Fröccsöntés fluidinjektálással

Ha fröccsöntéskor az ömledékbe fluidot – gázt (GIT) vagy folyadékot (WIT) – injektálnak, üreges test képződik, amely könnyebb és kevesebb anyagból, kevesebb energiával, kisebb gépen állítható elő, mint a tömör változat. A fluidinjektálásnak a két alapvető eljáráson belül is többféle változatát fejlesztették ki.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás, fröccsöntés; gázzal segített fröccsöntés (GIT); folyadékkal segített fröccsöntés (WIT).

Mi az a fluidinjektálás?

A fluidinjektálás a fröccsöntésnek egy olyan változata, amelyben a szerszámba fröccsentett ömledékbe folyásra képes közeget [„fluidot”: gázt (N_2, CO_2) vagy folyadékot (elsősorban víz, de lehet másféle oldat vagy folyadék is)] injektálnak, amelytől a formadarab belsejében üreg képződik. Ettől nemcsak könnyebbé válik a darab és kevesebb anyagot igényel, de kisebb a veszélye az elhúzódásnak, a beszívódásnak, kevesebb energia és kisebb gép kell a feldolgozáshoz, szebb lesz a darab felülete.

Bár az eljárást – elsősorban a gázzal segített fröccsöntést – sok éve alkalmazzák, *széles körű elterjedését eddig szabadalmi kötöttségek fékezték.* A szabadalmi oltalmak egy része mára már megszűnt, ami lehetőséget ad a fluidinjekciós eljárások továbbfejlesztésére, amit a készülékgyártók, közöttük a 18 éve ezen a területen dolgozó **Stieler Kunststoff Service GmbH** (Goslar, Németország) ki is használt. Időközben sokat fejlődött a gépi technika is, a jó hatásfokú berendezések révén csökkent a kezdeti beruházások megtérülési ideje.

Változatok a fluidinjektálásos fröccsöntésre

A fluidinjektálásos eljárást elsősorban üreges rúd alakú formadarabok, pl. fogantyúk, gázt vagy folyadékot továbbító vezetékszakaszok gyártásához alkalmazzák. Ezeknél érvényesül legjobban az eljárás valamennyi előnye: a gyártási költségek kisebb anyagfelhasználásból eredő csökkenése, a nagyon rövid ciklusidő és a kisebb záróerejű fröccsgép alkalmassága.

Fröccsöntés részlegesen kitöltött szerszámmal (short-shot eljárás)

Ebben az eljárásban csak kevés ömledéket fröccsentenek a szerszámfészekbe, amelynek külső rétege a szerszám falán megszilárdul. A még folyékony állapotú to-

vábbi ömledéket a beinjektált gáz osztja el és nyomja rá a felületre. Ebben az eljárásban mindössze 20–100 bar a szerszámban fellépő nyomás, és nincs szükség az ömledék utánnyomására. Ehhez az eljáráshoz általában gázt használnak, de a polimertől függően vízzel, alkohollal is megvalósítható. Lágy anyagok, pl. termoplasztikus elasztomerek (TPE-k) nagyon könnyen formázhatók ezzel a módszerrel, de üvegszálas anyagokhoz is jól alkalmazható.

Fröccsöntés teljesen kitöltött szerszámmal (full-shot eljárás)

A „full-shot" vagy zsugorodáskompenzációs eljárásban az ömledékkel teljesen kitöltött szerszámba a beömlőtől távol eső fúvókán keresztül nitrogéngázt nyomnak be, és ennek nyomását a teljes hűtési szakaszon keresztül fenntartják. A gáznyomás gátolja a zsugorodást, kiküszöböli az beszívódásokat és a deformálódást. Régebbi szerszámok viszonylag egyszerű beavatkozással módosíthatók az eljárás alkalmazására. TPE-k ezzel a módszerrel is könnyen formázhatók.

Melléküreges eljárás

A melléküreges eljárás jól bevált a lapos, nagy felületű formadarabok gyártására, ahol részleges anyagtorlódás léphet fel. Elterjedtsége ellenére ennek az eljárásnak az alkalmazásában követik el a legtöbb darab- és szerszámkonstrukciós hibát, mivel itt egy lapos formadarabot és egy ömledékcsatornát kombinálva kell fröccsönteni. Az ömledék betöltése alatt erős nyomásingadozás léphet fel, ami a felület fényességének egyenetlenségét okozza. Ebben az eljárásban fontos, hogy hol és hogyan végzik a kitöltést, és mikor nyitják meg a melléküreget, hogy a feltorlódó ömledéket a fluid oda benyomja.

