

A gázzal és vízzel segített fröccsöntés továbbfejlesztése

Gáz vagy víz bevezetésével üreges formadarabokat lehet előállítani fröccsöntéssel. Ezeket az eljárásokat ma még ritkán alkalmazzák, de a fejlesztők már az ún. biinjektálásos technikánál tartanak, amely a kétkomponensű fröccsöntés és a fluidinjektálásos technika – FIT eljárás társítása.

*Tárgyszavak: fröccsöntés; fluidinjektálásos technika – FIT;
gázinjektálásos technika – GIT; vízinjektálásos technika – VIT;
folyamatellenőrzés.*

A műanyag-feldolgozás legáltalánosabban alkalmazott alakadási eljárása a fröccsöntés, amelyet folyamatosan fejlesztenek, és amelynek az elmúlt években többféle különleges módozatát fejlesztették ki. Az egyik ilyen módozat a *fluidinjektálásos technika (FIT)*, amelynek két változata van: a *gázinjektálásos technika (GIT)* és a *vízinjektálásos technika (VIT)*. A módszer lényege, hogy a szerszámba első lépésként műanyagot fröccsentenek, majd a még meleg ömledékbe nagy nyomással valamilyen közeget – gázt vagy vizet – injektálnak, amely az ömledék belsejébe jutva felfújja azt. Megdermedés után így üreges terméket kapnak.

Az eljárást kezdetben a termékek (pl. fogantyúk) könnyítésére és anyagmegtakarítás céljából alkalmazták. A módszer finomítása révén ma már bonyolult formájú csőszakaszokat állítanak elő, amelyeket az autógyártásban, az ún. fehér háztartási gépekben és az orvostechikában különféle folyadékok vezetésére használnak. Az olajok, hűtőközegek vagy más folyadékok vezetésére szolgáló csövek bármilyen bonyolult geometriával elkészíthetők, emellett a FIT eljárással rövidebb a ciklusidő; fröccsöntés közben beépíthetők a különféle betétek, csatlakozók, ezáltal csökken a szerelésre fordítandó munkaidő.

Kifejlesztették az ún. *biinjektálásos technikát*, amely a kétkomponensű fröccsöntés és a FIT eljárás társítása. Ebben kétféle műanyagot fröccsöntenek a szerszámba, és megfelelő „trükkökkel” a csővezeték pl. kemény és rugalmas szakaszokból épül fel vagy falát két különböző műanyagréteg alkotja. A fejlesztés egyik további célkitűzése, hogy a fröccsöntésben ma már magas színvonalon megvalósított automatikus folyamatellenőrzést a FIT eljárásokba is bevezessék.

Csőszakaszok gyártása biinjektálásos technikával

A közegek vezetésére szolgáló csővezetékekkel szemben egyre nagyobbak az igények. A mechanikai szilárdság mellett elvárják azt, hogy a cső falának jó legyen a

