

Szálerősített műanyagok fröccsöntése

A közlemény az Avient cég erősített műanyagokkal foglalkozó top menedzsereinek tanácsait tartalmazza hosszú és rövid szálas műanyag granulátumok fröccsöntésével kapcsolatban, amelyek kiterjednek az anyag kezelésére, a fröccsparaméterek megválasztására és az elkészített tárgyak tervezési alapelveire

Tárgyszavak: szálerősített műanyagok fröccsöntése, hosszú és rövid szál, szálhossz megőrzése, kéméletes feldolgozás

Ötletek hosszú szállal erősített műanyagok fröccsöntésére

A közlemény első részében azokat a feldolgozási gyakorlatokat és tanácsokat tekintjük át, amelyeket hosszú szállal erősített műanyagok feldolgozásában kell követni, és amelyek lehetővé teszik, hogy minél kevésbé degradálódjon a szálhossz és a lehető legjobb tulajdonságokat kapjuk a feldolgozott termékekben. A második részben a rövid szállal erősített műanyagok feldolgozásához kapcsolódó tanácsokat tekintjük át.

Akár rövid, akár hosszú szálakról van szó, legyen az üveg- vagy szénszál, az adalékolás célja mindig a műanyag erősítése, vagyis a szilárdság növelése. A két erősítési módszer jelentősen eltér egymástól abban, hogy miként visszük be a szálakat a műanyag mátrixba és abban is, hogy milyen eredmények érhetők el vele. Az, hogy melyiket használjuk, attól is függ, hogy milyen terméket akarunk előállítani, de a feldolgozó számára talán a legfontosabb az a különbség, hogy milyen agresszíven lehet őket feldolgozni. A hosszú szálas műanyagok feldolgozásánál a fő cél az, hogy lehetőleg minél jobban őrizzük meg a kiindulási szálhosszat, ami a betáplált granulátumra jellemző, mert így kaphatjuk a legnagyobb szilárdságot és ütésállóságot. Ha erre nem ügyelünk, a száldegradáció révén elvesztünk minden előnyt, amit a hosszú szálas műanyag alkalmazása jelentett volna. Szálhossz degradációt okozhat az anyag nem megfelelő kezelése, a szerszám rossz tervezése vagy a nem megfelelő feldolgozási paraméterek választása. A rövid, vágott szálakról eltérően, a hosszú szálas műanyag granulátumok rendszerint pultrúzióval készülnek. A szálrovingot (amit szénszálak esetében tow-nak hív a szakma) áthúzzuk egy speciális impregnáló fejen, amely a hőre lágyuló műanyag mátrixszal bevonja a szálakat és hozzájuk köti. Az így kapott impregnált pászmát általában 12 mm hosszúságúra vágják, a szálak végig érnek az egész granulátum hosszán. Ismert, hogy az erősítőhatás akkor mutatkozik meg, ha az átlagos szálhossz elér egy kritikus értéket, ami fölött húzó hatásra a mátrix-szál határfelületen fellépő nyíróerő következtében a szál nem kihúzódik, hanem elszakad, és így sokkal nagyobb szilárdságnövekedést okoz. Az 1. ábrán látható egy kép, hogy hogyan néz ki egy rövid szállal és egy hosszú szállal erősített fröccsöntött műanyag tárgy a műanyag leoldása után.

Amikor a granulátumokból fröccsöntünk, a hosszú szálak orientálódnak, összeakadnak és egy belső erősítő szerkezetet hoznak létre a műanyagmátrixon belül. A hosszú üveg- vagy szénszálakkal erősített tárgyak nagy fajlagos szilárdságot mutatnak, ezen felül nagy az ütésállóságuk,

a fáradásállóságuk, nagyobb a hőállóságuk, alaktartó képességük, mint amit a rövid szállal erősített műanyagok esetében tapasztalunk. A hosszú szállal erősített műanyag termékek fajlagos szilárdsága eléri vagy meghaladja a fémekét, viszont ugyanazzal a hatékonysággal és gyorsasággal dolgozhatók fel, mint a műanyagok. A szénszálak kompozitok különösen előnyösek, mert 70%-kal könnyebbek az acélnál és 40%-kal könnyebbek az alumíniumnál.