Az eljárás *Stieler CoolFlow* változatában –25 °C-os gázzal öblítik a formadarabban kialakuló üreget, hogy a felmelegedett gázt kihajtsák onnan. Ezáltal csökken az elhúzódás lehetősége és a ciklusidő, kiegyenlítődik a beömlőcsatornák és a formadarab hőmérséklete. Ezzel a módszerrel egyenletesebbé válik a kerek TPE tömítések falvastagság-eloszlása, mivel a falvastagság kialakul, mielőtt a gáz a folyékony ömledéket a melléküregbe kényszeríti. Az eljárást gyakran alkalmazzák szállal erősített műanyagok feldolgozásához.

Feldolgozás visszahúzott maggal

Ilyen eljárással gyakran készítenek italosrekeszeket. Induláskor a szerszámüregbe nyúló magok csökkentik a fészek térfogatát. Miután megindul az ömledék beáramlása, beinjektált gázzal nyomják vissza a magokat hátsó helyzetükbe. Ebben az eljárásban kizárólag gázt használnak, amely akár levegő is lehet. Nyomása kb. 20–50 bar, amely nem hat az ömledékre, kizárólag a magokat mozgató tolattyú irányát követi. Az eljárás nem alkalmas sem erősített műanyagok, sem elasztomerek feldolgozására. A **Stieler** cég és partnerei által kifejlesztett *GaNaSys* változatban a gáz injektálását fűtött csatornában hajtják végbe, így a formadarab belső üregét gázzal nemcsak megtölteni és kiüríteni tudják, hanem a bevezetés helyét le is tudják pecsételni.

A gáz külső nyomásán alapuló módszer

A gáz külső nyomásán alapuló módszerrel nagy felületű, lapos formadarabok zsugorodását lehet kompenzálni külön csatornarendszer nélkül. Itt a kidobóoldalon alakítanak ki egy „gázpárnát”, amely a formadarab alsó felületére fejt ki nyomást. Így a hűtés teljes időtartama alatt a teljes felületre hat a gáz utónyomása. Ezáltal nemcsak feszültségmentes darabokat kapnak, hanem kifogástalan felületet és méretállóságot is.

A bordák vagy az erősítőelemek látható oldalon megjelenő beszívódásai megszűntek. Az eljárás előnye a ciklusidő csökkenése, a felület és a mérettartóság javulása, a kész darab csekély tömege; hátránya, hogy nem minden anyaghoz (pl. elasztomerekhez, szállal erősített gyorsan kristályosodó műanyagokhoz) alkalmazható. TPE-re az eljárást még nem próbálták ki.

A „SmartFoam” rendszer

A *SmartFoam* rendszert (*SmartFoam-System*) a **Stieler** cégnél fejlesztették ki. Ezzel hagyományos fröccsöntő gépeken lehet fizikai habosítással vastag falú formadarabokat előállítani. A teljesen tömör külső felületű darabok habosítószer nélkül készülnek, a szerszám hagyományos feltöltése alatt az anyag hajtóanyaggal nem érintkezik. Csupán a fészek kitöltése után injektálnak fluidot a beömlőrendszer keverőzónájába, ahol zárt cellás hab képződik, és ez az utónyomás ideje alatt hatol be a fészekben lévő ömledék „szívébe”. Ezáltal nagyon rövid ciklusidőt kapnak, nagyon kis zárónyomással tudnak dolgozni és az energiafelhasználás is kisebb. Fluidként gáz alakú nitrogén, víz vagy folyékony szén-dioxid alkalmazható.

Nagy szilárdságú erősített anyagoktól a lágy TPE-kig szinte bármilyen anyag, még a kémiai habosítóanyagokkal nehezen habosítható termoplasztikus poliuretán (TPU) is feldolgozható ezzel az eljárással. Az erősített poliamid szilárdsága 5-10%-kal nő a tömör anyagéhoz képest, 15%-os tömegcsökkenés mellett. A legtöbb formadarab gyártási ciklusideje felére mérséklődik, méretállandósága pedig az egyenletes belső nyomás következtében jelentősen javul.

Megjegyzések

A felsoroltak igazolják, hogy a fluidinjektálásos fröccsöntés haszna jóval nagyobb, mint az üreges testek előállítása. A nagy nyomású fluidokkal végzett munka azonban hozzáértést igényel. A siker érdekében bevezetése előtt célszerű szakértővel konzultálni, ami különösen hasznos lehet a formadarab és a szerszám tervezésekor.

