

Korszerű fóliák elektronikai alkalmazásokra

A nyomtatott elektronika segítségével a műanyag fóliák és vezető szerkezetek kombinációjával számos új kapcsolási funkció alakítható ki. Ezekon a fóliákon 3D alakítási műveletek is végrehajthatók, ami tovább szélesíti alkalmazhatóságukat.

Tárgyszavak: elektronikai alkalmazások; nyomtatott elektronika; fröccsöntés; térhálósítás; 3D-MID szerkezetek; hőformázás; forrasztás; műszaki műanyagok.

Vezető polimerek kapcsolófóliákban

A linzi **Johannes Kepler Egyetem** 2006-ban spin-off vállalkozásként indította el a **Plastic Electronic** céget, amelynek tagjai között a 2000. évben, vezető polimerek szintézisére kiadott Nobel-díj tulajdonosainak közvetlen munkatársai is szerepelnek. Az akkori alaptudományi eredmények ma már „átszivárogtak” a technológiába, többek között olyan fröccsöntvények formájában, amelyek *érintőkapcsolóként működő felülettel* rendelkeznek. A különböző készülékek tervezésének lehetőségeit a mindenkor rendelkezésre álló nyersanyagok és feldolgozási technológiák szabták meg. Ez igaz a műanyagból készült berendezésekre is, noha az is tény, hogy a műanyagok hosszú éveken át ösztönözték az elektronikai eszközök fejlesztőit új megoldásokra. A mai kedvencek, az *iPad* és az *iPhone* az elektronikus, villamos és mechanikai funkciók hibridizációjának köszönhetik sikerüket. A *nyomtatott elektronika* segítségével, a fóliák és vezető szerkezetek kombinációjával számos új kapcsolási funkció alakítható ki. A funkciók integrációjára példa az ún. *RFID válaszadók* kifejlesztése is, amely ugyancsak nyomtatott elektronikai alkalmazás, és hatékonyan segíti az áruvédelmet és a logisztikát.

Hibridizáció szenzorokkal

Még további lépést jelent a műanyagok és a szenzorok integrációjában az ún. *kapacitív szenzorok* fejlesztése, amely a két elektród közti távolság változásától függő kapacitás mérésére épül. Ha nyomás hatására közelebb kerülnek az elektródok, megnő a kapacitás. Érzékelő (szenzor) és működtető (aktuátor) funkciók kialakíthatók nemcsak összenyomással, hanem azzal is, hogy egy ujj közelít a vezető felülethez, ami ugyancsak megváltoztatja a kapacitás nagyságát. Az emberi ujjbegy átmérője kb. 7 mm, és nagyjából 10 mm távolságból már befolyásolja a kapacitás nagyságát. Ha en-

nél nagyobb távolságról akarnak hatást elérni, nagyobb elektródfelületre vagy sorba kapcsolt kapacitásokra van szükség. A kapacitív szenzorokat tömören (buborékképződés nélkül) kell előállítani és integrálni a készülék burkolatába. Fröccstermékek esetében a legnyilvánvalóbb integrációs technológia a *fröccsöntés a fólia hátoldalára*, amely jól ismert a dekorációs technológiában. Ha szenzorfóliát helyeznek a szerszámba, úgynevezett „*touchskin*” („*érintőbőr*”) kombinációk jönnek létre. Egy további lépésben a szenzorfóliák (hasonlóan a dekorfóliákhoz) 3D alakítási műveleten mehetnek keresztül, ez megkönnyíti alkalmazkodásukat bonyolultabb belső felületekhez is, mint amilyenek az autóiparban vagy a háztartási gépekben előfordulnak.

Egyedi technológiától a tömeggyártásig

A technológia bevezetése a sorozatgyártásba szoros együttműködést kívánt meg a Plastic Electronic cég, a szerszámtervezők, a hátrafröccsöntésben gyakorlott szakemberek és a fóliagyártók, valamint a konfekcionálók között. A kiindulási pont egy olyan többrétegű fólia, amelyhez hasonlóan a csomagolótechnikában is használnak. Ugyanebből az iparból származnak nemcsak a felhasznált alapanyagok, hanem a tekercsről-tekercsre végzett átcsevéléssel kombinált feldolgozási műveletek (pl. nyomtatás, fémbevonás) is. A hordozófóliára fémelektrodákat és összekötő vezető sávokat visznek fel, ez után jön a mélyhúzás, kivágás, majd olyan betétek kerülnek a fólia másik végére, amelyet a fröccsöntés során még alakítani fognak. A mélyhúzásnál akár 200%-os mélyhúzási arányok is elérhetők anélkül, hogy a fémréteg leválna vagy megszakadna.

