

Átkapcsolás hatása a fröccsöntési folyamatra és a szerszámnyomásra
Horváth Szabolcs, Vámos Dániel, Boros Róbert, Szűcs András

Accepted for publication in Polimerek

Published in 2017

DOI:

Átkapcsolás hatása a fröccsöntési folyamatra és a szerszámnyomásra

Horváth Szabolcs¹, Vámos Dániel¹, Boros Róbert², Szűcs András²

¹Cavity Eye Hungary Kft.

²Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Polimer Technika Tanszék

Az átkapcsolás a termék leképzésének legfontosabb pillanata. Néhány századmásodperc eltérés több száz bar-ral képes módosítani a szerszám felépülő nyomás értékét, ami nagyban kihat a gyártott termékek minőségére.

1. BEVEZETÉS

Régóta tanítják, minden fröccsöntéssel foglalkozó szakember hallott már róla, azonban használni néhány kivételtől eltekintve senki nem használja a nyomás szerinti átkapcsolást Magyarországon. Az átkapcsolás a termék leképzésének legfontosabb pillanata. Néhány századmásodperc eltérés több száz bar-ral képes módosítani a szerszám felépülő nyomás értékét, ami természetesen nagyban kihat a gyártott termékek minőségére. Cikkünkben néhány gyakorlati példán keresztül mutatjuk be az átkapcsolás szerszámnyomásra és a gépi paraméterekre gyakorolt hatását.

A fröccsöntő gépek beállítása során a termékminőségre a legnagyobb hatással a leképzést befolyásoló paraméterek hatnak. Ezek közül a legfontosabbak: a fröccssebesség profil, az *átkapcsolási pont*, az utónyomási profil, az utónyomási idő, a henger és a fűtött csatorna hőmérséklet profilja, a torlónyomás, a csigaforodulat és a szerszámhőmérséklet. A paraméterek helyes kombinációja azonban nem elegendő a teljes folyamat jellemzésére. A leképzés ciklusról ciklusra változhat az alapanyagtól, környezeti hatásoktól és a fröccsöntő gép ismétlő képességétől függően, amely ingadozó termékminőséghez vezethet.

A leképzés első fázisa a *kitöltés*, mely során az anyag a formaüregben áramlik. Áramlás során a fészeknyomás értéke jellemzően néhány száz bar, így ebben a fázisban nem szokott sorja megjelenni, ha mégis, akkor az nagy valószínűséggel a szerszámelemek illesztési pontatlanságából adódik [1]. A 100% kitöltöttség pillanatában a folyás megszűnik és az anyag összenyomása kezdődik. A polimerek, típustól függően, akár 3...10%-ot is összenyomhatók ömledék állapotban [2]. *Tömörítés* fázisában pillanatszerűen nagy nyomás ébred és a szerszámnyomás meredeken emelkedik. A terméksorja jellemzően ebben a fázisban fog kialakulni, mivel az ömledék a hideg szerszám falával érintkezik, külső héja még nem szilárdult meg elegendő vastagságban. A tömörítési fázisban gyorsan felépülő szerszámnyomás hatására az osztófelület néhány mikrométernyit megnyílhat, ami tovább növeli a terméksorja kialakulásának esélyét. A tömörítési szakasz azért is nagyon érdekes, mert ez beállítástól függően a fröccsöntési vagy az

utónyomási fázissal is felépíthető. A tömörítést a nyomástartás és a hűtés követi. A teljes leképzési folyamatot korábban már részletesen bemutattuk [4].

Mivel a terméksorja nagyon gyakran előforduló probléma, ezért az ipari gyakorlatban korai átkapcsolást alkalmaznak. Ez azt jelenti, hogy az utónyomás fázissal fejezik be a darab kitöltését, olyan módon, hogy a terméket „csak” 90–95%-ig töltik fröccsöntési fázissal [4]. Ez azt eredményezi, hogy a kitöltés vége, a tömörítési nyomás felfutása és a tömörítési nyomás maximuma időben eltolódik és szórni fog, míg a gépi paraméterek (anyagpárna, átkapcsolási nyomás, fröccsidő) viszonylag stabil értéket mutatnak. Amennyiben darálekot használunk és annak mennyisége ingadozik, változik a szárítás ideje vagy a szárítást követő tartózkodási idő, illetve a beérkező anyag minősége, az a szerszámnyomásgörbét, a kialakuló anyag szerkezetet és így a termék minőséget is nagyban befolyásolhatja [5]. A fentiekén túl az adagolási paraméterek is erősen hatnak a leképzés körülményeire, de ezt is gyakran alábecsülik. Amennyiben a szerszámnyomást stabilizálni tudjuk, úgy a termékminőség is perczebben kézben tarthatóvá válik. A szerszámnyomás mérési technikával képet kaphatunk a szerszám felépülő folyamatokról, így azt jobban kézben tudjuk tartani, nem fognak látszólag megmagyarázhatatlan hibák előbukkani, majd eltűnni.

