

Műszaki és nagy teljesítményű műanyagok fröccsöntése

A műszaki és különösen a nagy teljesítményű műanyagok vagy ezek töltött változatai feldolgozásához mindig jól jönnek a tanácsok, különösen, ha azokat az ilyen anyagok feldolgozásában tapasztalt szakemberek adják.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; fröccsöntés; műszaki műanyagok; nagy teljesítményű műanyagok; fluorpolimerek.

A legáltalánosabban elkövetett hiba a műszaki műanyagok fröccsöntésénél, hogy például a PP feldolgozásához hasonló körülmények között próbálják ezeket kezelni, így a gyors befröccsöntés, a hideg szerszám, szűk beömlők, például túbeömlő az elsőként választott irány. Sajnos a legtöbb műszaki műanyag igen rosszul reagál a fenti körülményekre, így rá kellett ébredni, hogy pont az ezekkel ellenkező oldal nyújt megoldást: *nagy keresztmetszetű beömlők, forró szerszám és igen hosszú befröccsöntési idő beállításával lehet megfelelő minőségű terméket gyártani.*

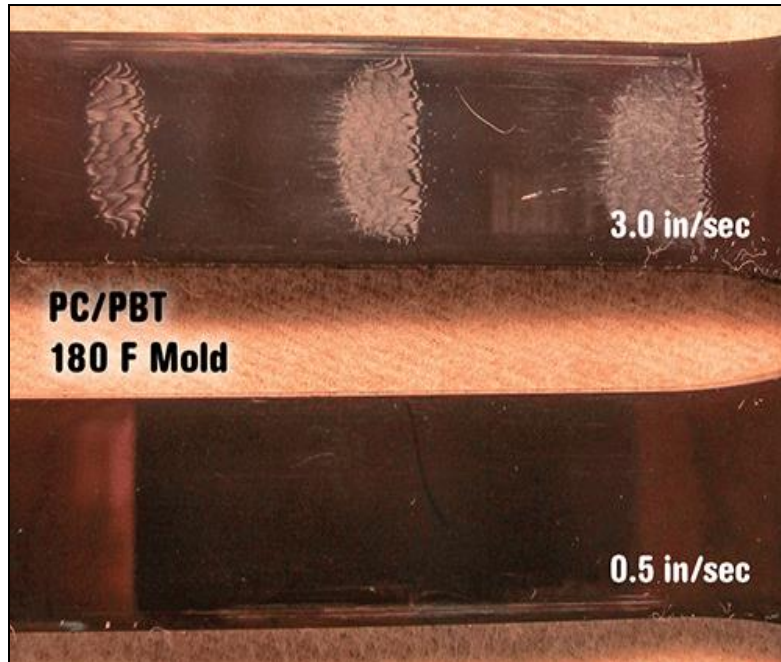
A legtöbb műszaki műanyag nem érzékeny túlságosan a nyírásra, így lehetséges a gyors befröccsöntés, de ez legtöbbször felületi hibák jelentkezésével jár, nem lesz esztétikus a darab (1. ábra). 20 °C-os szerszámhőmérsékletnél az ömledék még azelőtt lefagy, mielőtt a szerszámba jutott volna, vagy pedig a csúszás-letapadás effektus miatt lesz hibás a darab. A szerszámot nyugodtan 85°C-on lehet temperálni, amivel nagyobb felületi fényességű, valamint kevésbé feszültséges darabokhoz lehet jutni, egyidejűleg alacsonyabb ömledék-hőmérséklet mellett, ami az alapanyag degradációját és a ciklusidőt is csökkenti.

Mekkora méretű legyen a beömlőgát? Minél nagyobb, lehetőleg a darab vastagságának 80%-a legyen, kis falvastagságú daraboknál például 1 mm vagy az alatti méreteknél akár 100%-ig is emelhető a gát mérete (2. ábra).