A hátrafröccsöntési szakismereteket a **Schöfer** cég hozta a társulásba, amelynek specialitása a nagy értékű felületek kialakítása fóliákkal. Itt ennél is többről van szó, mert a szenzorfóliának nemcsak szépnek kell lennie, hanem funkcióit is teljesítenie kell. Ahhoz, hogy ezt a komplex követelményrendszert ki lehessen elégíteni, a szendvicsszerkezetű darabokba mind dekorfóliát, mind szenzorfóliát helyeznek el a központi fröccsöntött mag felületén. A cél az volt, hogy ezeket a bonyolult darabokat különleges további technológiák nélkül, sorozatgyártási feltételek mellett is gazdaságosan elő lehessen állítani. Mind a kétfajta fóliát automata helyezi be és rögzíti a feldolgozás során minden fröccsciklusban. Jól kell megválasztani az ömledékvezetést, és gondosan kell megtervezni szerszámból a darabkivételt, ami ilyen komplex termékeknél nem egyszerű. Az első terméket a K 2010 kiállításon mutatták be a nagyközönségnek **Engel** fröccsöntő gépet használva.

Változatosság, rugalmasság, megbízhatóság

Az új koncepció jelentős megtakarításokat tesz lehetővé. *A szenzorfólia kiváltja a billentyűzetet, a potenciométereket és az ezzel járó szerelési lépéseket.* A szenzor és dekorfólia kombinációja ugyancsak csökkenti a költségeket, hiszen a szenzorfóliából elég egy alaptípust kidolgozni, amit aztán sokféle dekorfóliával lehet egyénivé tenni. A szerkezet „rugalmasságát” részben a felhasznált szoftver határozza meg. A dekorfólia

választékával szinte darabról darabra különböző termékeket lehet előállítani. Használhatnak famintázatú fóliát is, de lehetséges fényes PUR lakkal is bevonni a készüléket.

Nagyon fontos szempont a készülék megbízhatósága (manapság divatos kifejezéssel robusztussága). A beépülés a fröccselembe megvédi a szenzorokat a mechanikai terheléstől, a külvilág hatásaitól (oxidációtól, nedvességtől, korróziótól). Átlátszó műanyagelemek beépítésével optikai funkciók (pl. lencsék) is beépíthetők a szerkezetbe, ahol erre szükség van. Megoldható a szükséges elemek átvilágíthatósága is, ami éjszakai üzemmódnál fontos. A sikeres tervezés egyik kulcselemét a szerszámtervezéstől a feldolgozásszimulációig terjedő támogató szoftverek jelentik. A fiatalos lelkesedésű csapat sikerrel oldotta meg az alapkutatói eredmények átültetését a gyakorlatba, a szorogatgyártásba.

