

## Átlátszó műanyagtermékek előállítása fröccsöntéssel és fóliahúzással

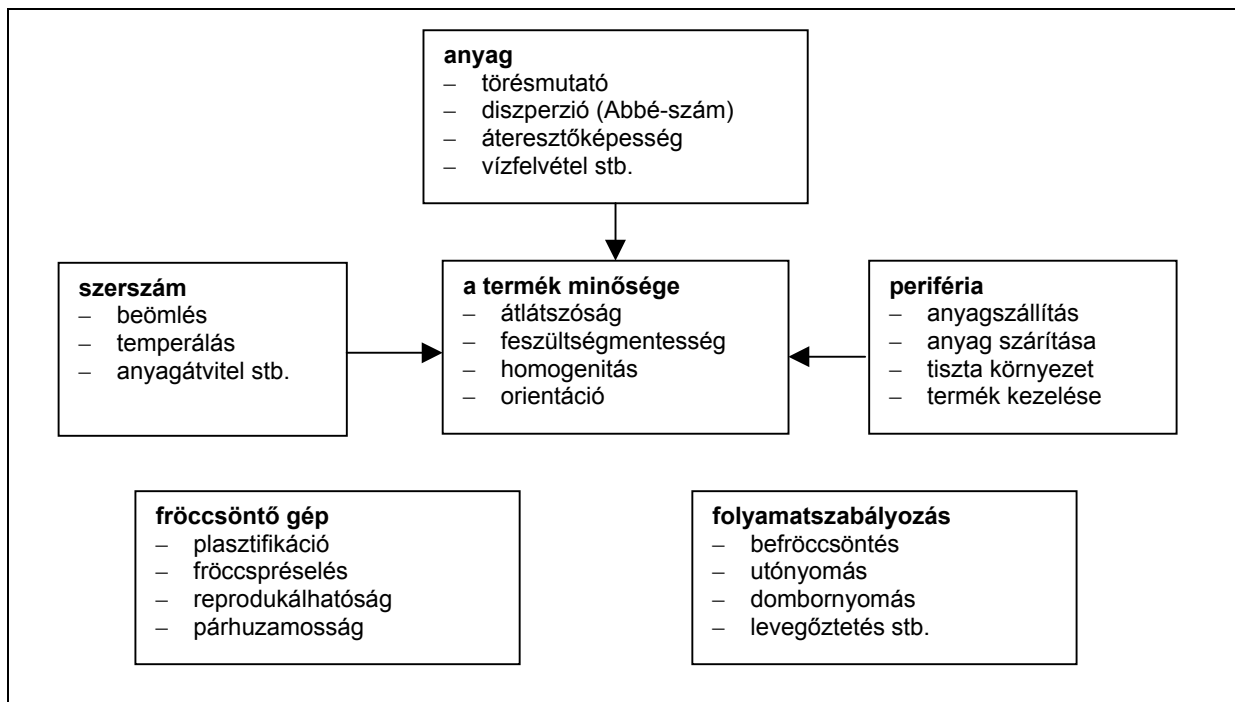
*Tárgyszavak: átlátszó műanyag; fröccsöntés; dombornyomás; hibalehetőségek; új technológiák; extrudálás; síkfólia; sleeve-touch eljárás.*

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.

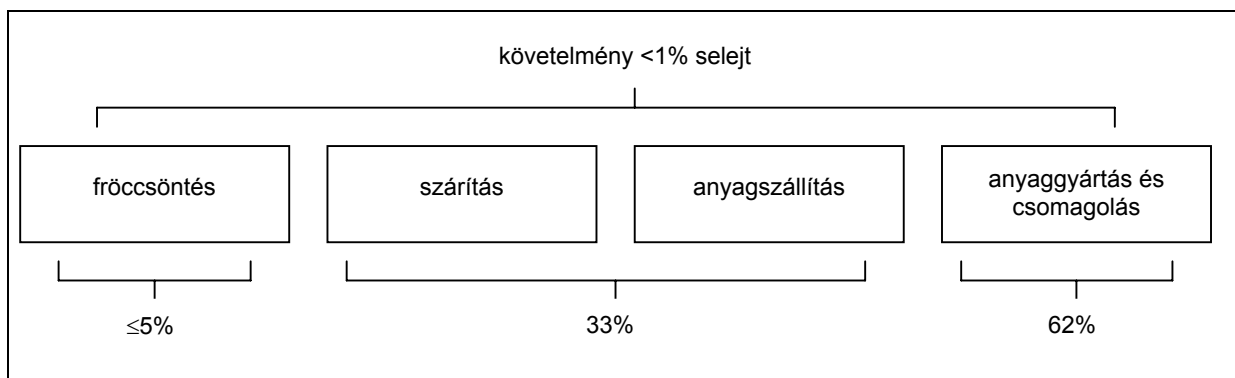
### Átlátszó, fröccsöntött műanyagtermékek

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.



