

Három példa a térhálós polietilén alkalmazására

A térhálós polietilén önállóan egyrétegű csőként vagy egy többrétegű cső (akár fémmel kombinálva) rétegeként is sokoldalúan alkalmazható. A feldolgozás előtt besugárzott polietiléngranulátumokból készült termékek műszaki tulajdonságai jelentős mértékben javultak a normál polietilénhez képest. Ez a technológia kibővíti a térhálós polietilének alkalmazási körét.

Tárgyszavak: műanyag-alkalmazás; műanyag-feldolgozás; térhálós polietilén; cső; granulátum; szilán; peroxid; besugárzás; fémbetétes cső.

*Rövidítések: PE-X = szilánnal térhálósított PE;
PE-Xa = peroxiddal térhálósított PE;
LAser/TIG; LATIG = kombinált (lézeres és volfrámelektrodával ellátott védőgáz) hegesztőberendezés.*

Az első példában egy csőgyártó fejezi ki csodálkozását amiatt, hogy az ipari üzemekben a csővezetékek 80%-a még ma is a „nagyapák idejéből” származó, könnyen korrodeáló, állandóan tömítetlenné váló, nehézkesen szerelhető, súlyos és drága fémcsövekből készül ahelyett, hogy a számos előnnyel rendelkező, peroxiddal térhálósított polietiléncsöveket használnának erre a célra. A második példa egy ötrétegű cső, amelyben a legbelső és a legkülső réteg szilánnal és peroxiddal térhálósított polietilén, a középső réteg fém, amelyet mindkét oldalán ragasztóréteg köt össze a polietilénnel. A harmadik példában azt mutatjuk be, hogy az elektron- vagy gamma-sugárzással kezelt polietiléngranulátum sokkal könnyebben dolgozható fel, mint a kezeletlen. A besugárzás hatására a PE szerkezetváltozáson megy át, de csak nagyon gyengén térhálósodik – forgalmazója nem is nevezi térhálósnak, hiszen extrudálható, fröccönthető, fólia fújható belőle, és hulladéka minden további nélkül újrafeldolgozható.

Ipari csővezeték térhálós polietilénből

A csövek tömítetlensége nem csak bosszúságot, de óriási károkat okoz az ipari üzemekben. A német ipar veszteségét csupán a sűrített levegő elszökéséből évente kb. 500 millió EUR-ra becsülik. Más hibák is tetemes veszteséget idéznek elő. Az egyik németországi autógyárban pl. minden 1 perces munkakiesés 30–50 ezer EUR-ba kerül. Ezért az üzemekben megbízható, gyorsan szerelhető és egyszerűen karbantartható, könnyű csőrendszerre van szükség.

Ilyenek lehetnek a műanyagból készített csövek, amelyeknek nagyon sok változata van. Legismertebben a PVC és a PE csövek. A PVC hátránya, hogy rideg és szilánkosan törik; a polietiléné, hogy 40 °C-on meglágyul és elveszti nyomásállóságát. A polipropilén hőállósága magasabb, de szereléskor ügyelni kell a feszültségmentességre, különben könnyen bekövetkezik a cső repedése, 5 °C alatt pedig egyes típusok rideggé válnak.

A peroxidral térhálósított polietilén (PE-Xa) ideális anyaga az ipari csővezetékeknek. Évtizedek óta jól beváltak padló- és távfűtéshez, ivóvíz vezetéséhez, gázvezetékekhez. Földbe és épületekbe egyaránt beépíthetők, és jellemzőjük a hőrepedéssel szembeni ellenállás, a mechanikai terhelhetőség, a jó vegyszerállóság, a korrózióállóság, a hajlékonyság. Kicsit nehezkesebb a kötésük, mert tompahegesztéssel vagy ragasztással nem építhetők össze. Ajánlott kötésmódok a szorítóillesztés, a feltolható karmantyú és a spirálos elektromos hegesztés. Mivel a szorítóillesztéshez a csővéget erősen ki kell tágítani, és a két csővég összetolásakor erős csavaró igénybevételt kell alkalmazni, a csőkötésben feszültségek maradhatnak vissza. A gyakorlatban ezért inkább a feltolható vagy a spirálfűtéssel hegeszthető karmantyút alkalmazzák. Mindkét kötésmód gyors, egyszerű, szivárgásmentes és nem igényel külön tömítőgyűrűt, de speciális szerszám szükséges hozzájuk. A spirálfűtéses kötőelem előnye, hogy végig homogén vegyszerálló műanyagfelületet ad, hátránya, hogy nem alkalmazható melegen üzemeltetett vezetékben..

