Edited with the trial version of
PDFPro
To remove this notice, visit
www.pdfpro.co

www.sbargh.ir

تکامل عایق های XLPE در گذر زمان

تهیه کننده : شرکت سیمکو، واحد تحقیق و توسعه و آموزش

مقاله به چاپ رسیده در مجله سیم و کابل

Edited with the trial version of
PDFPro
To remove this notice, visit
www.pdfpro.co

عایق های XLPE

خلاصه

عایق های XLPE در سراسر جهان به عنوان عایقی مناسب برای کابل های قدرت شناخته شده هستند و نسبت به سایر مواد عایقی ترجیح داده می شود . این سیستم عایقی وقتی با سیستم های قدیمی کاغذهای آغشته شده مقایسه می گردد مزایای زیادی از قبیل مقرون به صرفه بودن تولید و تهیه مواد اولیه و همچنین الزامات کمتر زیست محیطی و نگهداری را به همراه دارد . اما هنوز این مواد چالش هایی را ایجاد می کنند که از آن جمله می توان تمایل به کراس لینک شدن زود هنگام (سوختگی [1]) در اکسترودر را نام برد . علاوه بر این ، این مواد محصولات جانبی ایجاد می کنند که باید قبل از تشکیل ساختار نهایی کابل ، از آن خارج شوند . هدف از این مقاله مرور نمای کلی برخی از پیشرفت هایی است که در خصوص عایق های XLPE رخ داده است . روش های پخت آن بررسی شده و نمونه ای از یک پروکسید جدید و همچنین هم عامل [2] آن که باعث بهبود این وضعیت در مقابل چالش های موجود (سوختگی و ایجاد محصول جانبی) می شود معرفی شده اند . اما بزرگترین چالش بر سر راه عایق های XLPE درخت آبی [3] است ، در قسمتی از این مقاله نیز مختصری در مورد عایق های مقاوم در برابر پدیده درخت آبی آمده است . در انتها نیز چند مورد دیگر از مسائلی که باعث افزایش عمر کابل می گردند ارائه شده اند .

معرفی

بیش از ۵۰ سال است که پلی اتیلن به عنوان اصلی ترین ماده عایقی در کابل های قدرت استفاده می گردد . پلی اتیلن خصوصیاتی ذاتی مانند چقرمگی ، مقاومت در برابر مواد شیمیایی و رطوبت ، انعطاف پذیری در دمای پایین ، خواص الکتریکی بسیار عالی ، ارزان قیمت و فرآیند پذیری آسان دارد که آن را برای عایق کابل های قدرت بسیار مطلوب می سازد . از زمان معرفی آن ، پیشرفت های چشمگیری در تکنولوژی مواد به وجود آمده است و این مسئله باعث شده است تا جایگاه پلی اتیلن به عنوان عایقی مناسب برای عایق کابل های قدرت حفظ شود .

معرفی پلی اتیلن کراس لینک شده در سال ۱۹۶۰ یک پیشرفت چشمگیر در زمینه مواد بود . کراس لینک کردن پلی اتیلن بوسیله دمای کار بالاتر باعث بهبود عملکرد آن نسبت به پلی اتیلن ترموپلاستیک می شود . به طور مثال دمای کار مداوم یک کابل عایق شده با پلی اتیلن کراس لینک شده ۹۰°C دارد در صورتی که دمای کار مداوم عایق پلی اتیلن ترموپلاستیک ۷۵°C است .

با این حال وقتی که برای اولین بار در سال ۱۹۶۰ کابل ولتاژ متوسط با عایق XLPE نصب گردید ، تولید کنندگان کابل و تجهیزات الکتریکی ، انتظار داشتند که برای ۲۰ یا حتی ۳۰ سال به طور مطمئن مورد بهره برداری قرار گیرد . اما عمر سرویس دهی برخی از این کابل های اولیه خیلی کمتر از آن چیزی بود که انتظار می رفت . در آن زمان مهندسین کابل و مواد شناسان به مسائلی مانند تاثیر رطوبت و استرس ناشی از ولتاژ و سایر عیوبی که در ترکیب کابل باعث سرعت بخشیدن به خوردگی رشته ها و نوارها و ایجاد پدیده درخت آبی می شد ، آگاهی نداشتند . این عیوب به شدت بر روی عملکرد کابل ها موثر بودند و بسیاری از کابل ها بعد از فقط ۱۰ الی ۱۵ سال از رده خارج شدند .

این مسئله از عواقب عدم درک عمیق بود . تخمین زده شد که به ازای هر دلار هزینه که صرف تاسیسات این کابل ها شده است ، حداقل ۱۰ دلار برای جایگزین کردن آن مورد نیاز است . حال منابعی که می توانست برای ساخت برخی زیرساخت های جدید استفاده گردد باید صرف جایگزین کردن کابل هایی باشد که کمتر از ۲۰ سال عمر کردند .

