

A léghűtési megoldások fontossága a fújtt fóliák gyártásánál

A fújtt fóliákat gyártó extruderek szerszáma fölött elhelyezkedő, hűtőlevegőt adagológyűrűk nagyon fontosak pl. a tömlő stabilitása és a termelékenység fenntartása terén. A gépgyártók különböző megoldásokkal támogatják a felhasználókat. További termelékenységjavulást lehet elérni a német IKV kutatói által kifejlesztett, több egymás felett elhelyezett írisz-gyűrű által kifejlesztett fólia légtelével.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; extrúzió; fóliafűvés; hűtés.



1. ábra A W&H cég *Arctis XP* hűtőgyűrűje a PTPlasindo Lestari ötrétegű fólia fűvő extruder gyártósorán

A világon sok üzemben gyártanak fújtt műanyag fóliákat különböző alapanyagokból, amelyekből szemeteszákók, mezőgazdasági fóliák, hordtáskák, csomagolóanyagok, gyógyászati termékek és számos más termék készül. Az extruder szerszám az adott alapanyaghoz igazított kialakítása kulcs-fontosságú, de a felette elhelyezkedő hűtőlevegőt fűvő gyűrű(k) szerepe szintén szignifikáns hatású.

Hűtőgyűrű-megoldások

A német Windmüller & Hölscher cég régóta gyárt fóliafűvő extrudersorokat, de időnként más gépgyártók berendezéseit is kiegészíti saját hűtőgyűrűi beszerelésével. Így például az indonéz PT Plasindo Lestari cégnél szereltek fel utólag egy ilyen berendezést egy ötrétegű fóliát gyártó gépsorra (1. ábra). Az *XP* jelzésű hűtőgyűrűt a K2019 kiállításon mutatták be, és már több alkalommal sikeresen váltottak ki vele más gyártók gépsorain működő gyűrűket.

A PT Plasindo Lestari sokféle fóliát gyárt élelmiszerek, italok, háztartási és kozmetikai felhasználásokhoz. A három éve működő gépsorra utólag felszerelt hűtőgyűrűk a terméktől függően 12–23%-kal növelték a termelékenységet. Ha régebbi gépsorokon cserélik le a gyűrűket, várhatóan még ennél is jóval nagyobb

eredményt lehet elérni. A nagyobb kihozatali sebesség mellett az új gyűrűk jelentősen javították a tömlő stabilitását, így már az éjszakai műszakok is képesek voltak a buborék elvesztése nélkül átállni egy másik termékre.

A német Reifenhäuser cég nemrég megszerezte a hűtőlevegő gyűrű specialista Kdesign cég többségi tulajdonrészét, és a vállalatot, önálló egységként, beintegrálta a vállalatcsoportba. A Kdesign speciális ismeretekkel rendelkezik a fűjt fóliák hűtése, szabályozása, mérése és kalibrálása területén. A Kdesign megtartotta vezetését és vevőkapcsolatait, de szaktudásuk most már a Reifenhäuser gépsorokat támogatja. Ugyanakkor támaszkodhat a cégcsoport világszerte meglévő képviselési hálózatát.



2. ábra A Davis-Standard *Vector* elnevezésű egy légbemenetű hűtőgyűrűje, szabadalmaztatott kétajkú kialakítással

A Davis-Standard egy új, on-line elérhető, támogató segédletsorozatot publikált, amely mind a fűjt fóliák szerszámainak kiképzéséről, mind pedig a hűtőgyűrűkről ad útmutatást (2. ábra). A legutóbbi kiadás a hideg levegőt áramoltató hűtőgyűrűkkel foglalkozik, amelyeket, szabályozási célból, oda kell felszerelni, ahol a fóliatömlő felfűvődik. A hűtőegység egy kompresszort, egy léghűtőt, vezetérendszerrel és a gyűrűket tartalmazza. Fontos méretezési szempont a megfelelő mennyiségű hűtött levegő szállítása, amelyet a nem eléggé nagy kapacitású kompresszor,

vagy a túl hosszú, és/vagy sok irányváltást tartalmazó, vagy nem kellően hőszigetelt vezetérendszer leronthat.

Alkalmazhatunk olyan hűtést is, amikor a fóliatömlő belsejébe fűjjük be a hideg levegőt (IBC rendszer). Ilyenkor természetesen gondoskodni kell a meleg levegőtöbblet elvezetéséről is. Az IBC rendszer használatával akár 20%-os kihozatal növelést is elérhetünk.

