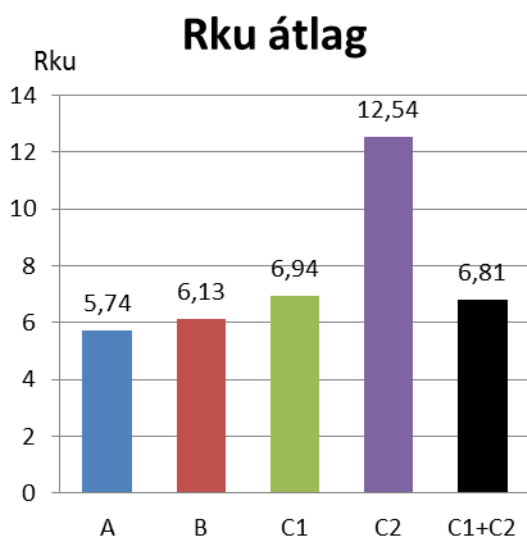
felülete nem lett kezelve finommegmunkáló eljárás által. A darabok alig 40%-a felel meg ennek a tribológiai feltételnek. B megmunkálás rögtön több mint duplájára növeli a megfelelt darabok arányát. C1 és C2 pedig alig marad el attól, hogy minden darab megfeleljen.



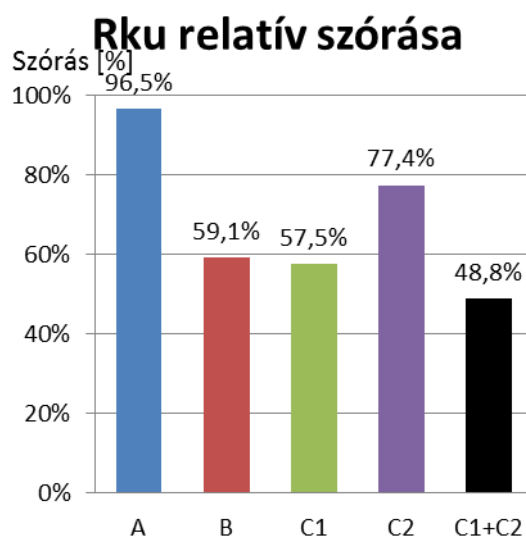
3.1.6/b ábra. Rsk értékek átlaga



3.1.6/c ábra. Rsk értékeinek szórása



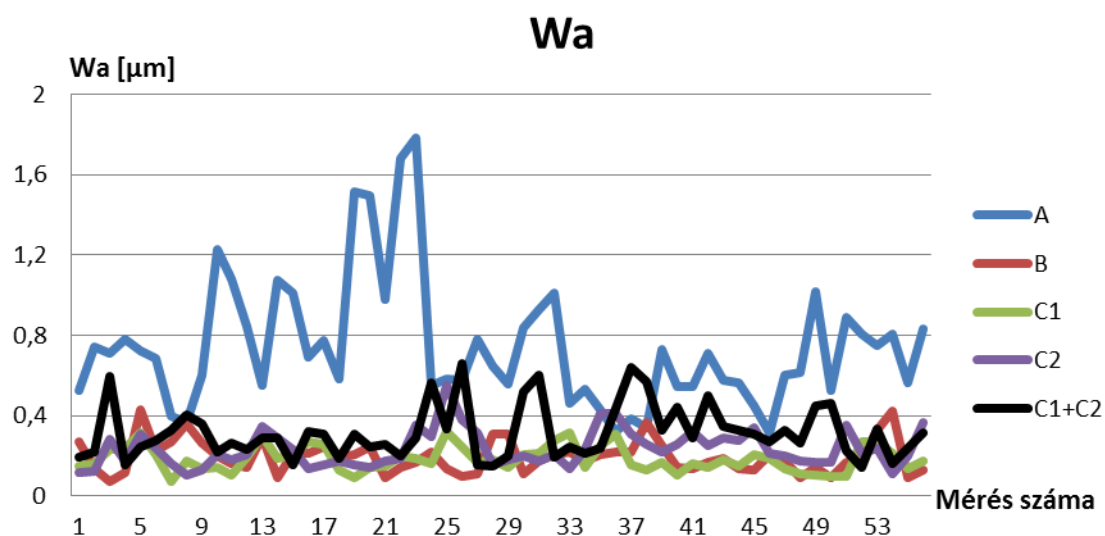
3.1.6/d ábra. Rku értékek átlaga



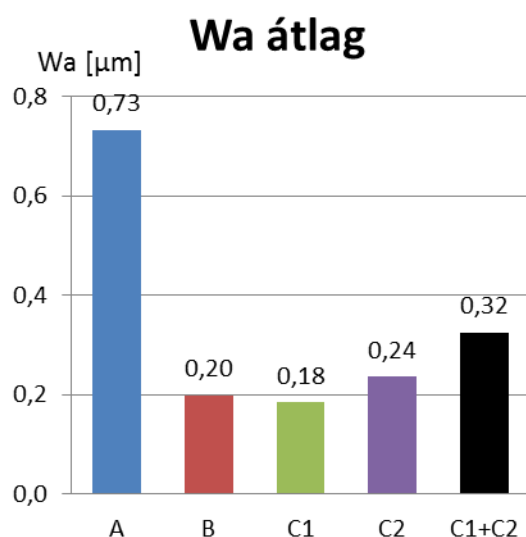
3.1.6/e ábra. Rku értékeinek szórása

Érdemes külön-külön is elemezni Rsk és Rku értékek átlagait és szórásait. Rsk és Rku átlagértékében a C2 eljárás éri el a legjobb eredményt, de emellé magas magas szórás párosul, mind a két paraméter esetében. Ennél magasabb szórást csak az előgyártmány tud elérni Rku-ban. C1+C2 Rsk-ban a második legjobb átlaggal rendelkezik, míg szórásban a legalacsonyabb értéket birtokolja, mind Rsk-ban, mind Rku-ban. Ismét egy terület tehát, ahol profitálni lehet a két eljárás kombinációjából. Az alacsony szórásnak köszönhetően több érték tudott a megfelelő tartományban maradni..

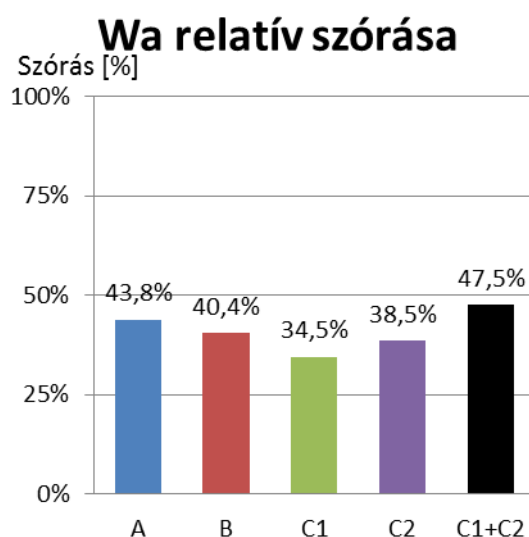
Wa (hullámossági profil közepes eltérése)



