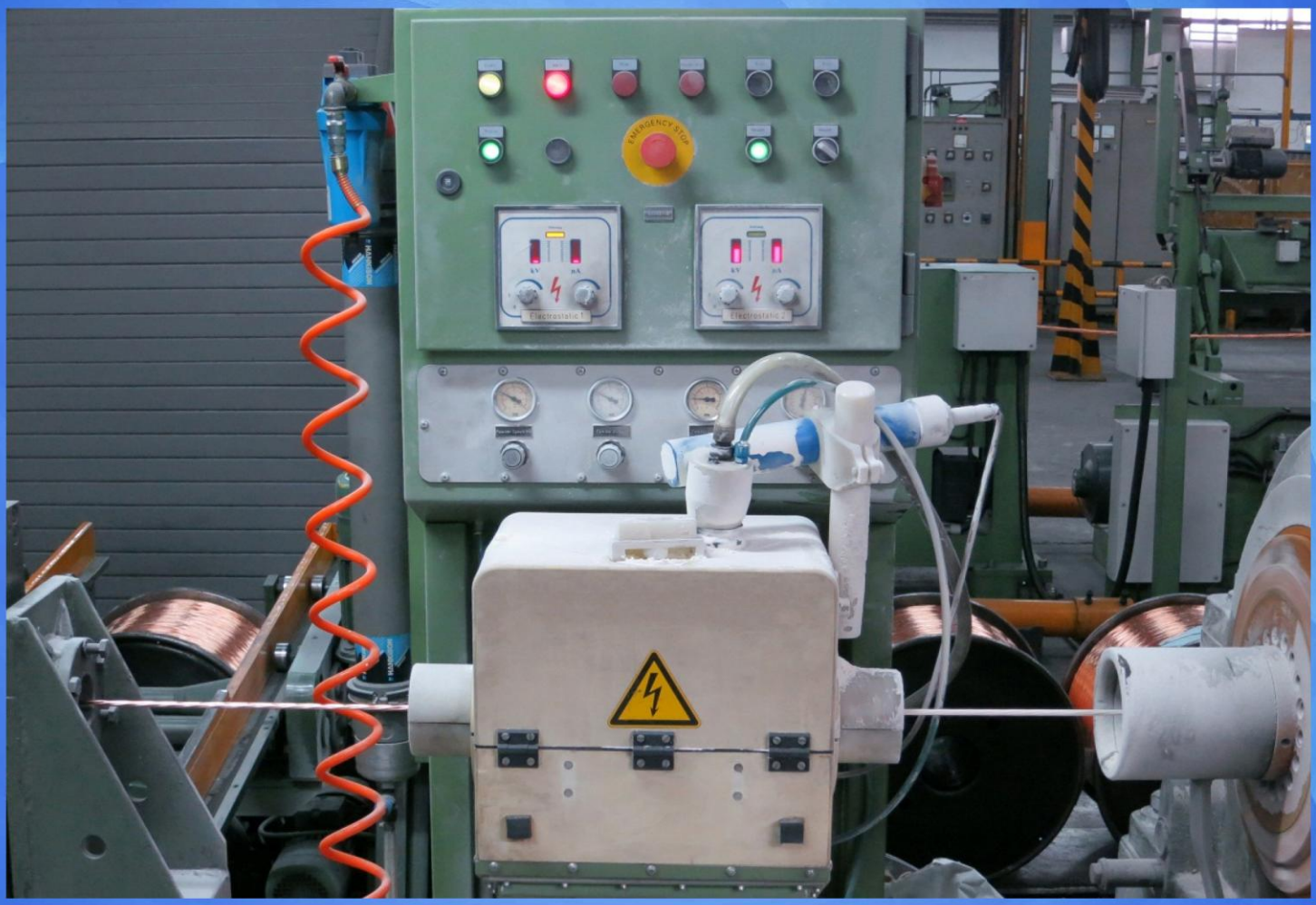
SIMCO

کابل های مقاوم در برابر نفوذ آب



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

مقاله به چاپ رسیده در مجله ستبران

کابل های مقاوم در برابر نفوذ آب

1- مقدمه

رطوبت یکی از قدیمی ترین دشمنان سیم و کابل است. وقتی که رطوبت به داخل کابل نفوذ کند، می تواند به صورت جدی بر روی کابل اثر گذار باشد. نفوذ رطوبت به داخل کابل می تواند مشخصات الکتریکی کابل مانند خازن، ضریب قدرت، مقاومت عایقی و تحمل دی الکتریک را کاهش دهد و حتی می تواند باعث اتصال کوتاه نیز شود. نفوذ رطوبت می تواند باعث کاهش قابلیت انعطاف پذیری سیستم، افزایش هزینه های نگهداری و کاهش طول عمر کابل شود.

نفوذ آب در لایه های فلزی کابل مانند هادی، اسکرین، آرمور، ارت، غلاف فلزی و .... باعث خوردگی می شود و در عایق کابل نیز باعث ایجاد پدیده درخت آبی می شود.

برای جلوگیری از نفوذ آب به داخل کابل راههای زیادی وجود دارد که از آن جمله می توان استفاده از لایه های غلاف سربی، آلومینیومی و مسی را نام برد. به طور مثال می توان نوار مسی لوله ای بدون پوشش پلاستیکی را نام برد که هم به عنوان شیلد و هم به عنوان یک محافظ رطوبتی استفاده می شود.

