Műszaki Tudományos Közlemények vol. 19. (2023) 32–36.
DOI: Magyar: https://doi.org/10.33895/mtk-2023.19.05
Angol: https://doi.org/10.33894/mtk-2023.19.05

CSERÉLHETŐ BETÉTES FRÖCCSÖNTŐ SZERSZÁM TERVEZÉSE

DESIGN OF AN INJECTION MOLDING TOOL WITH EXCHANGABLE INSERTS

Keresztes Kristóf,[1] Gergely Attila Levente[2]

Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, Románia

[1] *keresztes.kristof@student.ms.sapientia.ro*

[2] *agergely@ms.sapientia.ro*

Abstract

The aim of this work was to design an injection molding tool with replaceable inserts. The tool design is made for a BOY 15S injection molding machine. Based on the interpretation and comparison of the simulation results of the filling process, we optimized the plastic part design, the runner system and the location of the gates and cavities in order to maximize productivity and efficiency while minimizing cost. In the process of the tool design, we also considered the potential problems regarding the manufacturing process of the tool.

Keywords*: injection molding, tool design, optimization, simulation.*

Összefoglalás

A dolgozat célja egy cserélhető betétes fröccsöntő szerszámház és az ebbe illő betétpár tervezése. A tervezett szerszám a Sapientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar Gépészmérnöki Tanszékéhez tartozó műhelyben található BOY 15S fröccsöntő gépre készül. A szerszámkitöltési szimulációk eredményeinek értelmezése és összehasonlítása alapján optimalizáltuk az alkatrészmodellt, a gátpozíciót, illetve a beömlőrendszert. A tervezési lépések során figyelem fordult a szerszámbetétek megmunkálása közben felmerülő költségekre, illetve gyakorlati problémákra.

Kulcsszavak*: fröccsöntés, szerszámtervezés, optimalizálás, szimuláció.*

1. Bevezetés

1.1. A fröccsöntés alapjai

A fröccsöntés alapelve az alacsony viszkozitású műanyagolvadék zárt szerszámba való „fecskendezése”. Ez egy szűk járatokon keresztül történik. Elengedhetetlen a kis viszkozitás a szerszám gyors és teljes kitöltése érdekében. A teljes kitöltést (hőre lágyuló műanyagok esetében) magas fröccsöntőnyomással is elősegítik. A fröccsöntési folyamat alapvető természete miatt az ömledék lehűlése másodpercek tartományába esik, illetve nagy méretpontosságú végterméket eredményez. Emellett előnyt jelent az, hogy a fröccsöntés bonyolult formájú alkatrészek elkészítését is lehetővé teszi, melyek nem igényelnek további megmunkálást a vezetékcsatornákban megdermedt műanyag eltávolításán kívül.

1.2. A fröccsöntő gép

A fröccsöntő gép felelős az általában granulátumformában megjelenő műanyag megömlesztéséért és ennek a szerszámba juttatásáért. Ugyancsak a gép feladata a szerszám osztósík menti szétnyitása és a kilökőrendszer működtetése. Ennek mechanizmusa a gyors és hatékony fröccsöntésre, illetve a megszilárdulás utáni termékkilökésre van optimalizálva.

A szerszámot a Sapientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar Gépészmérnöki Tanszékéhez tartozó műhelyben található BOY 15S fröccsöntő géphez tervezzük.

