

Folyamatszabályozás közvetlenül a szerszámfészekből származó adatokkal

A fröccsöntött termék kifogástalan minőségét a lehető legalacsonyabb költséggel csak akkor lehet megvalósítani, ha a folyamatvezérlés ciklusról ciklusra optimális gyártási feltételeket biztosít. Ezért a fejlesztők egyre inkább arra törekszenek, hogy a szabályozástechnika a fészekbe beépített érzékelőkre támaszkodjék, és az ottani változásoknak megfelelően automatikusan minden egyes ciklusban optimális körülményeket állítson be.

Tárgyszavak: fröccsöntés, szabályozástechnika; szerszámban mért nyomás; ömledékfront; ömledék-hőmérséklet; szerszámhőmérséklet.

A fröccsöntő gépek működésének klasszikus szabályozása a gépi jellemzőkön (hidraulikanyomás, a csigára ható erő az utónyomás alatt) alapszik. Az ilyen szabályozórendszer megbízhatósága ma már nem kielégítő, zavaró körülmények fellépésekor a gyártás reprodukálhatósága távol áll az ideálistól. Ezért arra törekszenek, hogy minden egyes gyártási ciklusban ellenőrizzék a szerszámfészekben bekövetkező jelenségeket és az ömledék tulajdonságait, és ezeknek megfelelően automatikusan biztosítsák a folyamat optimális lefutását.

A folyamatszabályozással foglalkozó vállalatok különböző megoldásokon dolgoznak. A svájci **Priamus System Technologies AG** (Schaffhausen) cégnél az ömledékfront helyzetét követik nyomon, egy nyomásérzékelő és egy hőérzékelő együttes információjára alapozzák a szabályozást. Az aacheni Műanyag-feldolgozó Intézet (**IKV, Institut für Kunststoffverarbeitung**) az ömledék p_vT adataira alapozza szabályozórendszerét.

Az ömledékfront mozgására alapozott szabályozás

A fröccsöntés folyamata meghatározott kapcsolásokat követő események láncolatának is tekinthető. A kapcsolásokat követő események bekövetkezhetnek a gép vezérlőrendszerében, de a fröccsöntő szerszámban is, ahol pl. kinyílik vagy bezáródik egy fűvóka. A különböző feldolgozórendszerekben nagy különbségek lehetnek abban, hogy a kapcsolat után mennyi idő szükséges ahhoz, hogy a rendszer végrehajtsa a kapott parancsot. Egy gép vezérlőrendszerének vagy egy fölérendelt vezérlő-, ill. szabályozórendszernek a minőségét az határozza meg, hogy milyen gyorsan, milyen megbízhatóan és mennyire megismételhetően reagál a kapott jelekre. A Priamus cég mun-

katársai azt vizsgálták, hogy hogyan viselkedik az ömledék a szerszámfészekben különféle kapcsolási eljárások esetében, és hogyan hat ez a formadarab tulajdonságaira és a gyártási folyamatra.

Rövid és hosszú reakcióidők

A kapcsolási jelnek van egy bizonyos tehetetlensége, amelynek pl. a befröccsentéskor jelentős hatása van az ömledék által megtett útra. A jel generálása és a hatás kiváltása között eltelt időt reakcióidőnek nevezik. Ha a szerszámban a zárószelep a befröccsentés alatt a nyomástól függően (pl. 100 bar belső nyomás elérésekor) záródik, lassú, nagy tehetetlenségű zárórendszer mellett az ömledék még viszonylag hosszú ideig nyomul be a fészekbe. Gyors, dinamikus rendszer esetében a szelep gyorsan lezár, az ömledék mozgása megszűnik.

