

Politejsav alapú szakítópróbatest fröccsöntő szerszámának szimulációs módszerrel történő optimalizálása

Optimisation of a polylactic acid based tensile specimen injection molding tool by simulation method

CSÖRGŐ Zsombor László¹, SEMPERGER Orsolya Viktória²,
Dr. KOVÁCS Sándor³, NÉMETH Násfa Zsuzsanna⁴, Kiss László⁵
¹junior kutató, ²csoportvezető, ³vezető kutató, ⁴kutató, ⁵kutató

Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., H-3519 Miskolc,
Iglói u. 2., +3646560110, <http://www.bayzoltan.hu>

email: ¹zsombor.csorgo@bayzoltan.hu, ²orsolya.semperger@bayzoltan.hu,
³sandor.kovacs@bayzoltan.hu, ⁴nasfa.nemeth@bayzoltan.hu, ⁵laszlo.kiss@bayzoltan.hu

Abstract

Within the framework of innovative polymer technology processes, the optimisation of an injection molding process and injection molding simulations were addressed. In the production process, injection molding errors were analysed and reproduced in simulation environment. Mold tool optimisation was performed and supported by injection molding simulations. During the workflow, the results were analysed by physically validated injection molding.

Keywords: biopolymer, injection molding, optimisation, simulation, validation

Kivonat

Az innovatív polimertechnológiai eljárások keretein belül egy fröccsöntési folyamat optimalizációjával és fröccsöntési szimulációkkal foglalkoztunk. A gyártástechnológia során előforduló fröccsöntési hibákat analizáltuk és reprodukáltuk szimulációs környezetben. Elvégeztük a szerszám optimalizálását, amit fröccsöntési szimulációkkal támasztottunk alá. A munkafolyamat során fizikailag validált fröccsöntéssel elemeztük a kapott eredményeket.

Kulcsszavak: bioműanyag, fröccsöntés, optimalizálás, szimuláció, validálás

1. BEVEZETÉS

Az innovatív polimertechnológiai eljárásokkal foglalkozó munkánk során optimalizáltuk a biopolimerek fröccsöntési folyamatát és kidolgoztunk egy eljárást azok fröccsöntési szimulációjához. Szimulációs eszközökkel leképeztük a szerszám politejsav alapanyaggal való kitöltését, majd analizáltuk a gyártástechnológia során előforduló fröccsöntési hibákat, amelyek elsősorban a nem megfelelő fészek-kitöltésből adódtak. A fejlesztési eredmények alapján meghatároztuk a megfelelően kitöltött minta előállításához szükséges szerszám geometriát, amelynek optimalizálását fröccsöntési szimulációkkal támasztottuk alá. A szerszám geometriájának megfelelőségét fröccsöntéssel előállított mintákon is validáltuk. A fröccsöntési technológia során a szerszám hőmérsékletének, az alapanyag hőmérsékletének, a fröccsöntés sebességének és nyomásának, az átkapcsolási térfogatnak, és az utónyomásnak a finomhangolásával sikeresen megalkottuk azt a gyártási procedúrát, illetve szimulációs metódust, amellyel ISO szerinti szabványos szakítópróbatest állítható elő. Az átalakított fröccsöntő szerszámmal PLA, illetve politejsav alapú biopolimerekkel hibamentes szakítópróbatesteket sikerült legyártani, amelyek segítségével vizsgálatokat lehet végezni a polimerek szerkezeti anyagtulajdonságainak megismerése céljából.

