

Mikor éri el a fröccsöntött formadarab stabil méreteit?

1. rész Részlegesen kristályos polimerek zsugorodása

A fröccsöntő üzemekben természetes jelenségnek tartják, hogy a szerszámból kivett, még meleg formadarab további hűlése közben zsugorodik, amit a szerszám méreteinek tervezésekor figyelembe kell venni. Végso méreteit a darab stabilizálódása után éri el. De hogy mikor válnak stabilá a méretek, az sok mindentől függ. Publikációnk 1. része a részlegesen kristályos polimerek zsugorodását mutatja be, a 2. rész az amorf anyagok zsugorodásával és a méretüket bizonyos körülmények között növelő polimerekkel foglalkozik.

Tárgyszavak: fröccsöntés; formazsugorodás; utózsugorodás; kristályosodás; kristályos polimerek.

A fröccsöntő szerszámból kiemelt és még meleg formadarab hűlése közben zsugorodik. Hogy milyen mértékben, az *alapvetően a darab alapanyagától függ*. A részlegesen kristályos polimerek erősebben zsugorodnak, mint az amorfok, és a töltőanyag is mérsékli a zsugorodást. Befolyásolja a zsugorodást a darab formája is; a vékony falú termékek zsugorodása kisebb, mint a vastag falúaké, mert az előbbiek gyorsabban hűlnek le, azaz rövidebb idő alatt érik el egyensúlyi állapotukat. A nagyobb nyomással végzett fröccsöntés kisebb zsugorodást eredményez, és ilyen következménye van az alacsonyabb szerszámhőmérsékletnek is, bár az utóbbi hatás csak időleges.

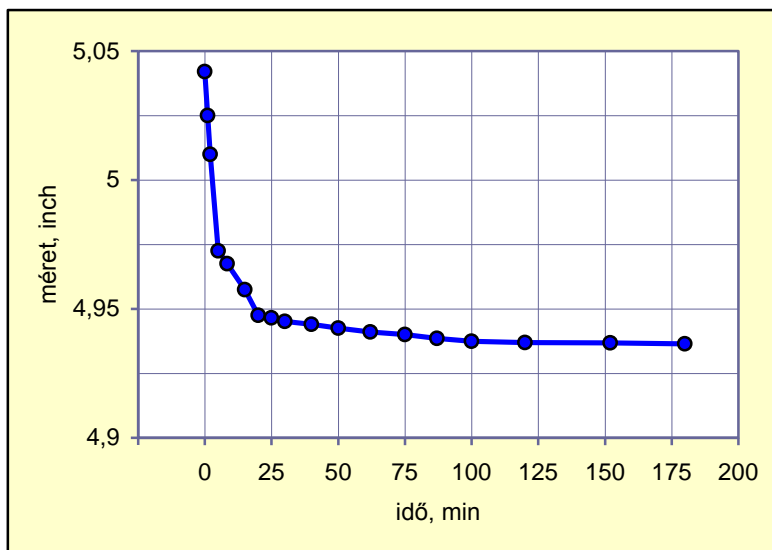
A szerszám tervezésekor az egyik legfontosabb kérdés, hogy mennyivel legyen nagyobb a szerszámfészkek, hogy a termék végso mérete megfeleljen a kívánalomnak.

Mindenki elfogadja azt, hogy *a frissen fröccsöntött darab zsugorodása elkerülhetetlen*, de abban nincs egyetértés, hogy a kivétel után mennyi idővel kell mérni a méreteket, mikor tekinthetők a darab méretei véglegesnek. Ennek a meghatározása a gyakorlat számára fontos, mert ha a kísérleti gyártás közben tévednek, túl korán határozzák meg a gyártott darab méreteit, a sorozatgyártás megindítása után sok lesz a selejtes darab, és csak jelentős anyagi ráfordítással lehet a szerszámot korrigálni.

A zsugorodás vizsgálatakor észlelhető, hogy az első percekben gyorsan csökken a frissen kivett darab mérete, a méretcsökkenés sebessége azonban rövid időn belül erősen lecsökken és a darab aszimptotikusan közeledik egyensúlyi állapotához, azaz végso méreteihez. *A zsugorodás a szerszámfészkek méretei és az egyensúlyi állapotba került darab méretei közötti különbség.*

A részlegesen kristályos polimerek zsugorodása

Egy kísérletsorozatban azt vizsgálták, hogy hogyan viszonyulnak a fröccsanyagok adatlapjában megadott zsugorodási értékek a gyártás során mért értékekhez. Egy töltetlen poli(butilén-tereftalát) (PBT) adatlapja szerint fröccsöntés után 1,7–2,3%-os zsugorodásra kell számítani. Az ebből fröccsöntött formadarab 4,941 + 0,008 inch (125,501 + 0,203 mm) volt. (A könnyebb áttekintés érdekében a szövegben megtartottuk az eredeti angol mértékegységeket, és zárójelben közöljük a méreteket nemzetközi mértékegységben.) A darabok méretváltozását az idő függvényében az 1. ábra mutatja. A darab végső méreteinek meghatározásához azokat az adatokat tekintették elfogadhatónak, amelyeket a görbe vízszintesbe fordulásakor mértek, ebben az esetben ez két óra volt. A fröccsöntött darabok zsugorodása eszerint 2,197%.



