

Hibaelhárítás műanyagok extrúziója során

Az extrúziós folyamatokban számos probléma léphet fel, ezen belül a fóliák és az átlátó extrúziós termékek esetében a mikrogélek és a különböző elszíneződések jelentős minőségi problémát okozhatnak. E jelenségek okainak felderítése, majd ez alapján elhárításuk – vagy legalább előfordulásuk jelentős mértékű visszaszorítása – fontos feladat. Az extruderek belsejében a műanyagömladék nyomásának túlzott mértékű megnövekedése a berendezés tönkremeneteléhez, sőt személyi sérülésekhez is vezethet. E jelenség detektálása és a túlnyomás megakadályozása fontos EU előírások bevezetését tette indokoltá.

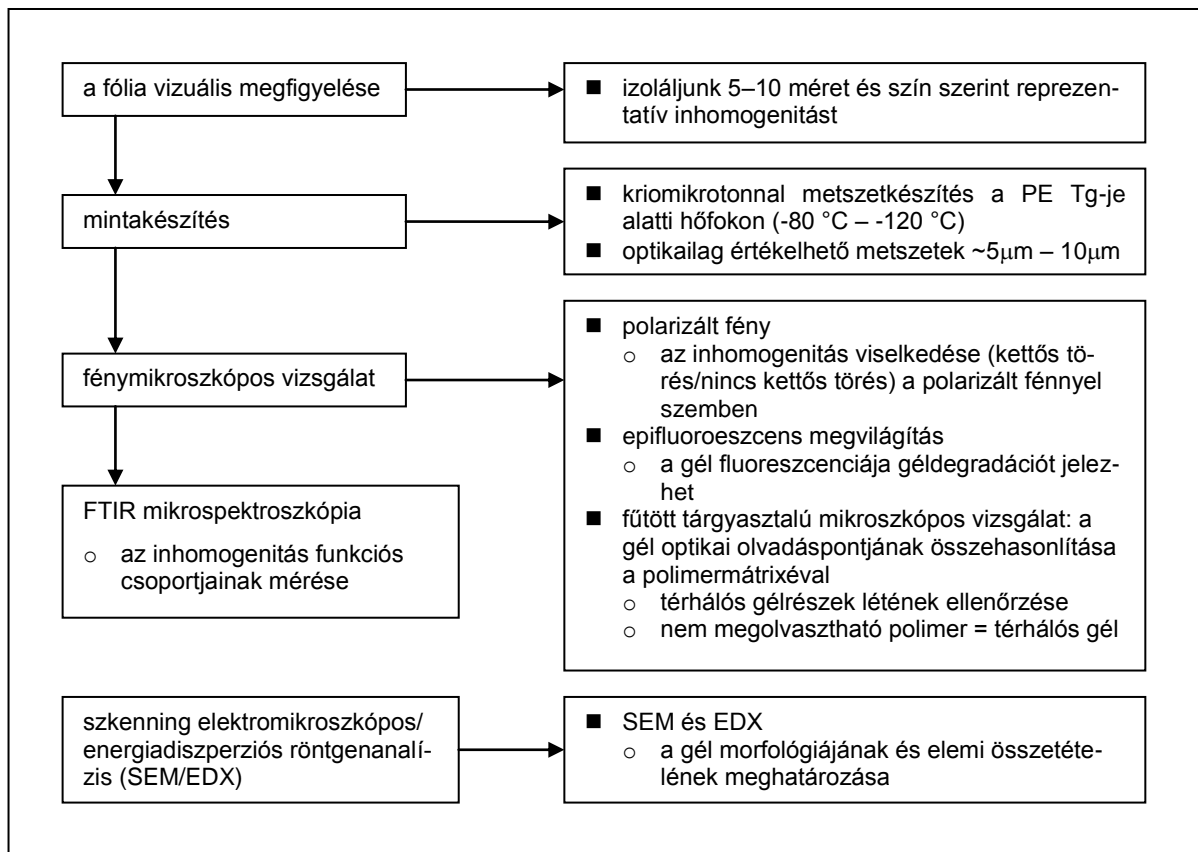
Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; extrúzió; hibaelhárítás; biztonságtechnika; poliolefin; ütészálló poisztirol.

