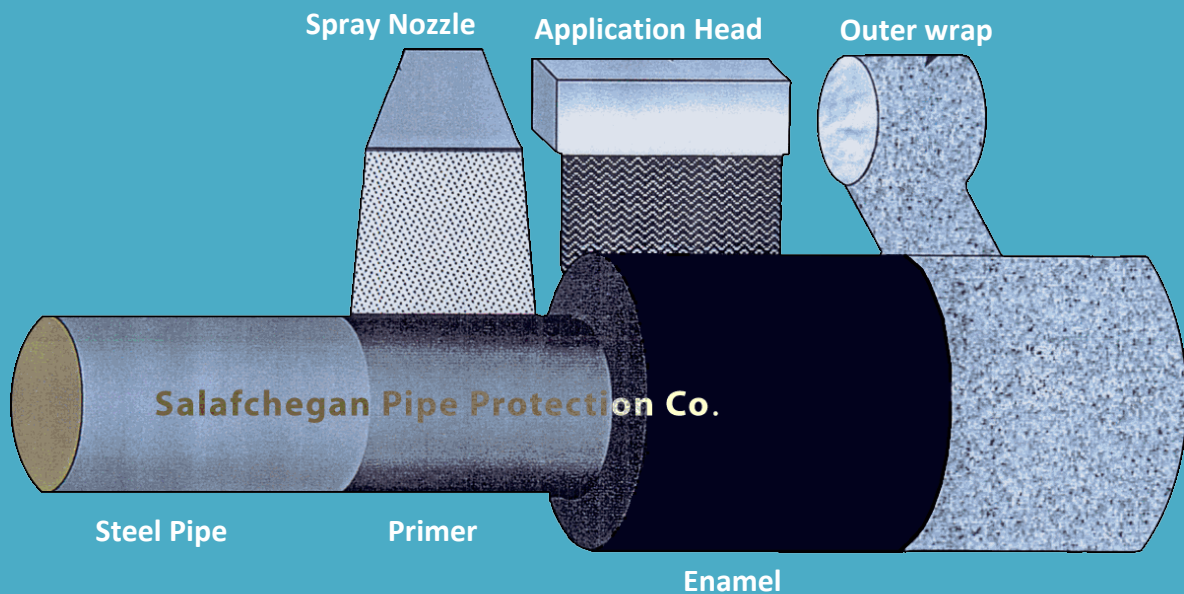


پوشش بیتوسیال خط لوله اتیلن غرب کشور



متقاضی:

شرکت ملی صنایع پتروشیمی

« شرکت مدیریت توسعه صنایع پتروشیمی؛ مجری پروژه خط لوله اتیلن غرب کشور »

تهیه کننده:

پژوهشگاه صنعت نفت

« پژوهشکده پالایش نفت - واحد پژوهش قیر و راهسازی »

پژوهش:

علی احسان نظر بیگی، علیرضا معینی

چکیده

شرکت مدیریت توسعه صنایع پتروشیمی جهت حفاظت لوله اتیلن غرب کشور، سیستم پوششی بیتوسییل (شامل انامل با قیر اصلاح شده پرایمری، پرایمر مخصوص و نوار پوشش خارجی با کارایی بالا) را انتخاب نموده است.

این خط لوله به طول تقریبی ۲۰۰۰ کیلومتر، در مسیر خود از **عسلویه به مهاباد**، خوراک ۱۰ مجتمع پتروشیمی را تامین می‌نماید. در این خط، لوله‌های با سایز مختلف از ۸ تا ۲۴ اینچ مورد استفاده قرار می‌گیرد که از سال ۱۳۸۳ اجرای پوشش بیتوسییل بر روی لوله‌ها، در **کارخانه تولید لوله و پوشش سلفچگان** آغاز شده است.

مجری محترم این پروژه از اواسط سال ۱۳۸۳ علاوه بر ارجاع کنترل کیفیت و نظارت این پوشش به پژوهشگاه، تقاضا نمود که مطالعات و تحقیقات علمی در زمینه این محصول و مقایسه با دیگر مواد پوششی متناسب با نیاز این پروژه صورت پذیرد تا اطمینان کامل و کافی در این مورد ایجاد گردد. در این پروژه پژوهشی و مطالعاتی ضمن انجام یکسری آزمایشها، جستجوی‌های لازم صورت پذیرفت و با توجه به سابقه طولانی پژوهشگاه در زمینه تهیه فرمولاسیون و کنترل کیفیت انواع محصولات پوششی، مقایسه‌ها و ارزیابی‌های لازم انجام گرفت.