1. ábra. Középen: fröccsöntött szálerősített tárgy. Baloldalt: a visszamaradó szerkezet a műanyag eltávolítása után rövid szállal erősített műanyagban. Jobboldalt: a visszamaradó szerkezet a műanyag eltávolítása után hosszú szállal erősített műanyagban.

(Minden ábra az idézett cikkekből származik, az Avient Corp. szíveségéből.)

A hosszú szálas kompozitokat nagyon igényes autó-, sport-, repülőgépipari területen, használati cikkek és ipari berendezések gyártására lehet használni. Tipikus mátrixanyagok a poliamidok (PA), a polipropilén (PP), a hőre lágyuló poliuretán (TPU), vagy az olyan nagy teljesítményű műanyagok, mint a PEEK, a poliftálamid (PPA) vagy a poliéterimid (PEI). Elvben bármelyik hőre lágyuló műanyag erősíthető szálakkal, de nem mindegyikbe egyformán könnyű be dolgozni. Általánosságban a részben kristályos polimerek jobban erősíthetők, mint az amorf gyanták, vagyis az első csoportban nagyobb erősítést lehet elérni. Ami a feldolgozás során eltávolítandó gázok mennyiségét illeti, az hosszú szálas műanyagok esetében kb. duplája annak, amit nem erősített műanyagból kell eltávolítani. A száltartalom 60%-ot is elérhet (a szénszálak esetében 50%-ot), e fölé már tulajdonságra kell számítani. Ezek a számok a PP, PA, TPU mátrixokra igazak, a nagy teljesítményű, magas hőmérsékleten feldolgozható műanyagok esetében a határérték valamivel alacsonyabb lehet a feldolgozhatósági problémák miatt.

A hosszú szállal erősített műanyagok feldolgozásának vannak olyan sajátosságai, amelyek eltérnek a nem erősített, vagy porszerű ásványi anyagokkal töltött műanyagokétól, és ezt figyelembe kell venni a szerszámok és a beömlőnyílások kialakításánál, a feldolgozó berendezés megválasztásánál és a termék megtervezésnél. A feldolgozás módja némileg eltér attól is, ahogyan a rövid szállal erősített anyagokat feldolgozzuk. Mint korábban említettük, a legfontosabb a szállhossz megőrzése, ezért kerülni kell a nagy nyomásokat és nyíróerőket a fröccs-csigánál, valamint kerülni kell az éles szögváltozásokat és sarkokat a szerszámokban és az elosztócsatornáknál. Az alábbi megfontolásokról különösen felhívjuk a figyelmet:

- **A szerszám anyaga és megtervezése:** noha a hosszú szállal erősített műanyagok koptató hatása kisebb, mint a rövid szállal erősítetteké – hiszen kevesebb éles sarok karcolja a szerszám felületét – ugyanazok a fajta szerszámacélok használhatók mindkét műanyag típus számára. A leggyakoribb típus a P20 szerszámacél, amely 100 000 vagy több öntési ciklust is kibír. Ha ennél is ellenállóbb típusra van szükség, választhatjuk a H13 króm-molibdén acélt vagy a A9 levegőben edzett acélt. Általánosságban az edzett acélok a szálerősített műanyagokhoz. A megkopott szerszámokat fémbevonással javítani lehet. Ha csak kis ciklusszámú próbaszerszámot készítünk, akár alumíniumot is használhatunk.

A szerszám tervezésekor kerülni kell a szűk beömlőnyílásokat és gátakat, amelyek az erős nyírás miatt törnek a szálakat. A szálerősített műanyagok nagyobb viszkozitása miatt ajánlatos széles, legyező alakú beömlést használni, vagy teljesen kör alakút a tübeömlés helyett. A kör keresztmetszetű elosztók nem tartalmaznak áramlási holtzónákat, ahol egy megszilárdult külső réteg gátolja az áramlást a teljes keresztmetszetben. A kör alakú elosztócsatornákon kívül az össze többi esetben fellépnek az éles sarkok, amelyek növelik a nyírást és rongálják a szálakat.