Vízzel segített fröccsöntés

Mint az előzőekből kitűnik, a fluidinjektálásos fröccsésben a „fluid” lehet gáz (gázinjektálásos technika, GIT), de lehet folyadék is, a leggyakrabban víz (vízinjektálásos technika, WIT). Egyre több gépkocsiba építenek az utóbbi eljárással készített

vezetékszakaszokat, amelyek hűtővizet vagy olajat szállítanak. A WIT eljárást azért kedvelik, mert a rövid ciklusidő mellett könnyen automatizálható, és gazdaságosan lehet a gyártási folyamat részeként betéteket, kiegészítő elemeket építeni a formadarabba vagy a formadarabra. Az ilyen vezetékszakaszok gyártásának alapfeltétele, hogy a formadarabban végighúzódjék egy megfelelően nagy keresztmetszetű, hibamentes üreg, amely a vezetékben csak csekély nyomásveszteséget enged meg.

A WIT eljárással készített vezetékek fala legtöbbször vastagabb a kívánatosnál, ami ugyan növeli a vezeték szilárdságát, de a kelleténél nagyobb a ciklusidő és az előállítás költsége, továbbá a külső átmérő. A gyártási paraméterekkel változtatható ugyan az ömledék viszkozitása, ezáltal a maradék falvastagság, de a vezetékszakaszok előállításához használt erősített poliamidok „feldolgozási ablaka" meglehetősen szűk, nagy variációs lehetőségek nincsenek.

Az aacheni műszaki főiskola műanyag-feldolgozási kara **(Lehrstuhl für Kunststoffverarbeitung an der RWTH Aachen)** és az aacheni műanyag-feldolgozó intézet (**IKV**, **Institut für Kunststoffverarbeitung**) ezért átlátszó falú szerszámot készített a gyártási folyamat közvetlen megfigyelésére és a hibák keletkezésének felderítésére. Különböző tulajdonságú, elsősorban különböző viszkozitású poliamidokkal végeztek feldolgozási kísérleteket. Kiderült, hogy *legerősebben a nyíróviszkozitás hat a vezetékszakaszok maradék falvastagságára,* a növekedő viszkozitással párhuzamosan csökkent a falvastagság. A rövid üvegszállal erősített poliamidokból vékonyabb falú vezetékeket tudtak gyártani. Az erősítés viszont csökkentette a WIT eljárás stabilitását. Polipropilént alkalmazva tapasztalták, hogy az erősebben struktúrviszkózus folyási tulajdonságok kisebb falvastagságot eredményeznek. Növekedő struktúrviszkozitás esetén a vízbuborék előtti ömledék növekedő mértékben blokkszerű sebességprofilt vett fel, falközelben nyírás által indukált viszkozitásminimummal. Ilyen jelenséget a poliamidoknál nem észleltek, ami összefügghet a kiválasztott anyagok folyási tulajdonságaival. Ezek nagyon nagy átmeneti nyírósebességeket mutatnak a newtonitól a struktúrviszkózus folyási tartományig, ezért feldolgozáskor newtoni folyási tulajdonságaik vannak, és a struktúrviszkózus tulajdonságok semmi szerepet nem játszanak.

Az üregképződés és a hibaelemzés tanulmányozására készített *átlátszó szerszámban* olyan mikrokristályos polimerrel dolgoztak, amely megdermedés után is átlátszó marad. A kísérletekből kiderült, hogy a korábbi feltétezésektől eltérően az üregképződés folyamata alatt nem képződik sem kettős csatorna, sem vízzárvány, viszont a víz tartós nyomása alatt a magas nyomású víz a gyenge pontokon áttöri a határréteget és ott képezi a jól ismert vízzárványokat. Az ilyen helyeken a még lágy ömledék fel is torlódhat, és csatornaszerű képződményeket alkot, aminek következtében a zárvány tovább szélesedhet. A ciklus végén, amikor megszűnik a víz nyomása, pillanatszerűen elpárolog a víz a zárványból, ami felfúvódással jár, és kettős csatorna képződéséhez vezet.