اما مسائلی مانند قیمت، توجهات زیست محیطی و دشواری های نصب باعث شد تا جستجوها برای یافتن جایگزینی مناسب تر ادامه پیدا کند. این جایگزین فویل های نازک فلزی-پلاستیکی بودند که در کابل در تمامی سطوح ولتاژ به عنوان محافظ رطوبتی کاربرد پیدا کردند. این نوارها فلزی عموما از جنس مس و آلومینیوم هستند که از یک سمت و یا هر دو سمت توسط یک پلیمر شدیدا چسبنده پوشش داده می شوند و در نتیجه به غلاف و یا روکش نهایی می چسبند. این نوارها که هم به صورت طولی و هم به صورت هلیکس استفاده می شوند و درحین عملیات تزریق لایه روکش به آن می چسبند.

اما همه راههای یاد شده در بالا برای کاهش نفوذ شعاعی رطوبت به داخل کابل استفاده می شوند. اما زمانی که رطوبت به داخل کابل نفوذ کرد باید از حرکت آن در راستای طولی کابل و آسیب زدن به طول بیشتر جلوگیری کرد. بدین منظور تحقیقات بیشتری نیز برای جلوگیری از نفوذ رطوبت در راستای طولی کابل (به خصوص از طریق هادی و شیلد) صورت گرفت و امروزه کابل هایی ساخته می شوند که در مقابل آب غیر قابل نفوذ هستند.

برخی از مواردی که می توانند باعث نفوذ آب به داخل کابل شوند عبارتند از: در زمان انبارش بخصوص زمانی که دو انتهای کابل کپ (کلاهک) نخورده باشد، آسیب های در حین حمل و نقل و جابجایی، عملیات نصب و خواباندن کابل در گودال و عملیات خاک ریزی، زمانی که کابل به صورت نامناسبی در معرض حجم آب زیاد قرار گیرد، اتصالات نامناسب و یا پیدا شدن عیبی در سیستم آب بندی و خیلی موارد دیگر مانند بلایای طبیعی، سرقت و ...

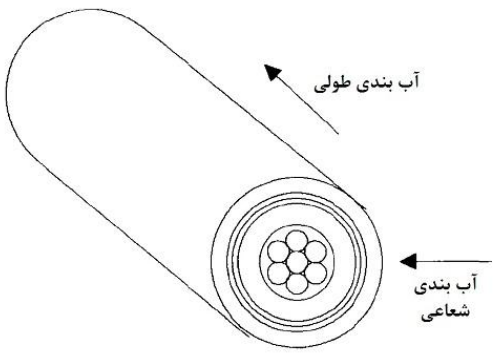
برای جلوگیری از نفوذ طولی آب از پودر آب بندی، الیاف آب بندی و نوارهای آب بندی نیز می توان استفاده کرد و یا می توان ترکیبی از آنها را برای آب بندی لایه های مختلف مانند هادی های استرند شده فشرده و هادی های سگمنتال و سایر لایه ها بکار گرفت.

راه دیگر برای جلوگیری از نفوذ رطوبت به داخل کابل استفاده از روکش مناسب است. هریک از روکش های مورد استفاده مزایایی را دارند و برای انتخاب روکش مناسب باید سایر فاکتورهای اصلی انتخاب را نیز در نظر گرفت.

هدف از این مقاله بررسی راههای جلوگیری از نفوذ رطوبت به صورت طولی و شعاعی به داخل کابل است. بسته به میزان رطوبت موجود می توان از یک یا چند روش برای آب بندی کابل استفاده نمود.

2- محافظ رطوبتی طولی و شعاعی

همان طور که گفته شد کابل را می توان به صورت طولی و یا به صورت شعاعی نسبت به نفوذ آب محافظت نمود و برای این کار از لایه ها و یا موادی که در ادامه آمده است استفاده می شود که هر یک از آنها وظیفه مربوط به خود را برعهده دارند، برخی از لایه ها نیز می توانند برای هر دو منظور استفاده شوند.



شکل 1 : راههای آب بندی برای جلوگیری از نفوذ آب به داخل کابل

2-1- محافظ رطوبتی شعاعی

برای محافظت شعاعی کابل در مقابل نفوذ آب بوسیله مسدود کننده فلزی، دو روش وجود دارد. یکی از آنها استفاده از نوارهای نسبتا نازک فویل فلزی است که یا به صورت ساده (بدون پوشش) و یا پوشش داده شده بوسیله پلاستیک استفاده می شوند و بر روی هسته کابل قرار می گیرند. این نوارهای طولی در ناحیه اورلپ بوسیله یک چسب پلاستیکی آب بندی می شوند. این نوع آب بندی برای تمام سطوح ولتاژ در کابل یک مانع رطوبتی محسوب می شود.

نوع دیگر حفاظ رطوبتی فلزی، یک تیوب نسبتا ضخیم از جنس سرب، آلومینیوم، مس و یا برنز است که یک حفاظت شعاعی را در برابر آب ایجاد می نماید. سرب و آلومینیوم می توانند بوسیله فرایند اکستروژن بر روی کابل قرار گیرند. همین طور می توان نوار آلومینیومی، مسی و یا برنزی را به صورت طولی بر روی هسته کابل قرار داد و لبه های آن را در کنار هم قرار داده و سپس این شکاف جوش داده می شود تا به شکل لوله به هسته کابل متصل شود. همچنین می توان بر روی این لایه روکشی قرار داد تا حفاظتی اضافی در مقابل رطوبت و شرایط مکانیکی ایجاد نماید.