Egy jól kézben tartott fröccsöntési folyamatban elengedhetetlen, hogy az ömledék elhelyezkedését a fészekben minden pillanatban és minden körülmények között ismerjük, és ezáltal elkerüljük az összezapási varratok keletkezését vagy a fészek hiányos kitöltését. A piacon rövid és hosszú reakcióidejű rendszerek is kaphatók. Az *1. ábrán* látható, hogy hogyan változik egy adott térfogatú ömledék folyási úthossza a befröccsentési sebesség függvényében különböző keresztmetszetű fészkekben rövid és hosszú reakcióidejű rendszerek hatására. A 0,5 ms reakcióidejű rendszerben a folyási út csak kevéssé függ a befröccsentési sebességtől, 25 ms reakcióidejű rendszerben a fúvóka záródására kiadott parancs után még hosszú ideig mozog, ezért az ömledék helyzete csak nagyon pontatlanul becsülhető meg.

A különböző kapcsolási elvek összehasonlítása

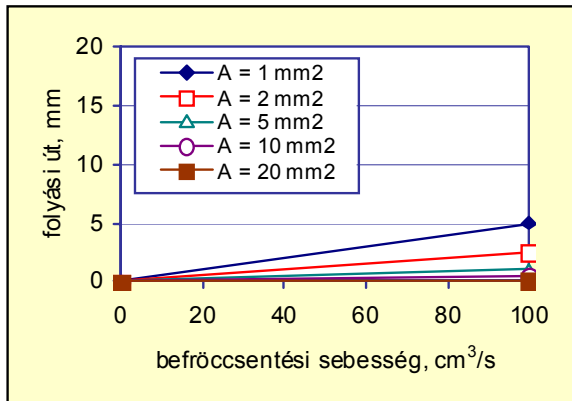
Nemcsak a tehetetlenség, hanem a kapcsolási módszer is befolyásolja az ömledék úthosszát és a folyamat stabilitását. Ezért néhány év óta a legtöbb fröccsgép vezérlő-rendszere grafikusán jelzi ki az átállást az utánnomásra. Egyes gépgyártók a csiga pontos és megbízható helyzetére alapozott átállásra hivatkozva hangsúlyozzák gyártmányaik jó minőségét, bár ettől még jelentős ingadozások lehetnek a fröccsöntött darabok minőségében.

Ma a piacon kapható berendezésekben a következő kapcsolási elveket alkalmazzák:

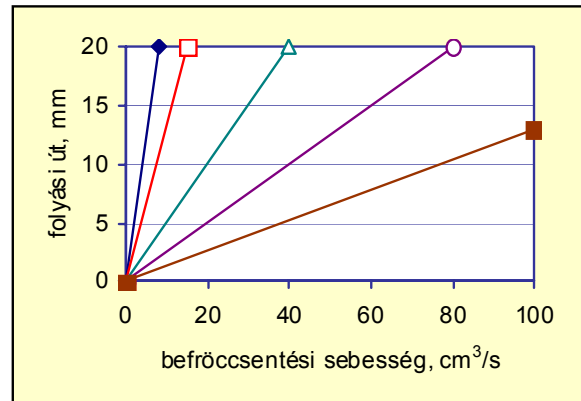
- elmozdulástól függő kapcsolás a csiga helyzetének függvényében,
- nyomástól függő kapcsolás a szerszámban fellépő belső nyomás kijelölt határértékének függvényében,
- automatikus kapcsolás a szerszám belső nyomásának növekedése függvényében (ömledékfront-információ),
- automatikus kapcsolás a szerszámon belüli hőmérséklet-emelkedés függvényében (ömledékfront-információ).

Az első két kapcsolási elv alapvetően különbözik a két másik, automatikus eljárástól. Az elmozdulásra, ill. nyomásra alapozott kapcsolást ugyanis egy meghatáro-

zott gépbeállításra és meghatározott anyagra optimalizálták szerszámkitöltési próbák során. Ha megváltozik a gépbeállítás vagy a feldolgozott anyag, az optimalizálást újból kellene kezdeni. Az automatikus kapcsolási eljárás ezzel szemben alkalmazkodik a gyártási körülményekhez és a beállítástól függetlenül a kellő időben adja ki az átkapcsolási parancsot.

