

Tudunk-e már mindent a fröccsöntésről?

Vannak fröccsöntők, akik úgy gondolják, az ő feladatuk a formaadás, az anyagi tulajdonságokért az anyaggyártók felelnek. Más feldolgozók nem sajnálják a pénzt a precíziós gépekre és a folyamatszabályozásra, de elhanyagolják a szerszámtemperálást. Jó, ha tudják, hogy az ömledék hőmérséklete és a szerszám hőszabályozása erősen befolyásolja a termék mechanikai tulajdonságait.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; fröccsöntés; ömledék-hőmérséklet; szerszámtemperálás; hőálló poliamid.

Néhány észrevétel az ömledék-hőmérsékletről és a szerszámhőmérsékletről

Egy független amerikai tanácsadó cég 35 éve nyújt világszerte segítséget a műanyag-feldolgozóknak a megfelelő anyag kiválasztásában, a feldolgozási folyamat optimalizálásában, a hibaelemzésben és -elhárításban. Munkatársainak az a tapasztalata, hogy *a fröccsöntő üzemekben nem tudják, hogy milyen erősen hatnak a feldolgozás paraméterei a kész darab tulajdonságaira*. Abban a hitben élnek, hogy a kiválasztott anyag adatlapban megadott tulajdonságai jelennek meg a termékben függetlenül attól, hogy milyen körülmények között adtak formát annak. Úgy gondolják, hogy a feldolgozó feladata mindössze az, hogy megömlessze a műanyagot, áthajtsa azt a gépen, a szerszám formáját felvett ömledéket pedig ismét megszilárdítsa. Ha a darab esztétikailag kifogástalan és méretei is megfelelőek, a fröccsöntő üzem megtette a dolgát. A darab egyéb tulajdonságaiért az anyaggyártó felel.

A feldolgozás sajnos nem ilyen egyszerű, a fröccsöntés körülményei nagyon is meghatározzák a késztermék tulajdonságait, függetlenül annak formájától. A feldolgozási paraméterek közül különösen kettő, *az ömledék-hőmérséklet és a szerszámhőmérséklet befolyásolja a polimer viselkedését a feldolgozás folyamatában*.

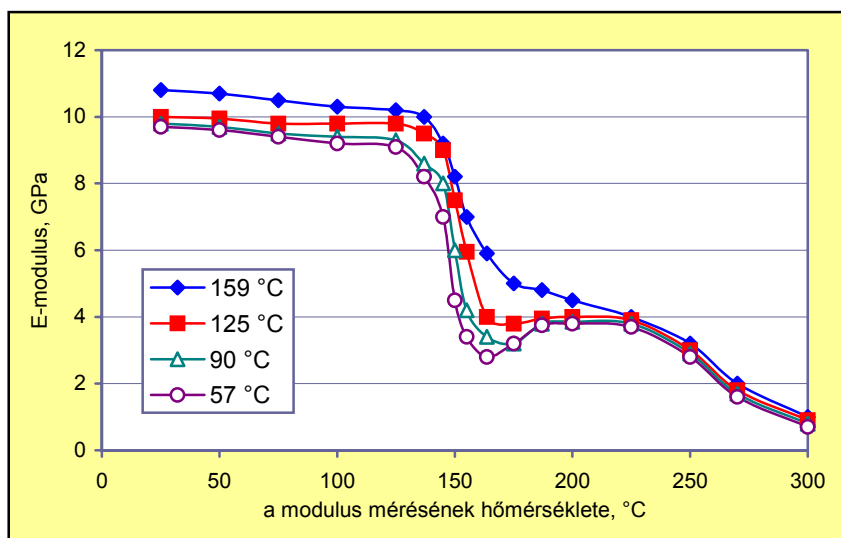
Nagyon fontos, hogy megfelelően megkülönböztessék ezt a két feldolgozási paramétert és, hogy kiválasszák azt a két hőmérsékletértéket, amelyet szabályozással fenn kívánnak tartani. *Ömledék-hőmérséklet a megolvadt polimernek az az aktuális hőmérséklete, amellyel a fészek nyílásán keresztül belép a szerszámba*. A hengerben mért hőmérséklet csak egy eszköz arra, hogy biztosítsák a beömlésnél az ömledék megfelelő hőmérsékletét, de a feldolgozási folyamat szempontjából nem tekinthető ömledék-hőmérsékletnek!

