

## Precíziós fröccsöntés

Az elektromos meghajtású fröccsgépek gyártói gépeiket precíziós berendezésként pozicionálják. Kiállják-e az összehasonlítást más típusú gépekkel? A befröccsöntött adag egyenletességét több tényező befolyásolja, ezeket tárgyalja az alábbi cikk.

*Tárgyszavak: fröccsöntés; fröccsgép; reprodukálhatóság; szerszám; szoftver; csigakialakítás.*

### Mit jelent a fröccsöntési ciklusok reprodukálhatósága?

A fröccsöntési technológiával szemben alapvető követelmény, hogy a ciklusok reprodukálhatóan ismétlődjenek. A reprodukálhatóságnak ki kell terjednie:

- a darab tömegére,
- a homogén színre,
- a nagy tisztaságra,
- a termékek kiváló felületi és optikai tulajdonságaira.

A precizitás sok területen műszakilag is fontos, de nem elhanyagolhatók a gazdasági szempontok sem: a csökkenő selejtszám, a minőség-ellenőrzési költségek csökkentése és új alkalmazási területek meghódítása. A precíziós fröccsöntéshez jól kell kiválasztani a fröccsgépet és a meghajtás módját. Ilyen esetekben a szervoelektromos meghajtás számos előnyt kínál a hidraulikussal szemben:

- energiamegtakarítás (jobb hatásfok),
- a mozgás finom részletei igen jól reprodukálhatók,
- az erőátvitel kevésbé függ a hőmérséklettől.

Egy konkrét esetben, pl. az **Engel E-Motion** szervoelektromos fröccsgépénél az elmozdulás reprodukálhatósága az adagolás során  $\pm 0,02$  mm, a hidraulikus berendezés (*Engel Victory*)  $\pm 0,1$  mm volt. Hasonló eredményeket kaptak az utónyomás reprodukálhatóságának vizsgálatakor: ez  $\pm 0,5$  bar volt a szervoelektromos,  $\pm 3$  bar a hidraulikus meghajtású fröccsgépénél.

A gépgyártók ma már számos „teljesen elektromos” berendezést kínálnak, amelyek a legmodernebb meghajtási és vezérlési megoldásokat kombinálják. Annak is vannak azonban feltételei, hogy egy ilyen precíziós berendezéssel az üzemben jó reprodukálhatóságot érjenek el:

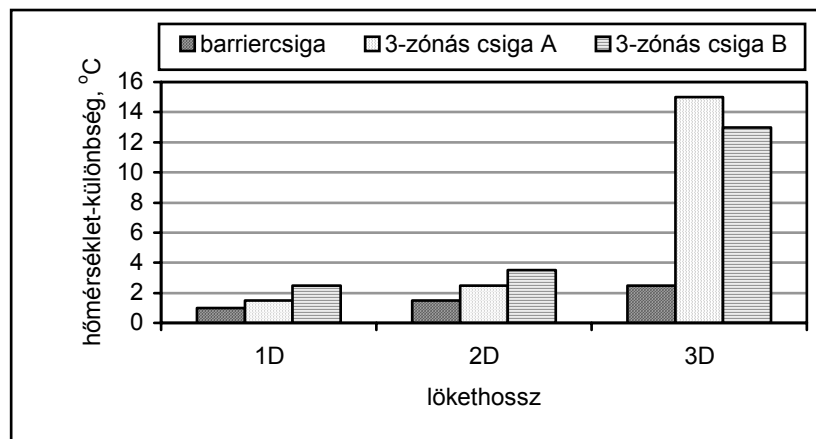
- a terméket a műanyag alapanyag és a gyártási folyamat jellemzőinek messze-menő figyelembevételével kell megtervezni,

- a szerszám termikus, reológiai és mechanikai jellemzőit megfelelően kell kialakítani,
- a felhasznált műanyag alapanyag különböző gyártási tételei között kis különbségek legyenek,
- megfelelő adalékanyagokat és színező mesterkeveréket használjanak.

