تولید لوله‌های قابل انقباض حرارتی به روش فیزیکی(عامل پرتو الکترون) و مقایسه با روش شیمیایی (عامل سیلان)

INC29-1343

یحیی خیرخواه[۱]، فاطمه انوری[۱] ، منصور جاویدمهر[۱]

۱. مجتمع پرتو فرآیند ایران مرکزی، شرکت توسعه کاربرد پرتوها، سازمان انرژی اتمی، صندوق پستی: ۳۸۹-۸۹۱۷۵، یزد- ایران

چکیده:

لوله‌های قابل انقباض حرارتی بعنوان عایق سیم و کابل، پوشش محل اتصال سیم و کابل و جهت عایقکاری محل اتصالات و محافظت آنها در برابر خوردگی مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف از این تحقیق، تهیه آمیزه مناسب جهت تولید لوله‌های قابل انقباض حرارتی با پرتو الکترون (روش فیزیکی) و در ادامه استفاده از مواد قابل شبکه‌ای شدن PEX (روش شمیایی) برای تولید لوله‌های مذکور و مقایسه با یکدیگر می‌باشد. به این منظور توسط دستگاه میکسر آمیزه‌هایی با درصدهای مختلف از پلی‌اتیلن سبک و افزودنی‌های مجاز تهیه شد و با باریکه الکترون10 MeV شبکه‌ای شد. پس از انتخاب آمیزه بهینه، توسط دستگاه اکسترودر آزمایشگاهی محصول لوله تهیه و در دز مناسب توسط دستگاه شتابدهنده الکترون پرتودهی شد و در نهایت توسط دستگاه منبسط کننده به محصول نهایی (لوله قابل انقباض حرارتی) تبدیل شد. خواص لوله تولید شده به روش فیزیکی با لوله تولیدی با استفاده از مواد PEX مقایسه گردید.

کلیدواژه‌ها: لوله قابل انقباض حرارتی، سیلان، باریکه الکترونی، شبکه‌ای شدن

Production of heat shrinkable tubes by physical method (electron beam) and comparison with chemical method (Silane)

Y. Kheirkhah[1], F. Anvari[1], M. Javidmehr[1]

1. Radiation Processing Complex of Central Iran, Iran Radiation Application Development Co., AEOI, P.O. Box: 89175-389, Yazd- Iran

Abstract:

Heat shrinkable tubes are used as wire and cable insulation, wire and cable joint cover. The aim of this research is to prepare a suitable mixture for the production of heat shrinkable tubes with electron beam (physical method) and then use crosslinkable materials. PEX (chemical method) to produce the mentioned pipes and compare with each other. For this purpose, mixtures with different percentages of light polyethylene and permitted additives were prepared by the mixer. And it was networked with 10 MeV electronic bar. After choosing the optimal mixture, the tube was prepared by the laboratory extruder and irradiated in the appropriate dose, and finally it was turned into the final product by the expanding device. Finally, the production pipe is compared with the production pipe using PEX material.

Keywords: Heat shrinkable tube, Silane, Electron beam, Crosslinking

۱. مقدمه

امروزه استفاده از محصولات قابل انقباض حرارتی در صنایع کابل سازی و مخابرات، جهت عایق‌کاری محل اتصالات و محافظت آنها در برابر خوردگی افزایش یافته است. در فرآیند تولید این مواد، محصول شبکه‌ای شده در دمای بالا کشیده شده و در همان حالت سرد می‌گردد. در اثر جهت گیری مولکولی زنجیره‌های پلیمر، حافظه‌ای در ساختار ماده بوجود می‌آید که تنش اعمال شده در هنگام کشش را حفظ می‌کند. آزاد شدن این تنش محبوس شده در اثر اعمال حرارت، باعث برگشت این مواد به حالت اولیه می‌گردد و از همین ویژگی برای عایق‌کاری محل اتصالات استفاده می‌شود. پلی‌الفین‌ها و کوپلیمرهای آنها به عنوان پلیمرهای حافظه‌دار برای تولید محصولات قابل انقباض توسط حرارت بکار می‌روند. وجود نواحی کریستالی در این مواد، باعث حفظ ساختار منبسط شده و ایجاد حافظه در به خاطر سپردن شکل اولیه این محصولات می‌شود [۱و۲].