پوشش بیتوسییل یکی از آخرین فناوری‌های پوشش لوله‌هاست که بر مبنای قیرهای پلیمری ایجاد شده است و در بسیاری از خواص حفاظتی و همچنین از نظر اقتصادی در مقایسه با بعضی پوشش‌های پلیمری، نسبت به پوشش‌های دیگر برتری نشان می‌دهد. بدیهی است گزارش علمی تحقیقاتی حاضر می‌تواند ضمن ارایه اطلاعات کامل و کافی به مجریان محترم این خط لوله، مورد استفاده دیگر مجریان پروژه‌های مشابه نیز قرار گیرد.

مقدمه

اصولاً حفاظت نمودن لوله‌های فلزی مدفون در خاک در مقابل عوامل خوردنده و تنش‌های موجود، فرآیندی پیچیده و مشکل است. بدین منظور لازم است علاوه بر حفاظت کاتدی خط لوله، از پوشش یکتواخت، مستحکم، کاملاً چسبنده به لوله، دارای عمر کافی و مقاوم در مقابل انواع تنش‌ها و دیگر شرایط عملیاتی استفاده شود. این پوشش علاوه بر دارا بودن خواص مذکور، باید این مشخصات را در طول عمر سرویس دهی خط لوله نیز حفظ نماید. بنابراین لازم است کلیه مشخصات پوشش نظیر چسبندگی، نقطه نرمی، مقاومت در برابر ضربه، مقاومت در برابر شره، خمش و ... توسط آزمایشگاه‌های معتبر (علاوه بر آزمایشگاه محل تولید)، تعیین و با مشخصات استاندارد تطبیق داده شود. همچنین ضروری است آزمایش‌هایی در محل اجرای پوشش بر روی مواد پوشش و همچنین بعد از اجرا بر روی لوله توسط بازرسان جهت کنترل مواد و صحت اجرا نیز صورت پذیرد. بعلاوه در هنگام لوله گذاری، کنترل‌هایی باید در محل پوشش اتصالات باید انجام می‌گیرد.

به بیانی دیگر، سیستم مدیریت کیفیت یکپارچه (Total Quality Management System) در کلیه مراحل، طراحی و اجرا گردد. هزینه پوشش در کل یک پروژه خط لوله در حدود ۴/۵ الی ۸ درصد کل هزینه را در بر می‌گیرد که البته بستگی به سیستم پوشش انتخابی دارد. بدیهی است هزینه کنترل‌ها و نظارت‌ها سهم بسیار اندکی خواهد داشت و با توجه به اهمیت قضیه، انجام مراحل کنترل بسیار ضروری است؛ چرا که وجود نقص در یک پوشش، هزینه‌های مختلفی مانند حفاری، پوشش مجدد، لوله گذاری و قطع شدن جریان را به همراه خواهد داشت و باید به تمام اینها مسائل دیگری مانند خطرات احتمالی برای انسان و محیط زیست را نیز افزود. در این کار تحقیقاتی صرفاً پوشش خارجی مورد نظر بوده و پوشش داخلی لوله (که بستگی به طبیعت و شرایط سیال مورد انتقال دارد) و همچنین حفاظت کاتدی، مورد بررسی قرار نگرفته است.

انواع پوشش ها و روشهای اجرا [2]

اصولاً پوشش ها را می توان به دو دسته ترموپلاست (گرم نرم) و ترموست (گرم سخت) تقسیم نمود. همچنین روشهای اجرای پوشش را نیز می توان به چهار روش تقسیم کرد :

الف- پوشش اجرای گرم به روش ریزش (flood coating)

ب - اکستروژن (Extrusion)

ج- پوشش پودری

د- قالبگیری مانند لوله در لوله

الف - پوشش اجرای گرم به روش ریزش

در این روش پس از تمیز کاری و پرایمر زدن سطح لوله ، پوشش مورد نظر که معمولاً انامل های با پایه قیر نفتی و یا قیر ذغالسنگی (قطرانی) می باشند را ذوب نموده و سپس این مواد پوششی در حالت سیال بر روی لوله در حال دوران ریخته می شود. انامل با یک یا دو لایه تیشو از جنس پشم شیشه تقویت می گردد.

ب - اکستروژن

در این روش مواد ترموپلاستی نظیر پلی اتیلن یا پلی پروپیلن توسط روش اکستروژن بصورت لایه ای در جهت طولی یا عرضی بر روی لوله اکستروژن می شوند. برای اعمال مواد الاستومری مانند نئوپرن، پلی کلروپرن و EPDM (اتیلن پروپیلن دی ان ترپلیمر) از اکستروژن جانبی (عرضی) استفاده می گردد ، همچنین لازم است این مواد بعد از اعمال ، ولکانیزه شوند.