امروزه مهندسین و دانشمندان می دانند که کجای کار اشتباه بوده است . آنها کشف کردند که حفره ها و آلودگی های عایق به همراه ناخالصی های یونی در نیمه هادی ها و سایر کاستی ها دیگر در طراحی و تولید باعث تمرکز استرس های ولتاژ در کابل شده است . این استرس های ولتاژ اضافی به همراه نفوذ رطوبت به داخل ساختار کابل منجر به پدیده ای شده است

Edited with the trial version of PDFPro
To remove this notice, visit www.pdfpro.co

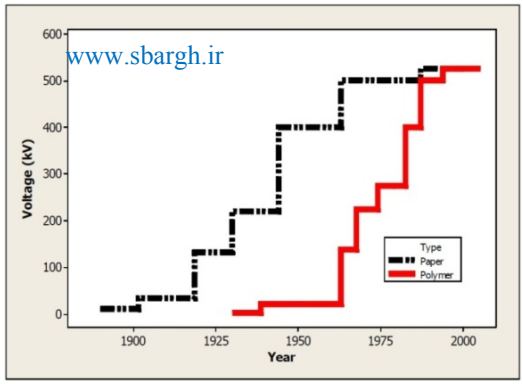
که ما امروزه آن را با نام درخت آبی می شناسیم . رشد درختی این حفره های میکروسکوپی در طول زمان در نهایت باعث تخریب عایق می گردد .

امروزه عایق هایی از جنس XLPE وجود دارند که مانع از رشد درخت آبی می شوند و قابلیت اطمینان سیستم ها را افزایش می دهند . اسکرین های نیمه هادی که عاری از ناخالصی های یونی بیش از حد باشند نیز موجود هستند و تولید کنندگان نیز آموخته اند که چطور کابل را با عایقی تولید کنند که عاری از حفره باشد و سطح صافی بین اسکرین نیمه هادی و عایق داشته باشد .

ساختار کابل و مواد

ساختار کابل های قدرت زمینی ساده به نظر می رسد ، هرچند که هر یک از اجزاء آن نقش مهمی دارند و باید به دقت انتخاب شوند تا از عملکرد مطمئن ساختار کابل اطمینان حاصل شود . عناصر ساختاری مهم کابل های قدرت در بخش های بعدی تشریح خواهند شد .

عایق کابل های قدرت ولتاژ متوسط مدت ها با تکنولوژی کاغذ کرافت آغشته به مایعات تولید می شد و برای بیش از ۱۰۰ سال به طور موفقیت آمیزی مورد استفاده قرار می گرفتند . امروزه عایق های پلیمری اکسترود شده کراس لینک برای همه سطوح ولتاژ طراحی شده اند (شکل ۱) . جدول ۱ عیوب دیده شده در پلیمرهای کراس لینک شده را نشان می دهد .



شکل ۱ : سیر تکاملی بیشترین سطح ولتاژ AC در کابل

جدول ۱ : عیوب سرویس دهی کابل ها در اروپا (متوسط عیوب در هر ۱۰۰ مدار به ازای هر کیلومتر در هرسال) - UNIPEDE ۱۹۹۵

نوع		KV ۱۰	KV ۲۰	KV ۳۰
کراس لینک شده	XLPE ۱۹۷۹-۱۹۹۴	۰/۲	۰/۴	۲/۰
	EPR ۱۹۷۹-۱۹۹۴	۲/۳	۱/۴	۲/۰
ترموپلاستیک	LDPE ۱۹۷۹-۱۹۸۹	۱/۵	۳/۵	۴/۵
	PVC ۱۹۷۹-۱۹۸۹	۵/۰	۳/۵	۱۶/۰

ترکیبات کراس لینک شده نسبت به ترموپلاستیک ها ، قابلیت اطمینان بهتر و عملکرد دمایی بالاتری را از خود نمایش می دهند . مواد ترموپلاستیک تحت شرایط دمایی مداوم تغییر شکل می دهند در حالیکه مواد گرماسخت تمایل دارند تا در دمای کار شکل خود را حفظ کنند . این تجربیات به همراه علاقه به دمای کار بالاتر بدین معناست که پیش بینی می شود در آینده استفاده از مواد کراس لینک شده بیشتر افزایش یابد .

عایق XLPE

XLPE یک ماده ترموست است از ترکیب LDPE با یک عامل کراس لینک کننده مانند دیکامیل پروکساید [۴] حاصل می گردد که در سال ۱۹۶۳ در آزمایشگاه تحقیقاتی جنرال الکتریک واقع در نیسکایونا [۵] در نیویورک توسط آل گیلبرت [۶] و فرانک پریکوپیو [۷] کشف گردید . در این فرایند ملکول های PE با زنجیره های بلند در حین فرایند پخت (ولکانیزاسیون) کراس لینک می گردند تا ماده ای را تشکیل دهند که از لحاظ الکتریکی شبیه PE است اما خواص مکانیکی آن بخصوص در دماهای بالاتر بهتر است . کابل های با عایق XLPE حداکثر دمای نامی ۹۰ °C و نرخ اضطراری ۱۴۰ °C دارند .

