

Hálófinomítási eljárás fejlesztése fröccsöntési szimulációs alkalmazásokhoz

Development of Mesh Refinement Algorithm for Injection Moulding Simulation Software

FRIS Dorottya Réka¹, MSc hallgató, SZABÓ Ferenc², PhD, adjunktus

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., +36-20-410-4496, frisdorottya@freemail.hu, www.pt.bme.hu

² Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., +36-1-463-1459, szabof@pt.bme.hu, www.pt.bme.hu

Összefoglalás

Munkánk célja egy olyan hálófinomítási algoritmus fejlesztése volt, amely segítségével a Moldflow szimulációs szoftver a már meglévő szimulációs eredmények alapján automatikusan képes lokális hálófinomításra. A fejlesztési algoritmust Matlabban készítettük, strukturált és strukturálatlan hálókat egyaránt vizsgálva. Az előkísérletek után háromféle kritérium: a hőmérséklet gradiens, nyírósebesség és az ömledék sebesség gradiens alapján végeztünk hálófinomítást Delaunay-háromszögelés segítségével.

Kulcsszavak: fröccsöntés, reológia, szimuláció, fröccsöntésszimuláció, kitöltési egyenetlenség, hálófinomítás

Abstract

The aim of this study was to develop a mesh refinement algorithm with Matlab, which enables Moldflow to correctly predict mould filling imbalances during multi-cavity injection moulding. After the pre-experiments, both structured and unstructured meshes were observed by setting three different criteria considering temperature gradient, shear rate and velocity gradient, according to which the refinement was done with Delaunay triangulation.

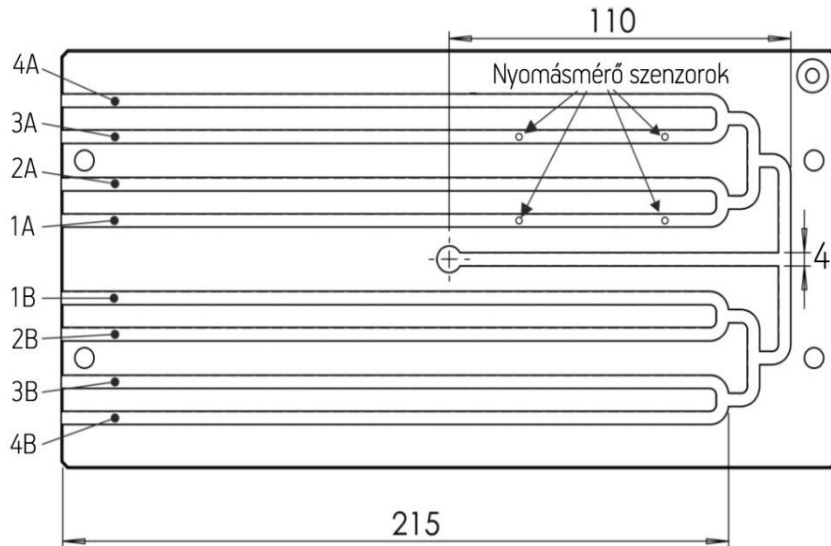
1. BEVEZETÉS

A XX. század második felétől a polimerek egyre nagyobb teret hódítottak maguknak a fogyasztói társadalom iparában. A fröccsöntés egyike a legtermelékenyebb és legszéleskörűbb polimerfeldolgozási technológiáknak, ami lehetővé teszi a mérnökök számára, hogy gyakorlatilag tetszőleges terméket tervezzenek, miközben gyors és költséghatékony gyártást biztosít. Azonban a megbízható gyártási folyamat érdekében fontos meghatározni a fröccsöntési paraméterek optimális beállításának „törékeny egyensúlyát”. Ezek a paraméterek nagyban függenek a tervezett szerszám geometriájától is. A termelékenység növelése érdekében gyakran használatosak többfészkés szerszámok, amelyek bonyolultabb elosztócsatorna-rendszerrel bírnak további esetleges hibákat okozva, ha a fröccsöntési paraméterek nincsenek optimalizálva [1].

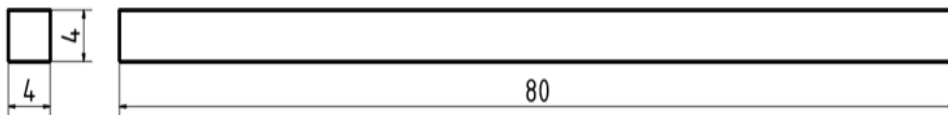
Fröccsöntésszimulációs szoftverekkel gyorsan és kényelmesen juthatunk előzetes eredményekhez, felgyorsítva ezzel a tervezési folyamatot, azonban gyakran nehézségekbe ütközik a megfelelő végeselemes háló elkészítése. Ebből fakadóan jogosan megkérdőjelezhető az egyes szoftverek eredményeinek megbízhatósága, különösen akkor, ha bonyolultabb többfészkés rendszert alkalmazunk gyártás során. A legfrissebb kutatások alapján kijelenthető, hogy a többfészkés rendszerek esetén jelentkező úgynevezett „Flipper-effektust”, amely kitöltési egyenetlenséget eredményez nem képesek kielégítően szimulálni az erre hivatott szoftverek [2, 3].