3.1.7. ábra. Sík felületen mért összes Wa érték, megmunkálásonként ábrázolva



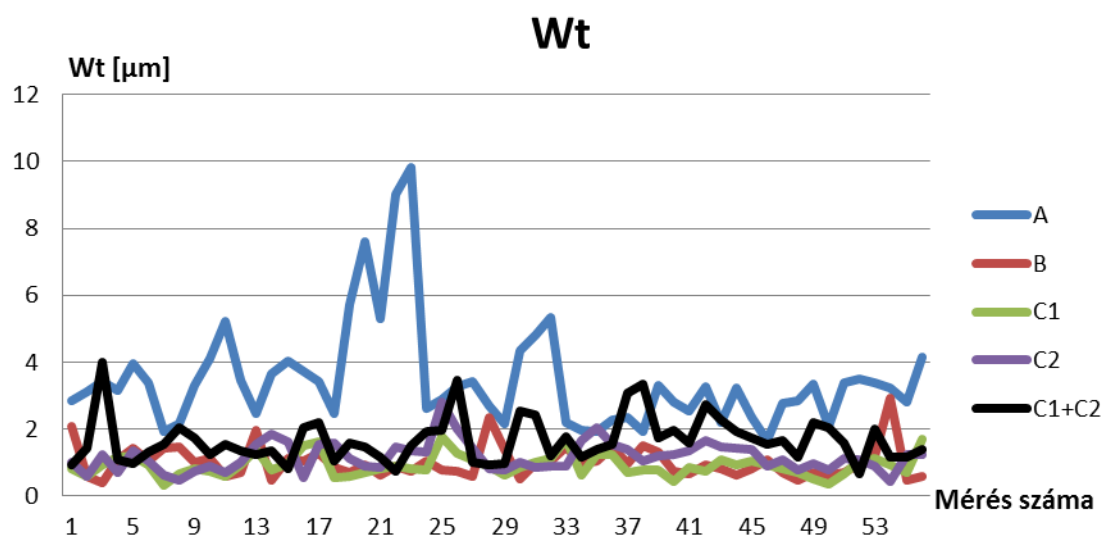
3.1.7/a ábra. Wa értékek átlaga



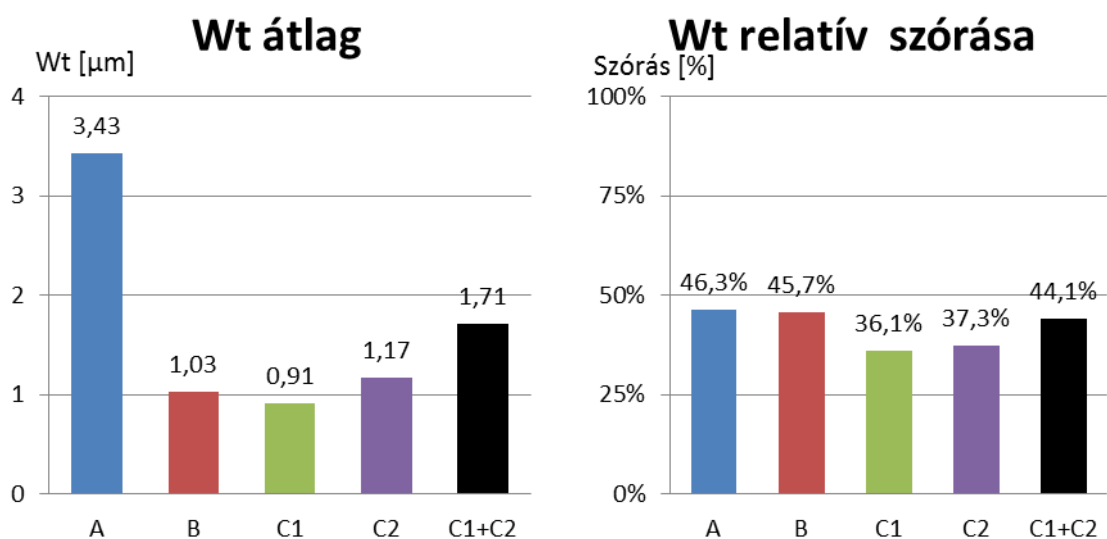
3.1.7/b ábra. Wa értékeinek szórása

A hullámossági profil közepes eltéréseinél megfigyelhető, hogy az előgyártmány kiugróan magas értékeket ér el, nagy szórással. Ezen B, C1 és C2 nagy mértékben képest javítani, bár saját átlagukhoz képesti relatív szórás szinte azonos marad. C1+C2 eljárással újra romlanak az értékek és a szórások egyaránt.

Wt (hullámossági profil maximuma)



3.1.8. ábra. Sík felületen mért összes Wt érték, megmunkálásonként ábrázolva

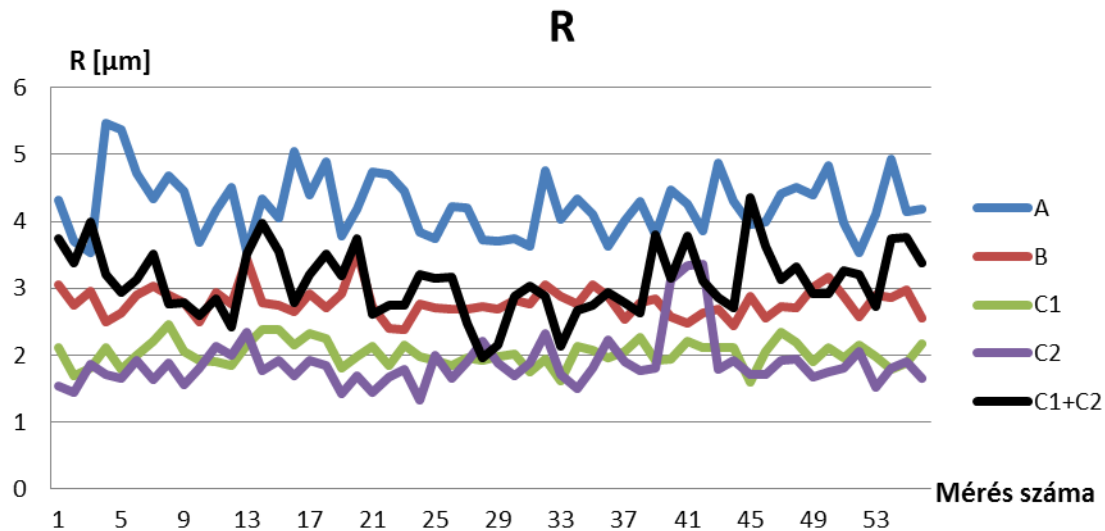


3.1.8/a ábra. Wt értékek átlaga

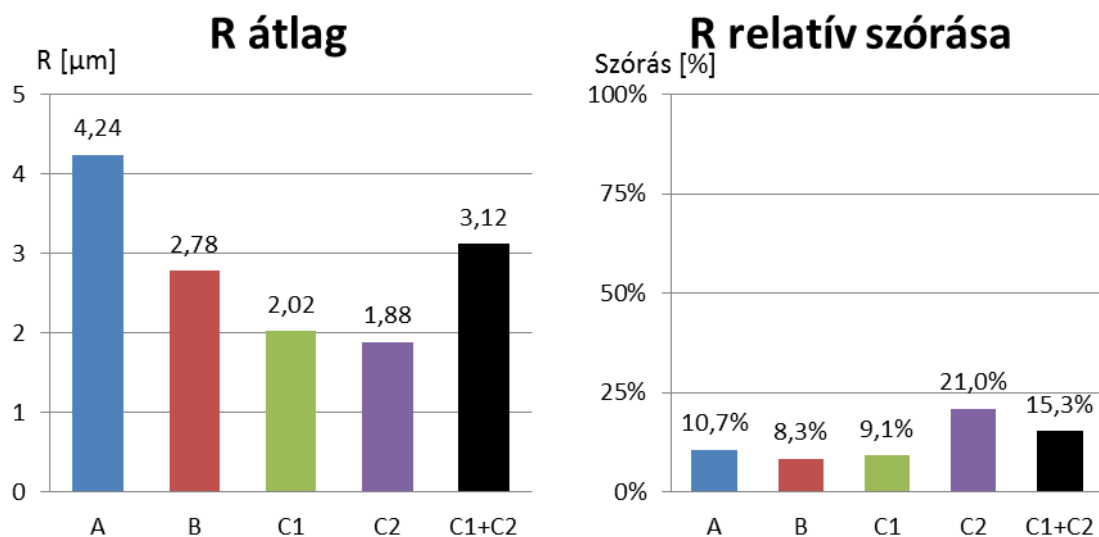
3.1.8/b. ábra. Wt értékeinek szórása

Wt paraméter 3.1.8-as ábrája nagy hasonlóságot mutat Wa ábrájával, a különbség azonban a nagyságrendekben rejlik. Az előgyártmány (A) értéke megközelíti akár a 10 μm -es legmagasabb és legmélyebb pont között tartományt a profilban. Átlagértékeiben ez meg is mutatkozik, közel a háromszorosa a többi eljárás értékének. Szórás tekintetében hasonló folyamat játszódik le, mint korábban, azaz az átlagértékek ugyan csökkennek, de szórástartományuk közel azonos, vagy minimálisan jobb lesz az előgyártmány értékeinél.

