

Analysis of size and surface properties of injection molded parts

Gábor Zakhar

Data Talks AB, Kungsbrogatan 3A, Stockholm 112 27, Sweden, g.zakhar@gmail.com

Abstract

The purpose of this study is to analyse the dimensional and surface properties of the injection molded gear in order to gain a better understanding of the quality characteristics of these parts. During the test, the size and surface roughness parameters of the injection-molded gear were analysed. Dimensional accuracy and surface texture are crucial for injection molded products as they directly affect the functional properties and aesthetics of the parts. The results are suitable for comparison with 3D printed parts, which will be included in a subsequent article.

Keywords: injection molding; geometric dimensions; surface roughness;

Fröccsöntött alkatrészek méret és felület tulajdonságainak elemzése

Zakhar Gábor

Data Talks AB, Kungsbrogatan 3A, Stockholm 112 27, Svédország, g.zakhar@gmail.com

Absztrakt

A tanulmány célja a fröccsöntött fogaskerék méret- és felületi tulajdonságainak elemzése, azért, hogy jobb megértést nyerjünk ezeknek az alkatrészeknek minőségi jellemzőiről. A vizsgálat során fröccsöntött fogaskerék méret és felületi érdesség paraméterei kerültek elemzésre. A méretpontosság és a felületi textúra kulcsfontosságúak a fröccsöntött termékek esetében, mivel ezek közvetlen hatással vannak az alkatrészek funkcionális tulajdonságaira és esztétikájára. Az eredmények alkalmasak a 3D nyomtatott alkatrészekkel való összehasonlításra, melyet egy következő cikk tartalmaz majd.

Kulcsszavak: fröccsöntés; geometriai méretek; felületi érdesség;

1. Bevezető

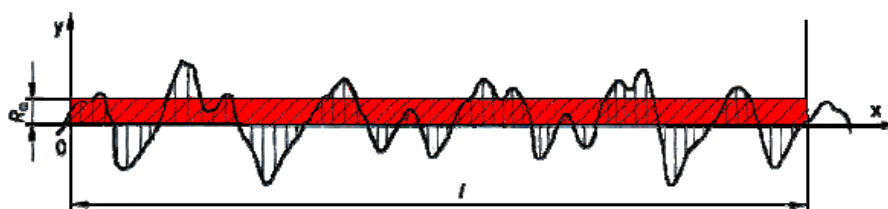
A fröccsöntési technológia az elmúlt évtizedekben hatalmas fejlődésen ment keresztül, és ma az egyik leggyakrabban használt műanyagfeldolgozási módszernek számít (Buzási, 2016). Az alkatrészek pontossága és minősége közvetlenül befolyásolja a termék végleges funkcionális tulajdonságait és esztétikai megjelenését. Különösen a fröccsöntött fogaskerék, amely mechanikai és funkcionális alkalmazásokban kritikus szerepet játszik, magas minőségi követelményeknek kell megfelelnie (Bagdi, 2016).

Míg a 3D nyomtatás technológia forradalmi újításként tűnt fel a gyártásban, és ígéretes alternatívát kínál a hagyományos gyártási módszerekhez képest, az alkatrészek minőségének és pontosságának értékelése továbbra is kulcsfontosságú. A jelen tanulmány célja, hogy

mélyrehatóan elemezze a fröccsöntött fogaskerek méret- és felületi tulajdonságait, és ezen információkat alkalmassá tegye a 3D nyomtatott alkatrészekkel történő összehasonlításra, melyet egy következő cikk tartalmaz majd.

2. Fröccsöntött alkatrészek felületi érdességeinek meghatározása

A felületi érdesség meghatározására több különböző mérési módszer és több különböző mérőszám is létezik. Számomra egy átlagos felületi érdességet mérő gép volt elérhető, így a mérés során R_a értékeket kaptam. Ezeket a már átlagolt, gép által mért értékeket oldalanként tovább átlagoltam, majd a gépészeti jelöléseknek megfelelően kerekítettem a szabványos jelölésekre. Az 1. ábra az átlagos felületi érdesség származtatását mutatja be.