Edited with the trial version of PDFPro
To remove this notice, visit www.pdfpro.co

XLPE مقاوم در برابر پدیده درختی

همانطور که قبلا گفته شد درخت آبی می تواند عمر کابل های با عایق XLPE را کاهش دهد . نمونه ای از این درختان آبی در شکل ۲ نشان داده شده است . درختان آبی برای ماه ها و یا حتی سال ها نسبتا به کندی رشد می کنند . با رشد این درخت آبی ، در نوک آنها درخت الکتریکی ایجاد می شود و در نتیجه می تواند استرس های الکتریکی را افزایش دهد . سپس این درخت الکتریکی به سرعت رشد می کند تا به جایی که عایق به اندازه کافی ضعیف شده است و دیگر نمی تواند در مقابل ولتاژ اعمال شده و عیوب الکتریکی اتفاق افتاده مقاومت کند .

شکل ۲ : رشد درختان آبی از طریق نیمه هادی خارجی (سمت راست) و نیمه هادی داخلی (سمت چپ)

در سال ۱۹۷۰ کابل های زمینی مورد استفاده در محیط های مرطوب که بوسیله XLPE عایق شده بودند در مئت زمان کوتاهی دچار شکست شدند و این مسئله منجر به کشف پدیده درخت آبی شد . اگر چه مکانیسم درخت آبی هنوز هم تحت مطالعه است اما این مسئله پذیرفته شده است که درخت آبی ناشی از اثرات آب ، یون ها و استرس های الکتریکی است . در سال ۱۹۸۰ توسعه فناوری در فرمولاسیون عایق پلی اتیلن باعث شد تا مسئله درخت آبی حداقل گردد و با استفاده از افزودنی هایی مقاومت PE در مقابل پدیده درخت آبی بیشتر شود . در سال ۱۹۸۲ ، TRXLPE توانایی چشمگیری را در مقاومت در برابر درخت آبی نشان داد و در نتیجه باعث افزایش طول عمر کابل های قدرت زمینی فشار متوسط در سیستم های توزیع گردید . کابل های فشار متوسط عایق شده بوسیله TRXLPE در آزمون های کهنگی شتاب داده شده در شرایط مرطوب که در آزمایشگاه های متعددی انجام شد تحمل دی الکتریک پایدارتری را نشان می داد . علاوه بر این کابل هایی که در شرایط آزمون کهنگی میدان نیز قرار می گرفتند عملکرد دی الکتریک آن به صورت عالی حفظ می شد .

کابل های عایق شده با TRXLPE که امروزه استفاده می گردد ، عملکرد میدانی بسیار خوبی دارند . با این حال همیشه علاقه زیادی نسبت به افزایش بار بدون افزایش ابعاد کابل یا کاهش قیمت بدون تاثیر بر عملکرد و طول عمر کابل وجود داشته است . بنابراین پیشرفت های بسیاری نیز در خصوص ارتقاء مقاومت در برابر شروع و رشد درخت آبی و درخت الکتریکی صورت گرفته است . اگرچه وقتی کابل دچار شکست می شود کاملا واضح است که این مسئله ناشی از درخت الکتریکی است اما درخت الکتریکی زمانی رخ می دهد که درخت آبی به اندازه کافی رشد کرده باشد و استرس الکتریکی بر روی باقی عایق برای ایجاد شکست درآن کافی باشد .

در حالت کلی در تکنولوژی تولید عایق دو روش برای به تاخیر انداختن درخت آبی و اصلاح مواد XLPE مورد استفاده قرار می گیرد که عبارتند از :

- اصلاح ساختار پلیمر XLPE (پلیمر WTR-XLPE) که اصطلاحا کوپلیمر اصلاح شده XLPE خوانده می شود .
- اصلاح بسته افزودنی (افزونه WTR-XLPE) که اصطلاحا TR-XLPE خوانده می شود .

فرایندهای پخت عایق

دو نوع عمومی تکنولوژی برای کراس لینک کردن پلی اتیلن برای مصارف کابل های قدرت وجود دارد ، پخت رطوبتی و پخت پروکسید . در تکنولوژی کراس لینک کردن رطوبتی (یا در فرایند پلیمریزاسیون و یا در یک فرایند واکنشی جداگانه) یک وینیل آلکوکسی سیلان به پلی اتیلن افزوده می شود . پلی اتیلن حاوی سیلان با کاتالیست کراس لینک مخلوط می گردد ، بر روی هادی اکسترود شده و سپس در مجاورت آب در یک فرایند جداگانه کراس لینک می شود . انتشار رطوبت در اطراف پلی اتیلن یک فاکتور مهم است که می تواند بر روی سرعت

Edited with the trial version of PDFPro
To remove this notice, visit www.pdfpro.co