R (érdeességi motífovok átlagos magassága)



3.1.9. ábra. Sík felületen mért összes R érték, megmunkálásonként ábrázolva



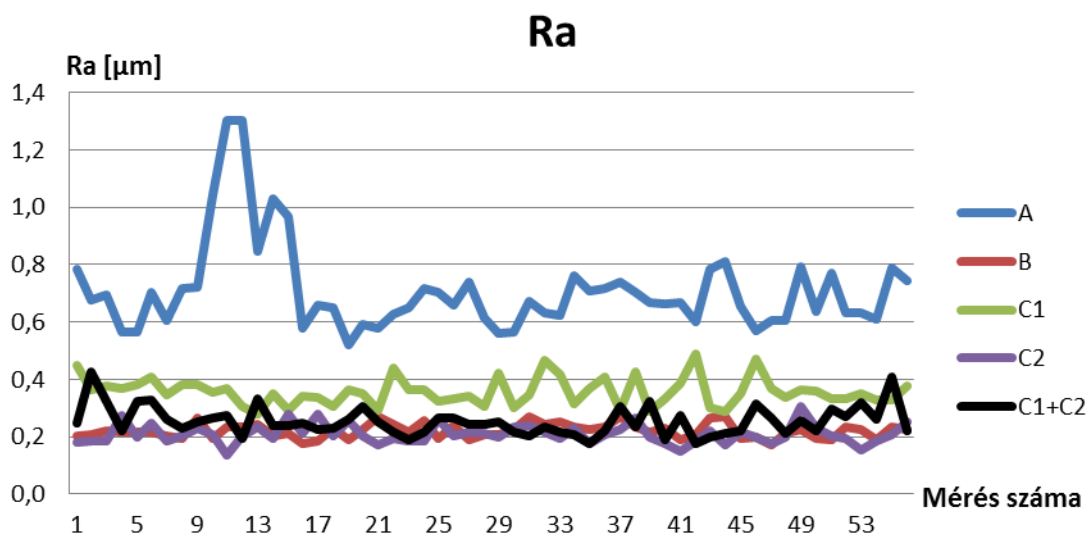
3.1.9/a. ábra. R értékek átlaga

3.1.9/b ábra. R értékeinek szórása

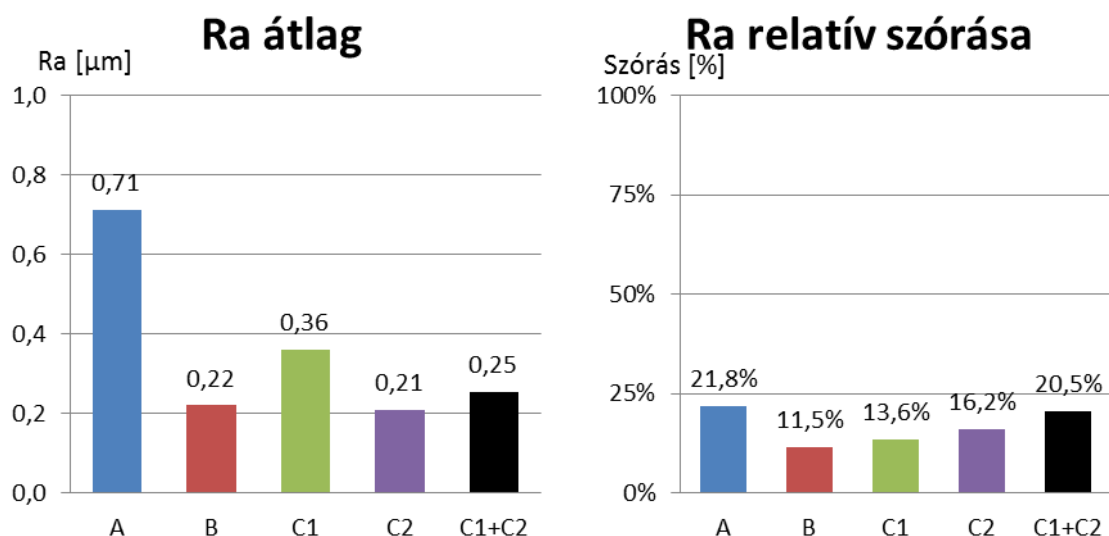
A M-rendszerű paramétereiről a motív rendszerre áttérve az R paraméter kerül elemzésre. Pusztán a 3.1.9-es ábra alakját nézve, szinte rá lehetne illeszteni az Ra diagramjára. A mérési tartományban mutatkozik meg azonban a különbség. Sorrendet tekintve változatlan a helyzet, továbbra is az előgyártmány rendelkezik a legrosszabb felületi minőséggel, a C2 a legjobbal, a C1+C2 kombinációja pedig ugyancsak minőségromlást okoz. Szórások tekintetében is változatlan a sorrend, a C2 közel kétszer akkora szórással rendelkezik, mint az A, B és C1 eljárás. C1+C2 az előbbi három és C2 szórási értéke között helyezkedik el.

3.2 Hengeres felületen mért eredmények elemzése

Ra (átlagos érdesség)



3.2.1. ábra Hengeres felületen mért összes Ra érték, megmunkálásonként ábrázolva

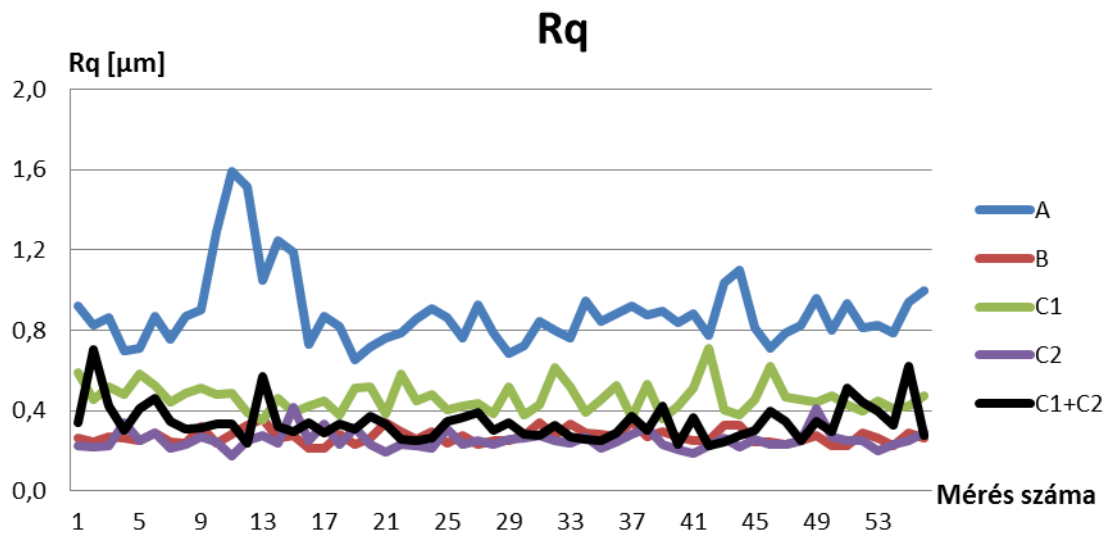


3.2.1/a. ábra. Ra értékek átlaga

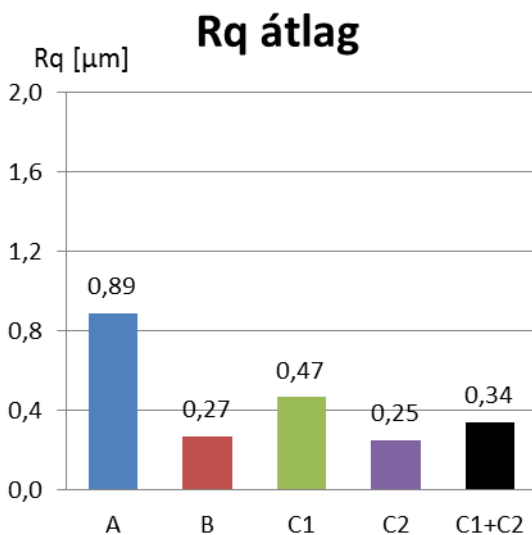
3.2.1/b. ábra. Ra értékeinek szórása

Hengeres felületre áttérve jelentősen megváltoznak az eredmények. Sík felületen az előgyártmányt adó A megmunkálás néhol C1+C2-vel azonos értékeket volt képes elérni, hengeres felületen azonban határozottan elszakad a többi négy eljárástól Ra értékeiben. Átlagértékekben még a négy közül leggyengébben szereplő C1 eljáráshoz képest is majdnem kétszeres a különbség. B és C1 szinte azonos átlagos érdességet érnek el, szórásban viszont B továbbra is képes jobb értéket elérni. C1 és C2 által elérhető eredmények is megváltoznak. Amíg sík felületen C1 mindössze 0,05 μm-rel volt átlagban elmaradva C2-től, hengeres felületen már 0,15 μm-re nő a különbség a két eljárás között. C2 ezzel a legjobb Ra átlagértéket képes elérni, emellett relatív szórása a korábbi felületen elért 28,3%-os értékről már 16,2%-ra javul. C1+C2 kombinációja sem maradt változatlan. Átlagértékekben már nem rosszabb mindkét összetevőjénél, de C2 értékét még mindig nem tudja elérni. Szórása ezen a felületen a korábbi 15,7%-ról 20,5%-ra növekszik.