## A zavaró tényezők felfedése és kiküszöbölése

A fröccsöntés az üzemben tulajdonképpen akkor kezdődik meg, ha egy új fröccs-szerszámnál már beállították az optimalizált működtetési feltételeket. Ez azt jelenti, hogy az adott beállítás mellett nem keletkezik selejt, és a termék minden műszaki paramétere a kívánt tartományon belül helyezkedik el. Ezen felül a beállított paraméterek minimális ciklusidő mellett minimális energiafelhasználást biztosítanak, lehetőleg úgy, hogy az egész rendszer ne legyen érzékeny a zavaró tényezőkre. A számos beállított és mért értéket csak számítógéppel lehet kezelni és kiértékelni. A gépvezérlő és beállító szoftverek ezeket az értékeket rendszerint grafikusán is ábrázolják, hogy áttekintésük könnyebb legyen.

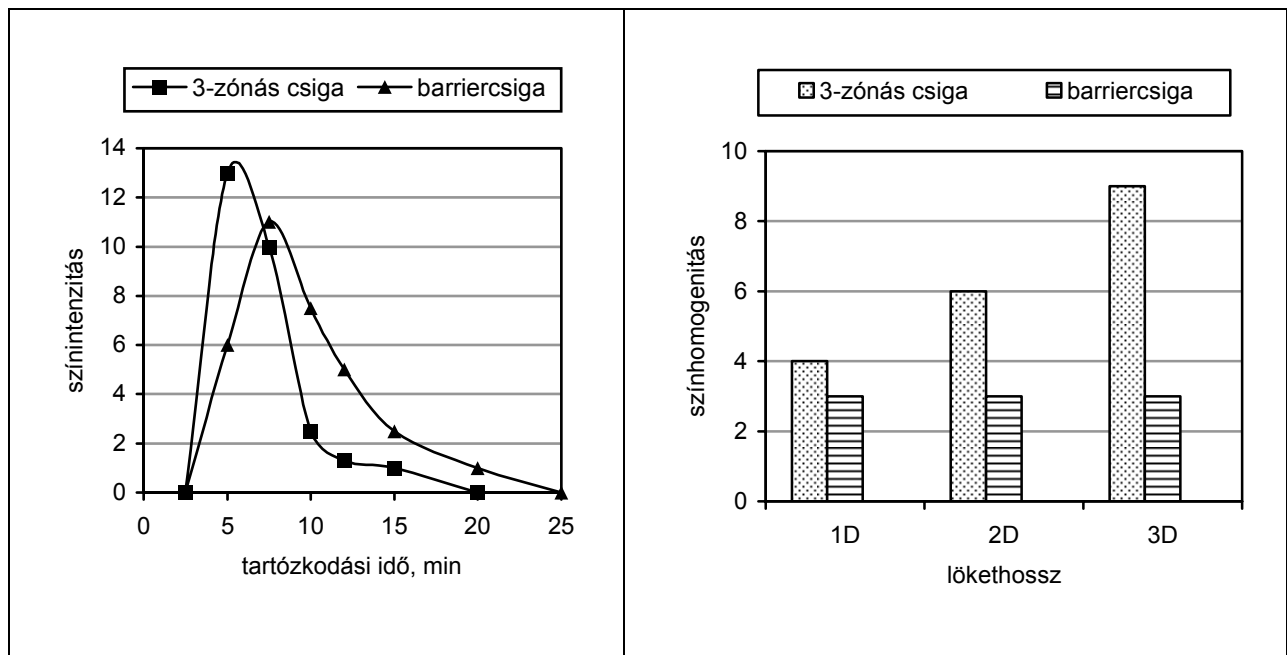
Ami az ömledéket illeti, kerülni kell annak degradációját a plasztikálás során, ugyanakkor a művelet során teljesen homogén ömledéket kell előállítani. Az Engel cég ezért korábban jó nevű intézetekkel megvizsgáltatta, hogy milyen nyíróerők és tartózkodási idők szükségesek és elégségesek a precíziós fröccsdarabok előállításához. Ezeket az ismereteket már felhasználták az újabb plasztikáló egységek tervezéséhez, de ma is segítenek a vevőknek az optimális fröccsegység és a legjobb feldolgozási körülmények kiválasztásában.