2-2- محافظ رطوبتی طولی

در صورتی که کابل از لحاظ طولی آب بندی نشود نسبت به نفوذ طولی آب آسیب پذیر است، حتی در صورتی که از لحاظ شعاعی آب بندی مناسبی داشته باشد. در این وضعیت اگر به هر دلیلی آب به داخل کابل نفوذ کند، می تواند در راستای طولی حرکت کرده و طول بلندی از کابل را معیوب نماید. حال آنکه آب بندی مناسب باعث می شود تا در صورت بروز هر گونه مشکل و نفوذ آب به داخل کابل، در راستای طولی بیش از یک متر نفوذ نداشته باشد.

کابل های قدرت اولیه مقاوم در برابر نفوذ طولی آب با استفاده از جاذب های غیر پلیمری و مواد پر کننده تولید می شدند اما امروزه از جاذب های پلیمری به فرم نوار، الیاف، پر کننده و پودر استفاده می شود. این روش در اطراف هادی هم مرکز، در زیر شیلد و یا اسکرین، در فضای بین هادی ها در کابل چند رشته و همچنین بین مفتول های آرمور و سایر فضاهای داخل کابل به کار برده می شود.

آب بندی طولی کابل نیز شامل موارد زیر است:

- آب بندی طولی هادی
- آب بندی طولی اسکرین یا شیلد
- آب بندی فضاهای داخلی بین هادی ها در کابل چند رشته
- آب بندی نوار ها و یا مفتول های فولادی آرمور
- آب بندی سطح بین نوارهای فلزی متصل با روکش و هسته کابل

آب بندی هادی: حضور آب در هادی منجر به پدیده درخت آبی در عایق و در نتیجه معیوب شدن آن می شود. برای این منظور از هادی هایی استفاده می کنند که اصطلاحا به آنها هادی های مسدود شده (Blocked conductor) می گویند. برای مسدود کردن مسیر طولی حرکت آب در این نوع هادی ها از نوار، الیاف یا پودر آب بندی و یا ترکیبی از آنها در طول هادی استفاده می شود. علاوه بر این می توان از مواد پر کننده نیمه هادی نیز استفاده کرد و یا می توان بین لایه های هادی، مواد نیمه هادی تزریق کرد.

وقتی که از نوارها، الیاف و یا پودر آب بندی استفاده می شود نیاز است تا نسبت بین فضای خالی بین هادی ها و مقدار ژله مسدود کننده مسیر آب به صورت مناسبی ارزیابی شود. علاوه بر این کهنگی این مواد در طول هر ده سال در دمای کار کابل که عموما 90 درجه است نیز باید کاملا بررسی شود. توزیع یکنواخت این پودر در داخل هادی نیز فاکتور دیگری است که باید مورد توجه قرار گیرد.

در صورت استفاده از ترکیبات پر کننده (نیمه هادی) باید توجه نمود تا تمامی فضاها در حین تولید پر شود، زیرا نواحی پر نشده می تواند منجر به مسیری برای جریان پیدا کردن آب شود.

آب بندی شیلد و اسکرین : این مسئله بیشتر برای کابل های قدرت زمینی فشار متوسط و فشار قوی صادق است. برای این کار می توان از دو نوار آب بندی در زیر و روی نوار و یا رشته های اسکرین و یا شیلد استفاده نمود.

آب بندی فضاهای بین هادی ها برای کابل های چند رشته و فضاهای بین مفتول ها و یا نوارها در آرمور : در کابل های فشار ضعیف و فشار متوسط فضای بین هادی ها فضای زیادی است که آب به راحتی می تواند در آن جریان پیدا کند. در صورت نیاز می توان این فضاها را توسط نوار یا الیاف آب بندی و یا با ترکیبی از این دو پر کرد. از این روش می توان برای آرمور نیز استفاده کرد.

آب بندی نوارهای متصل شده یا متصل نشده به روکش : برای این مورد نیز می توان برای تمام سطوح ولتاژ از نوار آب بندی بین لایه ها استفاده کرد.

در حالت کلی این مسئله نیز باید در نظر گرفته شود که در کابل های فشار متوسط و فشار قوی به نیمه هادی نیاز است تا پیوستگی الکتریکی بین شیلد یا اسکرین و حفاظ رطوبتی فلزی و حفاظ نیمه هادی عایق برقرار بماند. در نتیجه نوارهای آب بندی باید از نوع نیمه هادی باشند.

شکل 2 : نمونه کابل تولیدی با نوار نیمه هادی آب بندی

3- غلاف های فلزی

یکی از راههای محافظت رطوبتی کابل استفاده از غلاف فلزی از جنس آلومینیوم، مس، سرب و یا حتی برنز است. این نوارها را می توان به صورت اکسترود شده استفاده نمود و یا به صورت نواری بر روی کابل قرار داده و لبه های آن را به یکدیگر جوش داد. حتی می توان برای افزایش انعطاف پذیری این غلاف ها را کروگیت نمود.

3-1- غلاف آلومینیومی

لوله آلومینیومی اکسترود شده و یا درز جوش شده را می توان برای کابل های فشار قوی و فوق فشار قوی استفاده کرد. در برخی کشورها مانند فرانسه از غلاف آلومینیومی برای کابل های 90kV به صورت گسترده استفاده می شود. این غلاف آلومینیومی عموما ضخامتی حدود 0/56 میلیمتر دارد. آلومینیوم می تواند برای تمامی سطوح ولتاژ به عنوان اسکرین و همچنین محافظ مکانیکی (آرمور) استفاده شود. مهمترین مشکلات غلاف آلومینیومی حفاظت در مقابل خوردگی، خمش، ملاحظات مربوط به اتصالات و تلفات آن در کابل های فشار قوی است.

