

Gélesedés polietilén extrudálásakor

A gélesedés állandó problémát jelent a polietilén extrudálásakor. A gél kifejezést általában minden olyan apró hibára használják, amely rontja a fólia minőségét. Kialakulása számos tényezőtől, megelőzése a gél típusától függ.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; extrudálás, fóliagyártás, polietilén, gélesedés

A polietilén feldolgozásakor gélcsoportok és fekete foltok keletkezhetnek a termékben. Ezek a degradációból eredő hibák jelentősen befolyásolják a termékek minőségét, esztétikáját, teljesítményét és fóliaszakadást okozhatnak. A probléma megoldása a berendezések üzemi hőmérsékletének, a jelenlévő oxigén mennyiségének, valamint a leállítási és indítási eljárásoknak a szabályozásában rejlik. A megfelelő minőségbiztosítási folyamatok és eljárások alkalmazásával viszonylag könnyen csökkenthető a gélek és fekete foltok előfordulása.

Sokféle gél létezik, a leggyakoribbak az erősen oxidált polimerek, amelyek fekete foltként jelennek meg; az oxigén hatására térhálósodott polimerek, amelyek lágy és gyakran elszíneződött géleket eredményeznek; az erősen összegabalyodott molekulaláncú polimerek (például nagy molekulatömegű polimerek), amelyek nem diszpergálódtak de nem térhálósodtak; nem megömlött polimerek; mesterkeverékekből származó töltőanyag agglomerátumok; egyéb szennyeződések, például fém, fa, rostok, rovarok vagy porok. A gél típusának meghatározása gyakran nehéz, speciális felszerelést és ismeretet igényel.

Mit nevezünk géleknek és fekete foltoknak?

A gélek és a fekete foltok olyan vizuális vagy szerkezeti hibák, amelyek akkor keletkeznek, ha hosszú ideig tartó magas hőmérséklet hatására a polietilén lebomlik a levegő oxigénjének jelenlétében. Gyakran megfigyelhetők új gyártás elindításának elején.

Gélesedés általában az alábbi három gyártási folyamat egyikében jelentkezik:

- A polietilén alapanyag előállítása során a reaktorban.
- A granuláláskor, amikor a reaktorból származó terméket adalékanyagokkal keverik és extrudálják.
- A feldolgozás során, amikor a polietilént extrudálják és készterméket gyártanak, például fűvóformázással.

A géleknek két fontos típusa van, mindegyiket az előállítás módja jellemzi. Az első típus a polimerizáció során jön létre és a reaktorban keletkező olyan polietilén részecskék felhalmozódása okozza, amelyeknek molekulatömege lényegesen nagyobb az átlagosnál. Ezek a gélek szintelenek.

A második típus extrudálásakor vagy fröccsöntéskor képződik oxigén jelenlétében, magas hőmérsékleten a polietilén degradációja miatt. Ezek a gélek általában térhálósodnak és könnyen beazonosíthatók, mivel szerkezetük eltér a reaktorban keletkezett gélektől. Ha a gél hosszabb ideig magas hőmérsékleten marad az extruderben, akkor előfordulhat, hogy tovább oxidálódik

és elszíneződik, barna vagy fekete foltokat létrehozva a késztermékben. Ez a fajta gél gyakran a polimeráram elakadása miatt jön létre az extruder valamelyik szakaszán. Gyakrabban figyelhető meg egy új gyártási folyamat indításakor, de bármikor előfordulhatnak, ha a berendezés vagy a körülmények nem optimálisak.

A fúvóformázás során a gélek és a fekete foltok különösen vékony falú palackok gyártása során jelentenek gondot, mert jelenlétük lyukak kialakulásához vezethet, ez inkább szerkezeti probléma, nem pedig esztétikai. Ha nem feltétlenül keletkeznek lyukak, akkor is láthatók lehetnek a felületen és ronthatják a termék minőségét. Ez különösen szembetűnő például a tejes palackoknál, ahol a fekete foltok könnyen előtűnnek. Fólia extrudálásnál a gélek és a fekete foltok szintén hatással vannak a fólia megjelenésére és nyomtatási problémákat is okozhatnak. A prémium termékek csomagolásánál ezek a hibák ronthatják a fogyasztó termékminőségről alkotott képét. Jelentős mértékű gélesedés, különösen indításkor vagy termékváltáskor, komoly gyártási problémákat okozhat.

Gélek típusai

Térhálósított polimerek

„Beégéseknek” is nevezik, a polimer termooxidatív lebomlásával jönnek létre, térhálósított, nagy molekulatömegű domének, amelyek nem diszpergálhatók. Ha a lebomlás különösen előrehaladott, akkor sárga vagy barna színűek, egyébként színük ugyanolyan, mint az eredeti anyagé, de lehetnek átlátszóak is. A kevésbé térhálósodott géleket gyakran nehéz megkülönböztetni a nem megömlött polimertől.

