

2.2 Új megoldások a vékony falú termékek fröccsöntésében: az expansziós fröccsöntés

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; expansziós fröccsöntés; technológia; gépgyártó; feldolgozógép.

A fröccsöntés fejlesztési irányai

A fröccsöntés céljai nem sokat változtak: ma is gyorsabban, könnyebben, pontosabban szeretnének gyártani, ami különösen élesen vetődik fel a vékony falú termékek gyors fröccsöntésénél. Mivel a gépamortizációt időre számolják, az egységnyi idő alatt előállított darabszám növekedésével csökkennek az egy fröccsdarabra jutó költségek is. A ciklusidő csökkentéséhez vagy a gépre vagy a szerszámra vonatkozó részidőket kell csökkenteni. Ami a gépeket illeti, a mai gyártók a nagy verseny következtében szinte azonos, magas színvonalat képviselnek, ezért ott viszonylag kevés a javítani való. A szerszámoknál leginkább a hűtési idő csökkentésére koncentrálnak, és mivel a falvastagsággal ez az idő négyzetesen csökken, a kisebb falvastagság gyorsabb, ezért gazdaságosabb termelést is jelent.

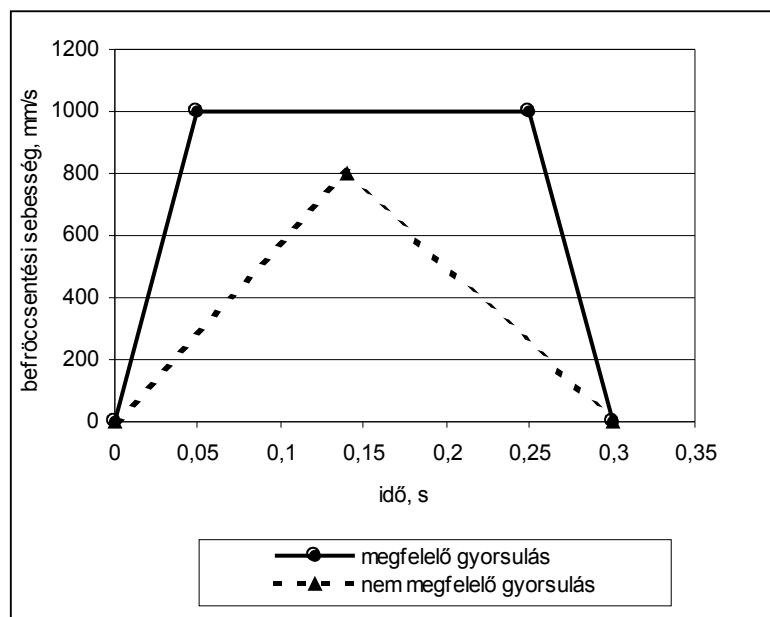
A falvastagság csökkentése természetesen nem csak a hűtési időt csökkenti, hanem a termék tömegét is, vagyis az anyagköltségeket. A kisebb falvastagság a tervezőmérnökök számára is előnyös, mert több hely marad pl. a mobiltelefon vagy a számítógép alkatrészei számára. Az elektronikai terméknél azonban igen nagy méretpontosságot is követelnek. Az ilyen pontosság elérésének feltétele a jó fröccsöntő gép és a megfelelő szerszám. A jó reprodukálhatóság mellett azonban a fröccsöntő gépnek alkalmasnak kell lennie a nagy sebességű fröccsöntésre is.

A vékony falú termékek fröccsöntése

A vékony falú termékek fröccsöntése önmagában nem új. Több mint 20 éve állítanak elő 0,5–0,6 mm falvastagságú poharakat polipropilénből és polisztirolból. Ehhez nagy folyóképességű alapanyagok és 300 mm/s befröccsöntési sebesség szükségesek. Az ilyen nagy befröccsöntési sebesség hidraulikus tárolóval érhető el (amelyet a szakirodalom „akkumulátornak”

nevez). A mai vékony falú termékekhez azonban nem a könnyen folyó PP és PS típusokat használják, hanem ABS-t (akrilnitril-butadién-sztirol kopolimer), ABS/PC (ABS/polikarbonát) keverékeket és LCP (folyadékkristályos polimer) típusokat. Az LCP kivételével a többi polimer viszkozitása sokkal kisebb, mint a poháröntéshez használt típusoké. Ennek ellenére elérhető a 0,6 mm-s falvastagság, de csak speciális feltételek mellett. A folyási úthossz nem lehet túl nagy, és a befröccsentési sebességnek el kell érnie legalább az 1000 mm/s értéket. Több gépgyártó kifejlesztette az ehhez szükséges gépészeti megoldásokat. Eközben új ötletek születtek a fröccsöntés lehetőségeinek kibővítésére.

