

Minőség-ellenőrzés a fóliagyártásban

A műanyag fóliák minőségi jellemzői az alkalmazási területtől függően széles skálán változnak. Emiatt a minőség-ellenőrzés módszerei is különböznek egymástól. A többrétegű fóliák minőségét a határfelületeken fellépő instabilitás is befolyásolja.

Tárgyszavak: fóliafűvés; minőség-ellenőrzés; strukturált felületek; többrétegű fóliák.

A műanyag fóliák gyártása is egyre inkább elképzelhetetlen a gyártási technológiába integrált minőségfelügyeleti rendszer nélkül. A gazdaságos és hatékony minőségbiztosítás elektronikus képfeldolgozáson alapuló, automatikus hibafelügyeleti rendszerrel érhető el, amelyet a berendezés szabályozórendszerébe építenek. Az on-line hibafelügyeleti rendszer egy sor előnyt hoz a feldolgozó számára. Lehetővé teszi a gyártási folyamat gyors optimalizálását, aminek különösen a gyakori típusváltások esetén van jelentősége, hiszen ezáltal kisebb lesz az anyag- és energiaveszteség. A rendszer további előnye, hogy az ISO 9000 szabványok szerinti minőségi dokumentumok elkészítését is lehetővé teszi. Mindazonáltal az alkalmazás ismeretében a termelési folyamat gazdaságosságát is figyelembe véve kell optimalizálni a felügyelőrendszert, illetve kiválasztani a minőség-ellenőrzés módszerét.

A hibahelyek regisztrálása a fóliagyártás során

A legfontosabb a fóliák hibahelyeinek felismerése, amelynek érdekében a fóliát a gyártás során folyamatosan fénnel vizsgálják. Az átlátszó fóliánál áteső, a matt fóliánál ráeső fénnel detektálják a hibákat. Ahhoz, hogy ez egy minőségszabályozó rendszer alapja lehessen, szükség van a különböző típushibák azonosítására, szabványosítására, és arra, hogy a rendszer „betanítható” legyen a különböző alakú és méretű hibák felismerésére és az automatikus reagálásra.

A hibahelyeket a fóliában kisméretű inhomogenitások okozzák, amelyek különböző alakúak lehetnek, és általában kiemelkednek a felületből. A leggyakoribb hibák a csomók, gélrészecskék, égett (fekete) foltok, repedések, homályos foltok stb. A különböző hibák gyakran speciális alakzatúak, ezért beszélnek pl. rovarról vagy halszemről is, amikor a fóliahibákat kategorizálják. *Teljesen hibamentes fólia nem létezik*, a csomók, inhomogenitások a műanyagok természetéből és a technológiai folyamatból adódóan elkerülhetetlenek.

A hibahelyek, csomók keletkezésének legfontosabb okai az alábbiak:

- nem optimális extrudálási technológia (csigageometria, lerakódások) – 20%,
- alapanyagból eredő hibák (szennyeződések, térhálósodás) – 25%,

- fóliagyártás során elkövetett hibák (hibás hőmérsékletek stb.) – 15%,
- hibák a granulátum szállítása során (tárolók szennyezettsége, a granulátum le-töredezése, kopása, porzás) – 40%.

Az alapanyag-szállítóknál, a granulátumgyártóknál évtizedes gyakorlat a gélrészecskék – újabban on-line – számlálásán keresztüli minőség-ellenőrzés. Az automatikusan vett minták adatai alapján a termelésirányító rendszer optimalizálja a paramétereket. Az on-line érzékelésnél a rendszer optikai felbontóképességét a későbbi alkalmazási terület alapján állítják be. Például a szokásos 50 µm-rel szemben nagyfeszültségű kábelhez gyártott alapanyagnál 5 µm felbontással dolgoznak.

A hibák tipizálására nincs semmiféle szabvány, de a gyártók és a felhasználók közötti kommunikációban leginkább a hibák három csoportját különböztetik meg:

- csomók, gélrészecskék – nem megoldott, esetleg térhálós anyag, átlátszó fóliánál vízcsepphez hasonló megjelenés;
- égés, sötét foltok, pöttyök – elégett, krakkolódtott anyag, barnás vagy fekete színeződés;
- „halszem” – csomó, amelyet vékonyodás követ (ezt gyakran azonosnak tekintik a csomókkal).