شکل 3 : نمونه کابل با غلاف آلومینیومی کروگیت

3-2- غلاف سربی

سرب عموما در کابل به صورت غلاف برای حفاظت در مقابل خوردگی شیمیایی مورد استفاده قرار می گیرد و کابل های با غلاف سربی عموما در مناطقی نصب می شوند که آلوده به مواد شیمیایی هستند مانند کارخانه های شیمیایی، پالایشگاهها، مخازن ذخیره سازی و مناطقی که دارای درصد آب بالایی هستند و ....

سرب اغلب با مقادیر کمی قلع و آنتیموان آلیاژ می شود تا مقاومت آن را در برابر خستگی مکانیکی (مانند خستگی ناشی از حمل و نقل در مسیرهای طولانی) افزایش یابد.

لایه غلاف سربی تاریخچه ای طولانی دارد و در ابتدا به همراه عایق های پر شده با روغن استفاده می شد اما امروزه به همراه عایق های جامد نیز استفاده می شود.

شکل 4 : نمونه کابل با غلاف سربی

در سال 1993 وزارت کار آمریکا بیانیه ای را منتشر کرد که نگرانی های خود را در استفاده از غلاف سربی اعلام کرد. این نگرانی به دلیل تاثیر نمک سرب بر روی محیط زیست به خصوص آب های زیر زمینی است و تنفس آن نیز خطرات شدیدی بر روی خون دارد.

در مقابل می توان به جای آن از غلاف های متصل شده به روکش استفاده نمود که حاوی سرب و سایر فلزات سنگین نباشند. یکی از مزایای مهم استفاده از این نوارهای متصل شده این است که قابل بازیابی مجدد هستند. به دلیل وزن پایین تر و طول بیشتر بر روی قرقره، هزینه حمل و نقل کمتری دارند. همچنین وزن پایین تر باعث سهولت بیشتر نصب می شود.

کابل های با غلاف سربی و عایق کاغذی پر شده با روغن را می توان بوسیله عایق های XLPE به همراه نوارهای متصل شده به روکش جایگزین کرد.

3-3- غلاف مسی

غلاف مسی لخت نسبتا ضخیم بدون پوشش پلاستیکی را می توان هم به عنوان محافظ رطوبتی و هم به عنوان اسکرین استفاده کرد. اما استفاده از آن در کابل های فشار قوی به دلیل محدود بودن جریان اتصال کوتاه قابل تحمل به سایز های کوچکتر محدود می شود. بدین منظور نواری با یک شکاف در زیر روکش قرار می گیرد. سپس دو لبه نوار جوش داده می شود و یک روکش اکسترود شده بر روی آن قرار می گیرد. می توان بر روی شکاف از نوار آب بندی استفاده نمود. این نوار در صورت فعال شدن، متورم شده و می تواند یک حفاظت اضافی در مقابل نفوذ آب ایجاد نماید.

برای افزایش انعطاف پذیری کابل می توان این غلاف مسی را کروگیت نمود، عملیات کروگیت کردن پس از عملیات جوش انجام می شود. سپس یک لایه روکش بر روی این لوله جوش داده شده قرار می گیرد .

4- نوارهای فلزی پوشش داده شده با پلاستیک

در سال1960 برای اولین بار یک لایه نازک پلاستیکی برای محافظت کابل در برابر نفوذ شعاعی در کابل مخابراتی مورد استفاده قرار گرفت و نتایج موفقت آمیزی به همراه داشت. این نوارها برای این منظور تا به امروز در انواع مختلف کابل ها مانند کابل های کنترل، کواکسیال، ابزار دقیق، فیبر نوری، کابل دریایی و .... به عنوان محافظ رطوبتی و شیلد استفاده می شوند. این نوارها حتی برای کابل های قدرت فشار ضعیف، فشار متوسط و فشار قوی نیز می توانند استفاده شوند.

هدف از این نوارها محافظت شعاعی در مقابل نفوذ آب است و شامل نوارهای فلزی و نوارهای فلزی پوشش داده شده با مواد پلاستیکی در یک سمت و یا هر دو سمت هستند .

هرگاه بخواهیم نوار به روکش بچسبد می توان از نوارهای با پوشش پلاستیکی استفاده کرد و در صورتی که هدف افزایش انعطاف پذیری باشد می توان آن را کروگیت کرد. در حالتی که نوار با پوشش پلاستیکی باشد در فرایند اکستروژن می تواند بوسیله حرارت در ناحیه اورلپ آب بندی شود.

این نوار باید به اندازه کافی ضخیم باشد تا هیچ سوراخی بر روی آن ایجاد نشود و همچنین تحمل شرایط مکانیکی را در زمان تولید، نصب و استفاده داشته باشد. چنین آسیبی بدین معناست که محافظ رطوبتی از بین رفته است.

در صورتیکه نوار پوشش پلاستیکی داشته باشد یک محافظ رطوبتی مناسبی است اما در صورتی که نوار بدون پوشش باشد در ناحیه اورلپ راه نفوذ وجود دارد و باید از یک نوار آب بندی استفاده نمود و در این حالت تمایل به خوردگی فلز به دلیل وجود آب در سطح نوار و روکش بیشتر است.

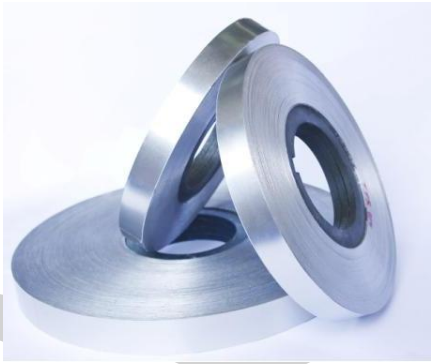
جنس لایه پلاستیکی می تواند هادی و یا عایق باشد. بین این لایه و لایه فلزی باید چسبندگی مناسبی وجود داشته باشد.