Fóliák 3D megmunkálása elektronsugarakkal

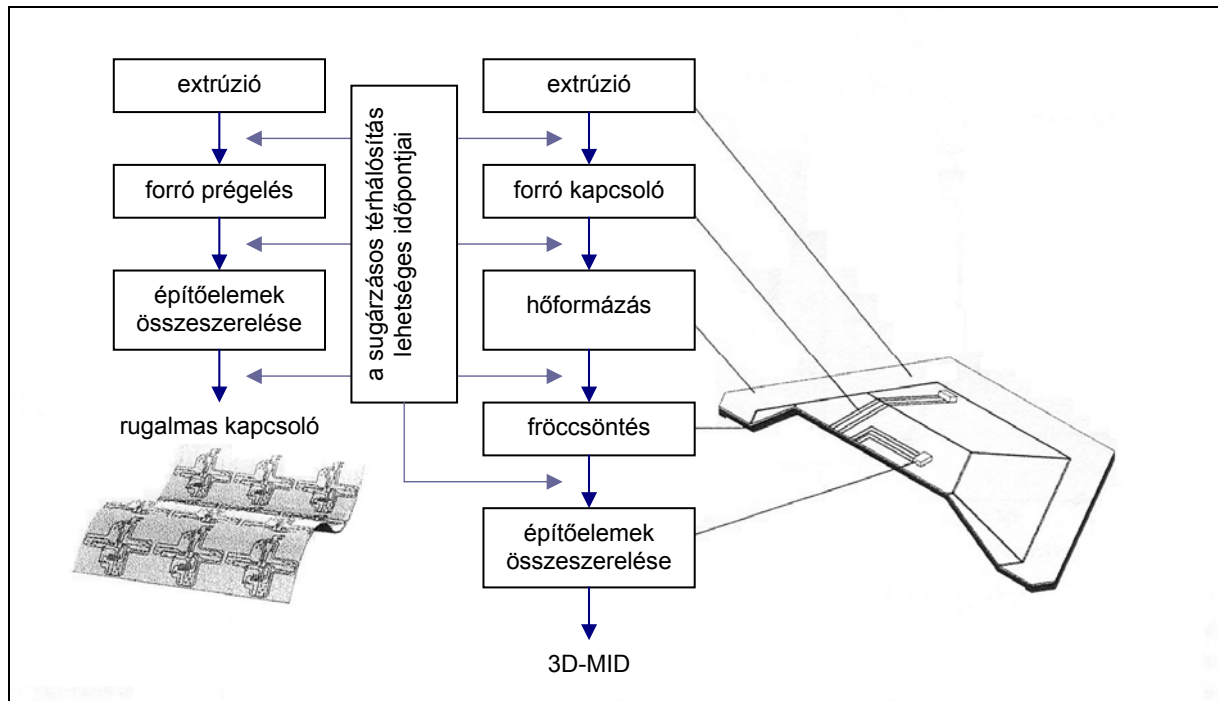
Az integrált fóliakapcsolók manapság kedvelt alapanyagai a poliimid (PI), a poli(etilén-tereftalát) (PET), és a poli(etilén-naftalát) (PEN). A jelenleg megkövetelt ólommentes forrasztás (reflow) szinte csak a PI-vel teljesíthető, mert ennek elegendő a hőállósága, ezért is alkalmazzák az ún. *rugalmas lapos kábelek* és a *rugalmas nyomtatott áramkörök* szubsztrátumaként. Tekintettel azonban a PI magas árára, előnyös lenne a hagyományos hőre lágyuló műanyagok bevezetése is ezen a területen, de ezt megakadályozza korlátozott hőállóságuk. Ezen javítani lehet elektronsugaras térhálósítással, amelynek hatására gyökök képződnek, és háromdimenziós térháló alakul ki. Ez a kezelés elsősorban a rövid idejű hőállóságot javítja, ami azonban a forrasztáshoz többnyire elegendő. Ahhoz, hogy a PI-vel versenyképesek legyenek, az új anyagoknak a következő követelményeket kell teljesíteniük:

- forrasztóanyaggal szembeni stabilitás, rövid idejű hőállóság 250 °C-ig konvekciós reflow kemencékben,
- mérettartóság és a síkgeometria megőrzése, amire a szerelésnél és a kapcsolástechnikánál is nagy szükség van,
- kis hőtágulási együttható, hogy se a forrasztási helyek, se a vezető sávok ne repedjenek meg, és a kapcsolási pontok is helyükön maradjanak,
- rugalmasság (izotróp rugalmasság és szilárdság), jó tapadás a felhordott fémrétegekhez.

Fóliák integrálása 3D-MID szerkezetekbe

A rugalmas, hőre lágyuló fóliák a háromdimenziós integrált kapcsolók (3D-MID) területén is új megoldásokat kínálhatnak. A hőre lágyuló fóliák felhasználásával megtakaríthatók a munkaigényes háromdimenziós fémfelhordási eljárások. A rugalmas fóliák kétdimenziós módszerekkel fémmel vonhatók be, majd pl. mélyhúzással 3D-ben alakíthatók, és végül hátrafröccsöntéssel állítható elő a késztermék. A fémbevonattal ellátott fóliák nyújthatóságának a fémréteg rugalmassága szab határt. A fóliabetétek

hátra-fröccsöntésekor kikönnnyített részek alkalmazásával merev-rugalmas kapcsolatok is kialakíthatók a 3D-MID kapcsolókban. A felhasználhatóság szempontjából kritikus, hogy mikor hajtják végre a térhálósítást a gyártás többlépcsős folyamatában (1. ábra). Nyilvánvaló, hogy a korábban felsorolt kritériumok mellett nagyon fontos a fémelektroddal bevont fóliák mélyhúzóhatósága is (leválás).