A **Rehau AG+Co. Raupex** márkanévű csőrendszere mindkét kötésmóddal kiépíthető. A DIN 2403 szabványnak megfelelő színválaszték lehetővé teszi, hogy ránézéssel megállapítható legyen, milyen közeget szállít a vezeték. A Raupex csövek jellemzőit és az ebből származó előnyöket a *1. táblázat* foglalja össze.

A fémvezetékekkel szemben hátrányos a PE-Xa csövek nagyobb hőtágulása. Kiseb rugalmassági modulusuk révén viszont ez csekély erővel ellensúlyozható. Elegendő pl. egy horganyzott acéllemezről készített félhéjat rápattintani a PE-csőre, és annak hosszváltozása azonos lesz az acélével. Másik megoldás az előfeszítés, amikor a csőszakaszt a legmagasabb üzemi hőmérsékleten várható hosszára nyújtják és így rögzítik. Változó hőmérsékleten ilyenkor a csőszakasz hossza nem, csak feszültsége változik.

A Raupex csővezetékek nem csak műszaki, hanem gazdasági előnyei is vannak. Ezek elsősorban a gyors kiépítésből, a csekély karbantartásból, a teljes élettartamuk alatt 30%-kal kisebb üzemeltetési költségekből erednek.

Fém-mel kombinált ötrétegű csövek térhálós polietilénnel

Műanyagból és fémből felépülő, kombinált csöveket egyre szívesebben alkalmaznak vízvezetékek elemeiként, fűtőtestek bekötéséhez, padlófűtéshez, gáz- és benzinvezetékeként. Az ilyen csövek iránt évente 10%-kal nő az igény. Előnyük a könnyű szerelés, az ár és a teljesítmény kedvező aránya, a csekély tömeg, a korrózió- és formaállóság.

Az extrudereket gyártó németországi **Krauss-Maffei** cég (München) a fémfeldolgozó gépeket gyártó svájci **THE Thomas Machines** cég (Couvet) közösen fejleszt

tett ki gyártósort egy ötrétegű csőtípus előállítására, amelynek legbelső és külső rétege műanyag, középső rétege fém, általában alumínium vagy különböző fajta acél, amelyet mindkét oldalon tapadóréteg köt hozzá a műanyaghoz. Ezeknek a csöveknek a legnagyobb átmérője 110 mm lehet.

1. táblázat

A Raupex csövek jellemzői és előnyei

Jellemző	Ebből származó előnyök
Nincs tömítetlenség	nincs nyomáscsökkenés és utólagos tömítés; az üzemtetési költségek 50%-kal, a karbantartási költségek 100%-kal kisebbek
Nincs korrózió	nincs rozsdásodás, tiszta marad a szállított levegő; nincs korrózió okozta gyártáskiesés
Nincs lerakódás	a vízvezetékeket nem kell túlméretezni; nincs eltömődés okozta gyártásszünet
Általánosan alkalmazható	alkalmas bármilyen ipari közeg vezetésére; nincs tévesen telepített csővezeték, csökken a pótalkatrészigény
Gyorsan telepíthető	megrövidül az építési idő; csökkennek a telepítési és az építkezési költségek, könnyebb a határidőket betartani
Egyszerűen szerelhető	nincsenek kivitelezési hibák, nincs szivárgás, nincs reklamáció
Nagy átmérőtartomány	nincs téves szerelés; kevesebb pótalkatrészt kell beszerezni
Színválaszték DIN 2403 szabvány szerint	nincs szükség utólagos megjelölésre; egyetlen pillantással felismerhető, hogy milyen közeget szállít egy-egy vezeték
Csekély tömeg	nincs szükség a tetőszerkezet teherhordó képességének megerősítésére; kisebb építési költségek, gyorsabb kivitelezés
Megfűró-csőbéklyó alkalmazható	elágazások a nyomás alatti vezetéken is kialakíthatók; a csővezeték a gyártás leállításával nélkül kevés költséggel meghosszabbítható
Kitűnő termékminőség	hosszú élettartam karbantartás nélkül; jelentősen csökkenő telepítési és karbantartási költségek
Tekercselve is szállítható	hosszú szakasz toldás nélkül fektethető a földbe; kisebb vezetéképítési költségek, kisebb katasztrófakockázat
Elviseli a hegesztési szikrákat	nagy mechanikai és termikus terhelhetőség; az autóiparban a karosszériaépítésben is alkalmazhatók
Szilikonmentes	a lakk képes nedvesíteni a felületet; lakkozási eljárásokban is alkalmazhatók