Szervetlen agglomerátumok

Az „örleményként” is ismert szervetlen agglomerátumok ásványi adalékanyagok, például blokkolásgátlók és pigmentek nem elégséges diszpergálásából származnak. Ezek a szemcsék tapintásra „élesebbek”, mint a térhálósított polimer gélek. Jól diszpergálódó mesterkeverékekkel a szemcsék kialakulását minimálisra lehet csökkenteni. A magas nedvességtartalmú vagy összetapadt adalékok nehezebben diszpergálhatók.

Nem diszpergált színezőanyag

A mesterkeverék formájában hozzáadott szervetlen adalékokhoz hasonlóan, ez a géltípus is ritkán fordul elő, ha jól diszpergálódik a keverék. Ezek a gélek általában a színezőanyagra jellemző színűek, bár előfordulhat, hogy a gél valódi színe nem látszik, ha pigmentált fóliába van beágyazva. Ebben az esetben a gél metszete feltárhatja a valódi színét.

Nem megfelelően megolvadt részecskék

Ha a műanyag nem ömlik meg teljesen az extruderben, a nem megfelelően megolvadt részek nem keverednek el és a végtermékben átlátszó gélt képeznek. Megjelenésükben nagyon hasonlítanak a térhálósított gélekhez, de egyszerű tesztekkel megkülönböztethetők egymástól. A feldolgozási körülmények (hőmérsékletprofil, feldolgozási sebesség stb.) mellett leggyakrabban az alapanyaggal vagy a regranulátumokkal kapcsolatos problémák miatt keletkeznek. Az extrudálás során a kisméretű részecskék („finomszemcsék”) az elégtelen nyírás következtében nem olvadnak meg megfelelően. Ezek a részecskék gyakoriak a regranulátumokban és a morzsalékosabb pelletekben. A magasabb olvadáspontú polimerek által keletkezett szennyeződések szintén negatívan befolyásolják a megömlést.

Halszemek

A „lencseként” is ismert halszemek megnyúlt, üreges gélek, melyek nedvesség vagy a fóliában lévő egyéb illékony anyagok hatására jönnek létre és a feldolgozás során gázzárványokat képeznek a fóliában. Az alapanyagok nedvességvizsgálatával azonosítható legegyszerűbben a halszem kialakulásának oka.

Szálak

A szálas gélek szabálytalan alakúak, hosszúak, keskenyek, egyenesek vagy íveltek.

Műanyag szálak

A műanyag szállkötegeket („angyalhaj”) vákuumos szállítórendszerek alakítják ki, és a nem megömlött finomszemcsékhez hasonló, megnyúlt, rostszerű gélek képződnek. A polimer szálak a csomagoló zsákokból, más szőtt és nem-szőtt polimerekből származó szennyeződések következtében is bejuthatnak a gyártóüzembe. Mivel ezek jellemzően polipropilének, poliészterek vagy poliamidok (mindegyiknek magasabb az olvadáspontja, mint a polietilénnek), nem olvadnak meg és szálszerű hibák jönnek létre a fóliában.

Egyéb (nem műanyag) szálak

A karton (cellulóz) és más szövetszálak szintén gélesedést okozhatnak, amikor szennyezik az anyagáramot. A műanyag szálakkal ellentétben ezek a szálak nem olvadnak meg, függetlenül a feldolgozási hőmérséklettől.

A gélek és fekete foltok keletkezésének megelőzése

A gélesedést és a fekete foltok képződését többféle módon lehet megelőzni, ezek az alábbiak:

- A reaktorok pontos szabályozása.
- Speciális eljárások a reaktorok karbantartásakor.
- A keverőextruder állapotának szigorú ellenőrzése és alapos karbantartása.
- Szigorú eljárások a keverő leállításakor, beindításakor és tisztításakor.
- A termék gyakori és alapos minőségellenőrzése.

Ha a beszállítótól érkező alapanyag jó minőségű, csökken annak kockázata, hogy gélek jelenjenek meg a termékben. Az antioxidáns adalékanyagok stabilizálják a polimert és növelik a degradációval szembeni ellenállást. A feldolgozási folyamat során a polietilén hozzátapadhat a gép fémfelületéhez a lassú áramlású területeken és idővel degradálódhat. A berendezés leállításakor a fémfelületek lehűlnek, ekkor a degradálódott anyag leválhat a felületről. Amikor a berendezést újraindítják, a lebomlott polietilén miatt fekete foltok jelenhetnek meg a termékben.