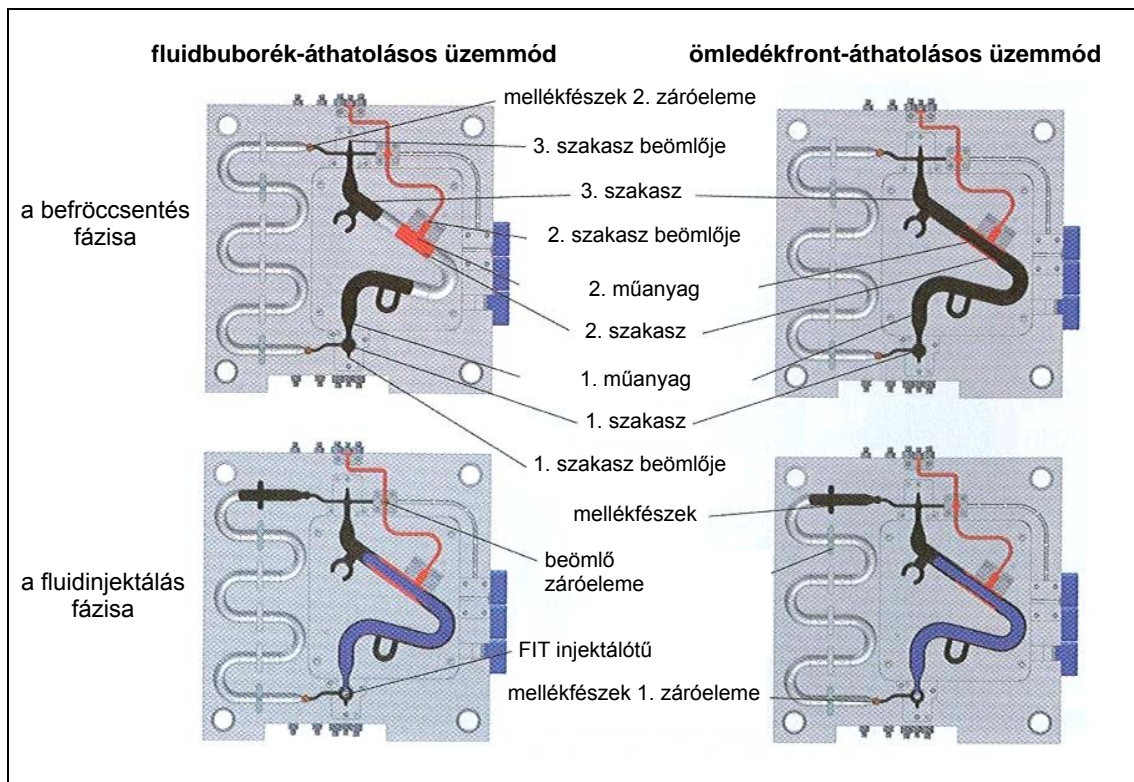
záróképessége, a gépkocsikban pedig fontos a rezgéscsillapító tulajdonság is. Ezeket a tulajdonságokat legtöbbször csak többféle műanyag társításával lehet megvalósítani.

A biinjektálásos FIT eljárásnak alapvetően két változata van. Ha különböző műanyagszakaszokból felépülő csövet akarnak gyártani, a *fluidbuborék-áthatolós módszer* (Fluidblasenweiterreichen) alkalmazzák. A fröccsszerszám cső alakú fészének elejére kevés 1. komponens fröccsentenek, külön beömlőrendszereken keresztül a fészek megfelelő részeibe pedig a 2., ill. az 1. komponensből egy-egy „ömladék-pogácsát” juttatnak be (feltéve, hogy a csődarab pl. két merev szakasz között egy rugalmas szakaszt tartalmaz). Az ömlékmenyiségeket úgy választják meg, hogy a „pogácsák” ne érintkezzenek egymással. A „fluidum” – általában víz – megindításakor az behatol az 1. komponens első adagjába, és azt továbbnyomja a 2. komponens „pogácsája” felé, majd behatol abba úgy, hogy bizonyos mélységig az 1. komponens is magával viszi. Ez a jelenség megismétlődik a 2. komponens és az 1. komponens második adagja között is. Amikor a „fluidum” eléri a fészek végét, nyomását az ömlék megdermedéséig tartják fenn, majd elvezetik, a kész darabot ezután kivesszük a szerzből. A termék falának vastagságát „maradék falvastagság”-nak nevezik.

Ha kétféle műanyagrétegből álló csőfal kialakítása a cél, az ún. *ömlékfront-áthatolós* (Schmelzefließfront) módszert alkalmazzák. Itt ugyancsak a szerszámfészek elejére fröccsentik be az 1. komponens, középre a 2. komponens. Injektálás után a „fluidum” benyomja az 1. komponens a 2. komponens ömlékébe, majd mindkettőt a fészek végéig. Így olyan cső jön létre, amelynek külső falát a 2. komponens, belső falát az 1. komponens alkotja.