A detektálható hibák méretét, a reagálás mikéntjét természetesen a termék felhasználásától függő minőségi igényekhez kell igazítani.

Az optikai fóliáknál többnyire előírás, hogy 100 µm vagy annál nagyobb hiba nem lehet, ezért a fóliagyártásnál az érzékenységet általában 50 µm-re állítják be, de a fóliák bevonatolását végző berendezéseken 25 µm-t alkalmaznak. 100 µm alatti érzékenység esetén tiszta tér minőségű környezet kell, mert különben az álhibákat, pl. a port is jelzi a rendszer.

A gyógyszer-csomagoló fóliáknál 200 µm körüli felbontást alkalmaznak, amellyel a 0,1 mm² nagyságú hibákat biztonsággal jelezni lehet.

A műszaki fóliákat gyakran gyártják fúvással, általában nem tiszta térben. Ezért itt a 100 µm vagy efölötti felbontás a célszerű. A gyakorlatban ezeknél a fóliáknál <250 µm, 250–400 µm és >400 µm átmérőjű hibaosztályokat definiálnak.

A higiéniai fóliáknál az előírás az 1mm-nél nagyobb lyukak és csomók biztonságos elkerülése, amihez 500 µm-es érzékenység szükséges.

A hőformázható élelmiszerfóliáknál természetesen nem szabad látható hibáknak előfordulniuk, itt általában a 200 µm érzékenység a szokásos.

A felületi védőfóliáknál a kiálló csomók különösen kritikusak. Az érzékenységet – a fóliavastagságtól függően – 100 µm-re vagy efölöttire állítják be.

A fóliagyártás során használható integrált minőség-ellenőrző rendszert közösen fejlesztette ki a fóliafúvó berendezéseket gyártó lengerichi **Windmüller & Hölscher KG** és a witteni **Optical Control Systems (OCS) GmbH**, amelyet kiegészítettek egy mobil hibajelző készülékkel is. Ez utóbbit tesztelni lehet bármilyen üzemi berendezésen, és használható a gyártás részfolyamatainak, illetve berendezéseinek optimalizálására. Az OCS hibafelügyelő rendszert a W & H berendezések szabályozórendszeréhez illesztik, a veszélyjelzés az extruder szabályozóegységén jelenik meg, a detektált hibák adatai pedig bekerülnek a fóliaminőség dokumentációjába.

Hibafelismerés a strukturált felületű fóliáknál

A fent bemutatott és a műanyag fóliák minőség-ellenőrzésére a kereskedelemben kapható minőség-ellenőrző rendszerek nem alkalmasak a termék hibáinak kimutatására az összetett textúrájú, mintázott felületeken, amelyek pedig sok területen keresettek. Ilyen mintás strukturált felületek például a faimitációk, a műbőrök.

A strukturált felületeknél két kategóriát különböztetnek meg: az ismétlődő és az összetett komplex struktúrákat. Az előbbieknél azonosítani lehet egy alapegységet, amelyek ismétlődésével a szerkezet leírható. A komplex felületi struktúráknál nem lehet ilyen alapelemet találni, a mintázatban az elemek véletlenszerűen következnek. A szabályos szerkezeteknél a hibafelismeréshez az ismétlődő elemet, mintát a kamera képéből mintegy „kivonják” és az így kapott képen a hibák már felismerhetők.