A kísérletek alatt azt is tapasztalták, hogy a folyamat vezérlése és az anyagtól függő fluid alkalmazása révén a termikus viszonyok úgy alakulhatnak, hogy segítik vagy gátolják a hibák kialakulását. Kedvezőtlen körülmények között a víz nyomása az

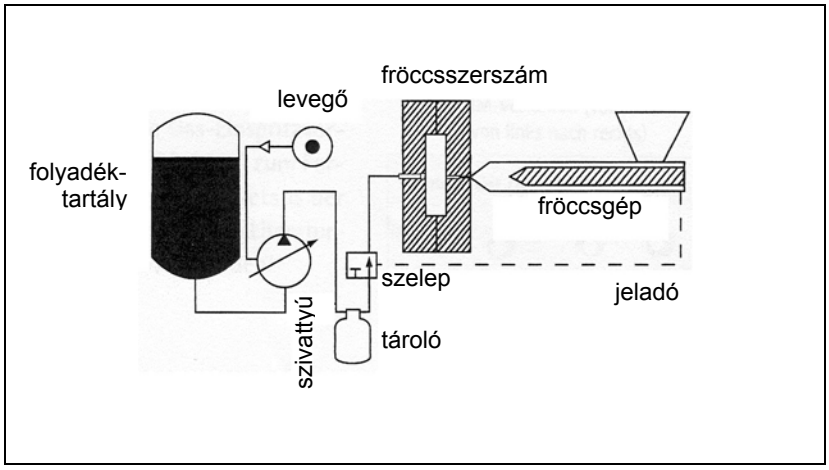
üregképződés szakasza alatt olyan alacsony lehet, hogy a víz elpárolog a fázishatáron. Ilyenkor egy szigetelő hatású gőzréteg alakul ki, amely tizedére csökkenti a hőelvezetést, az elpattanó gőzbuborékok pedig mechanikailag sértik meg a lágy határfelületet. Az így keletkező hibahelyeken alakulhatnak ki az említett vízzárványok. A hidrofób polipropilén feldolgozásakor *felületaktív tenzid hozzáadásával* javították a felület nedvesítését. Ennek következtében sokat javult a hőelvezetés az üregképzés alatt, és a határfelület a megdermedés után hibátlan volt, a víz sehol nem hatolt be a polimerbe. Hasonló hatást értek el a víz térfogatáramának növelésével, ami megnövelte a víznyomást az üregképződéskor, emiatt csökkent a víz elpárolgása a víz folyási frontján. Meg kell jegyezni, hogy a vízáram növelése csak a stabil feldolgozási ablak határain belül lehetséges; és egy probléma megoldása esetleg újabb problémákat szül.

A gázzal és vízzel segített fröccsöntés összehasonlítása egy TPE tömlő gyártásakor

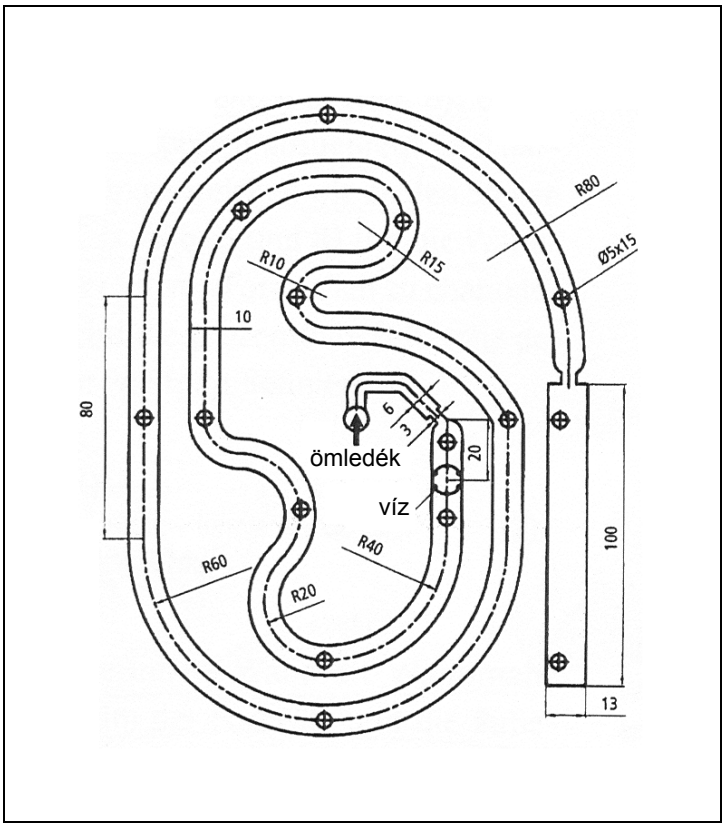
A tajvani **Chang Gung egyetemen** termoplasztikus elasztomerből (TPE) vízzel segített fröccsöntéssel akartak tömlőt készíteni, amelyet tudomásuk szerint TPE-ből korábban eddig sehol sem állítottak elő ilyen eljárással. A kiválasztott elasztomer a tajvani **Ever Polymer** cég *Everlon TC-30N* márkanevű sztirol-etilén/butilén-sztirol (SEBS) kopolimerje volt. A kísérleteket egy Tajvanban gyártott 80 tonnás fröccsöntő gépen végezték, amelynek legnagyobb fröccssebessége 109 cm^3/s. A vizet injektáló berendezést saját laboratóriumukban készítették el. A fúvókából a víz egy rozsdamentes acélporból szinterezett porózus felületen lépett be az ömledékbe. A pórusméret 60-70 μm, ami elég kicsi ahhoz, hogy az ömledék ne tudjon behatolni a fúvókába, és elég nagy, hogy a víz be tudjon hatolni az ömledékbe. A gyártóegység vázlatát az *1. ábra* mutatja. A „tömlő" szerszáma lényegében egy 10 mm átmérőjű spirálszerszám volt különböző görbületi sugarakkal *(2. ábra)*. A spirál végén a víz által kinyomott ömledék egy melléküregbe került. Ugyanezt a szerszámot szerelték fel egy szokásos gázzal segített fröccsöntő egységre, hogy a kétféle fluidinjektálásos eljárást összehasonlíthassák. A különböző paraméterekkel gyártott tömlőkben mérték a víz behatolásának úthosszát, továbbá kiszámították a szerszámüreg és a képződő üreg térfogatának az arányát a következő képlettel: (R-S)/R, ahol R az spirálcsatorna sugara, S a tömlő falvastagsága. A kísérletekben alkalmazott paramétereket az *1. táblázat* tartalmazza.