Az ömledék aktuális hőmérséklete függ a feldolgozás alatt a polimerre ható mechanikai terheléstől, a tartózkodási időtől, a csiga formájától, a henger fűtésétől. Ha-

sonlóképpen a szerszámmagok és a szerszámfal felületének hőmérséklete függ a beáramló ömledék hőmérsékletétől, de nem feltétlenül azonos azzal.

Miért kell e két érték között különbséget tenni, és hogyan hatnak ezek a polimerre? Azt mindenki tudja, hogy az ömledék-hőmérséklet meghatározza az ömledék viszkozitását; azt kevésbé, hogy befolyásolja a kész darabban a polimer molekulatömegét is. Ha pl. polipropilénből 204 °C-os ömledék-hőmérséklettel fröccsöntenek egy darabot, abban a polimer átlagos molekulatömege jóval nagyobb, mintha 249 °C-os ömledéket fröccsöntenek a szerszámba. A kisebb ömledék-hőmérséklettel készített darab ütésállósága is nagyobb, egyúttal kevesebb energiát vesz fel és rövidebb ciklusidővel gyártható.

A szerszámhőmérséklet hatása nem ennyire látványos, de ugyancsak fontos. Amorf polimerek (pl. ABS, polikarbonát) fröccsöntésekor a magasabb szerszámhőmérséklet kisebb befagyott belső feszültséget, nagyobb ütésállóságot, kisebb feszültségrepedési hajlamot, dinamikus terhelés (fárasztás) ellen hosszabb ideig tartó ellenállást eredményez. A részlegesen kristályos polimerek kristályossági fokában döntő szerepe van a szerszámhőmérsékletnek. Ez pedig számos tulajdonságot (ellenállás a kúszásnak, kopásnak, fárasztásnak; mérettartás magasabb hőmérsékleten) befolyásol. A kristályosodás az olvadáspont alatti és az üvegesedési hőmérséklet (T_g) közötti hőmérséklet-tartományban következik be.



1. ábra
A szerszámhőmérséklet (lásd a keretben) hatása a PPA hőmérséklet függvényében mért rugalmassági modulusára

Részlegesen kristályos műanyagok fröccsöntésekor az ideális szerszámhőmérséklet a T_g -érték felett van, hogy időt hagyjanak a polimernek a kristályosodásra. Az 1. ábra egy hőálló poliamid (PPA) rugalmassági modulusát mutatja ideális és annál alacsonyabb szerszámhőmérséklet alkalmazásakor. Látható, hogy magasabb hőmérsékletű szerszámban merevebb terméket lehet kapni; a túl gyors hűtés csökkenti a kristályosságot, ezzel együtt a merevséget is. Még nagyobb a különbség, ha a modulus hőmérsékletfüggését vizsgálják. A 130–140 °C-os üvegesedési hőmérséklet-tartományban a modulus meredeken csökken, annál meredekebben, minél alacsonyabb

hőmérsékletű volt a szerszám a befröccsentéskor. A kész darab ezen tulajdonsága kizárólag a feldolgozón múlik.

Amorf ABS fröccsöntésekor az ütésállóság a szerszám és az ömledék hőmérsékletének kölcsönhatásától függ. Egy kísérletben a szerszámhőmérsékletet 29–85 °C, az ömledék-hőmérsékletet 218–271 °C között változtatták. A próbatestek dárdás ütőszilárdsága kizárólag ennek a két paraméternek a változtatása következtében <2 és 50 Nm között változott. A legjobb eredményeket akkor kapták, ha magas szerszámhőmérséklettel és alacsony ömledék-hőmérséklettel dolgoztak.