1. ábra Rugalmas kapcsolók és 3D-MID kapcsolók előállítására sugárzással térhálósított fóliákból a lehetséges besugárzási pontok megjelölésével

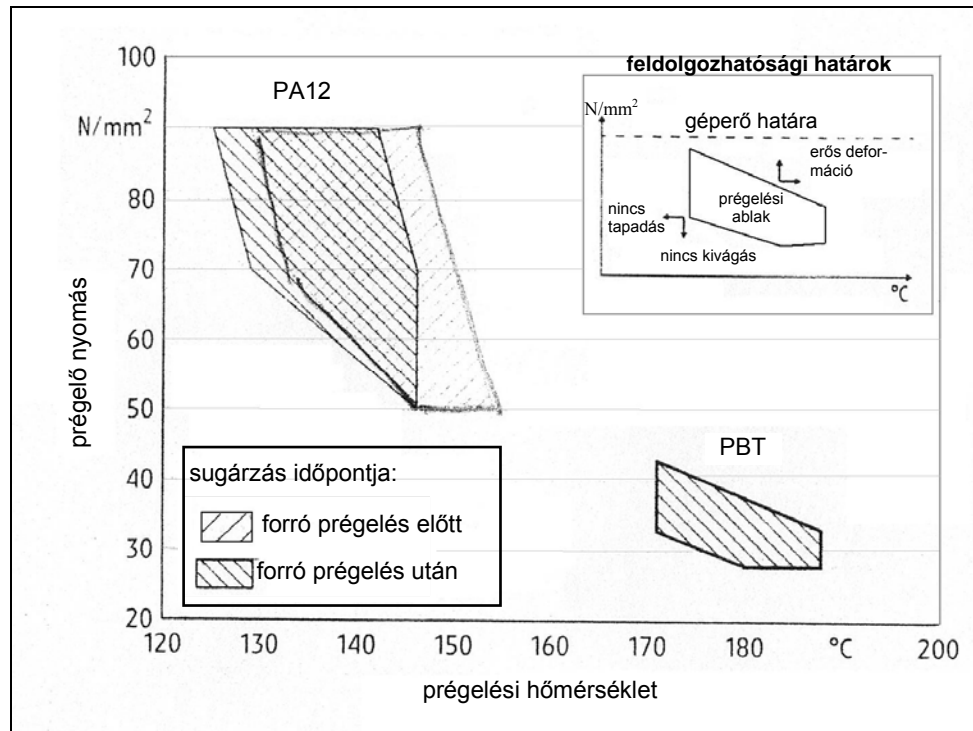
1. táblázat

A sugárzással térhálósított fóliák tulajdonságai és feldolgozási paraméterei

Anyag	PA12	PBT
	V-Rilsan PA12-AECN 0TL	V-PTS-Createc B3HZC
Fóliavastagság, μm	300	350
Fúvóka-hőmérséklet, $^{\circ}\text{C}$	250	250
Hűtővíz hőmérséklete, $^{\circ}\text{C}$	90	80
Extruder fordulatszáma, 1/min.	75	75
Lehúzási sebesség, m/min.	2,4	1,8

Poliamid (PA) és poli(butilén-tereftalát) (PBT) fóliák sugárzással térhálósíthatók. Azzal a céllal, hogy további nyersanyagokat vegyenek be a rugalmas kapcsolók hordozófóliái közé, az **Erlangeni Egyetem** munkatársai PA12 és PBT fóliákat vizsgáltak

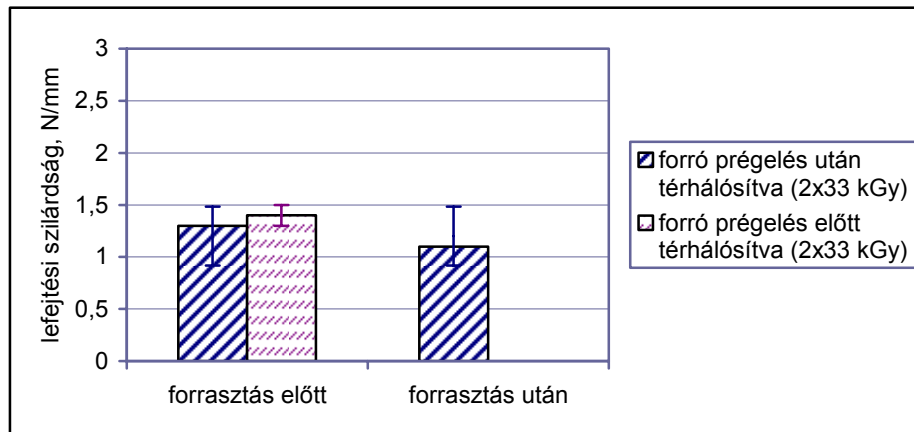
meg, amelyeket hideghengeres (chill-roll) extrúzióval állították elő egy **Collin** laborextruderen. A feldolgozás paramétereit az *1. táblázat* foglalja össze. Mindkét anyag kereskedelmileg elérhető, sugárzással térhálósítható, hőre lágyuló műanyag (gyártója: **PTS Plastics Technologie Service Marketing und Vertiebs GmbH**). A besugárzást 66 kGy dózissal végezték a PA12 és 165 kGy dózissal a PBT esetében. A PA12 fóliákban 53%-os gélhányadot mértek, a PBT esetében azonban nem állt rendelkezésre egészségre ártalmatlan oldószer, ezért ott nem mérték a gélhányadot.



