

## Műanyag alapanyagok szárítása

Néhány apoláris műanyag, pl. a polietilén, polipropilén és polisztirol kivételével a hőre lágyuló műanyagok döntő többségét feldolgozásuk előtt ki kell szárítani. Ennek elmulasztása felületi hibákat okozhat, illetve a hidrolízis okozta lánc-tördelődés miatt a mechanikai jellemzők drasztikus romlásával járhat. A túlzott kiszárítás az ömledékviszkozitás megnövekedése miatt szintén károsíthatja a polimert. A szárítóberendezés kiválasztása, üzemeltetése és karbantartása számos problémát vet fel és megfelelő szakértelmet igényel.

*Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; hőre lágyuló műanyagok; szárítás.*

## Mely anyagokat kell szárítani?

Néhány apoláros műanyag, mint a polietilén, polipropilén és polisztirol kivételével a hőre lágyuló műanyagok döntő többségét feldolgozásuk előtt ki kell szárítani. A többé-kevésbé poláros kémiai szerkezetű polimerek (és/vagy a bekevert adalékanyagok) a levegő nedvességtartalmából vizet abszorbeálnak egy, az adott hőmérsékletnek megfelelő egyensúlyi koncentráció eléréséig. A víz a műanyagömledék feldolgozási hőmérsékletén gőzzé alakulva egyrészt a felületen esztétikai problémákat (pl. hólyagosodás, „cirmos” felület) okoz, egyes esetekben pedig – hidrolízis miatt – a polimerlánc kovalens kötéseinek elszakításával lánc-tördelődést okoz, ami a mechanikai tulajdonságok drasztikus leromlását eredményezi. Az apoláros szerkezetű műanyagok felületére is kicsapódhat nedvesség, ha azokat hideg környezetből (pl. télen fűtetlen raktárból) hozzák a feldolgozóüzem melegebb környezetébe. Ez a terméken felületi hibákat okozhat. Általában a feldolgozás előtti egy napos tárolás az üzemen megoldja ezt a problémát. Néhány műanyag szárítási igényeit és paramétereit az 1. és a 2. táblázat szemlélteti. A szárítás nélkül csak felületi hibákat mutató polimereket általában elegendő 0,05–0,1%-os nedvességtartalomig kiszárítani. A hidrolízisre hajlamos műanyagokat azonban általában 0,02% vagy esetleg még alacsonyabb, esetenként 0,005% értékig kell szárítani. A szükséges szárítás mértéke nemcsak az alapanyagtól, hanem a feldolgozás módjától és a feldolgozási paramétereiktől is függ; például a profil-extrúzióval feldolgozott műanyagokat jobban ki kell szárítani, mint a fröccsöntötteket.

Ugyanakkor a víz lágyítóként viselkedik a polimerömledékben, ezért túlzott mértékű eltávolítása erősen megnöveli az ömledék viszkozitását, ami a túl magas frikció miatt a polimer károsodását, felületi hibák megjelenését okozhatja. Ezért a szárítást az optimális nedvességtartalom eléréséig kell végezni. Az utólagos műveletek, mint pl. az ultrahangos hegesztés vagy fémbevonás további szárítást igényelhetnek.

1. táblázat

## Néhány műanyag szárítási igényei

| Nem igényel szárítást   | Szárítani kell, enélkül:                    |   |
|---|---|---|
|   | felületi hibák                              | láctöréledés és a mechanikai tulajdonságok romlása  |
| Polietilén<br>Polipropilén<br>Polisztirol<br>Butadién-sztirol kopolimer<br>Poli(metil-pentén) | ABS<br>SAN<br>PPE/HIPS<br>PPS<br>POM<br>PVC | PET<br>polikarbonát<br>poliamidok<br>PBT<br>poliuretán<br>politejsav (PLA)<br>poliimidek (PEI, PAI) |

2. táblázat

## Néhány műanyag szárítási paramétere

| Műanyag típusa     | Szárítási hőmérséklet, °C | Lágyuláspont, °C |
|--------------------|---------------------------|------------------|
| ABS, SAN, ASA      | 70–80                     | 93–105           |
| PMMA               | 70–80                     | 93–105           |
| Polikarbonát       | 120                       | 145              |
| Poliéterimid (PEI) | 150                       | 220              |
| PBT                | 120                       | 215              |
| PPS                | 150                       | 275              |

A szárítás optimalizálása nem könnyű feladat, mert egyrészt a kiszárítandó anyag eredeti nedvességtartalma szarsonként eltérő lehet, és csomagolásának felbontása után viszonylag gyorsan (akár 20–30 perc alatt) jelentős mennyiségű nedvességet abszorbeálhat, másrészt a szárítóberendezés működésének hatékonyságát nagyon sok tényező (ld. később) befolyásolja. Emellett nem szabad arról sem megfeledkezni, hogy az egyszer már kiszárított anyag újra benedvesedhet pl. üzemszünetekkor, vagy a szállító csővezeték, ill. tároló tömítetlensége miatt.