A FIT eljáráshoz speciális szerszámra van szükség, amelyben helyet hagynak a „fluid” által kiszorított ömlék számára. Ez lehet egy üres tér az aktív fészekben, de gyakran alakítanak ki egy ún. mellékfészket, amely az injektálás megindulásakor kinyílik és befogadja a felesleges polimert.

Az aacheni **Műanyag-feldolgozó Intézetben (IKV)** egy 27 mm átmérőjű, két komponensből felépülő cső gyártásához készítették el az *1. ábrán* látható szerszámot. Az ábra bal oldalán látható a *fluidbuborék-áthatolós üzemmód* elve. Az 1. műanyag ömlékét fűtött csatornán keresztül vezetik be a cső alakú fészek két végébe, a 2. műanyagkomponens pedig egy függőleges plasztikáló egységből egy külön fűtött csatornán a fészek középre; az egyes adagokat időben egymáshoz képest kicsit késleltetve. Az előforma kialakulása után néhány másodperces késleltetéssel a cső alsó végén megindul a fluidum injektálása. Az injektor egy kívülről működtethető tű, amelyet az ömlék beáramlásakor visszahúznak, hogy ne zavarja az ömlék áramlását, injektálás előtt pedig beszűrik a polimerbe. A felesleges ömléket a mellékfészekbe engedik be. Az üregképződéskor az 1. komponens bizonyos mélységben behatol a 2. komponensbe, ezért az átmeneti tartományban kétrétegű fal alakul ki. Ugyanilyen átmeneti tartomány képződik a 2. és a 3. szakasz találkozásánál, ahol a 2. komponens hatol be az 1. komponensbe. A polimerek hőmérséklete az egymásba hatolás időpontjában még olvadáspontjuk közelében van, ezért – mint az a többkomponensű fröccsöntésből ismeretes – összeépülésük, tapadási szilárdságuk optimális.



1. ábra A biinjektálásos FIT eljáráshoz készített szerszám vázlata

A szerszámot úgy alakították ki, hogy az az *ömledékfront-áthatolós* üzemmódhoz is alkalmazható, amint az az 1. ábra jobb oldalán látható. Ez esetben első lépésként a fészek közepébe a 2. komponenst viszik be, majd alulról fröccsentik be az 1. komponenst, kis késleltetéssel pedig megkezdik a fluid injektálását.

A biinjektálásos FIT eljárások sikere nagymértékben függ attól, hogy *alkalmas anyagokat társítanak-e egymással*. A különböző műanyagokból felépülő szakaszos csövek csak akkor felelnek meg rendeltetésüknek, ha az átmeneti zónában a kétféle anyag tökéletesen összeépül, a két anyag jól összefér és nagy tapadási szilárdság alakul ki közöttük. Túl nagy mechanikai igénybevételkor sem következhet be a határfelületen szétválás, ilyenkor a gyengébb anyagnak kell szakadnia. Mindkét anyagnak alkalmasnak kell lennie a FIT eljáráshoz. A feldolgozó általában a többkomponensű fröccsöntésben jól használható műanyagok közül válogatnak, de a végső döntést minden esetben előkísérleteknek kell megelőznie.

A biinjektálásos eljárás mindkét változatában fontos szempont a két műanyagömledék egymáshoz viszonyított viszkozitása. Ezt $k_\eta = \eta_1/\eta_2$ hányadossal fejezik ki, ahol η_1 a másik polimerbe behatoló 1. komponens, η_2 a 2. komponens nyíróviszkozitása.