1.3. A fröccsöntő szerszám

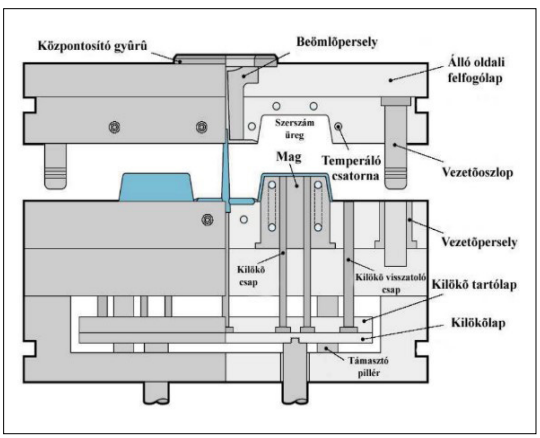
A fröccsöntő szerszám az a komponens, amely lehetővé teszi az alkatrész formájának kialakítását. Benne helyezkedik el a beömlőrendszer, illetve a szerszámüregek, amelyek kitöltése során létrejön a kívánt alkatrész. A fröccsöntő szerszám típusa az alkatrésztől függ. Komplexebb alkatrészek legyártása komplexebb szerszámok szükségét vonja maga után, ezért fontos a költséghatékony gondolkodás már az alkatrész tervezésének legelső lépéseitől. A tervezett szerszám egyszerű, kétlapos (egy osztósíkkal rendelkezik) (1. ábra).

Ugyancsak a szerszám feladata az ömledék eljuttatása a fröccsöntő gép fúvókájától a szerszámüregbe, ez a beömlőrendszer segítségével történik.

Azt a nyílást, amelyen keresztül a műanyagömledék a beömlőrendszerből a szerszámüregbe jut, gátnak nevezik. A gátak mérete, illetve pozíciója igen nagy hatással van a végtermék minőségére. Esetenként különbséget tehet egy tökéletes és egy selejt alkatrész között, emiatt helyes méretezése és elhelyezése kimondottan fontos.

2. Módszertan

A műanyag alkatrész, betétek és a szerszámház összeszerelési modelljének elkészítésére, illetve a terhelési szimulációk elvégzésére az Autodesk Inventor programot használtuk. A fröccsöntési szimulációk elvégzése a SolidWorks Plastics programmal történt. A szimulációk futtatásához szükséges paraméterek a BOY 15S fröccsöntő gép paramétereinek függvényében lettek megválasztva.



1. ábra. *Kétlapos fröccsöntő szerszám felépítése* [1]

A számítások során a polietilén és polipropilén paraméterei közül, minden lépés során, a kevésbé kedvező volt kiválasztva, emiatt az eredmények egy számottevő túlméretezést biztosítanak.

2.1. Szerszámház

A szerszámház tervezése során a kiválasztott alkatrészek az egyszerű, kétlapos szerszám struktúrájának megfelelően voltak megválasztva. A két szerszámfél helyes mozgását szerszámnyitás, illetve szerszámzárás közben csapok és ezeknek megfelelő hüvelyek biztosítják, melyeknek 3D-modelljei a Meusburger GmbH & Co KG online alkatrész-katalógusából származnak.

2.2. Betétek

A betét tervezése több lépésből áll. Legelső sorban meg kell tervezni a szerszámüreg formáját, melyet a műanyag alkatrész határoz meg. Az alkatrész és ebből adódóan a szerszámüreg modelljének tervezése során is fontos a fröccsöntés szempontjából a problémásnak tekintett formák elkerülése. Ilyenek például a derékszögű sarkok, vékony mélyítések, lépcsősen változó falvastagságú szakaszok stb.

3. Eredmények

3.1. Szerszámkitöltési szimulációk

A szimulációk elvégzése érdekében szükség van egy műanyagalkatrész-modellre. Ez a modell képzi a végterméket.

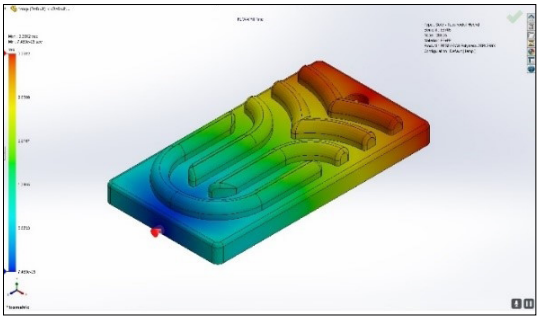
3.1.1. Optimális gátpozíció meghatározása

A szimulációk kiértékelésének első eredménye az optimális gátpozíció meghatározása. Ennek kiválasztása a szimulációkban megjelenő légzárlatok, hegesztési vonalak alapján történt, hiszen ezek esztétikai hibákként nyilvánulnak meg a végterméken [2]. A kitöltés általános minősége is figyelembe volt véve.