2. ALKALMAZOTT SZOFTVEREK ÉS MÓDSZEREK

Az előkísérletek során az 1. ábra által szemléltetett próbatesten végeztünk szimulációkat Autodesk Moldflow 2018 fröccsöntési szimulációs szoftver segítségével. A fejlesztési algoritmust Matlab R2019a programmal írtuk, amely a MathWorks egy széleskörben alkalmazott numerikus programozási nyelve. A hálófinoításhoz elvégzett szimulációkhoz egy egyszerűsített, 4x4x80-as próbatestet alkalmaztunk (2. ábra), lerövidítve az időigényeket.



1. ábra A többfészkes szerszámot szimuláló geometria



2. ábra A hálófinoításhoz használt egyszerűbb geometria

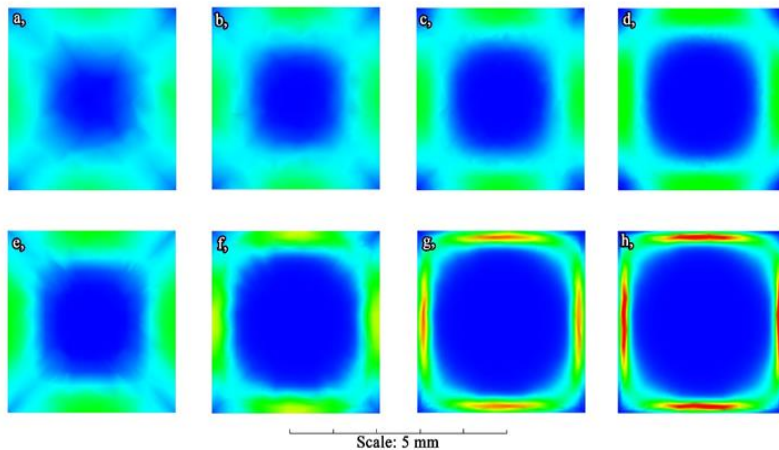
Az előkísérletek során különböző sűrűségű strukturált és strukturálatlan hálókat vizsgáltunk nyírósebesség és kitöltési idő szempontjából.

Mivel a pontosabb szimulációk érdekében sűrűbb hálóra van szükség, amely időigényes szimulációkkal jár, lokális hálófinoítási eljárást alkalmaztunk, mivel a Flipper-effektus jelensége a szerszám falának a közelében jelentős, így a finomabb háló ott indokolt igazán. A finomítás során a meglévő háló 4-4 csomópontokból álló tetraédres elemeinek súlypontjába új csomópontokat helyeztünk adott kritérium alapján, majd az így kapott pontfelhőből Delaunay-háromszögelés segítségével új hálót építettünk.

3. EREDMÉNYEK

Az előkísérletek alátámasztották, hogy a Moldflow szimulációs szoftver túlságosan durva háló használatakor nem képes a Flipper-effektus jelenségét kellőképpen szemléltetni. A Flipper-effektus során a szerszám közelében a lefagyott réteg miatt a nyírás sokkal jelentősebb, mint az ömledékfront középső vonalaiban. A durva háló miatt azonban kevés csomópontban jelenik meg konkrét, számolt adat, a köztes helyeken a program pedig a saját algoritmus szerint állít elő értékeket, amelyek nem feltétlenül tükrözik a valóságot. A nyírás értékek hatással vannak az ömledék viszkozitására, amely

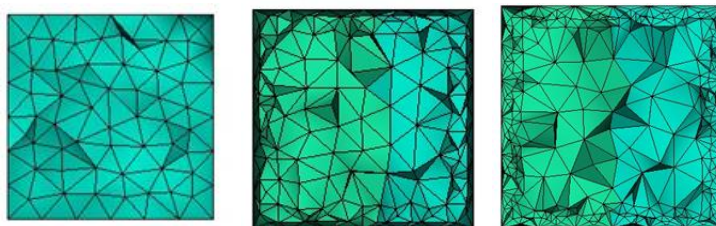
pedig az ömledék sebességét határozza meg, így ebből adódóan a kitöltési egyenetlenségek tévesek. Finomabb hálók esetén ez az átlagolódás egyre kevésbé jellemző (3. ábra), az eredmények azonban még mindig nem kellően valóságosak, a szimulációk időigényessége pedig jelentős mértékben nő. Az átlagolódás a hőmérséklet profilokban is megjelenik, ugyanakkor az is beigazolódtott, hogy kellően sűrű háló alkalmazásakor a Flipper-effektus is megfigyelhető bizonyos mértékben.