لوله‌های قابل انقباض حرارتی بعنوان عایق سیم و کابل، پوشش محل اتصال سیم و کابل، ترمیم عایق سیم و کابل، رنگ آمیزی و جلوگیری از خوردگی فلزات و ابزارالات، جلوگیری از نفوذ رطوبت و گرد و خاک به محل اتصال کابل به دستگاه در روی خشکی و یا زیر آب و نیز بعنوان اتصالات لوله‌های فاضلاب و نیز لوله‌های که در داخل آنها سیال بدون فشار جریان دارد بکار می‌روند. به‌کمک دستگاه پرس از این آمیزه‌ها صفحاتی به ضخامت ۲ میلیمتر تهیه گردید و صفحات حاصل با باریکه الکترونی MeV ۱۰ در گستره دز جذبی ۱۱۰ تا ۱۵۰ کیلوگری پرتودهی شد. سپس خواص مکانیکی آمیزه‌ها از قبیل استحکام کششی، درصد ازدیاد طول و سختی، قبل و بعد از پرتودهی مورد بررسی قرار گرفت و ترکیب درصد بهینه افزودنی‌ها با در نظر گرفتن خواص مذکور تعیین گردید. لازم به ذکر است که برای انتخاب مواد اولیه و دستیابی به ترکیب درصد بهینه از مرجعی تحت عنوان مشخصات مواد (Material Specification)لوله‌های قابل انقباض حرارتی استفاده شده است. جدول۱ حداقل خواص لازم در تهیه آمیزهٔ مناسب را نشان می‌دهد. داده‌های این جدول معیاری برای انتخاب مواد اولیه، افزودنی‌های مختلف، طراحی‌آزمایشات و بحث و بررسی نتایج بوده است.

جدول ۱: مشخصات فنی لوله‌های قابل انقباض حرارتی

Property	Unit	Value
Tensile	Mpa	Min 12
Ultimate elongation	%	Min 600
Hardness	shore D	Max 40
Tensile after aging(at 136ºC for 168 hrs)	Mpa	Min 10
Elongation after aging(at 136ºC for 168 hrs)	%	Min 450
Carbon black content	%	Min 2.5

۲. روش کار

۲-۱. مواد

در این تحقیق از پلی‌اتیلن سبک با دانسیته ۰/۹۲گرم بر سانتیمتر مکعب و شاخص جریان مذاب ۰/۳ گرم بر ۱۰ دقیقه تولیدی پتروشیمی بندر امام، اتیلن وینیل استات ۱۸ درصد از شرکت سامسونگ کره جنوبی، مستربچ دوده از شرکت ایران مستربچ و آنتی اکسیدانت ایرگانوکس ۱۰۱۰ از شرگت سیبا گایگی استفاده شد. همچنین آمیزه پلی‌اتیلن سبک و آمیزه سیلان متعلق به شرکت پلیمر ایساتیس قندی با دانسیته ۰/۹۲۵گرم بر سانتیمتر مکعب و شاخص جریان مذاب۱۰ گرم بر ۱۰ دقیقه برای تولید لوله به روش شیمیایی مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۲. دستگاه‌ها