A komponensek viszkozitásának hatását egy olyan 20 mm átmérőjű, 300 mm hosszú háromszakaszos csövön vizsgálták fluidbuborék-áthatolós üzemmódban, ahol az 1. és 2. komponens két különböző viszkozitású PP volt. Ha $k_\eta < 1$, azaz az 1.

komponens viszkozitása kisebb a 2. komponensénél, az az első átmeneti zónában „elfogy”, mert a fluidbuborék a kisebb nyomáscsökkenés útját választja, azaz csak az 1. komponens elfogyása után lép be a nagyobb viszkozitású 2. komponensbe. Ennek következtében reprodukálható módon alakul ki az ömledéksorban a csőüreg. Ha $k_{\eta} > 1$, a behatoló magasabb viszkozitású komponens felhasználódása esetleges, az előretörő fluidbuborék bármely gyenge ponton átléphet a kisebb viszkozitású, tehát számára kisebb ellenállást jelentő 2. komponensbe úgy, hogy az 1. komponens egy része még nem használódott fel. Ezáltal bizonytalanra válik a cső felépítése. Ömledékfront-áthatolós üzeműben ugyancsak az 1. komponens viszkozitásának kell kisebbnek lennie.

Kérdés, hogy a biinjektálásos eljárásban „fluidum”-ként gázt vagy vizet érdeme-sebb-e alkalmazni. *A VIT eljárás előnye a GIT-hez képest, hogy a vízbuboréknak hűtő hatása van, rövidebb a hűtési ciklus.* Vízrel ezenkívül kisebb maradék falvastagság érhető el, ami anyagmegtakarítást eredményez. Ugyanis a víz több ömledéket képes kinyomni a mellékfészekbe.

A biinjektálásos eljárást 2009 júniusában a **Ferromatic Milacron** cég malterdingeni üzemében a gyakorlatban is bemutatták. A *K-Tec 200-F* típusú fröccs-gépen a többkomponensű fröccsöntés technológiáját a **TiK Technologie in Kunststoff GmbH** (Teningen) vízinjektálásos technológiájával társították. A berendezésen *fluidbuborék-áthatolós üzeműben PP-TPE-PP szakaszokból felépülő vezetékeket állítottak elő*, amelyeket 100 °C-ig lehet használni, és amelyeket „fehér” háztartási gépekbe szánják hideg és meleg víz szállítására. További céljuk a gépkocsikba építhető vezetékek gyártásának megoldása.

Próbálkozások a vízinjektálással segített fröccsöntés folyamat-ellenőrzésére

A hagyományos fröccsöntéssel készített formadarabok minőségbiztosítására különböző eljárásokat fejlesztettek ki, ezek azonban nem alkalmazhatók közvetlenül a fröccsöntés különleges változataihoz, pl. a vízzel segített fröccsöntéshez (VIT). Egyelőre még azt sem tisztázták, hogy mely folyamatparaméterek jellemzik egyértelműen a technológiai folyamatot, és milyen eszközökkel határozhatók meg ezek a paraméte-
rek.