A dekoratív funkciójú termékek felülete általában azonban összetett struktúrájú, mivel csak így lehet természetes hatást elérni. Az ilyen felületek minőség-ellenőrzésére fejlesztett ki módszert az acheni **Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV)**. A rendszerben egy LED-es fényforrás egyenes vonalú fénysugara keresztirányban megvilágítja a termék felületét. A felületről egy sorkamera készít digitális képet. A kapott kép feldolgozásához a felületei rendszer részeként egy szűrésen alapuló, a komplex textúrát analizálni képes algoritmust kell használni. Az irodalomban több ilyen analízisrendszer ismeretes, amelyek mindegyikének megvan az előnye és hátránya. A kísérletek során a szerkezeti analízisre az *LBP (local binary pattern) eljárás* bizonyult a legjobbnak. Ez a módszer minden képpontra kiszámít egy értéket a szomszédos képpontokkal végzett összehasonlítás alapján. Az egyes LBP-kódok eloszlása egy-egy nagyobb területen meghatározza a szerkezetet jellemző vektort. Az egyes blokkokra kapott vektorok alapján megmondható, hogy a vizsgált blokk a kívánt mintát vagy egy hibahelyet is tartalmaz. A rendszer kétféle – tanuló és felügyelő – üzemmódban képes dolgozni. Előbbiben megtanulja a hibák felismerését, majd a felügyelet során képes megmutatni a képernyőn levő „hibakártyán” a hiba helyét és képét.

Ehhez a bonyolultnak ható kiértékeléshez elegendő egy jó teljesítményű ipari PC, lehetőleg többmagú processzorral. Ezzel ugyanis olyan szoftvert lehet alkalmazni, amely a feladatokat párhuzamosan hajtja végre, és így nagyobb sebességeken, vagy nagyobb felbontással képes a minőségi felügyeletre. Az IKV-nál összeállított tesztberendezést 10 m/perc sebességnél próbálták ki. A kísérlet során bebizonyosodott, hogy lehetséges a hibák folyamatos, on-line megfigyelése az összetett véletlenszerűen strukturált műanyagfelületeken is. A projekt folytatásában a magasabb sebességekre való optimalizálást és az üzemi környezetben való kipróbálást tervezik.

A többrétegű műanyag fóliák egyenletességének biztosítása

Németországban a műanyagok harmadát csomagolásra használják. A csomagolásra használt műanyagok legnagyobb részét a fóliák adják, ezen belül jelentős a többrétegű fóliák alkalmazása. Ezeknél az egyik legnagyobb probléma, hogy a határfelületen különböző folyási hibák jelentkezhetnek. A réteghatár instabilitása a fólia optikai

és mechanikai minőségének romlását idézheti elő. A gyakorlatban kétféle instabilitást különböztetnek meg: az ingadozás lehet rövid és hosszú periódusú. Az angol nyelvű szakirodalomban használják a kétféle jelenségre a „cikk-cakk” és a „hullám” megnevezést is (zigzag, ill. wave). Mivel ezeknek az instabilitásoknak az okai nem teljesen ismertek, fellépésüket nehéz előre jósolni. A jelenség jobb megismerésére és az instabilitás elkerülésére az IKV-ben kísérletsorozatot végeztek, amelyben vizsgálták a különböző kísérleti paraméterek mellett a határfelületi instabilitás fellépését.

Jelenleg a fóliafűvás szerszámainál a spirális elosztó alkalmazása az általános. A kísérleteket a **Kuhne Anlagenbau GmbH KFB 45/600** típusú berendezésén végezték, és gyűrűs elosztócsatornát alkalmaztak, mert ebben a koextrudált olvadék hosszabb úton folyik együtt. Így nagyobb a lehetősége az instabilitások keletkezésének. A lineáris kilépő geometriájú szerszám 116 mm hosszú gyűrű alakú ömledékcsatornával rendelkezik, az ömledék kilépésére szolgáló rés szélessége 1 mm volt. Az alkalmazott anyagok a **Basell Polyolefine GmbH** kétféle Lupolen típusa: a *3020 K* és a *2420 F*. Az extruder kilépő oldalán a hőmérséklet 195 °C, a két szerszámnál 205 °C volt. Az alacsonyabb viszkozitású (a kísérlet érdekében fekete mesterkeverékkel színezett) *Lupolen 3020 K-t* az alsó csatornán keresztül áramoltatták, mert itt a nagyobb viszkozitású *Lupolen 2420 F* nyomásnövekedése túl nagy lett volna a hosszabb út miatt. A szállított mennyiséget alacsonyan kellett tartani, hogy ne legyen túl nagy a nyomáscsökkenés. A túl nagy sebesség esetén a szimulációs számítások is kevésbé lennének pontosak. A szállított mennyiség alsó határát úgy választották meg, hogy még mód legyen a gravimetrikus adagolásra.

