

Átlátszó műanyagtermékek előállítása fröccsöntéssel és fóliahúzással

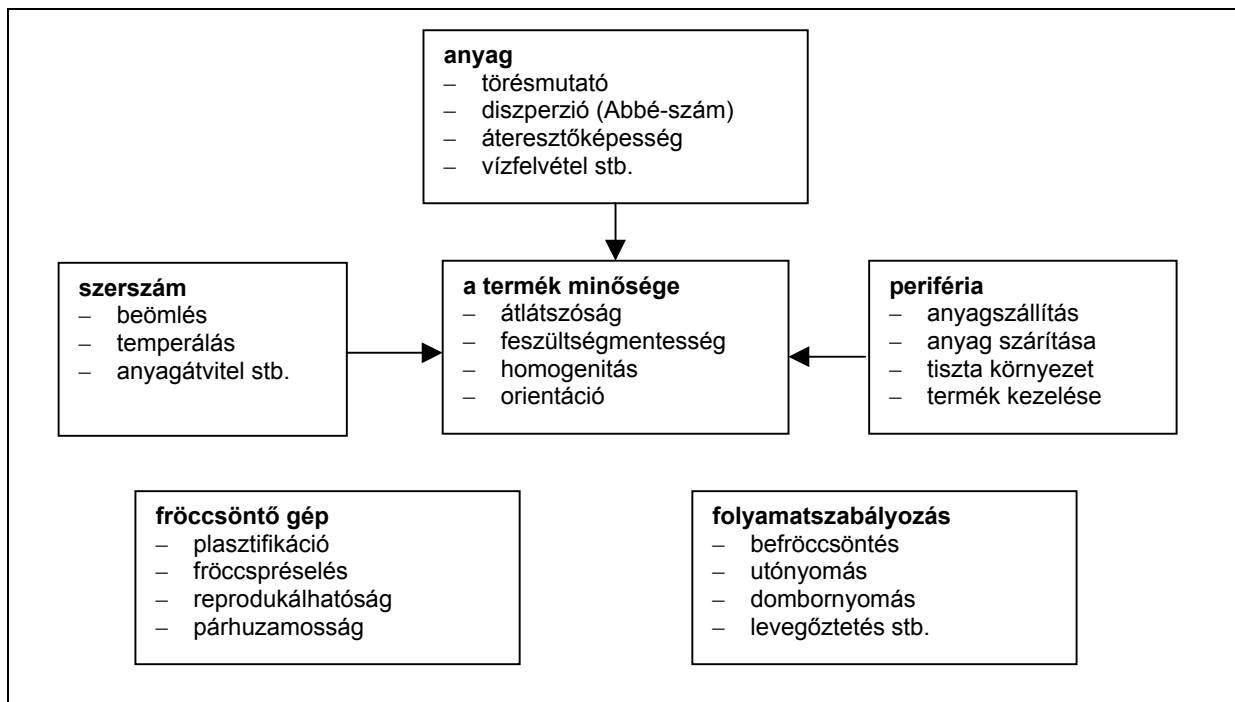
Tárgyszavak: átlátszó műanyag; fröccsöntés; dombornyomás; hibalehetőségek; új technológiák; extrudálás; síkfólia; sleeve-touch eljárás.

Egyre több műanyagterméktől várják el, hogy tökéletesen átlátszó legyen. A fröccsöntött termékek közül nem csak az optikai célokra szánt kisebb lencsék és az adathordozó korongok optikai tulajdonságainak kell kifogástalanok lenniük, hanem pl. a gépkocsik műanyag szélvédőinek is. A fóliagyártásban ugyancsak megnövekedett az átlátszóság fontossága. A műanyagfeldolgozók és a feldolgozó-gyártók technológiáik fejlesztésével igyekeznek ezeket az igényeket kielégíteni.