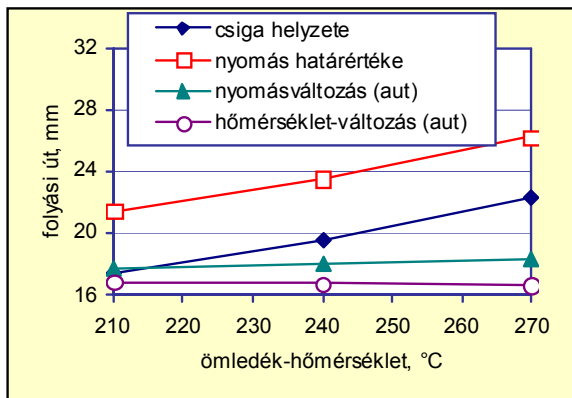


a)

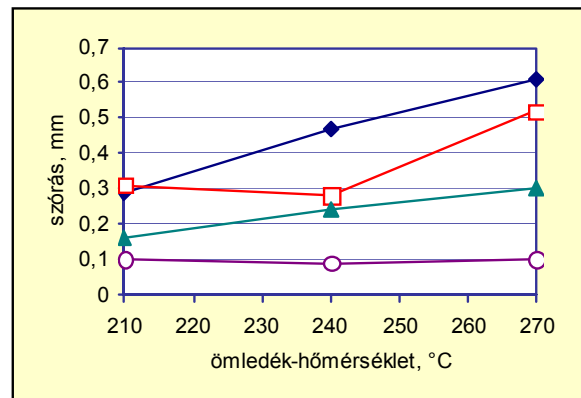


b)

1. ábra Az ömledék folyási útja különböző keresztmetszetű fészkekben a befröccsentési sebesség függvényében rövid reakcióidejű [0,5 ms: a) ábra] és hosszú reakcióidejű [25 ms: b) ábra] rendszerben



a)



b)

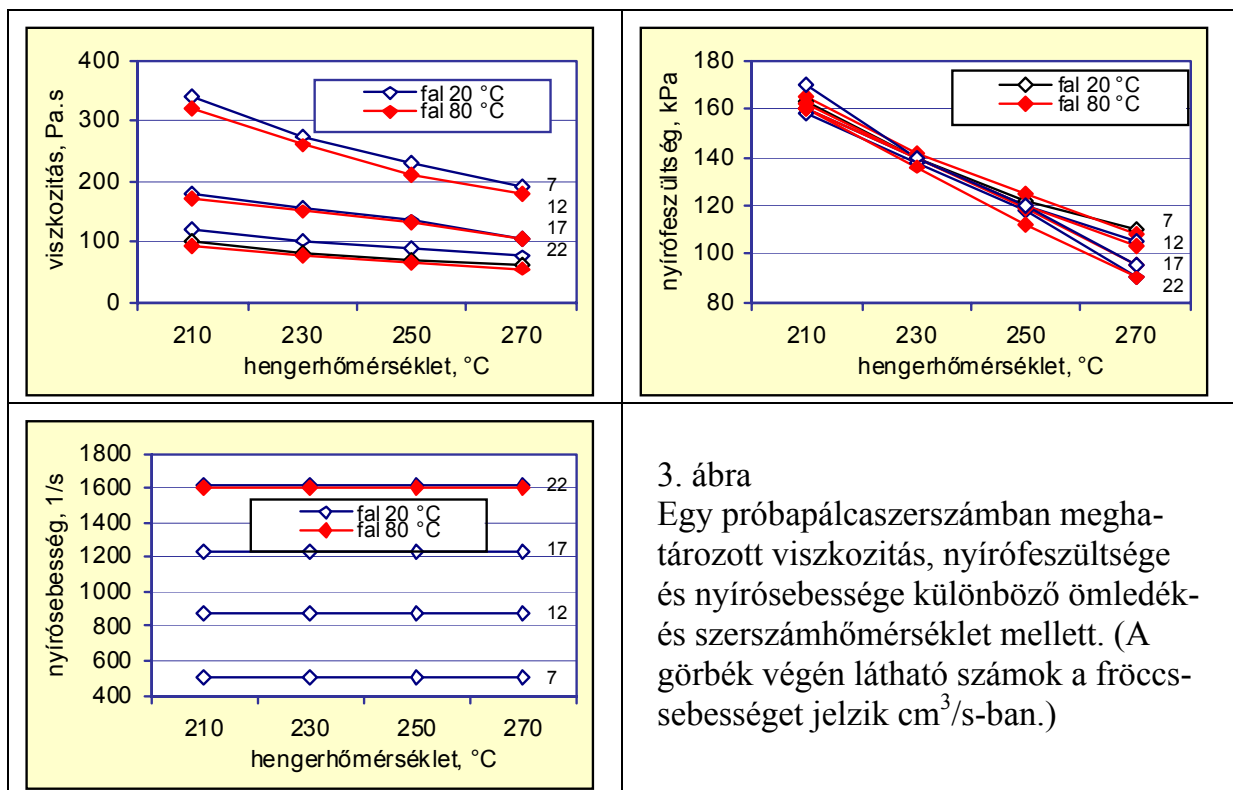
2. ábra Az ömledék folyási útja [a) ábra] és a mért értékek szórása [standard deviációja, b) ábra] különböző elven alapuló kapcsolási rendszerek alkalmazásakor különböző ömledék-hőmérsékleteken