1. ábra

Egy töltetlen PBT formadarab zsugorodása a fröccsöntés után az idő függvényében. Névleges falvastagsága 0,250 inch (6,35 mm),
4,9 inch = 124,46 mm
4,95 inch = 125,73 mm,
5,0 inch = 127 mm
5,05 inch = 128,27 mm

Mivel a PBT nem tartalmazott töltőanyagot, az nem fékezte a zsugorodást, a darab vastagsága is viszonylag nagy, 0,250 inch (6,35 mm) volt, ezért lassan hűlt le. Egy fröccsöntési ciklus 60 s alatt ment végbe. Ha azonban a termék végső méreteinek leméréséhez két órát kell várni, és a darabok méretei meghaladják a megengedett tűrést, csak két óra után lehet beavatkozni a gyártásba. Ennyi idő alatt 120 selejtes darab kerülhet ki a gépből. Ha azonban azt határozzák meg, hogy 15-20 min után (a görbe fordulópontjánál) milyen méretűnek kell lennie a darabnak, hogy végső állapotában tűrésen belül legyen, évente több száz vagy több ezer selejtes darab gyártását lehet elkerülni.

De mi biztosítja a gyártót arról, hogy bármilyen formadarab két óra után valóban stabil állapotba kerül? Semmi. Ha amorf anyagból fröccsönti azt, már 15 min alatt egyensúlyi állapotba kerülhet. A 0,125–0,140 inch (3,175–3,556 mm) vastagságú darabok 30 min alatt stabilizálódhatnak. A legtöbb fröccsöntött terméknek ehhez legfeljebb egy órára van szüksége. De vannak megfélemlítő kivételek.

Nem mindegy, hogy mekkora a darab mérete. Nem mindegy, hogy egy 1 inch (25,4 mm) méretű darab vagy egy 20 inch (500 mm) méretű darab zsugorodik-e 1%-ot. Az előző méretei 0,25 mm-rel, az utóbbié 5 mm-rel lesznek kisebbek. Ha a zsugo-

rodás mindössze 0,1%, azt kisebb darabokon megfelelő mérőeszköz hiányában meg sem tudják mérni, nagyobb darabon pedig felöllelheti az egész tőrés tartományt.

A nagyon vastag falú termékek fröccsöntésekor a hűtés időtartama erősen megnövekedik. Ez különösen a töltetlen kristályos polimereknél okozhat gondot, amelyek zsugorodása szoros összefüggésben van a kristályszerkezet kialakulásával. A kristályok szabályos rendben helyezkednek el, ezért kevesebb helyre van szükségük, mint az amorf fázisnak. Nagyobb mértékű kristályosság nagyobb zsugorodással jár.

A kristályosodás szerepét jól mutatja a poli(éter-éter-ke-ton) (PEEK). Ez a polimer lassan kristályosodik, ezért a belőle fröccsöntött darabok szerkezete – a hűtés sebességétől függően – lehet amorf vagy részlegesen kristályos. Az amorf PEEK sűrűsége $1,26 \text{ g/cm}^3$, a kristályos változaté $1,30 \text{ g/cm}^3$. Ez 3,2%-os különbség, és a két típus zsugorodása között akár 1,5%-os eltérés is lehet.

Vannak azonban olyan részlegesen kristályos műanyagok, amelyek csak több nap után érik el az egyensúlyi állapotot. És míg a legtöbb polimer mérete csökken állás közben, vannak olyanok is, amelyek méretei növekednek.

Kellemetlen meglepetés ért egy feldolgozót, aki addig acetál homopolimerből korábban 13 mm-nél nem nagyobb fogaskerekeket gyártott, amikor ugyanebből a polimerből nagyobb darabokat kellett fröccsöntenie. A készülékházak és fogaskerekek kritikus dimenziói 3,5–4 inch (88,9–101,6 mm) között voltak, a 0,110 inch (2,794 mm) vastag falakra kerülő nyomtatás tőrését $\pm 0,010$ inch-ben (0,25 mm) határozták meg. Fontos követelmény volt a lyukak közötti sorköz mérete, annak $4,046 \pm 0,010$ inchnek ($102,768 \pm 0,25$ mm) kellett lennie.

Az első 30 mintadarabon ez a méret 4,038–4,042 inch (102,565–101,666 mm) között volt. A gyártókat meglepéssel töltötte el az a tény, hogy bár a tőrés alsó határán voltak, valamennyi darab belefért a tőrésbe. A méreteket a fröccsöntés után 90 perctől két óráig többször ellenőrizték. A darabok szoba-hőmérsékletűek voltak, és mindenki örült a sikernek. Másnap azt észlelték, hogy a darabok mérete további 0,004 inch-csel (0,102 mm-rel) csökkent, újabb 24 óra múlva pedig további 0,001 inch-csel (0,025 mm-rel). Később hasonló jelenséget észleltek polipropilénből fröccsöntött nagyméretű formadarabokon, töltött típusból készítetteken is.