A poliolefinfóliák extrúziójánál viszonylag gyakran előfordul, hogy a fóliában mikrogélek, elszíneződések jelennek meg, minőségi problémát okozva. Ennek számos oka lehet. A hiba elhárításának első lépése az, hogy feltárják, mi okozza e jelenséget. Ehhez az szükséges, hogy az inhomogenitásokból reprezentatív számú mintát gyűjtsenek és azokat vizsgálják meg. A leggyakrabban előforduló inhomogenitásforrások a következők:

- erősen oxidált polimer, amely rideg, fekete szemcséjű,
- oxidációs folyamatban térhálósodott polimer gélszemcsék,
- erősen összegabalyodott, ált. nagy molekulatömegű polimerláncok gélszemcséi, amelyek nem olvadtak el a polimerömladékben,
- szilárd polimerszemcsék,
- nem diszpergált töltőanyag szemcsék a mesterkeverékből,
- más típusú polimer vagy idegen anyag, mint pl. fém, fa, textilszálak, homok, rozsdá.

Az inhomogenitások vizsgálatára számos módszer használható, egy általános, lépésenként kivitelezhető sémát mutat be az *1. ábra*. Gélek számos módon és okból keletkezhetnek, mint pl.:

- az alapanyag gyártása során,
- a műanyag feldolgozási folyamatában,
- olyan granulátumok száraz keverésekor, amelyek ömlédeke erősen eltérő viszkozitású a feldolgozó gép nyírási viszonyai között,
- kémiaiilag különböző polimerek összekeverése,
- közvetlen szennyeződések.



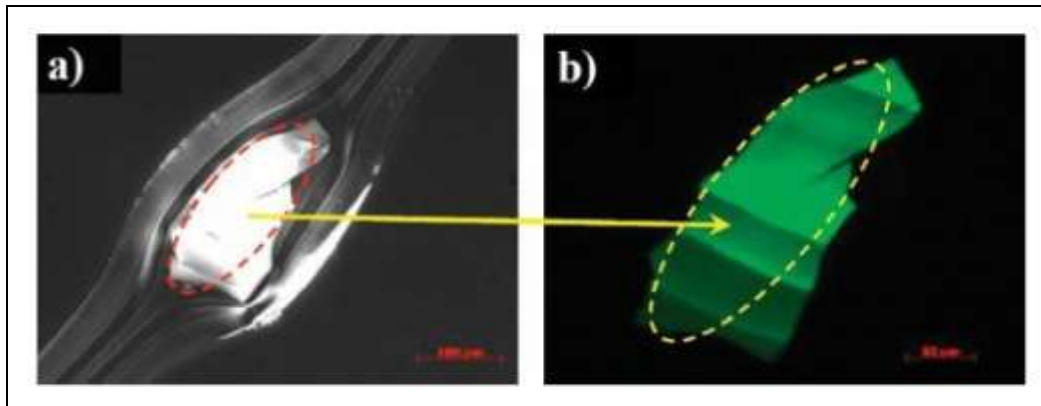
1. ábra Polietilénfóliában található inhomogenitások (gélek) típusának általános meghatározási sémája

A korszerű alapanyaggyártó technológiák általában oxigén kizárása mellett állítják elő a polimereket és a granulátumokat készítő extruderek is olyan áramvonalasak, hogy szinte teljesen kizárják a hosszú tartózkodási idővel járó pangó részeket a berendezésekben. Ezért kicsi a valószínűsége, hogy az oxidatív degradációból származó térhálós gél az alapanyaggyártónál kerül a polimerbe. Ugyanakkor a nem megfelelően kialakított műanyag-feldolgozó gépek és szerszámok, illetve feldolgozási paraméterek viszonylag gyakran vezetnek ilyen gélek képződéséhez.