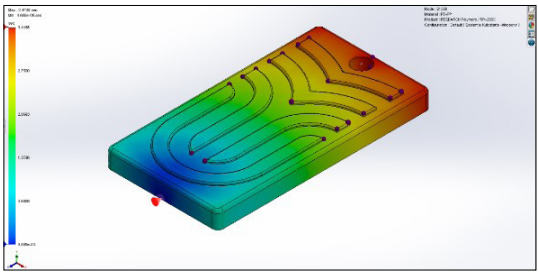
Az optimális gátpozíció meghatározása során fröccsöntési nyomást és állandó gátméretet szögeztünk le, így a kitöltés minősége a gát elhelyezése függvényében tanulmányozható.

A különböző gátpozíciókkal végzett szimulációk eredményei mellett a költséghatékony kivitelezés is fontos szerepet játszott a döntéshozásban.

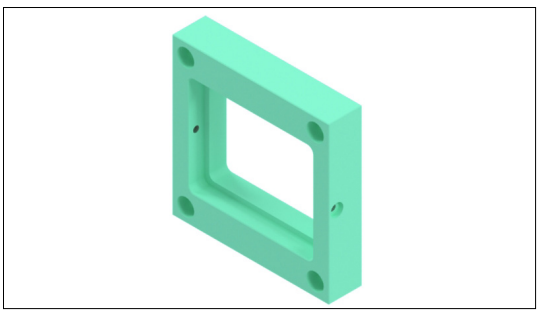
A 2. ábrán látható a végleges gátpozíció. Ez biztosítja azt, hogy az ömledékfront a modell kiemelkedéseit hosszanti irányban tölti ki, mely segít a hegesztési vonalak kiküszöbölésében. [3]



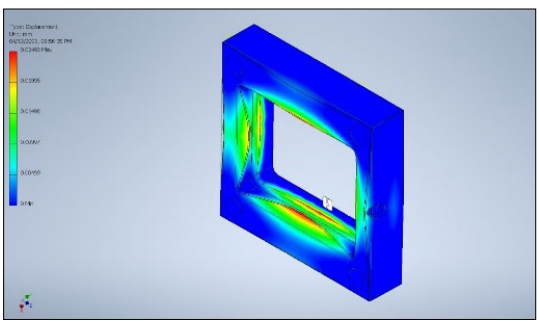
2. ábra. *Optimális, szimmetrikus kitöltést biztosító gátpozíció*



3. ábra. *Optimalizált modell csökkentett kiemelkedésekkel*



4. ábra. *Mozgó oldali formalap a betét beillesztéséhez, illetve a kilökőrendszer működéséhez szükséges megmunkálásokkal*



5. ábra. *Mozgó oldali formalap alakváltozása 50 tonna terhelés esetén (AutoDesk Inventor-szimuláció)*

3.1.2. Optimális modell meghatározása

A kezdetleges alkatrészmodell egy, a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem logóját ábrázoló kulcstartó. A modell kiemelkedő részei számos geometriai sarok megjelenését vonják magukkal, melyek nehézségeket jelentenek fröccsöntés szempontjából. A modell optimalizálása során ezen problémás részek megváltoztatása volt a prioritás oly módon, hogy az eltérés az eredeti formától minimális legyen (**3. ábra**).

A szimulációk segítségével sikerült optimalizálni a műanyag alkatrészmodellt oly módon, hogy teljes üregkitöltést lehessen biztosítani. Ez a légzárványok, illetve hegesztési vonalakat eredményező geometriai sajátosságok módosításával történt. **[3]**

3.2. A fröccsöntő szerszám tervezése

3.2.1. Formalapok tervezése

A szerszám cserélhető betétes kialakítása miatt a formalapokban ki kell alakítani a betétnek szükséges helyet, melynek mérete 80×100 [mm × mm]. A 15 mm vastag betétek 13 mm mélyen helyezkednek el a formalapban, annak érdekében, hogy a betétek – és csak a betétek – teljes érintkezését tudjuk biztosítani a szerszám zárása során.