A *3. ábrán* látható a gázzal, ill. vízzel készített tömlők szerszám/tömlőüreg aránya a víz behatolási hosszának függvényében. Mindkét technológiával többnyire kör keresztmetszetű üreget kaptak. A vízzel készített tömlőkben a szerszámüreg/tömlőtérfogat aránya lényegesen nagyobb volt, mint a gázzal gyártottaké, ami az előbbiek egyenetlen falvastagságából adódik. Ennek oka, hogy a víz könnyebben győzi le a polimerömledék magas viszkozitását, és gyorsabban halad előre, mint az összenyomható gáz. Ez azonban csak a viszonylag egyenes szakaszokra igaz. Kis sugarú görbületekben a görbület középpontjához közelebbi oldalon elvékonyodik, a távolabbi oldalon megvastagszik a tömlő fala. Ez a jelenség az előrehatoló „erőszakosabb" vízzel erősebb, mint az egyenletesebben haladó gázzal; a víz képes megtalálni az előreha-

ladáshoz a legrövidebb utat, amely a központhoz közelebbi fal mentén van *(4. ábra)*. A víz segítségével fröccsöntött tömlőknek ezért nagyobb a falvastagság-eloszlása.



1. ábra Gyártóegység a vízzel segített fröccsöntéshez



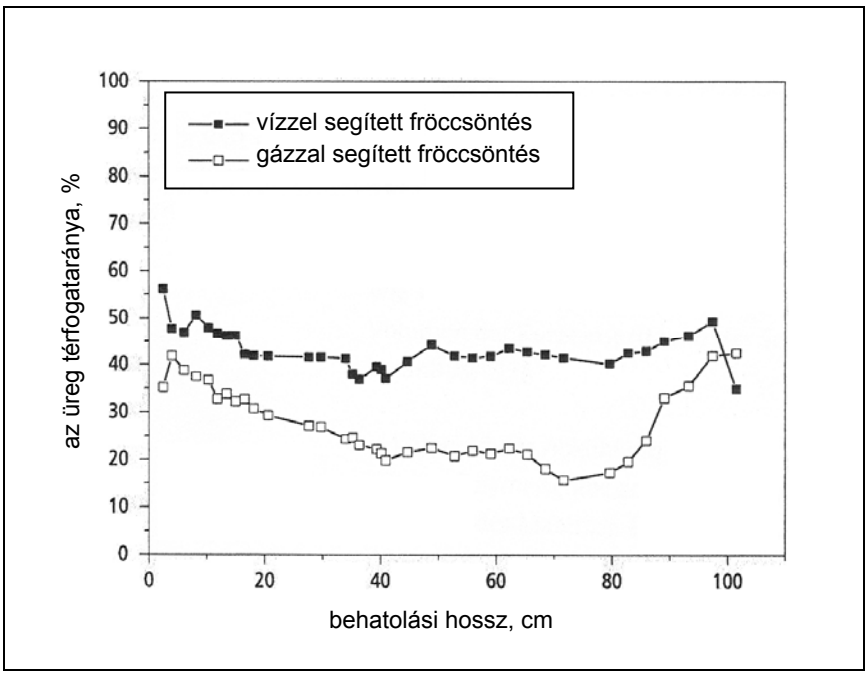
2. ábra A spirálszerszám (méretek mm-ben)