A **Priamus** cég munkacsoportja az **Arburg** cég *320A Alldrive 600-170* típusú fröccsöntő gépén a **BASF 495F** típusú *polisztiroljával* végzett kísérletekben hasonlított össze a különböző kapcsolási elveket. A 2. ábrán látható, hogy a szerszám belső viszonyainak változásán alapuló automatikus eljárások alkalmazásakor az ömledék-hőmérséklet alig befolyásolta az ömledék kapcsolás utáni úthosszát. A *hőmérséklet-*

változásra alapozott átkapcsolás megbízhatósága megelőzte a nyomásváltozásra alapozottét.

A viszkozitásadatok automatikus meghatározása

Az ömledékfront helyzetének automatikus felismerése a nyomás- és hőmérsékletszignál alapján nemcsak az utónyomás automatikus megindításakor vagy a légtelelítő szelepek nyitásakor/zárásakor hasznos, hanem általa kiszámítható az ömledék szerszámon belüli nyírósebessége, nyírófeszültsége, ezekből pedig a viszkozitás. Ehhez a szabadalmazásra bejelentett eljáráshoz nincs szükség másra, mint a szerszámfelek közepe táján beépített nyomásérzékelőre és attól távolabb, az ömledékfront haladási irányában a szerszám falába épített hőmérséklet-érzékelőre. Amikor az ömledék eléri a nyomásérzékelőt, megindul a nyomás növekedése, amelynek változását automatikusan követik. Amikor az ömledék eléri a szerszám hátsó falát (ebben van a hőérzékelő), hirtelen hőmérséklet-emelkedést regisztrálnak. A nyomás- és a hőmérséklet-érzékelő közötti út megtételéhez szükséges időt ugyancsak automatikusan mérik. Az adatokból kiszámítható a nyírósebesség, a nyírófeszültség és a viszkozitás.



3. ábra
Egy próbapálcaszerszámban meghatározott viszkozitás, nyírófeszültsége és nyírósebessége különböző ömledék- és szerszámhőmérséklet mellett. (A görbék végén látható számok a fröccsebességet jelzik cm^3/s -ban.)