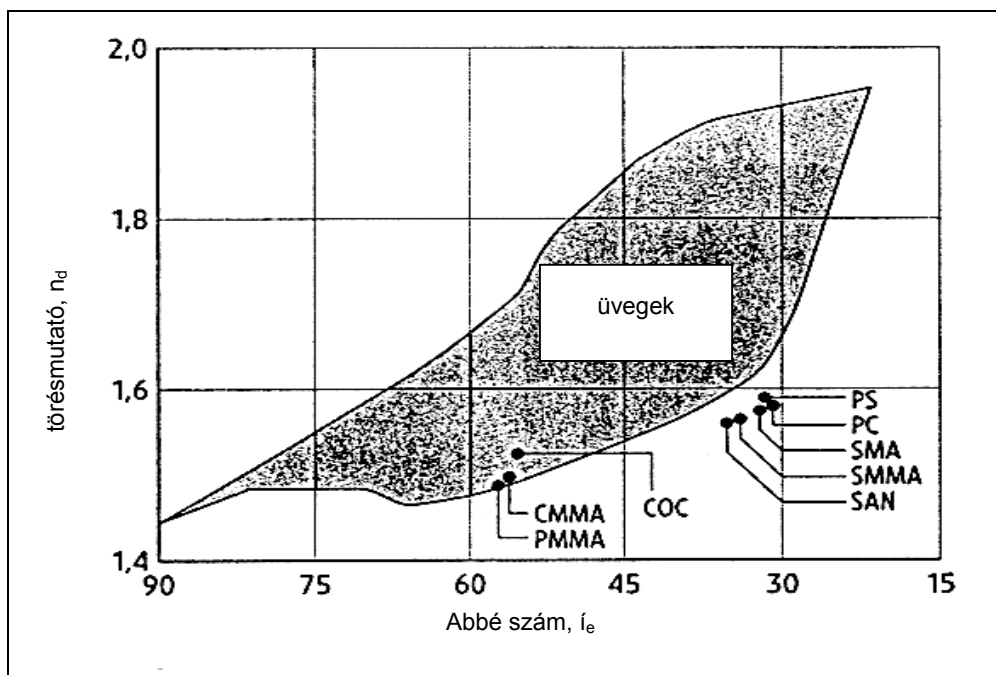
1. ábra A fröccsöntött, optikai termékek minőségét befolyásoló tényezők



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 szerszám 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  $\pm 1$  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*

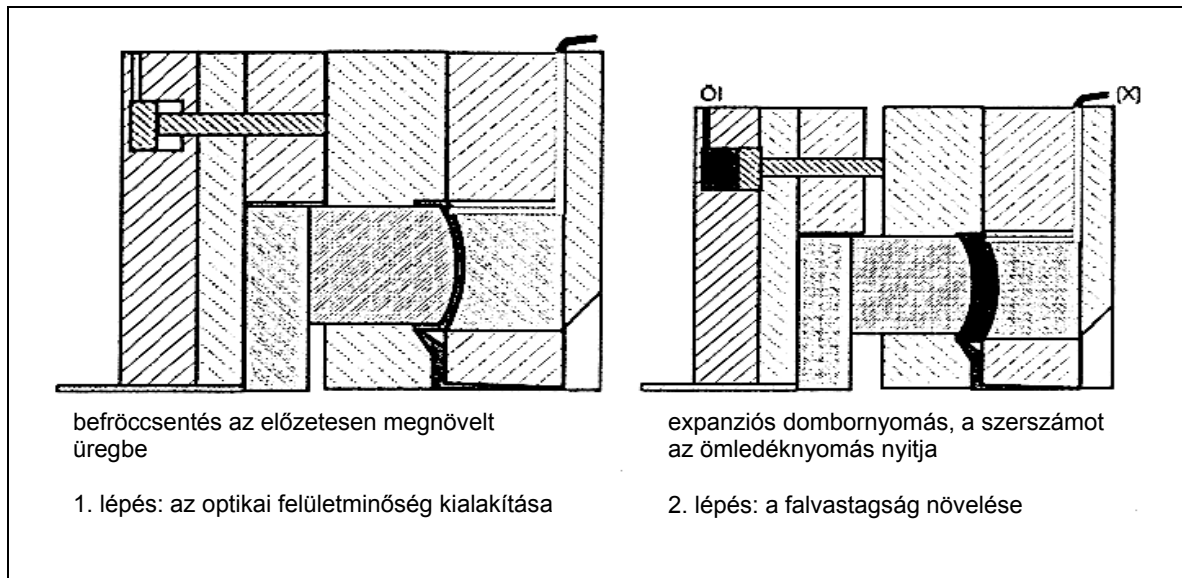
A fröccsöntés során a szerszámüreget először kitöltik, majd az utónyomási szakaszban beszívódásmentes terméket hoznak létre. Egy bizonyos idő eltelté után az utónyomás növelésével sem lehet több anyagot a szerszámtérbe juttatni. Ez az időpont annál később következik be, minél nagyobb a beömlés keresztmetszete, 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 fröccsprézésnek) 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 expanzív dombornyomás elve