Kétszer annyi gázt kell eltávolítani a hosszú szállal erősített műanyagokból, mint a nem erősítettekből. Ennek biztosítására nagyobb nyílásokat kell hagyni. Ez nem okoz problémát, mert a nagyobb viszkozitás miatt a műanyag nem folyik ki olyan könnyen és nem okoz sorjásodást, mint a nem erősített műanyagok esetében.

- **Fröccsgép:** Standard fröccsgépet használhatunk a hosszú szállal erősített műanyagok feldolgozásához, amelyeken azonban néhány, nem maradandó változtatást célszerű eszközölni a szálhossz megőrzése érdekében, alkalmazkodva a nagyobb viszkozitáshoz. Kis kompressziójú, vagy általános célú csigát ajánlunk, amelyről az ömledék szabadon le tud folyni, és visszaáramlást akadályozó gyűrű is van rajta. Általános célú fűvóka használható, de a poliamid végződéseket kerülni kell, mert óraüveg alakjuk (amelyet a „nyáladzás” elkerülésére alakítottak ki) megakaszthatja az áramlást, ami nyíróhatást és a szálak töredezését válthatja ki. Ugyancsak tanácsos a nyírás csökkentése érdekében a reverz-rézsütös fűvókák alkalmazása. Általánosságban a nagyobb fűvókaátmérő (legalább 5,6 mm) megkönnyíti a viszkózus szál-erősített gyanták eltávozását.

A szénszállal erősített kompozitok esetében kissé több hőre lehet szükség azonos folyási sebesség elérésére, mint üvegszál erősítésű kompozitok esetében.

Ökölszabályként ajánlható, hogy a löketnek csak kb. 60–70%-át használjuk ki. Ha túlterheljük a kapacitást, lassúbb lesz a visszaállás, ha viszont túl keveset használunk fel, az anyag meg fog üledni a hengerben és ez degradációt okozhat (ezúttal termikus degradációt).

- **Feldolgozási körülmények:** Mielőtt a konkrét feldolgozási paramétereket áttekintenénk, vizsgáljunk meg két fontos kérdést: a vetemedést és a kúszást. Általában a hosszú szállal erősített hőre lágyuló anyagok kevésbé vetemednek, mint a rövid szállal erősítettek, mivel a hosszabb szálak összeakadása csökkenti a differenciális zsugorodást. A fröccsöntött hosszú szálalású termékek mégis vetemedhetnek. Ennek egyik oka az, hogy a szálak az áramlás irányában orientálódnak, ami ugyan növeli az erősítést az adott irányban, de anizotróp tulajdonságokat eredményez. A vetemedés elkerülése érdekében alkalmazzunk más, alternatív beömlési helyeket és termék-alakokat, amelyekkel elkerülhető a túlságosan nagy szálorientáció olyan helyeken, ahol nincs is szükség a teherviselő képességre.

A vetemedéshez hasonlóan a kúszás kisebb problémát jelent a hosszú szálalású műanyagok esetében, mint a rövid szálalású műanyagokban, mert a hosszú szálak segítenek a termék nagyobb részén elosztani a terhelést. Ha elég erős a kapcsolat a szál és a mátrix között, akkor a polimer át tudja adni a terhelést a szálaknak, így csökkentve a kúszást. Egy hasonlattal élve az erősítés olyan, mint a csontváz az emberi testben, nem hajlik és csúszik olyan könnyen, mint a polimer láncok. A kúszással szembeni ellenállás függ az úgynevezett nyúlánksági tényezőtől (a szál hossz/átmérő arányától), ami értelemszerűen a hosszú szálalású esetében nagyobb. Minél nagyobb a hossz/átmérő arány, annál inkább lehetőség van arra, hogy a terhelt polimer szakasz több szálra „kapcsolódjon rá” és adja át a terhelést.