Az 1000 mm/s befröccsentési sebesség eléréséhez speciális hidraulikus tárolókat kellett kialakítani. Gondoskodni kell megfelelő mennyiségű hidraulikaolajról és elegendően nagy nyomásról. Különösen fontos a befröccsentési idő beállítása. Miután vékony falú és kis tömegű termékekről van szó, a csiga elmozdulása, és a befröccsentési idő is kicsi. Tipikusak a 0,1 s és ennél rövidebb befröccsentési idők, ezért nagyon fontosak a nagyon gyorsan záró szabályzószелеpek. A mozgó alkatrészeket igen rövid idő alatt kell felgyorsítani, majd ugyanolyan gyorsan le kell fékezni. Ha nem elég nagy a gyorsulás, a befröccsentési idő feléig el sem érhető a kívánt maximális sebesség (1. ábra). Az Engel cég erre a célra hidrodinamikus szervoszelepet alkalmaz speciális dugattyúval és akkumulátorral.



1. ábra A csigasebesség a befröccsentési idő függvényében. (Ha a gyorsulás nem elég, a csiga nem éri el a maximális sebességet.)

Az 1000 mm/s befröccsentési sebesség csak elméleti érték

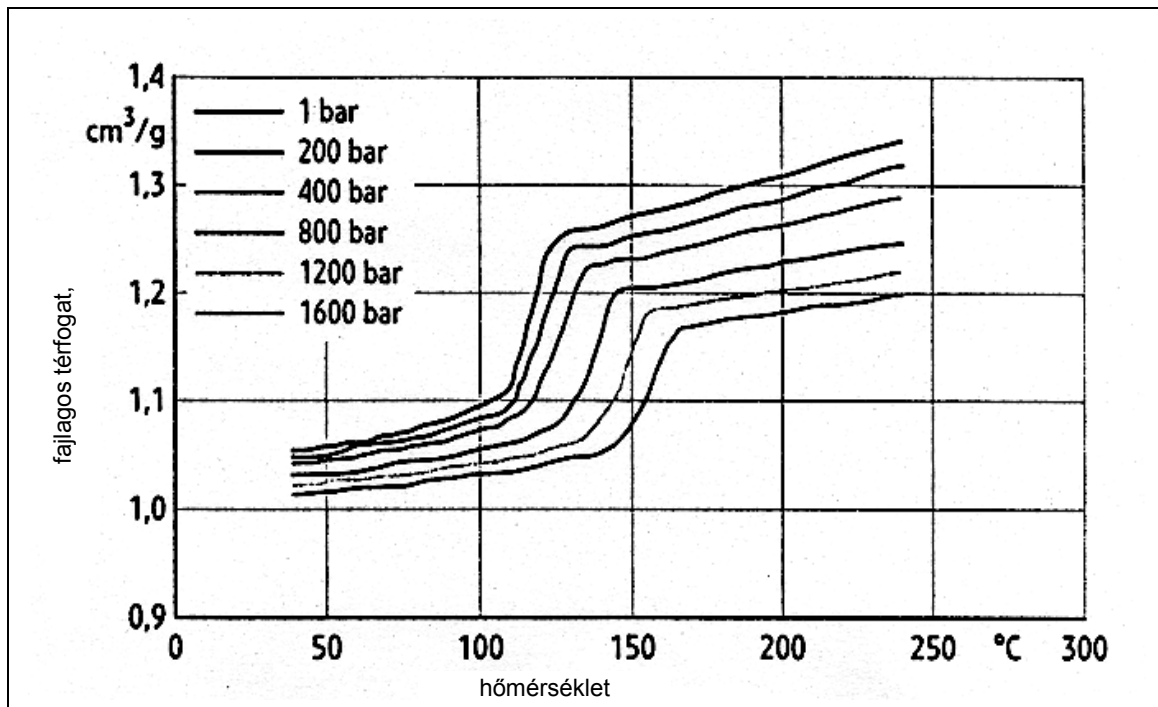
A szabályozás másik fontos szempontja a befröccsentési idő beállítása. 600 mm/s befröccsentési sebességig elegendők a hagyományos szabályozási módszerek, afölött azonban már más eszközökhöz kell folyamodni, és úgynevezett adaptív, indirekt szabályozást kell alkalmazni. Ehhez nem áll rendelkezésre az effektív sebesség, hanem csak a következő injektálási ciklust számítják és korrigálják. A gyakorlatban a harmadik ciklus után beállnak a megfelelő értékek. Így közben lehet tartani a folyamatokat, ezért ma már az 1000 mm/s befröccsentési sebességű berendezések az ipari gyakorlat részévé váltak.