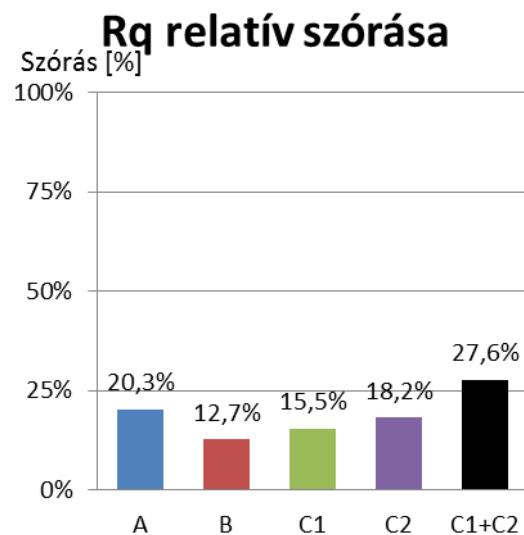
Rq (négyzetes középérték)



3.2.2. ábra Hengeres felületen mért összes Rq érték, megmunkálásonként ábrázolva



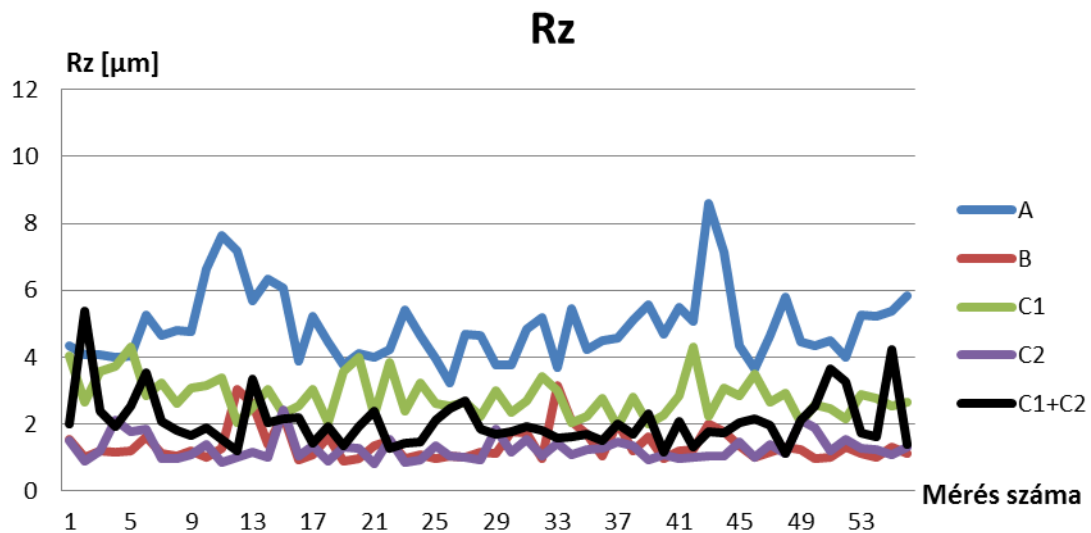
3.2.2/a ábra. Rq értékek átlaga



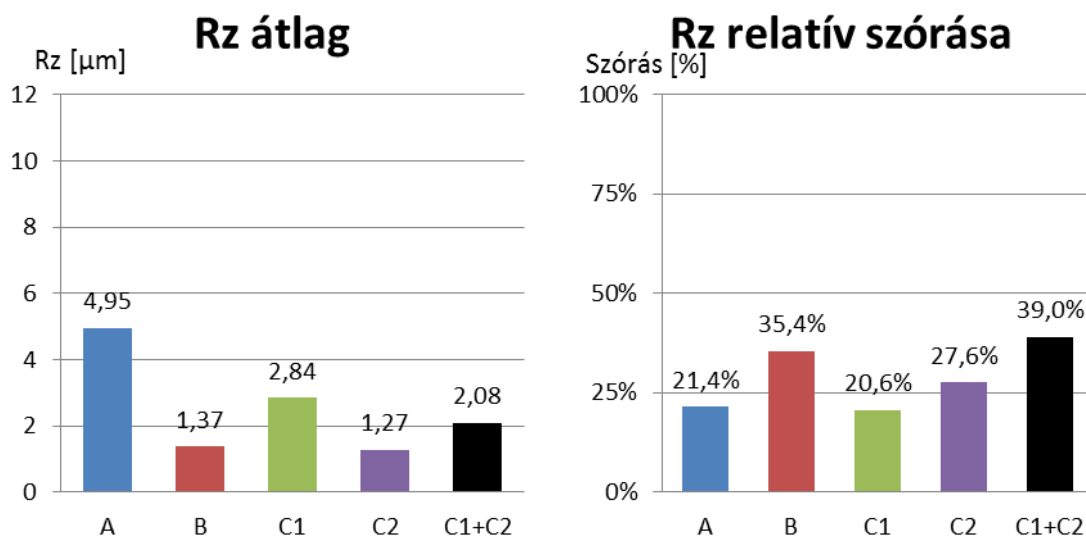
3.2.2/b ábra. Rq értékeinek szórása

Rq értékeit tekintve nagyon hasonlóak az eredmények, mint Ra esetében. Az érdességi átlagok és a relatív szórás értékei több-kevesebb mértékben szinte minden eljárásnál nőttek, míg a sorrend egy kivételével változatlan maradt. C1+C2 finommegmunkáló eljárás ismét gyengébb eredményt ér el, mint C2 önmagában, viszont a szórása itt az Ra-nál tapasztalt 20,5%-ról 27,6%-ra nő. Az előgyártmányt adó technológia Rq-ban sem tud jobb eredményeket elérni, érdesség tekintetében többszörös a különbség a többi eljáráshoz képest továbbra is.

Rz (érdesség magasság)



3.2.3. ábra. Hengeres felületen mért összes Rz érték, megmunkálásonként ábrázolva