1. táblázat

A kísérletek alatt alkalmazott paraméterek

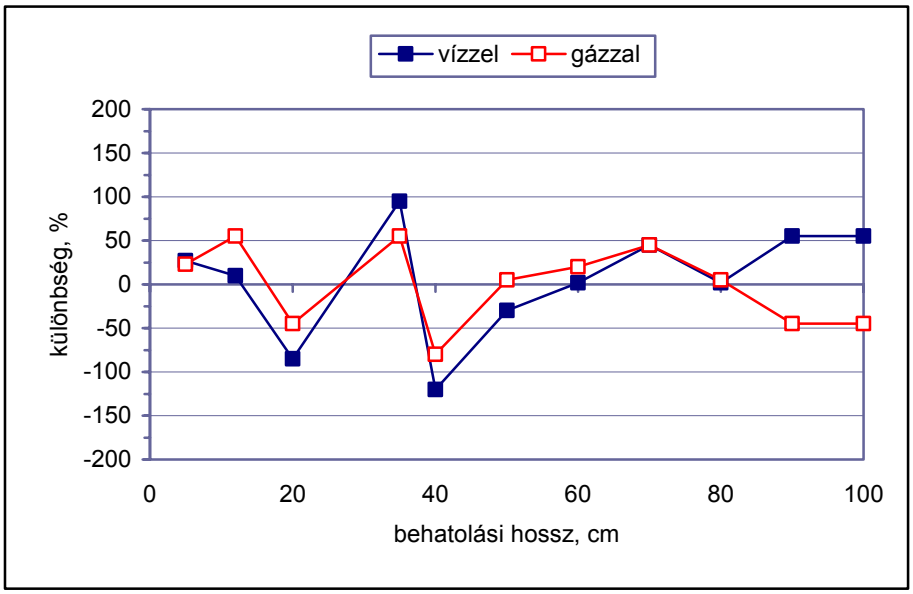
Sorszám	Ömledék-hőmérséklet °C	Szerszám-hőmérséklet °C	Víz-hőmérséklet °C	Víz-nyomás MPa	Késlel-tetés s	Víznyomás időtartama s	Fröccs-adag* %
1	160	40	50	7,5	0,3	12	58
2	170	50	60	8,5	0,4	18	60
3	180	60	70	9,5	0,5	24	62
4	190	70	80	10,5	0,6	30	64

* A szerszámfészek százalékában.



3. ábra A behatolási távolság és az üreg aránya a vízzel és a gázzal készített tömlőkben

A kísérletek második szakaszában a kutatók egy-egy paraméter változtatásával vizsgálták, hogy hogyan hatnak ezek a víz segítségével fröccsöntött tömlők gyártásakor a víz behatolási hosszára és a tömlő belső üregének térfogatára. Megállapították, hogy magasabb ömledék-hőmérsékleten a víz könnyebben hatol be a kisebb viszkozitású ömledékbe, és a lassú hűlés is ezt segíti. Az ömledék-hőmérséklet emelésének azonban megvannak a maga korlátai. Ha növelik a víz injektálásának késleltetési idejét, csökken a szerszámüreg és a tömlő üregének aránya.



4. ábra A vízzel és gázzal készített tömlők falvastagságának különbsége a görbületek néhány előre kijelölt pontjánál

Összeállította: Pál Károlyné

Stieler: Fluidinjektion bietet Spritzgießern eine Vielfalt von Lösungen = Gummi, Fasern, Kunststoffe (GAK), 63. k. 10. sz. 2010. p. 633–635.
Michaeli, W.; Gründler, M.; Grönlund, O.: Die Wasserinjektion durchschaut = Plastverarbeiter, 60. k. 9. sz. 2009. p. 96–97.
Liu, S.;Lin, K.; Liu, C.: Herstellung von TPE-Schläuchen durch wasserunterstützte Spritzgießtechnik = Gummi, Fasern, Kunststoffe (GAK), 62. k. 3. sz. 2009. p. 145–150.