A kilökő rudak a mozgó oldali formalapon át kell, hogy hatoljanak annak érdekében, hogy a műanyag alkatrész kilökése lehetséges legyen. Ez megoldható furatokkal, viszont ez azt jelentené, hogy más betétek használata esetén az új elhelyezkedésű és különböző méretű kilökő rudak újabb és újabb furatok létrehozását igényelnék. Mivel az egyik fő szempont a betétek cserélhetőségének könnyítése, ez a megoldás nem ideális.

Annak érdekében, hogy a mozgó oldali formalap alkalmas legyen különböző betétek használatára, egy, a betét méreténél kisebb, áthaladó alakos részt kell kialakítani a formalapba, ahogy azt a **4. ábra** mutatja. Ezt oly módon kell megvalósítani, hogy maradjon egy váll, amely egy támaszkodási felületet biztosít a betétnek.

A formalap működőképességének ellenőrzése érdekében terhelési szimulációkat futtattunk a formalap modelljén. A maximális terhelés a gép paramétereiből adódóan ismert (50 t), így elvégezhetőek a terhelésanalízis-vizsgálatok. A szimulációk az AutoDesk Inventor Stress Analysis programmal vannak végezve (**5. ábra**). A szimulációk elvégzéséhez használt anyag az AISI 1045 acél. Az említett anyag mechanikai jellemzői megtalálhatóak az AutoDesk Inventor anyagkatalógu-

sában, így a szimulációk elvégzésére is alkalmas. Az AISI 1045 Young Modulusa ~200 GPa.

A maximális alakváltozás 50 tonna terhelés esetén nem haladta meg a 25 µm-t. Ez az érték kellően alacsony ahhoz, hogy elhanyagolhatónak nevezhessük fröccsöntés szempontjából.

3.2.2. Osztósík meghatározása

A fröccsöntő szerszám tervezése során fontos figyelembe venni az osztósík pozícióját. Mivel a költséghatékony tervezés az egyik fő cél, osztósíknak az alkatrész alapjának síkja lett kiválasztva (6. ábra). Ez több előnyt jelent.

Elsősorban biztosítja azt, hogy az alkatrész, a szerszámnyitás ideje alatt, a szerszám mozgó oldali részében marad, így elősegítve a kilökést. Másodszor, az osztósík helyzetéből adódóan a betétek közül csak az egyiket szükséges megmunkálni, minek köszönhetően lecsökken a gyártási költség és idő. A választott osztósík egy hátránnyal jár: az alkatrész azon éleit, melyek az osztósíkban vannak, nem lehet lekerekíteni.

3.2.3. Beömlőrendszer és üregek tervezése

A beömlőcsatorna átmérőjének 2 mm lett választva, mivel egy ekkora átmérőjű beömlőcsatorna az összes felsorolt műanyag fröccsöntésére alkalmas a tervezett szerszám esetében (1. táblázat), hiszen a maximális folyási út 70 mm (a fúvókától a gátak és alkatrészüreg találkozásáig).

A beömlőpersely és az elosztócsatorna átmérője közötti összefüggést a következő képlettel határozzuk meg:

$$D_{előző} = D_{következő} \cdot \sqrt{n} \qquad (1)$$

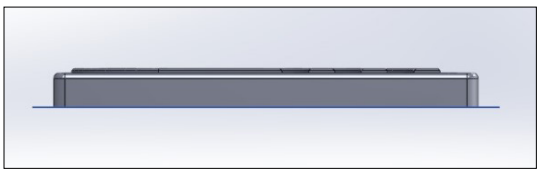
ahol n az az elágazások számát jelöli, $D_{előző}$ az elágazás előtti átmérő és $D_{következő}$ az elágazás utáni átmérőt.