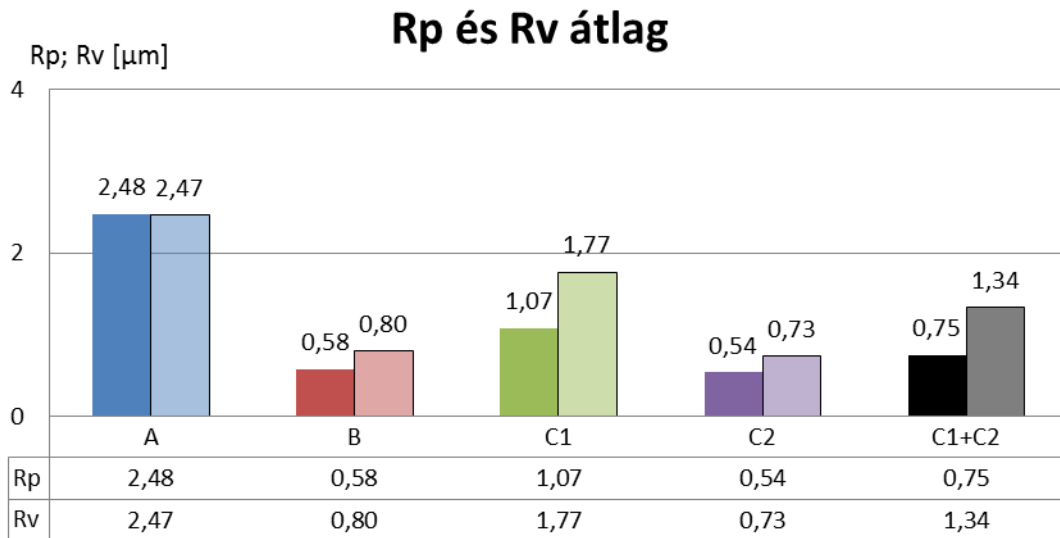


3.2.3/a ábra. Rz értékek átlaga

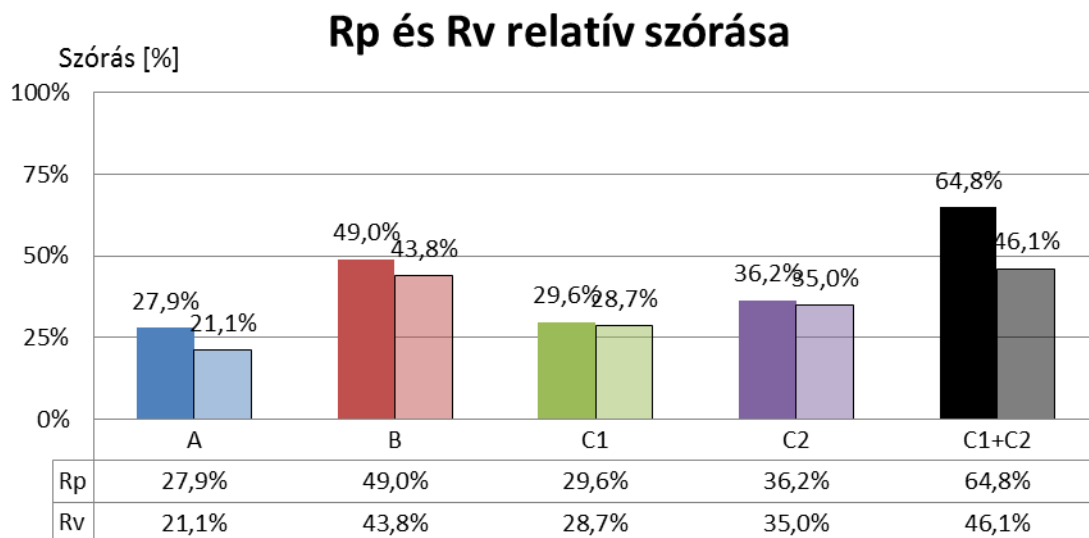
3.2.3/b ábra. Rz értékeinek szórása

Rz érdességi paraméter az alaphosszon mért legmagasabb csúcs és legmélyebb völgy távolságát mutatja meg a kiértékelési hosszra átlagolva. Tehát ez a paraméter az esetleges nagyobb hibákat már kiemelten veszi figyelembe R_a és R_q -hoz képest. Ez B technológiánál már erősebben láttat néhány problémát. Amíg átlagértékében alig marad el C2-től, ami a legkisebb érdesség magasságot éri el, addig szórása az előzőekben elért legjobb eredményhez képest ~12%-ról több, mint a duplájára, 35,4%-ra nő. Az átlagban mért felületi minősége tehát hiába megfelelő B-nek, értéktartása nem túl jó ennél a paraméternél. C1+C2 kombinációja továbbra is két alkotója közé ékelődik be, szórásban pedig alulmarad mindkettőhöz képest. Az A megmunkálás a többihez képest jó relatív szórással rendelkezik, de ebben sajnos szerepet játszik az, hogy még mindig többszörös a különbség a felület érdesség magasságának átlagában.

Rp (maximális csúcsmagasság) és Rv (maximális völgymélység)



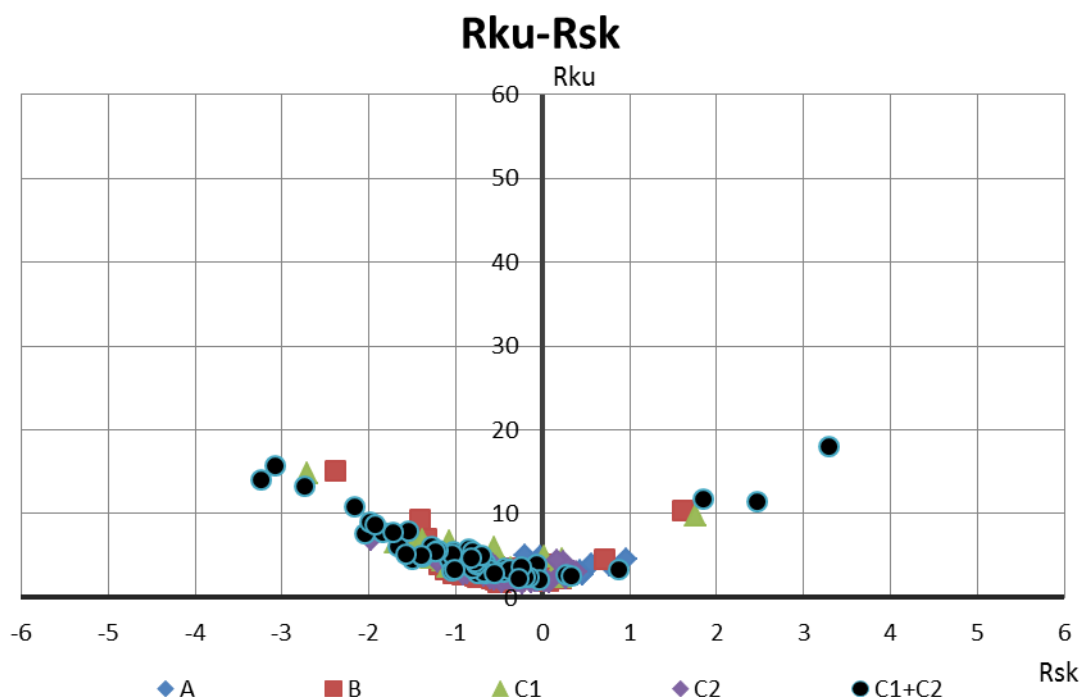
3.2.4. ábra. Hengeres felületen mért Rp és Rv értékek átlaga



3.2.5. ábra. Hengeres felületen mért Rp és Rv értékeinek szórása

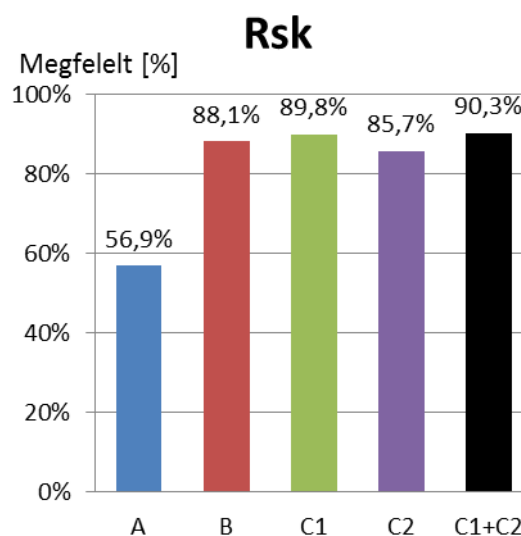
Ahogy korábban, Rp-t és Rv-t ismét érdemes közös diagramban ábrázolni. A felületen lévő kiugrások szimmetriájáról ezzel fontos információk nyerhetők ki. A bal oszlop Rp-t, azaz az érdességi profilban a középvonal és a legmagasabb csúcsok átlagát jelenti a kiértékelési hossz. A jobb oszlop pedig Rv-t, az előbbi ellentétéként a középvonal alatti legmélyebb völgyek átlagát jelenti a kiértékelési hossz. „A” megmunkálás két átlaga még jobban közeledett egymáshoz, mint a sík felület esetében. Átlagukban alig egy század mikrométer az eltérés. Tehát az érdesség csúcsok magasságának távolsága és az érdesség völgyek távolsága a középvonaltól átlagban szinte megegyezik az előgyártmány esetében, ami nem megfelelő. A további 4 megmunkálás azonban kivétel nélkül pozitív irányba, a mélyebb völgyek felé tolja el ezt az egyensúlyt. A szórási értékekben itt az előgyártmányt adó megmunkálás tudja elérni a legalacsonyabb értéket, a többi eljárásnál a kiugrások csökkentésével együtt jár a szórás megnövekedése. C1+C2 ismét C1 és C2 közé ékelődik be az átlagot tekintve, szórás értékében azonban Rp és Rv értéke is több mint kétszeresére nő a kiindulási 27,9% és 21,1%-ról 64,8% és 46,1%-ra.

Rku (lapultsági mérőszám) és Rsk (ferdeségi mérőszám)