شاخص جریان مذاب مواد اولیه و همچنین آلیاژهای حاصل، مطابق استاندارد ASTM D1238 و با استفاده از دستگاه Extrution Plastometer (Zwick 4100) با شرایط قابل کنترل (دما و فشار) ساخت کشور آلمان تعیین شد. برای اختلاط اولیه مواد از دستگاه مخلوط‌کن دو بازویی از نوع Internal Mixer ساخت شرکت Brabender از کشور آلمان و برای شکل‌دهی نمونه‌ها به صورت صفحه از دستگاه پرس هیدرولیکی ساخت شرکت Dr.Collin از کشور آلمان و مطابق با استاندارد ASTM D1248 استفاده گردید. برای تهیه آمیزه از اکسترودر دو پیچ و نیز برای تولید لوله از دستگاه اکسترودر تک پیچ هر دو ساخت شرکت Brabender کشور آلمان استفاده شد. میزان استحکام کششی و درصد افزایش طول نمونه‌ها با استفاده از دستگاه کشش Instron 4411 و مطابق با استاندارد ASTM D638 در دمای محیط اندازه‌گیری شد.

در ادامه سختی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه سختی سنج، مطابق با Shore D و استاندارد ASTM D2240 در دمای محیط تعیین‌گردید. برای شبکه‌ای‌کردن نمونه‌ها به روش فیزیکی از دستگاه شتابدهنده الکترون مدل Rhodotron TT200 با ماکزیمم جریان ۱۶ mA و قدرت ۸۰ kW استفاده شد. برای شبکه‌ای‌کردن نمونه‌ها به روش شمیایی از دستگاه پرس هیدرولیکی و حمام آب گرم استفاده شد.

۲-۳. روش‌ها

در ابتدا توسط دستگاه مخلوط‌کن دو بازویی از پلی اتیلن سبک، اتیلن وینیل استات و مستربچ دوده سه آلیاژ با ترکیب درصد مختلف در دمای ^{o}C ۱۶۰ و دور بر دقیقه ۵۰ به مدت ۸ دقیقه تهیه شدکه ترکیب درصد فرمولاسیون‌ها در جدول شماره ۲ آمده است.

جدول ۲ : ترکیب درصد سه آمیزه اولیه

شماره آمیزه	پلی اتیلن سبک(%)	اتیلن وینیل استات (%)	مستربچ دوده (%)	آنتی اکسیدانت(%)
۱	۸۸/۳۵	۵	۶/۳	۰/۳۵
۲	۸۶/۳۵	۷	۶/۳	۰/۳۵
۳	۸۳/۳۵	۱۰	۶/۳	۰/۳۵

از آلیاژهای حاصل توسط دستگاه پرس هیدرولیکی در دمای ^{o}C ۱۷۰ و فشار bar ۹۵ و در مدت زمان ۸ دقیقه صفحاتی به ضخامت ۲ میلیمتر تهیه گردید. سپس‌خواص مکانیکی و همچنین MFI نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این اندازه‌گیری‌ها در جدول شماره ۳ آمده است.

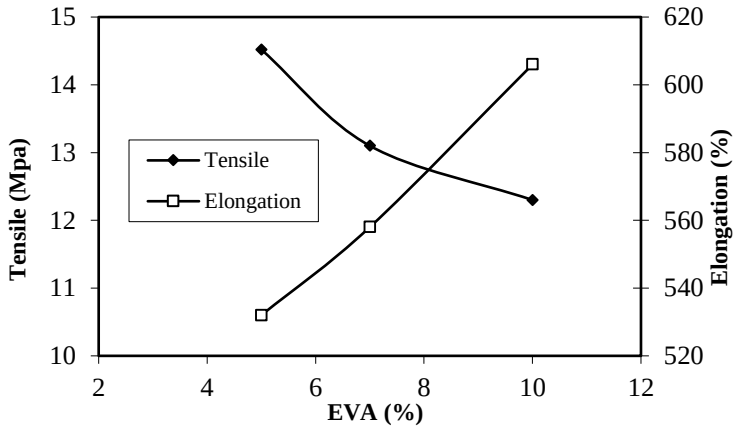
۳. نتایج

شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب میزان استحکام کششی و افزایش طول، شاخص جریان مذاب و سختی آمیزه‌ها را برحسب درصد افزایش اتیلن وینیل استات نشان می‌دهد. چنانچه ملاحظه می شود تمامی آمیزه‌ها از نظر استحکام کششی و درصد افزایش طول تا پارگی عالی بوده و در حد قابل قبولی قرار دارند. بنابراین از نظر سختی آمیزه شماره ۳ بعنوان آمیزه بهینه انتخاب گردید. لازم به ذکر است که در صد مصرف مستربچ دوده در آمیزه‌های فوق ثابت و به میزان ۶/۳