Az elosztócsatornák méretéből visszaszámított perselyátmérő 2,82 mm. Mivel a beömlőpersely kúpos (0,5º kúpszög), a kapott érték az átlagátmérőre érvényes. A Meusburger GmbH által forgalmazott beömlőperselyek között található egy, 2,91 mm átlagátmérővel ellátott alkatrész. Ez elegendően megközelíti a számított értéket.

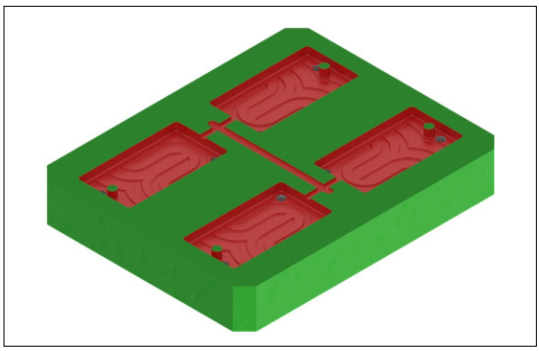
A fészkek elhelyezését meghatározzák a korábban leszögezett tényezők: a kiválasztott gátpozíció és a megmunkálható felület méretei. Mivel a betét méretei az osztósíkban 80 × 100 [mm × mm], négy üreg elhelyezése lehetséges úgy, hogy elegendően nagy (6 mm) maradjon a falvastagság a szerszámüregek, illetve a betét fala között (7. ábra).

1. táblázat. *Maximális folyási út 2 mm átmérőjű csatornák esetében* [4]

Műanyag	Max. folyási út 2 mm átmérőjű vezetékekben [mm]
Polietilén (LDPE)	720
Polietilén (HDPE)	400
Polipropilén	870
Polisztirol	670
Poliamid 66	560
Poliamid 6	510
ABS	370



6. ábra. *Osztósík oldalnézetből (alkatrész alján, vonallal jelölve)*



7. ábra. *Megmunkált mozgó oldali betét modellje*

A tervezett műanyag alkatrész 3D-modelljéből kiszámított térfogat 2.35697 cm^3, így ennek négyszerese 9.42788 cm^3. A beömlőrendszer térfogata 3.80619 cm^3, így egy fröccsöntéshez szükséges polimer térfogata 13,23407 cm^3. A maximális fröccsöntési térfogat/fröccsöntési ciklus 96 cm^3.

3.2.4. Gátak méretezése

A gátak méretezése során jellemző a gát méretének csökkentésére való törekvés. Ennek oka a beömlőcsatornában megdermedt műanyag eltávolításának könnyítése a fröccsöntött terméktől.

Határoló tényezők a maximális megengedett nyírási sebesség, illetve a gátakon számított nyomásesés. Ezek az értékek függenek a használt műanyagtól [5].

Az első méretezési lépés során a maximális nyírási sebességet vettük figyelembe: [5]

$$\dot{\gamma} = 6 \cdot \dot{V}/(w \cdot h^2) \qquad (2)$$

ahol $\dot{\gamma}$ – nyírási sebesség [1/s], $\dot{V}$ – térfogatáram [cm³/s], w – gát szélessége [m] és h – gát vastagsága [m].

A gátak végső méretei: w = 2 mm, h = 0,75 mm. Az így kapott nyírási sebesség: $\dot{\gamma}$17645,426 1/s. A különböző polietilénfajták és polipropilén közül a legalacsonyabb maximális nyírásisebesség-értéket a HDPE, illetve az LDPE paraméterei között találtam: 40 000 1/s [6], amelyet nem halad meg a számított eredmény.

Következő lépésként a teljes beömlőrendszeren számított nyomásesést vizsgáltuk. Szimulációk eredményeiből a nyomásesés < 75 MPa. A használt fröccsöntő gép képes előállítani a számított nyomás kétszeresét (P_{max} = 168 MPa).

