

Műanyag csövek tönkremeneteli mechanizmusai

A polietilén gázcsövek nagyon ritka, de katasztrofális hatását tekintve mégis fontos tönkremeneteli formája a gyors repedésterjedés (angol rövidítése: RCP). Az RCP mechanizmusa komplex okokra vezethető vissza, a legnagyobb hatása a maradék belső feszültségeknek van, de az alacsony hőmérséklet és a cső belső gáznyomása is fontos szerepet játszik.

A melegvíz-vezetékben már 10 éven belül is előfordul a csövek és fittingek tönkremenetele. A jelenség nem köthető egyetlen anyagtípushoz, sarzshoz vagy gyártási hibához. Fellejtét valószínűleg katalizátornyomok és a forró víz együttes jelenléte okozza. Ezért a PP csövek alkalmazása ivóvízvezetékhez nem ajánlható 50 °C-nál magasabb hőmérsékleten.

Tárgyszavak: műanyag csövek; polietilén; polipropilén; melegvízcsövek; gázcsövek; tönkremenetel; csőtörés.

PE vezeték meghibásodása

Polietilén csöveket már a múlt század ötvenes éveitől kezdve egyre nagyobb arányban és mennyiségben alkalmaznak különböző közegek (gázok és folyadékok) szállítására. A PE csövek jó kémiai ellenálló képessége, kis tömege, rugalmassága és szívóssága számos előnyt biztosít a hagyományos csőanyagok, mint a vas, acél és cement alkalmazásával szemben. Ugyanakkor már számos esetben megfigyelhető volt a PE csőrendszerek meghibásodása, tönkremenetele.

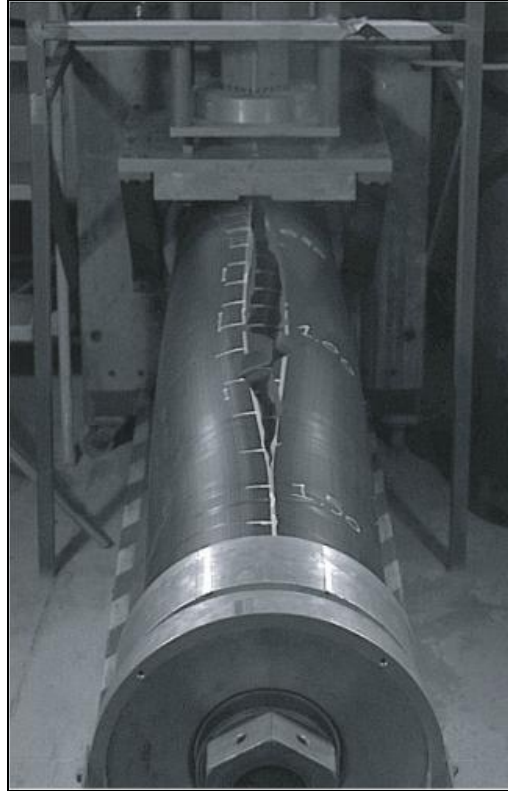
A leggyakoribb tönkremeneteli mechanizmus az ún. lassú, helyi repedésképződés. Ezzel szemben alacsony hőmérsékletek esetén nagyon ritkán ugyan, de megfigyelhető volt az ún. gyors repedésterjedés (angol nevének „rapid crack propagation” rövidítése: RCP) jelensége, ami elsősorban a gázvezetékknél jelent nagy potenciális veszélyforrást. A repedés terjedésének sebessége 100–300 m/s.

Az RCP jelenségének mechanizmusa a mai napig sincs teljesen feltárva, de abban általános az egyetértés, hogy

- a polietilén alapanyag típusa (pl. moltömegeloszlás, kristályossági fok) fontos hatást gyakorol,
- minél nagyobb a csőben található maradék belső feszültség, annál könnyebben fellép az RCP,
- egy bizonyos kritikus hőmérséklet felett a jelenség nem lép fel,
- kiváltásához szinte mindig valamilyen külső behatás, repedésiniciálás (pl. éles kődarab az árokban) szükséges.

A maradék belső feszültség hatását általában kétféle mechanizmussal magyarázzák:

- e feszültség növeli a tárolt belső deformációs energiát a repedés megjelenése előtt, és ezáltal segíti a repedés kialakulását,
- a repedés terjedésekor hozzájárulásával csökkenti a tovaterjedés energiaigényét, mert az így kibocsátott hajlítómomentum bezárni igyekszik a cső kiöblösödését (1. ábra).