A gélek és fekete foltok előfordulásának csökkentésére elengedhetetlen a megfelelő gépkezelési és karbantartási irányelvek betartása. Kulcsfontosságú a gép üzemi hőmérsékletének, a jelenlévő oxigén mennyiségének, valamint az indítási és leállítási eljárásoknak a szabályozása. Az utóbbiakra fordított idők optimalizálhatók, hogy a lehető legrövidebb időt vegye igénybe a polimer felmelegítése és oxigénnel való érintkezése.

Fontos szempontok a gélesedés csökkentése érdekében:

- A berendezés különböző egységeinek az indítása fokozatos legyen. Fólia extrudálásnál előnyös lehet a szerszám melegítését korábban elkezdeni, mint az extruderét.

- Leállításkor ajánlatos, hogy az extruderben maradjon műanyag, megakadályozandó az oxigén bejutását.
- Leállításkor fontos a lehető leggyorsabban csökkenteni a hőmérsékletet és alacsony szintre állítani. A henger hűtőrendszerének használata a hőmérséklet csökkentésére előnyösebb, mint hagyni, hogy a gép természetes módon hűljön le.
- A berendezések karbantartása szintén lényeges. A kopott extrudercsigák és hengerek megtörhetik az anyag áramlását és megnövelhetik a tartózkodási időt az extruderben.
- Antioxidánsokat tartalmazó mesterkeverékek használata is megfontolandó a lebomlás csökkentése érdekében.
- A tisztítóágensek segítik a szennyezőanyagok eltávolítását.

Szilárd műanyag darabok akkor fordulnak elő az extruderben, ha az anyag szállítási és adagolási sebessége meghaladja a csiga plasztikáló teljesítményét. Általában, ha az extrudercsiga sebességét megduplázzák, a szállítási és adagolási sebesség is megduplázódik, viszont a plasztikáló teljesítmény csak 1,4-szeresére nő. Így az áramlási sebesség gyorsabban emelkedik a csiga sebességével, mint a plasztikáló kapacitás. A csiga sebességének növelése olyan mértékű lehet, amelynél jelentős mennyiségű szilárd műanyag távozik az extruderből.

Számos módszer létezik a szilárd polimer fragmensek csökkentésére. Az első legkézenfekvőbb a csiga és a kihozatali sebesség olyan szintre való lassítása, amely csökkenti az extrudátumban a szilárd darabok mennyiségét. Ez a módszer gyakran jól működik diagnosztikai eszközként, de az alacsony sebességű működés nem gazdaságos a feldolgozók számára. Másik módszer, és jobb opció, egy új csiga Maddock-típusú keverőelemmel, közel a csigavéghez. A Maddock-keverőelemek kiválóak szilárd polimer fragmensek felfogására, megömlésztésére, majd diszpergálására. A harmadik lehetőség egy olyan új csiga, amely sekélyebb adagolózáronál és Maddock-keverővel rendelkezik. A sekélyebb adagolózárona kisebb fajlagos sebességgel működik és növeli az ömledékkapacitást a szilárd anyag szállítási és adagolási sebességéhez képest.

A csiga pangó vagy rendkívül hosszú tartózkodási idejű részein a polimer degradálódhat. Az antioxidánsok lelassíthatják a folyamatot, de hiányuk bomlást idéz elő. A magas hőmérséklet és a légköri oxigén jelenléte felgyorsítja a degradálódást. A lebomlott műanyag leválhat a csigáról és az extrudátummal együtt eltávozik, gélesedést okozva a végtermékben.

Az ömledékszóna belépési pontjának nem megfelelő kialakítása miatt az adagolózáronban növekedhet a hőmérséklet és nyomás, ami tömöríti a pelletet. Ennek a szilárd polimer ágnak a kompressziós zóna (ömledékszóna) bejáratán túl kell jutnia. Ez az út nagyon szűk is lehet a csigaszárny kialakítása miatt, így akár 30%-kal is csökkentheti az anyagáramlást. Megoldás lehet a kompressziós zóna hosszának növelése.

A részlegesen kitöltött menetszatórnák is a polimer degradációját okozhatják. Ebben az esetben a polimer fő árama a szatórna sodróoldala mentén halad, míg a degradált rész a stagnáló zónában található. A polimer típusától függően a lebomlás óráktól napokig tarthat. A lebomlás után fellép némi folyamatinstabilitás, aminek következtében a degradálódott műanyag egy része leválik a csigáról, gélesedést okozva az extrudátumban és a termékben.

Összeállította: Dr. Lehoczki László

Cowan, J.; Fairhall, K.: Avoiding gels and black specks in polyethylene extrusion = White Paper, Qenos Pty Ltd, 2015. augusztus

Whar are films „gels” = Ingenia Flexible Packaging Brief

Spalding, M. A.: How screw design can mitigate gels in PE films, 2022. május 2.,

<https://www.ptonline.com/articles/how-screw-design-can-mitigate-gels-in-pe-films->