### Ajánlások a szárítás optimalizálására

A szárítás fontosságát egy aromás poliamidból (PPA) fröccsöntött autóiipari tengelykapcsoló hidraulikahengerének példája szemlélteti. Az ilyen hengerek működés közben nagy (40–50 bar) nyomásnak vannak kitéve, és meghibásodásuk jelentős balesetveszéllyel jár. Ezért az autógyár a nyomásállóságot az üzemi érték többszörösének megfelelő túlbiztosítással állapította meg. A próbagyártás sikerrel végződött, de a sorozatgyártás megkezdése után a nyomástervezők időnként az előírtól alacsonyabb értékeket mutattak. A fröccsöntő cég külső szakértőket is bevonva minden lehetséges hibaokot feltárt, részletekbe menően megvizsgálva és dokumentálva a gyártási paramétereiket, az alapanyagot, a szerszámot és a fröccsgépet is. Végül a nem mindig ki-

elégítő szárítást sikerült hibaokként megtalálni. Ezt részben az is okozta, hogy az oktabinben érkező anyag nedvességtartalma az oktabin térfogatában nem volt egyenletes érték. A PPA szobahőmérsékleten, 50% relatív nedvességtartalmú légtérben 1,3–1,7% nedvességtartalmat vesz fel. Az optimális (1. ábra) nedvességtartalmat 0,03% értéken állapították meg. A vákuumcsomagolású oktabinekben érkező alapanyag nedvességtartalma 0,05–0,08% volt, de a zárófólia felhasítása után az anyag gyorsan elkezdett nedvességet abszorbeálni. *A szárítást a lehető legalacsonyabb hőmérsékleten kell elvégezni energiatakarékosság és az anyag oxidatív károsodásának elkerülése érdekében.* Ehhez szárított levegős rendszert használtak, ahol a száraz levegő harmatpontjának minél alacsonyabb értéken tartásával lehet a szárítás hatásfokát növelni. A reprodukálható szárítást egy olyan megoldással érték el, ahol a szárítás hőmérsékletét és a levegő harmatpontját automatikusan szabályozni lehetett. Az alkalmazott 600 literes szárítóberendezés az áthaladó anyagmennyiség változását a kilépő szárítólevegő hőmérsékletének változása révén érzékeltte, és így pl. növekvő hőmérséklet esetén csökkentette a légáram (max. 120 m<sup>3</sup>/h) nagyságát. A felnyitott oktabinekre folyamatosan kis mennyiségű szárított levegőt vezettek, hogy a nedvességfelvételt meggátolják. Természetesen a granulátum nedvességtartalmát rendszeren mérték.

A szárítási paraméterek sokrétűek, a leggyakrabban a kiszárított, meleg levegővel történő szárítást alkalmazzák. Ilyenkor a levegő hőmérséklete, nedvességtartalma (amelyet harmatpontjával jellemeznek), térfogatárama a granulátumszemcsék között, a granulátum tartózkodási ideje a (zárt) szárító tartályban, a tartályból kilépő levegő hőmérséklete (amely visszakerül a légszárító egységbe) a legfontosabb paraméterek. Azonban számos más tényezőt is figyelemmel kell kísérni a szárítóberendezés üzemeltetése és karbantartása során.