A leghatékonyabb megoldás, ha a léghűtést az adott termékhez és gépsorhoz tervezik, de a gyakorlatban (a nagyon nagy szériák kivételével) leggyakrabban az univerzális, többféle termékhez is használható megoldásokat alkalmazzák. Ugyanis a fűjt filmek túlnyomó része valamilyen poliolefin alapanyaggal dolgozik. A két befűvő ajkát tartalmazó gyűrűk bizonyultak a legjobb kompromisszumnak, mivel kielégítően nagy kihozatal mellett rugalmasan használható különféle termékekhez. A rugalmasság azt a képességet jelenti, hogy

- a levegő egy részét a szerszámból kilépő tömlő legforróbb részére irányítjuk az ajk segítségével,
- megfelelő felfűvódási szög alakítható ki a felső ajkakhoz,
- a levegő fő áramlását megfelelően kontrollált szögben és tágulási mértékben szabályozzuk a felső ajkakkal, lehetővé téve a kisnyomású régió beállítását.

A legtöbb gyűrű további kialakításokat hordoz a levegőnyílásokon kívül, amelyek segítenek stabilizálni és megtámasztani a tömlőt. Egyeseknél közelebből engedik rá a hideg levegőt a tömlőre, ezáltal fokozva a hűtést.

Légterelő fóliás megoldás

A fűjt fóliák kihozatali sebességének növelésére a német IKV intézet (Aachen) kutatói új, a hagyományos képest hatékonyabb megoldást dolgoztak ki. Ennek lényege, hogy a szerszámból kilépő tömlő külső felületét körbevevő, kifeszített TPU fóliával leszűkítik a befűjt hűtőlevegő áramlási keresztmetszetét. Az így kialakított keskeny, körszimmetrikus légcatornában a levegő áramlása felgyorsul, nyomása lecsökken (Venturi hatás). A víztiszta TPU fólia kifeszítését egymás felett elhelyezett íriszgyűrűkkel oldották meg.

A fűjt fóliáknál a szerszámból kilépő olvadt állapotú műanyag tömlőt belső nyomásának növelésével fűjják fel, miáltal a tömlő átmérője többszörösére nő, falvastagsága pedig lecsökken. A szerszámból kilépő műanyag olvadt állapotú tömlő megszilárdulását (poliolefinnek esetén részleges kikristályosodását) a szerszám felett elhelyezett hideg levegőt befűvő gyűrűkkel, illetve a tömlő belsejébe befűjt hideg levegővel gyorsítják fel.

A hűtés hatásfoka több tényezőtől függ. A hagyományos hűtőgyűrűs megoldásnál az elvont hőáram

$$Q = A \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

ahol „Q” a hőáram, „A” a fólia tömlő felülete, „ α ” a hőátadási koeficiens és „T” a fólia felületének és a hűtőlevegő hőmérsékletének a különbsége. E módszer gyenge pontja az α hőátadási koeficiens viszonylag kicsi értéke. E ugyanis szintén több tényezőtől függ:

$$\alpha = \lambda/d \cdot Nu(Re,Pr) \sim Re$$

ahol „ λ ” a hővezető képesség, „d” a jellemző hossz, „Nu” a Nusselt szám, „Pr” a Prandtl szám és „Re” a Reynolds szám. A Reynolds számot befolyásoló tényezők:

$$Re = (\rho \cdot v \cdot d)/\eta$$

ahol „ ρ ” a hűtőlevegő sűrűsége, „v” a levegő áramlási sebessége, „ η ” a levegő dinamikus viszkozitása. Ezért a *hőátadási koeficiens értékét a hűtőlevegő áramlási sebességének növelésével érhetjük el, miközben a többi jellemző állandó marad.*

A levegő sebességének megnövelése a nyomás csökkenésével jár (Venturi hatás), ezért itt a szerszámból kilépő tömlő gyorsabban fűjődik fel, hamarabb nő meg az átmérője, mint a hagyományos megoldásoknál. Ez pedig az érintkezési felület megnövekedésével tovább gyorsítja a hűlést.

Mindezt az biztosítja, hogy a fóliatömlő felülete és a légterelő TPU fólia között viszonylag kis távolság van. Mivel a különböző alapanyagok és termékek fűjt tömlő geometriája eltérő, a víztiszta TPU fólia (*Demopan 3690AU*, gyártó: Covestro AG) használata révén a gépbeállító látja a fóliatömlőt és így az írisz gyűrűk átmérőjének bővítésével/szűkítésével beállíthatja a rés optimális nagyságát.