1. ábra Az ömledék termikus homogenitásának függése a csiga geometriájától és a lökethossztól (A lökethossz a  $D =$  csigaátmérőhöz van viszonyítva)

Nézzünk meg néhány példát. Egy 30 g/10 min folyásindexű PP ömledék fröccsöntésekor különböző csigageometriák (de azonos ciklusidő) mellett infravörös hőmé-

rővel mérték az ömledék hőmérsékletét a lökethossz függvényében (1. ábra). Látható, hogy kb. 2D lökethosszig viszonylag kicsi a hőmérséklet-eltérés, akár háromzónás, akár barriercsigát használnak, 3D lökethossznál azonban már jelentős eltérések adódnak, és a legkisebb hőmérséklet-eltérés a barriercsiganál mutatkozik (2,5 °C a 14 °C-kal szemben). A barriercsiga nem csak a hőmérséklet, hanem az anyag homogenitása (pl. pigment bekeverése) szempontjából is kedvező. A tartózkodási idő eloszlását és a homogenitás mértékét szintelen alapanyag és színező mesterkeverék kombinációjával mérték meg, és hasonló eredményre jutottak, mint a hőmérséklet-eloszlás vizsgálatakor (2. ábra). A barriercsiganál még 2D lökethossznál sem lép fel komolyabb inhomogenitás. 2D lökethosszig a 3 zónás csiga előnye a szűkebb tartózkodási időeloszlás miatt a gyorsabb színezékebekeverés.



2. ábra A tartózkodási idő és a színintenzitás, ill. a lökethossz és a színhomogenitás összefüggése különböző csigakonstrukciónál.

A színhomogenitást pásztázó színmérővel mérték és a jel arányos a színeltéréssel.

A függőleges tengely értékei csak a különbségek összehasonlítására szolgálnak, nem valós értékek

## Az ömledék-hőmérséklet és áramlási viszonyai

Az adag egyenletességét a csiga tengely menti hőmérséklet-eloszlása és a súrlódási viszonyok befolyásolják. Eddig azonban nem nagyon vizsgálták a csiga aktuális hőmérsékletét vagy annak eloszlását a feldolgozás során. Az Engel cég kifejlesztett egy hosszú, lándzsaszerű eszközt, amelyben több hőmérséklet-érzékelő is van, amivel mérni lehet a csiga hőmérsékletét. Erre az információra többek között a csigageometria

optimalizálásához és a csigaanyag megfelelő kiválasztásához van szükség. A mérőeszközt a csigába készített furatban helyezik el, amely a PVC-csigák hűtőfurataihoz hasonló, és így mérni tudják a plasztikálás során a hőmérsékletet mind az idő, mind a hely függvényében. Így hozzá lehet jutni olyan adatokhoz, hogy

- mennyi idő alatt alakulnak ki stabil hőmérséklet-viszonyok a csiga környezetében,
- mennyire melegszik fel a csiga, ha megszakad a termelési folyamat,
- előfordulhat-e, hogy a túl magas csigahőmérséklet miatt a behúzó zónában a granulátumok túl hamar feltapadnak, és így megakadályozzák a reprodukálható adagolást,
- milyen hatással van a hornyolt fröccshenger a nyíró igénybevételből adódó melegedésre.

Egy PP ömledék fröccsöntésénél (60 mm átmérőjű háromzónás csiga) pl. meghatározták, hogy az első 20 ciklus során a csiga menti hőmérséklet-eloszlás folyamatosan változik, a behúzó és a kompressziós zónában a hőmérséklet akár 100 °C-kal is csökkenhet a ciklusszám előrehaladtával, amíg beáll a stacioner üzem. Ez azt jelenti, hogy az első néhány ciklusban a túl magas csigahőmérséklet miatt nem lehetséges még a precíziós fröccsöntéshez szükséges pontos adagolás.

Fontos azt is tudni, hogy a *visszáramlást gátló szelep* milyen reprodukálhatóan működik. Ezt egy nyomásérzékelővel lehet megmérni. Ahogy a zárógyűrű kopik, a zárás csak egyre nagyobb nyomások esetén következik be. Ha a zárógyűrű mögé nyomásérzékelőt helyeznek el, a gyűrű öregedése nyomon követhető, és az elkopott alkatrészt idejében ki lehet cserélni. Sajnos optimális visszáramlást gátló konstrukció nincs, csak különböző kompromisszumok érhetők el a záróképesség, az öntisztítás és a kopás között. Az Engel cég évtizedek tapasztalatát építette be saját visszáramlást gátló rendszereibe annak érdekében, hogy azok a másodperc századrésze alatt mindig ugyanarra a nyomásszintre álljanak vissza.