2. MINTAELŐÁLLÍTÁS

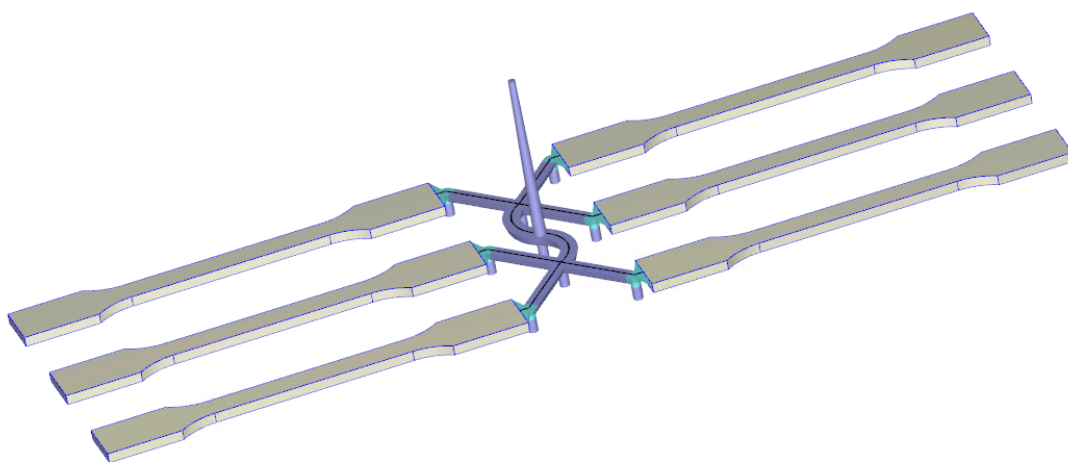
A minták előállításához Arburg 570 S típusú, 50-es csigával felszerelt hidraulikus fröccsöntőgépet használtunk, melynek maximális záróereje 200 tonna. A fröccsöntőgép szerszáma 6 fészkes és MSZ EN ISO 527 szabvány szerinti 1A típusú szakító próbatestek előállítására alkalmas. A fröccsöntés alapanyagaként a NatureWorks Ltd. IngeoTM Biopolymer 3025 D típusú politejsavat alkalmaztunk.

3. FRÖCCSÖNTÉSI SZIMULÁCIÓ FELÉPÍTÉSE

A Moldex3D szoftverrel háromdimenziós fröccsöntő CAE szimulációkat végeztünk. A szimulációk alapjául szolgált a fröccsöntő szerszám geometriája, amely 6 darab szabványosított próbatestet tartalmaz. Egy próbatest befoglaló méretei: 170 mm x 20 mm x 4 mm voltak. A CAD geometriákat először importáltuk a modell elkészítéséhez, majd a szerszám geometriájának definiálása következett, amely számunkra adott volt.

Ezek után következett a végeleemes háló elkészítése. A szoftverben teljes keresztmetszetet felölelő, az elosztó csatornára és a szerszám testre is kiterjedő 3D-s, automatikus hálózás funkció létezik. A háló finomítása automatikus a csatlakozó felületeknél. A hálózás során globálisan megadtuk a hálózás méretét, amely során a próbatesteken 1 mm-re helyezkednek el egymástól a csomópontok. A hálózásnál 5 rétegű Boundary Layer Mesh technikát használtunk, amely sűrű elemeloszlással rendelkezik a normál irányban meghatározott mértékben. Ezt a típusú háló folyadékáramlási feladatoknál a vékony határrétegek feloldására használatos. A szimulációs peremfeltételeket nem szükséges manuálisan megadni a programban, ezeket magának generálja a szoftver.

A szimuláció során az említett 6 fészkes szerszámot alkalmaztuk, amelyhez az anyag 2 elágazásos csatornarendszer segítségével jut el. A szimmetrikus kialakításnak köszönhetően az anyagáramlásban ez nem okozott fennakadást.



1. ábra: Szerszám fészkeinek kialakítási modellje

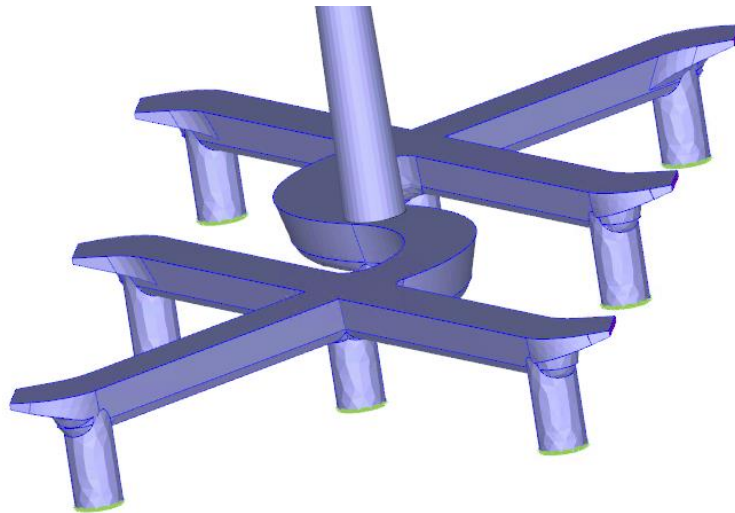
A szimuláció felépítése esetében a teljes szerszám geometriájának importálása (Mold Plate) következett. A valós környezet megtartása érdekében alkalmaztuk ezt a megoldást. Az opció használata jelentős mértékben nem növelte a futtatási időt és az eredmények tekintetében sem okozott változást.