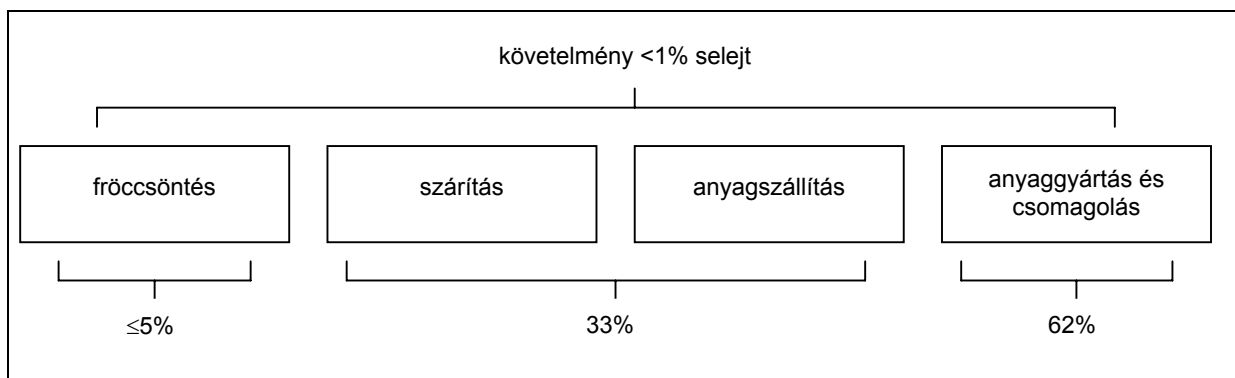
Átlátszó, fröccsöntött műanyagtermékek

Számos olyan termék létezik, amelynek átlátszónak kell lennie, sőt adott optikai tulajdonságokkal kell rendelkeznie, és amelyet fröccsöntéssel állítanak elő. Ilyenek pl. a lencsék, a szemüvegek, az optikai adathordozók, a kijelzők, a számítógépek képernyői, a gépkocsik szélvédői stb. A műanyagoknak több előnye is van az üveggel szemben ilyen alkalmazásokban: a kisebb tömeg, az olcsóbb ár és a nagyobb ütésállóság. Ugyancsak nagy előnyt jelent a fröccsöntéssel való feldolgozhatóság, ami nem csak nagy tervezési szabadságot ad, hanem nagy darabszám esetében gazdaságosabb a gyártás is. További kedvező tulajdonság az optikai felületek finom leképezése, amivel akár mikro- és nanoszerkezetek is kialakíthatók. Pásztázó elektronmikroszkópok kalibrációjához pl. 25 nm-es szerkezeteket sikerült fröccsönteni. Ezek az előnyök megmaradnak akkor is, ha bonyolult alakú darabokat kell önteni magas minőségi követelmények mellett. A fröccsöntés során egy lépésben állítják elő a terméket, viszonylag alacsony energiafelhasználás mellett. Az autóipar ezért arra törekszik, hogy a szélvédőket egyre nagyobb mértékben polikarbonátból állítsa elő. Természetesen a feldolgozóberendezéssel szembeni követelmények is emelkednek. Egy 30 E kN záróerejű géppel ugyanolyan pontosan kell dolgozni, mint egy 300 kN-ossal. A feldolgozónak tudnia kell, hogy a különböző paraméterek milyen hatással lehetnek a minőségre. A paraméterek között vannak az anyagra, a szerszámra, a feldolgozási körülményekre és a perifériákra vo

natkozók is (1. ábra). Az egész feldolgozási folyamat láncolatára oda kell figyelni; a részlépéseket és azok egymáshoz való viszonyát át kell gondolni, hogy már lehetőleg előre kiszűrjék a hibaforrásokat. Tanulságos pl. ebből a szempontból megnézni, hogy hol szennyeződik a granulátum a polikarbonát feldolgozása során (2. ábra). A követelmények igen magasak, pl. egy 0,5 kg-os termék esetében az egész térfogatban nem lehet egyetlen 0,5 µm-nél nagyobb szemcse alakú szennyeződés sem. Ha nem vigyáznak, minden darab selejtes lesz pusztán a porszennyezés miatt.