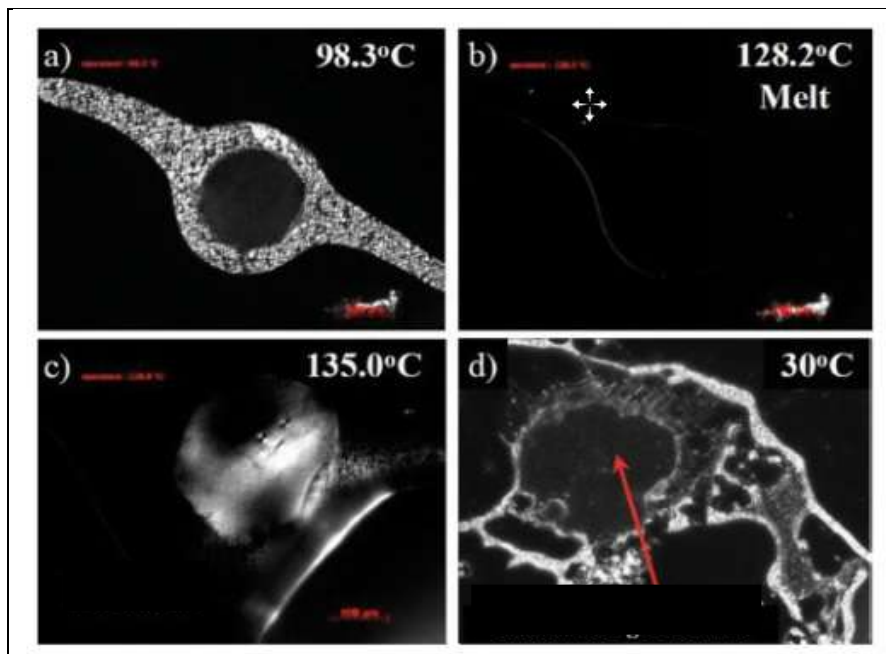
A leggyakrabban a polimer oxidatív degradációja következtében térhálósodott gélek okoznak problémát. Az ilyen géleket fénymikroszkóppal, polarizált fényben, illetve UV fényrel megvilágítva, fluoreszcenciaméréssel lehet kimutatni. A nem megolvasható gél ugyanis polarizált fényben (kereszttezett polárszűrővel) kettős törést mutat és a fluoreszcencia megléte oxidált csoportokat jelez (2. ábra). Fourier transzformációs infravörös spektroszkópiával (FTIR) ki lehet mutatni az oxidált oldalsorportok különböző típusait.

Egy még nem feketére színeződött, tehát csak kevésbé előrehaladott oxidatív degradációt jelző gélszemcse mikroszkópos felvételeit szemlélteti a 3. ábra. A polietilén olvadáspontja felett a polimerkristályok kettős törése eltűnik, de a mikroszkóp

tárgylemezének mechanikai összenyomása (pl. egy fogászati eszközzel) a gél polimerláncainak anizotrópiáját okozta, és ezért a kettős törés újra megjelent. Az, hogy a polietilén olvadáspontja fölé melegített és azután visszahűtött gél megtartotta méreteit és alakját, és újra kettős törést mutat, azt jelzi, hogy térhálós szerkezetről van szó, nem pedig az ún. összegabalyodott láncok alkotta gélről.



2. ábra Egy többrétegű fólia PE rétegében talált erősen oxidált térhálós gél szemcse fényképe átmenő polarizált fényben (a) és UV fényvel adott fluoreszcencia képe (b)



3. ábra Fűthető tárgyasztalú fénymikroszkóppal készített képek oxidatív degradációval képződött gél szemcseről polarizált fényben: (a) az olvadáspont alatt, (b) az olvadásponton, (c) összenyomás hatására fellépő kettős törés (d) visszahűtve 30 °C-ra