A szerszámban mért viszkozitással nem akarják helyettesíteni a laboratóriumi, izoterm körülmények között végzett reométeres méréseket, ahol a viszonyok erősen eltérnek a feldolgozás közben fellépő viszonyoktól. A szerszám belsejében lévő valódi

körülmények ismerete azonban sokkal hatásosabban segíti a feldolgozási eljárás stabilitásának fenntartását. A 3. ábra különböző ömledék- és szerszámfal-hőmérsékletek mellett, 7–22 cm³/s fröccssebességgel befröccsentett polimer viszkozitását, nyírófeszültségét és nyírósebességét mutatja. Látható, hogy míg az ömledék hőmérséklete (hengerhőmérséklet) egyáltalán nem befolyásolja a nyírósebességet, a szerszámfal hőmérséklete hatással van a nyírófeszültségre. A fröccsszerszámba épített automatikus viszkozitásmérés ma a Priamus cég valamennyi többfészkés szerszámában hozzáférhető.

Az automatikus ömledékfront-követés alkalmazása a folyamatvezérlésben

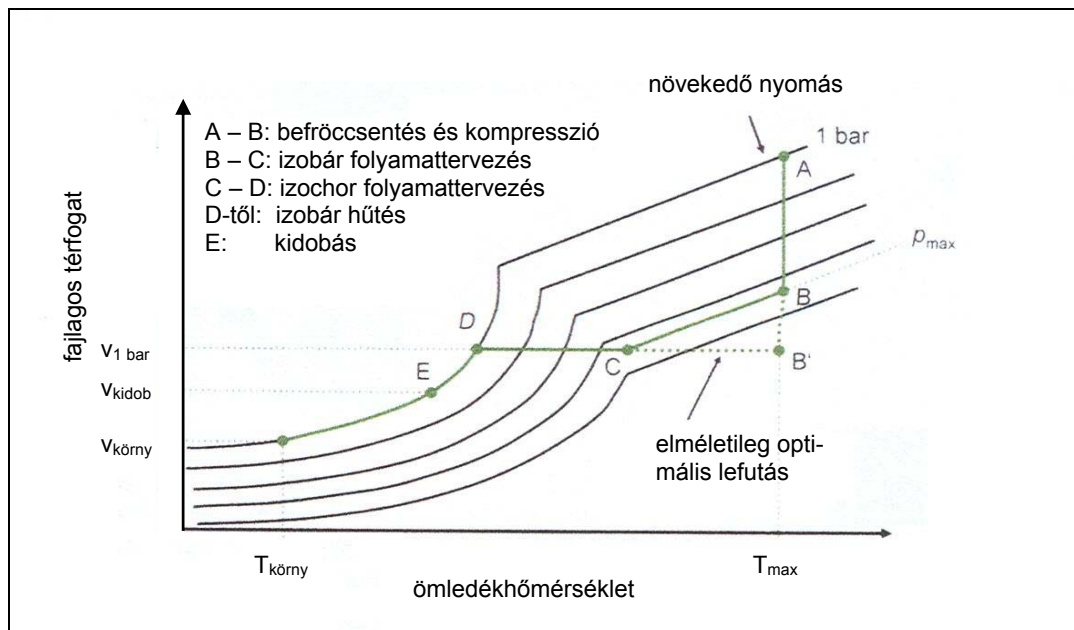
Az ömledékfront automatikus követését hőérzékelők segítségével kb. 10 éve alkalmazzák fűtött csatornarendszerek kiegyensúlyozására. Hideg csatornarendszerekben és folyékony szilikonok fröccsöntéséhez is jól bevált, ha a zárószelepek nyitásának késleltetési idejét ciklusról ciklusra az ömledékfront mozgására alapozva automatikusan kívánják kiszámítani. *Újdonság azonban, hogy ezt az automatikus szabályozó és kiegyenlítő eljárást a szerszám belső nyomását jelző szenzorral együtt alkalmazzák.*

A belső nyomás egy előre meghatározott határértékére épülő szabályozórendszer pontatlanságait egyre jobban felismerik. A nagyon kis méretű nyomásmérők ugyanis könnyen hozzáérnek furataik falához, ezáltal érzékenységük erősen csökken. Egy többfészkés szerszámban, ahol minden egyes fészékben van egy ilyen nyomásérzékelő, a pontatlanul dolgozó szenzorok miatt nagy lehet a hiba lehetősége, az egyes fészekek nem egyszerre töltődnek meg. A nyomásnövekedés automatikus kijelzésével ez a hiba elkerülhető.