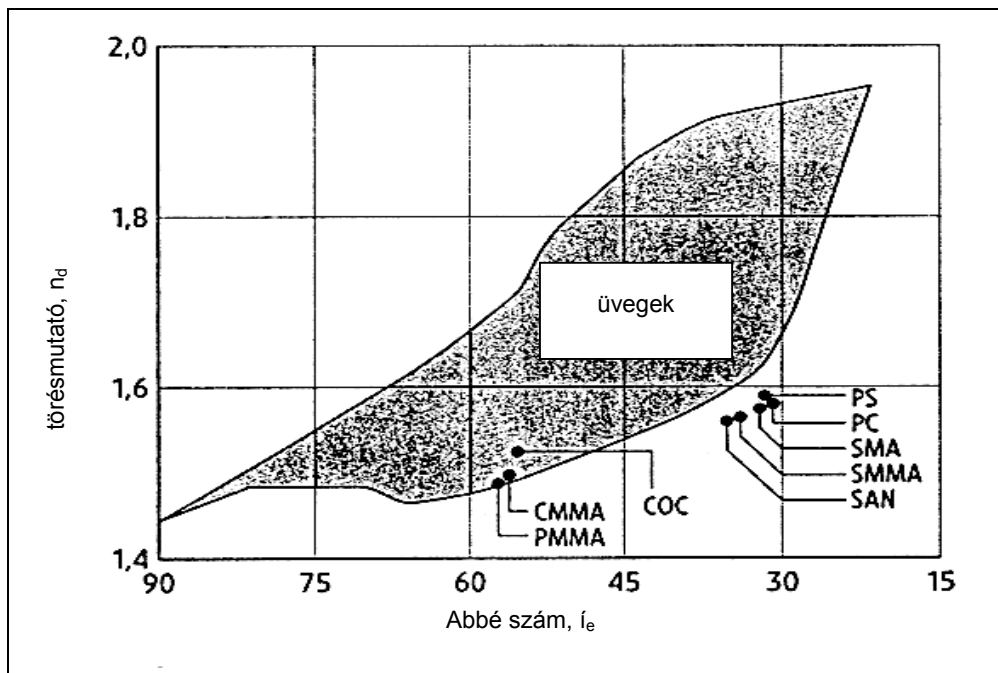
1. ábra A fröccsöntött, optikai termékek minőségét befolyásoló tényezők



2. ábra A szennyeződésből eredő hibák megoszlása a polikarbonát optikai célú feldolgozásának folyamatában

A felhasznált nyersanyagok

Optikai célra hőre lágyuló műanyagokat használnak, de ezek választékát korlátozza az optikai jellemzők függése a hőmérséklettől és a nedvességtől. Az optikai alkalmazás szempontjából a törésmutató és a relatív diszperzió (a törésmutató hullámhosszfüggése, amelyet az Abbé-számmal jellemeznek) a legfontosabb (3. ábra), de természetesen az anyagválasztáskor figyelembe kell venni a mechanikai jellemzőket, a hőállóságot, a nedvességfelvételt stb. A nyersanyag kiválasztása határozza meg a feldolgozási körülményeket is, és sajnos ezeknek az anyagoknak egy része érzékeny a feldolgozás hőmérsékletére és a nyíróerőkre.



3. ábra Az optikai üvegek és az átlátszó műanyagok legfontosabb optikai jellemzői

Fröccsöntés szigorúan szabályozott körülmények között

Az üvegtől eltérő módon a műanyagok fröccsöntésekor nemcsak a geometria, hanem az optikai tulajdonságok is függenek a feldolgozás körülményeitől. Emiatt nem csak nagy méretpontosságra van szükség, hanem a tárgynak feszültségmentesnek és homogénnek is kell lennie, nem is beszélve az optikai tisztaságról. Ez megköveteli, hogy a feldolgozás folyamatát igen gondosan, rendszerben szemlélve vezessék és ellenőrizzék. A plasztifikáló rendszer által

előállított ömledék minősége alapvető fontosságú. Hibaforrások lehetnek az adagolásnál, az ömledék légtelenítésénél; de hibaforrás lehet a rossz csigageometria, az optimálistól eltérő hengerhőmérséklet, a gép és a szerszám nem megfelelő felületkezelése, a hibás visszaáramlás-gátló, a kialakuló holt terek, a tökéletlen szerszám.