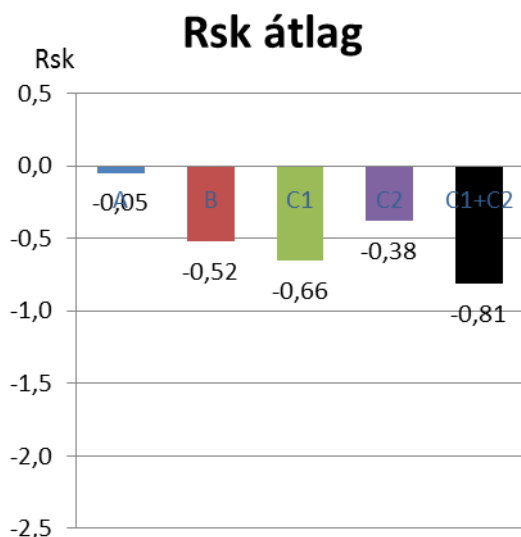


3.2.6. ábra. Hengeres felületen mért Rsk értékei Rku függvényében ábrázolva

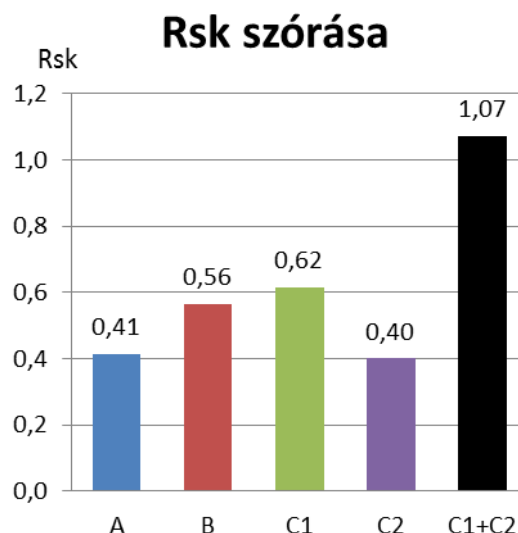
Rku-t és Rsk-t azonos értéktartományban összehasonlítva a sík felület értékeivel, azonnal feltűnik, hogy az értékek közeledtek az origóhoz mindkét tengelyen. Ez a szórás tekintetében némi előrelépést jelent ugyan, Rsk-ban azonban még mindig a negatív tartomány a cél, ezért ott inkább visszalépésről beszélhetünk. Ez a közeledés jól érzékelhető a „megfeleltek” ábráján, ugyanis A megmunkálás kivételével a többi eljárásból kevesebb esett a negatív, vagyis kenési viszonyok szempontjából megfelelő tartományba. „A” megmunkálás a hengeres felületen 56,9%-ban megfelelő területre esett, ami szinte pontosan másfélszeres javulás.



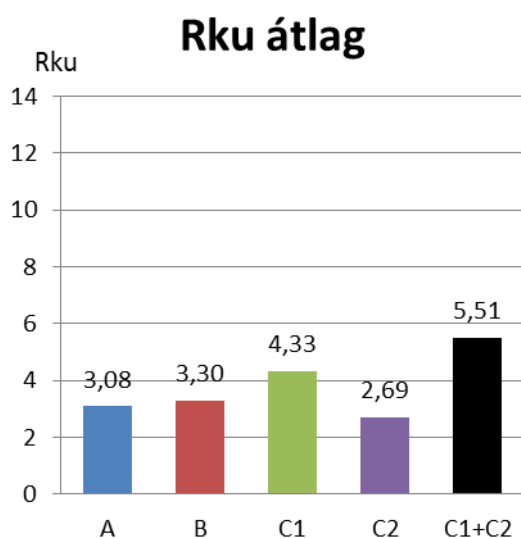
3.2.6/a ábra. Rsk megfelelt értékeinek aránya a teljes mintából



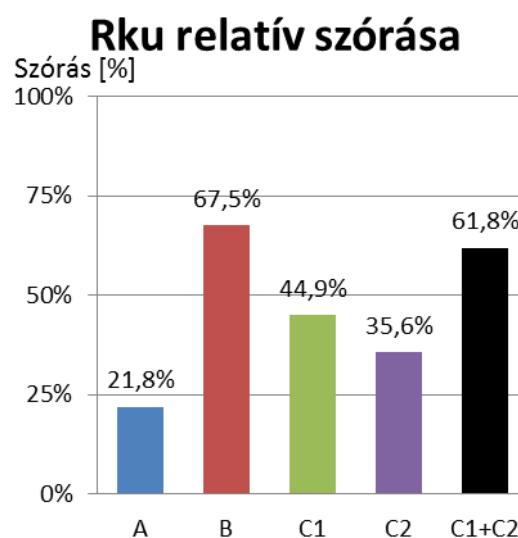
3.2.6/b ábra. Rsk értékek átlaga



3.2.6/c ábra. Rsk értékeinek szórása



3.2.6/d ábra. Rku értékek átlaga

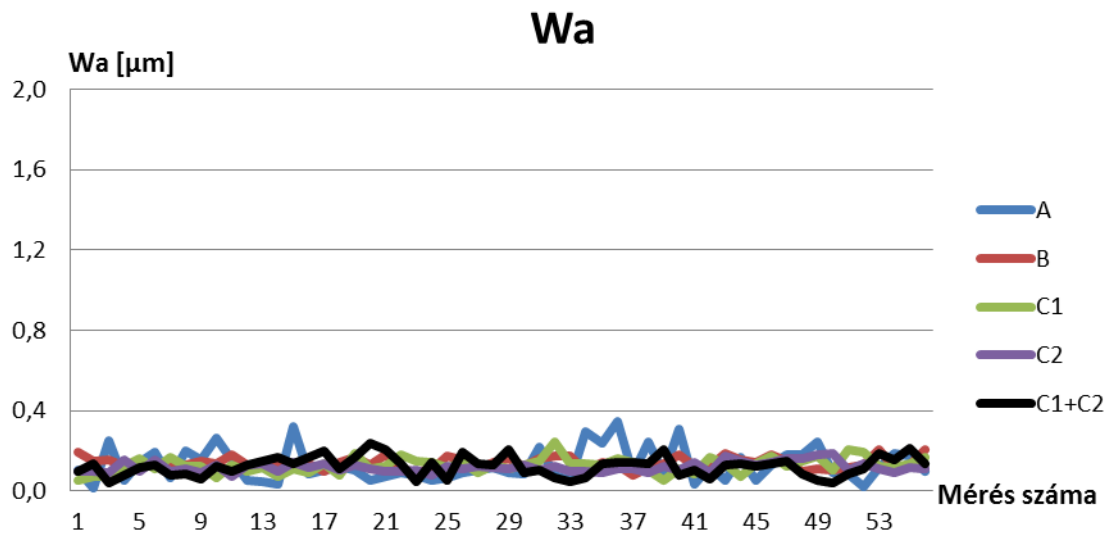


3.2.6/e ábra. Rku értékeinek szórása

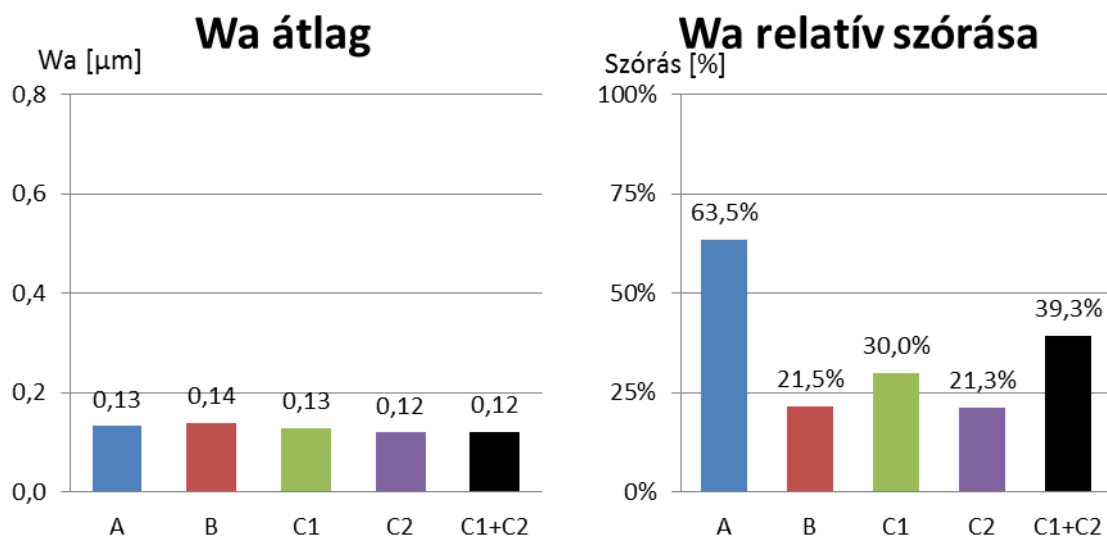
Rsk átlagértékiben immár mind az öt eljárás negatív tartományba tudott érni, még ha A megmunkálás értéke csak pár századdal is került be. Rsk-ban a szórás azonban teljesen megváltozott. Amíg korábban, a sík felületen C1+C2 érte el a legjobb eredményt, 0,50 mikrométeres szórásával, addig a hengeres felületen leggyengébbre, 1,07 mikrométeres értékre változott a szórása. C2-nek 1,07 μm -ról több mint a felére, 0,40 μm -re csökkent a szórása. „A” megmunkálás szórása pontosan feleződött a hengeres felületen.

Rku értékeiben is történtek változások. C2 eljárás sík felületen 12,54-es átlagértéket ért el, ami itt 2,69-re csökkent. Kenési tulajdonságok szempontjából ez visszalépésnek számít, ugyanis megfelelő volt a negatív Rsk mellett a magas Rku érték. Pozitívum viszont, hogy ezzel együtt relatív szórása is csökkent, több mint feleződött. Ezen a felületen C2 tehát sokkal jobb értéktartással rendelkezik. Pozitívan változott még az előgyártmányt adó A megmunkálás relatív szórása, a korábbi meglehetősen nagy értéke (96,5%), meglepő módon, az közel az ötödére csökkent, 21,8%-ra. B eljárás szórása növekedett, C1 eljárás szórása pedig csökkent az eltérő geometrián.