Ezek után tekintsük át a hosszú szálás polimerek feldolgozásával kapcsolatos konkrét javaslatokat. Emlékezzünk rá, hogy a szénszálás anyagok viszkózusabbak az üvegszálásoknál, mert a szénszál azonos súly% mellett is nagyobb térfogatot tölt be, mint az üvegszál (kisebb sűrűsége miatt) és a viszkozitásváltozást a térfogattört határozza meg, nem a súly%. A következő tényezőket kell megfontolni:

- *Szárítás* – A hosszú szálás kompozit granulátumokat olyan szárítóban kell szárítani, amelynek harmatpontja -40C° . (Emlékezzünk rá, hogy még a nem higroszkópos műanyagok felületén is van víz). Nézzük meg a gyártó katalógusában, hogy milyen szárítási időt és hőmérsékletet javasolnak az adott műanyagtípusra.
- *Granulátum szállítása* – Ajánlatos pneumatikus szűrőket használni, hogy megakadályozzuk az esetlegesen felszabaduló szálak felgyűlését, mert ha ilyen „csomók” érkeznek az adagolórendszerbe, eltömhetik azt, vagy ha be is jutnak, fröccshibát okoznak a fröccsöntött termékben. A granulátum szállító rendszerben is kerülni kell az éles sarkokat és töréseket, mert ezek is kárt okozhatnak a granulátumban és szálak szabadulhatnak fel.
- *Fröccsöntés* – A hosszú szálás műanyag granulátumok megömlesztéséhez inkább hőre van szükség, a csiga nyíróerejére kevésbé támaszkodhatunk (a fröccshenger mentén lapos vagy fordított hőmérsékleti profilt kell használni). A torlónyomást minimálisra kell választani, hogy elkerüljük a túl nagy nyírást és le kell csökkenteni a csiga fordulatszámát, hogy nehogyszilárd, meg nem ömlött anyag kerüljön be, ami károsítja a szálakat. Veszélyes a regranulátum használata, amely már összetört szálakat tartalmaz, és ez kedvezőtlenül befolyásolja az anyag viselkedését. A regranulátum mennyiségét minimalizálni kell, vagy inkább nem használni. A hosszú szálás műanyag regranulátuma lényegében rövid szálás anyag, mert a szálhossz már degradálódott.

A szerszámot 95–99%-ra kell megtölteni a befröccsöntési szakaszban, és a maradékot az utónyomási szakaszban. Ennek az oka az, hogy a hosszú szálás anyagok nagy viszkozitása megnehezíti az ennél teljesebb töltést a befröccsöntés során, ami általában kisebb, mint a töltési nyomás maximuma. Az utónyomást addig kell alkalmazni, amíg a fűvóka le nem fagy.

- *Fröccssebesség és nyomás* – Általánosság 25,4 mm/sec-nél lassabb sebességek az ideálisak, hogy csökkentjük a nyírást és a száltöredeződést, de ha szükséges, ennek az értéknek a háromszorosáig is elmehetünk. Másrészt viszont, ha túl lassú a befröccsöntés, a gátak vagy a termék vékonyabb falú szakaszai túl korán lefagyhatnak, és nem lesz teljes a szerszám kitöltése.

A pontos fröccsöntési sebesség erősen függ az anyag viszkozitásától. Ha az anyag száltartalma kisebb (mondjuk 30%), az anyag jobban folyik, és használható 5–8 mm/sec befröccsöntési sebesség. Ha ez az anyag 50% szálakat tartalmaz, viszkózusabb lesz és 3–5 mm/sec sebességet kell használni. Ezért az anyagbeszállító mindig feldolgozási paraméter tartományokat ad meg, amelyet hozzá kell igazítani a konkrét körülményekhez. Legcélszerűbb a megadott tartományok közepén kezdeni a próbálkozást, és utána elmozdulni a tartományok egyik vagy másik vége felé attól függően, hogy milyen viselkedést tapasztalunk. Noha a feldolgozó célja mindig a lehető legrövidebb ciklusidő elérése, ha az anyagot úgy dolgozzuk fel, hogy a szálhossz degradálódik, a termék lehet, hogy nem fog megfelelni azoknak a specifikációknak, amelyeket elvárunk tőlük, és amik miatt eredetileg a hosszú szálás műanyag mellett döntöttünk.

A termékdizájnnak olyannak kell lennie, hogy minél inkább védje a szálakat a darabolástól és megőrizze azok hosszát az anyagáramlás irányában, ami javítja a szilárdságot és az

ütésállóságot. Igyekezzünk egyenletes falvastagságot használni, de kerüljük 10 mm-nél vastagabb részeket is, különben ott a szálak nem fognak áramlásirányba állni.