ج - پوشش پودری

در این روش ، پودر پوشش بطریق پاشش الکترو استاتیک بر روی سطح تمیز شده لوله اعمال می گردد. سپس لوله با سطح پوشش شده به داخل کوره رفته تا پودر بصورت لعاب در آمده و سخت (cure) شود. در حالتی دیگر جهت پوشش نمودن لوله ، لوله تمیز شده ابتدا پیش گرم شده تا به درجه حرارت لازم برسد سپس پودر بصورت الکترو استاتیک مستقیماً بر روی لوله گردان اعمال شده و گرمای لوله باعث سخت (cure) شدن پوشش می گردد. از این موارد می توان به پوشش پودر اپوکسی اشاره کرد.

د - قالب گیری

از این روش بیشتر برای مواد کف مانند (فوم) و مخصوصاً برای اطراف اتصالات استفاده می شود. بدیهی است این فوم های پوششی نیز سخت (cure) می شوند.

ضخامت پوشش ها

ضخامت پوشش ها بسیار متغیر و متفاوت است. به عنوان مثال ضخامت پوشش های : FBE (Fusion Bonded Epoxy) در حدود ۵۰۰-۴۰۰ میکرون ، الاستومرها حدود ۴ میلی متر ، پلی اولفین ها حداقل ۳-۲/۵ میلی متر ، انامل های قیر نفتی و قطرانی با لایه های تقویت کننده تیشو حدود ۶ میلی متر و ... می باشد. در طراحی یک سیستم پوششی باید ضخامت مناسب انتخاب گردد. علاوه بر آن سختی این مواد پوششی نیز باید مدنظر طراح قرار گیرد. مثلاً FBE پوششی بسیار سخت و الاستومرها نسبتاً نرم هستند.

پوشش های قیری و قطرانی و قیر اصلاح شده با پلیمر

قیر از دیر باز بعنوان یک پوشش عایق بندی مورد استفاده بشر واقع شده است. یکی از اولین پوشش های محافظتی لوله ها قیرهای نفتی و قطرانی (انامل) بوده است که در مراحل پیشرفت، همراه با : مواد پر کننده معدنی جهت افزایش خواص مکانیکی ، پرایمر برای افزایش چسبندگی، و لایه های نوارهای داخلی و خارجی جهت ایجاد تقویت پوشش ، مورد استفاده قرار گرفته است. انامل قیرهای نفتی و قطرانی از خواص فیزیکی و مکانیکی و دمای سرویس دهی محدودی برخوردارند . نه تنها در مورد پوشش لوله ها ، بلکه در راهسازی ، عایقکاری بام ، درزبندی و ... نیز این مشکل وجود داشته است . نزدیک به دو دهه است که بحث افزایش پلیمر به قیر در کلیه موارد مصرف بصورت جدی مورد توجه قرار گرفته و در مواردی در مقیاس انبوه به تولید و مصرف نیز رسیده است. از بهترین پلیمرهایی که در قیر تاثیرات بسیار مفیدی به همراه داشته و هم خواص دما بالا و هم خواص دما پائین قیر را تا حد زیادی اصلاح کرده است، پلیمرهای خانواده الاستومر ترموپلاستها نظیر SBS می باشند. البته انواع دیگر پلیمرها اعم از لاستیک ها و پلاستیک ها هر کدام بنحوی تعدادی از خواص قیر را بهبود می دهند. اخیراً نسل جدیدی از پوشش لوله ها بر مبنای قیرهای پلیمری توسط دو شرکت فنیکس^۱ و شل^۲ و با نام تجارتی

1- Phoenix International A/S

2- Shell International Petroleum Company Ltd.