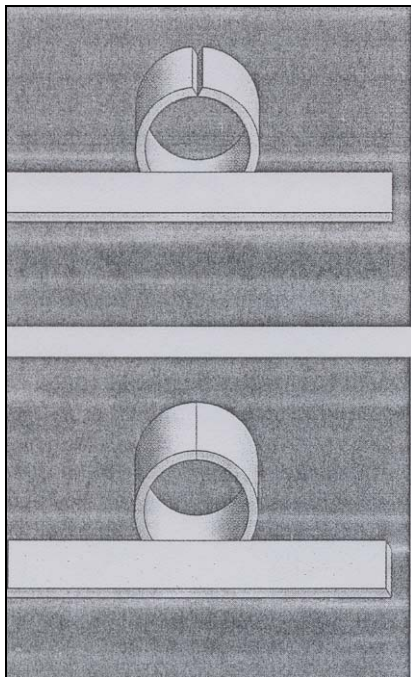
A legbelső réteg általában szilánnal térhálósított polietilén (PE-X). Ezt a csövet kétlépcsős vagy egylépcsős eljárással állítják elő. A kétlépcsős (Sioplast) eljárásban folyékony szilánt és peroxidot kevernek PE-HD-be, és az ebből gyártott granulátumból extrudálnak csövet. A térhálósodás az extrudálás közben megy végbe.

Egylépcsős (Spherisil) eljárásban a folyékony szilánt és a peroxidot közvetlenül az extruderbe viszik be. Négy gravimetriás adagoló gondoskodik a fő komponens, a PE-HD, ill. a katalizátort tartalmazó mesterkeverék, a színezék és a folyékony szilán

pontos mennyiségének bejuttatásáról. A térhálósodás idő előtti megindulását speciális csigageometria akadályozza meg, amely egyúttal nagyon jó keveredést tesz lehetővé. Ugyancsak a korai térhálósodás meggátlása érdekében az alappolimer nedvességtartalma nem haladhatja meg az 50 ppm-et, ezért szárításához száraz levegőt kell használni; a meleg levegős szárítók légnedvessége túlságosan nagy az erősen korlátozott nedvességtartalom eléréséhez. Az extruderfej csigavonalú kivezetőcsatornáit öntisztítókak, lerakódásmentesek; helyes beállítás mellett öt napnál is rikábban kell a fejet kitisztítani. Az extruderből kijövő csövet meleg vízben vagy gőzzel utólag térhálósítják.

Az első tapadóréteget az extruderfejből vagy térhálósítás után egy keresztfejből viszik fel a PE-X cső palástjára.

A harmadik réteget, *a fémeket nem kész csőként, hanem szalagból hajlított gyűrűk formájában viszik fel a műanyag csőre, majd a gyűrűket külön munkaműveletként hegesztik össze csővé.* A fém vastagsága 0,1–1,0 mm. A vízszintesen egymás mellett fekvő gyűrűknek gyakorlatilag résmentesen és magasságkülönbség nélkül kell egymás mellé felsorakozniuk a hegesztés előtt. Ennek érdekében a szükségesnél nagyobb szélességben szállított, és a szállításnál megsérült vagy hullámos szélű szalagokból a feldolgozás előtt kivágják a pontos méretű darabot, és széleiket is gondosan lemunkálják. A gyűrűt alkotó csík két végét is úgy alakítják, hogy gyűrűt alkotva végei V alak helyett párhuzamosan érintkezzenek (1. ábra).



1. ábra A szalag két végét úgy munkálják le, hogy gyűrű formára hajtván az érintkező vonal V forma helyett párhuzamosan illeszkedjék

A hegesztést 0,25 mm-nél vékonyabb fém esetén lézersugárral, vastagabb fémretek esetén védőgáz alatt volfrámelektroddal (TIG-hegesztés) végzik. Minden csömrethez külön hegesztőasztalt alkalmaznak a gyűrűk elmozdulásának megakadályozására. A kombinált hegesztőberendezés (LASER/TIG = LATIG berendezés) mindkét hegesztésmóddhoz alkalmas. A hegesztés hő hatására, idegen anyag hozzáadása nélkül megy végbe.

