

Fröccsöntés szimulációs modellfejlesztés

Injection molding simulation model development

ZINK Béla, Dr. Suplicz András, Dr. Szabó Ferenc

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

Összefoglalás

A munkánkban összehasonlítottuk a hagyományos hűtőkörrel gyártott acél (P20), a formakövető hűtőkörrel előállított acél (DMLS) és a hagyományos hűtőkörrel gyártott réz szerszámbetétek mért és numerikus úton számított eredményeit. Megállapítottuk, hogy a P20-as szerszámbetét esetében a mért és számított eredmények között több Celsius fokos a különbség, amely keletkezhet a nem megfelelő pontosságú peremfeltételektől. A mozgó és álló szerszámbetétek között illesztési hézaggal biztosítják az összevezetést és a levegő távozását, ez viszont növeli a hőátviteli tényezőt. A vizsgálatok eredményéből látható, hogy a mért és számított eredmények különbsége csökkent, az eredmények jobban megközelítik a valóságot. Foglalkoztunk munkánkban továbbá az ráfröccsöntéses technológiánál az inezertek átolvadásának numerikus számítási lehetőségével. Megállapítottuk, hogy az átolvadás numerikus számítása erősen függ az elemmérettől, mert a csomópontok adatait használja fel a program a teljes keresztmetszet átolvadásának kiszámítására. Határréteg hálózással az elemszám jelentős növelése nélkül lehet pontosítani a számításokat.

Abstract

In our work we have compared the numerical and measurement result of different type of injection mold insert. The temperature results for the conventional steel (P20) inserts with conventional cooling channels showed a great difference, the calculated results were smaller than the measured ones. We decided to change the boundary conditions, because the joint gap between the moving and the stationary half of the mold hinders the heat transfer. The difference between the calculated and measurement results decreased, but there was still a slight difference in the temperatures. Furthermore we investigated the usage of injection molding simulations in the field of overmolding. We analyzed the cohesive relation between the polymer insert and the melt. We concluded that the temperature profile of the polymer insert can be calculated properly if there are enough nodes in the cross section. The easiest way to secure this is by meshing the model with boundary mesh, which is made by shifting the surface elements into the cross section.

Kulcsszavak

illesztési hézag, kezdeti- és peremfeltételek, fröccsöntés szimuláció, határréteg-hálózás, ráfröccsöntés

1. BEVEZETÉS

A műanyag feldolgozó ipar az elmúlt 10 év egyik leggyorsabban fejlődő ipari ágazata, 2013-ban közel 300 millió tonna alapanyag került felhasználásra. Az ágazat egyik legfontosabb feldolgozási technológiája a fröccsöntés, amellyel nagy pontosságú, összetett, 3D-s termékeket lehet előállítani. A növekvő minőségi és gazdasági követelmények miatt a termékek minőségének növelése és a ciklusidő csökkentése fontos szempont [1].

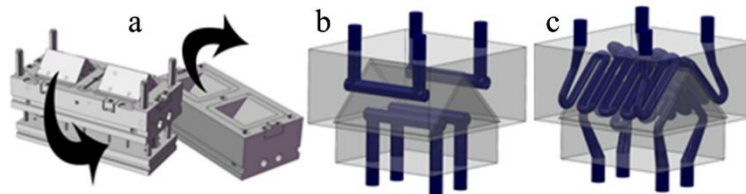
Ebben nyújtanak segítséget a fröccsöntő szimulációs programok, amelyekkel a fröccsöntési ciklus egyes fázisai vizsgálhatók, mint például a szerszám kitöltése, utónyomási szakasz stb. Az eredményekből következtetések vonhatók le a termék minőségre, megállapíthatók az optimális feldolgozási paraméterek stb. A szimulációk pontosságát alapvetően meghatározzák a kezdeti és peremfeltételek. Az elhanyagolások speciális esetekben a valósághoz képest jelentős hibát adnak, ilyen eset például az, amikor a hűtőkörök elhelyezése nem optimális, így a hatékonyságuk romlik. Ebben az esetben a szerszámbetétek közötti hőcserét is figyelembe kell venni. A betétek illesztési hézagjai rontják a betétek