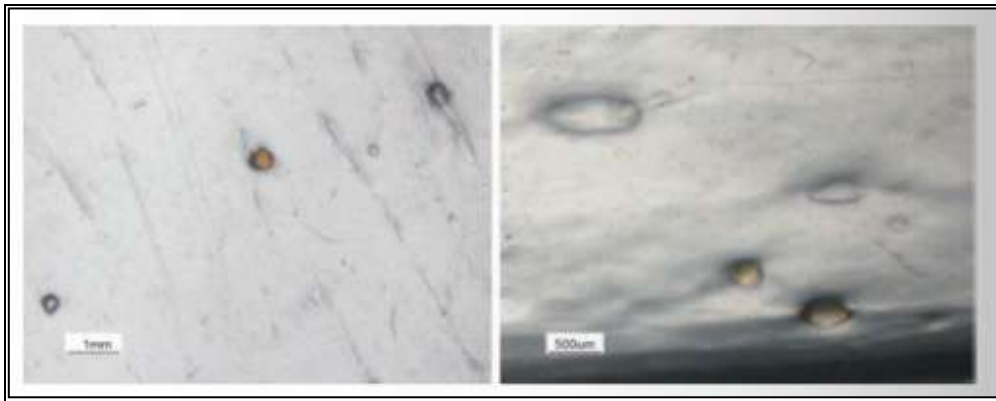
Esetenként külső szennyező források okozzák az inhomogenitások megjelenését. Így például egy olyan műanyag-feldolgozó üzemben, ahol a technológiai műanyag hulladékból készült regranulátumot is felhasználtak, elszíneződéseket vettek észre a termékeken. Ezeket megvizsgálva megállapították, hogy a vörös színű szemcsék vasat és oxigént tartalmaznak, vagyis nagy valószínűséggel rozsdát, amely az egyik tárolótartályból kerülhetett a rendszerbe. Fémszennyeződések általában a műanyag-feldolgozó gépekből, a granulátumot szállító járművekből (tartálykocsikból), üzemben belüli tározókból és csővezetékekből vagy takarítási hiányosságokból kerülhetnek be az anyagáramba.

Egy másik üzemben a cég egy másik műanyag-feldolgozó gépén használt PET került a polietilénfóliába, amelyet az erős kettős törést mutató gélszemcse olvadáspontjának (265 °C) és FTIR spektrumának alapján lehetett kimutatni.

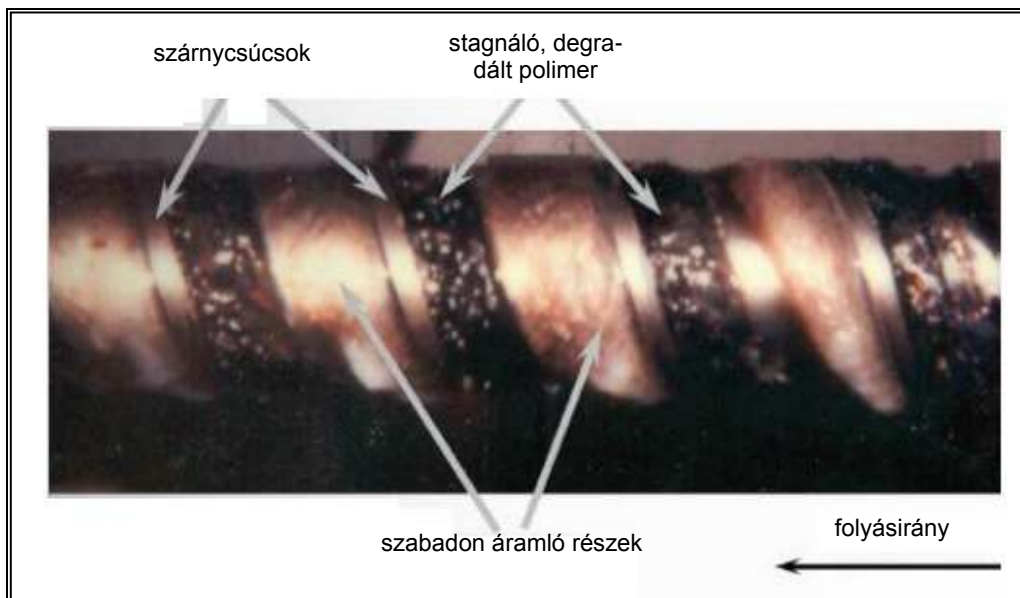
Elég gyakori eset, hogy szálak kerülnek az extruderbe. Ezek legtöbbször a géprongyokból vagy cérnakesztyűkből származó pamutszálak, vagy a csomagolóanyagokból származó cellulózszálak. Beazonosításuk FTIR spektrumukból történhet. Ennek alapján általában már könnyen kideríthető, hogyan történt a szennyeződés, és megfelelő intézkedésekkel hogyan lehet azt visszaszorítani.