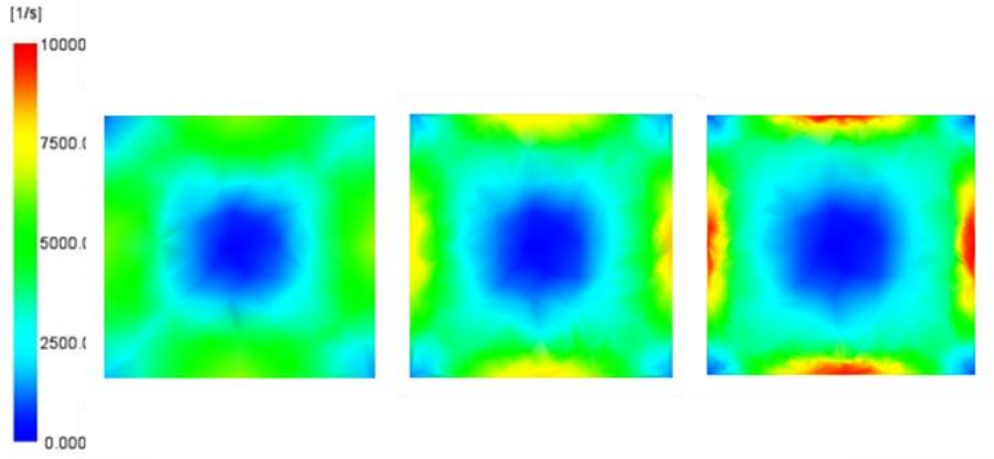
3. ábra Különböző sűrűségű hálók (a: legritkább – h: legsűrűbb) szimulációjakor kapott nyírás eredmények

Az előkísérletek után hálófinomító algoritmust fejlesztettünk Matlab szoftverrel. Az algoritmus lényege, hogy ha egy adott tetraédes elem bármely csomópontjára egy bizonyos kritérium teljesül, akkor a tetraéder súlypontjába új csomópont kerül. A kritériumot felállítottuk külön a hőmérséklet gradiens, nyírósebesség érték és az ömledék sebesség gradiens alapján, azoknak bizonyos percentilis értékére. Ennek segítségével a szimulációs eredményeket vizsgálva a kritériumot teljesítő „rossz” csomópontokhoz tartozó „rossz” tetraédes elemek súlypontjába új csomópontokat helyeztünk, így egy pontfelhőt kapva. Ebből a pontfelhőből Delaunay-háromszögelés segítségével generáltunk új hálót. A módszer strukturálatlan hálók esetén megfelelően működött, strukturált hálók használatakor azonban enyhén módosítani kellett a súlypontok helyzetén, ugyanis a túlzott szabályosság végett a háromszögelési módszer 4 db egy síkba eső pontból is „tetraédert” generál, ami a Moldflow szimuláció szempontjából nem kompatibilis.

Mivel a hőmérséklet gradiens vizsgálatok az új csomópontok a szerszám falának a közelében helyezkedtek el, elsősorban az ezáltal felállított kritériumot vizsgáltuk. Kétszer is végeztünk hálófinomítást (4. ábra), majd az új hálókkal Moldflowban szimulációkat futtattunk. Az ezáltal kapott eredményeket a 5. ábra szemlélteti. Összevetve az eredményeket az előkísérletek eredményeivel, megállapítható a hasonlóság, vagyis az, hogy az átlagolódás az algoritmus segítségével visszaszorítható, így a módszer ígéretes.



4. ábra Az eredeti, az egyszeresen és a kétszeresen finomított strukturálatlan háló keresztmetszeti képe



5. ábra Az eredeti, az egyszeresen és a kétszeresen finomított strukturálatlan háló nyírósebességi eredményei

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk során előkísérleteket végeztünk, hogy rámutassunk a Moldflow szimulációs szoftver korlátozottságára a többfészkés szerszámok során fellépő kitöltési egyenetlenségek terén. Ezután Matlab segítségével hálófinomítási algoritmust fejlesztettünk, amely hőmérséklet gradiens, nyírósebesség és ömledék sebesség gradiens szerint vizsgálta a háló elemeit, majd új csomópontokat helyezett el és Delaunay-háromszögelés által új hálót generált. A hőmérséklet gradiens szerint végzett finomítás az eredmények alapján ígéretesnek tűnik, azonban célszerű lehet a többi kritérium vizsgálata, ezeknek esetleg keresztezése a további kutatásokban.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Munkánk a Nemzeti Kutatási és Innovációs Hivatal támogatásával az NKFIH Alapból valósult meg (NVKP_16-1-2016-0038, 2017-2.3.7-TÉT-IN-2017-00049, 2018-1.3.1-VKE). Köszönjük továbbá az ARBURG HUNGÁRIA KFT.-nek az ARBURG Allrounder 420C 1000-290 típusú fröccsöntőgépet, valamint a TOOL-TEMP HUNGÁRIA KFT.-nek, a LENZKES GMBH-nak és a PIOVAN HUNGARY KFT.-nek a kiegészítő berendezéseket.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: A polimertechnika alapjai. Műegyetemi kiadó, Budapest, 2000.
- [2] Wolbert M.J.: Technical Analysis of Adjustable Melt Rotation and Numerical Analysis of Polymer Flow using CFD Software. Lehigh University, 2007.
- [3] Nagy Á.: Development of injection molding simulation system and its material modeling. Diplomaterv. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Polimertechnika Tanszék, 2016.