بیتوسیل فرموله و ارایه شده که نسبت به سیستم های پوششی قبلی دارای برتری می باشد. در سالهای اخیر بدلائل زیست محیطی و ایمنی انسان ، انامل قطرانی با محدودیت های شدیدی در تولید و مصرف روبرو شده است و می رود تا از چرخه پوشش حذف شود. هر چند خواص این پوشش در مجموع نسبت به انامل قیر نفتی از جهات مختلف برتری دارد. بهر حال با توجه به حذف انامل قطرانی ، تقاضا برای انامل قیر نفتی با افزایش همراه شده و از طرفی انگیزه های لازم برای اصلاح خواص این انامل را نیز فراهم نمود. قیر یک پلیمر ترموپلاست و ماده ای ویسکوالاستیک است. ترموپلاست بدین معنی که بر اثر حرارت تغییر شکل داده و در اثر سرما دوباره به حالت اولیه باز می گردد. ویسکوالاستیک به این معنی که در دماهای پائین یا زمان های بارگذاری کوتاه شبیه یک جامد الاستیک بوده در حالیکه در دماهای بالا یا زمان های بار گذاری طولانی همانند یک سیال ویسکوز رفتار می نماید. این تغییر از حالت لاستیکی به ویسکوز کاملاً تدریجی است. در دماهای سرویس دهی معمولی ، قیر به هر دو حالت عمل می کند. قیر در دمای اختلاط و اجرا خواص ویسکوز داشته و در دیگر دماها در شرایط رفتار ویسکوالاستیکی است. افزودن پلاستومر خواص ویسکوز قیر و افزودن الاستومر رفتار الاستیکی آن را اصلاح می نماید. در نتیجه افزودن یک پلیمر الاستومر ترموپلاست هر دو خاصیت قیر را بهبود داده و علاوه بر بهبود خواص انعطاف پذیری در دمای پائین ، مقاومت در برابر شره در دمای بالا را نیز اصلاح نموده و در مجموع باعث افزایش دامنه درجه حرارت سرویس دهی قیر می شود. در مورد پوشش لوله نیز ما با شرایط حادثری از دما و همچنین شرایط آب و هوایی متغیر مواجهیم . اصلاح خواص پوشش لوله های قیری به کمک پلیمرها باعث ایجاد پوشش های برتری شده که در بسیاری از خواص با پوشش های پلیمری نظیر پوشش پلی اتیلن سه لایه و ... برابری و در بعضی موارد نیز برتری داشته است. جهت اختصار و سهولت منبعا به جای استفاده از عبارت " پوشش های لوله بر پایه قیرهای پلیمری " از واژه " بیتوسیل " که نام تجارتی سیستم پوششی قیر پلیمری مورد استفاده در خط لوله اتیلن غرب کشور می باشد ، استفاده می گردد .

خواص بیتوسیل و مقایسه آن با پوشش های دیگر

در این بخش کلیه مشخصات فیزیکی ، مقاومت های مکانیکی و آزمایشهای انجام گرفته بر روی بیتوسیل توسط آزمایشگاههای دیگر که در مقالات ، مجلات و کنفرانس ها ارایه شده در مقایسه با دیگر پوشش ها درج شده و مورد بحث و ارزیابی قرار گرفته است. روش های آزمایشهای انجام شده در آزمایشگاه در بخش پیوست این گزارش مندرج می باشد. بخشی از آزمایشها نیز در مقیاس صحرایی (Field) انجام گرفته که در همان قسمت ، شرایط انجام آزمایش ذکر شده است. بسیاری از این آزمایشها نیز در پژوهشگاه صنعت نفت تکرار شده که موید نتایج دیگر آزمایشگاهها می باشد . نتایج آزمایش های انجام شده در پژوهشگاه صنعت نفت نیز در بخشی جداگانه ارائه شده اند. نکته ای که در اینجا باید ذکر شود این است که همواره پرایمر و انامل باید از یک سازنده خریداری شوند تا با یکدیگر سازگار باشند. از نظر علمی لازم است کلیه مصالح پوششی یک خط لوله حتی نوار خارجی (outer wrap) و نوارهای سرجوش (Field joint Membrane) به همراه دیگر مواد از یک سازنده تهیه شوند. بدین نحو بدیهی است که ضمن سازگار بودن کلیه مواد با یکدیگر ، کل خط لوله از یک پوشش یکنواخت برخوردار خواهد شد.

۱- چسبندگی پوشش به فلز

این مشخصه یکی از مهمترین مشخصه های پوشش لوله هاست که در استانداردهای مختلف ، روشهای گوناگونی برای ارزیابی آن توصیه شده است .

در استانداردهای BS 4164 و BS 4147 و AWWA C203 آزمایش چسبندگی برای انامل های قیر نفتی و قطرانی بصورت Peel تعریف شده که بر اساس جدا نمودن باریکه ای از پوشش از روی سطح فلز یا لوله می باشد. در استاندارد DIN 30670 برای پلی اتیلن ، آزمایش چسبندگی همانند Peel انجام می گیرد با این تفاوت که نیروی لازم برای جدا نمودن پوشش از سطح فلز یا لوله با یک ت نیرو سنج اندازه گیری می گردد. در مورد پوشش FBE روش مرسوم ASTM-D3359 است. این روش نیز بر پایه ایجاد برشهای شیار مانند متقاطع بر روی پوشش و جدا کردن پوشش در محل های تقاطع به کمک یک کاردک تیز استوار است. بهر حال در همه موارد قدرت چسبندگی به ماهیت شیمیایی و فیزیکی پوشش و توان آن به ایجاد یک پوشاندگی کامل بر روی سطح فلز مربوط می گردد ، لذا ویسکوزیته این مواد بسیار مهم است. در مورد

اناملهای قیری ، نقطه نرمی و نفوذ پذیری معیاری از ویسکوزیته در مقادیر بسیار پائین از تنش می باشد. برای ترموپلاست هایی نظیر پلی اتیلن و پلی پروپیلن ، MFI که اندیس روان شوندگی است و بطور معکوس با ویسکوزیته متناسب است ، تعریف می گردد. در مورد پوشش های الاستومری مانند نئوپرن و EPDM که بر روی لوله اکستروود و سپس در گرما عمل پخت و سخت شدن انجام می شود از یک رئومتر برای انجام بررسی های استفاده می شود. همچنین پوشش های پودری مانند FBE باید قبل از اینکه بحالت ژل و لعاب کامل برسند سطح فلز را کاملاً پوشش داده و اصطلاحاً خیس (wet) نمایند در غیر اینصورت چسبندگی لازم ایجاد نخواهد شد.