A legtöbb műszaki műanyaghoz és ugyanígy a különlegesen hőálló típusokhoz, [például poliszulfon, poli(éter-imid)], az úgynevezett *indirekt ék alakú beömlő* javasolt (3. ábra). A beömlőnél lévő gát mérete legyen azonos a beömlő méretével és a fröccsöntött darab falvastagságának 80%-a legyen a darabhoz közeli oldalon. A beömlő szélességét a darab mérete szerint kell megválasztani: egy közepes méretű fröccstermék-nél az 1,2–1,8 cm megfelelő lehet, azonban nagyobb daraboknál, például egy golfautó borítóeleménél akár 5–6,5 cm nagyság lehet az optimális.

Normál esetben például a PA és PBT típusok jó folyóképességűek, de ásványi őrleményekkel töltött típusaik már lényegesen nehezebben dolgozhatók fel, így ezekhez úgyszintén javasolt a fenti indirekt ékbeömlő alkalmazása. A megnövelt gátméret, a

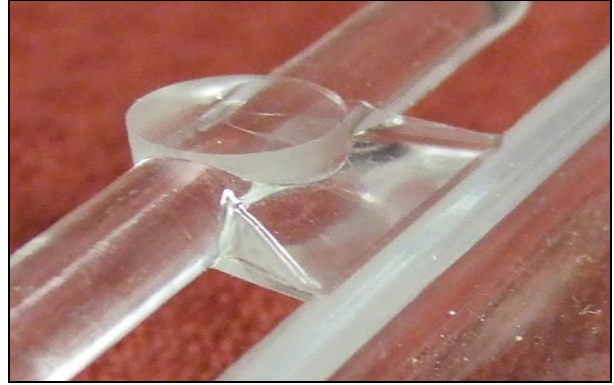
csökkentett befroccsöntési sebesség és a szerszám magasabb hőmérséklete nem vezet hosszabb ciklusidőhöz, mert a műszaki műanyagok sokkal magasabb hőmérsékleten már olyan szilárdságot mutatnak, hogy az emiatt várhatóan rövidebb hűlési idő kompenzálja az előző paraméterek okozta idővesztést. Így például PA, POM, PC fröccsöntése forró szerszámra nem jelent hosszabb ciklusidőt, mint PP fröccsöntése hűtött szerszámra.



1. ábra PC/PBT fröccsöntése 7, ill. 1,2 cm/s sebességgel: a felületi hiba eltűnik a lassú befroccsöntéskor (szerszámhőmérséklet: 82 °C)



2. ábra Legyezőbeömlő okozta elszíneződés (kifehéredés) PC/ABS fröccsdarabon. Ok: a gát vastagsága csak 40%-a volt a darabénak, a helyes méret a 80% lenne



3. ábra Az indirekt ékbeömlő hideg anyag túlfolyóval kitűnő terméket ad a nyírési anomáliák kiküszöbölésével PMMA, PC, PC/ABS és PC/PBT anyagok esetében

Különleges műszaki műanyagok fröccsöntése: magasan töltött PEEK, Torlon, Ultem és fluorpolimerek

A Performance Plastics Ltd. (PPL) USA, Cincinnati, kizárólag a címben említett igen speciális körülmények között fröccsönthető műszaki műanyagok feldolgozására szakosodott. *Van 30 millió darab/év és 25 darab/év megrendelésük is.* Mielőtt elvállalják egy termék gyártását, analízist végeznek, hogy milyen hozzáadott értéket képesek realizálni a gyártás során. A viszonylag kis méretű céget ugyanúgy irányítják, mint a nagyokat. Havonta igen szigorú pénzügyi mérlegeket készítenek. Majdnem az összes fröccsgépük *Fanuc Robotshot* típus, teljesen elektromos, a Milacron LLC gyártmányai, ezek háromszor olyan drágák, mint a korábbi hidraulikus gépeik. 1 millió USD értékben automatizált, zárt cellát vásároltak 15 millió db/év eldobható gyógyászati termék gyártásához. A feldolgozás- és alkalmazástechnikában olyan magas szinten állnak, hogy az egyes alapanyagok gyártói hallgatnak a véleményükre, hogy az egyes anyag típusok felhasználása hogyan és hol lehetne optimális. Globális kitekintéssel rendelkeznek a világ feldolgozóiparára, szakembereik jó része dolgozott Európában és Ázsiában.