در صورتی که در هر دو سمت پوشش پلاستیکی وجود داشته باشد مقاومت در برابر خوردگی بهتری دارد. معمولا برای کابل های ولتاژ پایین از نوارهایی که هر دو سمت پوشش پلاستیکی دارند استفاده می شود و در کابل های فشار متوسط و فشار قوی نیز از نوارهایی که در یک سمت پوشش پلاستیکی دارند استفاده می شود. دلیل این استفاده در فشار ضعیف به خاطر کاهش خوردگی است زیرا در گاهی اوقات از این نوار به عنوان شیلد الکتریکی نیز استفاده می شود که در این حالت نیاز به پیوستگی الکتریکی دارد. اما از آنجا که عموما در کابل های فشار متوسط محافظ رطوبتی در مقابل نفوذ طولی آب وجود دارد، در نتیجه احتمال خوردگی بسیار پایین است. بنابراین نوارهای یک رو پلاستیک استفاده می شود. با این حال دلیل اصلی استفاده از نوارهای یک رو پلاستیک در کابل های فشار متوسط و فشار قوی این است که سمت بدون پوشش آن می تواند در تمام طول کابل با شیلد کابل پیوستگی الکتریکی داشته باشد.

یکی از مهمترین اختلافات بین نوارهای یک رو پوشش داده شده و هر دو رو پوشش داده شده در این است که نوار های دو رو پوشش داده شده به راحتی آب بندی می شوند و فقط نیاز است تا این دو وجه در ناحیه اورلپ به یکدیگر جوش داده شوند. اما برای نوارهای یک رو پوشش داده شده، در ناحیه اورلپ یک وجه پلاستیکی و یک وجه فلزی بر روی یکدیگر قرار می گیرند و جوش دادن آن مستلزم انرژی زیادی است. برای این کار نیز از روش های پیش گرم متنوعی استفاده می شود. اگر این حرارت کافی باشد می تواند آب بندی مشابه نوارهای هر دو رو پوشش داده شده ایجاد نماید. اما این کار از نقطه نظر عملی بسیار دشوار است و ممکن است فقط برای کابل های فشار ضعیف با قطر پایین امکان پذیر باشد. برای آب بندی اورلپ در کابل های فشار متوسط و فشار قوی که از نوارهای فلزی یک رو پلاستیک استفاده می شود از چسب جوش گرم نیز می توان استفاده کرد.

4-1- نوار آلومینیومی پوشش داده شده با پلاستیک

نوار های آلومینیومی پوشش داده شده با پلاستیک متداول ترین نوع نوارها برای حفاظت در مقابل نفوذ رطوبت است که برای تمامی سطوح ولتاژ استفاده می شود و مهمترین مزیت آن از نظر اقتصادی است.



شکل 5 : نوار آلومینیوم کوپلیمر با روکش پلاستیکی در دو سمت

این نوارها در کابل های فشار ضعیف آلومینیومی می توانند به عنوان شیلد استفاده شود. اما در صورتی که در نواحی با رعد و برق فراوان استفاده شوند فقط می تواند نقش محافظ رطوبتی داشته باشند. نوار های آلومینیوم پوشش داده شده در کابل های فشار متوسط، فشار قوی و فوق فشار قوی نمی توانند هم به عنوان شیلد و هم به عنوان محافظ رطوبتی استفاده شوند، در نتیجه فقط به عنوان محافظ رطوبتی استفاده می شوند.

شکل 6 : نمونه کابل تولید شده با آلومینیوم کوپلیمر و روکش پلی اتیلن به همراه نوار نیمه هادی آب بندی بین آلومینیوم کوپلیمر و اسکرین

4-2- نوار مسی پوشش داده شده با پلاستیک

نوار مسی پوشش داده شده را نیز می توان در تمامی سطوح ولتاژ به عنوان محافظ رطوبتی استفاده کرد. در کابل های فشار ضعیف غالبا نوار مسی هم به عنوان شیلد و هم به عنوان محافظ رطوبتی استفاده می شود. در کابل فشار متوسط و فشار قوی نیز عموما بر روی رشته های اسکرین استفاده می شود.

این مسئله را نیز همواره باید در نظر گرفت که برای جلوگیری از خوردگی گالوانیک باید جنس نوار را از جنس اسکرین انتخاب نمود، زیرا به طور مثال اگر جنس رشته ها مس و جنس نوار آلومینیوم باشد می تواند ایجاد پیل گالوانیک نماید.

یکی دیگر از مزایای مس این است که راحت تر می تواند در انتهای مدار به ترمینال وصل شود. در اتصالات و ترمینال ها مس می تواند ساده تر از سایر مواد جوش داده شده و کلمپ شود.

نوار مسی پوشش داده شده می تواند در کابل های فشار ضعیف و برخی از کابل های فشار متوسط هم به عنوان شیلد و هم به عنوان محافظ رطوبتی استفاده شود. نوار مسی زمانی انتخاب می شود که رسانایی بالایی مورد نیاز باشد. در کابل های فشار متوسط و فشار قوی نوار مسی پوشش داده شده که به عنوان محافظ رطوبتی استفاده می شود می تواند به عنوان مکمل رشته های اسکرین، نقش اسکرین را داشته باشد.