به منظور افزایش چسبندگی پوشش ها بر روی لوله لازم است ابتدا زنگ زدائی و تمیز کاری شده به نحوی که سطح مشابه مقیاس $Sa 2\frac{1}{2}$ استاندارد سوئد ایجاد شده و پروفیل زبری سطح بین ۲۰-۳۰ میکرون باشد. سپس از پرایمر مناسب جهت ایجاد چسبندگی قوی بین پوشش اصلی (انامل) و سطح فلز استفاده می شود. در آزمایش چسبندگی برای انامل های قیر نفتی و قطرانی که مطابق با روش Peel انجام می گیرد ، در صورتی چسبندگی مطلوب است که لایه انامل در دماهای مختلف بیش از ۳ میلی متر از سطح فلز جدا نشود. در مورد بیتوسییل ، بدلیل استفاده از پرایمری خاص و همچنین ترکیبات انامل بیتوسییل ، چسبندگی بسیار قویتری ایجاد می شود بطوریکه نه تنها مطابق با روش کندن (Peel) به هیچ وجه انامل از سطح فلز جدا نمی شود بلکه میتوان بر روی لوله با دستگاه نیرو سنج (تسنیومتر) نیروی لازم برای غلبه بر چسبندگی را اندازه گرفت که بالاتر از ۸۰ N/cm است . در پژوهشگاه صنعت نفت بارها این آزمایش بر روی بیتوسییل انامل و همچنین بیتوسییل ممبرین انجام گرفت که در اکثر موارد نه تنها پوشش از سطح فلز جدا نشد بلکه ، افزایش نیرو باعث پارگی خود پوشش می گردید.

جدول ۱- مقایسه چسبندگی بیتوسییل با پلی اتیلن سه لایه مطابق روش DIN 30672 [13]

پلی اتیلن سه لایه	بیتوسییل
میانگین ۸۰ N/cm در ۲۳°C	میانگین ۸۰ N/cm در ۲۳°C
میانگین ۲۰ N/cm در ۶۰°C	میانگین ۲۰ N/cm در ۵۰°C

جدول ۲- چسبندگی بیتوسیل در دماهای مختلف [9]

دما	نیروی چسبندگی اندازه گیری شده $N/2cm$	مقدار لازم
۳۰°C	۱۰۰	۸۰
۴۰°C	۶۵	۵۰
۵۰°C	۴۰	۳۰
۶۰°C	۳۰	۲۰

بطور کلی میتوان گفت که بیتوسیل در انامل های قیری یک چسبندگی فوق العاده و غیر متعارف ایجاد می نماید.

۲- مقاومت پوشش در برابر ضربه

یکی از خاصیت های مهمی که یک پوشش باید داشته باشد مقاومت آن در برابر ضربه می باشد. لوله های پوشش شده در مراحل مختلف کاری مانند جابجایی ها ، حمل و نقل ، نصب و کارگذاری لوله در زیر زمین و پر کردن سطح لوله ، در معرض ضربه های مکانیکی بوده و در صورت عدم وجود مقاومت کافی ، این ضربه ها باعث ایجاد ترک و جدایش سطح شده و نهایتاً خوردگی می گردد. روشهای مختلفی جهت ارزیابی پوشش در مقابل ضربه وجود دارد. در این روشها وزنه هایی با جرم ، سرعت و شکل مختلف بکار برده می شود و پس از انجام آزمایش ، پوشش با استفاده از یک ترک یاب تحت شرایط مشخص ، مورد معاینه قرار می گیرد. در روش BS که برای پوشش های قیری است ، جنس ، وزن و ارتفاع مشخص بوده و سطح جدا شده گزارش می گردد. برای پوشش های FBE ، PE ، PP و پوشش های الاستومری معمولاً از روش ASTM-G14 استفاده می شود که ابعاد و جرم ضربه زننده تغییر می کند ولی عموماً انرژی ضربه حدود ۵ تا ۱۰ نیوتن متر است . در استاندارد DIN 30671 برای FBE سی ضربه زده شده و بعد از هر ضربه ، پوشش به لحاظ از هم گسیختگی مورد بررسی قرار می گیرد. در بعضی دیگر از استانداردها ، ارتفاع ضربه تا حدی افزایش داده می شود که پوشش دچار شکست گردد .