فرایند کراس لینک شدن موثر باشد . در ابتدا تکنولوژی پخت رطوبتی در کابل های قدرت ۵ کیلوولت و پایین تر استفاده می شد که در آنجا مواد عایقی به صورت تک لایه بر روی هادی قرار می گرفت . در تکنولوژی کراس لینک پروکسید یک پروکسید آلی به پلی اتیلن اضافه می گردد و سپس بلافاصله بعد از بکار رفتن بر روی هادی در یک فرایند در همان خط کراس لینک می گردد . فرایند کراس لینک پروکسید در یک عملیات ولکانیزاسیون پیوسته انجام می شود . در ابتدا این تکنولوژی برای کابل های قدرت با ولتاژ های بالای ۵ کیلوولت استفاده می شد که در آن مواد عایقی چندلایه بر روی هادی قرار می گرفت .

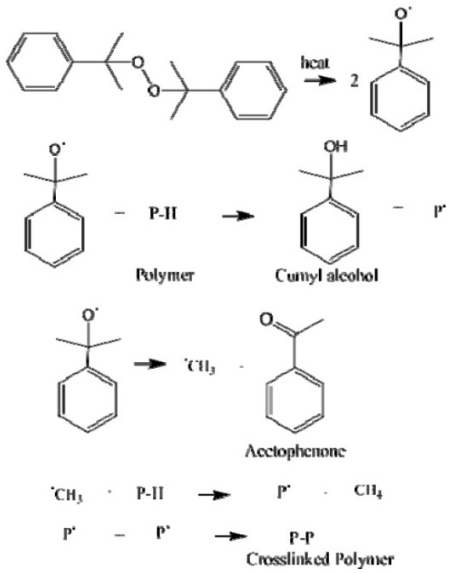
اگر چه سال های زیادی است که کابل های با عایق پلی اتیلن کراس لینک شده پروکسید با فرایند اکستروژن تولید می شوند ، اما هنوز هم اکستروژن این مواد پیچیده است و تکنولوژی فرمولاسیون ماده و فرایند بسیار به هم مرتبط هستند . یکی از این روابط بین پروکسید آلی و اکستروژن است . از یک سمت می خواهیم تا به صورت ممتد و با سرعت بالا تولید نماییم تا حداکثر بهره اقتصادی را از فرایند ببریم . از طرف دیگر به منظور کراس لینک کردن مواد ، پروکسید نیاز است تا در کابل تمام شده الزاماتی براورده شود که در غیر این صورت در عایق کابل ، کراس لینک ضعیف زود هنگام رخ می دهد . چنین کراس لینک زود هنگامی می تواند به سوختگی منجر گردد و می تواند اثرات جدی بر روی محصول داشته و تولید را کاهش دهد . بنابراین برای تولیدی که کیفیتی قابل قبولی داشته باشد ، نیاز است تا تولید کنندگان ترکیبات پلی اتیلن حاوی پروکسید را با دمای نسبتا پایین تولید نمایند که نهایتا باعث کاهش سرعت می شود .

پروکسید آلی که اغلب برای کراس لینک کردن استفاده می شود ، پروکسید دیالکیل [۸] است ، اما در عایق کابل های فشار متوسط ، فشار قوی و فوق فشار قوی ، پروکسیدی که اغلب استفاده می گردد پروکسید دیکامیل [۹] است . اگرچه پروکسید دیکامیل برای این مصارف بسیار مناسب است ، اغلب در فرمولاسیون های مواد ، افزودنی های دیگری در ترکیب با پروکسید دیکامیل نیاز است تا مانع از سوختگی گردد و در برخی موارد نیز اثرات تقویت کراس لینک (تقویت کنندگی پخت) دارد . در مجموع مواد افزودنی غیر پروکسید مانند تقویت کننده های پخت و یا مهار سوختگی در اینجا به عنوان هم عامل خوانده می شوند .

کراس لینک پروکسید پلی اتیلن

فرایند کراس لینک پروکسید برای پلی اتیلن با کافت جور [۱۰] حرارتی مرتبه اول در پیوند پروکسید آغاز می گردد (کافت جور به معنای تجزیه پیوند شیمیایی یک مولکول خنثی و تولید دو رادیکال آزاد است) ، برای حالت پروکسید دیکامیل در شکل ۱ نشان داده شده است. در نتیجه رادیکال آلکوکسی می تواند یا یک هیدروژن را از پلیمر جدا کند تا یک رادیکال پلیمر تشکیل دهد یا اینکه بریدگی بتا را تحمل کند تا رادیکال متیل و استوفنون تشکیل دهد . رادیکال متیل نیز به نوبه خود می تواند یک اتم هیدروژن را به شکل رادیکال پلیمر جدا کند . دو رادیکال پلیمر می توانند با یکدیگر ترکب شده و یک پیوند کربن-کربن کووالانسی بین پیوندهای پلیمر در پلیمر کراس لینک شده ایجاد کنند .