A műanyag ömledék betöltéséhez definiáltuk a beömlőnyílást (Melt inlet), amely az egyszerűbb futtatások mellett az eredményeket nem befolyásolta. A fröccsöntő szerszám geometriai kialakításából adódóan a hűtőcsatornák (Cooling channel) pályája adott volt. A kialakítást vonalak összességével megrajzoltuk, majd hozzárendeltük a megfelelő szekciót. A szerszám hűtése vízzel történik, amelyet a felső csatornakörbe vezetnek be, és az alsóból távozik.

A kezdetleges szimulációs beállításoknál a fröccsöntési sebességet $100 \frac{\text{cm}^3}{\text{sec}}$ -ban, a fröccsnyomást 140 MPa-ban, az utónyomást pedig két szakaszban határoztuk meg. Először 10 másodpercig 85 MPa, majd a második szakaszban 1 másodpercig 10 MPa-on alkalmaztuk.

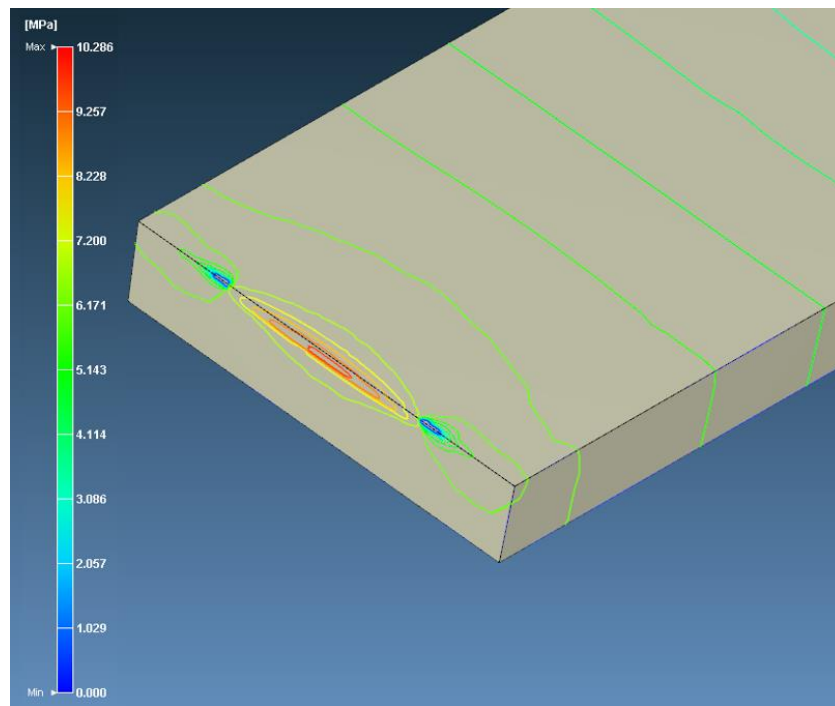
4. GEOMETRIAI VÁLTOZTATÁSOK

A fröccsöntések során tapasztalt hibás próbatesteket a hiányos üregkitöltés okozta. Ezekből következtettünk, hogy az anyagáramlás során történt fennakadás. Először a hibás fröccsöntést reprodukáltuk szimulációkban. Az anyagáramlás során alkalmazott csatornákat (Cold runner) importáltuk egy CAD modell alapján. Az elsődleges szimulációkban tapasztaltuk a hibákat, hogy az üregkitöltés nem történik meg teljesen és a gát lefagy, vagyis megszakad az ömledék áramlása. A gát belépési keresztmetszete: $0,5 * 5 \text{ mm}$ volt.