1. ábra Átlagos érdesség származtatása

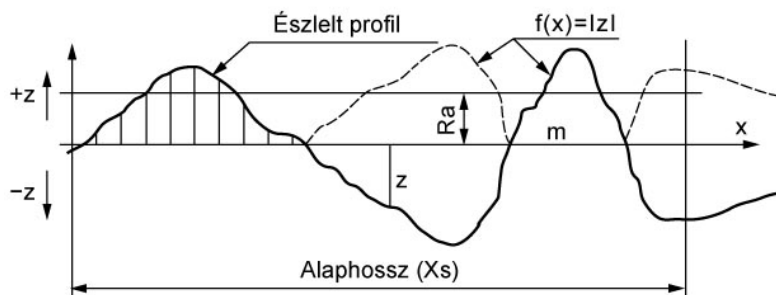
Az átlagos érdesség a tényleges profil és a középvonal közötti y_i távolságok abszolút értékeinek számtani átlaga. Ez azt jelenti, hogy a függőleges irányban besraffozott területek összege megegyezik a piros téglalap területével (1. ábra)

Az átlagos érdesség meghatározására szolgáló összefüggés, a tényleges profil függvény integrálásával (2. ábra):

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

illetve jó közelítéssel:

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



2. ábra Átlagos érdesség származtatása

2.1. Felületi érdesség a nagyobb átmérőjű fröccsöntött fogaskeréken

A 3. ábrán látható, hogy az alkatrész mely területein történt mérés. A több mérési pont érdekében az alkatrész mindkettő oldalán hasonló elrendezésben történtek vizsgálatok. Az összesítésben ezért az oldalak megkülönböztetése „A” oldal és „B” oldal elnevezésekkel történt. A mérési helyek pontokkal lettek jelölve számok helyett.



3. ábra Felületi érdesség mérési pontjai a nagyobb átmérőjű fogaskeréken

A mérések irányát a 4. ábrán elhelyezett nyilak mutatják. A képen pontok jelzik a mérések sorszámát, azonban az eredmények összesítésénél ezeket arab számokkal jelöltem. A 4. ábrán az „A” oldal látható, a „B” oldal vizsgálata ehhez teljesen hasonló elrendezésben és mérési pontokban történt. A mérési eredményeket az 1. táblázat foglalja össze.



4. ábra Kisebb méretű fogaskerék felületi érdesség mérési pontjai és a mérések irányai

1. táblázat A nagyobb átmérőjű fogaskerék felületi érdességére kapott eredmények

Mérési hely	Mért Ra [μm]	Oldalankénti Ra [μm]	Kerekített érdesség [μm]	Érdességi osztály
A 1	0,4	0,864	0,8	N6
A 2	0,83			
A 3	0,81			
A 4	1,09			
A 5	1,19			
B 1	2,96	2,156	1,6	N7
B 2	2,28			
B 3	1,72			
B 4	2,20			
B 5	1,62			

Az érdességi osztályokba való besorolás a mellékletben található mérési jegyzőkönyvekben jelzett felületi érdességeket besoroló táblázat alapján történt.

A kapott érdességi eredményekből jól látható az a különbség, ami a fröccsöntött alkatrész „A” és „B” oldala között fennáll. Sajnos pontos információ az alkatrész gyártásáról nem állnak rendelkezésemre, de az látható a kapott eredményekből, hogy a fröccsöntés során az öntőszerszám egyik oldala kevésbé megmunkált.

2.2. Felületi érdesség a kisebb átmérőjű fröccsöntött fogaskeréken

A hasonló eljárással készült nagyobb méretű fogaskerékhez hasonlóan, ezen az alkatrészen is több ponton és mindkettő oldalon történt mérés. A méretbeli különbségekből adódóan ezen az alkatrészen oldalanként mindössze három-három mérési pontban történt vizsgálat. A mérési pontok elhelyezkedését a 4. ábra mutatja. Az alkatrész „B” oldalán kijelölt mérési pontok megegyeznek az „A” oldalon jelzettekkel. A mérési eredményeket a 2. táblázat foglalja össze.