A fejlesztési időszakban olyan speciális szerszámokat használtak, amelyekben több nyomásérzékelőt helyeztek el, és meg lehetett határozni az ömledékfront valóságos haladási sebességét. Azt tapasztalták, hogy az ömledékfront sebessége akkor is jóval kisebb, ha a befröccsentés sebessége (a csiga mozgási sebessége) valóban eléri az 1000 mm/s értéket. A valóságos áramlási sebesség alig tizenötöde (!) volt az elméletileg várhatónak. Ez azzal magyarázható, hogy a polimerfolyadékok (ömledékek) nem tekinthetők összenyomhatatlannak, ezért a gyors csigamozgás hatására a befektetett energia egy része az ömledék sűrítésére fordítódik. Ennek eredményeként a kísérleti szerszámban az ömledéksebesség 650–700 mm/s befröccsentési sebesség érték fölött már nem nőtt tovább, vagyis a szerszám nem telt meg gyorsabban. Jelentkezett viszont egy másik hatás: az áramlás akkor is folytatódott, amikor a csiga mozgása már leállt, ugyanis a túlnyomás alatt levő ömledék kiterjedt, és kitöltötte a szerszámüreget, amíg csak ki nem alakult a nyomásegyensúly. Az ömledék viszkoelasztikus tulajdonságaira építve kezdődött meg az Engel cégnél az expandáló (kiterjedő) ömledék technológiájának (X-Melt) fejlesztése.

Az expanziós fröccsöntés fizikai alapjai

Régóta ismert tény, hogy a polimerömledékek összenyomhatók, amit a pVT diagramok is igazolnak (2. ábra). Ha egy komprimált (összenyomott) ömledékről leveszik a nyomást, az robbanásszerűen kitágul. Itt nem izoterm, hanem a sebességtől függően adiabatikus vagy politróp folyamatról (tágulásról) van szó. Ezért a hirtelen kiterjedés során nemhogy további hőkárosodás nem éri az anyagot, hanem még meg is gyorsítja annak lehűlését a szerszámban. A pVT diagram alapján meghatározott expanziós térfogatnövekedés 2000 bar előnyomás után mintegy 10%, ami azonos termikus feltételek esetén reprodukálható. (A 10%-os összenyomhatóság inkább az amorf műanyagokra jellemző, a részlegesen kristályos rendszerekben viszont a 30–35%-ot is elérheti). A reprodukálhatóság feltétele, hogy az előzetesen komprimált ömledéktérfogatnak mindig azonosnak kell

lennie. Ehhez arra van szükség, hogy a sűrítés után a csigát rögzítsék, különben a szelepek megnyitása után a szerszámot túltöltené. Ez a hagyományos hidraulikus fröccsöntő gépek esetében, ahol az ömledék, a csiga és a hidraulika egy egymást befolyásoló egyensúly részesei, szinte lehetetlen. Az expansziós fröccsöntésben ezért teljesen villamos vezérlésű fröccsgépet kell használni. Itt ugyanis a csigát axiálisan tetszőleges helyzetbe lehet hozni, majd ott rögzíteni.



2. ábra A kis sűrűségű polietilén (PE-LD) pVT diagramja.
(A kompressziós energia kihasználható az expansziós fröccsöntésben.)