Fluorpolimerekből fröccsöntenek alkatrészeket számítógép-nyomtatókhoz, termékeik 25%-át kínai, koreai és tajvani cégek vásárolják. Versenyképességüket azon tudják lemérni, hogy partnereik két évente új komponenseket igényelnek a nyomtatóikhoz, így ha ők nem termelnének megfelelő árszínvonalon, akkor azonnal elvesztenék piacaikat. De mivel a csúcstechnológiát alkalmazzák gyártósoraikon, így árban és minőségben is megtartják versenyképességüket.

A PPL cég fluorpolimerek nagy volumenű gyártására specializálódott. Ez rendkívül kemény feladat, mivel degradációra nagyon hajlamos anyagról van szó, ráadásul feldolgozás közben korrozív gázok keletkezhetnek, amelyek mérgezőek is (polimerláz). Büszkén említik, hogy ezeket az alapanyagokat 2000 bar nyomáson 300 mm/s befroccsöntési sebességgel 400 °C-on 230 °C-os 8 bélyeges forrócsatornás szerzőmba fröccsöntik.

A PPL gyártócsarnokának területe 4000 m², 22 darab 33–330 tonna záróerejű fröccsgéppel termelnek (a teljes helykihasználás 50 gép lenne). Teljes munkaidőben 33 dolgozójuk van, és további 10–15 dolgozó szükség szerint belép a rendszerbe, ha a termelés úgy kívánja. A három legfontosabb piaci területük: gyógyászat/gyógyszeripar, energiaszektor (olaj, gáz, nukleáris) és repülőgépgyártás/hadiipar. A termelésük maradék 25%-át elektronikai alkatrészek, élelmiszeripar (hőkezelő és csomagolóberendezésekhez szükséges darabok), valamint az iparban használt egyéb alkatrészek teszik ki.

Kiemelt célként kezelik a csúcsmínőségű különleges műanyagok alkalmazását, s ugyanígy a különlegesen ellenálló acélötvözetek felhasználását a szerszámgyártásban. Hasonlóan fontosnak tartják a rendkívül szoros tűréshatárok elérését termékeiknél, például 0,005–0,01 mm PEEK-nél és 0,025 mm fluorpolimereknél.

Termékeik átlagos tömege 25 gramm, de néhány közülük csak 0,25 gramm. Évente kb. 100 tonna alapanyagot használnak fel, de *ezek igen drága polimerek, átlagosan 60 USD/kg az árfekvésük.* A legnagyobb mennyiségben az üvegszállal töltött poli(éter-imid) kerül feldolgozásra (*Ultem* márkaneven), a U.S. Special Forces lézerirányítású fegyvereinek alkatrésze készül ebből. A rendkívül szigorú tűréssel előállított tömítőelem az elektronikus berendezésnek szivárgásmentességet biztosít 20 méter mélységig.

A cég palettáján szerepel még hexafluor-propilén/tetrafluor-etilén kopolimer (FEP) és perfluoralkoxi (PFA) fluorpolimerek, poli(amid-imid) és hőre lágyuló poliimidtermékek gyártása. A fentiek egy részét töltött változatban dolgozzák fel, például szénszállal és PTFE-vel modifikált PEEK, üvegyönggyel és PTFE-vel töltött FEP. Újabban egzotikus polimerkeverékek is előtérbe kerülnek, például a PEEK/PFA, a PEEK/PBI, PPS/PEEK vagy a PPS/poli(éter-imid). A legnagyobb mértékben a fluorpolimertermékek piaca látszik bővülni.