A polimer pvT-adataira épülő szabályozórendszer

Az aacheni IKV már korábban kifejlesztette a szerszámok belső nyomására alapozott on-line szabályozórendszerét. Ezt továbbfejlesztve dolgozik a pvT-alapú rendszer kidolgozásán, amellyel pl. a hőmérséklet-ingadozások okozta változásokat lehetne ellensúlyozni. Ilyen hőmérséklet-ingadozások elsősorban a termelés beindításakor vagy gyártás megszakítása után lépnek fel, amikor még nem alakultak ki a kiegyensúlyozott hőmérsékleti viszonyok.

Egy polimer pvT-arányai a nyomás, a fajlagos térfogat és a hőmérséklet közötti összefüggést tükrözik, és diagram formájában adhatók meg. Ebből egy szabályozórendszerben kiszámíthatók a formadarab elvárt tulajdonságainak eléréséhez szükséges folyamatparaméterek (pvT-optimalizálás), ami minden egyes ciklusban megvalósulhat. Ilyen számítás elvét mutatja a 4. ábra. Első követelmény, hogy az 1 bar-os nyomás-görbét az ömledék előre meghatározott fajlagos térfogat és ömledék-hőmérséklet mellett érje el. Ez szavatolja a konstans zsugorodást. Második követelmény, hogy az utónyomás teljes időtartama alatt izochor folyamatvezetés valósuljon meg, mert ilyen körülmények között lesz a legkisebb az orientáció, a belső feszültség és a darab vetemede.



4. ábra Egy részlegesen kristályos hőre lágyuló műanyag idealizált folyamatvezetése pvT-optimalizálással

pvT-arányok mint minőségmodell

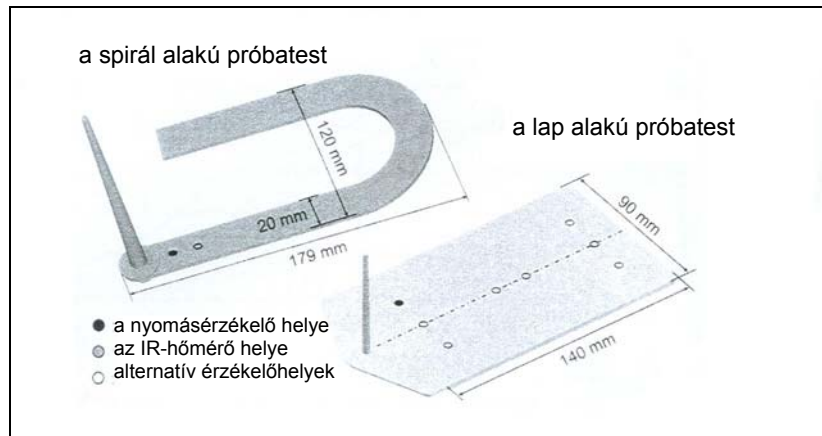
A polimerek pvT-összefüggéseit ma laboratóriumi berendezésekben szokták mérni. Ezek az eredmények azonban csak korlátozottan alkalmazhatók a feldolgozás körülményeire, ezenkívül nagyon időigényesek.

Feldolgozás közben a pvT-arányokat a szerszám belső nyomásának mérésével, a fajlagos térfogat kiszámításával (az elméleti fészektérfogat és a kész formadarab tömegének a hányadosa), továbbá a hőmérséklet IR-szenzorral mért értékével állítják fel. Így nem kapnak ugyan fizikai szempontból kifogástalan pvT diagramokat, de az adott körülményeknek (műanyagfajta, szerszám, érzékelőrendszer) megfelelő adatmezőt (Materialkennfeld) tudnak előállítani.