## A szerszámok szerepe

A feldolgozó gép mellett nagyon fontos a szerszámok megfelelő kialakítása is. Különösen nagy gondot kell fordítani a többfészkes szerszámok megfelelő konstrukciójára. Bonyolultabb alakú, többfészkes szerszámoknál nagyon sokféle paraméter reprodukálhatóságát kell vizsgálni, ha precíziós fröccsterméket akarnak előállítani. Megvizsgáltak egy hidegcsatornás elosztóval ellátott négyfészkes, alagút-beömléses szerszámot, amelyben egy fűnyíró meglehetősen bonyolult alkatrészeit állították elő, és a kiválasztott paraméterek reprodukálhatóságát jellemezték statisztikai módszerekkel. A vizsgált paraméterek között szerepelt a tömeg és számos geometriai adat. Annak ellenére, hogy a méretek minden esetben a tűréshatáron belül maradtak és hogy a jellemző szórások szélessége is hasonló volt, *a négy szerszámüreg jól érzékelhetően eltérő viselkedést mutatott*. Ezt okozhatja a szerszám nem megfelelő kiegyensúlyozása, az üregek eltérő tömege, a beömlőnyílások apróbb eltérései vagy a hőmérséklet-különbségek. Tekintettel arra, hogy a vizsgálatokhoz használt fröccsgépnél (Engel E-Motion

55, záróerő 550 kN) a befröccsöntési idő század másodpercen belül változott, ezért jobb tömeg- és méretreprodukálhatóságot vártak a négyfészkes szerszámtól. Az eredmények azt bizonyították, hogy a *reprodukálható termeléshez nem elegendő a fröccsgép paramétereinek állandóságát biztosítani*. Felmerül a kérdés, hogy az adott szerszámnál mennyivel romlott volna a reprodukálhatóság, ha a fröccsgép paramétereik között nagyobb a kilengés?

## **A folyamatparaméterek változásának automatikus felismerése**

A precíziós fröccsöntés fejlődésének egyik kulcsát a jó *szenzorok* jelentik. Az egyedi fröccsüregekben elhelyezett nyomásérzékelők a kisebb eltéréseket regisztrálják, és ezzel az apró hőmérők alkalmasak pl. az ömledékfront helyzetének követésére, a feltöltöttség mértéke milliszekundumos felbontással észlelhető, és ennek megfelelően be lehet avatkozni a folyamatba kaszkádszabályozással és a forrócsatornás beömlés szabályozásával. A sokfészkes szerszámoknál a termékek méretellenőrzését számítógéppel összekapcsolt kamerák végzik.

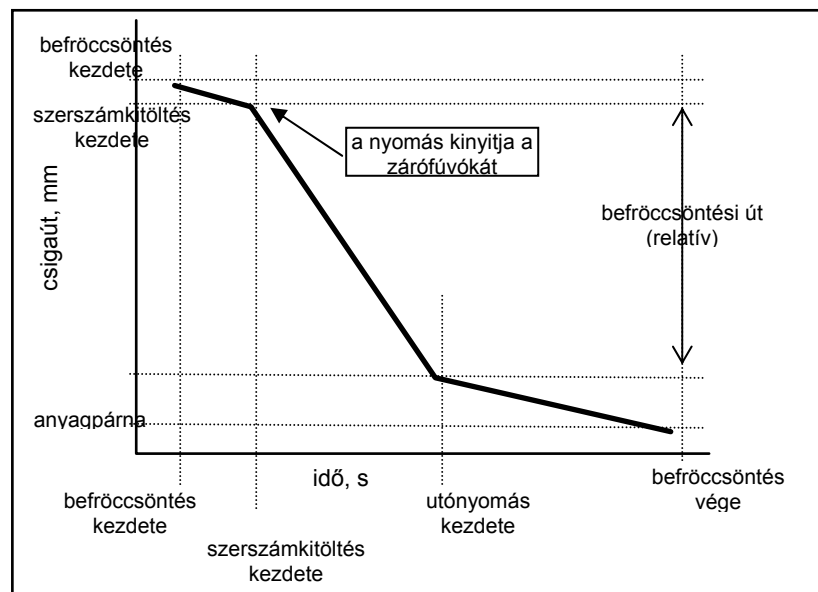
Az Engel még ennél is továbbment egy lépéssel. A felhasználók mostanában próbálnak ki egy olyan új szoftvert, amely tűrésadatokat és beállításokat nélkül is jelzi a gép működésének megváltozását. Ehhez bonyolult folyamatmodelleket használnak, amelyek a hiba valószínű okát is megadják. A folyamat akkor számít stabilnak, ha a számított „stabilitási tényező” 0,7 fölött van. Kimutathatók a leállások utáni ingadozások, vagy pl. ha a hűtővíz kimarad. A szoftvert a már működő gépekhez is hozzá lehet kapcsolni, de a későbbi berendezések vezérlőprogramjának integráns része lesz.