A PPL cég olyan szintre fejlesztette a fluortartalmú anyagok feldolgozását, hogy oktató jelleggel előadásokat tartanak ebben a témában, például az SPE ANTEC konferenciáján. *Felveszik a harcot azzal a mítosszal, hogy a fluorpolimereket nehéz hatékonyan, megfelelő biztonsággal gazdaságosan fröccsönteni.* Ha ez így lenne, a gyógyászat és a hadiipar nem fogadná be az ilyen jellegű termékeket. Az utóbbi 8–10 évben a fluorpolimerek korábbi 1,4-es MFI értékét sikerült 40-re növelni. A PPL cég olyan feldolgozási technológiai megoldásokat fejlesztett ki, hogy magukat a fluorpolimereket gyártókat is elkápráztatták ezzel. Megbirkóztak a feldolgozás során keletkező hidrogénfluorid gáz korróziós hatásaival, mivel saját fejlesztésű acélötvözeteket alkalmaztak a szerszámgyártáshoz, és a fröccsöntő egységek állandó rotációjával a csiga és a henger elhasználódását is csökkentették. A hagyományosan elfogadott *Hastelloy, Inconel, Monel* márkanevű különleges saválló anyagok viszonylag csekély Rockwell keménységűek (HRC), emiatt nem voltak megfelelőek a töltött és erősített polimerrendszerekhez. A rendkívül szigorú tűrések miatt egy lekopott fémforgács, fémszemcse akár negyedmillió dolláros kárt is okozhatott volna a termelésben. A különleges szilárdságú rozsdamentes anyag kifejlesztésével elérték a 45–56 HRC keménységet (a korábbi 16 HRC helyett). Ez az acélfajta ugyan igen költséges, de ugyanakkor a technológia biztonsága megéri ezt az extra kiadást.

További nehézséget jelent a fluorpolimerek fröccsöntése közben a gyors belövéseknél fellépő túl magas nyírás, amely degradációhoz és laminálódáshoz vezethet. Ezért a legtöbb feldolgozó azt gondolja, hogy kis sebességgel, alacsony nyomással, vastag beömlőkkel és nagy falvastagsággal kell dolgozni. A PPL 0,2 mm-es falvastagságú darabok sorozatgyártását is képes tökéletesen megoldani. Emellett kifejlesztettek egy forrócsatornás direkt befröccsöntési technikát is, ezáltal elmarad a beömlők miatti hulladékképződés. Ezt a technikát a világon csak mintegy 10 cég képes alkalmazni fluor-polimerekhez. Persze nem volt egyszerű a forrócsatornás szerszám elkészítése: a cég által kifejlesztett speciális korrózióálló acélból kellett kimunkálni az optimális megoldást. Ugyanígy nehézséget jelentett, amikor egy adott terméken lévő 0,02–0,07 mm-es sugarat kellett kialakítani, mivel ilyen méreteknél már alig folyik a fluor-polimer, és a térkitöltést sorjamentesen, valamint beégés nélkül kellett megvalósítani.

A szerszámok megfelelő temperálása is kritikus pont, mivel 190 °C-ig nyomás alatti víz, e felett pedig olaj a temperáló közeg, mivel ezek a fluidumok egyenletesebb hőátadást biztosítanak, mint az elektromos fűtés. Még így is, adott esetben 3-4 temperálóegység szolgál ki egy fröccsegységet.

A PPL cég specializálódott PEEK-ből készült különleges tömítőelemek gyártására, adott esetben 0,08 mm-es tömítő felülettel, ez például extrém mértékű méretstabilitást és pontosan betartott technológiát igényel. Szénszállal töltött PEEK termék fröccsöntésével kiváltottak egy korábban CNC forgácsolással gyártott darabot, ezzel 500 000 USD megtakarítást ért el a megrendelőjük.