A fenti elmélet kipróbálásához a kutatók két egycsigás extrudert használtak (*KFB 45/600*, L/D = 24, gyártó: Kuhne Anlagenbau GmbH) 45 mm átmérőjű csigával. A csiga három zónás kialakítású volt nyíró és keverő elemekkel ellátva. Az anyag betápláláshoz egy gravimetrikus adagolót (gyártó: Plast-Control GmbH) használtak. A szerszám kilépő nyílása 80 mm átmérőjű volt, 1,5 mm kilépő falvastagsággal és 8 mm hosszú vasaló szakasszal.

A hagyományos és légtelítéses módszer hatékonyságának összehasonlítására egy ún. teljes faktoriális kísérleti terv (1. táblázat) szerinti méréseket végeztek. A vizsgálatokat kis- és nagysűrűségű polietilén, kissűrűségű lineáris polietilén és polipropilén felhasználásával végezték. A légtelítő eljárással a kihozatali teljesítmény (2. táblázat) átlagosan kb. 30%-kal javult, de egyes esetekben 60%-os javulást is el lehetett érni.

1. táblázat

Teljes faktoriális kísérletterv

Paraméter	Mértékegység	Alacsony érték				Magas érték			
Felfújási arány	(-)	2,4				3,2			
Fólia vastagság	(μm)	60				180			
Lég-befújási teljesítmény	(%)	50				100			
Ömledék hőmérséklet	($^{\circ}\text{C}$)	PE-LD 180	PE-LLD 190	PE-HD 200	PP 220	PE-LD 200	PE-LLD 210	PE-HD 200	PP 240

2. táblázat

A légtelítéssel és a hagyományos módon előállított fújó fólia átlagos kihozatali sebességének összehasonlítása

Alapanyag	Kihozatali sebesség (kg/h)	
	Hagyományos mód	Légtelítéses mód
PE-LD	22	28
PE-LLD	22	30
PE-HD	24	34
PP	19	25

A fóliák falvastagság ingadozása (3. táblázat) átlagosan mintegy 3%-kal nőtt, de egyes esetekben csak 1,5%-kal. Ennek feltehetően az volt az oka, hogy a légtelítő TPU fólia nem volt teljesen simára kifizítve, és a ráncok megzavarták a légáramot.

A fóliák mechanikai vizsgálatát egy Zwick Z10 univerzális mérőberendezéssel határozták meg a DIN EN ISO 527-1 szerint. Az alkalmazott húzási sebesség 200 mm/perc volt. A légtelítéssel készült minták az extrudálás irányában mért átlagos szakítószilárdsága (4. táblázat) szignifikánsan jobb lett, mint a hagyományos eljárással készülté. Ennek az az oka, hogy a hamarabb lehűlő fólia itt nagyobb orientációt szenved, ami javítja a szilárdságot. A szakadási nyúlásnál (5. táblázat) azonban kismértékű csökkenés volt tapasztalható, ami szintén a nagyobb mértékű orientáció következménye. A nagyobb orientációt bizonyítják a zsugorodási mérések (6. táblázat). A hagyományos eljárással készült fóliákhoz képest a légtelítéssel gyártottak zsugorodása (a relaxációs folyamatok következtében) ugyanis átlagosan kb. 10%-kal nagyobb volt.

3. táblázat

A légtérrel és a hagyományos módon előállított fűjt fólia átlagos falvastagság ingadozásának összehasonlítása

Alapanyag	Falvastagság ingadozás (%)	
	Hagyományos mód	Légtérreléses mód
PE-LD	5,8	8,2
PE-LLD	6,5	8,2
PE-HD	6,4	8,4
PP	6,0	8,9

4. táblázat

A légtérrel és a hagyományos módon előállított fűjt fólia szakítószilárdságának összehasonlítása

Alapanyag	Szakítószilárdság (MPa)	
	Hagyományos mód	Légtérreléses mód
PE-LD	21	22
PE-LLD	55	50
PE-HD	41	43
PP	51	53

5. táblázat

A légtérrel és a hagyományos módon előállított fűjt fólia szakadási nyúlásának összehasonlítása

Alapanyag	Szakadási nyúlás (%)	
	Hagyományos mód	Légtérreléses mód
PE-LD	420	410
PE-LLD	780	780
PE-HD	850	820
PP	680	650

6. táblázat

A légtérrel és a hagyományos módon előállított fűjt fólia zsugorodásának összehasonlítása

Alapanyag	Zsugorodás (%)	
	Hagyományos mód	Légtérreléses mód
PE-LD	59	63
PE-LLD	22	30
PE-HD	54	59
PP	44	48

Összeállította: Dr. Füzes László

Cool running: air advances = Film & Sheet Extrusion, www.filmandsheet.com. június, 2021. p.21–24.

Kraus L., Hopmann C., Facklam M.: Kühlluft flexibel führen = Kunststoffe, 9. sz. 2020. p. 74–79.