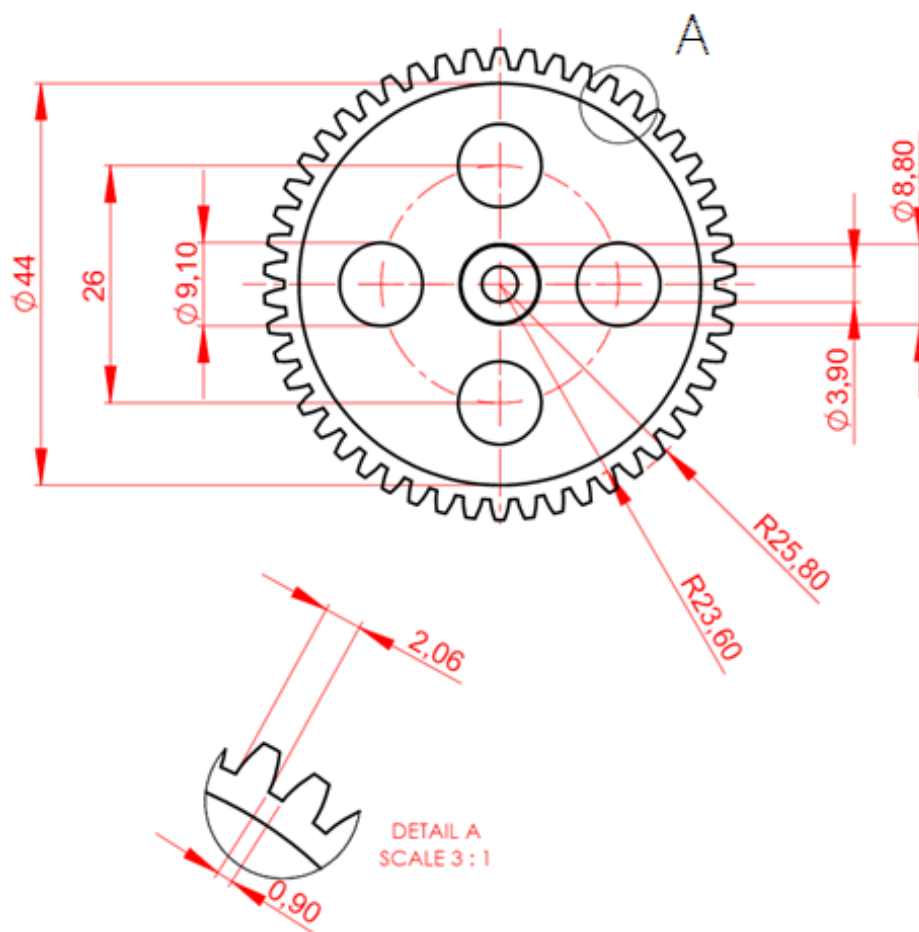
2. táblázat A nagyobb átmérőjű fogaskerék felületi érdességére kapott eredmények

Mérési hely	Mért Ra [μm]	Oldalankénti Ra [μm]	Kerekített érdesség [μm]	Érdességi osztály
A 1	0,52	0,65	0,8	N6
A 2	0,82			
A 3	0,63			
B 1	2,29	1,72	1,6	N7
B 2	1,44			
B 3	1,43			

Ezen alkatrészen is megfigyelhető némi eltérés az oldalak közötti simaságban, ami a nagyobb fogaskeréken már feltűnt. Valószínűsíthető, hogy a fogaskerek egyformasága miatt az öntőszerszámok hasonló módon készültek, így a végleges fröccsöntött alkatrészek anyagukban és gyártástechnológiájukban teljes mértékben megegyeznek, mindössze méreteikben térnek el.