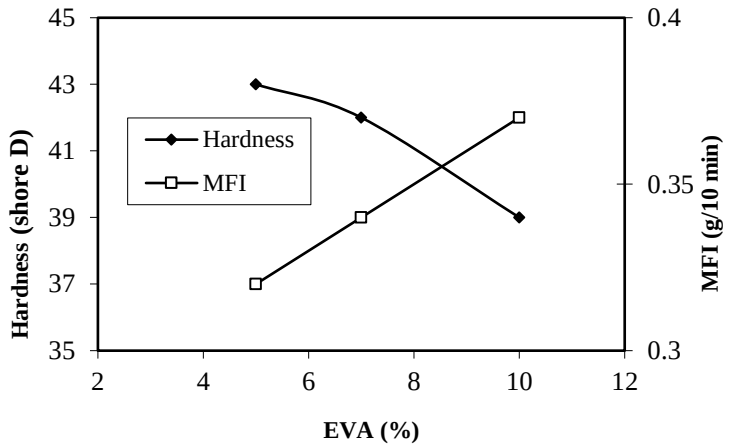
درصد است. با توجه به اینکه مستربچ دوده مصرفی حاوی ۴۰ درصد دوده بوده بنابراین انتخاب این مقدار تأمین کننده حداقل ۲/۵ درصد دوده در آمیزه نهایی به منظور پایداری در برابر نور خورشید (Anti UV) است.

جدول ۳ : خواص مکانیکی آمیزه‌ها

شماره آمیزه	Tensile (Mpa)	Ultimate elongation (%)	Hardness (shore D)	MFI (g/10min)
۱	۱۴/۵۲	۵۳۲	۴۳	۰/۳۲
۲	۱۳/۱	۵۵۸	۴۲	۰/۳۴
۳	۱۲/۲	۶۰۶	۳۹	۰/۳۷



شکل۱: اثر اتیلن وینیل استات بر استحکام کششی و افزایش طول



شکل۲ : اثر اتیلن وینیل استات بر سختی و شاخص جریان مذاب

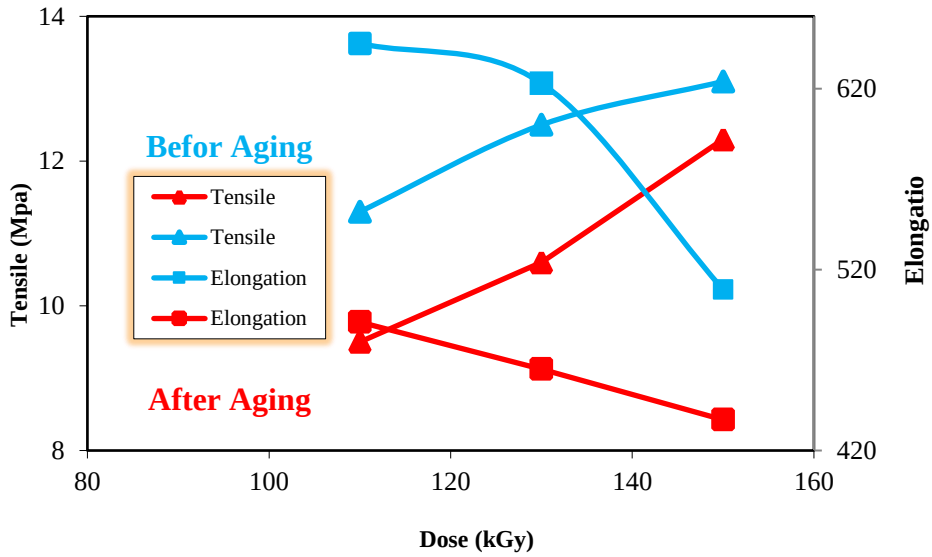
از آمیزه شماره ۳ (بهینه) تو سط د ستگاه پرس هیدرولیکی صفحاتی به ضخامت ۲ میلیمتر تهیه گردید و در دزهای ۱۱۰،۱۳۰،۱۵۰ کیلوگری پرتودهی شد که نتایج آن در جدول ۴ آمده است.