پروکسیدهای با محدوده وسیعی از نیمه عمر در دسترس هستند . بر اساس سینتیک پخت که بوسیله نیمه عمر نشان داده می شود ، هزینه و در دسترس بودن ، پروکسید دیکامیل یکی از موثرترین پروکسیدها برای تولید پلی اتیلن کراس لینک شده است .



شکل ۳ : توالی واکنش های کراس لینک پروکسید در پلی اتیلن

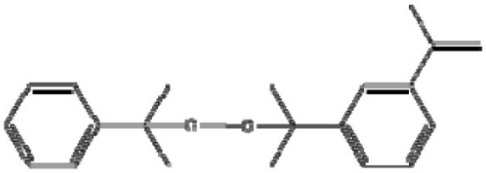
Edited with the trial version of PDFPro
To remove this notice, visit www.pdfpro.co

هر چند که هدف تولید کننده کابل ، شروع واکنش کراس لینک در محفظه ولکانیزاسیون بعد از اکسترودر است ، اما به ناچار قسمتی از کراس لینک در حین فرایند اکستروژن بوسیله حرارت در پلیمر مذاب آغاز می گردد . این کراس لینک در حین تولید سوختگی نام دارد . توجه به نیمه عمر پروکسید این نکته را نشان می دهد . پروکسید دیکامیل در پلی اتیلن یک نیمه عمر در ۱۴۰°C (یک دمای اکستروژن نامی) دارد به طوریکه در حین یک عملیات اکستروژن نوعی در ۱۴۰°C در حدود ٪۱۰-۵ از ظرفیت کراس لینک پروکسید موجود آغاز خواهد شد . هر نقطه راکد ، مناطق با شارش کم و مناطق گرم ممکن است سطح بالاتری از کراس لینک (سوختگی) را تجربه کند که این مسئله باعث آسیب به کابل خواهد شد . واضح است که تکنولوژی می تواند شروع کراس لینک در شرایط اکستروژن را به تاخیر اندازد و در نتیجه سوختگی را کاهش داده ، راندمان فرایند تولید را بهبود و آسیب های وارد شده به کابل را کاهش دهد .

ساختار پروکسید جدید

در کابل های قدرت با ولتاژ نامی ۵ کیلوولت و بالاتر استفاده از پلی اتیلن کراس لینک شده با پروکسید در حال رشد است . علاوه بر چالش های یاد شده در بالا کراس لینک های تولید شده با پروکسید محصولات جانبی تولید می کنند که لازم است قبل از تکمیل شدن ساختار کابل از آن خارج شوند . خارج کردن این محصولات جانبی بعد از تولید عایق در یک فرایند جداگانه به نام گاززدایی انجام می شود .

از زمانی که پروکسید های دیالکیل برای کراس لینک کردن پلی الفین ها استفاده می شوند ، هم عامل های بر پایه پیوند دوگانه کربن-کربن ، برای افزودنی هایی که برای ترکیبات پلی اتیلن قابل کراس لینک شدن استفاده می شوند یک کلاس مفیدتری هستند . بنابر این علاقه هایی به کشف پروکسیدهای دیالکیل که دارای پیوندهای دوگانه کربن-کربن هستند ، معطوف است . پروکسیدهایی که از لحاظ ساختاری به پروکسید دیکامیل وابسته هستند ، با گروه های ایزوپروپنیل عامل دار می شوند که بر پایه فرضیه ای هستند که آنها می توانند قابلیت هم عامل پخت (تسریع کننده پخت و یا پیشگیری از سوختگی) را فراهم نمایند و همچنین با پیوستن پیوندهای دوگانه کربن-کربن در حین کراس لینک کردن پلیمر ، غلظت محصولات جانبی ناشی از تجزیه پروکسید را کاهش دهند .