Térhálós gélek képződhetnek az extrudercsiga azon részein, ahol az ömledékáramlás pang, illetve a szerszám vagy az összekötő egység hasonló részein. A gélképződés bekövetkezhet fél óra alatt a PE-LLD típusoknál, de eltarthat 12 napig is az PE-LD esetében. Pangó szakaszok lehetnek a keverő és a kompressziós zónák be- és kilépő szakaszainál, és általában olyan esetekben fordulnak elő, amikor (a helytelenül kialakított csigageometria következtében) nem az adagolózóna határozza meg az ömledékáramot, hanem az ezt követő zónák valamely része. Ilyenkor az adagolózóna csigacsatornáit csak részben telítődnek és csak az előre mozduló felületek továbbítják az ömledéket. Az üresen maradó hátsó élek felületére előbb-utóbb anyag rakódik ki, amely tartósan ottmaradva degradálódni, majd pedig térhálósodni kezd. Az extrúziós folyamatban bekövetkező kisebb ingadozások hatására a degradált anyagszemcsék a felületről leválva az anyagáramba kerülnek és így a termékben „gélzapor” formájában jelennek meg.

Ez a jelenség lépett fel egy üzemben, ahol egy új 33 L/D-s egycsigás extrudert helyeztek üzembe a kapacitás növelése érdekében. Eleinte kitűnő minőségű PE-LD fóliát gyártottak vele, de 12 nap után időnként néhány percig barna színű térhálós gélszemcsék (4. ábra) jelentek meg. A hiba elhárításának érdekében csökkentett kihozattal, magas hőmérsékleten kezdték működtetni az extrudert, majd leállították és a forró csigát kihúzták. Megállapították, hogy az adagolózóna több szakaszán elszíneződött gél képződött (5. ábra). Ezen kívül összetömörödött szilárd anyagdarabokat találtak a kompressziós zóna kezdeténél, ami túl hirtelen szűkítette le az áramló anyag keresztmetszetét. A csigacsatorna e területének keresztmetszetét megnövelték (a csigacsatorna mélységét megnövelték és a szárny vastagságát csökkentették) és ezzel a probléma megoldódott, mivel csökkent az ömledék áramlásával szembeni lokális ellenállás. Vagyis most már az adagolózóna határozta meg az ömledékáram nagyságát és nem a kompressziós zóna.



4. ábra PE-LD fóliában megjelenő térhálós gélek fotója kétféle nagyításban



5. ábra A kiemelt csiga fotója a szabadon áramló és az elszíneződött stagnáló zóna szakaszokkal

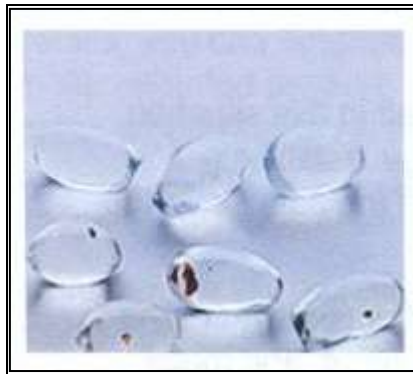
Az erősen összegabalyodott polimerláncok okozta gélszemcséket (ezek a melegítés hatására megolvadó, tehát nem térhálós gélek) a keverés intenzitásának megnövelésével lehet eliminálni. Általában elegendő a kilépő szakasz közelében fokozni a keverőzónában fellépő nyírófeszültséget. Ez legegyszerűbben úgy érhető el, ha a keverőzóna csigaszakaszainak átmérőjét növelik, és ezzel csökkentik a csiga élei és a csigaház közötti rés nagyságát. Az ilyen gélek szétosztásához szükséges nyírófeszültség polietilén esetében általában 100–200 kPa.

Ha a fóliában elszínesedett szemcsék jelennek meg, az szintén pangó anyagáramra vezethető vissza, amely általában kis szakaszokon jelentkezik a csiga, a szer-

szám vagy az összekötő csatornában, esetleg az ömledékszivattyúban (ha van). E jelenség leggyakoribb oka az, hogy a csigamenetek tövének rádiusza túl kicsi a csigamélységhez képest, és ezért a csigaszárnnyak tövéénél az anyagáramlástól elkülönült, stacioner örvénylés lép fel. Az itt hosszasan tartózkodó polimerláncok idővel oxidálódnak, majd elszénesezve feltapadnak a csiga falára. Az extrúziós folyamat kisebb ingadozása következtében a fémfelületről leváló részecskék az anyagáramba kerülve megjelennek a termékben. Bár az ajánlásokban az szerepel, hogy a csigaszárnny sugara legalább a menetmélység 50%-ával legyen egyenlő (nagy csigáknál 25 mm-ig), nem ritka az a helytelen gyakorlat, hogy csak 10–20%-os rádiuszokat alkalmaznak.