közötti hőátviteli tényezőt. Az általános felhasználáson túl, lehetőség nyílik numerikus eljárással az összetett és speciális fröccsöntési technológiák vizsgálatára is. Ilyen például a ráfröccsöntéses technológia, amelynél fém vagy műanyag inzertre fröccsöntik az ömledéket. Ezzel a technológiával kialakíthatók gáz- és vízzáró kötések, ebben az esetben műanyag inzertre történik a fröccsöntés, a nagy hőmérséklet és nyomás hatására ömledék állapotba kerül az inzerten kialakított beolvadó borda. A ráfröccsöntött ömledék és a borda között így alakul ki a kohéziós kapcsolat, ami biztosítja gáz- és vízzárást. A folyamatnak a szimulációja viszont különleges kezdeti és peremfeltételek szükségesek. A ráfröccsöntéses technológia esetében a legfontosabb kezdeti feltétel a termék hálózása, mert csak kisméretű elemek esetében mutatható ki megfelelő pontossággal az átolvadás. Az elemméret csökkentése viszont többszörösére növeli a számítási időt, ezért érdemes strukturált hálót használni ezeknél a szimulációknál. A strukturált háló a felszínnel párhuzamosan eltoló rétegekből áll, a háló négy csomópontos tetraéder elemekből áll [2].

Munkánkban tanulmányoztuk a kezdeti és peremfeltételek, illetve a modellépítés szimulációs jelentőségét. Kis hűtési hatékonyságú, hagyományos hűtőkörök esetében az illesztési hézag hőtranszport folyamatokra gyakorolt hatását vizsgáltuk szimulációs modellépítéssel és infravörös hőkamerás mérésekkel. Vizsgáltuk továbbá a ráfröccsöntéses technológia szimulációs lehetőségeit, vizsgálatunk fő szempontja olyan szimulációs modell építése volt, amellyel nagyobb pontossággal elemezhetők a kohéziós kapcsolatot meghatározó tényezők.

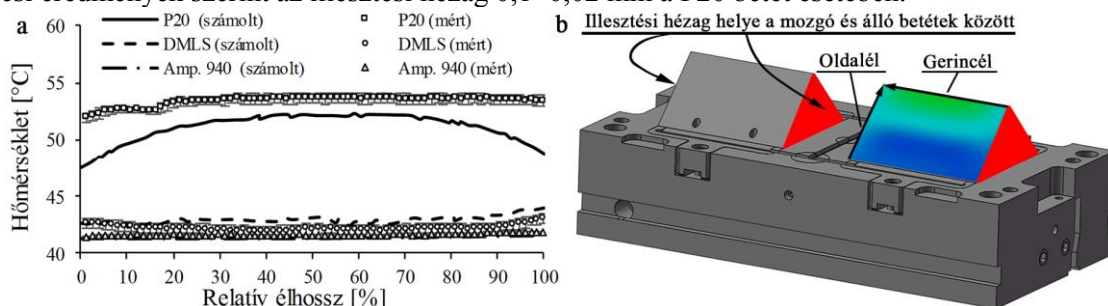
2. SZERSZÁMBETÉTEK HŐTANI VIZSGÁLATA

A szerszámbetétek vizsgálatát három különböző kialakításon végeztük. Egyik a hagyományos megmunkálással készült, fűrt hűtőkörös acél (P20) szerszámbetét (1/b ábra). A második kialakítás szintén hagyományos, fűrt hűtőkörös, de az alapanyaga nem acél, hanem ötvöztött réz (1/b ábra). A harmadik megoldás az elsőhöz hasonlóan acélból készült, de Direct Metal Laser Sintering technológiával, amely lehetővé teszi a formakövető hűtőkörök gyártását (1/c ábra).