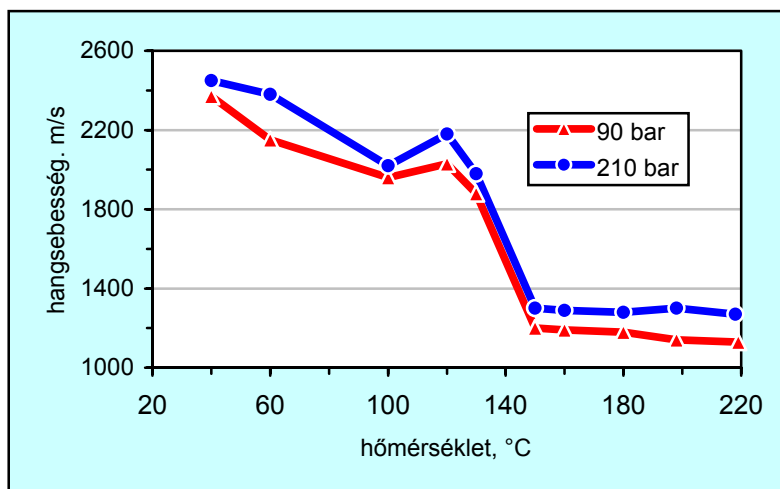
A gyártott darabok ellenőrzésére többféle lehetőség van. A mai ipari gyakorlatban legtöbbször a szűrőpróbaszerűen kiemelt darabok méreteit határozzák meg, néha pedig a feldarabolt gyártmányon végeznek vizsgálatokat. Ez az eljárás lassú és drága, roncsolásos vizsgálatokat pedig csak a darabok töredékén lehet végrehajtani. Léteznek roncsolásmentes vizsgálati eljárások is, pl. a röntgensugaras átvilágítás, de ezek is költségesek és magas színvonalú automatizálást igényelnek. További hátrányuk, hogy csak időben erősen késleltetve, off-line üzeműben alkalmazhatók, eredményeik nem használhatók fel a folyamat azonnali korrigálására. Ezért a fejlesztők azon dolgoznak, hogy a VIT folyamatát ellenőrző eszközöket állítsanak elő, amelyekkel megbízhatóan határozhatnák meg a gyártmányok minőségét on-line (azaz a fröccsciklus

időtartama alatt) vagy in-line (még a gyártási folyamatban, a következő fröccsciklus időtartama alatt). Az IKV-ban többféle módszert próbáltak ki erre a célra:

- ultrahangos ellenőrzést,
- a szerszám belső nyomásának és a kontakthőmérsékletnek a mérését,
- a fröccsszerszámba vezetett és onnan elvezetett víz nyomásának, hőmérsékletének és térfogatáramának mérését,
- a formadarabok felületi hőmérsékletének mérését IR-termográfiaival közvetlenül a darab kivétele után.

A darab maradék falvastagságának ellenőrzése ultrahanggal

A falvastagság ultrahangos mérésekor azt az időt mérik, amely alatt a hangimpulzus áthalad a falon (futamidő). Ebből az anyagra jellemző hangterjedési sebesség ismeretében kiszámítható a falvastagság. Ezt a mérési elvet évtizedek óta alkalmazzák extrudált és fúvóformázással gyártott darabok maradék falvastagságának meghatározására. A VIT technológiában azonban sokkal bonyolultabbak a viszonyok, mert a maradék falvastagság meghatározásakor a helyi hőmérséklet-eloszláson kívül a nyomást is figyelembe kell venni, ugyanis mindkettő befolyásolja az ultrahang sebességét a műanyagban. A fröccsszerszámon belül pedig az extrudált profiloktól eltérően a polimer igen nagy nyomás alatt van. A 2. ábrán jól látható, hogy hogyan változik a hangsebessége a polipropilénben a nyomás és a hőmérséklet függvényében.