پوشش های بیتوسیل بدلیل چسبندگی فوق العاده به سطح فلز و طبیعت انعطاف پذیر خود حتی در دماهای پائین در مقابل ضربه مقاومت نموده و این مسئله باعث می شود که بتوان حتی در فصول سرد از این پوشش استفاده و لوله پوشش داده شده را در زیر زمین کار گذاشت.

جدول ۳ - مقادیر استاندارد های پوشش های مختلف قیری در آزمایش ضربه [4]

نوع انامل	شماره استاندارد	حد اکثر سطح جدا شده Mm^2
قیر نفتی	BS 4147	۶۵۰۰ در $25^{\circ}C$
قیر قطرانی	BS 4164	۱۰۰۰۰ در $25^{\circ}C$
بیتوسیل	مقدار لازم	۶۵۰۰ در $-15^{\circ}C$

جدول ۴ - مقایسه سه پوشش قیری در برابر ضربه در دماهای مختلف [4]

نوع پوشش	دمای آزمایش $^{\circ}C$	شعاع ترک بعد از ضربه ، mm	سطح جدا شده Mm^2
قطران	۰	۱۵	۲۸۳۰
قیر	۰	پوشش کاملاً شکست	-
بیتوسیل	۰	بدون ترک	۰
قطران	-۱۰	۳۵ تا ۴۰	۳۸۵۰
قیر	-۱۰	پوشش کاملاً شکست	-
بیتوسیل	-۱۰	۱۲	۳۸۵۰
قطران	-۲۰	۳۰	۶۳۶۰
قیر	-۲۰	۳۰	۱۳۲۷۵
بیتوسیل	-۲۰	۲۵	۵۰۲۷

یکی از خواص بیتوسیل که در عملیات تجربی آزمایشگاهی به اثبات این رسیده است که اگر در دمای پائین به هر دلیلی بیتوسیل از فلز جدا شود در دمای بالاتر دوباره به فلز می چسبد و این بدلیل نوع اجزاء و پلیمرهای موجود در آن است.

جدول ۵ - مقایسه پوشش بیتوسیل با پلی اتیلن سه لایه در برابر ضربه مطابق با روش [8]DIN 30672

نوع پوشش	مقاومت در برابر ضربه
بیتوسیل (ضخامت پوشش ۴ میلی متر)	۱۵ ژول بر میلی متر پوشش در ۲۳°C
پلی اتیلن سه لایه (ضخامت پوشش ۳ میلی متر)	۵ ژول بر میلی متر پوشش در ۲۳°C

جدول ۶ - مقایسه مقاومت پوشش های مختلف در مقابل ضربه بر روی لوله های پوشش شده در Field Test مطابق استاندارد [11] ASTM G14

نوع پوشش	دما	انرژی ضربه (ژول)
FBE	۰	۸/۸
	-۱۰	۵/۱
PE	۰	۱۷ > (مقداری از سطح جدا شد ولی هالیدی نداشت)
	-۱۰	پوشش کاملاً از سطح جدا شد
بیتوسیل	۰	۱۷ >
	-۱۰	۱۷ >

در جدول ۷ نتایج آزمایش عملی ضربه بر روی لوله با پوشش بیتوسیل به ضخامت 4mm داده شده که با مقادیر حاصل از آزمایش برای پوششهای پلی اتیلن و پلی پروپیلن تقریباً برابر می باشد.

جدول (۷) آزمایش ضربه بر روی لوله پوشش داده شده با بیتوسیل
مطابق ASTM G14 [13]

مقدار لازم J/mm	انرژی جذب شده J/4mm	دما (°C)
۵	۳۰	۲۳
۵	۴۰	۲۳
۵	۲۰	۰
۵	۳۰	۰

۳- مقاومت در مقابل خمش

در عملیات لوله گذاری لازم است لوله پوشش داده شده در مواردی خم شود ، لذا ضروری است مقاومت مواد پوششی در برابر خم شدن معلوم باشد. در تعیین این پارامتر دو مسئله تاثیر دارد یکی درجه ای که میتوان سطح پوشش داده را خم نمود و دوم دما . بدیهی است در دماهای پائین تر مقاومت پوشش ها به خم شدن کاهش می یابد. هر پوششی که در دمای پائین تری قادر به خمش بیشتر بدون ایجاد ترک گردد، مناسب تر می باشد. در بعضی استانداردها مقدار خم شدن بر حسب قطر لوله و در برخی بر اساس ضخامت دیواره و قطر لوله تعیین می گردد و دما نیز در هر حال باید مشخص باشد. در بعضی استانداردها آزمایش خمش سه نقطه ای و در مواردی نیز از خمش چهار نقطه ای استفاده می شود. یکی دیگر از مزایای پوشش های بیتوسیل مقاومت بالای این پوشش ها در مقابل خمش مخصوصاً در دماهای پائین است.