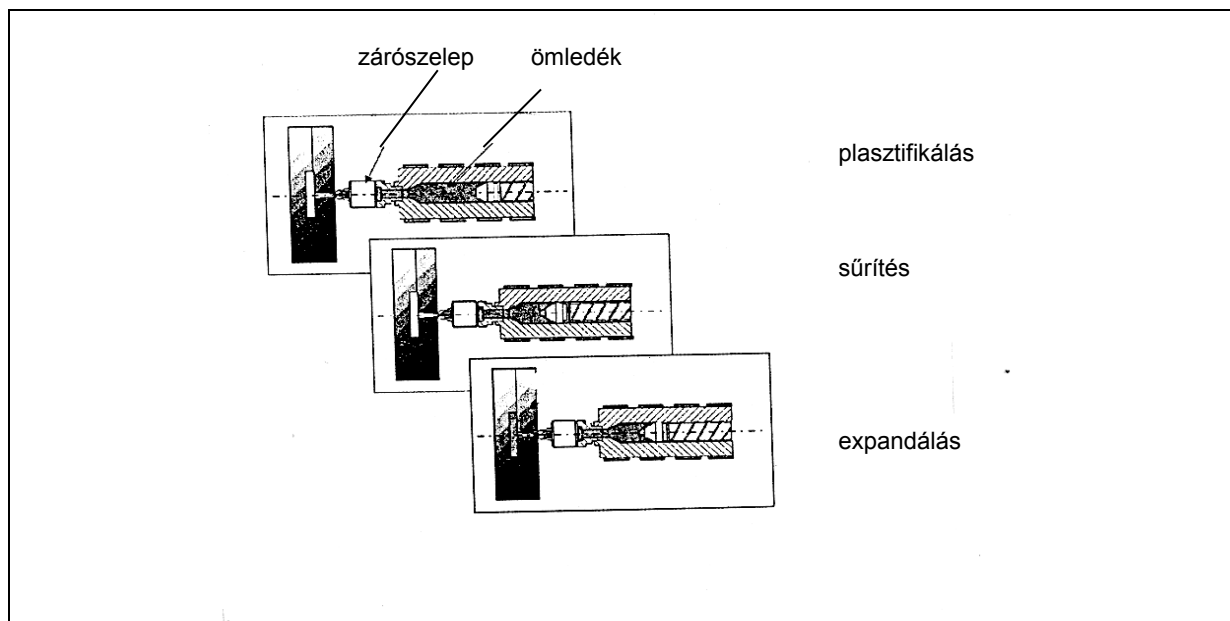
„Testre szabott” fröccsgépek

Az expansziós fröccsöntő gépek csak néhány vonásukban térnek el a hagyományosaktól. Az egyik ilyen már említett különbség, hogy az expansziós fröccsöntéshez teljesen villamos fröccsegységet használnak. Az Engel cég villamos „e-motion” gépsorozatával az ezzel az eljárással előállítható terméktartomány teljesen lefedhető. A másik jellegzetes eltérés az a reteszelő rendszer, amellyel komprimálás után a csiga rögzíthető. Az arretáló rendszerre kétféle megoldás van. Az egyik esetben a rögzítés a gép zárószelepén keresztül történik, bár speciális módszerrel. A normál gépeken a zárószelep csapszegét a fröccsnyomás nyitja, és azt hidraulikusan vagy pneumatikusan zárják. Az expansziós fröccsöntésben a csapszegnek a sűrítési

fázisban is zárnia kell, és csak az expanziós fázisban nyithat. Ehhez a kényszerzárást fel kell oldani, és ekkor a felépült előnyomás azonnal megnyitja a szelepet. A második változat szerint az arretáló rendszer egy forrócsatorna-fúvókát is tartalmaz. Előnye nyilvánvaló: ezzel növelik az elősűrítési térfogatot, ugyanakkor csökkentik az expanziós térfogatot, hiszen a beömlés megosztása mintegy megnöveli a csiga előtti térfogatot. Ebben az esetben a forrócsatornás rendszer játssza ugyanazt a szerepet, mint az előbb leírt zárószelep.

Lépcsőzetes kiértékelés

A szerszám zárása és a fröccsegyység rájáratása után az ömledéket zárt szelep mellett sűrítik (3. ábra). Ezt a sűrítést közepes csigasebesség mellett végzik, hogy elkerüljék a nyomáskülönbségek kialakulását a különböző pontok között. A nyomáskiegyenlítődést szolgálja a rövid késleltetési idő a sűrítési fázis végén. A csiga sebességét és a késleltetési időt a mindenkor sűrítési térfogat és a megkívánt sűrítési nyomás határozza meg. Ha kialakult az egységes nyomás, kinyit a zárószelep, és szabaddá válik az út a szerszámüreg felé. Ha kialakul egy előre meghatározott nyomás, a gép automatikusan átkapcsol az utónyomásprogramra. Az utónyomási idő rendszerint nagyon rövid, és a nyomásszint megegyezik az előbbi nyomásértékkel. Az ilyen eljárással öntött vékony falú és kis tömegű termékek esetében az utónyomásnak nincs túl nagy jelentősége.