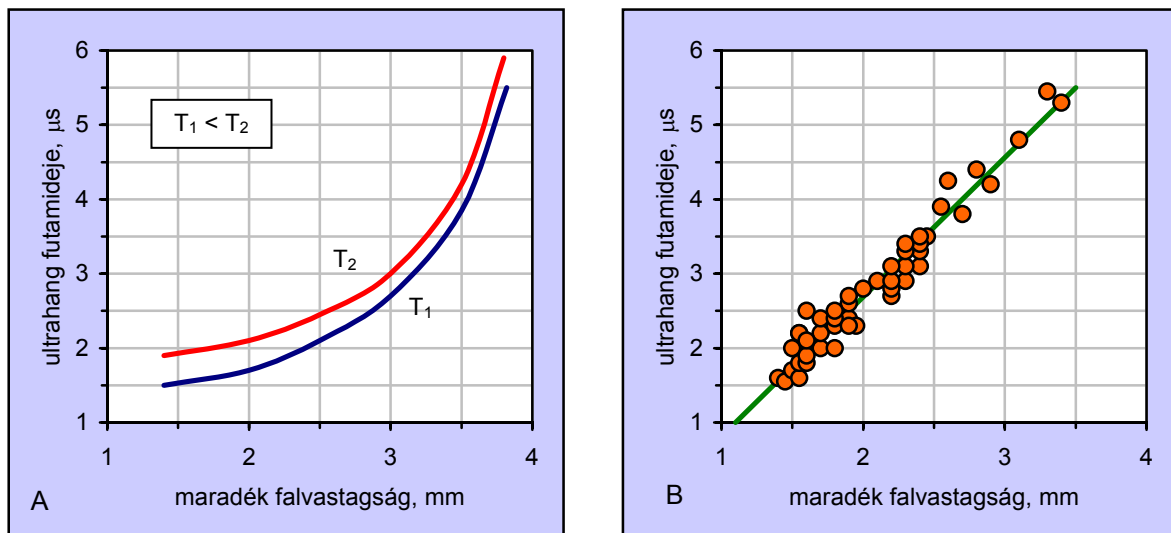


2. ábra
A hang terjedési sebessége PP-ben a hőmérséklet és a nyomás függvényében

Az ultrahang futamidejéből csak akkor lehetne a falvastagságot pontosan meghatározni, ha a nyomásfüggés mellett a falon belüli hőmérséklet-eloszlást is ismernék. Mivel az anyagra jellemző hangsebesség hőmérséklet- és nyomásfüggésének meghatározása rendkívül munkaigényes, megpróbálták más utat keresni.

A fröccsciklus egy meghatározott időpontjában, a nyomás alatti víz kieresztése előtt a formadarab maradék falvastagságát mindig ugyanabban a helyzetben mérték meg. Az ultrahangimpulzus futamideje ilyenkor arányos a falvastagsággal. Bár a hang-

sebesség a ciklus vége felé kevésbé függ a hőmérséklettől, két eltérően vastag falú darab mérésekor további hatások veszélyeztetik a mérés pontosságát. Ha nagyobb a falvastagság, azon hosszabb idő alatt hatol át az ultrahang, nagyobb a futamidő. A vastagabb falnak viszont magasabb a hőmérséklete, amelyben lassabban terjed a hang, ezért tovább nő a futamidő. A futamidő és a falvastagság között tehát egyértelmű az összefüggés, de az nem lineáris. A 3. ábra bal oldali képén az összefüggés elméleti ábrája látható két eltérő hőmérsékleten. Növekedő maradék falvastagsággal a futamidő aránytalanul megnő.



3. ábra Az ultrahang futamidejének és a maradék falvastagságnak az összefüggése a PP-ben.

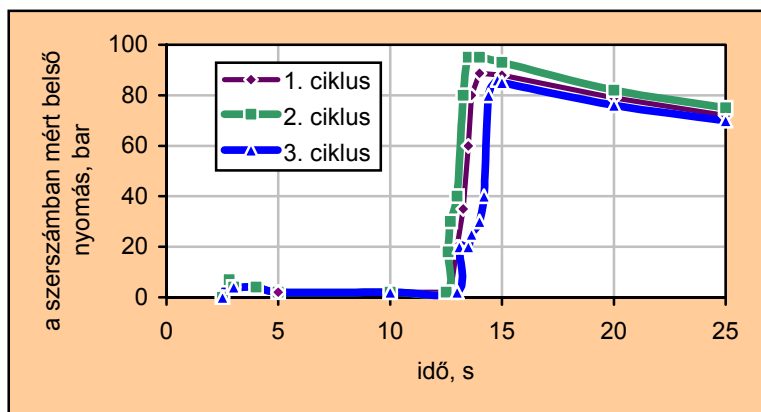
A kép: elméleti (sematikus) görbék; T_1, T_2 = hőmérséklet;
B kép: mért értékek regressziós egyenessel

Gyakorlati VIT kísérletekben *PA66GF30*-ból hűtőcsöveket gyártottak, amelyek falvastagságát a fúvóka közelében, a beömlés kezdeténél mérték. A 3. ábra jobb oldali képén láthatók a falvastagság és a futamidő összefüggésének kísérleti eredményei. A vizsgált tartományban egyértelműen megállapítható a lineárishez közelítő összefüggés. A vékony falú poliamidcső a vastagságméréskor feltehetően már teljesen kristályos szerkezetű volt, ami lényegesen mérsékelte a hangsebesség hőmérsékletfüggését.