Általában azt lehet tanácsolni, hogy a szerszám inkább magasabb, az ömledék inkább alacsonyabb hőmérsékletű legyen. A fröccsöntő műhelyekben gyakran ennek ellenkezőjét tapasztalják. Az ömledék sok helyen az optimálisnál melegebb, mert ezzel ugyan több energiát használnak fel, de ez az egyetlen rendelkezésre álló eszköz a viszkozitás csökkentésére. A túlhevítés degradációt okoz, és hosszabb hűtési idővel lehet csak stabil méretű formadarabot gyártani. A gyorsabb hűtés érdekében ezért a feldolgozók a szerszámot tartják alacsony hőmérsékleten, így növelik a termelékenységet. Magukat csapják be; ugyanis alacsonyabb ömledék-hőmérséklettel és magasabb szerszámhőmérséklettel ugyanolyan vagy rövidebb ciklusidőt érhetnének el, a termékek mechanikai tulajdonságai viszont jobbak lennének. Ha a feldolgozók alaposan megismerik a polimerek viselkedését, nagyon különböző módon optimalizálhatják feldolgozási eljárásaikat, ami által költséget takaríthatnak meg és egyúttal javíthatják termékek minőségét.

Az elhanyagolt szerszámtemperálás

A korszerű gépek sokféle érzékelővel vannak felszerelve, ezek sok adatot szolgáltatnak és dokumentálnak, ami hozzájárul ahhoz, hogy hosszú időn keresztül pontosan ismétlődő ciklusokban reprodukálható terméket gyártsanak. Különös módon a szerszámtemperálásról alig kapnak információt, pedig *egy felmérés szerint a temperálás hibái okozzák a selejt 24%-át.* Ez elkerülhető, ha minden egyes temperálókörben méri az átáramló közeg mennyiségét (pontosabban térfogatáramát), továbbá a közeg hőmérsékletét a szerszámba belépés előtt és a kifolyás után. Ehhez a gyakran beépített lebegőtestes áramlásszabályozó nem elegendő. Az **Engel Austria GmbH**-nál ezért kifejlesztettek egy fröccsgépek vezérlőrendszerével összekapcsolható, elektronikus szabályzású közegelosztó rendszert, az *Engel Flow Monitoring* – röviden *flomo* – rendszert, amellyel bonyolult szerszámokat is optimálisan lehet temperálni.

Korszerű elosztórendszer – nagyobb folyamatbiztonság

Ha a szerszám több temperálókörén azonos hőmérsékletű vizet vagy olajat kell átáramoltatni, legkésőbb a szerszám felszerelésekor el kell dönteni, hogy a köröket sorosan vagy párhuzamosan kössék-e be. Párhuzamos bekötéssel általában nagyobb a szerszámon átáramló közeg teljes térfogatárama, és a rövidebb csatornaszakaszok miatt kisebb a beáramló és a kiáramló közeg hőmérséklete közötti különbség, ami jót tesz

a termék minőségének, pl. kisebb a vetemedés kockázata. A párhuzamos bekötés azonban nem jelenti azt, hogy a temperálócsatornákon feltétlenül azonosak a térfogatáramok, egy-egy csatornában fellelhetnek olyan szűkületek, amelyeket a gépkezelő nem vesz észre.

Az Engel *flomo* áramelosztó beépítésével (ha van elég hely, akár a szerszám közvetlen közelébe) ez a kockázat megszűnik. A berendezés érzékeli a térfogatáramlást, a hőmérsékleteket és a nyomásokat. Az adatok a gép vezérlőrendszerén keresztül láthatóvá, felügyelhetővé és dokumentálhatóvá válnak.