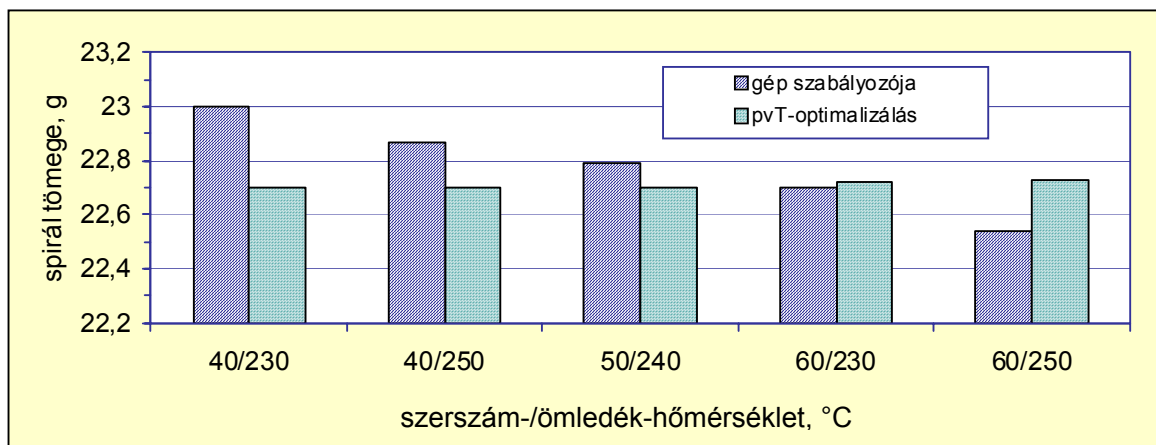
Egy adatmező elkészítéséhez először bizonyos vonatkozási helyeket kell kijelölni. Ehhez időnként megszakítják az utónyomás alatt fészekbe hatoló ömladék áramlását egy tűszelep bezárásával, és megméri a szerszámban ekkor fennálló belső nyomást és az ömladék hőmérsékletét. Mivel a szelep bezáródása után a fészekben a polimer tömege nem változik, a megdermedt formadarab mérlegelése után kiszámítható annak fajlagos térfogata. Ezután ugyanezt a tömegű polimert különböző nyomással és hőmérsékleten fröccsentik be, és ilyen módon kialakul az adatmező, amelyre a vonatkozási pontok alapján végzett számítással felrajzolhatók az izobár vonalak.

Az IKV-nál ilyen adatmezőt készítettek egy teljesen villamos üzemű **Arburg** gyártmányú *Allrounder 520 A 1500–400* típusú fröccsgépre szerelt spirál- és lapszerszám (5. ábra) segítségével. A kísérletekben a **Bayer Materialscience** cég *Makrolon*

LQ2647 típusú polikarbonátját, ill. a **Sabic Deutschland** 5795 típusú polipropilénjét alkalmazták. A felvett adatmező alapján optimálisnak ítélt folyamatokat különböző előre meghatározott próbatesttömegekkel a fröccsgépen a valóságban is lefuttatták. A próbatestek előre kiszámított és a valóságban lemerő tömegei nagyon jó egyezést mutattak.



5. ábra Az adatmezők felvételéhez használt próbatestek (vastagságuk egységesen 3 mm volt)