جدول ۸- مقایسه مقاومت پوشش های مختلف در مقابل خمش در دماهای مختلف [11]

نوع پوشش	دمای آزمایش °C	نتیجه مقدار خمش mm	وضعیت پوشش
قطران	۰	۷/۲۵	ایجاد ترک
قیر	۰	۷۰ *	بدون ترک
بیتوسیل	۰	۷۰ *	بدون ترک
قطران	-۱۰	۱۳/۲۵	ایجاد ترک
قیر	-۱۰	۱۸/۷۵	ایجاد ترک
بیتوسیل	-۱۰	۷۰ *	بدون ترک
قطران	-۲۰	۶	ایجاد ترک
قیر	-۲۰	۴/۲۵	ایجاد ترک
بیتوسیل	-۲۰	۷۰ *	بدون ترک

* دستگاه قادر به اندازه گیری مقدار بیشتر نمی باشد.

جدول ۹ - آزمایش عملی (Field Test) خمش روی لوله های ۶ و ۸ اینچ

(مدت خمش ۱۵ ثانیه) [4]

نوع پوشش	دما	نتیجه
FBE (ضخامت پوشش ۴۷۵ میکرون روی لوله ۸ اینچ)	-۱۰	ایجاد ترک (با ولتاژ دکتور ۳ KV)
	-۲۰	ایجاد ترک
FBE (ضخامت پوشش ۲mm روی لوله ۶ اینچ)	-۱۰	ایجاد ترک (با ولتاژ دکتور ۱۵ KV)
	-۲۰	ایجاد ترک
بیتوسیل (ضخامت پوشش ۴mm روی لوله ۶ اینچ)	-۱۰	بدون ترک (با ولتاژ دکتور ۱۵ KV)
	-۲۰	بدون ترک
	-۲۰	ایجاد ترک *

* این ترک خوردگی صرفاً در محل همپوشانی نوار خارجی اتفاق افتاده بود که بعلمت عدم عبور انامل از نوار می باشد.

۴- گسیختگی کاتدی (Cathodic Disbonding)

لوله های مدفون در خاک علاوه بر پوشش ، مورد حفاظت کاتدی نیز قرار می گیرند. مقطعی از لوله مدفون توسط یک جریان مستقیم تحت اعمال یک پتانسیل اضافه قرار گرفته و همین مسئله باعث ایجاد قلیا یا آلكالی (هیدروکسید سدیم) در محلهای اعمال کاتدیک می شود. اگر پوشش حفاظتی لوله در مقابل این تاثیر کاتدیک مقاوم نباشد و هیدرولیز اتفاق افتد باعث گسیختگی کاتدیک پوشش می گردد. این مسئله را که در عمل اتفاق می افتد میتوان در آزمایشگاه با انجام یک آزمایش ، شبیه سازی نمود . در این آزمایش پارامترهایی همچون ولتاژ ، الکترولیت ، زمان توقف و دمای آزمایش را می توان تغییر داد. بعد از سپری شدن مدت زمان آزمایش ، پوشش از نظر چسبندگی و جدا شدن از صفحه و یا نفوذ آلكالی یا قلیا به زیر پوشش مورد بررسی قرار می گیرد. اختلاف روش های استاندارد در میزان ولتاژ منفی یا دمای آزمایش و در نتیجه زمان آزمایش می باشد. البته روش مرسوم ، استفاده از پتانسیل 1500 mv- و زمان ۲۰ تا ۳۰ روز می باشد. پوشش بیتوسییل از نظر CD (گسیختگی کاتدی) بنا بر آزمایشهای مختلف انجام شده آزمایشگاهی و عملی (Field Test) بسیار خوب عمل نموده و از انامل های معمولی بهتر و در حد پوشش های FBE می باشد. یک آزمایش عملی انجام شده نشان می دهد که برای حفاظت کاتدی کامل لوله با پوشش انامل های معمولی مقدار جریان مورد نیاز ۵۰-۱۰ و برای انامل بیتوسییل مقدار جریان مورد نیاز فقط ۱/۸۳ میکرو آمپر به متر مربع بوده است.