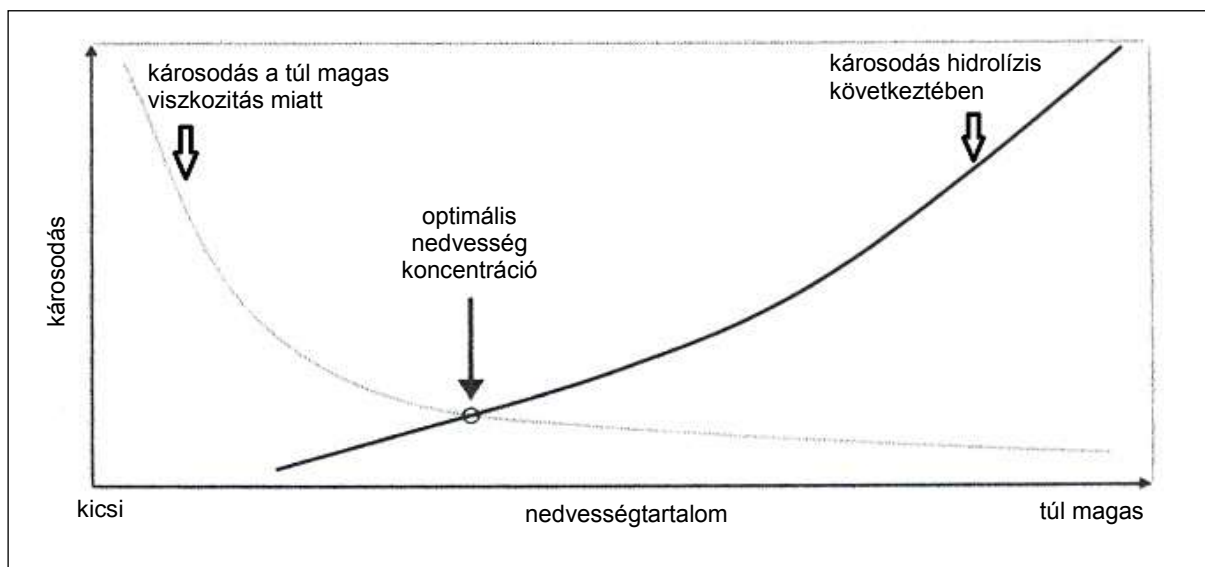
A leggyakrabban abszorpciós (szilikagéles) légszárítóval dolgoznak.

Bizonyos esetekben vákuumos (ennek a legjobb az energiahatékonysága), illetve sűrített levegős berendezést alkalmaznak, illetve végeztek üzemi kísérletek infravörös sugárzással és mikrohullámú hevítéssel szárító berendezésekkel is. Egyes feldolgozók szárítás nélkül alkalmazzák a forró levegőt, de ez a módszer kevésbé hatékony és kevésbé reprodukálható eredményeket szolgáltat. A hideg éghajlatú országokban télen az üzemi levegő harmatpontja elérheti akár a –20 °C-ot is, de nyáron, párás időszakokban értéke +20–25 °C, amivel nem lehet az alacsony nedvességtartalmot igénylő alapanyagok szárítását sikeresen elvégezni, bármilyen hosszú ideig történjen is a szárítás.

Az alapanyaggyártók általában részletes ajánlásokat adnak anyaguk szárítási paramétereit (hőmérséklet, időtartam, harmatpont) illetően. Legtöbbször a szárító levegő –30–40 °C-os harmatpont értékét javasolják. Az ilyen mértékű kiszárítás úgy lehetséges, hogy a levegőt erősen nedvszívó hatású abszorbensen vagy membránszűrőn áramoltatják át.

A szárítás annál hatékonyabb, minél magasabb hőmérsékleten végzik azt, mivel a hőmérséklet emelkedésével felgyorsul a nedvesség eltávolítása a granulátumokból. Azonban a szárítás hőmérséklete nem érheti el a polimer lágyuláspontját (ld. 2. táblázat), mert ilyenkor a granulátumszemcsék összeragadnak. Ez főleg az amorf polimereknél léphet fel, amelyeknek a lágyuláspontja és a T<sub>g</sub>-je hasonló érték. Egyes részle-

gesen kristályos anyagoknál (pl. a poliamidoknál) nem a lágyuláspont, hanem az anyag oxidációja szab határt a szárítás hőmérsékletének. A különböző keverékek (pl. PC/ABS, PPE/HIPS) esetében az összetevők aránya szabja meg a szárító levegő maximális hőmérsékletét. Speciális szárítást igényel a PET és a PLA (ez utóbbi is poliészter). Ezek ugyanis az amorf fázisból még jóval kristályos olvadáspontjuk alatti hőmérsékleten kristályosodni kezdenek. A PET  $T_g$ -je 70–75 °C, efelett az anyag meglágyul, kristályosodni viszont csak a 110-150 °C-os tartományban fog. Ezért a hőmérséklet emelésekor a meglágyult granulátumok összetapadnak. A PET megfelelő szárításához általában 135–165 °C, néha még magasabb hőmérséklet szükséges, ezért az átkristályosodás folyamán az összetapadás elkerülése érdekében állandó keverésre van szükség. A PLA hasonlóan viselkedik, de az itt alkalmazott hőmérsékletek alacsonyabbak. Mindkét polimerből gyakran csak 50 ppm szintű nedvességtartalommal lehet jó minőségű terméket előállítani.