A korszerű vízelosztó rendszer drágább ugyan, mint az említett lebegőtestes áramlásszabályozó, előnyei miatt azonban gyorsan amortizálódik. Az Engel egyik ügyfele a legjobb példa erre. Az autóiipari beszállító cég poliamidelemeket gyárt két-komponensű fröccsöntéssel. Korábban itt is lebegőtestes áramlásszabályozót használtak. A gyártás folyamán a temperálórendszer egyik vezetékének gyorskapcsolójánál szennyeződés halmozódott fel és elzárta a hűtőközeg útját, amit senki nem észlelt. A szerszámból kivett darabok hibátlannak tűntek, de az autógyártásnál mérethibásnak bizonyultak, ezért az egész tételt megreklamálták. Hosszú hibaelemzés után fedezték fel, hogy az elzáródott hűtővezeték miatt a kész darabokban utózsugorodás lépett fel. A kár 30 ezer EUR volt. Az érintett cég azóta az Engel *flomo temperálóberendezése* oltalmában dolgozik.

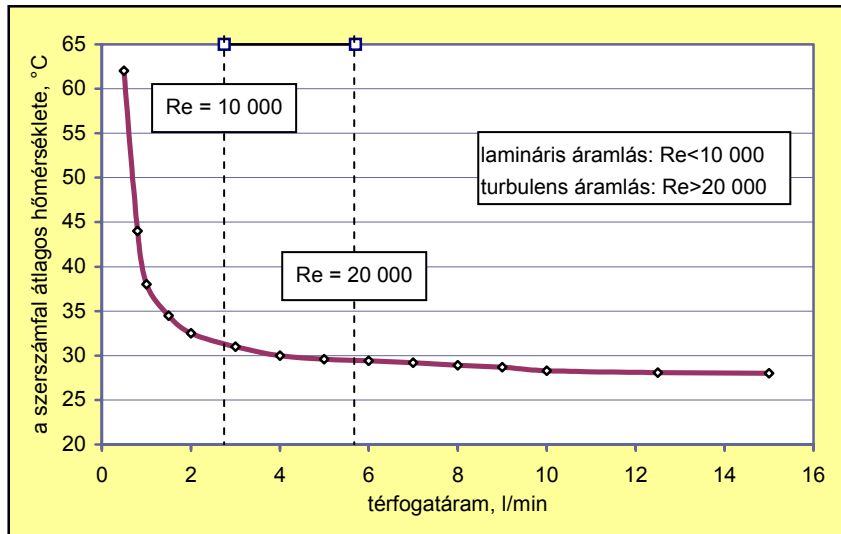
Optimális térfogatáramlás beállítása

A fröccsszerszám hőháztartását erősen befolyásolják az egyes temperálókörök térfogatáramai. Minél nagyobb a térfogatáramlás, annál jobb a hőcserélődés a szerszám és a temperáló közeg között, és annál kisebb a különbség a belépő és kilépő közeg hőmérséklete között. A feldolgozók ezért legtöbbször valamennyi hűtőkör csapját teljesen nyitva tartják. Hogy az átáramló közeg így is túl kevés, túl sok vagy éppen elegendő, azt senki nem tudja.

Az Engel cégnél számos szimulációval és kísérlettel vizsgálták *a minimálisan szükséges térfogatáramlást, amely lényegében két tényezőtől függ: a szerszámba belépő és abból kilépő víz hőmérséklet-emelkedésétől és a Reynold-számtól.* [A Reynold-szám (Re) az áramló anyagban fellépő tehetetlenségi erők és a belső súrlódási erők hányadosa; a csőben mozgó anyagok kinematikai viselkedésének jellemzője.] Szokásos fröccsöntéskor a belépő és kilépő víz hőmérséklet-különbsége legfeljebb 3–5 K, precíziós fröccsöntéskor 1–3 K lehet. Hogy valójában hogyan hat a hűtővíz hőmérséklet-emelkedése a formadarab termikus homogenitására a hűtés alatt, szimulációval ellenőrizhető. A Reynold-szám azt jelzi, hogy az áramlás lamináris (Re<10 000) vagy turbulens (Re>20 000). A két érték között az áramlás fokozatosan válik turbulenssé, és elsősorban a térfogatáramlástól függ.