Minőségbiztosítás

A PPL cég létrehozott egy igen széles empirikus adatbázist az általuk feldolgozott speciális alapanyagok tulajdonságairól. Ugyanis a szokásos mold flow és egyéb szimulációs adatbázisok igen gyakran nem adnak teljes képet a feldolgozás várható problémáiról, különösen a zsugorodás-vetemedésről. Fokozottan igaz ez az „egzotikus koktél”-jellegű speciális kompaundokra. Külső vizsgálólaboratóriumokba küldik gyakran az új alapanyagot, ahol kb. 5000 USD egy komplex vizsgálat költsége. A PPL cég szakemberei a zsugorodás-vetemedés szimulációját olyan magas fokon művelik, hogy a fröccs-szerszám legyártásakor már beleforgácsolják a szerszámokba azokat a kompenzálóelemeket, amelyek a nem kívánt vetemedést kiküszöbölik. 2011-ben kezdték a mintadarabok CT-szkenneres vizsgálatát egy külső céget megbízva a mérésekkel, esetenként 800–2000 USD értékben. A CT-szkenneres méretellenőrzés előnye a korábban alkalmazott mérésekhez képest, hogy egy nehezen definiálható geometriájú, igen bonyolult terméken 800 000–1,5 millió ponton vesz méretet.

A PPL a Fanuc *Mold 24i* folyamatellenőrzési rendszerét használva minden egyes gyártási folyamatról 1,2 millió adatot rögzít. Fontos eszköz még az ún. „automatizált cella” rendszerek alkalmazása. Ezekben a cellákban a darabok 100%-os minőségellenőrzése valósul meg, az esetleges selejtet az automatika elkülöníti. Például egy ilyen cellában gyártanak fluorpolimerből egy egyszer használatos gyógyászati terméket négybélyeges szerszámmal. 50 darab 0,6 mm átmérőjű furat van a terméken, a furatok

között 0,3 mm az anyagvastagság (4. ábra). Robot végzi a darabok kiemelését a szerzőből, majd egy elektronikusan vezérelt kamera pásztázza végig a darabot, hogy ellenőrizze az esetleges sorjaképződést vagy anyaghiányt. A 0,02 mm méretű sorját még észreveszi a rendszer. A méretellenőrzés oly pontos, hogy a darabon lévő 0,3 mm-es zsanér pontos bepattintós zárást biztosít. A kamera 2500 mérést végez különböző állásokból, az összesen 200 furatról, mindössze 3,5 s alatt. Évente 7 millió ilyen darabot gyártanak selejtkibocsátás nélkül.



4. ábra Fluorpolimerből fröccsöntött nagyon kis falvastagságú termék apró furatokkal bonyolult geometriával, szigorú tűrésekkel

Egy másik fluorpolimerből fröccsöntött terméket PU habbetéttel kombinálva állítanak elő. Lézersugárral vágják a PU darabokat először csíkokra majd a csíkokból egy másik lézerrel korongot vágnak. 4 s/db az összeszerelés ciklusideje, mivel két alternáló mozgást végző munkasztalon 9–9 állomáson végzik a gyártást 5 millió db/év volumenben.

A PPL cég ragaszkodik ahhoz, hogy hozzáférése legyen a vevői által végzett tesztek eredményeihez. Ellenkező esetben diszkvalifikálja az adott céget, mivel az végső soron nem segíti elő a gyártás optimalizálását. Üzletpolitikájuk: lehetőleg csak olyan munkákat vállalnak el, amelyeket mások nem képesek kivitelezni megfelelő minőségben és árban, illetve amelyeknél a technológia vagy a darab kialakítása saját szellemi terméket eredményez.

Összeállította: Csutorka László

Henz, J.: What's different about molding engineering plastics = Plastics Technology, www.pt-online.com, 2013. június.

Naitove M. H.: This molder wants only the tough jobs = Plastics Technology, www.pt-online.com, 2013. július.