2. ábra: Az eredeti csatorna modellje (Cold runner)

A fészkek kitöltése során a gátak szélein jelentkező nyomásesés miatt az anyag nem töltötte ki maradéktalanul az üregeket, amely a fröccsöntött próbatesteken is szemmel látható eredményei voltak. A fröccsöntés nem elégséges nyomása következtében a munkadarab sarkaiba nem jutott elegendő anyagmennyiség és hamarabb megszilárdult.



3. ábra: Nyomáseloszlás ISO-kontúros megjelenítése a kitöltési szakaszban

Emellett a próbatest teljes hosszában beszívódásokat tapasztaltunk, amelyek a beömlőnyílások korai lefagyása miatt nem megfelelően érvényesülő utónyomás miatt jelentkeztek. A szerszám kitöltése érdekében alkalmazott nagy nyomás és fröccsöntési sebesség pedig felületi hibákat okozott a terméken.

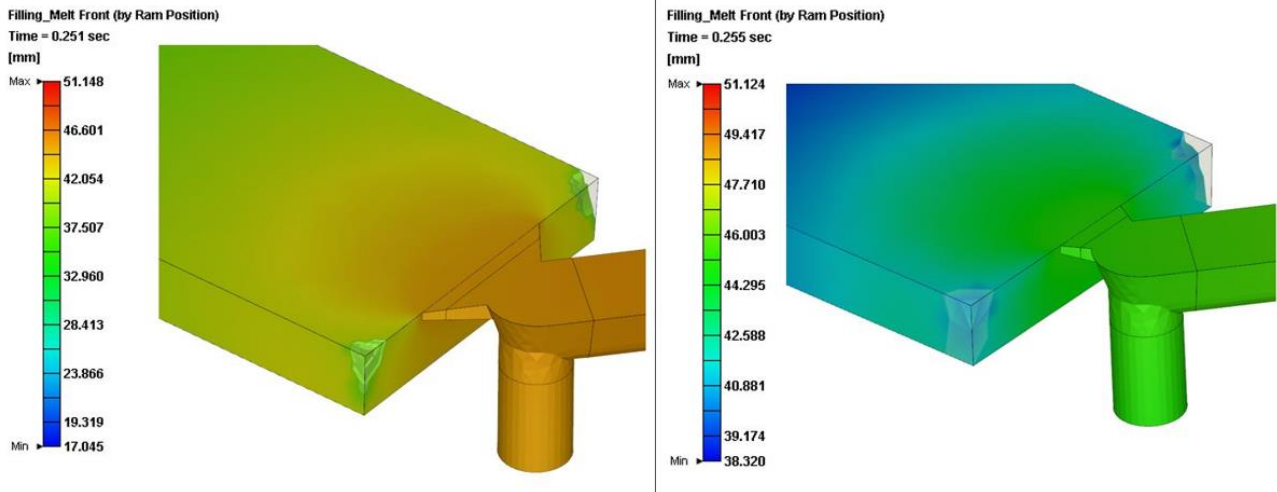


4. ábra: Fröccsöntött próbatestek felületi hibái

4.1. Gátak átalakítása

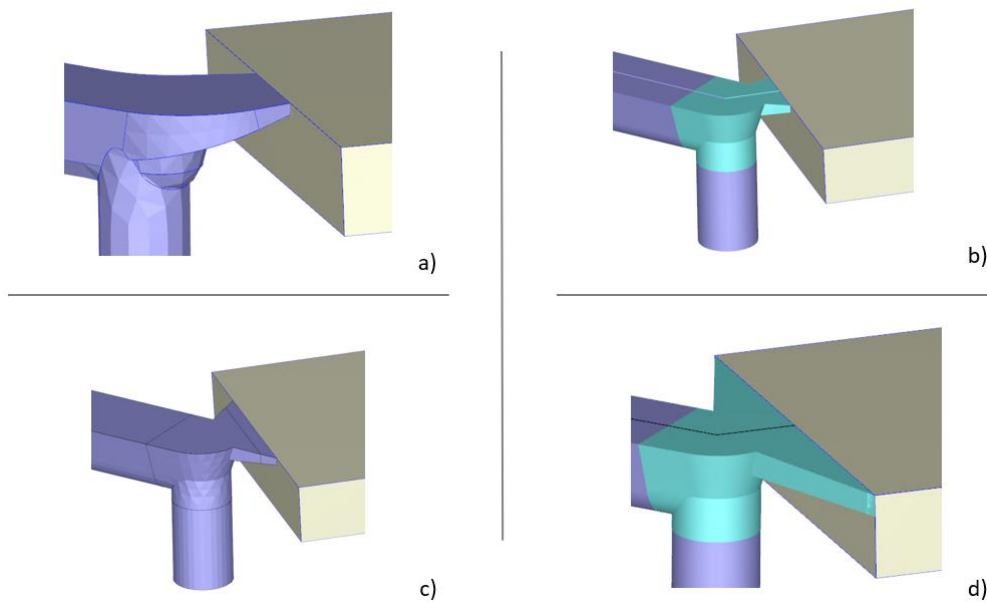
Megvizsgálva a problémát arra a következtetésre jutottunk, hogy a gátakat ki kell szélesíteni a meglövési pontokban. A változtatások során újra rajzoltuk a csatornák geometriáját, de az eredeti kialakítást megtartottuk. Az újra tervezés