1 ábra A P20 és az Ampcoloy (a), illetve a DMLS (b) szerszámbetét kialakítása

Különböző hűtőkör-kialakítású és alapanyagú szerszámbetétek numerikus számításainak és hőkamerás eredményeinek összehasonlításakor nagy eltérést tapasztaltunk a hagyományos megmunkálással, P20-as acélból gyártott szerszámbetét esetében (2/a ábra). A hőmérsékletkülönbség a szerszámbetét két szélén tovább nőtt, ezért megvizsgáltuk a mozgó és álló szerszámbetét között illesztési hézag numerikus számításokra gyakorolt hatását. A numerikus megoldáshoz első közelítésben beállított hőátviteli tényező a betétek oldalán a számításoknál nagyobb lehet, mint a valóságban. A DMLS és Ampcoloy szerszámbetéteknél a hőt a hűtőkörök hatékonyabban elvezették, mert a formaadó felülethez közelebb vannak, illetve a nagy hővezető képességű réz alapanyag gyorsabban és nagyobb hőt képes a távolabb eső hűtőkörökhöz vezetni, így ezeknél a szerszámbetéteknél nem meghatározó az illesztési hézag. A mérési eredmények szerint az illesztési hézag $0,1 \pm 0,02$ mm a P20 betét esetében.



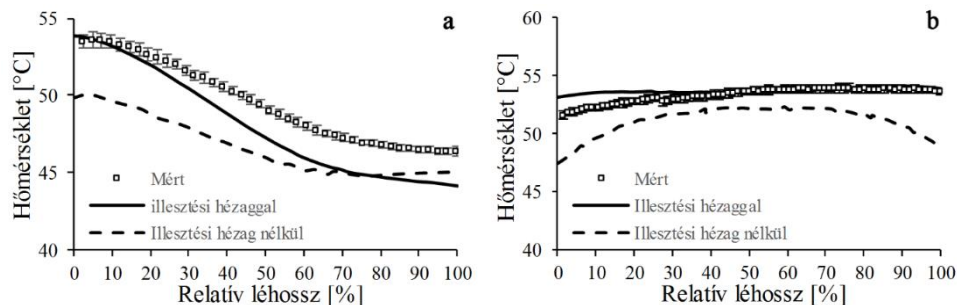
2. ábra A szerszámbetétek mért és számított hőmérsékleteloszlása a gerincél mentén (a) és a kiértékelésekhez használt élek elnevezései, illetve a szerszámbetétek közötti illesztési hézagok helye (b)

Az illesztési hézag modellezésénél a két szerszámbetét közé 0,1 mm-es hézagot hoztunk létre, amit 0,4 mm-es elemméretű 3D elemekkel hálózunk (2/b ábra). A szimulációkhoz az 1 baros száraz levegőhöz tartozó hőtani paramétereket használtuk fel (1. táblázat). A számítási algoritmus nem képes figyelembe venni a sűrűségkülönbség által előidézett hőszállítást, a hézagot hőszigetelő lapnak tekinti.

Hővezetési tényező (W/mK)	0,03
Fajhő (J/kgK)	1008
Sűrűség (g/cm ³)	0,001
Térfogati hőtágulási együttható (1/°C)	0,00283

1. táblázat Az illesztési hézag vizsgálatához felhasznált szimulációs paraméterek

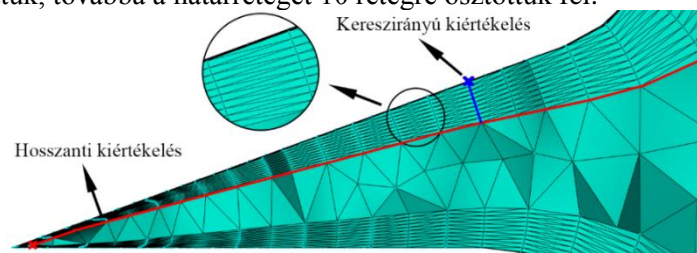
Az eredmények szerint a modellezett hézaggal a számított eredmények mind a két élhossz mentén $\pm 2^\circ\text{C}$ -os intervallumba esnek, amely a hőkamera pontossága. A belső élhossz mentén viszont a két görbe lefutása nem egyezik, a számított görbe meredeksége nagyobb. A különbség származhat abból, hogy a valóságban a hűtőkör hatékonysága kisebb, mert a használattól a felülete korrodálódott, illetve a szimulációs programok nem képesek figyelembe venni a hűtőkörök felületi érdességéből adódó különbségeket sem, továbbá a szerszám temperálása csak hőmérséklet-vezérelt, a hűtőfolyadék tömegárama nem állítható. A hűtővíz hőmérsékletének toleranciája $\pm 2\text{-}3^\circ\text{C}$, ez is okozhat eltérést a mért és számított értékek között.