آزمون پیری (Aging) آزمون مهم دیگری که باید بر روی آمیزه نهایی انجام شود. بگونه‌ای که نمونه شبکه‌ای شده در آون در دمای ۱۳۶ درجه سانتی گراد و بمدت ۱۶۸ ساعت قرار می‌گیرد و پس از طی این زمان، خواص مکانیکی آن اندازه‌گیری می‌شود. جدول ۴ خصوصیات آمیزه بعد از آزمون پیری را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که داشتن خواص مطلوب پس از آزمون پیری منوط به ا ستفاده از مقدار منا سبی آنتی اک سیدانت ا ست. آنتی‌اک سیدانت‌های نوع

فنلی برای پلی الفین‌های قابل شبکه‌ای شدن با پرتو الکترون مناسب تشخیص داده شد و بر همین اساس ایرگانوکس ۱۰۱۰ به مقدار ۰/۳۵ درصد مورد استفاده قرار گرفت. افت خواص پس از تست پیری نباید از ۲۰٪ تجاوز کند. شکل ۳ اثر پرتو الکترون بر خواص مکانیکی آمیزه در حالت‌های قبل و پس از آزمون پیری را نشان می‌دهد.

جدول ۴ : نتایج ژل و نتایج خواص مکانیکی آمیزه‌ها بعد از پرتودهی و پس از آزمون پیری

شماره آمیزه	Dose (kGy)	Gel (%)	Tensile (Mpa)	Ultimate elongation (%)	Tensile After aging (Mpa)	Ultimate elongation After aging (%)
۳	۱۱۰	۵۹	۱۱/۳	۶۴۵	۹/۷	۴۹۱
	۱۳۰	۶۱	۱۲/۵	۶۲۳	۱۰/۶	۵۰۳
	۱۵۰	۶۴	۱۳/۱	۵۰۹	۱۲/۲	۴۳۷



شکل ۳ : اثر میزان دز بر استحکام کششی و درصد افزایش طول قبل و پس از تست پیری

به منظور آزمایش آلیاژ انتخابی در شرایط عملیاتی و رفع مشکلات و نقایص موجود در فرآیند اکسترودر، پرتودهی و اکسپند، مقدار ۱۰ کیلوگرم از آلیاژ شماره ۳ توسط دستگاه اکسترودر دو پیچ متعلق به شرکت برابندر آلمان به شکل گرانول تهیه شد و توسط دستگاه اکسترودر تک پیچ متعلق به شرکت برابندر آلمان با نسبت طول به قطر L/D=25 و نصب قالب لوله سایز مورد نظر و کسب شرایط فرآیندی، عمل تولید لوله به‌خوبی انجام گردید. در ادامه لوله‌ها به قسمت دزیمتری ار سال شد تا در این بخش آرایش و نحوهٔ چیدمان آنها مشخص شده تا برای دریافت دز پرتودهی به میزان ۱۳۰ کیلوگری محاسبه گردد و سپس لوله‌ها به قسمت پرتودهی ارسال شود.

بعد از پرتودهی لوله‌ها با پرتوهای الکترون در دز ۱۳۰ کیلوگری و انجام عمل شبکه‌ای شدن لازم است تا آن‌ها را برای عمل اکسپند در آون در دمای ۱۶۰ تا ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۵ تا ۶ دقیقه پیش گرم کرد و سپس نمونه‌ها را داخل دستگاه منبسط کننده قرار داد تا عمل انبساط با تزریق هوای فشرده و تنظیم شرایط دستگاه اکسپند صورت گیرد.