Ultrahanggal a teljes fröccsiklus alatt folyamatosan mérhető a futamidő, és felrajzolható a teljes keresztmetszet hangcsillapítása. Ezáltal jól követhető a befroccsenített kezdeti ömledék nyomástól és hőmérséklettől függő megszilárdulási folyamata. Ezenkívül nagyon pontosan meghatározható az az időpont, amikor az ömledék vagy a beinjektált vízbuborék eléri a szenzort. Mindezek lehetővé teszik a VIT berendezés szabályozását ultrahangos ellenőrző berendezéssel, pl. anyag-visszanyomásos eljárás alkalmazásakor.

A folyamat ellenőrzése a nyomás, a hőmérséklet és a víz térfogatáramának mérésével

Hagyományos fröccsöntéskor a szerszám belső nyomásának lefutása megbízható információ a folyamat ellenőrzésére. A belső nyomás változását a fröccsciklus alatt VIT szerszámban is tanulmányozták. Egy ívelt fogantyú fröccsöntésekor mérték a nyomás változását a folyási út végén. Néhány jellegzetes nyomásgörbét a 4. ábra mutat. Az ömledék beáramlása 5 s alatt befejeződik, a szerszámban belül a nyomás visszaesik a környezeti nyomásra. A vizet a 13. s-ban injektálják be, az ömledék felfúvása kb. 1 s alatt következik be; a vizet a ciklus végéig nyomás alatt tartják. Az 1. ciklus nyomásgörbéje hibátlan, a ciklusban optimális termék képződik. A 2. ciklus görbéje enyhén eltolódik, az üregek képződés azonban rendben megtörténik. A 3. ciklus nyomásnövekedési szakaszában a görbe kétszer is irányt változtat. Ez dugulásra vagy többszörös üregek képződésre utal (mindkettő jellegzetes hiba a VIT technológia alkalmazásakor), ami selejtes terméket eredményez.



4. ábra
A szerszám belső nyomásának mérésére alapozott on-line folyamat-ellenőrzés. Példa egy rossz ciklusra

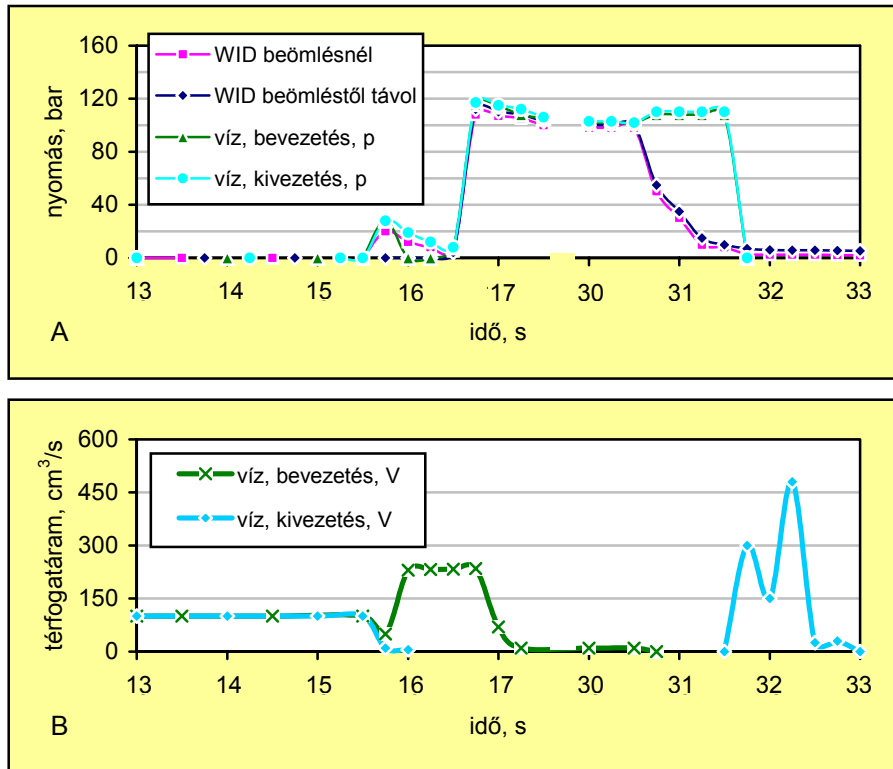
Ezeknek az előkísérleteknek a tapasztalatai alapján az IKV-ben egy hűtővíz vezetésére szolgáló cső fröccsöntéséhez készítettek szerszámot, amelyben a folyamatellenőrzés céljából nemcsak a szerszám belső nyomását mérték, hanem a vizet odavezető és elvezető csövekben a víz nyomását, hőmérsékletét és térfogatáramát is. A mért értékek a 5. ábrán láthatók.