Prof. Nick Schot és társai kutatási eredményei is azt mutatják, hogy a kevésbé pontos fröccsöntő gépek is képesek precíz termékek gyártására, feltéve, ha szerszámnyomás szerinti átkapcsolással működtetik azokat [5, 6]. 2001-es publikációjuk szerint, az USA-ban működő fröccsöntő gépek átlagéletkora meghaladja a 10 évet, így a nyomás szerinti átkapcsolási technológiával ezeket továbbra is termelésben lehet tartani.

2. FELHASZNÁLT ANYAGOK, ESZKÖZÖK

A méréseket a BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM POLIMERTÉCHNIKA TANSZÉK-én végeztük el, egy hidraulikus ENGEL Victory 60 (330/60 Tech) típusú fröccsöntő gépet használva, melynek csigaátmérője 35 mm. A gépen lehetőségünk volt menteni a ciklusok különböző paramétereit



1. ábra. Fröccsöntött próbatest és csatornamaradék

külső adathordozóra, és az adatokat összehasonlítani a formaüregben mért adatokkal. A nyomásméréshez műszerezett próbatest szerszámot és CAVITY EYE nyomásmérő rendszert használtunk. A folyási út mentén 5 különböző mérési ponton volt lehetőségünk a nyomást vizsgálni, illetve nyomás szerinti átkapcsolást használni. A kísérletek

során a folyási út végéhez közel lévő szenzort használtuk az átkapcsolási tesztekhez. A nyomást egy szabványos kilövő csapon keresztül mértük, átmérője 3 mm volt. A terméket és a csatornamaradékot, illetve a nyomásméréshez használt mérőcsap pozícióját az 1. ábra mutatja be. A próbákhoz INEOS PP 100-GA12 típusú PP homopolimert használtunk.

3. KÍSÉRLETI RÉSZ

ÚT-ÉS SZERSZÁMNYOMÁS SZERINTI ÁTKAPCSOLÁS

A leképzés során a célunk a formaüreg minél gyorsabb kitöltése, amit a tömörítés (kontrollált szerszámnyomás felépítés) követ. A kitöltés és a tömörítés nem azonos a fröccsöntéssel és az utónyomással, így a gépkezelőnek kell meghatározni, hogy a fröccsöntési és az utónyomási fázis milyen feladatokat látson el. A termékminőség, valamint a rövid és hosszú távú ismétlőképesség szempontjából a fröccsöntési és utónyomási fázis közötti átkapcsolás kritikus fontosságú.

A fröccsöntési fázisban a formaüreg kitöltése sebességvezérelt. Utónyomás fázisban nyomásvezérelt paraméterekkel írhatók le a csiga mozgásai. Mindkét esetben lehetőségünk van úgynevezett profilokat használni. A sebesség- és nyomásprofilozásnak elsősorban minőségi okai vannak, de ne feledkezzünk el arról, hogy ezzel nagyban növelhető a gép ismétlőképessége és a gyártás stabilitása is. Kísérleteink során a csigasebesség és a sebességprofil, valamint az átkapcsolás folyamatképessegre gyakorolt hatását vizsgáltuk.

A fröccsöntő gép beállításakor nem elegendő „csak” a termékminőségre figyelni, azt is ellenőrizni kell, hogy a beállított paramétereket a gép képes-e precízen ismételni. Amennyiben a beállított paraméterkombinációt a gép nem képes megvalósítani, akkor az hosszú távon nagyon sok rejtett gyártási hibát fog eredményezni, mivel a gépbeállító elvesztette a kontrollt a folyamat felett. Fontos tudni, hogy az adott gép hogyan képes megvalósítani a beállított technológiát, illetve mekkora tehetetlenséggel, válaszidővel rendelkezik, ezért az első mérések ennek a vizsgálatára irányultak. Az első kísérlet során meghatároztunk egy stabil technológiát (paraméter kombinációt) a próbatest gyártásához, és a fröccssebesség függvényében vizsgáltuk a csiga mozgását és a folyamat során felépülő nyomásokat. A

