

A DR-PACK fejlesztései PE fólia gyártástechnológiában

HORVÁTH ZOLTÁN*
ILLÉS TAMÁS*
PELCZ ANTAL*

Hazánkban számos vállalkozás tevékenykedik a fóliagyártás területén. A gyártók közül azonban csak néhányan foglalkoznak technológia fejlesztéssel és gépgyártással. Ezen cégek egyike a DR-PACK KFT., melynek fő tevékenysége fűjt PE fólia gyártása és konfekcionálása. A cég mérnökei a jelenlegi gyakorlatban széleskörűen alkalmazott fóliagyártási eljárás hiányosságait és hibáit igyekeztek csökkenteni fejlesztő munkájukkal és találmányaikkal. A fűjt fóliagyártás területén két konkrét találmány született, a forgómagos fóliafűvő fej és az intenzív léghűtési rendszer. Ezek a találmányok egy újgenerációs fólia gyártására alkalmas gépsorba épültek be.

A fólia gyártására leginkább elterjedt és széles körben preferált eljárás a fólia fűvás. A leggyakrabban alkalmazott fólia fűvő gépek segítségével általában $\pm 15\text{--}20\%$ tűréssel tudunk fóliát gyártani. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy egy elméletileg 20 μm vastag fólia gyakorlatilag 16 és 24 μm közötti vastagságú. A leggyengébb láncszem hasonlatnak megfelelően, ez a fólia csak a 16 μm keresztmetszetnek megfelelő teherbírású, vagyis a teherbírása megegyezik egy olyan fóliával, amely mindenhol 16 μm vastagságú. Ezzel a technológiával gyártott fólia rengeteg anyaghibát tartalmaz, mely egy pontosabb gyártási eljárással kiküszöbölhető, és a fóliánk teherbírása nem csökken (1. ábra).

Ezen megfontolások alapján kezdtük el azt a fejlesztő munkát, melynek eredménye egy olyan technológia, ami az anyaghibát megszüntetése mellett növeli a fólia teherbírását. Ezen új technológia segítségével a fólia tűrése $\pm 1\text{--}2\%$ között tartható, a fólia szövetszerkezete pe-

dig a teherbírás szempontjából egy kedvezőbb orientált-ságú hálós struktúrát képez, melynek következtében a mechanikai mutatók 10–150%-kal növekszenek.

Az új technológia esetén tehát, a fenti névlegesen 20 μm -es fólia egy névlegesen 17,5 μm -es fóliával kiváltható. Ha azonban figyelembe vesszük a kedvező szövetszerkezeti változásokat, akkor egy 16 μm -es fólia is tökéletesen helyettesíti a korábbi 20 μm -es fóliát. Az új technológia segítségével kb. 25–30% anyagot takaríthatunk meg, s ennek következtében világviszonylatban több millió tonnával kevesebb hulladékkal terheljük a környezetünket.

Hosszú évek tapasztalatai alapján fejlesztettük tovább a fűjt fólia gyártási technológiáját. A fejlesztés célja és eredménye egy olyan berendezés, amely nagy sebességű, egyenletes vastagságú és anyagminőségű, kedvezőbb szakadási és nyúlási paraméterekkel rendelkező fólia gyártását teszi lehetővé.

A gép két alapvető újdonsága a tömlőképzést végző forgómagos fej, és a tömlő gyors visszahűtését elősegítő intenzív léghűtés.

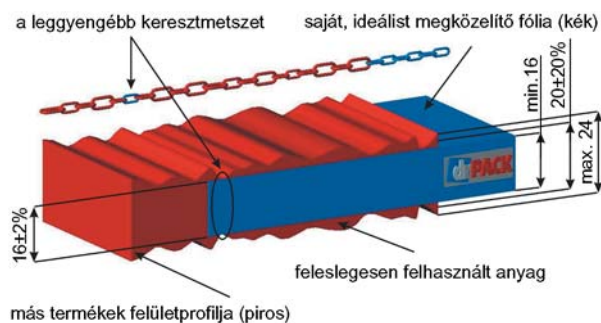
A következőkben röviden bemutatjuk a forgómagos és a hagyományos forgó fóliafűvő fej közötti alapvető különbségeket, amelyek lehetővé teszik a fóliák legújabb generációjának gyártását.