3. Fröccsöntött alkatrészek geometriai méreteinek meghatározása

Az 5. ábrán az eredeti fröccsöntött alkatrészek azon geometriai méretei láthatóak, amelyek a későbbiekben kinyomtatott alkatrészek ellenőrzésére kerültek. A rendelkezésemre álló eszközök és azok korlátai miatt sajnálatos módon más méretek, megmérésére nem nyílt lehetőségem. Az ábrák elhelyezésének szabálya érdekében a dolgozat ezen részére csak a mért méreteket tartalmazó kép került elhelyezésre.

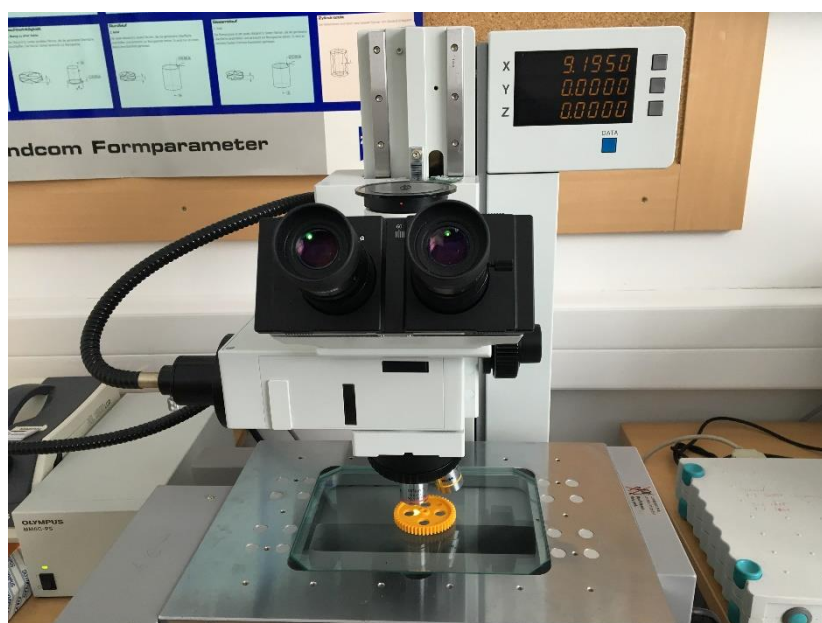


5. ábra A mérések során ellenőrzött méretek a nagyobb fogaskerék esetén

A kisebb átmérőjű fogaskerék esetén ugyan ezen méretek kerültek lemérésre. Az ábrák mérete miatt annak méretezett rajzát itt most nem közlöm külön, az eredmények kiértékelésekor számszerűsítve meg fognak jelenni az eredeti méretek, valamint a mellékletként szereplő jegyzőkönyvek minden esetben tartalmazzák a teljes beméretezett rajzokat.

A fogaskerek geometriai méréseinél az alkatrészekben található átmenő furatok méreteit és azok egymáshoz viszonyított távolságát ellenőriztem le. Valamint a fogak által megadott külső és a fogak lábai által meghatározott belső átmérők, valamint az alkatrész sajátosságából adódó

belső perem átmérőjét. A fogaskereknél fontos adatnak számító fogprofil evolvens méreteit sajnálatos módon a rendelkezésemre álló eszközökkel nem volt lehetőségem pontosan megmérni. Ezen adatok összehasonlítására, a 6. Konklúzió pontban, mikroszkóppal készült képek alapján szemléletes ábrákat készítettem. Ezen ábrakon szemrevételezéssel lehet megvizsgálni az egyes nyomtatott alkatrészek fogprofil hasonlóságát a fröccsöntött fogaskerekhez képest. A geometriai mérések az összes alkatrész esetében, a Dunaújvárosi Egyetem GL épületében található nagy pontosságú Olympus mérőmikroszkópon történtek (6. ábra). Szerettem volna a dolgozatban a mérések során készült mikroszkóp képeket bemutatni, de sajnálatos módon a mérőmikroszkópra nem lehetséges digitális fényképező felhelyezése, mint egy sztereó mikroszkóp esetében. A mérések minden esetben X és Y irányban lettek elvégezve, ezek átlagából kaptam meg az egyes furatok és más elemek mért átmérőjét. Az egyes mérési pontokban kapott X és Y irányú eredményeket a mellékletben található mérési jegyzőkönyvek tartalmazzák. A dolgozat törzsében a már átlagolt és számolt eredmények kerültek leírásra.