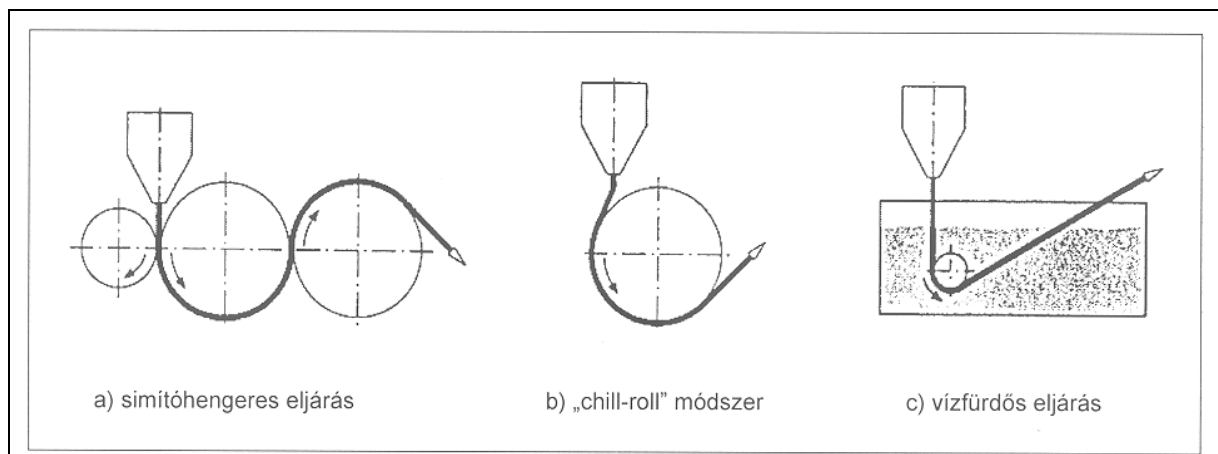
### *Környezeti feltételek*

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  $\mu\text{m}$ –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 Hagyományos 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  $\mu\text{m}$  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 fóliákét. 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.

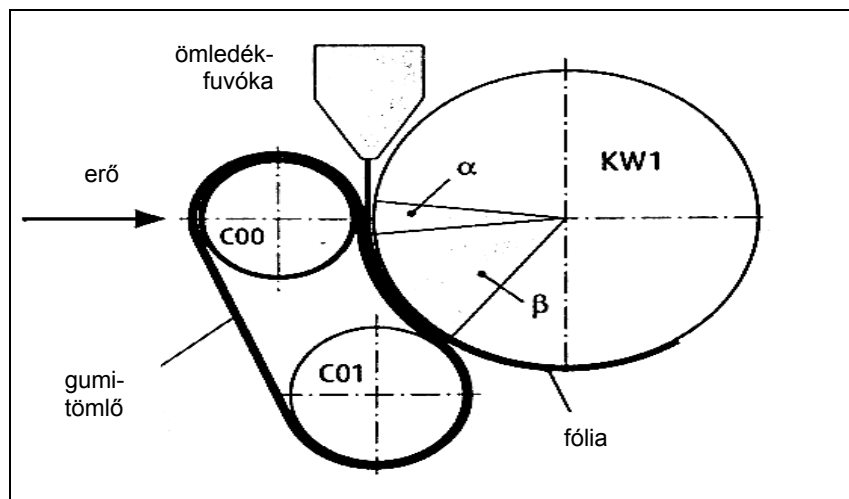
### *A hagyományos eljárások kombinációja*

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,  $\alpha$  - felületsimító tartomány, amelyet C00 határoz meg,  $\beta$  - 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.