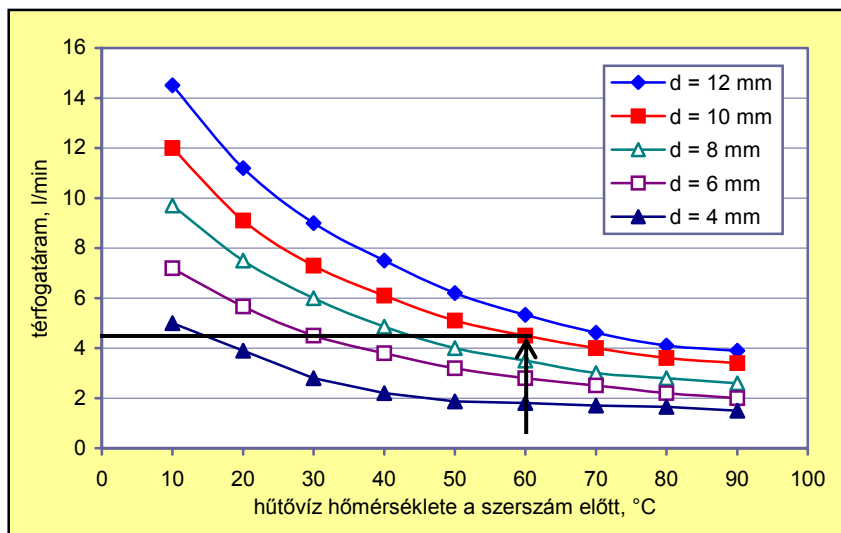
A szerszámfal hőmérséklete és a térfogatáramlás közötti összefüggést a 2. ábra mutatja. Kis térfogatáramlás (lamináris áramlás) mellett kicsi, ezért gazdaságtalan a hőcserélődés, a szerszámfal hőmérséklete pedig nagyon érzékeny az áramlás ingadozásaira. Ezért *érdemes az áramlást úgy beállítani, hogy a Reynold-szám elérje a*

20 000 értéket. Látható, hogy innen kezdve a szerszámhőmérséklet már alig érzékeny az áramlás változásaira.



2. ábra
A szerszámfal-hőmérséklet és a térfogatáramlás összefüggése (hűtővíz hőmérséklete 20 °C)

A Reynold-szám nagysága függ a térfogatáramlástól, a temperálófurat átmérőjétől és a viszkozitástól (amely ugyancsak hőmérsékletfüggő). Hogy milyen térfogatáramlás mellett érhető el az $Re = 20\,000$ érték, a 3. ábra korábban felvett görbéiről olvasható le. Eszerint egy 60 °C-os hűtőközeg egy 10 mm átmérőjű hűtőcsatornában 4,5 l/min térfogatáramlás mellett éri el az optimális értéket, amelyet az ábrán nyíl jelez.



3. ábra
Az optimális Re (20 000) eléréséhez szükséges térfogatáram kijelölése a hűtővíz szerszám előtti hőmérséklete és a temperáló csatorna átmérője (d) alapján

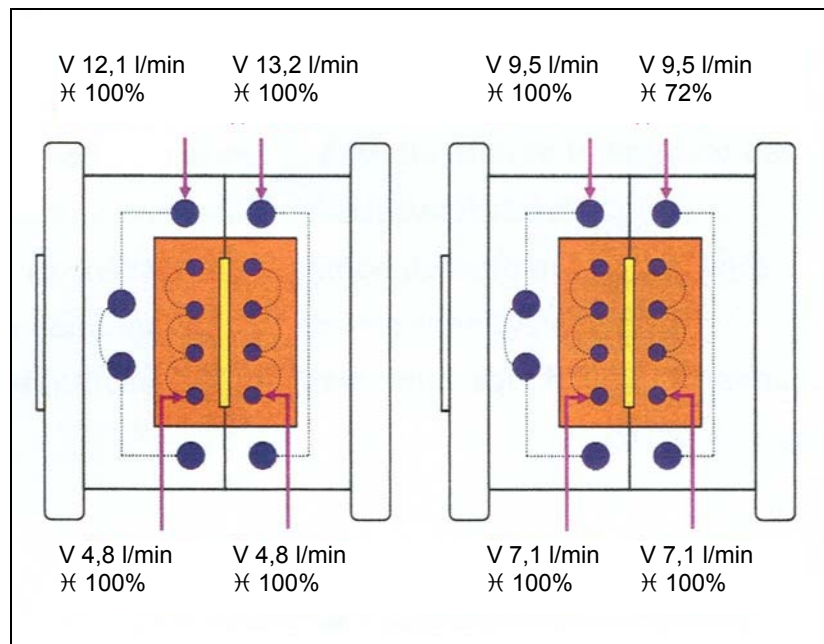
A hidraulikus csatlakozásokra is oda kell figyelni