Töltött fóliákban gyakran okoznak inhomogenitást a nem megfelelően elosztatott töltőanyag szemcsék agglomerátumai. Ha ugyanis a mesterkeverék gyártása során a töltőanyag szemcsék agglomerálódnak, ezeket az extrudálás (vagy fröccsöntés) folyamán már nem lehet elosztatni.

Ritkán, de előfordul, hogy a műanyag alapanyagot gyártó által beszállított granulátumok elszíneződéseket tartalmaznak (6. ábra). Figyelembe véve a granulátumok méreteit, kiszámítható, hogy szennyezett granulátumok már nagyon kis arányú előfordulása is komoly minőségi problémákat okoz. Így például, ha egy 10 mm átmérőjű és 1 mm falvastagságú átlátszó csövet gyártanak, és csak minden tízezredik granulátum szennyezett, átlagosan 5,8 m-enként fog az elszíneződés jelentkezni. Az alapanyaggyártók általában rendelkeznek olyan automata optikai ellenőrzőrendszerrel, amely detektálja és az anyagáramból eltávolítja az elszíneződött granulátum szemcséket, de az ilyen módon szelektált alapanyag drágább. Ilyen berendezést a műanyag-feldolgozó is vásárolhat, ennek gazdaságosságát számításokkal lehet ellenőrizni.

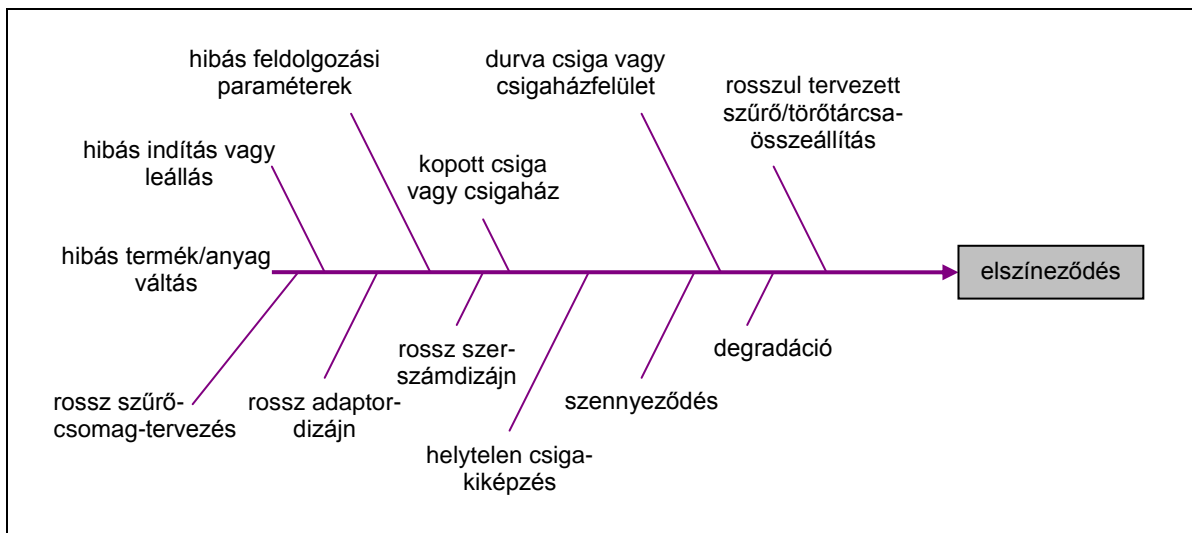


6. ábra Fekete és sötét elszíneződéseket tartalmazó granulátumok

Az elszíneződés oka leggyakrabban azonban a feldolgozó üzemben lelhető fel. Az okok egy része a korábbiakban bemutatott gélképződésre vezethető vissza. A teljesség igénye nélkül bemutatott felsorolást a 7. ábra szemlélteti.