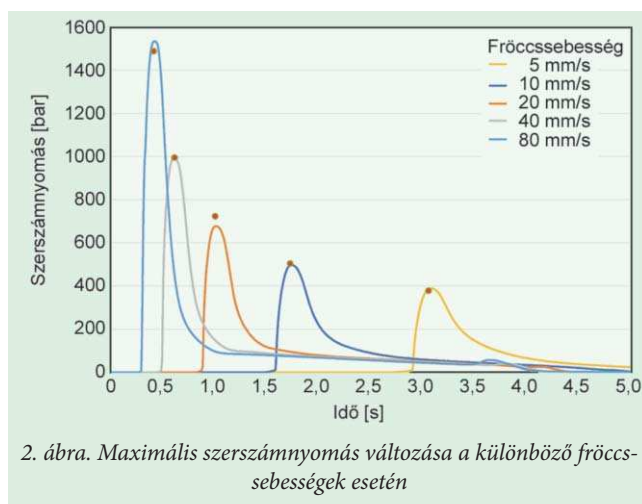
1. táblázat.

Fröccsöntési paraméterek

Paraméter	Érték
Anyaghőmérséklet ($T_3; T_2; T_1; T_g$)	[°C] 235; 230; 220; 50;
Szerszámhőmérséklet	[°C] 50
Fröccssebesség	[mm/s] 5; 10; 20; 40; 80
Adagnagyság	[mm] 25
Átkapcsolási pont	[bar], [mm] 300; 500; 8,5
Utónyomás	[bar]

vizsgálat szempontjából fontos paramétereket az 1. táblázatban gyűjtöttük össze. A méréseket út és nyomás szerinti átkapcsolással is elvégeztük és nem alkalmaztunk sebesség profilozást.

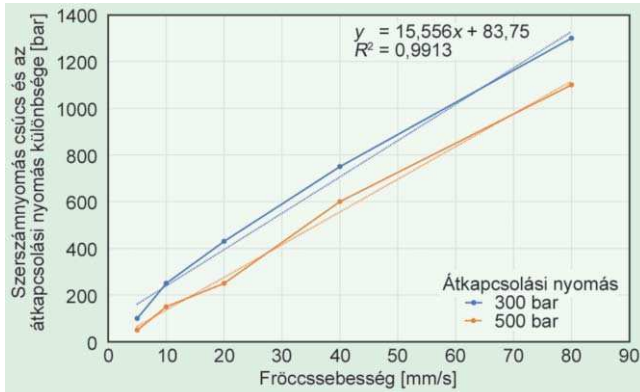
Az 2. ábrát vizsgálva jól elkülönülnek a különböző fröccssebességekhez tartozó szerszámnyomás görbék. Értelemszerűen a fröccssebesség növelésével a kitöltési idő csökken. Szerszámnyomás szerinti átkapcsolás alkalmazásával minden esetben számolnunk kell azzal, hogy a szerszámnyomás csúcs meg fogja haladni a beállított átkapcsolási nyomást, amely túllenődülés a sebesség növelésével meg is jelenik a mérési eredményekben. Ez kisebb részben az elektronikai rendszer késéséből ($\leq 0,01$ sec), nagyobb részben a mechanikus gépelemek (hidraulikus munkahenger, csiga stb.) tehetetlenségéből adódik. Kis fröccssebesség tartományban a szerszámnyomás túllenődülése viszonylag kisebb, a sebesség növelésével azonban nagymértékben nő. Ha megvizsgáljuk a görbék felfutó szakaszának a meredekségét, látható, hogy a tömörítési sebességünk egyre növekszik. Minél gyorsabb a tömörítés sebessége, annál kevesebb ideje marad a rendszernek a lassításra, azaz az átkapcsolásra. Tehát a csiga és az egész rendszer az átkapcsolási jelet követően túl fog lendülni, ezáltal extra nyomás fog keletkezni a formaüregben. A 2. ábrán megadtuk a szerszámnyomás csúcstértékét út szerinti átkapcsolással is (●). Az átkapcsolási pozíciót nem változtattuk (8,5 mm). Az összehasonlításból következik, hogy profilozatlan fröccssebesség alkalmazásával nincs számottevő különbség út- és belső nyomás szerinti átkapcsolás között.