3.2.5. Kilökőrendszer tervezése

A használt kilökő rudak hengeresek és sík homlokfelülettel rendelkeznek. A minimális átmérő kiszámításához meg kellett határoznunk a kilökéshez szükséges erőt a 3. képlet [5] segítségével. Ennek az erőnek a felkerekített értéke 1970 N.

$$F = \mu \cdot cos(\Phi) \cdot E \cdot CTE \cdot (T_2 - T_1) \cdot A_{eff} \qquad (3)$$

ahol μ – súrlódási együttható, E – Young Modulus [Pa], CTE – hőtágulási együttható [1/°C], A_{eff} – a műanyagdarab zsugorodó felülete [m²], ε – fajlagos megnyúlás, Φ – kúpossági szöge a szerszámüreg azon részének, amelyre ráfeszül a műanyag a zsugorodás során [°].

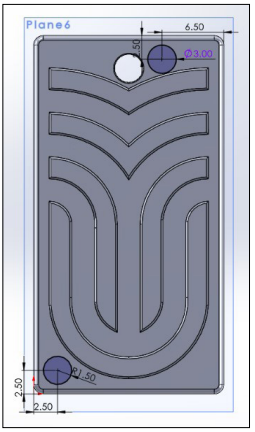
A kilökéshez szükséges erő ismeretében kiszámítható a szükséges átmérő a műanyag alkatrésznyíró igénybevételére. [5]

$$\Omega_{kilökők} > 2 \cdot \frac{F_{kilökés}}{\sigma_{max} \cdot h} \qquad (4)$$

ahol $\Omega_{kilökők}$ – kilökő rudak kerülete [m] (nyírási vonal), σ_{max} – a folyáshatár [Pa] és h – műanyag alkatrész falvastagsága a kilökő rúddal való érintkezés pontjában [m].

Az így kapott kilökő rudak minimális összkerülete 41,042 mm. A tervezett betétpárhoz 8 kilökő rúd jár, így a minimális átmérő 1,63301 mm. Biztonsági tényező beiktatásával a felkerekített érték 3 mm; ilyen kilökő rudakat forgalmaz a Meusburger GmbH, mely könnyebbé teszi az alkatrész beszerzését.

A kilökő rudak kihajlásra is ellenőrizve voltak: igénybevételük 34,83725 MPa, míg a maximális megengedett érték 2,86467 GPa.



8. ábra. *Kilökő rudak elhelyezése a műanyag alkatrészen*

A kilökő rudak elhelyezése során (**8. ábra**) a műanyag alkatrész formája állított fel határokat, hiszen a rudak kizárólag olyan helyen érintkezhetnek az alkatrésszel, ahol ennek felülete lapos.

4. Következtetések

Sikeresen elkészült egy cserélhető betétes fröccsöntő szerszám terve. A szerszám cserélhető betétes kialakításának köszönhetően lehetőség lesz más-más műanyag alkatrészek fröccsöntésére hosszas és költséges szerszámcserék elvégzése nélkül. A terv során elkövetett túlméretezéseknek köszönhetően a tervezett szerszám alkalmas lesz különböző műanyagok fröccsöntési folyamatának tanulmányozására.

Ez jelenti az első lépést annak érdekében, hogy az egyetem hallgatói számára tanulmányozhatóvá váljon a fröccsöntés folyamata egy ipari fröccsöntő berendezéssel.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Mikó B.: *Műanyagfröccsöntő szerszám tervezése és gyártása*. Budapest, 2006. 1–6.

[2] Seow L. W., Lam Y. C.: *Optimizing Flow in Plastic Injection Molding*. Journal of Materials Processing Technology, 78/3. (1997) 333–341. https://doi.org/10.1016/S0924-0136(97)00188-X

[3] Mehdi M.: *Intelligent Optimization of Mold Design and Process Parameters in Injection Molding*. Springer. Springer International Publishing, Cham, 2019. https://doi.ord/10.1007/978-3-030-03356-9

[4] Dunai A., Macskási L.: *Műanyagok fröccsöntése*. 2003. 357–358.

[5] Kazmer O. D.: *Injection Molding Design Engineering*. Hanser Gardner Publications Inc, München, 2016. 176–178, 265–273.

[6] Maximum of Shear Stress and Shear Rate. 2021.