Az egyik leggyakoribb ok a csiga kopása. Sok feldolgozó egyáltalán nem monitorozza extruderei csigáinak méretváltozását, pedig ezzel sok minőségi probléma és reklamációs költség megtakarítható lenne. A csigaátmérőt évente legalább egyszer

célszerű a csiga teljes hosszában ellenőrizni, ehhez egyszerű célberendezések kaphatók. A csigaátmérő csökkenésével megnövekszik a csigaház és a csigaszárnyak közötti rés, ami több problémát is okoz. Először is csökken a csiga szállítóteljesítménye, amit a kihozatal állandóan tartásához megnövelt fordulatszámmal és ezzel együtt nagyobb energiafogyasztással lehet kompenzálni. Másodszor megnő annak a műanyagrétegnek a vastagsága, amely a csigaház falán található. Ez növeli a hőszigetelést, és ezáltal az ömledék hőmérséklete kevésbé lesz kézben tartható, ami könnyen degradációhoz vezethet.



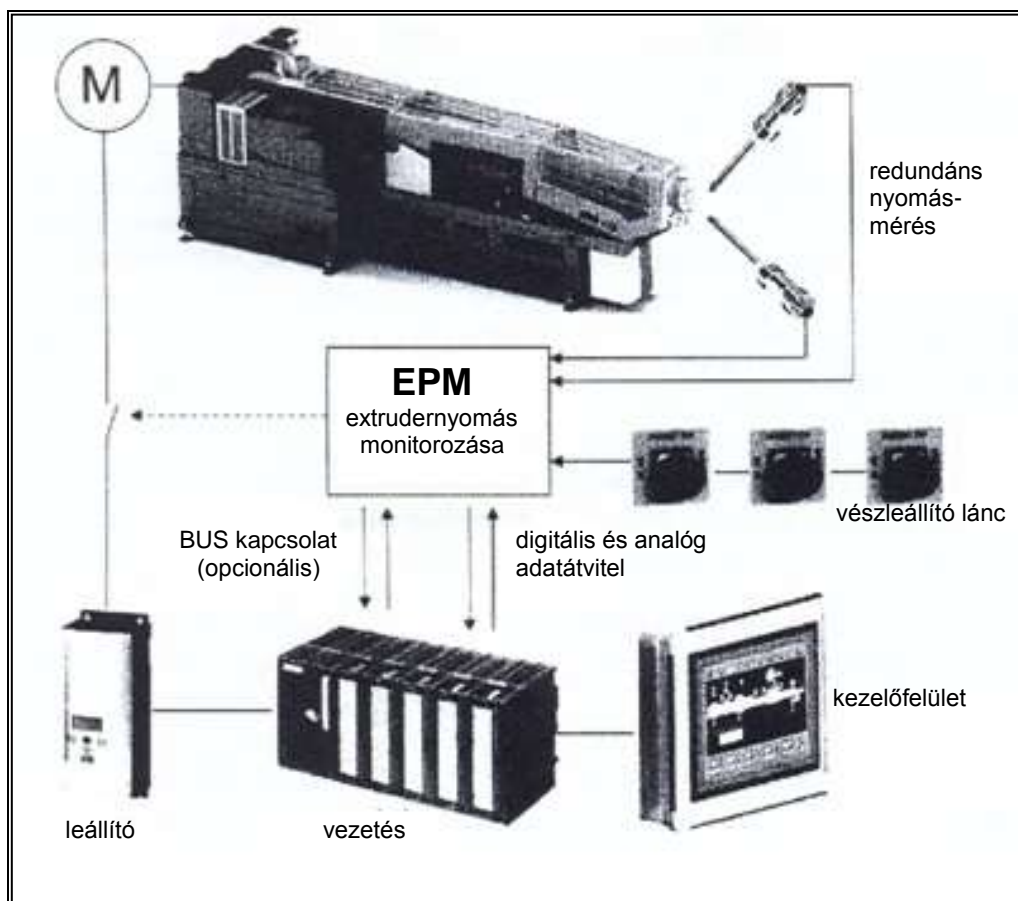
7. ábra Az extrudált termékeken megjelenő elszíneződések lehetséges okai