Az egyik nagy problémát a *légzárványok* jelentik. Az adagolásnál nem léphetnek fel anyagáramlási szabálytalanságok, áthidalások, szétkeveredés, holt zónák. A szilárd anyagszállítási szakaszban is keletkezhetnek légzárványok. A csigageometria és a nyomásviszonyok határozzák meg, hogy a levegő visszafelé eltávozzhat-e vagy sem. A granulátumszemcsék bejutnak a szabadra váló csigamenetekbe, de arra rendszerint nincs elég idő, hogy a teljes vájatot kitöltsék. Anyagszigeteket és levegővel töltött üres helyeket lehet megfigyelni, amelyek a legközelebbi plasztifikáció során a csigacsúcs felé mozdulnak el. A bezáródott levegő rosszabb esetben zárványt, jobb esetben csak inhomogenitást okoz, de mindkettő rontja a termék minőségét. A nagy betáplálási útszakasz és a nagy befröccsentési sebesség erősíti ezeket a hatásokat. Megfelelő csigakialakítás esetén a levegő hátrafelé, a bejövő granulátumágyon át eltávozzhat.

Inhomogenitás, felhősödés léphet fel, ha nem kielégítő a csigacsatorna tisztulása, ha holt zónák alakulnak ki a visszaáramlás-gátlóknál vagy a szerzámban, de repedések az elválási helyeken is okozhatnak ilyen hibákat.

Pontszerű hibahelyek keletkezhetnek termikus degradáció miatt, valamint különböző szürke vagy fekete szemcsék kerülhetnek az anyagba a csigafelületről, a hengerfuratból, a visszaáramlás-gátlóról vagy a szerzám belső felületéről. Ezt azzal lehet meggátolni, ha a szerkezeti elemeket megfelelő minőségű és felületkezelésű anyagból készítik. Mindenesetre az anyagban levő szennyeződések és a munkahelyi környezet nem kielégítő tisztasága általában sokkal több ilyen jellegű hibát eredményez.

Barnulást okoz a túl magas ömledék-hőmérséklet – még akkor is, ha ez csak lokálisan, a túl nagy súrlódás miatt lép fel. Akkor alakul ki, ha nem megfelelő a hővezetés vagy a hőmérséklet-szabályozás. A hőmérsékleteket ± 1 K-en belül kell tartani.

Mint látható, a plasztifikáló egység kritikus szerepet játszik a megfelelő minőségű optikai termékek előállításában. Az egyes funkciók megfelelő összehangolásától függ az elérhető termékminőség és a reprodukálhatóság.

Fröccsöntés és dombornyomás

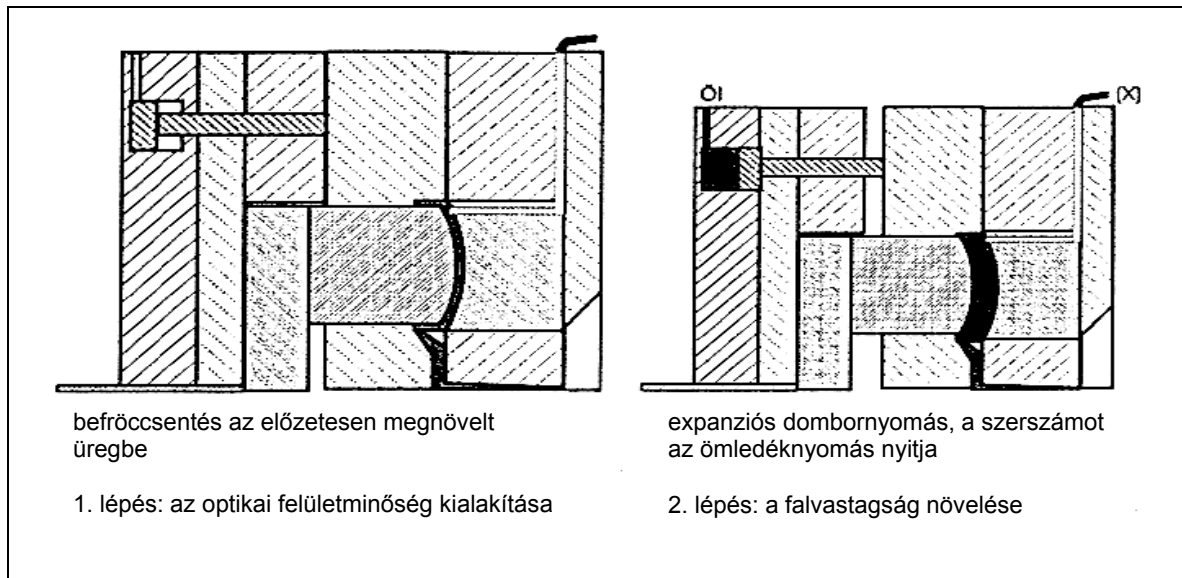
A fröccsöntés során a szerzámüreget először kitöltik, majd az utónyomási szakaszban beszívódásmentes terméket hoznak létre. Egy bizonyos idő eltelté után az utónyomás növelésével sem lehet több anyagot a szerzámterbe juttatni. Ez az időpont annál később következik be, minél nagyobb a beömlés keresztmetszete, de ezzel a módszerrel nagyon nagy feszültségek ala