Tökéletes fólia akkor gyártható, ha minden paraméterét tekintve (vastagság, hőmérséklet, anyagszerkezet, sebesség a kerület mentén stb.) homogén anyag lép ki a szerszám állandó méretű részén egy intenzív és egyenletes hűtéssel rendelkező térbe (2. ábra).

A fejnek több szerepe van. Megváltoztatja az anyagáram irányát, szétosztja az anyagot egy körgyűrű keresztmetszetre, az inhomogenitást megszünteti, biztosítja a kilépő keresztmetszet állandó résméretét.

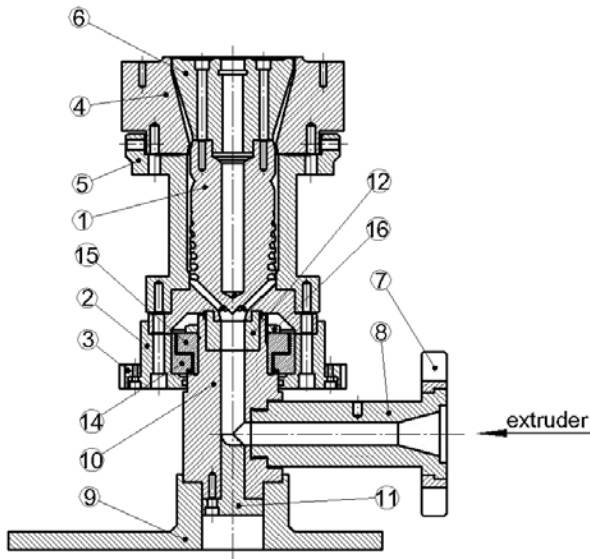
A hagyományos fej hibái

A, A fejben az anyagáram több kis átmérőjű furatba oszlik szét, melyek mindegyike egy-egy spirális csatornába vezet. Annak ellenére, hogy az anyagáram a spirális csatornák után össze van vezetve, a kilépő keresztmetszetben a sebesség a kerület mentén nem egyenletes, mert a csatornák kiömléseinél nagyobb az anyagáram.



1. ábra. Fólia metszet

*DR-PACK Kft., 2040 Budaörs, Seregély utca 3., telefon: 06-23-430-040, fax: 06-23-430-042, www.drpack.hu



2. ábra. Hagyományos forgófej.

- 1 – spirál mag; 2 – csapágház; 3 – fogaskorú; 4 – matrica; 5 – külső ház; 6 – mag; 7 – karima; 8 – nyaktag; 9 – talp lemez; 10 – fordítókamra; 11 – fordítóbetét; 12 – csúszótömítés; 13 – teflonbetétek; 14 – csapágyfél külső; 15 – csapágyfél belső; 16 – csapágyanya

B, A fejben lévő szétszító- és spirálcsatornáknak van még egy kedvezőtlen hatása. Az anyagáram többszörös szét- és összevezetése a fejben nemcsak gátolja a homogén anyagszerkezet kialakítását, hanem éppen folyamatosan szétszabdálja a kialakuló orientációkat. Így egy viszonylag rendezetlen (inhomogén) szövetszerkezet keletkezik. Ezáltal jelentősen lerontja a végtermék mechanikai (szilárdsági, nyúlási, szakadási stb.) tulajdonságait.

C, A kilépő gyűrűkeresztmetszetet képző alkatrészek nem egymáshoz vannak rögzítve. Így ezen alkatrészek egymáshoz viszonyított helyzetét (koncentrikusságát, egytengelyűségét) a közvetítő alkatrészek illesztése, alak- és helyzettűrése határozza meg. A pontosságnak a gyártástechnológia szab határt. A pontatlanság eredménye, hogy a résméret a kerület mentén nem lesz állandó, ami az egyik legfőbb oka a fólia nagy vastagsági eltéréseinek.