شکل ۴ : ساختار IDP

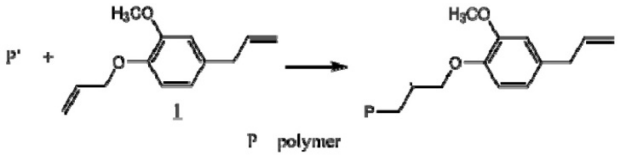
هم عامل های کراس لینک

هم عامل های مورد استفاده برای کراسلینک کردن پروکسید پلی اتیلن به خوبی شناخته شده هستند و سالهاست که در صنعت استفاده می شوند . هم عامل ها می توانند به دو دسته تقسیم شوند آنهایی که مقاوم در برابر خوردگی هستند و کراس لینک شدن در حین فرایند اکستروژن را کاهش می دهند و دیگری تقویت کننده های کراس لینک که کارایی پروکسید را در فرایند کراس لینک افزایش می دهند . هم عامل های موثر کراس لینک که پیوند دوگانه کربن-کربن دارند عبارتند از : دایمر آلفا-متیل استیرن (AMSD) [11] ، triallyl cyanurate و triallyl isocyanurate . رادیکال های پلیمر با جذب هیدروژن توسط رادیکال های آلکوکسی از گرماکافت (تجزیه شیمیایی در اثر حرارت) [12] پروکسید تشکیل می شوند و می توانند به پیوند دوگانه کربن- کربن اضافه شوند . تعداد پیوندهای دوگانه در هم عامل فاکتور مهمی در تشخیص عملکرد هم عامل است البته باید تعادل تقویت پخت / مهار پخت و افزایش سوختگی / مهار سوختگی در نظر گرفته شود . موثرترین هم عامل که هر دو خاصیت تقویت پخت و کاهش سوختگی را دارد دایمر آلفا-متیل استیرن است و به همراه یک تکنولوژی جدید که در ادامه تشریح خواهد شد.

یک هم عامل جدید وجود دارد که هر دو خاصیت تقویت پخت و کاهش سوختگی را بهبود می دهد . این هم عامل جدید آلیل اتر ۲-متوکسی ۴-آلیل فنیل [13] است که به صورت اختصار با MAPAE نشان داده می شود و در شکل ۵ آمده است . پیوند های دوگانه کربن-کربن در MAPAE می

Edited with the trial version of PDFPro
To remove this notice, visit www.pdfpro.co

توانند با رادیکال های پلیمر واکنش نشان دهند و یک رادیکال میانی را تشکیل دهند که در شکل ۵ برای یکی از پیوندهای دوگانه نشان داده شده است . مراحل اولیه این واکنش مانند آنچه که در حین فرایند اکستروژن رخ می دهد شرایط بازدارندگی از سوختگی را فراهم می نماید . با این حال در مراحل بعدی هر دو پیوند دوبل که در واکنش های رادیکال شرکت کرده و در نتیجه محصول افزایشی رادیکال در انتشار اضافی و واکنش های کراس لینک شرکت می کنند .



شکل ۵ : آلیل اتر ۲-متوکسی ۴-آلیل فنیل

نیمه هادی

اسکرین نیمه هادی (که نیمه هادی یا شیلد نیمه هادی نیز خوانده می شود) بر روی سطح بیرونی هادی و عایق اکسترود می شود و برای یکنواخت نگه داشتن دیورژانس میدان الکتریکی و همچنین میدان الکتریکی در کور کابل استفاده می شود . این مواد نوعی کربن بلک طراحی شده ویژه هستند که برای دستیابی به سطح مناسبی از هدایت پایدار در اسکرین یا نیمه هادی استفاده می شوند .

مواد نیمه هادی بر پایه کربن بلک هستند و بوسیله احتراق کامل و کنترل شده هیدروکربن ها بدست می آیند و در شبکه پلیمری پخش می شوند . باید غلظت کربن بلک به اندازه کافی بالا باشد تا رسانایی کافی و پایدار را تضمین نماید . ترکیب باید طوری بهینه گردد که سطح صافی بین بخش های هادی و عایق فراهم شود . داشتن سطحی صاف مهم است زیرا احتمال ایجاد ناحیه ای با استرس الکتریکی بالا را کاهش می دهد . به منظور داشتن تعادل صحیحی بین این ویژگی ها ضروری است که هم کربن بلک و هم شبکه پلیمر به خوبی طراحی گردند .

ما می دانیم که بالاترین سطح تمیزی و صافی کربن بلک برای استفاده در شبکه نیمه هادی ، کربن بلک بر پایه استیلن است . در سال های اخیر ناخالص های شیمیایی دوده کوره و میزان خاکستر آن برای رسیدن به سطح مطلوب مورد نیاز برای نیمه هادی تا حد ممکن بهینه شده اند . در سال ۱۹۷۳ میزان خاکستر در دوده کوره ۰/۷۳ درصد بود اما امروزه دوده با خاکستر ۰/۰۱ درصد موجود است . به طور مشابه مقدار گوگرد نیز از ۱/۲۶ درصد به ۰/۰۱ درصد کاهش یافته است و همچنین صافی از ۹۰ pip/cm^2 به ۱۵ pip/cm^2 رسیده است .

جدول ۲ : تحلیل ناخالصی های نوعی در نیمه هادی تولید شده با کربن بلک

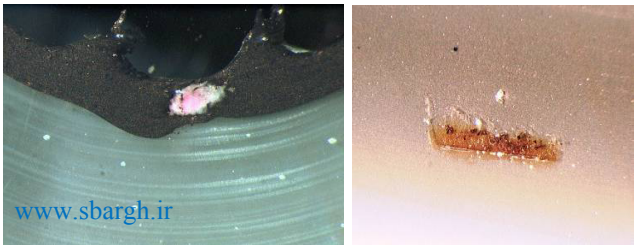
عناصر	دوده کوره			دوده استیلن
	کیفیت پایین	کیفیت استاندارد	کیفیت بالا	کیفیت بالا
Al	۱۵	۵	۶	۳
Ca	۱۶۰	۳	۳	۳
Cr	۲	۳	۳	۳
Fe	۸	۳	۳	۳
Ni	۲	۳	۳	۳
Mg	۵۷	۲۷	۱۵	۱۰
S	۳۶۰۰	۱۹۰۰	۱۰۰	۳
Si	۴۷	۱۰	۴	۳
V	۲	۳	۳	۳
Zn	۳	۳	۳	۳
K	۱۲۵	۱۲	۳	۳
Cl	۱۰۵	۱۳	۱۱	۳