Wa (hullámossági profil közepes eltérése)



3.2.7. ábra. Hengeres felületen mért összes Wa érték, megmunkálásonként ábrázolva

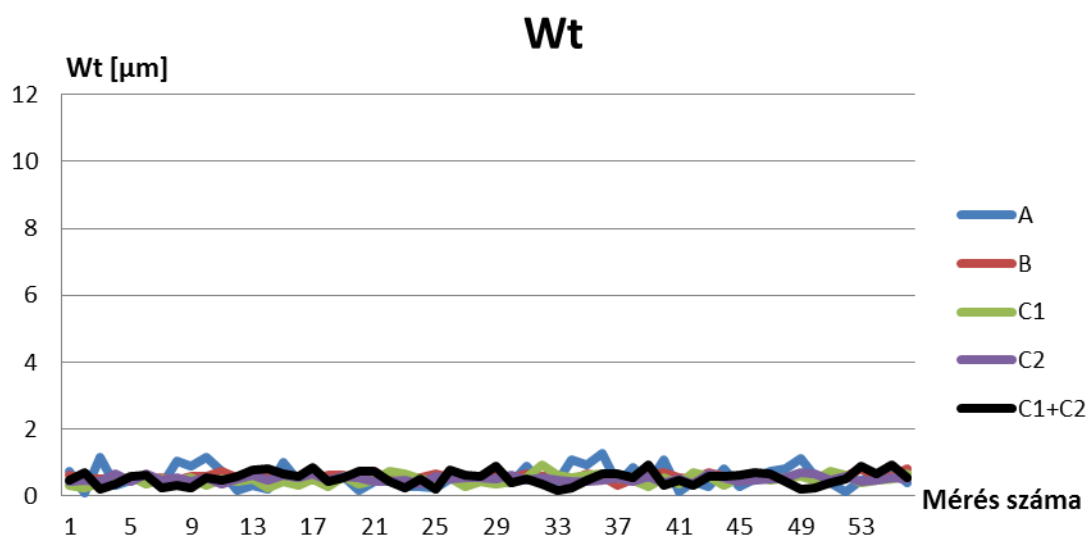


3.2.7/a ábra. Wa értékek átlaga

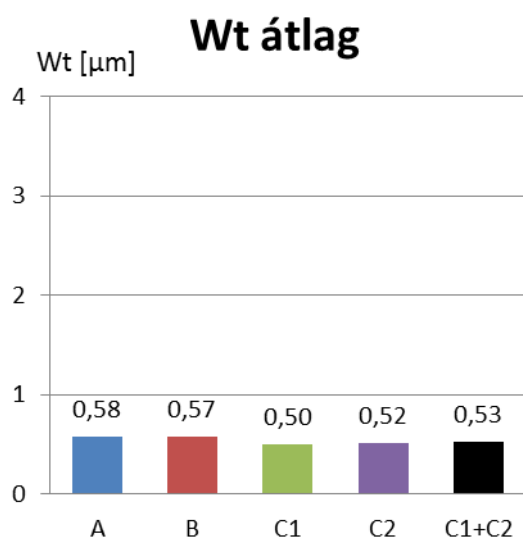
3.2.7/b ábra. Wa értékeinek szórása

Hullámossági paraméterre áttérve nagymértékű változás tapasztalható a sík felületen mért hullámosság értékeihez képest. Az átlagértékek egységesen 0,13 μm körüli értéket vettek fel. A legnagyobb javulás A megmunkálásnál tapasztalható, ott a korábbi 0,73 μm-ről csökkent 0,13 μm-re a hullámosság értéke. Szórásban azonban nem teljesített ilyen jól az előgyártmányt adó megmunkálás, ugyanis 43,8%-ról 63,5%-ra romlott a relatív szórás értéke a hengeres felületen. A legjobb eredményt B és C2 tudta elérni, közel azonos értékekkel. C1+C2 alkalmazásánál újra romlottak az értékek a külön-külön elért eredményekhez képest relatív szórás tekintetében.

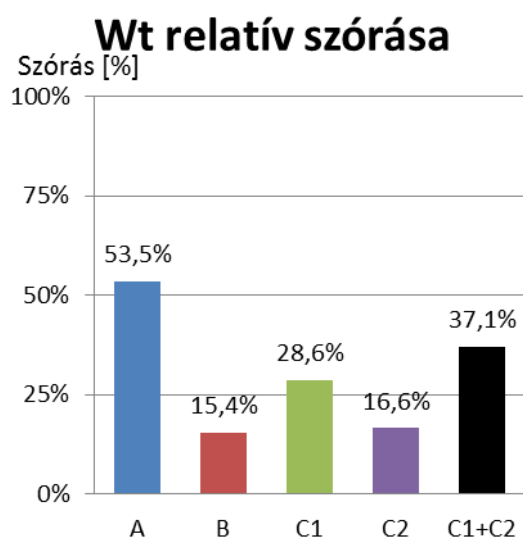
Wt (hullámossági profil maximuma)



3.2.8 ábra. Hengeres felületen mért összes Wt érték, megmunkálásonként ábrázolva



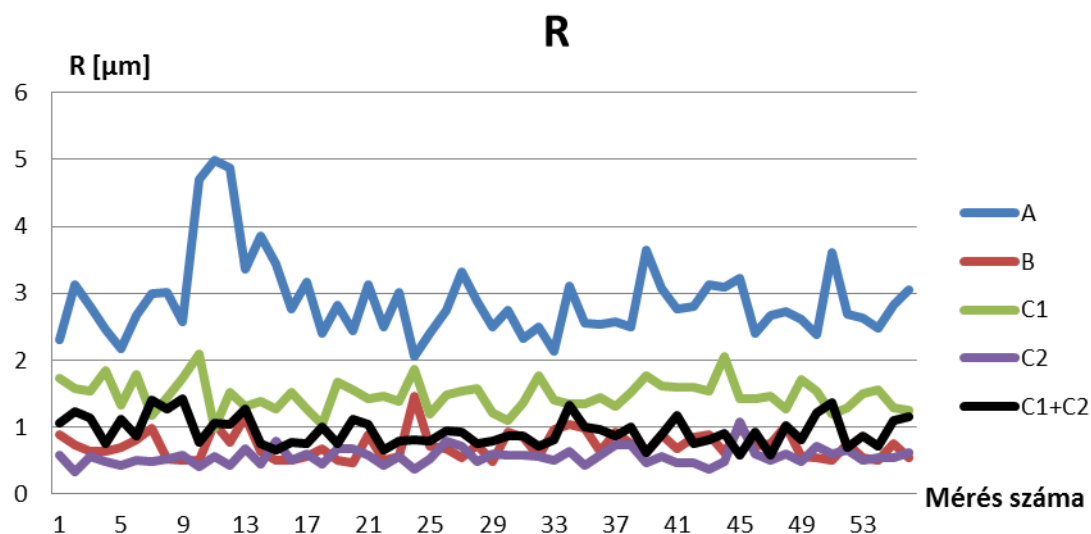
3.2.8/a ábra. Wt értékek átlaga



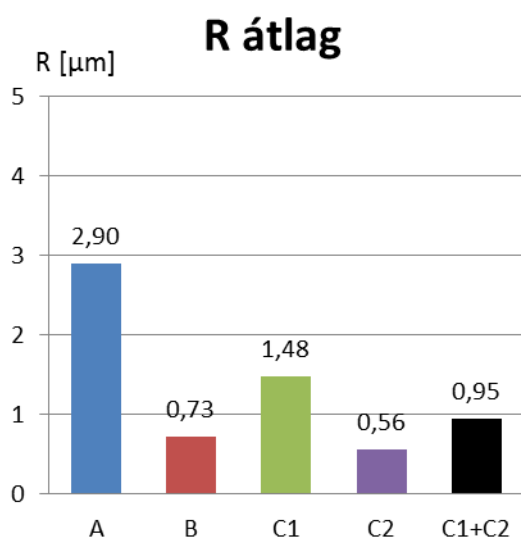
3.2.8/b ábra. Wt értékeinek szórása

Wa paraméterhez hasonlóan, egy tized μm -en belüliek a hullámossági profil maximumának értékei. A sík geometrián legjobb Wt értékű C1 0,91 μm -es eredménye közel a felére tudott javulni, míg A megmunkálás hasonló eredménnyel a hatodára csökkent, a korábbi igen magas, 3,43 μm -es értékről. Ez a csökkenés A megmunkálásnak azonban ismét a szórásának növekedését hozta magával, igaz, mindössze kisebb mértékben. Ezzel szemben B és C2 is jelentősen javult a hengeres felületen. Kevesebb, mint a felére csökkent a relatív szórásuk értéke. C1+C2 átlageredménye hasonló a többi eljáráséhoz, azonban relatív szórásban alulmarad azoktól az előgyártmány kivételével. Tehát itt sem sikerült profitálni a két eljárás kombinálásából.