Az anyag letapadási hajlama is jelentős hatással van a fólia vastagságára. A hagyományos fejeknél a ház és a mag egymáshoz viszonyítva nem forog, a letapadt anyagot csak az axiális anyagáram szakíthatja le. Ez azt eredményezi, hogy a letapadt részecskékhez továbbiak tapadnak, így megduzzadnak, és „csíkot” húznak a kilépő anyagba. Kritikus méretűvé válásukat követően leszakadnak a felületről, és az anyagáramba beépülve szakadási gócpontot képeznek a termékben.

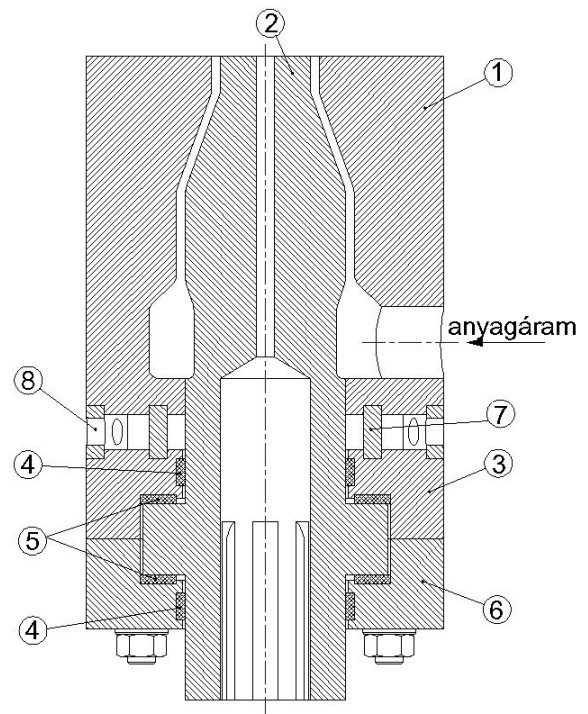
D, Az anyagot a fej külső felületeire csatolt fűtőtesteken keresztül fűtjük. A külső hőforrás, a fej anyagának

inhomogenitása és a geometria változása miatt, az olvadt műanyag kerülete mentén nem egyenletes hőterhelést kap. Így a kerület mentén nem egyenletes hőmérséklettel lép ki a fejből. A hő a fűtőtestben képződik, kb. fele a környezetet melegíti, míg a maradék része vezetés útján jut el az anyagba, s lényegében az anyag melegíti fel a fej mag részét. Ezért mindenképpen a belső fal hidegebb, a külső fal pedig melegebb, mint az anyag, így a letapadás, esetleg a leégés nagy valószínűségű.

A fent megfogalmazott hiányosságok a fólia vastagságában akár $\pm 20\%$ -os eltérést eredményeznek. Az ilyen hibával rendelkező fólia csak úgy tekerceselhető fel, ha a fej forog.

A forgatás azonban újabb problémákat vet fel. Mivel a csapágyazás nagy hőmérsékleten üzemel (kb. 200°C), a kenőanyag kiolvad, és folyamatos utánpótlást igényel. Ezenkívül a fűtőtestek áramellátását és a gép szabályzásához szükséges kommunikációt csúszógyűrűkön kell megoldani, valamint a fűtőtestek szabályzóegységeit is a forgó részre kell felépíteni.

Ezen problémák megszüntetésére irányuló törekvésünk eredményeképpen született meg a következőkben – koncepcionálisan – bemutatásra kerülő forgómagos fóliafűvő fej (3. ábra).