3. ábra A hagyományos szerszámbetét oldal- (a) és gerincéleinél (b) mért és számított hőmérséklet-eloszlások (illesztési hézagos és hézag nélküli esetben)

3. RÁFRÖCCSÖNTÉSES TECHNOLÓGIA PEREMFELTÉTELEINEK PONTOSÍTÁSA

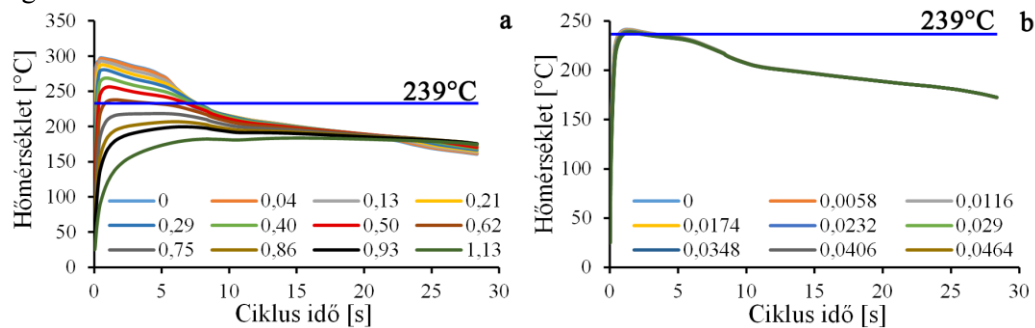
A ráfröccsöntéses technológiánál az inzert alapanyaga lehet fém és műanyag is lehet, abban az esetben, ha az inzert és az ömledék hasonló polimer alapanyagból készül, akkor jó minőségű adhéziós kapcsolat alakítható ki. Ehhez szükséges, hogy az inzert alapanyagának az átalakulási hőmérséklete fölé emelkedjen a fröccsöntési ciklus alatt az inzert hőmérséklete. Numerikus módszerrel számítható az inzertek hőmérsékleteloszlása a teljes ciklusra, az eredmények pontosítása érdekében viszont megfelelő elemméretű és eloszlású elemekkel kell hálózni az inzertet. Profesionális hálózó szoftverek segítségével lehetőség nyílik az háló méretének és eloszlásának tetszőleges beállítására. A Hypermesh-sel olyan hálózás is létrehozható, ahol a felületi hálóelemekből kiinduló, eltoltt, réteges, 3D-s a háló (4. ábra). Ennek a hálózásnak az előnye, hogy a felület mentén közel állandó távolsággal eltolhatók a felületi elemek, illetve a felülethez közel több csomópont helyezhető el, így a felület közvetlen közelének átvadása pontosabban tanulmányozható. A határréteg vastagságát átlagosan 0,05 mm-re választottuk, továbbá a határréteget 10 rétegre osztottuk fel.



