



A fémfröccsöntés paramétereinek hatása a gyártott alkatrészekre

Effects of injection Moulding Parameters on the Produced Parts

Ledniczky György,¹ Weltsch Zoltán²

¹ Neumann János Egyetem, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék, Kecskemét, Magyarország, ledniczky.gyorgy@gamf.uni-neumann.hu

² Széchenyi István Egyetem, Anyagtudományi és Technológiai Tanszék; Járműipari Kutatóközpont. Győr, Magyarország, weltsch.zoltan@sze.hu

Abstract

The publication deals with an innovative technology called powder-based metal injection moulding, which is a combination of traditional polymer injection moulding and powder metallurgy. With the technology, it is possible to produce metal components with complex geometry in large series. There is an extremely large selection of materials that can be used, mostly steel, copper, titanium or nickel-based alloys. In this research, the material used is type 17-4PH, martensitic corrosion-resistant steel, and since it is a widely used material, it is examined in many international articles and research studies, and it is also common in industry, so it is advisable to use this type of material for further comparability. Little information can be found in the literature about spraying parameters and their effects, which is why this research focusses on this. On the other hand, these data can also serve as useful information for the industry. During the production of so-called green products, the effects of product shrinkage were measured by changing the most important parameters and comparing the effects of these parameters to traditional polymer injection moulding.

Keywords: *metal injection moulding, shrinkage, stainless steel.*

Összefoglalás

A cikk egy innovatív gyártási eljárással foglalkozik, amit poralapú fémfröccsöntésnek hívnak, amely a hagyományos műanyagfröccsöntés és a porkohászat kombinációja. Ezzel az eljárással komplex geometriájú fém alkatrészek előállítása lehetséges nagy sorozatban. A felhasználható anyagok tekintetében rendkívül nagy a választék, leginkább acél-, réz-, titán- vagy nikkelalapú ötvözetek használhatóak. Jelen kutatás során a felhasznált anyag 17-4PH típusú, martenzites korrózióálló acél, mivel ez széles körben elterjedt alapanyag, sok kutatásban ezt vizsgálják, valamint az iparban is elterjedt; ezért célszerű a további összehasonlíthatóság érdekében ilyen típusú anyagot használni. A szakirodalomban kevés információt lehet találni a fröccsöntési paramétereikről és azok hatásairól, ezért a kutatásunk erre fókuszál, másrészt ezek az adatok az ipar számára is hasznos információként szolgálhatnak. Az ún. zöldtermék előállítása során, a fontosabb paraméterek változtatásával mértük a termék zsugorodását, és e paraméterek hatásait hasonlítjuk össze a hagyományos műanyagfröccsöntéssel.

Kulcsszavak: *fémfröccsöntés, zsugorodás, rozsdamentes acél.*

1. Bevezetés

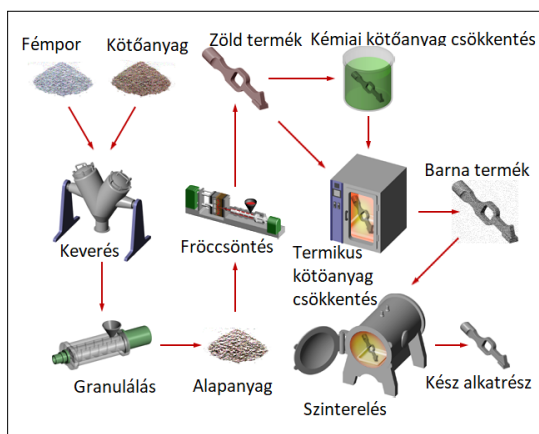
Az iparban egy egyre szélesebb körben alkalmazott eljárás a fémfröccsöntés (MIM), amivel komplex geometriájú fémalkatrészeket nagy pontos-

sággal és nagy darabszámban lehet előállítani. Az említett eljárásnak az egyik nagyobb felhasználási területe az autóipar, ahol viszonylag kisméretű termékek gyártására alkalmazzák. A felhasznál-

ható anyagokat tekintve rendkívül nagy a választék, de leginkább vasalapú ötvözetekről, titán- és rézötvözetekről beszélhetünk. A szakirodalmi áttekintések során nagyon kevés információ található a fröccsöntési paramétereknek a termék tulajdonságaira gyakorolt hatásáról, így a kutatás első lépése annak a vizsgálata, hogy a fröccsöntési paraméterek milyen hatást gyakorolnak a termék zsugorodására, illetve hogy ez mennyire hasonlít a műanyagok fröccsöntésénél tapasztaltakra [1].