során kör - és U - keresztmetszetű csatornákat alkalmaztunk. A gátak keresztmetszetének változtatása több lépésben valósult meg, amely során horizontális és vertikális irányban is bővítések történtek.

Az eredeti 0,5 * 5 mm-es keresztmetszetű gátat először duplájára szélesítettük, az így kapott keresztmetszett: 0,5 * 10 mm lett. A módosítással javultak a fröccsöntési eredmények a szimulációkban, viszont az eredeti problémát – a fészkek sarkaiban lévő kitöltést – nem orvosoltuk.



5. ábra: Hiányos fészekkitöltés a sarokpontokban

A gátakat ezen eredmények ismeretében tovább bővítettük, így a gátat a próbatest teljes szélességére méreteztük, amely így $0,5 * 20$ mm-es lett. Ezzel a keresztmetszettel megfelelő eredményeket kaptunk a szimulációk során, vagyis a fészkek kitöltése hiánytalanul megtörtént. A további felhasználás érdekében – biopolimerek fröccsöntése esetén- a gátak keresztmetszetének fejlesztése folytatódott, ami során duplájára mélyítettük a gátat. A végleges méret $1 * 20$ mm-es lett, amellyel a szimulációk hibamentesen lefutottak.



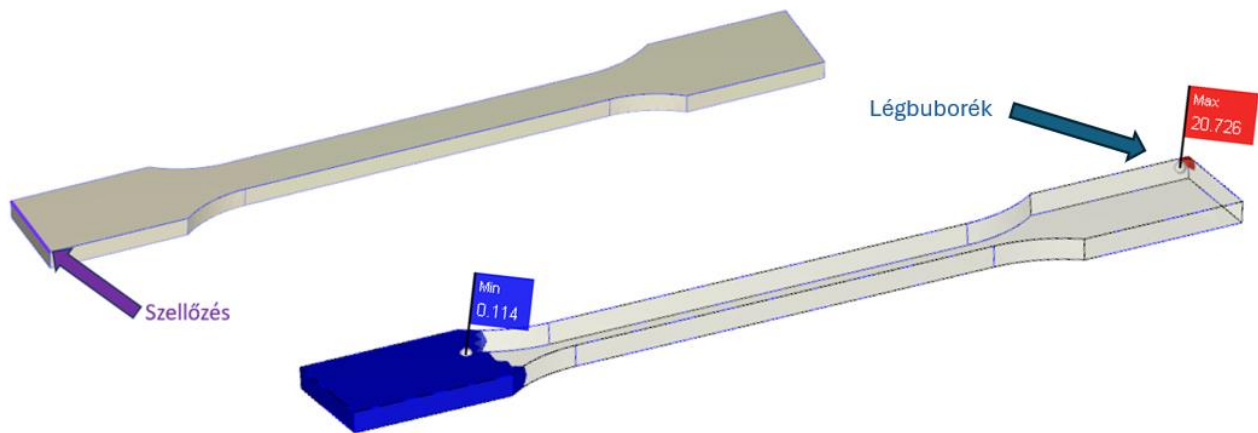
6. ábra: Alkalmazott gát keresztmetszetek