برای تولید لوله با مواد PEX نیز از اکسترودر تک پیچ مورد اشاره در فوق استفاده شد و در ادامه برای شبکه‌ای شدن لوله‌ها از حمام آب ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت استفاده شد. آزمون کاهش درصد طولی (Longitudinal shrinkage percentage) یکی از آزمون‌های مهم در کنترل کیفی لوله نهایی است بدین گونه که طول معینی از لوله

در آون حرارتی در دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد و به مدت ۱ ساعت قرار داده شده و در پایان طول نهایی نمونه اندازه‌گیری می‌شود و درصد کاهش طول محاسبه می‌گردد.

۴. نتیجه گیری

مطابق جدول شماره ۵ درصد ژل در روش شیمیایی بیشتر می‌باشد که دلیل بر یکنواختی در دانسیته کراسلینک با عامل سیلان است.

و در نتیجه مشاهده می شود که درصد شرینک طولی کمتر در روش فوق دلیل بر دانسیته کراسلینک بالاتر است.در مورد خواص مکانیکی، استحکام و افزایش طول تا پارگی مشاهده می شود که در روش فیزیکی و شیمیایی داده‌ها بعد از پرتو و نیز بعد از آزمون پیری مقبول هستند. داده‌های بالاتر در روش شیمیایی دلیل بر دانسیته کراسلینک بیشتر است.سختی در روش شیمیایی از محدوده استاندارد مطابق جدول ۱ را پاس نمی‌کند که دلیل بر دانسیته کراسلینک بالاتر است. قابل ذکر اینکه برای تولید لوله‌های قابل انقباض حرارتی در روش فیزیکی فرآیندهای تولید لوله و عملیات شبکه ای کردن به صورت پیوسته است ولی در روش شیمیایی به شکل ناپیوسته می باشد. تولید لوله‌های مذکور در اندازه‌های مختلف مقدور است اما در روش شیمیایی اندازه قطر داخلی لوله، کمتر از ۴ میلیمتر به صرفه و شاید مقدور نباشد.

شکل ۴ : نمونه محصول تولیدی (لوله‌های قابل انقباض حرارتی) مورد استفاده در سیم برق

جدول ۵ : مقایسه نتایج نهایی لوله تولیدی به روشهای فیزیکی و شیمیایی

آزمون‌ها	عامل پرتو الکترون	عامل سیلان
Gel (%)	۶۱	۶۵
LSh(%)	≤۱۰	≤۸
Tensile (Mpa)	۱۲/۵	۱۳/۳
Ultimate elongation (%)	۶۲۳	۶۰۱
Tensile After aging (Mpa)	۱۰/۶	۱۲/۲
Ultimate elongation After aging (%)	۵۰۳	۴۹۰
Hardness (shore D)	۳۹	۴۴

۶. مراجع

1.Ota, S., “Current Status of Irradiated Heat- shrinkable Tubing”, Radiat. Phys. Chem., Vol.18, No.1-2, PP:81-87.1981.

۲. خنکدار، ح.ع، مرشدیان، ج و محراب زاده، م.،"بررسی خواص مکانیکی- حرارتی پلی‌اتیلن شبکه‌ای‌شدهٔ قابل انقباض توسط حرارت"، هفتمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، ج. ۶، ص، ۴۸۱، ۱۳۸۱.

3. Zarringhalam, A., Mehrabzadeh, M. Saedi, G. "Assessing Fire Behavior of pp by Heat Release Rate Method ", ISPST, Vol. 1, P.342, 1997.

۴. مواد پلاستیک، جی. ای. بریدسون، ترجمه حسین امیدیان ، مهدی وفائیان.

۵. پرتوفرآوری پلیمرها، ا.سینگ و ج. سیلورمن، ترجمه حسن نورکجوری و معصومه شربتداران.