6. ábra Geometriai mérés a mérőmikroszkóppal

3.1. *Nagyobb átmérőjű fröccsöntött fogaskerék geometriai eredményei*

A 7. Ábrán látható, hogy a nagyobb fröccsöntött fogaskeréken, milyen pontokban történtek mérések. A mérési eredményeket a 3. táblázat mutatja.



7. ábra A nagyobb átmérőjű fogaskerék geometriai méréseinek pontjai

3. táblázat Nagyobb átmérőjű fogaskerék geometriai eredményei

Mérési hely	Mért és átlagolt méret [mm]	Kerekített méret [mm]
1.	9,196	9,2
2.	9,225	9,2
3.	9,190	9,2
4.	9,193	9,2
5. Belső	3,946	3,9
5. Külső	8,054	8,1
6.	43,852	43,9
Foglábak által meghatározott belső átmérő	47,066	47,1
Fogak által meghatározott külső átmérő	51,563	51,6
Fogmagasság	2,283	2,3
Fogszélesség	2,265	2,3
Fog köz	0,700	0,7
2. és 4. furat távolsága	26,201	26,2
1. és 3. furat távolsága	26,191	26,2

3.2. Kisebb átmérőjű fröccsöntött fogaskerék geometriai eredményei

A 8. ábrán, az előző ponthoz hasonlóan látható, hogy a kisebb méretekkel rendelkező, szintén fröccsöntött alkatrészen milyen mérési helyeken történtek vizsgálatok. Természetesen a mérési helyek és azok számozása a könnyebb nyomon követhetőség érdekében teljesen megegyeznek az előző pontban bemutatottakhoz.



8. ábra Kis átmérőjű fröccsöntött fogaskerék geometria mérési pontjai

A 8. ábrán 5-ös számmal jelzett mérési pont a középén található átmenő furat, pontosabban annak belső illetve külső átmérőjét jelöli. A 6-os számmal jelölt mérési pont a perem átmérőjére vonatkozik.

4. táblázat Kisebb átmérőjű fröccsöntött fogaskerék geometriai eredményei

Mérési hely	Mért és átlagolt méret [mm]	Kerekített méret [mm]
1.	7,322	7,3
2.	7,324	7,3
3.	7,279	7,3
4.	7,300	7,3
5. Belső	3,957	4
5. Külső	9,167	9,2
6.	32,805	32,8

Foglábak által meghatározott belső átmérő	36,7	36,7
Fogak által meghatározott külső átmérő	41,223	41,2
Fogmagasság	2,288	2,3
Fogszélesség	2,380	2,4
Fog köz	0,557	0,6
2. és 4. furat távolsága	21,044	21
1. és 3. furat távolsága	20,941	21

4. Fröccsöntött fogaskerék keménység meghatározása

A műanyagok keménységét a fémek Rockwell B eljárásához hasonlóan golyóbenyomódási módszerrel is meghatározhatjuk. A mérés során a Brinell keménységmérési eljárástól eltérően a lenyomat gömbsüveg felszínét a benyomódás mélységéből számítjuk ki. A golyóbenyomódási keménységet a benyomódó golyóra meghatározott ideig ható erő és a golyó által benyomott gömbsüveg felszínének a hányadosa adja meg N/mm² mértékegységben. A vizsgálathoz 5 mm átmérőjű polírozott acélgolyót használtunk (9. ábra).