1. ábra A feldolgozandó műanyag-granulátum optimális nedvességtartalma

A szárítás hatékonyságát számos paraméter (pl. a be- és kilépő levegő hőmérséklete, harmatpontja) mérésével szokták monitorozni, de valójában *az egyetlen fontos tényező a feldolgozó gép etetőjébe belépő granulátum nedvességtartalma*. Ez utóbbit viszont csak kevés feldolgozóüzemben mérik közvetlenül. Sokan csak követik az alapanyaggyártó szárítási javaslatait, és ha nem látnak felületi hibákat, megfelelőnek minősítik a szárítást. Ez a gyakorlat azonban sokszor eredményez nem megfelelő minőségű termékeket.

*A granulátum nedvességtartalmának mérése nem egyszerű feladat.* Az egyik módszer az, amikor a kivett granulátum minták hevítés hatására (adott hőmérséklet és időtartam mellett) bekövetkező tömegveszteségét azonosítják a nedvességtartalom eltávozásával. Azonban a granulátumok nemcsak nedvességet, hanem más illékony

anyagokat is tartalmazhatnak, ezért ez a módszer hamis eredményeket szolgáltatathat. A nedvesség szenzoros (pl. Karl Fischer módszer) mérőberendezései megbízható eredményeket adnak, de a mintavételes ellenőrzés munkaigényes és csak szűrőpróbaszerű eredményeket ad. A legjobb megoldás, ha folyamatosan méri a granulátum nedvességtartalmát az etetőtölcsérben. Az utóbbi években ugyanis megjelentek a *dielektromos állandó mérésének elvén alapuló folyamatos nedvességmérő eszközök*, amelyek jelét folyamatosan regisztrálva a szárítás dokumentálható, illetve a szárító berendezés paramétereinek szabályozására is fel lehet használni. Ezzel energiát lehet megtakarítani, és csökkenthető a túl intenzív szárítás okozta oxidáció, illetve az esetleges túlszárítás veszélyét is.

## A szárítás alapszabályai

1. A szárító méretét a szárítandó anyagmennyiséghez (kg/h), kell igazítani, úgy, hogy teljesítménye azt kissé meghaladja.
2. A következő pontokon szükséges a hőmérséklet mérése:
  - a) a szárítótartályba belépő levegő csonkja: szükséges ellenőrizni, nincs-e tömítetlenség, illetve a szigetelés sérülése/hiánya miatt nincs-e túl nagy hővesztés,
  - b) a szárítótartályból kilépő levegő csonkja: szükséges ismerni a kilépő levegő hőmérsékletét, amely természetesen alacsonyabb, mint a belépőé, de (az elég gyakori) tömítetlenség esetén a hőmérséklet nagyon leeshet; ideális esetben ez az érték kb. 20 °C-kal van a szobahőmérséklete felett,
  - c) a víznyelő anyag belépési csonkja: itt sokszor hiányzik a hőmérő, pedig mind a szilikagél-abszorbens, mind a membránszűrős szárítók sokat vesztenek hatékonyságukból, ha a szárítandó levegő hőmérséklete meghaladja a 65 °C-ot, az ideális hőfok 50–65 °C,
  - d) a regenerálandó abszorbens tartályának légbevezető csonkja: alternatív megoldás, ha a regeneráló egység fűtésének teljesítményét méri;
    - célszerű riasztójelzést beiktatni, ha a regeneráló levegőjének hőmérséklete vagy a fűtés teljesítménye a kívánt érték alá esik; a kerék rendszerű regenerálók a patronos abszorbens töltetknél 175 °C-os, a molekulaszűrők esetén pedig 205 °C-os hőmérsékletet igényelnek; az ikerágyas szárítótornyok 290 °C-os regenerálási hőfokkal dolgoznak 4 órás ciklusok esetében, míg a négy ágyas berendezések csak 205 °C-on 1 órás ciklusokkal; a kilépő levegő hőmérséklete legyen nagyobb, mint 100 °C;
    - ellenőrizzék időnként az abszorbens hatékonyságát: ha száraz abszorbenst egy pohár vízbe tesznek, a víznek fel kell melegednie; a membránok sokkal hosszabb életűek; illékony vegyületek (ilyeneket pl. lágy PVC, TPE vagy cellulóz származékok tartalmazhatnak) tönkretelhetnek az abszorbenst;
    - legalább másfél évente cseréljék le az abszorbenst.