1.1. A fémfröccsöntés

A fémfröccsöntés a legegyszerűbben megfogalmazva a hagyományos fröccsöntés és a porhászat házasítása, ahol alapanyagként egy nagy fémportartalmú (95% tömegarány) és 5% műanyagalapú kötőanyagot tartalmazó granulátumot használnak, amit a fröccsöntőgéppel egy szerszámba injektálunk. Az ezután létrejövő termék az ún. zöldtermék. Az így előállított termékben a kötőanyag mennyiségét csökkenteni szükséges: létre kell hozni egy nyitott pórusos szerkezetet, ami a termék teljes keresztmetszétére igaz. A kötőanyag-eltávolításnak többféle módja létezik, attól függően, hogy milyen kötőanyagrendszerrel beszélünk [2]. Fontos, hogy a kötőanyag úgy kell működnie, hogy porózus legyen a termék, viszont azért legyen benne még annyi kötőanyag, hogy összetartsa a porrészecskéket. A kötőanyagban csökkentett terméket barnaterméknek nevezzük. A következő technológiai lépés a szinterelési fázis. A terméket nagy hőmérsékletű kemencében, olvadásponti hőmérséklet alatt izzítjuk mindaddig, amíg a sűrűsége eléri az anyagra jellemző sűrűségét. Az alkatrész ekkor nyeri el fémes tulajdonságát és csengését is [1]. A folyamat áttekinthető az 1. ábrán.



1. ábra. A fémfröccsöntés folyamatábrája [3]

Látható, hogy MIM-eljárás egy szűk tartományát vizsgálom, nevezetesen a fröccsöntési fázist.

1.2. A paraméterek hatása a zsugorodásra

A fröccsöntési paraméterek megváltoztatásával lehetséges a fröccsöntött termék méreteinek változtatása, ami közvetlen kapcsolatban áll a zsugorodással. Az ömledék-hőmérséklet, a szerszám-hőmérséklet, az utánnnyomás a főbb befolyásoló tényezők közé tartozik. A MIM esetén nem feltétlenül ugyanazokat a folyamatokat figyelhetjük meg, mint a műanyagok fröccsöntésénél, mivel a feldolgozott granulátum csak kevés százalékban tartalmaz polimer anyagokat, és ráadásul a kétlépcsős kötőanyag-eltávolítás miatt háromkomponensű.

A szerszám és az ömledék-hőmérséklet emelése általánosan növeli a zsugor értékét.

Az utánnnyomás növekedésével a zsugorodásra csökkenő hatást érünk el [4, 5].

2. A kísérlet módszertana

A fejezetben a fröccsöntési paraméterek mérésére használt eszközöket, a felhasznált alapanyagokat, a szerszámot és a kísérlet paramétereit ismertetjük.

2.1. A kísérletben használt alapanyagok

A választott alapanyag martenzites korrózióálló acél, kereskedelmi megnevezése: 17-4PH, főbb komponensei az 1. táblázatban láthatók [6]. Azért célszerű ezt az anyagot használni, mivel mások is ezt a típusú anyagot használják mind a MIM-hez, mind pedig az additív gyártáshoz [7]. Azon kívül, hogy korrózióálló, nagyon jók a mechanikai tulajdonságai, ezért az ipari felhasználása is széles körű. Gyakran használják a repülőgép- és az űrtechnikában, valamint az olaj- és gáziparban. Felhasználják csavarok, rugók, szegek és fogaskerekek gyártására, az orvosi eszközök körében pedig sebészeti szerszámok készítésére.