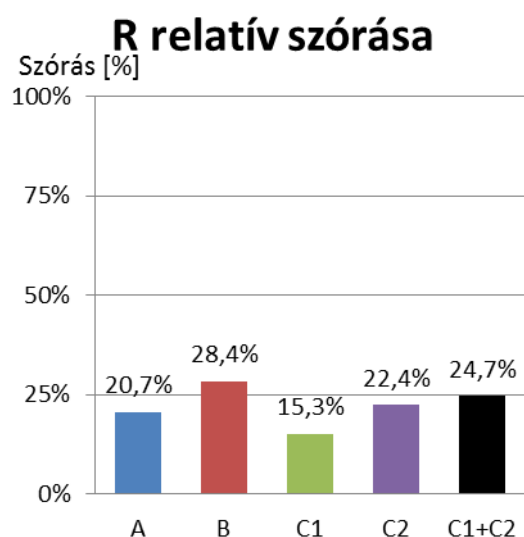
R (érdességi motífovok átlagos magassága)



3.2.9. ábra. Hengeres felületen mért összes R érték, megmunkálásonként ábrázolva



3.2.9/a ábra. R értékek átlaga



3.2.9/b ábra. R értékeinek szórása

Az érdeességi motífovok átlagos magasságának értéke is rendkívüli mértékben módosult a hengeres felületen. B és C2 változásai a legjelentősebbek, megközelítőleg a negyedére csökkent R értékük átlaga. A további három eljárás eredménye szintén alacsonyabb R értékeket mutat. C1+C2 már C1 szintje alá tudott javulni a harmadik legjobbként, a korábbi utolsó előtti értékéhez képest. „A” megmunkálás a javuló eredmények ellenére is határozottan elkülönül a többi 4 eljárástól, még legjobb értéke is elmarad C1 leggyengébb értékétől. A relatív szórások értékei viszont mind az öt eljárásnál romlanak a sík felületen elért szóráshoz képest. C1+C2 finommegmunkáló eljárást itt sem éri meg alkalmazni, csak C2 használata jobb átlag és relatív szórásbeli eredményekkel jár.

4. Következtetés, továbblépés

4.1 Következtetés:

1. Képes-e a 3. („C” jelű) technológiai lépcső érdemben javítani a „B” névleges méretre alakító eljárással elért felületi érdességet?
2. Az egyes eljárások esetén milyen a rendszer érdességtartó képessége (az érdességi paraméterek szórása)?
3. Mely technológiai eljárás eredményez kedvezőbb működési tulajdonságokkal leírható felületet?

Ezen kérdések megválaszolását érdemes több részre bontani.

- A B technológiai lépcsővel elérhető felületminőség javuló átlagos érdességet eredményez, de tribológiaiilag még nem megfelelő a végeredmény.
- C1 eljárás sikeresen javít a felület érdességén és hatékonyan csökkenti az érdességi paraméterek mért értékeinek szórását. Tribológiai szempontból is képes javítani B eljáráshoz képest a felületen.
- C2 finommegmunkáló eljárás a legtöbb esetben képes elérni a legjobb felületi minőséget, ám sík felületen alkalmazva szórása kiugróan magas értékeket mutat. Hengeres felületen a magas szórási tartomány problémája nem, vagy minimális mértékben jelentkezik.
- C1+C2 eljárás nem tud javítani a felület minőségén, csak ritkább esetekben. A legtöbb paraméter esetében a két eljárás kombinálásának következtében romlottak a felületi érdesség átlag és szórási értékei. Használata ezért nem javasolt.
- C1 és C2 külön-külön alkalmazása képes javítani B eljárás felületi minőségén. Érdességtartó képességben és működési tulajdonságok szempontjából is pozitívan tudják befolyásolni a felület minőségét. Az öt eljárás közül e két eljárással érhető el a legkedvezőbb működési tulajdonságokkal leírható felület. Az eltérő geometrián tapasztalt különböző viselkedésük miatt azonban a kiválasztásuk a kívánt igények és felhasználási cél szerint javasolt.

Összefoglalva tehát a kombinált alkalmazás eredményét. A mérések eredményéből kiderült, hogy két finommegmunkáló eljárás egymástól függetlenül ugyan javít a felület érdességén és a működési tulajdonságain, akár többszörös mértékben az előgyártmányhoz képest, mégis együttes alkalmazásuk az esetek többségében mindkét eljárás gyengéjét hozta elő, ahelyett, hogy tovább javított volna a felületen. Sík és hengeres geometria esetében is, mind a szórási, mind az érdességi értékek megnövekedtek, a névleges méretre alakító eljárás felületi minősége alá viaszszorulva, gyakran az előgyártmány értékeit megközelítve ezzel.

4.2 Továbblépés:

A dolgozatban látott eredmények további kísérleteknek is teret adnak. A finommegmunkáló eljárások módosítása révén elképzelhető, hogy egy más típusú kombináció, vagy a folyamatban felhasznált eszközök módosítása által elérhető lenne egy olyan eljárás, ami képes a legfinomabb felületi minőség mellett jó értéktartással és jó tribológiai tulajdonságokkal rendelkező felület előállítására, akár sík és hengeres geometrián is.

5. Irodalomjegyzék

- [1] Czifra Árpád, Drégelyi-Kiss Ágota, Galla Jánosné, Huba Antal (szerk.), Kis Ferenc, Petróczki Károly: **Méréstechnika**, Budapest: Typotex Kiadó, 2012. 1050 p. (TÁMOP Gépész tananyag) (ISBN:13 978-963-2795-37-9)
- [2] Dr. Horváth Sándor: **A felületi hullámosság 2D-s és 3D-s jellemzése, a működési tulajdonságokra gyakorolt hatásának vizsgálata és elemzése** - Doktori (PhD) értekezés (2008)
- [3] Dr. Horváth Sándor, Dr. Czifra Árpád, Lipusz Gergely Levente, Nagy Viktor: **Felületmódosító eljárások hatása az érdesség M-rendszerű és motif paramétereire**, OGÉT 2014 Nemzetközi Gépész Találkozó, Nagyszerben (elfogadott publikáció)
- [4] ASME B46 Committee – Surface Texture – Panel Discussion: **Surface Texture Parameters** - (<http://cstools.asme.org/csconnect/FileUpload.cfm?View=yes&ID=21763>)
- [5] **ISO 4287-1997**: M-rendszerű paraméterek
- [6] **EN ISO 4288** Geometrical Product Specification (GPS) - Surface texture: Profile method. Rules and procedures for the assessment of surface texture (ISO 4288:1996)
- [7] **EN ISO 12085** Geometrical Product Specification (GPS) - Surface texture: Profile method. Motif parameters

6. Köszönetnyilvánítás

Köszönöm Dr. Czifra Árpád konzulensemnek a folyamatos szakmai segítséget és hasznos tanácsokat, amivel hozzájárult a dolgozat elkészüléséhez.

Köszönöm Dr. Horváth Sándornak az általa nyújtott szakmai segítséget.

Köszönöm Barányi Istvánnak a mérési folyamat során nyújtott kitartó segítségét.

Köszönöm Lipusz Gergely Levente mérőtársamnak és barátomnak a mérésben és az eredmények feldolgozásban való segítségét.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	1
1.1 A dolgozat rövid ismertetése	1
1.2 A dolgozat célja	1
1.3 A mérés körülményei.....	2
1.4 Mérési folyamat leírása.....	3
1.5 Mérési beállítások.....	3
1.6 A téma jelentősége.....	3
2. Az érdességi paraméterek ismertetése	4
2.1 Felületi érdesség	4
2.2 M-rendszerű paraméterek	4
2.3 Motif rendszerű paraméterek	7
3. Az eredmények kiértékelése	8
3.1 Sík felületen mért eredmények elemzése	8
3.2 Hengeres felületen mért eredmények elemzése	17
4. Következtetés, továbblépés	26
4.1 Következtetés.....	26
4.2 Továbblépés	26
5. Irodalomjegyzék	27
6. Köszönetnyilvánítás.....	28