9. ábra Golyóbenyomódási keménység mérése 5mm-es acélgolyóval és 30 Kp-os terhelőerővel

A részletes és bonyolult levezetést kihagyva, a golyóbenyomódási keménység meghatározásához szükséges matematikai összefüggések a következők. A számításhoz az F_m vizsgálati főterhelést F_r redukált vizsgálati főterhelésre módosítjuk az alábbiak szerint:

$$F_r = F_m \cdot \frac{\alpha}{h - h_r + \alpha} \quad [N]$$

ahol az α tényező egy kísérletileg meghatározott konstans, értéke 0,21 mm, h a benyomódás valódi mélysége a főterhelés alatt, az állvány deformációjára végzett korrekció után mm-ben ($h = h_1 - h_2$). Esetünkben a h_2 -t nullának vettük, mivel a vizsgáló berendezés öntött vas gépházának és robosztusságának köszönhetően ilyen csekély terhelés mellett elhanyagolható deformációt szenved.

A h_r levonandó tag az úgynevezett redukált golyóbenyomódási mélység, kísérletileg meghatározott érték, mely $h_r = 0,25$ mm. Ezek használatával a következő összefüggés adja meg a keménység értékeit:

$$HB = \frac{F_m}{D \cdot \pi \cdot h_r} = \frac{0,21 \cdot F_m}{D \cdot \pi \cdot 0,25 \cdot (h - 0,04)} \quad [N/mm^2]$$

HB a műanyagok golyóbenyomódási keménysége, D a golyóátmérő, h_r pedig a redukált golyóbenyomódási mélység, milliméter mértékegységben. A mérési eredményeket az 5. táblázat foglalja össze.

5. táblázat Nagy átmérőjű fröccsöntött fogaskerék golyóbenyomódási keménysége

Mérési hely	Mért benyomódás [mm]	Számított keménység [N/mm ²]	Átlagos keménység [N/mm ²]
1.	1,27	12,78	12,93
2.	1,2	13,56	
3.	1,26	12,88	
4.	1,3	12,49	

5. Összefoglalás

A tanulmány célja a fröccsöntött fogaskerek méret- és felületi tulajdonságainak elemzése, hogy jobban megértsük minőségi jellemzőiket. A kutatás a fogaskerek méret- és felületi

érdességi paramétereire összpontosít. A méreti pontosság és a felületi textúra létfontosságúak a fröccsöntött termékek számára, mivel közvetlenül befolyásolják funkcionális tulajdonságaikat és esztétikájukat.

A fröccsöntés technológia jelentős fejlődésen ment keresztül és gyakran használt módszer a műanyagok feldolgozására. Különböző módszerek és metrikák léteznek a felületi érdesség meghatározására. A tanulmány egy átlagos felületi érdességmérő gépet használt. A tanulmány az fröccsöntött alkatrészek bizonyos geometriai méreteit vizsgálta, a műanyagok keménységét golyóbenyomódási módszerrel határozták meg, hasonlóan a fémek Rockwell B eljárásához. A cikk táblázatokban mutatja be a fröccsöntött fogaskerekek felületi érdességmérési, geometriai mérési és keménységmérési eredményeit.

Az eredmények összehasonlíthatók a 3D nyomtatott alkatrészekkel, amelyeket egy későbbi cikkben tárgyalnak.

Irodalomjegyzék

Buzási, L. (2016). A fröccsöntés helyzete Magyarországon 2015-ben. Polimerek, 2(8), 221-225.

Bagdi, A. (2016). Műanyag fröccsöntés technológiai kiskapukkal. Gyártástrend, link: <https://www.gyartastrend.hu/cikk/muanyagfroccsontes-technologiai-kiskapukkal>

Rövid szakmai életrajz

Zakhar Gábor webfejlesztőként dolgozik Stockholmban. Felsőfokú tanulmányait a Dunaujvárosi Egyetemen végezte gépészmérnök alapszakon, de mindig is érdeklődött az informatika iránt. Érdekli a hegymászás, síelés és a nagy ponty horgászat Magyarország vad vizein.