A jelenség megértéséért meg kell vizsgálni, *hogy viszonyul egymáshoz a fröccsöntés utáni hűtés alatt bekövetkező zsugorodás (formazsugorodás) és a részlegesen kristályos műanyagok kristályosodása révén fellépő térfogatcsökkenés (utózsugorodás)*. A részlegesen kristályos műanyagok jobban ellenállnak a fárasztásnak és a koptatásnak, magasabb hőmérsékleten pedig kevésbé hajlamosak a kúszásra, de ha fröccsöntéskor meggátolják kristályosodásukat, ezek a kedvező tulajdonságok csak részben alakulnak ki.

A kristályszerkezet csak meghatározott hőmérséklet-tartományban, az olvadáspont alatt és az üvegesedési hőmérséklet (T_g) fölött alakulhat ki. Fröccsöntéskor a szerszámfészket kitöltő forró ömledéket gyors hűtéssel szilárdítják meg. A PEEK feldolgozásakor pl. a $370 \text{ }^\circ\text{C}$ -os ömledéket $190 \text{ }^\circ\text{C}$ -os szerszámba lövik be, ami az anyag számára komoly hősokkot okoz. A polimerben addig épülhet a kristályos fázis, amíg el

nem éri az üvegesedési hőmérsékletét (146 °C), mert molekulái csak e fölött elég mozgékonyak ehhez. A T_g érték alatt további kristályok nem képződhetnek.

De mi van az acetállal és a PP-vel? A feldolgozók azt mondják, hogy ezek a műanyagok „nem követik a szabályokat”. Arra gondolnak, hogy ha a darab eléri a szobahőmérsékletet, méreteinek stabilizálódniuk kellene. Pedig éppen hogy követik a szabályokat. Furcsaságuk abból adódik, hogy T_g értékük szobahőmérséklet alatt van. A PP-é fajtától függően –10 és +15 °C között, az acetáloké –78 °C, 100 °C-kal alacsonyabb a szobahőmérsékletnél. Ez olyan hideg, amilyen természetes körülmények között csak ritkán mérhető. Ezért az acetált legtöbbször T_g értéke felett használják. Ebből következik, hogy az említett próbatestek a laboratóriumban egy éjszaka alatt tovább kristályosodhattak.

A megfelelő módon fröccsöntött és optimális hőmérsékleten szerszámból kiemelt acetál formadarab – miután szobahőmérsékletre lehült – még 0,1%-ot zsugorodik, amíg eléri stabil méreteit. Vastag falú termékek utózsugorodása ennél nagyobb is lehet. Kisméretű termékeken ilyen különbség alkalmas mérőeszközök hiányában nem érzékelhető, de nagyobb darabokon gondot okozhat. Amikor a méretváltozást az eszközök korlátai miatt már nem tudták követni, a PP és az acetál belső szerkezetváltozásának tulajdonítható változásokat: a húzószilárdság, a húzómodulus, az ütésállóság, a dinamikus mechanikai tulajdonságok változásait öt hétig figyelték meg.

Az ASTM szabvány szerint a fröccsöntés után 48 órával meghatározott méretű próbatesteket további 35 napig vizsgálták, fizikai tulajdonságaikat hétnaponta mérték. A húzószilárdság és a modulus ez idő alatt folyamatosan nőtt, de a növekedés sebessége csökkent. Az ütésállóság ezzel szemben romlott. Néhány anyag két nap után rugalmasan tört, 7–14 nap után valamennyi anyag rideg töréssel ment tönkre. Mindez a kristályos fázis növekedését jelezte.

A legtöbb feldolgozó nem veszi figyelembe, hogy a feldolgozás paraméterei (köztük a szerszámhőmérséklet) befolyásolja a kész darab tulajdonságait. Ha a darab megközelíti a tőrés alsó határértékét, legtöbbször a szerszámhőmérsékletet csökkentik, mert akkor nő a darab mérete. Alacsonyabb hőmérsékleten ugyanis kisebb lesz a kristályos fázis. Ha azonban olyan anyaggal dolgoznak, amelynek szobahőmérsékletnél kisebb a T_g értéke, ez a növekedés csak időleges. Minden anyag molekulái között van ugyanis egy ideális távolság, amelyet megfelelő körülmények között az anyag megpróbál elérni. Ha meggátolják egy olyan anyag kristályosodását, amelynek a molekulái szobahőmérsékleten még képesek mozogni, az törekszik ennek az ideális távolságnak a beállítására.

Összeállította: Pál Károlyné

Sepe, M.: Dimensional stability after molding: Part 1 = Plastics Technology, 2013 jan. www.online.com

Sepe, M.: Dimensional stability after molding: Part 2 = Plastics Technology, 2013 febr. www.ptonline.com