## **Az ingadozások kiküszöbölése**

A reprodukálható befröccsöntött anyagmennyiség és a kis méreteltérés biztosítása főképpen a kis és közepes tömegű orvosi, elektronikai, elektromos és telekommunikációs termékek gyártásánál fontos. Az adagolás állandósága növekszik, ha a csiga átmérője csökken, aminek persze mindenképpen határt szab a csiga anyagaként használt acélok szilárdsága. Próbálkoztak azzal is, hogy a befröccsöntéshez egy külön, kisebb átmérőjű csigát alkalmazzanak, amelyet egy nagyobb plasztikáló csiga tol be az ömledékbe, de ez a megoldás nem kívánatos szivárgásokat eredményezett. A hőre érzékenyebb anyagoknál (pl. PC, POM) részleges bomlás következhet be, égésgátolt anyagoknál pedig korróziós jelenségek léphetnek fel.

A **Ferromatik Milacron** cég *Elektraevolution* nevű teljesen elektromos fröccsgépsorozata működéséből eredően is meglehetősen pontos, pl. egy 14 mm löketű csigával olyan pontos adagolás valósítható meg, mint egy 7 mm löketű dugattyús hidraulikus gép esetében. Ha a plasztikáló egység megfelelően van kialakítva, a hosszabb tartózkodási időre érzékeny anyagok is problémamentesen fröccsönthetők. Annak érdekében, hogy nagyobb fröccstérfogatokkal és nagyobb csigaátmérőkkel is hasonlóan megbízható eredmények szülessenek, a Milacron egy új szoftvert (High Precision

Molding) fejlesztett ki, külön a precíziós fröccsöntés támogatására. Ezzel a visszaáramlást gátló szelep zárásának változását, esetleges kopását veszik figyelembe, hogy az adagolt mennyiség mindig ugyanaz maradjon. A fix pont a visszaáramlást gátló szelep lezárása, és ehhez igazítják a fröccsegység zárószelepének vagy a forrócsatorna szelepének működését. A befröccsöntés kezdetekor a csigacsúcs előtt megnő a nyomás, amelyet a teljesen elektromos fröccsgépekben nyomásérzékelővel mérnek. Amikor a visszaáramlást gátló szelep biztosan lezár, a nyomás jelentősen megnő. Ha a nyomás meghalad egy előre beállított értéket, a szoftver a szerszámkitöltés útját mint relatív utat átszámolja, a záródúzni kinyílik, amivel a befröccsöntést megfelelően szabályozni lehet. A 3. ábrán látható, hogy habár a szerszámkitöltés kezdete változhat, a relatív befröccsöntési út és ezzel együtt a valódi befröccsöntött adag állandó marad.

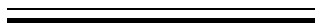


3. ábra A befröccsöntött adag állandóságának biztosítása High Precision Molding szoftverrel

Összeállította: Dr. Bánhegyi György  
[www.polygon-consulting.ini.hu](http://www.polygon-consulting.ini.hu)

Steinbichler, G.; Wobbe, H.: Ein Schuss wie der andere? = Kunststoffe, 96. k. 9. sz. 2006. p. 129–135.

Dassow J.: Schwankung ausgeschlossen. = Plastverarbeiter, 57. k. 11.sz. 2006. p. 66–67.



### *Egyéb irodalom*

Wege zur verkürzter Zykluszeit. (A ciklusidő rövidítésének módszerei.) = K-Berater, 2006. 4. sz. p. 11–12.

Radig, G.: Werkzeugsensoren bieten höhere Process-Sicherheit. (A szerszámban elhelyezett érzékelők növelik a fröccsöntés biztonságát.) = K-Berater, 2006. 5. sz. p. 27–29.

Energiesparendes Spritzgiessen. (Energiatakarékos fröccsöntés.) = K-Berater, 2006. 5. sz. p. 19.