A csigakopás által befolyásolt feldolgozási paraméterek közül az ömledék-hőmérséklet, a kihozatali sebesség és a motor fajlagos energiafelvétele a legfontosabbak. A kopás „eredménye” elszíneződés, folyási nyomok, kráterek megjelenése. Fontos monitorozni a fajlagos energiafelvételt, amely a meghajtó motor 1 kg tömegű termék előállításához szükséges villamos energiaszükségletét (SEC) jelenti (kW/kg), továbbá az 1 kg termék előállításához időegység alatt szükséges fajlagos fordulatszámot (kg/rpm/h), mivel ezek a paraméterek függenek a csiga kopásának mértékétől. Poliolefinnek esetében a SEC értéke 0,25 kW/kg körüli érték. A SEC értékének növekedése és a fajlagos fordulatszám csökkenése a csiga kopására figyelmeztet. Ha nem cserélik ki (vagy újítják fel) a megkopott csigát, akkor gyakran a csiga árának 10-100-szorosát meghaladó költségeket kell elszenvedni termelés kiesés, selejtarány-növekedés és minőségi reklamációk miatt.

A kopott csiga következtében megnövekedett anyagréteg-vastagság miatt az anyag tartózkodási idejének eloszlása szélesebb jellegű lesz, és ezért hosszabb lesz a gyártás indításához és leállításához szükséges átállási idő, illetve a tisztítás ideje is. Ezáltal nő a technológiai hulladék aránya és a selejtarány is, a hasznos üzemidő pedig csökken.

Az extrudált termékek minőségi problémái mellett szükséges arra is odafigyelni, hogy a nem teljesen megolvadt vagy pedig az anyagáramlás végéhez közeledve újra megszilárduló műanyag túlnyomást hozhat létre az extruderben. Ez nemcsak a berendezések károsodását okozhatja, hanem a kezelőszemélyzetet is veszélyeztetheti. Az Európai Unióban 2009 végén hatályba lépő, a különböző gépekre vonatkozó 2006/42/EG rendelkezés előírja, hogy kockázatelemzést kell végezni a gépek teljes életciklusára nézve. Ennek részét képezi a túlnyomás elleni védelem kérdése. A jelenleg érvényes, de átdolgozás alatt álló *EN 1114* biztonsági előírás az extruderek túlnyomás elleni védelmével is foglalkozik.

Az általában alkalmazott mechanikai védelmi rendszerek, mint amilyenek a hasadótárcsák és a túlnyomás esetében megnyíló géppontok, megnyúló rögzítő csavarok stb. mellett *egyre fontosabb szerepet kapnak a nyomásmérő szenzorokból kialakított szabályozórendszerek*. Ha a túlnyomás kialakulását ezek az érzékelők még időben észlelik és beavatkoznak, nem kerül sor a mechanikai védelem esetében általában bekövetkező anyagkiáramlásra. Az ilyenkor kiáramló forró műanyagömladék önmagában is veszélyforrás a kezelőszemélyzet számára, de károsíthatja a környező berendezéseket is, és a tisztítás és helyreállítás jelentős üzemidő-kieséssel jár.



8. ábra A nyomásmérés beintegrálása az extruder vezérlésébe

Miután a megszilárduló és ezáltal potenciálisan nyomásnövekedést előidéző anyagdugó eltömheti a nyomásérzékelőt is, meghamisítva a nyomás jelzett értékét, legalább két nyomásmérőt kell biztonsági okokból alkalmazni. Az általában az extruder végének közelében vagy az ömledékszivattyúnál elhelyezett két nyomásmérő egyrészt a nyomás abszolút értékét is méri, de állandóan monitorozzák a két szenzor között mutatkozó nyomáskülönbséget is. Így, ha akár valamelyik szenzor abszolút nyomásértéke, akár a nyomáskülönbség egy bizonyos előre meghatározott értéket meghalad, a gépet a vezérlés leállítja (8. ábra).

Összeállította: Dr. Füzes László

Spalding M.A., et.al.: Troubleshooting and mitigating gels in polyolefin products = *Plastics Engineering*, 69. k. 8. sz. 2013. p. 50–58.

Rauwendaal Ch.: Extrusion without discolored specks = *Plastics Technology*, *www.ptonline.com*. 2013. május.

Rosendahl P.: Kontrollierte Kontrolle = *Kunststoffe*, 100. k 4. sz. 2011. p.63–64.