3. ábra. Forgómagos fej koncepció

- 1 – ház-matrica egység; 2 – forgó mag; 3 – csapágyfél felső; 4 – radiális teflon betét; 5 – axiális teflon betét; 6 – csapágyfél alsó; 7 – központosító gyűrű; 8 – távtartó gyűrű

A korábban vázolt négy probléma kiküszöbölése a forgómagos fejfel

A, Egyenletes sebesség a kerület mentén: Az irányváltásból adódó inhomogenitást a fej ellenállásával szüntetjük meg. A korábbi fejeknél az irányváltás után az anyag azonnal elindulhatott felfelé, s nem volt rákényszerítve, hogy előbb alkosson egy viszonylagosan homogén körgyűrűt, s csak utána menjen tovább. Jelen esetben a folyamatosan szűkülő rés nagyobb ellenállást jelent az anyagnak, mint a forgómag körbefutása, ezért először feltölti ezt a körgyűrűt, és csak azután indul el felfelé az anyagáram. A szerszám ellenállása a forgómag fordulatszámával szabályozható. Ezáltal megszűnik a beömlő csatorna közelében (felett) kialakuló nagyobb térfogatáram és nagyobb kilépő sebesség. Így a kerület mentén egyenletes sebességgel kilépő anyagot kapunk.

B, Rendezett, hálós (homogén) szövetszerkezet: Kialakulása a mag forgásának köszönhető. Mivel a külső ház áll és a belső mag forog, ezért meglehetősen nagy sebességkülönbség van az anyagot határoló felületek között, másrészt az anyag áramlik felfelé is. A kétirányú mozgás eredőjeképpen, az anyag mintegy spirális pályán áramlik. Ezenkívül az anyagáramot, a hagyományos fejhez képest, nem osztjuk szét több csatornára és vezetjük össze ismét, ezáltal nem rontjuk le (tördeljük szét) a már kialakult homogén anyagáramlást és szövetszerkezetet. Így kedvező mechanikai tulajdonságokkal rendelkező egyenletes hálós szövetszerkezetet kapunk.

C, Egyenletes vastagságú fólia: A forgó mag, az álló ház és a köztük nagy nyomással áramló folyékony anyag egy siklócsapágyat alkot. Ez a kialakuló siklócsapágy (a lentebb elhelyezett teflongyűrűkkel együtt) vezeti a forgó magot az álló házban, és pontos önbeállást valósít meg, ezáltal a kilépő keresztmetszet állandó résméretű. Ezenkívül a mag forgásának következtében, az anyag folyamatos mozgásban van, s így a letapadás valószínűsége minimálisra csökken. Az esetlegesen letapadó szemcséket a nemcsak axiálisan, hanem tangenciálisan is mozgó anyag azonnal felszakítja. Így szavatolható az egyenletes vastagságú fólia.

D, Azonos hőmérséklet a kerület mentén: A fej hőmérsékletét induláskor a ház külső felületére szerelt fűtőtestekkel állítjuk be, majd a forgatás bekapcsolását követően a fűtőtestek szerepe csökken, s a mag gyűrő munkájával fűtjük az anyagot. Lényegében a hő az anyagban képződik, míg a fűtőtestekkel csak nagy veszteségek révén, a ház közvetítésével vittük be a hőt. Ily módon az anyag hőmérsékletének egyenletessége is szavatolható, és a kerület mentén egyenletes hőképet kapunk.

Ezzel a konstrukcióval biztosítani tudjuk tehát a kilépő keresztmetszet koncentrikusságát, az anyag egyenle-

tes belső fűtését, a kerület mentén egyenletes anyagáramlást, a letapadás megelőzését, és egy homogén rendezett szövetszerkezetű fóliát kapunk. Az így gyártott termék vastagsági hibája $\pm 5\%$ alatt tartható. Ami az eddigi $\pm 20\%$ -hoz képest jelentős anyagmegtakarítást eredményez, és a környezetterhelést is ugyanannyival csökkenti.

A fej résén kilépő anyagból tömlőt képzünk, amelyet a megfelelő méretre fűjást követően kell visszafagyaszteni. A hűtés levegővel történik. A hűtőrendszer két egységből épül fel:

1. A tömlő *külső* felületének hőmérsékletét befolyásoló hűtőgyűrűből.
2. A tömlő *belső* felületét hűtő belső hő, illetve levegőcserélő egységből.