A szálerősített anyagok nem úgy viselkednek, mint a fémek, nagyobb falvastagság nem mindig jelent arányosan nagyobb szilárdságot, mert egy bizonyos vastagság felett a szálak nem lesznek párhuzamosak.

A minimális javasolt falvastagság 1,5 mm (0,06 in.) a szálorientációhoz szükséges optimális falvastagság 3,2 mm. 5 mm felett azonban a szálak párhuzamossága romlani kezd. A maximális vastagság 12,7 mm.

Kerüljük az olyan dizájnt, ahol hosszan lapos részek vannak erősítő borda nélkül, mert ott nagyobb valószínűséggel alakul ki vetemedés. A hosszú szálalású műanyagok nagy viszkozitása az anyag lefagyását is okozhatja, ha nagy felületet kell kitölteni.

Nagyon gondosan kell megtervezni az összecsapási vonalakat, mert a mechanikai tulajdonságok kárt szenvednek, ha a két ömledékfront úgy találkozik, hogy a szálaknak nem áll módjuk elegendni és nem tudnak hidat képezni az érintkező területek között. Az ilyen összecsapási vonalak gyenge helyeket jelentenek, mivel hiányzik belőlük a szálak által kölcsönzött többletszilárdság, csak a mátrix szilárdsága érvényesül. Ezért az összecsapási vonalakat a szerkezeti szempontból fontos területektől távol kell elhelyezni.

A hosszúszálas műanyagok által kínált előnyöket úgy tudjuk kihasználni, ha a fentieknek megfelelően némileg megváltoztatjuk a nem erősített műanyagoknál alkalmazott tervezési és feldolgozási alapelveket. Enélkül hiába használunk drága alapanyagot, nem tudjuk realizálni a belőlük származó előnyöket, sőt azok még romolhatnak is.

Ötletek rövid szállal erősített műanyagok fröccsöntésére

A rövid üveg- vagy szénszállal erősített műanyagokat szinte bármilyen polimerből elő lehet állítani, és a kapott kompond nagyobb fajlagos szilárdságot és modulust fog mutatni, merevebb lesz és kevésbé kopik, mint a nem erősített változat. A rövid szállal erősített műanyagok sok esetben használhatók fémek helyettesítésére pl. sportszerekben vagy tengeri infrastruktúrákban. Fentebb a hosszú szálalású műanyagok feldolgozási sajátosságait vizsgáltuk, de a rövidszálas műanyagoknak is, minden sokoldalúságuk mellett, megvannak a maguk speciális problémái. Nem alkalmazhatók pl. olyan esetekben, ahol fényes, polimerben gazdag felületre van szükség, mert a szálak jellegzetes felületi struktúrát alkotnak, ami különösen jól látható poliamidokban. A szálak nem vesznek fel színező anyagot, ezért vizuálisan is elkülönülnek a mátrixtól. A szénszálas saját sötét színe miatt korlátozott színezési lehetőségek vannak, a termékek általában sötét szürkék.

A legfontosabb különbség azonban a nem erősített és rövid szállal erősített műanyagok között a feldolgozásban van. A rövid szállal erősített műanyagokat rendszerint vágott szálak és hőre lágyuló műanyagok kompaundálásával állítják elő egy, vagy inkább kétszigás extruderben. Az ehhez használt üvegszálak általában 5 mm, a szénszálak pedig 6 mm hosszúságúak. A kompaundból zsinórt készítenek, amelyet aztán granulálnak. Ez eltér a hosszú szálalású műanyagoknál alkalmazott módszertől, amelyben rovingot impregnálnak és azt vágják a kívánt hosszra. Mivel a rövidszálas anyagokat egyszerűbb előállítani, általában olcsóbbak, mint a hosszúszálas változatok. A száltartalom felső határa üveg esetében kb. 60%, szénszál esetében 50%, de a felső határ közelében már előfordulhat, hogy a jellemzők nem javulnak, hanem romlanak. A rövidszálas műanyagoknál az üvegszál kevésbé drága, mint a szénszál – az utóbbi előállítási költségei magasabbak. A szénszálas kompozitok négy-öttször nagyobb merevséget mutatnak, mint az üvegszál,

ezért fémhelyettesítésnél a leggyakrabban ilyen anyagot választanak. A megadott mennyiségi határok olyan tipikus polimerekre vonatkoznak, mint amilyen pl. a polipropilén vagy a poliamid. A nagy teljesítményű, hőálló polimerekben az elérhető maximum általában ennél kisebb.