kulnak ki a termékben. Mindazonáltal kisebb termékek még jó felületminőséggel állíthatók elő. Az 1960-as évek óta fejlesztenek azonban egy eljárást, amely a fröccsöntés egyik változata, amelyben a szerszám bizonyos részei elmozdulnak, és tovább alakítják a még meleg terméket. Ezt a sokféle szabaddalommal védett utólagos felületalakítást fröccspréselésnek (vagy németből, a fröccsöntés és a dombornyomás kombinációjából képzett szóval fröccsprégelésnek) nevezik, és gyakran alkalmazzák optikai termékek előállításához. A szerszám kitöltése után aktív szerszámelmozdulásokkal követik a termék zsugorodását, hogy ne alakuljanak ki beszívódások. Ezzel el lehet kerülni a túl nagy belső feszültség vagy orientáció kialakulását. Az eljárással elérhető, hogy a szerszámnyomás a hűlés közben is állandó maradjon. Aktív dombornyomásról akkor beszélnek, ha ez a folyamat rövid reakcióidővel, nagy pontossággal és reprodukálhatósággal következik be. Ehhez arra van szükség, hogy a hidraulikus rendszerben gyorsan alakuljon ki a nyomás, pontosan lehesse pozicionálni a szerszámfelfogó lemezt, és a csiga, valamint a szerszám egymáshoz képest végzett mozgása pontos és ismételhető legyen. Ha megoldható az, hogy a szerszámfelfogó lap, a kidobótüske vagy egyéb szerszámrészek a csiga helyzetétől függő módon mozduljanak el, az anyag beömlését, elosztását és sűrűsödését a szerszámban befolyásolni lehet. Az eljárásnak számos változata van.

A záró-dombornyomás esetén egy előzőleg felbővített üregbe nyomják be az ömledéket, majd utána indul a dombornyomás. Ennél is megkülönböztetnek szimultán és konszekutív (egymás utáni) eljárást – attól függően, hogy a dombornyomás a befröccsöntéssel egyidejűleg vagy utána kezdődik. A szimultán változatot olyankor alkalmazzák, ha a töltési és dombornyomási fázis között fellépő átmeneti jelenségek nyomán keletkező inhomogenitásokat csak így tudják elkerülni (pl. DVD lemezgyártás). A záró-dombornyomásnak vannak olyan változatai is (pl. erősen konkáv lencsék esetében, ahol el akarják kerülni a hegedési varratokat), ahol az előzőleg megnövelt üregbe ömledéket fröccsöntenek, majd a fölösleges anyagot kinyomják az üregből. Ilyenkor a többletanyag melléküregekbe folyik, vagy visszajut a plasztifikáló egységbe.

Az expanziós dombornyomás (Atmungsprägen) esetében a zárt szerszámüregbe ömledéket juttatnak, majd egy második fázisban még annyi anyagot préselnek utána, hogy a következő dombornyomási fázisban a terméket beszívódás nélkül ki lehessen nyomni. Ez különösen a nagy felületű optikai termékeknél lényeges.

A kétlépéses expanziós dombornyomást akkor alkalmazzák, ha vastag falú terméket akarnak előállítani. Ilyenkor először az optikailag fontos felületet alakítják ki, második lépésben pedig a vastagságot adják a terméknek (4. ábra).