بدون عیب ، تمیزی و صافی

اهمیت حیاتی تمیز بودن (چه برای عایق و چه برای نیمه هادی) و صافی سطح عایق باید به درستی درک شود . بهبود تمیزی و صافی ، سطح استرس های نامی قابل تحمل (بخصوص برای کابل های HV و EHV) و طول عمر را افزایش می دهد . در طول ۱۵ سال اخیر پیشرفت های بسیاری در خصوص تمیز بودن همه مواد اولیه مورد استفاده در کابل انجام شده است . مواد اولیه تمیزتر ، تکنولوژی تولید پیشرفته تر و روش های دستی به ارتقاء تمیزی کمک زیادی می کنند . علاوه بر بسیاری از ابتکارات ، نسل جدیدی از XLPE و WTR-XLPE

Edited with the trial version of
PDFPro
To remove this notice, visit
www.pdfpro.co

تولید شده اند که عموما طرح هایی تمیزتر با سطوح ولتاژ نامی بهتر هستند .



شکل ۶ : عیوب نوعی دیده شده در کابل های با عایق اکسترود شده

تولید کنندگان نیز به نوبه خود سیستم هایی برای جابجایی مواد پیاده سازی می نمایند تا در حین تولید از نفوذ آلودگی جلوگیری نمایند . یکی از نمونه ها این است که در اکثر کارخانه های تولید کابل ، اتاق تمیز احداث می کنند و تجهیزات جابجایی جداگانه ای را برای مواد عایق و نیمه هادی بکار می گیرند .

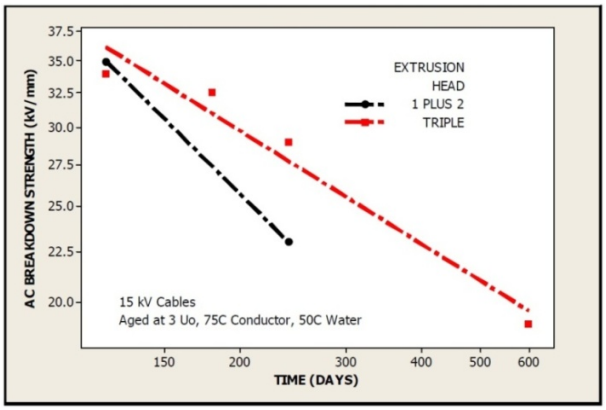
جدول ۳ : رابطه بین کلاس های ولتاژ و سطوح عمومی تمیزی مود قبول

	MV ۶-۳۶ kV	HV ۳۶-۱۶۱ kV	EHV > ۱۶۱ kV
استرس الکتریکی نامی (kV/mm)	۲	۶	۱۰
آلاینده های مستثنی شده (µm)	-۵۰۰ ۲۰۰	۱۰۰-۲۰۰	۷۰-۱۰۰
آلاینده های کنترل شده (µm)	-۲۰۰ ۱۰۰	۷۰-۱۰۰	۵۰-۷۰

میزان تمیز بودن مواد عایقی (چه برای پخت پروکساید و چه برای پخت رطوبتی) اغلب بوسیله تبدیل آن به نمونه ای از یک نوار شفاف و سپس ایجاد تراکم ناهمگونی مورد نظر ارزیابی می گردد . این ناهمگونی ها از طریق ارسال نور از نوار و تشخیص دادن آلاینده ها مشخص می شود . پردازش داده ها نیز بوسیله یک میکرو کامپیوتر انجام می شود که می تواند برای سطوح انتخابی زیادی ، مقادیر غلظت را به صورت تفکیکی ایجاد نماید . در نهایت این مواد عایقی XLPE تمیزتر باعث تولید کابل هایی با طول عمر بالاتر می گردد .

تولید کور کابل

خط تولید کابل اکسترود شده فرایند بسیار پیچیده ای دارد و باید با دقت بالا تولید گردد تا اطمینان حاصل شود که محصول نهایی می تواند برای سالها به صورت مطمئن استفاده گردد . این فرایند از تعداد زیادی ریز فرایند تشکیل شده که باید به صورت هماهنگ با یکدیگر کار کنند . اگر هر بخشی از خط به درستی عمل نکند ، ممکن است مشکلاتی را ایجاد نماید که منجر به تولید کابلهای ضعیف گردد و حتی متراژ بالایی از کابل ضایعات گردد .