2. ábra. Maximális szerszámnyomás változása a különböző fröccssebességek esetén

Fontos megemlíteni, hogy nyomás szerinti átkapcsolás alkalmazásával a szerszámnyomás felépítése, azaz a tömörítési folyamat minden esetben a fröccsöntési fázisban valósul meg. Ezt ipari környezetben késői átkapcsolásnak nevezik.

A méréseket 300 és 500 bar-os átkapcsolási szerszámnyomással is elvégeztük. A szerszámnyomás csúcs és az átkapcsolási nyomáskülönbségét a 3. ábra foglalja össze.



3. ábra. Tüllandülés által keletkezett nyomásnövekedés különböző átkapcsolási nyomásokon

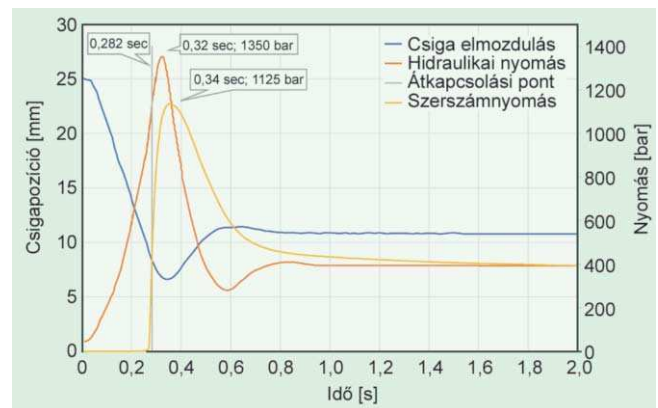
Látható, hogy a számolt pontsor közel párhuzamosan fut egymás mellett, és a különbség stabilan 200 bar. Ez azt jelenti, hogy a tömörítési fázisban olyan gyorsan növekszik a szerszámnyomás, hogy teljesen mindegy, hogy 300 vagy 500 bar nyomáson történik meg az átkapcsolás. Egyedül 10 mm/s fröccssebesség tartományban érzékelhető némi eltérés.

Amennyiben a mért értékekre egy lineáris trendvonalat illesztünk, akkor az egyenes meredekségéből meghatározható a gép tehetetlensége, válaszüideje. A jelenlegi esetben ez megközelítőleg 15 bar/(mm/s) értékre adódik, tehát 1 mm/s fröccssebesség növelés, teljesen azonos beállítások mellett, 15 bar szerszámnyomás növekedést fog eredményezni.

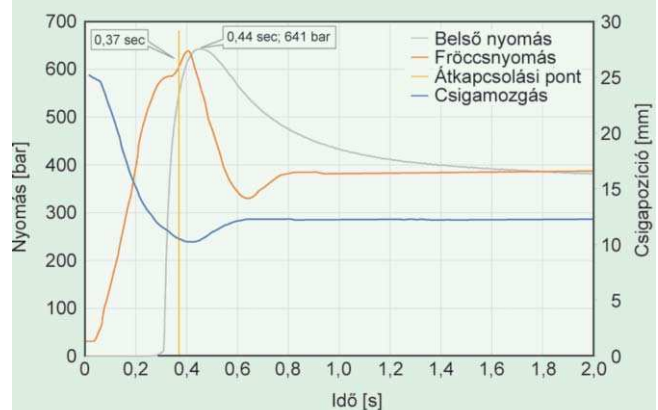
EGY- ÉS KÉTLÉPCSŐS FRÖCCSPROFIL ÖSSZEHAJONLÍTÁSA

A tüllandülés jelenségét a legegyszerűbben a fröccssebesség profilozásával kerülhetjük el, ami azt jelenti, hogy az átkapcsolást megelőző pillanatban a csigadugattyút elkezdjük lassítani, ezzel növelve a szerszámnyomás felépülésének az idejét, csökkentve a csiga kinetikus tehetetlenségét. Az előzőekben ismertetett próbatest fröccsöntéséhez használt technológiát kiegészítettük utónyomással, melynek értéke 400 bar, ideje 3 s volt. Szándékosan alacsonyabb utónyomást választottunk, mint a kialakuló szerszámnyomás maximum. A 4. ábra az egylépcsős sebességgel meghatározott szerszámnyomást, hidraulika nyomást és csigapozíció görbéket mutatja be. Az 5. ábra a kétlépcsős beállítással meghatározott görbéket szemlélteti.