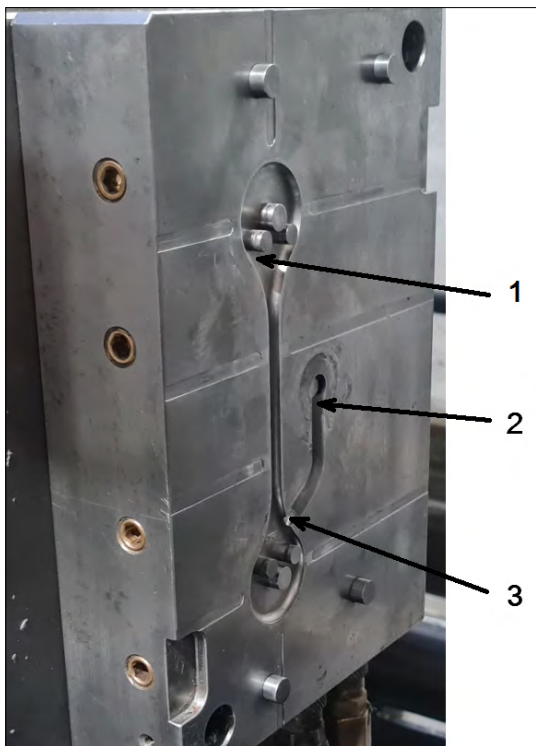
A felhasznált kötőanyag két fő komponense polipropilén és viasz, amely 6 tömeg százalékban van a fémporral elkeverve [8].

1. táblázat. A 17-4 PH korrózióálló acél főbb komponensei 1.4542 [7]

%	Cr	Mn	Si	Ni	Cu
Min.	15,0	–	–	3,50	3,00
Max.	17,5	1,00	0,70	5,00	5,00

2.2. Próbatestikészítő szerszám

A tesztek elvégzésére egy próbatestet – amely egy körülbelül egy 36 g-os alkatrész, többféle teszt elvégzésére alkalmas – előállító szerszámot használtunk. A szerszámnak oldalanként 1-1 hűtőkör van, a központi beömlőből egy viszonylag rövid csatornán keresztül egy él beömlő táplálja a formaüreget. A 2. ábrán látható a kísérletre használt szerszám.



2. ábra. A kísérlethez használt szerszám
1 – Formaüreg, 2 – Csatorna, 3 – Gát



3. ábra. Kitöltési sorozat az átkapcsolási pont meghatározásához

2.3. Technológiai paraméterek

A fröccsöntési paraméterek pontos meghatározásához előfröccsöntéseket végeztünk. Ahhoz, hogy a paraméterek hatásait tudjuk vizsgálni, szükséges a feldolgozási határokon belül egy optimálisnak vélt technológiai beállítás. Az átkapcsolási pont 99%-os formakitöltésre (3. ábra) volt állítva, úgy, hogy folyamatosan emelkedett az adagolási mennyiség.

A masszahőmérsékletet a kötőanyag PE-komponense feldolgozási hőmérsékletének a középértékére választottuk, az utánnomás értékét a két szélső feldolgozási határ középre. Az optimális szerszámhőmérsékletet tapasztalati úton határoztuk meg.

2. táblázat. A meghatározott feldolgozási paraméterek

Paraméter	Érték
Befröccsöntési térfogat	6,56 cm ³ /s
Befröccsöntési nyomás	903 bar
Utánnomási idő	2 s
Utánnomás	827 bar
Hűlésidő	15 s
Szerszámhőmérséklet	45 °C
Ömledék-hőmérséklet	205 °C

2.4. Változtatott paraméterek

A kísérlettervezés során az elsődleges cél a főbb paraméterek, a masszahőmérséklet, a szerszámhőmérséklet és az utánnomás értékének változtatása, minden esetben külön-külön. A kísérlettervezés során ezért 16 különféle technológiai beállítás született. Az első 5 lövést nem vettük figyelembe, megvárva, hogy a folyamat stabilá váljon, beálljon a hőegyensúly. Ezt követően beállításokként 10 db próbatestet készítettünk, amelyből 5 db-ot zöldtermékként hagytunk, a másik 5 db viszont további lépések (kötőanyag-eltávolítás, szinterezés) tárgyát képezte.

3. táblázat. A változtatott paraméterek és értékeik

Változó	Utánnomás	Szerszám hőmérséklete	Ömledék hőmérséklete
Eltérés –	550 bar	25 °C	195 °C
Eltérés –	690 bar	35 °C	200 °C
Középérték	827 bar	45 °C	205 °C
Eltérés +	965 bar	55 °C	210 °C
Eltérés +	1103 bar	65 °C	215 °C
Eltérés +	1241 bar	75 °C	220 °C

3. Eredmények

A kísérlet során, miután elkészültek a próbafröccsöntések, elvégeztük az eredmények kiértékelését. Az első körben a még nem szinterezett és nem eltávolított kötőanyagú termékeket vizsgáltuk. Azonban a fröccsöntési paraméterek változtatása miatt a termékek a zárósík mentén sorjásodást (4. ábra) mutattak, ami befolyásolta volna a furatok távolságának mérését. Ezért az összes elkészített minta furatát dörzsárral megmunkáltuk, hogy pontosabb mérési eredményeket lehessen elérni. Ennek eredményeként a furatok távolsága pontosan megmérhető volt.