A kísérleti paramétereket az *1. táblázat* foglalja össze.

1. táblázat

Határfelületek instabilitásának vizsgálata

Kísérlet száma	Anyagáramlás kg/óra		Áramlások aránya 3020/2420	Instabilitás megjelenése, típusa
	3020 K	2420 F		
VP_1	1,72	8,38	0,205	ZZ + W*
VP_2	1,77	3,54	0,5	nincs
VP_3**	-1,7	-1,7	1	nincs
VP_4	1,85	9,21	0,201	ZZ + W*
VP_5	1,87	3,69	0,507	nincs
VP_6	1,91	1,86	1,005	nincs instabilitás, helyi olvadéktörés
VP_7	1,96	9,68	0,197	ZZ + W*
VP_8	1,98	4,1	0,478	nincs
VP_9	2,2	2,3	0,957	nincs instabilitás, helyi olvadéktörés

* ZZ: cikk-cakk W: hullámszerű.

** Gravimetriás adagolás nem lehetséges a túlságosan kicsi áramlás miatt.

Az eredményekből látszik, hogy *a határfelületi instabilitások azokban az esetekben lépnek fel, amelyekben a két polimer áramlási sebességének aránya alacsony értéket vesz fel.* Az instabilitás mindkét fajtáját tapasztalták ezekben az esetekben, a két típus felléphet együtt vagy külön is. *Az instabilitás oka a két anyag viszkozitásának különbözősége, a nagy nyírósebességek és a falnál felépülő nagy nyírófeszültség.* Kiegyenlítettebb áramlási sebességeknél nem tapasztalható a határfelület instabilitása. A határfelületi probléma a kész fólián is megfigyelhető: ha a fólián keresztül néznek egy tárgyat, a tárgy képe életlen lesz.

A kísérleti eredményekkel párhuzamosan megkísérelték a jelenséget számításokkal modellezni, szimulálni, de azt találták, hogy a számított és a gyakorlati eredmények csak nagyon kevésbé korrelálnak, bár bizonyos tendenciák a szimulációból is levezethetők. A nyújtási és a nyírósebességek, valamint a feszültségkülönbségek vizsgálata lehetővé teszi az áramlás analizálását. A legnagyobb feszültségkülönbségek az összefolyási pontoknál adódnak. Ezen a helyen a csatorna beszűkül és az ömledékre nyújtó és nyíró igénybevétel hat. Az anyagáramlás sebességének növekedésével a normál feszültségek is nőnek, miközben az összefolyási tartományban és a kilépés közelében még előjelváltás is felléphet.

A kísérletek eredményei alapján már mód van néhány javaslat megfogalmazására. A normál feszültség csökkenthető, ha simább az átmenet, azaz a polimereknek már az összefolyáskor nagy sebességgel kell rendelkezniük. Ezen felül kicsinek kell lennie annak a szögnek, amellyel az ömledék a gyűrű alakú fűvókára kerül, hogy ne lépjen fel nyújtás. Összességében a határfelületi instabilitások fellépését egy sor paraméter befolyásolja. Az anyagok tulajdonságai, a szerszámgeometria, a hőmérsékletek, az anyagáramlások sebességének aránya és a rétegek helyzete mind szerepet játszanak az egyenletes, hibamentes fóliaminőség elérésében.

Összeállította: Máthé Csabáné dr.

Steen, H., Hissmann, O.: Standardsuche bei Stippen = Kunststoffe, 100. k. 10. sz. 2010. p. 192–195.

Michaeli, W., Berdel, K.: Texturierte Bahnwaren im Fokus = Kunststoffe, 99. k. 9. sz. 2009. p. 81–83.

Michaeli, W., Windeck, W.: Instabilitäten Grenzen setzen? = Kunststoffe, 100. k. 11. sz. 2010. p. 50–54.