Az eredményekből jól látható, hogy egy profil használatával a beállított 500 bar értékhez képest a belső nyomás maximuma 1125 bar lett. Ez több mint 600 bar különbség a beállított értékhez képest. A fröccsidő 0,28 másodperc, azonban szerszámnyomás csúcs felépülésének az ideje 0,34 másodperc. Azaz a gép reakcióideje 0,06...0,07 másodpercre tehető az



4. ábra. Az egylépcsős, állandó sebességű fröccsprofil elemzése



5. ábra. A kétlépcsős fröccsöntési profil elemzése

adott beállításnál, amely egyebek mellett elsősorban a csiga kinetikai tehetetlenségéből adódik. A csigamozgást vizsgálva feltűnik, hogy az utónyomás fázisban a csiga közel 5 mm-t visszafelé mozdul. Ez a jelenség elsősorban az anyag kompresszibilitásával magyarázható. Mivel állandó fröccssebességünk van, így az áramlási ellenállás (viszkozitás) leküzdéséhez szükséges nyomás és tömörítési nyomás egy eredő hidraulika nyomáscsúcsot fog képezni.

Az 5. ábrán látható, hogyan hat a nyomásviszonyokra és a csiga mozgására a kétlépcsős fröccsprofil. A formaüreg 90%-os töltöttségéig az előzőhöz hasonlóan nagy sebességet használunk, amely 60 mm/s, majd 10 mm/s-ra lassítjuk a csiga mozgását a tömörítési szakaszban. A könnyebb összehasonlítás érdekében a két beállítással mért főbb értékeket a 2. táblázatban foglaltuk össze.

A profilozásnak köszönhetően, a fröccsidő és a tömörítési

2. táblázat.

Egy- és kétlépcsős fröccssebességgel meghatározott értékek

Paraméter	Állandó fröccssebesség	Kétlépcsős fröccsprofil
Fröccsidő	0,282 s	0,37 s
Szerszámnyomás csúcs ideje	0,34 s	0,44 s
Szerszámnyomás csúcs	1125 bar	641 bar
Hidraulika nyomáscsúcs	1350 bar	632 bar
Csiga visszalendülés	5 mm	1 mm

nyomáscsúcs is 0,1 másodperccel később épült fel a formaüregben. A lassítás hatására a szerszámnyomás csúcs közel felére, 640 bar értékre csökkent. További érdekesség, hogy a kétlépcsős beállításnál a hidraulika és a szerszámnyomás közel azonos értéket adott, ami azt jelenti, hogy a kis sebességű szakaszban a nyomás valóban a szerszámnyomás felépítésére fordítódott és nem az áramlási ellenállás leküzdésére. Ha a csiga mozgását elemezzük, egyértelműen látható a lassítási szakasz, amely kb. 0,2 másodperc környékén kezdődik. Az átkapcsolás pillanatában mérhető csigavisszaugrás körülbelül 1 mm-re csökkent, ami tovább növeli a folyamat stabilitását, hiszen nem kerül kontrolálatlan lengés fölöslegesen a rendszerbe, ami reológiai és vezérléstechnikai szempontból sem előnyös.

A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy nyomás szerinti átkapcsolás esetén érdemes a kétlépcsős fröccssebesség profilt alkalmaznunk, hiszen a tömörítés már a fröccsöntési fázisban elkezdődik. A nagy sebességgel történő tömörítés a folyamat stabilitásának és ismétlődőképességének szempontjából nem előnyös.

TORLÓNYOMÁS HATÁSA A SZERSZÁMNYOMÁSRA

A torlónyomásnak elvileg nem szabad hatnia a szerszámnyomásra. A gyakorlatban azonban majdnem minden esetben dekompressziót alkalmaznak, ami a csiga kismértékű hátrahúzását jelenti az adagolást követően. A dekompresszió az adagban lecsökkenti a nyomást, de a csiga menetárkaiban nem. Ennek egyenes következménye, hogy az anyag a visszaáramlás gátlón keresztül a csiga előtti térbe áramlik, így növelve az adag valós térfogatát.

A torlónyomás változásának hatását megvizsgáltuk út-, illetve belsőnyomás szerinti átkapcsolás esetében. Az adagoláshoz használt fordulat minden mérés során 60%-ra volt beállítva, ami kb. 150/min értéknek felel meg. A fröccssebesség profilt két lépcsőben határoztuk meg, hasonló paraméterekkel, mint az előző esetben.