4-3- نوار سربی پوشش داده شده با پلاستیک

نوار فویل سربی با پوشش پلاستیکی به عنوان محافظ رطوبتی و به صورت چسبیده به روکش استفاده می شود . برای کاهش امکان ایجاد سوراخ های سوزنی و همچنین فراهم کردن مقاومت در برابر خستگی باید سرب ضخامت مناسبی داشته باشد. از نظر زیست محیطی نیز استفاده از نوار سربی نسبت به غلاف سربی، بدلیل حجم کمتر سرب استفاده شده خیلی بیشتر قابل قبول است. این فویل های نازک بدلیل وجود لایه پلاستیکی از محیط ایزوله هستند. علاوه بر این، اتصال چسبنده بین لایه پلاستیکی و سرب، تماس بین سرب با رطوبت محیط راحداقل می نماید.

ثابت شده است که این ساختار در حین بارگذاری حرارتی مشابه یک نوار پلاستیکی رفتار می کند. در نتیجه می تواند با لایه پلیمری که به آن متصل شده است منبسط شود و در اتصال با آن باقی بماند. همچنین این مسئله نیز ثابت شده است که نوار مسی و آلومینیومی پوشش داده شده با پلاستیک چنین رفتاری را نشان نمی دهند.

5- ترکیبات پر کننده

ترکیبات پر کننده موادی هستند با ویسکوزیه بالا که معمولا با فشار و دمای بالا به کابل تزریق می شود.

این مواد عموما در کابلهای مخابراتی و فیبر کاربرد دارند و برای پر کردن فضاهای خالی هسته کابل و اطراف لایه های فلزی استفاده می شوند. در یک کابل مخابراتی حدودا نیمی از فضای داخل هسته، فضای خالی است. این مواد باید تمامی فضای خالی داخل کابل را پر کنند تا راهی برای نفوذ آب به داخل کابل باقی نماند.

در سال 1968 ، آزمایشگاههای تلفن بل اولین طراحی این کابل را اعلام کرد که در آن فضاهای خالی هوا توسط پلی اتیلن و ژله پر شده بود. در این حالت با آسیب دیدن روکش، این مواد پرکننده مانع از نفوذ آب به داخل هسته می شدند.

در مجموع استفاده از این مواد چند مزیت عمده دارد:

- جلوگیری از نفوذ شعاعی آب به داخل کابل در صورت آسیب دیدن روکش
- پایداری مشخصات الکتریکی (به صورت تجربی این مسئله مشخص شده کابلی را که برای چندین هفته در آب غوطه ور ساخته اند مقدار خازن کمتر از یک درصد تغییرات داشته است)
- استفاده از روکش های اقتصادی تر
- جلوگیری از نفوذ آب در راستای طولی کابل در صورت آسیب دیدن

انواعی از ترکیبات پر کننده نیز هستند که در کنار روغن های معدنی و سایر فراورده های نفتی، با مقدار مشخصی گرانول جاذب آب ترکیب می شوند. در نتیجه زمانی که در معرض آب قرار می گیرند به کلوییید تبدیل می شوند و می توانند مسیر عبور آب رامسدود کنند.

ترکیبات پر کننده ای که به صورت سنتی استفاده می شوند در صورتی می توانند مسیر آب را مسدود کنند که کاملا فضاهای خالی را پر کنند اما ترکیبات پرکننده مسدود کننده آب که حاوی پودر آب بندی هستند، می توانند بهتر آب بندی نمایند و حجم کمتری نیز مصرف می شوند.

6- نوارهای آب بندی

این نوارها متشکل از یک یا چند الیاف غیر بافته شده به همراه سایر موادی که برای حفظ یکپارچگی مکانیکی مورد نیاز است، هستند. در داخل این نوارها پودرهای فوق العاده جاذب (پودر های آب بندی) قرار می گیرد و به نوار قابلیت جاذب آب و یا مسدود کننده آب را می دهد.

شکل 7 : نوار آب بندی (سمت راست) و نوار آب بندی نیمه هادی (سمت چپ)

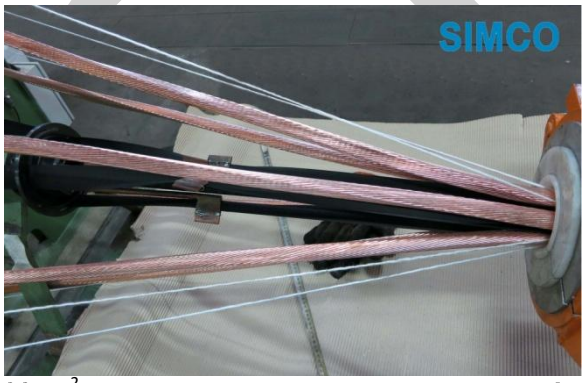
این نوارها همچنین می توانند از الیاف مصنوعی بافته شده تشکیل شوند که یک سمت آنها بوسیله پودرهای جاذب پوشش داده شده است.

نوار های آب بندی می توانند به دور کابل تابیده شده و اجزاء زیرین را کنار یکدیگر نگه دارند. این نوارها می توانند از جنس غیر هادی و یا نیمه هادی باشند. نوارهای جاذب رطوبت وقتی در مجاورت آب قرار می گیرند آن را جذب کرده و منبسط می شوند و راه نفوذ آن را می بندند.

زمانی که از این نوارها بین رشته های اسکرین و محافظ رطوبتی یک رو پوشش داده شده استفاده می شود برای اتصال الکتریکی بین این دو به منظور تقویت اسکرین، باید از نوارهای آب بندی نوع نیمه هادی استفاده نمود.