4. ábra A kétlépéses expanzíós dombornyomás elve

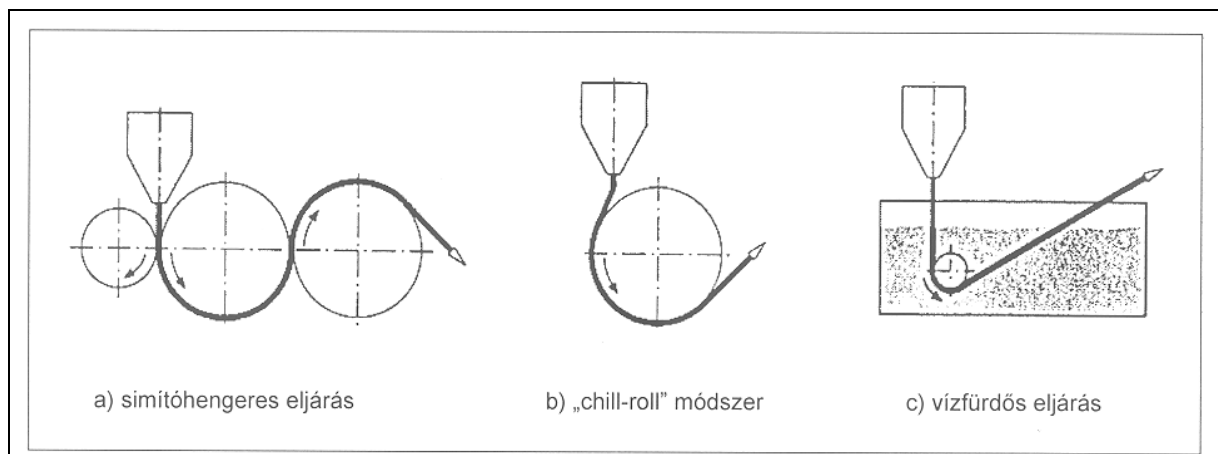
Környezeti feltételek

Az orvosi, gyógyászati, kozmetikai, elektronikai, mikroelektronikai, optikai, élelmiszeripari és biotechnológiai termékek esetében már régen bevezették a tisztaüzemi rendszert, ahol a por- és zárványmentesség alapvető módon teljesül. Az újdonság az, hogy ezt már olyan termékekre is kiterjesztették, mint pl. az autók szélvédői, amelyek tömege a 6 kg-t is elérheti. A feldolgozógépet és a szerszámot is ilyen körülmények között kell előállítani. A klimatizált környezet ugyancsak fontos szerepet játszik a minőség biztosításában. A nagy felületű, nagy tömegű szélvédőkre ugyanolyan minőségi követelményeket támasztanak, mint a kisebb lencsékre, és ennek csak az igen nagy fröccsöntő berendezések tudnak megfelelni. Az ilyen nagy felületű termékeket általában nagyméretű filmbeömlésekkel készítik. A felületi domborításnak abszolút plánpárhuzamos módon kell bekövetkeznie, hogy a minőség kielégítő legyen. A termék nem zsugorodhat el a szerszám falától (a hűtés végén sem), különben a felületminőség nem lesz olyan jó, mint a szerszámfelületé, és csak így érhető el, hogy ne alakuljon ki túl nagy belső feszültség a termékben. A folyamatos érintkezés teszi lehetővé a leggyorsabb hűtést is, ami által a ciklusidő rövidíthető. A fröccs-dombornyomáshoz speciálisan felszerelt fröccsöntő gépek szükségesek – különösen a vezérlésnek kell megfelelőnek lennie. Ilyen alkalmazásoknál a horizontális gépeknek bizonyos előnyei vannak a vertikálisakéhoz képest, pl. kisebb a szerszám deformációja, kisebb szerszámnyitásra van szükség a termék kivételéhez, a termék függőleges állapotban vehető ki és szállítható stb.

A fröccsöntés és a dombornyomás kombinációja kisebb szerszámnyomást és záróerőt tesz szükségessé.

Átlátszó fóliák gyártása

A hagyományos extrúziós módszerekkel (5. ábra) különböző vastagságú síkfóliákat lehet előállítani, de épp a gyakorlatilag legfontosabb vastagságtartományban (80 μm –0,6 mm) eddig kompromisszumot kellett kötni az optikai és a mechanikai jellemzők között. Ez különösen érvényes volt a csomagolóanyag-ipar által szívesen alkalmazott fóliák (PP, záróhatású PA/EVAI, többrétegű PET/PE fóliák) esetében.