2. ábra A préglőbéllyeg hőmérsékletének és a préglő nyomásnak a hatása a PA12 (vastagság: 300 μm , préglési idő: 2,5 s, térhálósítás 2x33 kGy) és a PBT-fólia (vastagság: 350 μm , préglési idő: 0,5 s, térhálósítás 5x33 kGy) fémmel történő bevonhatóságára, 18 μm vastag, fekete réz-oxid bevonatú réz préglőfólia használatával

Az ideális besugárzási időpont megállapítása érdekében bevonták a vizsgálatokba a *forró préglési lépést* is. Ha a fémbevonás előtt végzik el a besugárzást, megnő a magas hőmérsékleten az alaktartás, ilyenkor a viszonylag nagy terhelés is kisebb deformációt okoz (*2. ábra*). A préglőfólia és a műanyag fólia közti tapadás mértékét elsősorban a préglési hőmérséklet határozza meg, a besugárzás időpontja nem döntő. Sokkal nagyobb hatása van viszont a besugárzás időpontjának a kompozitszerkezet préglés utáni méretváltozására. Azonos paraméterek és azonos tapadási értékek mellett a forró préglés előtt besugárzott minták jóval kisebb deformálódást és dudorodást mutatnak. A térhálós fóliák a kristályos olvadási hőmérséklet közelében (ami a PBT-

nél 225 °C) merevebbek, mint a nem térhálósak. Ez ellene hat a terhelés alatti deformációnak és csökkenti a prégeles közben fellépő dudorodást. A besugárzás időpontja ugyancsak lényeges hatással van a forrasztás (reflow) alatti viselkedésre. A 3. ábra szerint a PA12 fóliáknál a forrasztás előtt még független a lefejtési szilárdság a besugárzás időpontjától, de a reflow hőkezelés után a forró prégeles előtt térhálósított fólia tapadása szinte teljesen megszűnik.



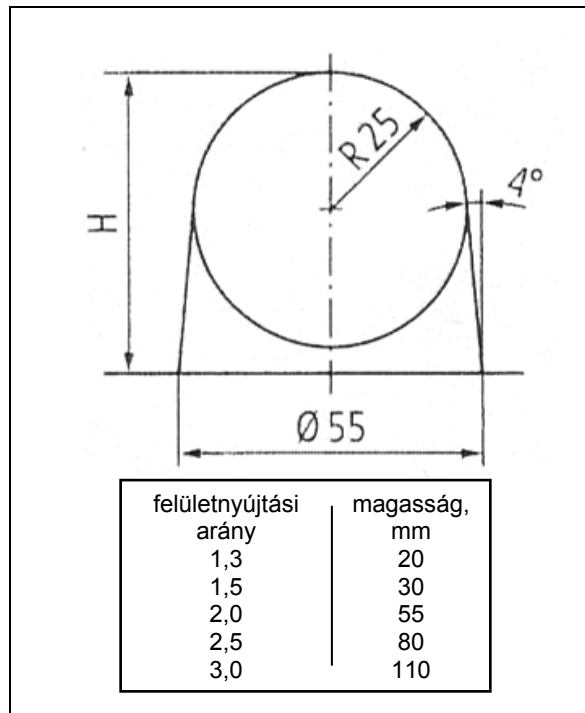
3. ábra. A térhálósítás időpontjának hatása a fémbevonat lefejtési szilárdságára a reflow forrasztás (legmagasabb hőmérséklet 260 °C) előtt és után a PA12 fólia (vastagság: 300 µm, a forró prégeles paraméterei: 142 °C/ 2,5 s/ 90 N/mm²) példáján
Megjegyzés: a lefejtési szilárdság a prégeles előtti térhálósítás esetében a forrasztás után nullára csökkent