A belső cső és a fémcső közötti jó tapadást többfokozatú sajtolással erősítik. A félkész csövet négy ún. kompaktáló görgőn vezetik át, amelyek nyújtják és egyúttal összesajtolják a rétegeket, eközben induktív fűtéssel aktiválják a tapadóréteget. Ez a munkaművelet pontosan beállítja a kívánt átmérőt, és biztosítja a rétegek erős összeépülését. Az újabb tapadóréteget és a külső műanyagréteget egy keresztfejes extruder viszi fel a fémrétegre. A műanyag lehet PE-HD, PP vagy PE-X. A kész csövet vízpermettel hűtik le a konfekcionálás hőmérsékletére.

Polietiléngranulátumok tulajdonságainak javítása besugárással

*Évtizedek óta térhálósítanak polietilénből gyártott kábeleket, huzalokat, zsugorcsöveket, hideg és meleg vizet szállító csöveket, lemezeket és habokat formázás utáni besugárással. A besugárzás hatására javulnak ezeknek a termékeknek a mechanikai és termikus tulajdonságai. Néhány nagy polietiléngyártó cég és néhány feldolgozó a polietiléngranulátumokat extrudálás vagy fröccsöntés előtt veti alá besugárzásnak. Az utóbbiak ezt a műveletet a sugárforrással rendelkező cégekkel kötött szerződések alapján végeztetik el. Egy ilyen cég, a **Sterigenics International** a közelmúltban maga hozott forgalomba besugárással kezelt polietiléngranulátumokat.*

A **Sterigenics** cég a világ legnagyobb „bérbesugárzó”-ja, Észak-Amerikában 17, Európában és Ázsiában 3 telephelye van. Sok év óta vállal egyedi megrendelésre granulátumbesugárzást. 2004 óta viszont *Raprex* márkanéven maga kínál előre besugárzott PE-HD-t és PE-LLD-t.

Egy feldolgozóval korábban abban állapodtak meg, hogy a feldolgozó megvásárolja a PE granulátumot, amelyet elszállít a sugárforráshoz, ahol azt kilogrammonként kb. 0,1–0,5 USD-ért besugározzák. A feldolgozó később úgy nyilatkozott, hogy szívesebben venné, ha a granulátumot is a sugárforrás gazdája szerezné be. A javaslatot elfogadták, és a **Sterigenics** cég gaitersburgi üzemét jelölte ki erre a szolgáltatásra, és ennek a **Sterigenics Advanced Application** nevet adta. Kezdetben „teherautónyi”, később „vagonnyi” mennyiség szállítására vállalkoztak, de gyártókapacitásukat 10 t/h-ra akarják növelni, és azt remélik, hogy évente több ezer tonnát tudnak majd eladni ebből a termékből. *A poliolefinok mellett más hőre lágyuló műanyagok sugárzásos előkezelését is tervbe vették.*

A cég gamma- vagy elektronbesugárzást alkalmaz a PE módosítására. A cég első lépésként a megfelelő PE alappolimert választja ki (különös tekintettel a benne lévő adalékokra), ezt megfelelő típusú és dózisu sugárással kezeli, végül hozzákeveri az alkalmas stabilizátorokat és más adalékokat. A besugárzás hatására

- növekszik a láncok elágazottsága és szélesebb lesz a polimer molekulatömegeloszlása,
- a besugárzás hatására bekövetkező oxidáció poláris végcsoportokat képez a láncokon,
- kismértékű térhálósodás következik be, amely nem zavarja a feldolgozást és a hulladék újrafeldolgozását.

A besugárzás fő előnyei:

- kis nyírősebesség mellett nő a viszkozitás és az ömledékszilárdság a folyóképesség romlása nélkül,
- a poláris végcsoportok révén javul a tapadás, pl. fémcsővek bevonásakor vagy faliszttel töltött típusokban a töltőanyag és a mátrix között,
- az ilyen granulátumokból készített termékeknek jobbak a mechanikai tulajdonságai, nagyobb a szívóssága, a kopásállósága, a feszültségrepedezéssel szembeni ellenállása, magasabb a terhelés alatti lehajlás hőmérséklete, csekélyebb az éghetősége.