5. ábra Hagományos extrúziós eljárások átlátszó síkfóliák gyártására

A hőformázható PP csomagolófóliák kétoldalú hűtését a simító részben a szokásos simító berendezések lehetővé teszik, és ezzel jó optikai jellemzők alakíthatók ki. Ennek a módszernek alsó határa azonban 350 μm körül van.

Ennél vékonyabb fóliák gyártásakor a simítóhengerek közti nyomás meredeken nő, a fóliában igen nagy belső nyomás és orientáció alakul ki, ami a hőformázás során a termék deformációjához vezet. Emellett ilyen nagy nyomásoknál a henger is a kelleténél erősebben deformálódik, ami veszélyezteti a fóliavastagság egyenletességét és feldolgozhatóságát.

Simítóhengeres, hűtőhengeres és vízfürdős megoldások

Átlátszó hajtogatható tasakok, buborékcsomagolások vagy fedők gyártásához 350 µm-1,8 mm vastag PP fóliákat használnak. Ezeket horizontális, vertikális vagy keresztirányú, 3-hengeres simító berendezésekkel állítják elő. Az extruderfejből kiáramló ömledéksávot egy simítóhenger lineárisan nyomja rá a fő hűtőhengerre. Vékonyabb fóliákban ez túl nagy orientációhoz, majd hőzsugorodáshoz vezet. A vékonyabb fóliákat ezért inkább öntéssel és „chill-roll” eljárással (erősen hűtött hengeren) készítik. Az ömledéksáv és az öntő-, ill. fő hűtőhenger közti szoros érintkezést különféle segédberendezésekkel biztosítják. Az adott alkalmazástól függően az ezzel az eljárással előállítható fóliák vastagsága 200–400 µm. Az ilyen öntött fóliákra jellemző a különösen kis orientáció és a kis zsugorodás. Felületi fényességük és átlátszóságuk azonban nem éri el a lineárisan simított fóliákéét. A „chill-roll” eljárásnál alkalmazott segédberendezés lehet

- légekés,
- vákuumbox (rászívó doboz),
- szoftbox (lág doboz),
- drótelektrod,
- pneumatikus és/vagy elektrosztatikus szélrögztítő berendezés.

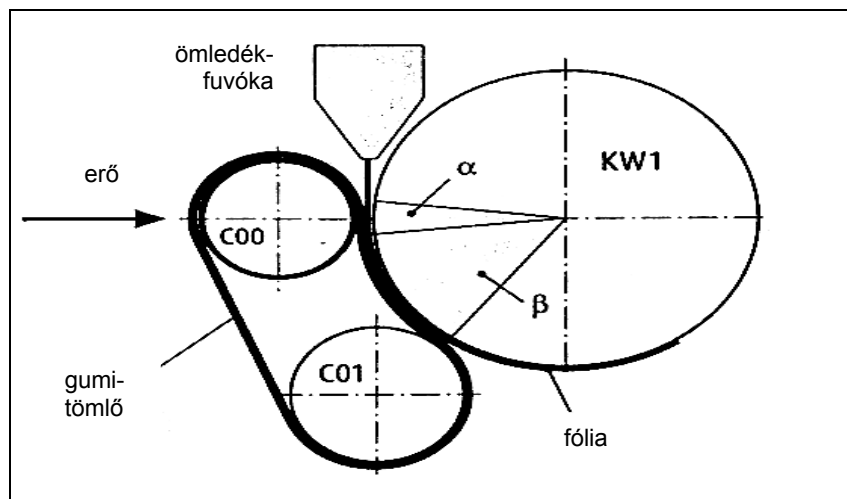
A vízfürdős eljárással készült fóliáknak is mindkét oldalát hűtik, ezért nem fodoróznak, szemben a vastagabb „chill-roll” fóliákkal. Mivel azonban az ilyen fóliákat nem – vagy csak gyengén – kalibrálják, a fóliák párhuzamossága nem tökéletes. A kalibráció gyengességét a vízfürdős eljárásnál vízáramlással igyekeznek pótolni.

A hagyományos eljárások kombinációja

Ahhoz, hogy a gyakorlatilag fontos, 80–600 µm-es vastagságtartományban ne kelljen kompromisszumot kötni a mechanikai és az optikai jellemzők között, a hagyományos eljárások kombinációjára van szükség, hogy az alábbi feltételek teljesüljenek:

- kétoldalú kontakthűtés a sík felület érdekében,
- kétoldalú simítás a felületi fényesség és a beszívódásmentesség érdekében,
- kis nyomóerő a kismértékű orientáció biztosítására.