A rövidszálas polimereket használhatjuk fröccsöntéshez, préseléshez és extrúzióhoz. A részben kristályos polimereket szívesebben erősítik szálakkal, mint az amorf anyagokat, mert az utóbbiak azonos mennyiségű szál hozzáadására kisebb javulást mutatnak. A leggyakrabban használt mátrixanyagok a poliamidok, a poliolefinok és a műszaki műanyagok.

A rövid szállal erősített és a nem erősített műanyagok közti egyik legfőbb különbség a zsugorodásban van. Jóllehet a rövid szálak nagyjából véletlenszerűen oszlanak el a granulátumban, fröccsöntés közben a szálak hajlamosak a folyásirányban orientálódni. A lehülés során ezért a zsugorodás kisebb a folyás irányában, mint arra merőlegesen. Az anizotrop zsugorodás vetemedést is eredményezhet. Minél nagyobb a száltartalom és minél hosszabb a folyásút, annál nagyobb a vetemedés veszélye. A nem erősített műanyagok inkább izotróp módon zsugorodnak.

Noha a nem erősített műanyagokhoz tervezett szerszámok használhatók az erősítettekhez is, a feldolgozási paramétereken rendszerint változtatni kell. Ha például a szerszám hidegebb, a szálorientáció befagy, ami akadályozza a zsugorodás kialakulását és így kevesebb lesz e vetemedés is. Az alacsonyabb szerszámhőmérséklet azt is lehetővé teszi, hogy hamarabb kivegyük a terméket anélkül, hogy az deformálódna a kidobás során. Az orientáció befagyasztásának „trükkjével” egyedül akkor kell vigyázni, ha a termék magasabb hőmérsékletnek van kitéve feldolgozás után. Ilyenkor ugyanis a polimer láncok relaxálnak és fröccsöntés után következnek be a vetemedés. A vetemedés vékonyfalú termékek esetében erősebben jelentkezik, bár a vastagabb falú termékek sem mentesek tőle. Természetesen valamennyi zsugorodásra szükség van, különben nem lehet kivenni a terméket a szerszámból. A hűtés csak akkor okoz problémát, ha a zsugorodás nem egyenletes vagy nem tervezett irányú és mértékű. Esetenként maga a termék is tervezhető úgy, hogy előre figyelembe vesszük a vetemedést. Ilyenkor ellentétes irányú deformációt tervezünk a szerszámba, hogy mire a vetemedés lezajlik, a kívánt alakot kapjuk. Az is megoldást jelenthet, ha a terméket hosszabb ideig a meleg szerszámban hagyjuk, ami lehetővé teszi a láncok relaxációját és így csökken a vetemedés. Mégis kevesen választják ezt a megoldást, mert megnő a ciklusidő.

Szerszámanyag és tervezés

Sokak várakozásával szemben a rövidszálas erősítés jobban koptatja a szerszámot, mint a hosszúszálas, azon egyszerű oknál fogva, hogy térfogategységben több a szálvégződés, és a rövid szálak kevésbé tudnak meghajlani, mint a hosszúak. A rövid szálak apró tűkként, a legkülönbözőbb irányokból karcolják a szerszám felületét.

Rövid szálerősítésű műanyagok feldolgozásakor célszerű keményebb szerszámacélt használni, mint amilyen a H13, egy króm-molibdén tartalmú melegen megmunkált acél, vagy a P20 kevésbé ötvözött acél. Ugyancsak tanácsos valamilyen keménybevonatot is felvinni a szerszám felületére.

Ami a szerszámdizájnjt illeti, lekerekített elosztócsatornákat érdemes tervezni, és kerülni kell a 90°-os szöveget, sarkokat. A kerek elosztócsatorna másik előnye, hogy nincs áramlási holtzóna, és nem alakulhatnak ki megszilárdult rétegek, amelyek nem teszik lehetővé az egész keresztmetszet kihasználását. A lehetséges elosztó-geometriákat a 2. ábra mutatja.