A szükséges mennyiségű hűtőközeg néha el sem jut a szerszámig, mert pl. a szivattyú teljesítménye kicsi ehhez. Ezen a hidraulikus összekötő vezetékek optimalizálásá-

val lehet javítani. Számos fröccsöntő üzemben túl hosszú, túl szűk átmérőjű vezetékeket használnak, amelyekben emellett nyomást csökkentő gyorscsatlakozók is vannak. Az ilyen gyorscsatlakozók (kupplungok) nagyon jelentős nyomáscsökkenést okozhatnak. Vannak köztük nyitott, egyik oldalukon vagy mindkét oldalukon lezárható típusok. A 13-as névleges méretű (szabad belső átmérőjű), egyik oldalukon zárható csatlakozók 2,5-ször, a mindkét oldalukon lezárhatóak 6-szor nagyobb nyomáscsökkenést okoznak, mint nyitott változatuk. Ezért lezárható gyorscsatlakozókat a temperáló rendszerben nem célszerű alkalmazni, vagy ha mégis, nagy méretűeket kell választani.

Folyamatoptimalás hidraulikus kiegyenlítéssel

Az elemek gondos összeválogatása mellett is előfordul, hogy a szerszámban egy-egy csatornában kevesebb hűtőközeg áramlik át. Ha a csatornák hidraulikus ellenállása eltér egymástól, a folyadék a kisebb ellenállás irányába folyik. Ilyenkor hidraulikus kiegyenlítést kell alkalmazni, a kisebb ellenállású csatornákba fojtást kell beépíteni. Az Engel *flomo* ilyen megoldásokra is tartalmaz megfelelő szelepeket.



4. ábra Példa a hidraulikus kiegyenlítésre. Bal oldali kép: Áramláseloszlás a szerszámban hidraulikus kiegyenlítés nélkül; jobb oldali kép: áramláseloszlás hidraulikus kiegyenlítés után

A hidraulikus kiegyenlítésre a 4. ábra mutat példát. Az ábrán egy 2 mm falvastagságú PP formadarab szerszámának vázlatja látható. A szerszámbetétben a temperálósatornák átmérője 6 mm, a szerszámtestben 10 mm. A hűtővíz hőmérséklete 20 °C volt. A betétek nagyobb hidraulikus ellenállása miatt a víz nagyobb része a

szerszámtömb csatornáiba áramlott, pedig a betétekből kellett a nagyobb hőmennyiséget elvezetni. A tömb felé vezető utat ezért lefojtották, ezzel csökkentették az ide bejutó tömegáramot, ezáltal a betéteken átáramló 4,8 l/min víz mennyisége 7,1 l/min-re növekedett. Így sikerült valamivel meghaladni az optimális hűtéshez minimálisan szükséges 5,7 l/min térfogatáramot. Ezzel az egyszerű beavatkozással 7%-kal tudták a hűtés idejét rövidíteni, egyúttal csökkent a hűtővíz felmelegedése is.

Összeállította: Pál Károlyné

Sepe, M.: The importance of melt & mold temperature = Plastics Technology, www.ptonline.com. 2012. december.

Raschke, F.; Giessauf, J.; Steinbichler, G.: Versteckte Potenziale heben = Kunststoffe, 102. k. 11. sz. 2012. p. 41–44.