1. ábra RCP vizsgálat rövid csőszakaszon: jól látható a repedés mentén a cső kiöblösödése

A kétféle hatásmechanizmus mértékének aránya jelenleg is vizsgálat tárgya. Az RCP vizsgálatát általában viszonylag rövid, temperált, nyomás alatti csőszakaszokon, a cső bemetszésével és a csőre mért ütéssel iniciált módon szokták vizsgálni. Az ISO szabvány szerinti PE100 anyagú gázcsöveket vizsgálva megállapították, hogy:

- a belső feszültség hőkezeléssel csökkenthető,
- meghatározható egy olyan kritikus hőmérséklet, amely felett az RCP nem lép fel,
- minél kisebb a maradék belső feszültség, ez a kritikus hőmérséklet annál alacsonyabb (hőkezelt csöveknél még -31 °C -on sem sikerült kimutatni),

- miután a hőkezelés nem csak a belső feszültségeket csökkenti, hanem (3–5%-kal) növeli a kristályossági hányadot, a kétféle hatást el kell különíteni; megfelelő kísérleti körülményekkel a kristályos hányad és a belső feszültségek változása elkülöníthető volt és kiderült, hogy a kristályos hányad változtatásának hatása jóval kisebb, mint a belső feszültségeké,
- nyomás nélküli csöveken is elvégezve a vizsgálatot kiderült, hogy ilyenkor a repedés ugyan fellép, de csak igen rövid szakaszon alakul ki; ezért megállapítható, hogy a maradék belső feszültség hatása lényegesen nagyobb a repedés kialakulásánál, mint annak terjedésében,
- minél magasabb hőmérsékleten végzik el a vizsgálatot, annál nagyobb gáznyomást kell alkalmazni az RCP fellépéséhez,
- alacsony gáznyomáson a repedés alakja a szimmetrikusból aszimmetrikusba ment át.

PP vezetékek meghibásodása

A melegvíz-vezetéseket gyakran készítik polipropilénből, mivel ez a polimer megfelelő mechanikai szilárdsággal, hőállósággal rendelkezik és jól ellenáll számos, a vizes rendszerekben megtalálható (és más) vegyületeknek. Rövid idejű hőállóságát levegőn általában 100 °C-ra, vizes sóoldatoknál 120 °C-ra, tartós üzemi hőmérsékletét ivóvízvezetéseknél 90 °C-ra becsülik. Ezért okozott meglepetést, hogy több osztrák lakóházban a PP melegvíz-vezetékek egy része már 10 év körüli használatot követően, sőt néha még hamarabb, kilyukadt.

A vizsgálatok megállapították, hogy:

- a tönkremenetel pontszerű üregképződéssel indul, amely egyre terebélyesedik és mélyül, esetenként szitaszerűvé alakítva át a cső falát, végül a cső kilyukad,
- különböző PP alapanyagokból (és azok különböző tételeiből), illetve különböző csőgyártók által előállított csövek hibásodtak meg, tehát a tönkremenetel nem köthető egyetlen anyagtípushoz vagy egy feldolgozó által elkövetett technológiai hibához. Eltérő színű csöveknél is megfigyelték a jelenséget, tehát a színezék hatása is kizárható; a jelenség mind az extrudált csövek, mind pedig a fröccsöntött fittingek esetében fellépett, ami tovább erősíti az anyagtipustól, illetve a technológiától való függetlenség vélelmét,
- *csak melegvíz-vezetéseknél tapasztaltak meghibásodást*, az ugyanazt az ivóvizet hidegen szállító PP vezetékek nem mentek tönkre; tehát igen valószínű, hogy a meleg víz által közvetített hőenergia szükséges a tönkremeneteli folyamathoz,
- a tönkremenetel megindulásának pontszerű jellege ellentmond annak a feltevésnek, hogy a vízben oldott vegyületek okoznák azt, hiszen akkor az a teljes csőhosszban fellépne,
- a csőgyártók saját, belső, nem hivatalos információi szerint a jelenség már korábban is előfordult, de senki sem tudta az okát megállapítani.

A fenti tényezők közül megállapítható volt, hogy a pontszerű üregképződést a PP láncmolekulák lokális tördelődése okozza, a kis moltömegű származékokat az áramló víz kimossa és így a folyamat során az üreg egyre mélyül. *Két tönkremeneteli mechanizmust lehetett felvázolni, azaz a lánc tördelődést vagy szabad gyökök vagy katalizátornyomok okozhatják.* Az a tényező, miszerint a meghibásodások a teljes csőrendszerben véletlenszerű helyeken fordulnak elő, az utóbbi mechanizmust valószínűsítik. Ezt az is alátámasztja, hogy nem volt megfigyelhető összefüggés a vezetékben áramló víz sebessége és a tönkremenetel fellépte között, azaz az mind a lamináris áramlást biztosító lineáris csőszakaszokban, mind pedig a turbulenciát okozó elágazásokban, szűkítőkben stb. is előfordul. Egyes szakaszokon gyakori üregképződés volt megfigyelhető, míg a mellette lévő részeken semmilyen elváltozás sem volt.

Mindez egyúttal azt is jelenti, hogy a polipropilén csövek alkalmazása nem javasolható melegvíz-vezetékhez (>50 °C).

Összeállította Dr. Füzes László

Morales, A.G., Leever, P.: Residual stresses effect on rapid crack propagation in polyethylene pipes = Plastics Research Online SPE 10.2417/spepro.004641.

Seidler, D.: Aus Schaden klug werden = Kunststoffe, 102. k. 7. sz. 2012. p.70–71.