7- الیاف آب بندی

الیاف آب بندی، تارهایی به هم تنیده از ترکیب تارهای پلیمری، تارهای فوق العاده جاذب و تارهای محافظ هلیکس و طولی هستند.



شکل 8 : الیاف آب بندی در اطراف قطاع های هادی میلیکن سایز $1600mm^2$

این تارها می توانند به صورت طولی و یا هلیکس در اطراف اجزاء کابل استفاده شوند. الیاف آب بندی عموما برای آب بندی هادی

استفاده می شوند مانند اطراف استرند مرکزی هادی، اطراف لایه های هادی فشرده شده یا در اطراف قطعه های فشرده شده در هادی سگمنتال. اما از این الیاف می توان در سایر منافذ نیز استفاده نمود . محل استفاده و مقدار مورد نیاز این الیاف در کابل به میزان قدرت آب بندی مورد نیاز و فضاهای خالی موجود در کابل بستگی دارد.

شکل 9 : الیاف آب بندی

8- پودر آب بندی

مواد فوق العاده جاذب به صورتی متنوع وجود دارند و در صنایع مختلف مانند صنایع بهداشتی، بسته بندی مواد غذایی و ... استفاده می شوند. مهمترین فاکتورهای در انتخاب این مواد عبارتند از سرعت جذب، ظرفیت جذب و پایداری حرارتی.

شکل 10 : دستگاه پودرزن شرکت سیمکو در حال کار

یکی از مهمترین جاذب های مورد استفاده در صنعت کابل سازی پلی اکریلیک ها هستند. آنها پلیمرهایی آب دوست هستند که می توانند آب را جذب کنند و به دلیل ساختار پلیمری در آن حل نمی شوند.

پودر های آب بندی به محض تماس با آب متورم شده و به یک ماده ژله مانند تبدیل می شوند و در منطقه ای محدود از نفوذ طولی آب جلوگیری می کنند. پودر آب بندی عموما در حفاظ نیمه هادی کابل استفاده می شود اما به صورت مستقیم نیز می توان در بین لایه های هادی استفاده کرد.

همچنین باید این نکته را نیز یادآور شد که توانایی پودر های آب بندی و همچنین نوارها و الیاف در آب دریا ممکن است به صورت چشمگیری کاهش یابد، در نتیجه برای این مصارف باید از انواع مخصوص آن استفاده نمود.

9- انتخاب مواد روکش

وقتی برای اولین بار در سال 1960 کابل ولتاژ متوسط با عایق XLPE نصب گردید، تولید کنندگان کابل و تجهیزات الکتریکی، انتظار داشتند که برای 20 یا حتی 30 سال به طور مطمئن مورد بهره برداری قرار گیرد. اما عمر 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 تنش 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 باعث شدند تا بسیاری از کابل ها بعد از فقط 10 الی 15 سال از رده خارج شوند.

با معیوب شدن این کابل ها علاقه زیادی نیز به سمت مطالعه برای یافتن راه های جلوگیری از نفوذ طولی و شعاعی آب به داخل کابل هدایت شد. امروزه روش هایی مانند استفاده از XLPE مقاوم در برابر درخت آبی و یا استفاده از لاستیک های اتیلن پروپیلن (EPR) به جای XLPE برای کابل های فشار متوسط و استفاده از روکش نهایی به جای استفاده از کابل های بدون روکش بکار گرفته می شود.

برای روکش کابل ها می توان پلی اتیلن سبک خطی (LLDPE) را انتخاب نمود، اما در صورتی که به مقاومت در برابر سایش بیشتری نیاز باشد می توان از پلی اتیلن با دانسیته متوسط (MDPE) و یا پلی اتیلن سنگین (HDPE) و یا حتی پلی پروپیلن (PP) را انتخاب نمود. طیف وسیعی نیز از ترکیبات PVC وجود دارند که می توان برای این منظور بسته به سایر الزامات استفاده نمود.

معمولا مواقعی که خصوصیت ممانعت از انتشار شعله نیاز باشد از مواد PVC و یا CPE استفاده می شود. در مواقعی که برای روکش نیاز به سطح پایینی از انتشار آلاینده های احتراق و خورندگی مورد نیاز باشد می توان از ترکیباتی از پلی اتیلن که حاوی هالوژن نیستند و در برابر انتشار شعله مقاوم هستند استفاده نمود.

در اتحادیه اروپا الزاماتی وجود دارد که به عنوان رهنمودهای RoHS شناخته می شوند. این رهنمودها در خصوص مقاومت در برابر انتشار شعله و سایر افزودنی های مواد پلاستیکی مورد استفاده در

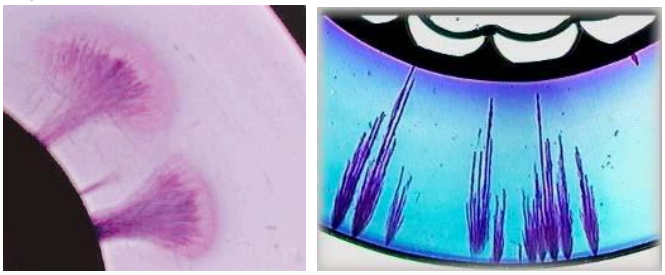
صنایع برق و الکترونیک مانند کابل استفاده می شود. به صورت کلی این رهنمود سطح سرب، کادمیوم، جیوه، کروم هگزاولنت، پلی برومینات بی فنیل (PBB) و پلی برومینات دی فنیل اتر (PBDE) را محدود می کند. در نهایت، انتخاب نهایی مواد به الزامات مکانیکی و شیمیایی تحت شرایط آتش بستگی دارد.