A sorja eltávolítása után a mintákon a furatok távolságát (5. ábra) optikai mérőgéppel mértük, tehát a lineáris zsugorodás értéke is erre a távolságra vonatkozik.

Az így kapott eredményeket egy diagramban a változó tulajdonság és a zsugorodás függvényében ábrázoltuk. Az adatokat az új anyagból 5 lövés után vett minták átlaga adja.

A zsugorodás meghatározása a következő összefüggéssel történt:

$$\text{Zsugorodás} = \left(\frac{\text{szerszám méret}}{\text{termék méret}} - 1 \right) \cdot 100$$

A termék méretét leginkább befolyásoló paraméter a szerszámhőmérséklet (6. ábra). A zsugorodás itt 0,34%-tól 0,72%-ig terjedt, ami már jelentős eltérésnek tekinthető, ami egy nagyságrendileg 100 mm-es vizsgálati hosszon 0,4 mm méret eltérés.

A görbe emelkedő tendenciát mutat, hasonlóan a polimerek fröccsöntéséhez, viszont csak 55 °C hőmérsékletig. E hőmérséklet felett ismét csökkenni kezd a zsugorodás értéke. A próba közben a nagyobb szerszámhőmérsékletek esetén megfigyelhető volt, hogy a termékek „nedvesen” jönnek ki a szerszámból. Itt feltételezhetően a kötőanyagból viaszkiválás (7. ábra) törtéhet. Ezért a kiváló viasz helyére is fémrészecskék kerülhetnek, amelyeknek kisebb a zsugor faktora. Ez feltételezhetően mérhető lenne a komponensek százalékos arányából.

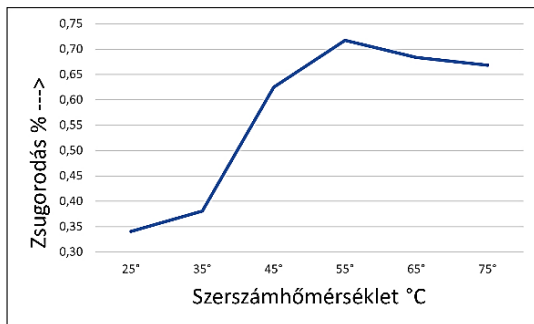
Az utánnyomás-értékek megváltoztatása a polimerekhez képest más jellegű összefüggést mutat. Az eredmények alapján a zsugorodásnak van egy maximuma 900 bar környékén (8. ábra), ami kisebb vagy nagyobb nyomásértékek esetén is kisebb zsugorodással jár. Külön kiemelendő, hogy jelentősen kisebb hatása van az utánnyomásnak a zsugorodásra, mint a szerszámhőmérsékletnek. A műanyagok feldolgozásához képest az eltérés



4. ábra. A próbatest furatának sorjásodása



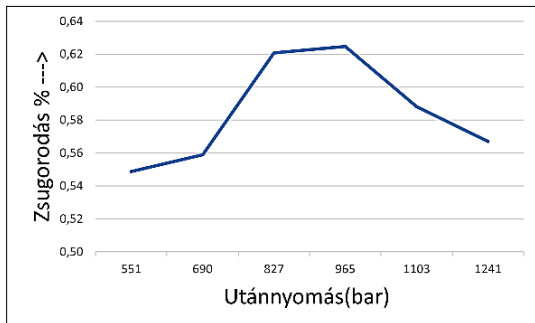
5. ábra. A lineáris zsugorodás mért értéke