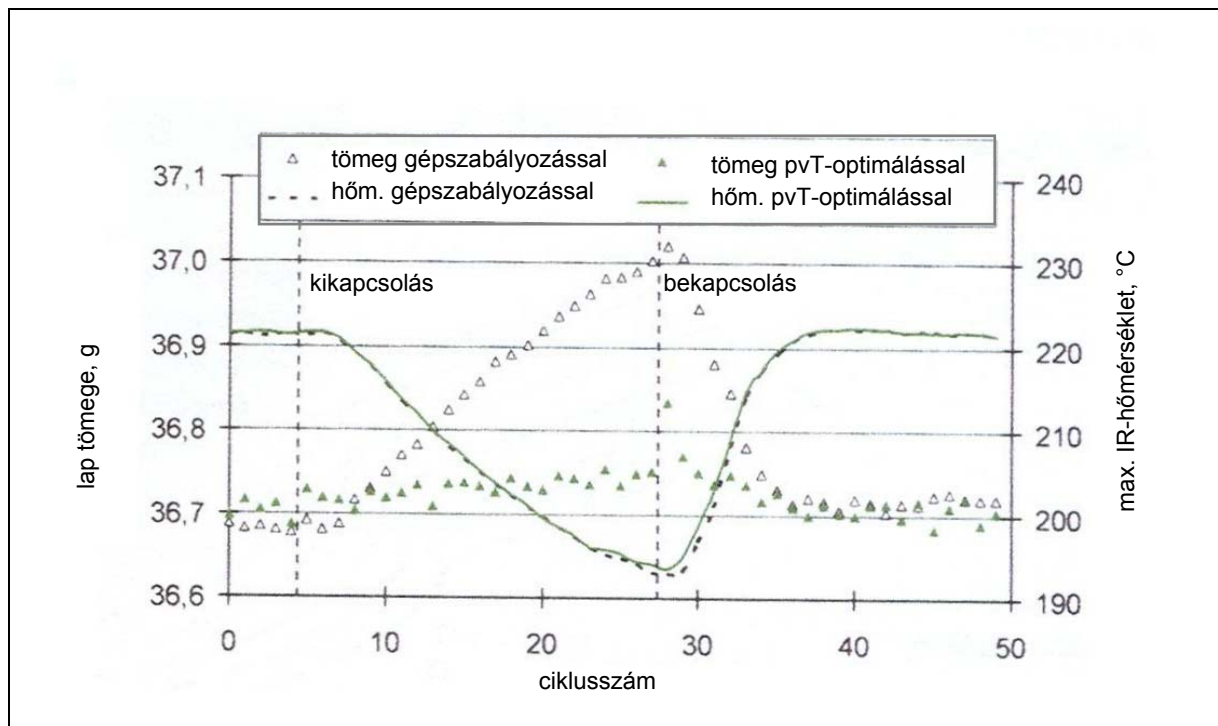
6. ábra A PP spirálok tömege különböző szerszám- és ömladék-hőmérséklet mellett a gép eredeti szabályozójával, ill. pvT-optimalizálással fröccsöntve

A hőmérséklet-ingadozások kiegyenlítése

A 6. ábra azt mutatja, hogy a PP-ből fröccsöntött spirálok tömege hogyan változott a szerszám- és az ömladék-hőmérséklet ingadozásainak hatására. Látható, hogy ha a gépet az eredeti szabályozórendszerével működtették, a hőmérséklet-ingadozás erősen befolyásolta a darab tömegét. Ha ellenben pvT-optimalizálással végzett utónyomással

dolgoztak, valamennyi hőmérsékletpár mellett gyakorlatilag azonos tömegű (azonos minőségű) spirált kaptak.

Előfordulhat, hogy a gép műszakilag meghibásodik. Ilyen hibát szimuláltak az IKV-nál PP-ből fröccsöntött lapok gyártása közben néhány ciklusig a fröccsgép plasztikáló egysége első két fűtőzónájának kikapcsolásával, majd visszakapcsolásával. A 7. ábrán látható, hogy az ömledék-hőmérséklet a kétféle szabályozás mellett a kikapcsolás után hasonló mértékben csökkent, ill. a visszakapcsolás után hasonló módon emelkedett. A lap tömege viszont a gép eredeti szabályozórendszerével több mint 1 g-mal növekedett, pvT-optimalással viszont mindössze néhány század grammal lett nagyobb.



7. ábra A pvT-optimalás hatása egy géphiba esetén PP lapok fröccsöntésekor

Összeállította: Pál Károlyné

Bader, Ch.; Zeller S.Ch.: Die Entdeckung der Schmelzefront = Kunststoffe, 100. k. 6. sz. 2010. p. 46–50.

Michaeli, W.; Schreiber, A.: Werkzeug statt Laborgerät = Plastverarbeiter, 61. k. 3. sz. 2010. p. 36–38.