یکی از مهمترین فاکتورها برای انتخاب روکش این است که با قسمت چسبنده نوار محافظ رطوبتی مورد استفاده سازگاری مناسبی داشته باشد و به آن بچسبد.

9-1- XLPE مقاوم در برابر پدیده درخت آبی

همانطور که قبلا گفته شد درخت آبی می تواند عمر کابل های با عایق XLPE را کاهش دهد. نمونه ای از درخت آبی در شکل زیر نشان داده شده است.

درخت آبی (یا درخت الکتریکی) به معنای شکاف برداشتن الکتریکی است که در مواد پلیمری رخ می دهد. این نامگذاری به دلیل شکل آن است که شبیه به درخت است. این درخت دلیل اصلی از بین رفتن تجهیزات الکتریکی با عایق پلیمری مانند کابل است. پس از اینکه این درخت ایجاد می شود، شکاف رشد کرده و باعث تخریب عایق می شود و به همین دلیل وجود آن در عایق تجهیزات ولتاژ بالا مجاز نیست.



شکل 11 : نمونه هایی از درخت آبی در عایق

درختان آبی برای ماه ها و یا حتی سال ها نسبتا به کندی رشد می کنند. با رشد این درخت آبی، در نوک آنها استرس های الکتریکی می تواند افزایش یابد و درخت الکتریکی ایجاد نماید. سپس این درخت الکتریکی به سرعت رشد می کند تا به جایی که عایق به اندازه کافی ضعیف شده و دیگر نمی تواند در مقابل ولتاژ اعمال شده و عیوب الکتریکی اتفاق افتاده مقاومت کند.

اقدامات زیادی را می توان انجام داد تا رشد درخت الکتریکی را کاهش یابد. اما رویکردی را که عموما به تایید رسیده و انجام می شود استفاده از مواد عایقی مهندسی شده مخصوصی است که به منظور محدود کردن رشد درخت آبی طراحی شده است. این مواد XLPE مقاوم در برابر درخت آبی خوانده می شوند. این مواد عایقی به همراه استفاده از مواد نیمه هادی تمیز و فرایند تولید دقیق می تواند نگرانی ها را در این خصوص برطرف کند. در این حالت خواص الکتریکی بسیار خوب XLPE (تحمل دی الکتریک بالا و تلفات دی الکتریک بسیار پایین) ثابت باقی می ماند. عایق XLPE مقاوم در برابر درخت آبی در اوایل سال 1980 تجاری شد و بیش از 30 سال است که به صورت مطمئن استفاده می شود.

10-نتیجه گیری

دو راه برای نفوذ آب به داخل کابل وجود دارد، یکی به صورت شعاعی از طریق عبور از لایه های مختلف و دیگری به صورت طولی یا نفوذ در راستای طولی کابل است.

برای جلوگیری از نفوذ شعاعی می توان از غلاف های فلزی مانند غلاف سربی، مسی و یا آلومینیومی استفاده کرد. یا اینکه از نوارهای فلزی با پوشش پلاستیکی در یک رو و یا هر دو رو استفاده نمود. استفاده از نوارها نسبت به غلاف ها از لحاظ اقتصادی بسیار مقرون به صرفه تر هستند و از لحاظ عملکردی خصوصیات مناسبی دارند. بر روی این لایه باید از روکش های چسبنده استفاده نمود تا نوار به روکش چسبیده و کاملا آب بندی شود.

در صورتی که به هر دلیل آب به داخل کابل نفوذ کند، در راستای طولی آب حرکت نموده و به طول زیادی از کابل آسیب می زند. برای حل این مشکل می توان کابل را در راستای طولی نیز آب بندی نمود. بهترین راه محافظت طولی استفاده از نوارهای آب بندی، الیاف و یا پودر آب بندی است. همه آنها جاذب رطوبت هستند با نفوذ رطوبت آن را جذب کرده و متورم می شوند و جلوی نفوذ آن را می گیرند.

با انتخاب لایه های پلیمری مناسب نیز می توان نفوذ رطوبت به داخل کابل را کاهش داد. همچنین می توان برای کابل های فشار قوی و فوق فشار قوی عایق XLPE را از نوع مقاوم در برابر پدیده درخت آبی انتخاب نمود تا در صورت نفوذ رطوبت اثرات سوء آن کمتر باشد.

منابع :

[1] . IEEE 1142 : 2009, “IEEE Guide for the Selection, Testing, Application, and Installation of Cables having Radial-Moisture Barriers and/or Longitudinal Water Blocking”
[2] . A. L. Sheldrake, “Handbook of Electrical Engineering For Practitioners in the Oil, Gas and Petrochemical Industry”, 2003 John Wiley & Sons
[3] . S. Czupryna, J. Everaere, M. Delattre, “Improvements in Superabsorbent Water Blocking Materials for New Power Cable Applications”, JICABLE 2007
[4] . K. E. Bow, J. H. Snow, “Design, Testing, and Application of Moisture Impervious Cable”, Transmission and Distribution Conference, 1991
[5] . N. Hampton, R. Hartlein, H. Lennartsson, H. orton, R. Ramachadran, “Long-Life XLPE Insulated Power Cable”, JiCable 2007
[6] . “Impact of Petroleum Jelly on the Ageing of Telephone Wire”, Borealis group Technical data
[7] . W. Zhang, Z. Luo, D. Xu, Z. Xu, “Evaluation and Application of Low Density Water Blocking Cable Filling Compound”, International Wire & Cable Symposium 2009

SIMCO