3. ábra Az expanziós fröccsöntési eljárás lépései

A megfelelő paramétereket empirikusan határozzák meg. Ha ismerik a fröccsadag tömegét, annak kb. tízszeresét vetik alá a sűrítő nyomásnak. Ha a szerszámüreg nem telik meg, fokozatosan növelik a nyomást, amíg optimális terméket nem kapnak. Az így megállapított munkapont azonban csak egy a több lehetséges közül. A sűrítési térfogat és a sűrítési nyomás megfelelő változtatásával számos más munkapont is kialakítható. Általában igaz, hogy minél magasabb a sűrítési nyomás, annál nagyobb a töltési sebesség, és annál rövidebb a ciklusidő.

Gyors, precíz, reprodukálható fröccsöntés – akkumulátor nélkül

Az expanziós fröccsöntés alkalmazhatóságát már sokféle anyaggal (PS, PP, ABS, ABS/PC stb.) és sokféle szerszámban vizsgálták. Az egyik példa egy billentyűzet ABS/PC keverékből készülő merevítőlemeze, amelyen nyílások vannak a nyomógombok számára. Várhatóan készítenek mobiltelefonházakat is hasonló anyagból ezzel az eljárással, mindössze 0,5 mm falvastagsággal. A billentyűzet esetében kétfézes szerszámban 875 mm/s ömledékfront-sebességet értek el. A befröccsöntés ideje 0,06 s volt hidraulikus akkumulátor nélkül. A zárószelep megnyitásakor az ömledék valósággal berobban a szerszámüregbe. A robbanás energiáját azzal lehet jellemezni, hogy ha az ömledéket szabadba eresztik, az átüt egy 3 mm vastag falemezt, és fényes felületű nyílást hagy rajta. Az expanziós fröccsöntéssel igen jól reprodukálható tömegű darabokat lehet kapni: egy 4,6 g-os terméknel a tömegszórás mindössze 0,1% volt. Ez egyben biztosítja a jó méretpontosságot is, amire a vékony falú termékeknél igen nagy szükség van.

Az X-Melt technológia kifejlesztése még csak a kezdeteknél tart

Bármilyen vonzó is az új technológia, megvannak a maga korlátai. Alkalmazása egyrészt csak viszonylag kis fröccsdarabokra korlátozódik. Másrészt a hagyományos forrócsatornás szerszámok változtatás nélkül nem alkalmazhatók, mert azok általában legfeljebb 2000 bar-ig nyomásállóak, az expanziós fröccsöntéskor pedig tartósan legalább 2500 bar nyomás lép fel. A túszelepnek a maximális sűrítő nyomás mellett is könnyen és gyorsan kell nyitnia, de ez is megoldható. Problémát jelenthet az, hogy az anyag tartózkodási ideje a fröccshengerben kb. tízszer olyan hosszú, mint a normál fröccsöntéskor.

Az Engel cég azt tervezi, hogy az expanziós fröccsöntést teljesen villamosan vezérelt „e-motion” elemeivel kombinálva nagy pontosság és reprodukálhatóság mellett valósítja meg a nagy sebességű fröccsöntést. Jelenleg úgy tűnik, hogy ez a technológia a könnyű, vékony falú termékekre

korlátozódik, de lehetséges, hogy a folyamat jobb megismerésével alkalmazása szélesedni fog.

Elképzelhető, hogy ezzel az eljárással könnyebbé válik az 1 g alatti tömegű darabok mikrofröccsöntése. Ez ugyanis a hagyományos módszerekkel elég nehézkes, mert a megvalósítható legkisebb csigaátmérők mellett a csigaelmozdulás túl kicsi, ami nehezíti a reprodukálhatóságot, és gyenge termékminőséget eredményez. Segíthetnek a modern dugattyús fröccsegységek, amelyekben kis dugattyúátmérőt is lehet használni. A módszer iránti érdeklődés mindenesetre igen nagy, és remélni lehet, hogy hamarosan további fejlesztések és egyszerűsítések születnek ezen a területen.

(Bánhegyiné Dr. Tóth Ágnes)

Pokorny, P.: Brachliegende Potential genutzt. = Kunststoffe, 91. k. 7. sz. 2001. p. 51–54.

Wenn die Schmelze explodiert. = Kunststoffberater, 46. k. 7/8. sz. 2001. p. 8–11.