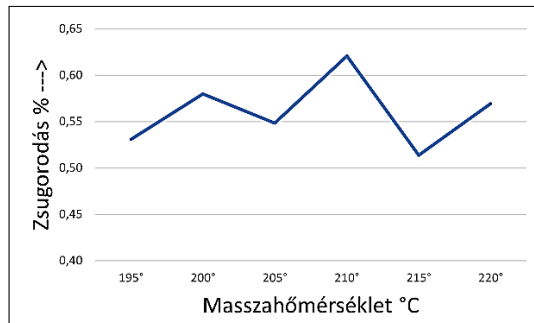
6. ábra. A szerszámhőmérséklet hatása a zsugorra



7. ábra. Nedves termékfelület viaszkiválás miatt



8. ábra. Az utánnnyomás hatása a zsugorra



9. ábra. A massa hőmérsékletének hatása a zsugorodásra

okai több dologgal is magyarázhatóak, viszont ez még további kutatást igényel.

A massa hőmérsékletének változtatása volt legkevésbé hatással a termék méreteire, illetve a görbe szórása az eltérésekhez képest jelentős (9. ábra).

4. Következtetések

Az elvégzett vizsgálatok eredményei alapján összegzőként elmondható, hogy a polimerfröccsöntésre vonatkozó általános törvényszerűségek nem feltétlenül alkalmazhatóak a fémpor feldolgozására. Az alapanyagok fizikai tulajdonságai jelentős különbségeket mutatnak, például eltérő sűrűség, viszkozitás, hővezetési tényező, valamint egy háromkomponensű rendszer viselkedését kell vizsgálni.

Azonban az előzetes mérési eredmények sem elegendőek ahhoz, hogy egyértelmű következtetéseket vonjunk le. További tesztek és vizsgálatok szükségesek a kapott eredmények érvényességének és megbízhatóságának igazolásához. Ezért további vizsgálatok elvégzése szükséges annak érdekében, hogy a fröccsöntési folyamat optimalizálása és a végtermék minőségének javítása érdekében hatékonyabb módszereket alkalmazhassunk.

A tesztek alapján feltételezhető, hogy más tényezőknek is van hatásuk a zsugorodásra a nyomás és szerszámhőmérséklet esetében.

A legerőteljesebb hatása a szerszámhőmérséklet megváltoztatásának van.

A masszahőmérséklet hatása nem ismert, előfordulhat mérési hiba, ami további méréseket igényel.

Köszönetnyilvánítás

Az alapanyagok és a technológia biztosításában nyújtott segítséget köszönjük az AFT-Hungary Kft.-nek.

A kutatás az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Heaney D. F.: *Handbook of Metal Injection Molding*. 2. kiadás Woodhead Publishing Series in Metals and Surface Engineering, Cambridge, (2019) 1–25.
- [2] Petzoldt F., Eifert H., Hartwig T., Kramer L., Veltl G., Pest A.: *Broadening the Scope of MIM*. Materials and Manufacturing Processes, 12/4. (1997) 691–711.
<https://doi.org/10.1080/10426919708935176>
- [3] Custom Part USA, *Metal Injection Molding* <https://www.custompartnet.com/wu/metal-injection-molding> (letöltve: 2023. 03. 01.).
- [4] Barriere Th., Liu B., Gelin J. C.: *Determination of the optimal process parameters in metal injection molding from experiments and numerical modeling*. Journal of Materials Processing Technology, 143–144. (2003) 636–644.
[https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(03\)00473-4](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(03)00473-4).
- [5] Tseng W. J.: *Statistical analysis of process parameters influencing dimensional control in ceramic injection molding*. Journal of Materials Processing Technology 79/1–3. (1998) 242–250.
[https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(98\)00019-3](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(98)00019-3)
- [6] Amatek Specialty Metal Products. *Specialty Powders 17.4 PH Alloy Powder* <https://www.powderclad.com/products/specialty-powders/17-4-ph-alloy-powder>
- [7] Singh G., Missiaen J.-M., Bouvard D., Chaix J.-M.: *Additive manufacturing of 17–4 PH steel using metal injection molding feedstock: Analysis of 3D extrusion printing, debinding and sintering*. Additive Manufacturing, 47. (2021) 102287.
<https://doi.org/10.1016/j.addma.2021.102287>.
- [8] Hamidi M. F. F. A., Harun W. S. W., Khalil N. Z., Ghani S. A. C., Azir M. Z.: *Study of solvent debinding parameters for metal injection moulded 316L stainless steel*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 257. (2017) 012035.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/257/1/012035>.