- a) Eredeti geometria
- b) Reprodukált geometria
- c) Változtatott keresztmetszet ($0,5 * 10$ mm)
- d) Végző gát keresztmetszet ($1 * 20$ mm)

4.2. Fészkek szellőztetése

Fröccsöntés folyamán az anyagutak végén fontos a szellőztetés a teljes kitöltéshez, ezek elhanyagolása légbuborékok megjelenését eredményezheti. A gátak áttervezésével párhuzamosan a fröccsöntés szellőztetését

is vizsgáltuk. Az első szimulációk során csak az fészkek végén alkalmaztuk a szellőztetést, ami hibás eredményeket produkált, mert ezekben az esetekben megjelentek a próbatestben a légbuborékok és ezáltal a kitöltés is hiányos lett, mert a belső légnyomás nem tudott eltávozni az üregekből.



7. ábra: Szellőztetés a fészkek végén (felül) és a fennmaradó légnyomás [MPa] a kitöltés során (alul)

A problémát a próbatestek felső peremére alkalmazott szellőztetésével tudtuk megoldani. Így a légbuborékok teljes mértékben eltávoztak a kitöltés során és a szimulációs eredmények megfelelő eredményt mutattak.

5. FRÖCCSÖNTŐ SZERSZÁM OPTIMALIZÁCIÓJÁNAK EREDMÉNYE

A munkafolyamatok közben fizikailag validált fröccsöntéssel elemeztük a kapott szimulációs eredményeket, ennek köszönhetően pontosabb képet kaptunk a fejlesztésről. A módosított gát keresztmetszetével a fröccsöntési szimulációkban hibát nem tapasztaltunk. A visszajelzések érdekében többféle anyagminőséggel is végeztünk futtatásokat, amelyek hibamentesen lefutottak. Az optimalizált szimulációs eredmények alapján a fröccsöntő szerszám átalakítása megtörtént. A modifikált szerszámmal optimális szakító próbatestek előállítása valósult meg a valódi fröccsöntés során.



8. ábra: Hibamentesen fröccsöntött próbatest

Végso feldolgozási paraméterek és értékek	
Adagolási térfogat	84 cm ³
Átkapcsolási térfogat	10 cm ³
Fröccssebesség	100-60 cm ³ /s
Fröccsnyomás	1200 bar
Utónyomás	1000 bar
Utónyomás ideje	16 s
Henger hőmérsékletprofilja	195-175 °C
Torlónyomás	80 bar
Szerszámhőmérséklet	25 °C

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatásunk során sikeresen kidolgoztunk egy eljárást a biopolimerek fröccsöntési folyamatához, amelyhez megteremtettünk egy szimulációs háttérrel. A munka első körében a rendelkezésünkre álló szerszám geometriával végeztünk fröccsöntési szimulációkat. A fellépő valós fröccsöntési hibák javítására a szerszám kialakítását optimalizáltuk, amelyet szimulációkkal támasztottunk alá. Ezen változtatás a gátak keresztmetszetében valósult meg. A 6 fészkes szerszám gátjainak bővítését határoztuk meg: a 0,5 * 10 mm téglalap keresztmetszetet 1 * 20 mm-re növeltük. Optimalizálásra kerültek a fröccsöntési technológia paramétere is. Ezekkel a változtatásokkal a fröccsöntés hibáit ki tudtuk küszöbölni és a szabványosított szakítópróbatestek gyártása tökéletesítésre került.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A TKP2021-NKTA-07 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Project no. TKP2021-NKTA-07 has been implemented with the support provided by the Ministry of Culture and Innovation of Hungary from the National Research, Development and Innovation Fund, financed under the TKP2021-NKTA funding scheme.