A folyamat ellenőrzéséhez meghatározták az egyes görbék jellegzetes adatait, majd kijelölték a folyamat egy meghatározó pontját, ahol mérték a kiválasztott adatok változását. A kísérletek során szándékos hibákat vittek be a folyamatba, és mérték a kiválasztott adatokban bekövetkezett változások mértékét.

In-line folyamat-ellenőrzés IR-termográfiaival

A VIT technológiával előállított üreges testek különösen alkalmasak arra, hogy a szerszámból való kivétel után azonnal felvett IR termográfias hőterkép alapján felismerjék a termék falában lévő üregeket, zárványokat. A felületi hőmérséklet ugyanis függ a falvastagságtól. Az eljárás pontossága azonban jelenleg nem vetekedhet az ult-

rahangos mérésekével. Kísérleteket végeznek annak vizsgálatára, hogy statisztikai módszerek alkalmazásával növelhető-e a termográfias módszer megbízhatósága. Meg kell jegyezni, hogy technológiai okok miatt a hibátlan termékek felületi hőmérséklete is meglehetősen inhomogén hőmérséklet-eloszlást mutat.



5. ábra
A VIT fröccsöntés ciklusa alatt mért on-line adatok változása az idő függvényében.
A kép: a szerszám belsejében mért nyomás (WID), ill. a víz nyomása (p) a bevezetésnél és a kivezetésnél;
B kép: a vízáram térfogatárama (V) a bevezetésnél és a kivezetésnél.

Az új folyamat-ellenőrző módszerek nyilvános bemutatása

Az **IKV a Vittmann Battenfeld GmbH** júniusi nyílt napi rendezvényén, egy **Aquamould** vízinjektáló berendezéssel és a **Müller Technik** szerszámával felszerelt **HM 240/1000 S** típusú fröccsgépen mutatta be az ultrahangos vastagságmérésen, a szerszám belső nyomásának mérésén és a termográfias hőterkép felvételén alapuló in-line, ill. on-line folyamat-ellenőrzés lehetőségeit. A fröccsgépen üvegszálás poliamidból (PA6GF30) állítottak elő gépkocsik üléséhez beállítókengyeleket.

Összeállította: Pál Károlyné

Michaeli, W.; Neuß, A.: Sequenziell aufgebaute Medienleitungen = Kunststoff Berater, 53. k. 11. sz. 2008. p. 34–38.

Michaeli, W.; Grönlund, O.; Gründler, M.: VIT unter Kontrolle = Kunststoff Berater, 53. k. 10. sz. 2008. p. 62–65.