Terhelés az összeszerelés során – legrosszabb a forrasztás

A hagyományos forrasztópaszta felhordás-szerelés-forrasztás ciklusát alkalmazva megvizsgálták a PA12 és PBT fóliákat is a forrasztásállóság szempontjából, a különböző időpontokban elvégzett térhálósításkor. Olyan forrasztási ciklust választottak, amelyben a maximális hőmérséklet 260 °C, ahol az SnAgCu forrasztóanyag megolvad. A besugárzott fóliák (szemben a be nem sugárzottakkal) kibírták a forrasztást.

A térhálós, prégelt elektróddal ellátott fóliák egy további lépésben inzertként (betétként) használhatók fel 3D-MID struktúrák előállításához is. Ehhez azonban arra van szükség, hogy a fóliát a harmadik dimenzió irányában előformázzák a hátrafröccsöntés előtt. Meg kellett vizsgálni a besugárzás időpontjának hatását a vákuumformázhatóságra is. A hőformázás előtt besugárzott fóliák feldolgozhatósági hőmérsékletének határait határozták meg különböző geometriai viszonyok (felületnyújtási arány) mellett. Az alkalmazott felületnyújtási arányokat a 4. ábra szemlélteti. A feldolgozási hőmérséklet alsó határát az éles geometriai leképezés, a felsőt pedig a repedezés határozta meg. Az alsó hőmérséklet-határ nő a felületnyújtási aránnyal, a felső pedig csökken. Ez érthető, hiszen nagyobb megnyúlásra van szükség. A vákuumformázásnál azonban

csak a légköri nyomás hat a fóliára, ezért nagyobb megnyúláshoz kisebb merevségre van szükség. A felső határ csökkenése valószínűleg a termooxidációs folyamatokkal van összefüggésben a melegítés során, ami az anyag degradációjához és a szakadási nyúlás csökkenéséhez vezet. *Az eredmények tanúsága szerint a térhálós fóliák egész jól alakíthatók, jobban, mint a nem térhálósak*, amelyeket nem is lehet a kristályosodási hőmérsékletig felmelegíteni a szakadás veszélye nélkül. A térhálós fóliák ezzel szemben az olvadáspont felett gumiállapotba mennek át, amelyben jól deformálhatók. Természetesen a vákuumformázásnál figyelembe kell venni nem csak a műanyag fólia viselkedését, hanem a fémelektrod tapadását is, amelynek vizsgálata folyamatban van.



4. ábra A hőformázásnál alkalmazott felületnyújtási arányok

Hátrafröccsöntés, stabilitás és integráció

A besugárzás időpontjának hatását a hátrafröccsöntés során mutatott viselkedésre egy viszonylag egyszerű lemez alakú próbatesttel vizsgálták. Változtatták a befröccsöntés sebességét, az ömledék és a szerszám hőmérsékletét, valamint a besugárzás időpontját és mérték a tapadást a PBT-fólia, valamint a hátrafröccsöntött szubsztrátum között. A statisztikai kiértékelés azt mutatja, hogy az anyag- és a szerszámhőmérséklet, valamint a besugárzás időpontja szignifikánsan befolyásolja a tapadás mértékét. A nagyobb ömledék-hőmérséklet csökkenti a viszkozitást, ami jobb nedvesítést eredményez. A nagyobb érintkezési felület növeli a tapadást is. A nagyobb ömledék- és szerszámhőmérséklet növeli a molekulák mozgékonyosságát – mind az ömledékben, mind a

fóliában, ami növeli annak valószínűségét, hogy a két anyag molekulái egymásba gabalyodnak. Ilyen körülmények között a hátrafröccsöntés után végzett besugárzás bizonyult hatékonyabbnak

Összeállította: Dr. Bánhegyi György
www.polygon-consulting.ini.hu

Bauer, R.: Touchskin – nicht Touchscreen = Plastverarbeiter, 61. k. 12. sz. 2010. p. 30–33.
Drummer, D.; Seefried, A.; Fuchs, M.: Strahlen öffnen dritte Foliendimensionen = Kunststoffe, 100. k. 11. sz. 2010. p. 55–59.