4. ábra A réteges hálózás az ék profilú bordán

Az elővizsgálatokhoz egy hengeres, ék profilú bordával ellátott inzertet választottunk, amelynél a fröccsöntés során megolvadó borda biztosítja a gáz- és vízzáró réteget (4. ábra). Az inzert és a

ráfröccsöntött ömledék alapanyaga poliamid (PA 6.12), az ömledék hőmérséklet 295°C, az alapanyag kristályolvadási hőmérséklete 239°C. Az eredmények kiértékelése összetett, fontos a jó adhéziós kapcsolat érdekében az inzertre ható nyomás, a kialakuló hőmérséklet, illetve az időtartomány, amíg a nagy nyomás a megolvadt részekre hat. A kiértékeléshez ezért a réteges háló legbelső rétegének csomópontjait választottuk, ezeknek a csomópontoknak a hőmérséklet-lefutását vizsgáltuk a fröccsöntési ciklus függvényében. Vizsgáltuk a határréteg csomópontjainak hőmérsékletét a hosszanti és a keresztirányában is, a nullpontok a felületen és a csúcsonál található csomópontban vannak (4. ábra). Az inzert felületére ható legnagyobb nyomás az utónyomásra beállított 500 bar, amely a fröccsöntési ciklus 0,35. másodpercétől 8 másodpercen át tart. A hosszanti irányhoz tartozó hőmérséklet-eloszlásokon látható, hogy a befroccsöntés megkezdése után a hőmérséklet nagy sebességgel nő, a csúcshoz közel lévő részek közel 1 másodperc alatt elérik a maximum hőmérsékletüket. A hőmérséklet utána kisebb meredekséggel csökken, mert az inzertet körülvevő ömledékből és az inzert felületéhez közeli rétegeiből a hő vezetéssel terjed az inzert belseje felé, amint az ömledék hőmérséklete egyenlő lesz az inzert felületéhez közeli rétegek hőmérsékletével, a hőmérséklet nagyobb mértékben kezd csökkenni. A nullponttól 0,62 mm-re lévő csomópont a legtávolabbi csomópont, amely meghaladja az inzert kristályolvadási hőmérsékletét (239°C) ebben a rétegben. A keresztirányban vizsgált eredményeken látható, hogy a hőmérséklet a felülettől mért távolságban nem változik jelentősen a határrétegben.



5. ábra A különböző távolságban lévő csomópontokhoz tartozó hőmérséklet-eloszlás a határréteg hossza és keresztmetszete mentén

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A munkánkban összehasonlítottuk a hagyományos hűtőkörrel gyártott acél (P20), a formakövető hűtőkörrel előállított acél (DMLS) és a hagyományos hűtőkörrel gyártott réz szerszámbetétek mért és numerikus úton számított eredményeit. Megállapítottuk, hogy a P20-as szerszámbetét esetében a mért és számított eredmények között több Celsius fokos a különbség, amely keletkezhet a nem megfelelő pontosságú peremfeltételektől. A mozgó és álló szerszámbetétek között illesztési hézaggal biztosítják az összevezetést és a levegő távozását, ez viszont növeli a hőátviteli tényezőt. A vizsgálatok eredményéből látható, hogy a mért és számított eredmények különbsége csökkent, a gerinceltől távolodva nő csak a hőmérsékletkülönbség, de a különbség nem haladja meg a hőkamera 2°C-os pontosságát. Foglalkoztunk munkánkban továbbá az ráfröccsöntéses technológiánál az inezertek átolvadásának numerikus számítási lehetőségével. Megállapítottuk, hogy az átolvadás numerikus számítása erősen függ az elemmérettől, mert a csomópontok adatait használja fel a program a teljes keresztmetszet átolvadásának kiszámítására. Határréteg hálózással az elemszám jelentős növelése nélkül lehet pontosítani a számításokat. A számítási eredményeket további mérési eredményekkel szükséges még alátámasztani.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki az Országos Tudományos Kutatási Alap (OTKA PD 105995) anyagi támogatásáért. Köszönjük továbbá az Arburg Hungária Kft-nek az Arburg Allrounder 370S 700-290 Advance típusú fröccsöntőgépet, a Lenkes GmbH-nak a szerszámfelfogókat.

Irodalmi hivatkozások

- [1] PlasticsEurope: Plastics – the Facts 2014/2015, Brüsszel (2015)
- [2] Zink B., Szabó F., Hatos I., Hargitai H., Kovács J.G.: DMLS szerszámbetétek szimulációs vizsgálata, Műanyag- és Gumiipari évkönyv, vol. 12, pp. 80-87 (2014)