Ezen hűtőegységek mindegyike hőátadás útján valóítja meg a hőcserét. Az átadott hő mennyiségét három tényezővel tudjuk befolyásolni.

1. A hűtőközeg és a fal hőmérsékletkülönbségével. Ebben az esetben a fal 200°C -os, a környezeti levegő 25°C . A környezeti levegőt lehűtve 5°C -ra a hőmérsékletkülönbség ugyan növekszik, de a 175°C -ról 195°C -ra történő változás mindösszesen csupán 10% növekedést eredményez, a hűtött levegő előállítására azonban egy nagy kapacitású léghűtő rendszert igényel. Tapasztalataink szerint azonban, már ez a hűtött levegő hatására bekövetkező 10% -os hűtési hatékonyságnövelés is érzékelhető volt a fólia minőségében, ezért úgy véljük, hogy a bemutatásra kerülő megoldásokkal még jobb eredményeket fogunk elérni.

2. A fóliagyártás során adott minőség eléréséhez adott geometriai viszonyokat és arányokat kell betartani. A fólia felülete ebből kifolyólag adott. Ezért a hőátadó felület sajnos nem változtatható.

3. A hőátadási tényező viszont széles határok között változtatható, levegő esetében elsősorban a levegő relatív páratartalmával és a levegő áramlási sebességével (sebességkülönbség a fólia és a levegő között) befolyásolható.

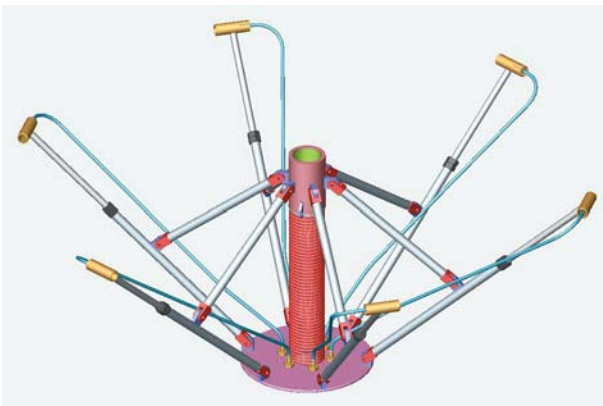
A hőátadási tényezővel jelentős mértékben változtatható a hőátadás mértéke. A nyugvó száraz levegő hőátadási tényezője kb. $5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, míg egy párás, erősen áramoltatott levegő hőátadási tényezője kb. $250 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Tehát a hőátadási tényezővel akár az 50-szeresére is növelhető az elszállított hő mennyisége.

A levegő sebességének a tömlő szilárdsága szab határt. A sebesség a levegő örvényszerű bevezetésével azonban tovább növelhető. Továbbá, a levegőörvényből a fóliára ható centrifugális erő kedvező a tömlő stabilitására nézve.

A sebességkülönbség növelésével tehát nő a hőátadási tényező, melynek következtében nő a hűtőtéljesít-

mény. A hűtőteljesítmény növelésével növelhető a fólia pályasebessége, s ezzel együtt a gép termelékenysége, a termelés hatékonysága.