A beömlő gátakat olyan helyen kell elhelyezni, ahol nem okoznak zavart a szálorientációban, ami kulcsfontosságú a szilárdság és merevség tervezése szempontjából. Az ideális gát-elhelyezés

a termék vége. Ez ellentétben azzal a gyakorlattal, amit nem erősített műanyagok esetében szoktak használni, ott ugyanis a termék közepénél elhelyezett beömlés segíthet kiegyensúlyozni a terméket. A beömlések méretét célszerű bőre választani (kerüljük a túbeömlést), hogy a nagyobb viszkozitású szál-erősített műanyag ömledék is bejusson és teljesen kitölthesse a szerszámot. Javasolt beömlés típusok: legyező beömlés, bélyeg beömlés (tab gate) és perem beömlés (edge gate).

Külön figyelmet kell fordítani az összecsapási

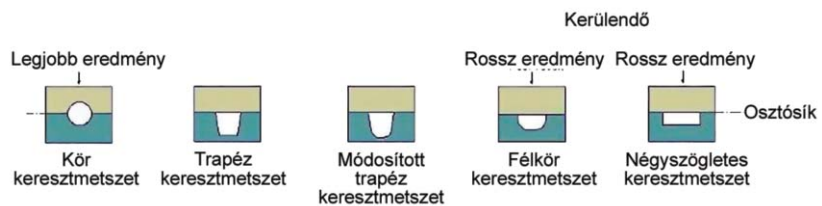
vonalakra. Az erősítőszálak az ömledékfrontok találkozásánál nem tudják áthidalni a két anyag-tömböt ezért a szilárdságot a mátrix szilárdsága határozza meg, és minél több a szál, annál kevesebb a mátrixanyag, ami a tapadást biztosíthatja.

Bár az összecsapási vonalak szilárdságát sok tényező befolyásolja, ezek között a beömlés megválasztása a legfontosabb. A beömléseket úgy kell megtervezni, hogy az összecsapási vonalak ne kerüljenek feszültség szempontjából kritikus helyre a termékben. A beömléseket úgy kell elhelyezni, hogy az ömledékfrontok könnyen összeolvadjanak és további áramlásra legyen lehetőség az összeolvadás után is.

A fröccsgép

Annak érdekében, hogy minimálisra csökkentsük a száltöredezést és lehetővé tegyük a nagyobb viszkozitású anyagok feldolgozását, bizonyos változtatásokra van szükség a fröccsgépen. Nagyobb fűvókaátmérőt célszerű választani, pl. 0,56 mm-t (7/32") vagy 0,71 mm-t (9/32"), hogy az anyagáramlás akadálytalan legyen. Reverz-rézsútos fűvókát tanácsos használni a szál-erősített műanyagok feldolgozásakor, mert ez csökkentheti az anyagra ható nyíróerőt és a szálhossz degradációját, de a gyanta termikus degradációját is. A 4. ábra mutat be néhány fűvóka-geometriát.

Egy másik megoldási lehetőség, ha kis kompressziójú csigát használunk, amelyet kisebb sebességgel forgatunk (50–200 fordulat/perc) és kisebb torlónyomással (0,345–1,38 MPa). A lapos csigahőmérsékleti profil biztosítja a legmagasabb fűvóka-hőmérsékletet és egyenletes hőmérsékleteloszlást biztosít a csiga mentén. A reverz profilú csigák esetében a legmelegebb zóna a betáplálásnál van. Néha ilyent használnak a hosszú szál-erősítésű műanyagok esetében, hogy a betáplálásnál a megömlést a hő okozza és ne a nyírás. Ugyancsak ezt a fajta csigát használják akkor, ha a fűvókánál túl erős az „nyaladás”.



2. ábra. A jobb és rosszabb eredményeket ígérő elosztócsatorna keresztmetszetek.

(Minden ábra az idézett cikkekből származik, az Avient Corp. szíveségéből.)



3. ábra Egy tipikus, rövid szállal erősített műanyagból készült termék.

Figyelni kell az összecsapási vonalakra.

(Minden ábra az idézett cikkekből származik, az Avient Corp. szíveségéből.)