شکل ۷ : تاثیر شکل کله گی اکسترودر در کهنگی کابل با استفاده از اندازه گیری ولتاژ شکست

فرایند با ذوب شدن مواد عایقی و نیمه هادی در اکسترودر آغاز می شود . مذاب تحت فشار قرار گرفته و به کله گی که لایه های کابل در آن تشکیل می شوند ، منتقل می گردد . بین انتهای ماردون و ابتدای کله گی می توان توری یا صفحاتی را قرار داد که نقش فیلتر را دارند . در اولین روزهای تولید لایه های اکسترود هدف از این لایه حذف ذرات و ناخالصی هایی بود که در عایق مذاب وجود داشت . اما امروزه هنوز از آن استفاده می گردد ، در صورتی که مواد تمیز امروزی نیاز به استفاده از این نوع فیلتر را به حداقل رسانده است . در واقع اگر این صفحات بسیار تنگ باشند ، خود آنها می توانند ناخالصی هایی به فرم سوختگی یا کراس لینک زودهنگام ایجاد نمایند . با این حال فیلترهای با سایز روزنه حدودا ۱۰۰ تا ۲۰۰ میکرون برای پایدار کردن مواد مفید است و کابل را در مقابل

Edited with the trial version of PDFPro
To remove this notice, visit www.pdfpro.co

تکه های خارجی بزرگ که اغلب توسط سیستم جابجایی مواد وارد می شوند ، محافظت می نماید .

تکنولوژیی که امروزه مورد استفاده قرار می گیرد فرایند اکستروژن سه کله نامیده می شود که در آن محافظ هادی ، عایق و محافظ عایق در یک مرحله تولید می شوند . کابل هایی که با استفاده از این روش تولید می شوند طول عمر بهتری دارند (شکل ۷) . پس از آن ، عایق تولید شده کراس لینک می شود تا عملکرد دمایی بهتری داشته باشد . وقتی که از لوله های CV استفاده می شود برای اطمینان از اینکه کابل تا سطح خوبی کراس لینک شده است ، باید کنترل دقیقی بر روی دماها و زمان ها (مانند سرعت خط) وجود داشته باشد .

روکش ها

در اغلب مصارف MV ، HV و EHV ، لایه های فلزی نیز توسط یک لایه پلیمری دیگر محافظت می گردد . با توجه به اهمیت حیاتی روکش ، برخی ویژگی ها برای روکش ها مورد نیاز است که این ویژگی ها عبارتند از : مقاومت خوب در برابر ساییدگی ، فرایند پذیری خوب ، مقدار معقول مقاومت در برابر رطوبت ، مقاوم در برابر ترک خورگی ناشی از تنش و .... تجربه نشان می دهد که مواد بر پایه PE نسبت به موادی مانند PVC ، CSP و نایلون ها برای روکش کابل ها مناسب تر هستند . تست های مجددی که پس از ۱۰ سال بر روی XLPE انجام شده ، نشان می دهد که وقتی از عایق PVC استفاده می شود ، تحمل شکست الکتریکی تا حدود ۵۰ درصد مقدار اولیه کاهش می یابد . امروزه بسیاری از تاسیسات ، از روکش های بر پایه PE استفاده می نمایند . زمانی که به حفاظت در مقابل موریانه نیاز باشد نیز سختی PE یک مزیت دیگر برای آن محسوب می شود .

روکش ها با پیشگیری از نفوذ آب و یون های محلول از زمین به داخل کابل ، طول عمر کابل را افزایش می دهند ، آسیب های ناشی از نصب را حداقل می کنند و خوردگی را کاهش می دهند . در ایالات متحده آمریکا ۹۳ درصد کابل ها روکش دار تولید می شوند .

اصطلاحات :

[1] . scorch
[2] . coagent
[3] . Water tree
[4] . dicumyl peroxide
[5] . Niskayuna
[6] . Al Gilbert
[7] . Frank Precopio
[8] . dialkyl
[9] . dicumyl
[10] . homolytic cleavage
[11] . alpha-methylstyrene dimer
[12] . thermolysis
[13] . 2-methoxy-4-allylphenyl allyl ether

منابع :

[14] . N. Hampton, R. Hartlein, H. Lennartsson, H. orton, R. Ramachadran, “Long-Life XLPE Insulated Power Cable”, JiCable
[15] . P. J. Caronia, J. M. Cogen, P. Dluzneski, “Novel Polymer Crosslinking Chemistries for Cable Insulation”, Electrical Insulation Conference, Philadelphia, Pennsylvania, USA, 8 to 11 June 2014
[16] . T.l Person, S.S. Sengupta, P.J. Caromia , K .P. Pang, S. Miao, “An Enhanced Water Tree-Retardant Crosslinked Polyethylene for Improved Reliability and Longevity of Distribution Power Cables”, 2010 China International Conference on Electricity Distribution