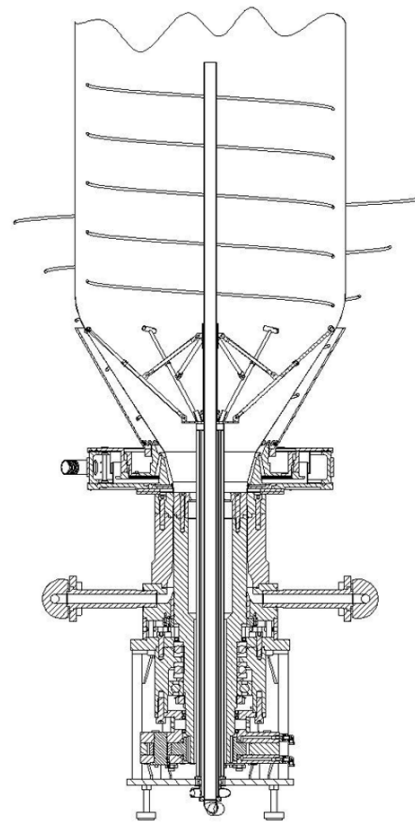
Az eddigiekben ismertetett elméleti és gyakorlati tapasztalatok alapján építettük a következő fóliafúvó egységet. A hűtőegységben a fent említetteknek megfelelően, az áramló levegő sebességének növelésével és irányának változtatásával tesszük hatékonyabbá a hűtést. A levegőt mind a hűtőgyűrűből, mind pedig a belső légcserélőből tangenciális réseken keresztül fújjuk a fóliára, a belső légmozgás intenzitását a fúvókák venturi cső jellegű kialakításával fokoztuk. Ezáltal egy-egy örvényt hozunk létre a tömlő külső felületén és a tömlő belsejében. A két örvényt ellenáramban működtetjük egymással, s így a tömlőre gyakorolt kedvezőtlen hatásai egymást ellensúlyozzák, míg a kedvező hatások egymással párhuzamosan működnek (4. ábra).



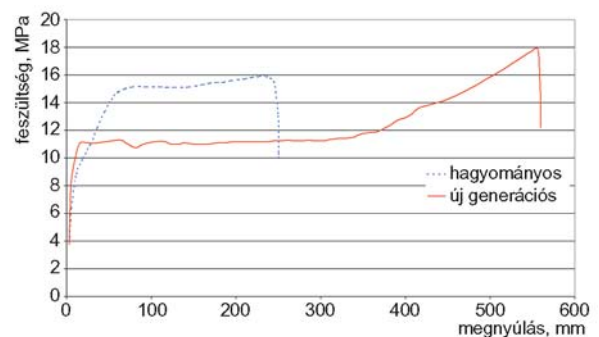
4. ábra. A hűtőrendszer belső fúvókái

A belső légcserélőnél a levegő az esernyőszerű mechanizmussal mozgatott fúvókákon lép be, és a tömlő közepén felnyúló csövön keresztül szívjuk ki (5. ábra).

Az általunk kifejlesztett fólia szakítóvizsgálatai a szakadási nyúlás nagy mértékű, a szakítószilárdság kisebb mértékű javulását mutatják. A vizsgálatokat az MSZ EN ISO 527-1, illetve az MSZ EN ISO 527-3 szabvány szerint végeztük el. A próbatest szélessége 25 mm, a befogópofák közti távolság 100 mm volt. A vizsgálati sebességet a szabványban rögzített értékek között változtattuk. 500 mm/min-es szakítósebességnél a szakadási nyúlás 125%-kal, ezzel párhuzamosan a szakítószilárdság 13%-kal növekedett. A 6. ábrán a többször megismételt szakítóvizsgálat átlag eredményét láthatjuk, melyet a szélső értékek elhagyását követően maradt adatokból képeztünk. Azért választottuk ezt a viszonylag nagy szakítósebességet a szemléltetéshez, mert a fóliák is ekkora, vagy esetleg még nagyobb sebesség mellett kerülnek felhasználásra, s így lényegében felhasználási körülmények között teszteltük a termékmintákat.



5. ábra. A fúvó fej és a hűtőrendszer, a légáramokat szemléltető spirálokkal



6. ábra. Szakítódiagram (szakítósebesség 500 mm/min)

A továbbiakban többrétegű fóliák gyártására is ki akarjuk terjeszteni a technológiát, ahol hasonló eredményekre számítunk. Kezdetben egy kétrétegű fóliafúvó fejet építünk, melynek most dolgozunk a tervein, s várhatólag egy hónap múlva indul el a gyártása. Ezzel a fejjel egy már meglévő gépsorunk hagyományos forgó fejét váltjuk ki. Több éves kutató-fejlesztő munkánk eredményeivel a 2004 őszén, Düsseldorfban tartandó K 2004 műanyagipari szakkonferencián akarunk a nagyközönség elé lépni.