3. Építsenek be egy megfelelő méretű vízkörös utóhűtőt a granulátumszárító kilépő légvezetékébe, ha 80 °C feletti szárítási hőmérsékleteket használnak.
4. Ellenőrizték a granulátumszárító légáramának térfogatát, általában 30–40 l/h kell a szárítandó anyaghoz minden kg-jához.
5. A meleg szárító levegőt a granulátumszárító alsó pontján kell betáplálni. Így a felfelé áramló meleg levegő a granulátum teljes mennyiségét eléri.
6. A meleg szárító levegő csővezetékét hőszigetelni kell, a kilépő légvezetékét viszont nem szabad.
7. A szárítótartály etetőjének zsanéros fedele egy lépésben, könnyen lezáródó mechanizmussal legyen ellátva.
8. A szárítóberendezés nyílászáróinak összes tömítése jó minőségű, tartós kivételű legyen, és úgy záródjon, mint a hűtőszekrényeké: azaz érintkezés hatására önzáró legyen. Ügyeljenek a légvezetékek sérüléseire, tömítetlenségére.
9. Építsenek be szűrőket a finom por, szálak, olaj és illékony anyagok ellen.
10. Az összes szűrőnél mérjék és riasztással jelezzék a túl nagy nyomásesést: ez jelzi a szűrő eltömődését, illetve a tisztítás szükségességét. Tartsanak két szűrőkészletet: az egyiket üzemben, a másikat kitisztítva bevetésre készen. A szűrőket vákuummal és ne sűrített levegővel tisztítsák. Ne ütögessék a szűrőt tisztításkor: a hajlítással finom szálak szabadulnak fel, amelyek elszennyezik a berendezést.
11. A szárító vezérlőszekrénye legyen felhasználóbarát és jelzései legyenek jól láthatóak.
12. Az etetőtölcsérek, elosztópontok stb. dőlésszöge legyen 60 fokos, ezáltal elkerülhető a granulátum feltapadása a falra, illetve középen a nagyobb sebességű anyagáramlás.
13. Mérjék a szárító levegő harmatpontját, az legyen legalább –30 °C-os. Azonban az alacsony harmatpont önmagában még nem jelent jól kiszárított anyagot, csak azt, hogy a levegő alkalmas a szárításra.
14. Ne kössék be a frissen regenerált abszorbensegységet azonnal a szárító légáramlatba, mert a magas hőmérsékletű regenerálás után le kell hűlnie, nehogy az általa okozott hőfokemelkedés hatására a granulátum összetapadjon.
15. Ha lehet, használjanak vákuumszárító berendezést, mert energetikailag ezek a leghatékonyabbak.
16. Ha a karbantartás problémát jelent az üzemben, használjanak membrántípusú, sűrített levegős szárító berendezést, mivel ezek karbantartási igénye a legkisebb. A membránok nagyon tartósak és alacsony (ált. évente egyszeri) a szűrők tisztítási igénye.
17. Központi szárítóból érkező anyagot a feldolgozógép etetőjében száraz levegőpárnával kell védeni, különben 15–30 perc alatt nedvességet vesz fel az üzem levegőjéből.

Összeállította. dr. Füzes László

Schwachulla T.: Von der Suche nach dem perfekten Taupunkt = Kunststoffe, 104. k. 3. sz. 2014. p. 92–95.

Sepe M.: Why (and what) you need to dry = Plastics Technology, www.ptonline.com, Drying Supplement, 2014. április–május.

Bozelli J.: Bozelli's guide to specifying a dryer = Plastics Technology, www.ptonline.com, Drying Supplement, 2014. április–május.

Bozelli J.: Bozelli's dozen drying tips = Plastics Technology, www.ptonline.com, Drying Supplement, 2014. április–május.