2. táblázat

Raprex típusú, besugárzott PE granulátumok, ill. a belőlük készített termékek néhány tulajdonsága

Tulajdonság	Raprex 100 PE-HD cső- anyag	Raprex 200 R-200C1 fröccsanyag		Raprex 300 R 300A1 PE-LLD fóliafúvásra	
	besugárzás után	besugárzás előtt	besugárzás után	besugárzás előtt	besugárzás után
Sűrűség, g/cm ³	0,950	0,952	0,950	–	–
MFI, g/10 min 190 °C, 21,6 kg	3,5				
190 °C, 2,16 kg		0,75	<0,10	1,01	0,20
190 °C, 10 kg		–	1,10	7,69	3,46
Húzófeszültség, MPa nyúláshatáron, Fi	30,0	28,9	39,0	9,8	17,7
nyúláshatáron, Ki				8,2	14,1
szakadáskor, Fi	27,4	13,0	20,9	35,4	50,8
szakadáskor, Ki				27,9	46,0
Nyúlás, % a folyáshatáron szakadáskor, Fi	506	8	9	600	750
szakadáskor, Ki		106	20	710	790
E-modulus, MPa –40 °C-on	9,5				
23 °C-on		–	17	–	–
100 °C-on	10				
Ütésállóság, Izod, 23 °C, kJ/m ²	nem törik	50/nem törik	54/nem törik	–	–
HDT, 4,6 kg, °C	–	73,8	87,2	–	–

Fi = főirány, Ki = keresztirány, MFI = folyási szám, HDT = terhelés alatti behajlás hőmérséklete.

A *Sterigenics* cég jelenleg a besugárzott granulátumok három típusát forgalmazza. A granulátumokból készített próbatesteken mért tulajdonságokat a 2. táblázat tartalmazza. A *Raprex 100* extrúziós típusú PE-HD, nyomás alatt működő vízvezetéki csövek és profilok gyártására ajánlják. Ez a típus viszonylag merev, jól ellenáll a feszültségrepedésnek. A belőle készített 12,3 mm átmérőjű cső pukkasztási nyomása 23 °C-on 9,7 MPa, 100 °C-on 4,5 MPa, gyűrűszilárdsága 23 °C-on 27,9 MPa, 100 °C-on 13 MPa. A *Raprex 200* fröccsöntéshez ajánlott PE-HD, amelynek szilárdsága, szívóssága, hőállósága, lángállósága javul a besugárzás következtében. A *Raprex 300* fűvott fóliák gyártására alkalmas PE-LLD, 25 µm vastag fólián mért tépőszilárdsága a besugárzás hatására gyártásirányban 7,0 g/µm-ről 12,2 g/µm-re, keresztirányban 7,7 g/µm-ről 13,4 g/µm-re, átszúrással szembeni ellenállása 481 g-ról 921 g-ra nő.

A cég három granulátumtípusát új technológia eredményeként a 2006. júniusában Chicagóban rendezett NPE műanyag-kiállításon is bemutatta. Elsősorban azt emelte ki, hogy a *Raprex 300* alkalmazása révén nem kell fóliafűvaskor a PE-LD és a PE-LLD keverésével bajlódnia.

Az USA-ban más cég is vállal műanyag-feldolgozók számára besugárzást. Az **E-Beam Services** három üzemében évente több ezer tonna PE granulátumot kezel ilyen módon, de termékek – csövek, kábelek, lemezek – besugárzását is vállalja. A **Steris Isomedix Services** mintegy tucatnyi üzemében elsősorban sterilizálást végez, de egyik üzemében PE-HD, PE-LD és EVA granulátumok és formázott termékek besugárzásával is foglalkozik.

Összeállította: Dr. Pál Károlyné

Guggenbichler, H.: Das richtige Rohrsystem. = Kunststoffe, 94. 1. sz. 2004. p. 92–94.

Stieglitz, H.; Türk, A. stb.: Produktion in fünf Schichten. = Plastverarbeiter, 56. k. 4. sz. 2005. p. 30–32.

Naitove, M. H.: New irradiated polyethylenes boost processing & performance. = Plastics Technology, 51. k. 4. sz. 2005. p. 47, 49.

NPE 2006 preview: New technology at the Chicago Show? Count on it. – Irradiated PE grades combine benefits of LDPE, LLDPE. = Modern Plastics Worldwide, 2006. máj. 1. www.modplast.com

Egyéb irodalom

Lai, S.-M.; Liu, J.-L. stb.: Fracture behaviors of metallocene-catalyzed polyethylene elastomer via silane crosslinking. (Metallocén katalizátorral előállított és szilánnal térhálósított polietilén törési tulajdonságai.) = Journal of Applied Polymer Science, 101. k. 4. sz. 2006. aug. p. 2472–2481.

Chang-Ming Ye; Bao-Qing Shentu; Zhi-Xue Weng: Thermal conductivity of high density polyethylene filled with graphite. (Grafittal töltött PE-HD hővezető képessége.) = Journal of Applied Polymer Science, 101. k. 6. sz. 2006. szept. p. 3806–3810.