A beállított eredeti technológia mellett a szerszámban a maximum nyomás kb. 600 bar értéket adott, 20 bar torlónyomás mellett 5 mm-es dekompressziós úttal (6. ábra). A

torlónyomást 120 bar értékre növeltük, és a méréseket út- és nyomás szerinti átkapcsolással is elvégeztük. Út szerinti átkapcsolásnál a nyomásmaximum egészen 980 bar értékig emelkedett, amely 63%-os növekedést jelent. Belsőnyomás szerinti átkapcsolás esetén a beállított átkapcsolási nyomás 500 bar volt, és a maximális felépülő nyomás az üregben 750 bar alatt maradt. Ez mindössze 25%-os növekedés, szemben a 63%-os különbséggel. Tehát belső nyomás szerinti átkapcsolással, kétlépcsős fröccssebesség alkalmazásával a szerszámnyomás maximum értéke stabilabban tartható, változó torlónyomás és ingadozó adagnagyság esetén is.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

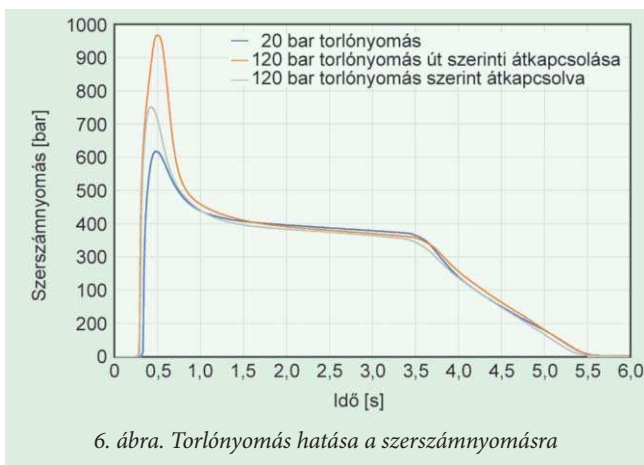
Tanulmányunkban a fröccsöntési paraméterek közül talán a legfontosabbat, az átkapcsolás folyamatra gyakorolt hatását vizsgáltuk. Méréseinkhez hidraulikus fröccsöntő gépet használtunk. Az adagolási út a csigaátmérőhöz képest relatíve kicsi volt, így a gép válaszfalát is jellemezni tudtuk.

Az átkapcsolás pillanatában a hidraulikus rendszer csökkenteni kezdi a külső nyomást és elkezdődik a csiga lassulása. A lassulás szakaszában a csiga kinetikus energiája miatt a tehetetlenségénél fogva tovább növeli a szerszámnyomást, ellenben a hidraulikanyomás csökken. Ennek az egyenes következménye, hogy a szerszámnyomás gyakran meghaladhatja a külső nyomást, illetve a beállított értékeket. Méréseink során igazoltuk, hogy egylépcsős, nagy sebességű kitöltés esetén a belső nyomás szerinti átkapcsolás számottevő előnyt nem jelent. Kétlépcsős fröccsprofil használva, gyors töltéssel, majd a teljes kitöltöttséget megelőzően a sebességet visszalassítva, képes stabilizálni a gyártási folyamatot. A folyamatosan változó daralékkal (mennyiség, tulajdonság) előállított termékeknél, illetve régi, pontosságából veszített hidraulikus gépek esetén is kiválóan alkalmazható az üregnyomás szerinti átkapcsolás.

A szerszámnyomás szerinti átkapcsolásnak még számos gyakorlati előnye is van, hiszen fűvókalefagyás esetén nem tudjuk a szerszámot túlterhelni, elkerülhetőek az indításkor előforduló betéttörések és az alul-fröccsöntésből adódó termék visszarázások is.

IRODALOM JEGYZÉK

- [1] Szűcs, A.; Belina, K.: Vastagfalú termék leképezésének analízise „Cavity Eye” belsőnyomás mérőrendszerrel, *Műanyag és Gumi*, 50/2 (2013).
- [2] Walsh, D.; Zoller, P.: Standard pressure volume temperature data for polymers, CRC Press, 1995.
- [3] Szűcs, A.; Belina, K.: Kitöltési folyamat tanulmányozása fröccsöntőszerszám formaüregében, *Műanyag- és Gumiipari évkönyv*. 13–15. oldal (2006).
- [4] Huszár, Z.: Beszívódások és sorja a fröccsöntött termékeken, *Műanyagipari Szemle* (2015).
- [5] Rosato, D. V.; Rosato, M. G.: Injection molding handbook, Springer, 2000.
- [6] Schott, N. R.; Higdon, R. D.; Sheth, B.: Improved part quality using cavity pressure switchover, Antec, 2001.



6. ábra. Torlónyomás hatása a szerszámnyomásra