Feldolgozási paraméterek

Mint többször leírtuk, minden szálerősített anyag fröccsöntésekor a lényeg a szálhossz megőrzése és a lehetőleg minél szabadabb áramlás biztosítása. Néhány fontosabb tényező, amire gondoljunk:

- *Szárítás:* A szárítási igények függenek a gyanta típusától és vízfelvételeitől.
- *A granulátum szállítása:* Kerüljük az éles sarkokat vagy ütközéseket, miközben a granulátumot eljuttatjuk a fröccs-géphez, ezzel megőrizhetjük a kiinduló szálhosszat.
- *Fröccssebesség:* A 25,4 mm/s-nél kisebb sebesség ideális, bár 75 mm/s alatt bármilyen sebesség megfelel. Másrészt viszont, ha túl lassú a befroccsöntés, a gátak vagy a termék vékonyabb falú szakaszai túl korán lefagyhatnak, és nem lesz teljes a szerszám kitöltése.
- *A szerszám kitöltése:* A befroccsöntés során 98%-ra töltjük fel a szerszámot (szemben a nem erősített gyantákra ajánlott 95% értékkel), majd az utónyomási szakaszban töltjük fel a maradék 2%-ot.

A termékdizájnnak is olyannak kell lennie, hogy kidomborítsa a szálerősített anyagok erősegeit és elkerülje annak gyengeségeit. A nagyon kis falvastagság növeli a nyíróerőt a szerszám töltése folyamán és száltöréshez vezet. A vékony falak láthatóbbá teszik a szálakat a végtermékben is. Kerüljük a 0,75 mm-nél vékonyabb falakat, különösen, ha nagyobb a folyási út.

A szálerősített műanyag kompaundok nagy és folyamatosan növekvő piacot jelentenek, a polimerek mintegy harmadát kompaundálják szállal vagy szemcsés töltőanyaggal, amire nagy szükség van a közlekedés, a villamos és elektronikai ipar, a szélenergia részről, de sok ilyent használnak csövek és tartályok gyártásához is. A szénszállal erősített műanyagok piaca 2019 és 2024 között várhatóan éves átlagban több, mint 8%-kal nőni fog. A repülőgépipar és az autógyártás nagy igényekkel lép fel, de a magas ár és a korlátozott kapacitás fékezi a növekedést.

A rövidszálas termékek népszerűsége valószínűvé teszi, hogy egyre többen fogják használni őket. Első lépésként az anyag feldolgozását változatlan fröccsgépen, változatlan paraméterek mellett meg lehet kezdeni – és ha az általános mechanikai jellemzők javítása a cél, ez sokszor elég is. Az itt leírt tanácsok figyelembevételével azonban további optimalizálást végezhetünk a merevség vagy a szilárdság javítására.

Összeállította: dr. Bánhegyi György

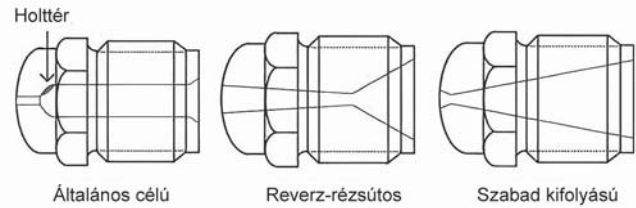
Nagle G.: The Long and Short of It (Part 1) – Tips for Molding Long Fiber-Reinforced Polymer = Plastics Technology, 2021. december,

<https://www.ptonline.com/articles/the-long-and-short-of-it-part-1-tips-for-molding-long-fiber-reinforced-polymers>

Alderman, Z: The Long and Short of It (Part 2) – Tips for Molding Short-Fiber Reinforced Polymers = Plastics Technology, 2022. március,

<https://www.ptonline.com/articles/the-long-and-short-of-it-part-2-tips-for-molding-short-fiber-reinforced-polymers>

Néhány különböző fúvóka-dizájn



4. ábra. Néhány fröccsöntőgépeknél alkalmazott fúvóka-geometria. A szálerősített műanyagokhoz a reverz-rézsütos geometria javasolható. (Minden ábra az idézett cikkekből származik, az Avient Corp. szívésségéből.)