Az osztrák SML Maschinengesellschaft mbH bevezette az ún. sleeve-touch módszert (tömlőérintkezéssel), ahol az ömledéksávot hagyományos módon, szélesrésű szerszámon keresztül bocsátják rá a simítóhengeres, „chill-roll” vagy vízfürdős eljárás hűtőhengerére, de egyúttal egy tömlő segítségével rá is nyomják annak felületére. Mivel a C01 henger helyzete a C00-tól függetlenül állítható be, meg lehet határozni a feszültség nagyságát. A teljes feldolgozó sor tartozéka egy ömledékszűrős extruder, egy szélesrésű szerszám, egy vastagságmérő, egy felcsévéelőegység és egy mikroprocesszoros vezérlőberendezés. A gumitömlő felülete lehet matt vagy strukturált. A gumitömlőt speciális centrifugális eljárással állítják elő, hogy ne legyen rajta hegedési varrat. A tömlő feszültsége és az érintkező terület nagysága a termék igényeinek megfelelően állítható be. Mivel a simítás adott felületen és nem egy vonal mentén következik be, sokkal kisebb nyomásra van szükség, nem alakul ki olyan erős orientáció (a nyomóerő a hagyományos eljárásénak mintegy 25%-a).



6. ábra Az átlátszó fóliák gyártására kifejlesztett „sleeve-touch” (tömlőérintkezéssel) módszer elve. (Jelek az ábrában: KW1 - fő hűtőhenger, C00 - gumitömlő nyomóhengere, C01 - gumitömlő feszítőhengere, α - felületsimító tartomány, amelyet C00 határoz meg, β - felületsimító tartomány, amelyet a gumitömlő határoz meg.)

Az előállított fóliák tulajdonságai és alkalmazása

A fenti módszerrel előállított fóliákra jellemző

- a nagy fényesség és kis homályosság,
- az öntött fóliáktól eltérően nincsenek rajta fúvókanyomok,
- kismértékű az orientáció,

- a fólia nem mutat belső struktúrát (inhomogenitás, felületi egyenetlenség).

A módszerrel eddigi 100 és 600 µm vastagságú átlátszó PP fóliákat állítottak elő, de 80 µm és 1,5 mm közötti vastagságban bármilyen fólia gyártására alkalmas. Ez az öntött és a simítóhengeres eljárás közti vastagságtartomány. Az eljárás alkalmazható 5- és 7-rétegű koextrudált fóliák előállítására is, amelyben PP, poliamid és EVAI rétegek váltakoznak. Átala elkerülhető a „chill-roll” eljárásnál fellépő fúvókacsíkok megjelenése.

A különböző eljárások előnyeit és hátrányait az 1. táblázat foglalja össze.

A tapasztalatok azt mutatják, hogy a műanyagokból készült tárgyak ma már nemcsak műszaki, hanem esztétikai követelményeket is képesek kielégíteni, és erre a piaci oldalról igény, sőt fizetőképes kereslet van.

1. táblázat

Az átlátszó fóliák gyártására használt különféle technológiák előnyei és hátrányai

Tulajdonság	Sleeve-touch	Acélszalag	Simítóhenger	Chill-roll	Vízfürdős
Átlátszóság	+	+	–	–	+
Fényesség	+	+	+	–	–
Felületminőség	+	+	–	–	–
Hőzsugorodás	+	+	–	+	+
Síkban fekvés	+	+	–	–	–
Mechanikai tulajdonságok	≅	≅	≅	≅	≅
Vastagságtűrés	≅	≅	≅	≅	–
Gyártási rugalmasság	+	–	–	–	–

+ pozitív, – negatív, ≅ egyenértékű

(Bánhegyiné Dr. Tóth Ágnes)

Bürkle, E.; Klotz, B.; Lichtinger, P.: Durchblick im Spritzguss. = Kunststoffe, 91. k. 11. sz. 2001. p. 54–60.

Miethlinger, J.: Hochtransparente Folien herstellen. = Kunststoffe, 91. k. 11. sz. 2001. p. 78–83.