جدول ۱۰ - مقایسه پوشش های قیری در آزمایش CD مطابق BS 3900 [4]

نوع پوشش	طول میانگین جدا شده (mm) بعد از ۲۸ روز در دمای ۲۵°C
قطران	۱۰
قیر	۱۱/۵
بیتوسییل	۳
FBE	۳
PE	۱۱

جدول ۱۱- مقایسه پوشش های قیری و پلیمری در آزمایش CD [9]

نوع پوشش	طول میانگین جدا شده (mm) بعد از ۲۸ روز در دمای ۲۵°C
FBE	۳-۵
PE	۵-۱۰
قطران	۷-۱۰
بیتوسیل	۲-۳

جدول ۱۲- مقاومت پوشش بیتوسیل در آزمایش CD در دماهای مختلف [9]

درجه حرارت °C	سطح جدا شده mm ²
۲۰	۲-۳
۶۰	۴-۵

جدول ۱۳- مقایسه پوشش بیتوسیل و پلی اتیلن سه لایه در آزمایش CD (-1500 mv) [8]

نوع پوشش	دما °C	طول میانگین جدا شده (mm)	روش آزمایش
بیتوسیل	۲۳	≤ ۵ بعد از ۲۸ روز	BS 3900
بیتوسیل	۶۰	≤ ۵ بعد از ۲۸ روز	
پلی اتیلن سه لایه	۲۳	≤ ۸ بعد از ۲۸ روز	DIN 30670
پلی اتیلن سه لایه	۶۰	≤ ۱۰ بعد از ۲ روز	

۵- مقاومت در دمای بالا (Sag)

یک پوشش مناسب باید در دمای بالا در مقابل روندگی و ریزش مقاومت نماید. لوله های پوشش داده شده در هنگام ذخیره سازی به ویژه در فضای باز در فصول گرم و در مقابل نور خورشید و همچنین بعلت بالا بودن درجه حرارت سیال داخل لوله (در موارد خاص) باید مقاومت لازم را دارا بوده و تغییر شکل و شره نداشته باشند. معمولاً پوشش های قیری بسته به شرایط آب و هوایی محل مصرف، در گریدهای مختلف تولید و استفاده می شوند. برای هر پوشش حداکثر دمای سرویس دهی تعیین و تعریف شده است.

جدول ۱۴- مقایسه حداکثر دمای سرویس دهی پوششهای مختلف [2]

نوع پوشش	حد/کثر دمای قابل تحمل °C (حد/کثر دمای سرویس دهی) در مراجع مختلف
انامل قیر	۷۰
انامل قطرانی	۸۰-۹۵ (بستگی به گرید آن دارد)
FBE	۹۰-۱۰۰ (بستگی به گرید آن دارد)
PE	۸۰
پلی اورتان	۱۱۵
PP	۱۲۵
بیتوسیل	۹۰

جدول ۱۵- میزان شره پوشش های مختلف در ۸۰°C و ۲۴hr [4]

نوع پوشش	شره (mm)
انامل قطرانی	۱
انامل قیری	۱/۵
بیتوسیل	۰/۵

بر روی پوشش های قیری که سیاهرنگ نیز هستند از پوشش نازک سفید رنگ ارزان قیمتی استفاده می شود تا نور خورشید را منعکس نماید معمولاً این پوشش سفید بر روی انامل های قیری معمولی بیش از سه ماه دوام نمی آورد ولی بدلیل ترکیبات موجود در بیتوسیل به این پوشش کاملاً می چسبد. درجه حرارت سطح انامل های معمولی بر روی لوله در هنگام ذخیره سازی در دمای محیط 40°C علیرغم وجود این پوشش سفید رنگ به 60°C می رسد. در این شرایط انامل های قیری تغییر شکل می دهند. همچنین در هنگام انبار کردن لوله های پوشش داده شده بر روی یکدیگر، انامل های قیری تغییر شکل می دهند با این تفاوت که در انامل های قیری این تغییر شکل دائمی است در حالیکه در پوشش های بیتوسیل بعد از برداشتن بار، پوشش بخاطر ترکیبات لاستیکی موجود در آن بحالت اولیه بر می گردد.

۶- مقاومت در برابر تنش های خاک (Soil Stress) [14]

یک پوشش لوله در زیر خاک تحت تنش های مختلفی قرار می گیرد. بدیهی است در صورت عدم مقاومت کافی، پوشش از سطح لوله جدا شده و باعث خوردگی می گردد. مهمترین خاصیت پوشش که باعث مقاومت آن در برابر تنش های خاک می شود چسبندگی است. با توجه به چسبندگی بالای پوشش های بیتوسیل انتظار بر این است که در مقابل این تنش ها نیز مقاومت لازم را از خود نشان دهند.

در سال ۱۹۹۵ در شرکت فونیکس آزمایش تنش خاک مطابق با روش NOVA بصورت Field Test انجام گرفت. لوله هایی با بیتوسیل پوشش داده شد و در عمق ۲۵ سانتی متری زیر یک خاک چسبنده در یک محفظه مخصوص مدفون گردید. درون لوله ها جریان آب با دمای 35°C بصورت گردشی برقرار شد. هر ۲۸ روز یکبار خاک اطراف لوله ها با آب مرطوب می گردید و سپس بطور طبیعی در دمای محیط 21°C خشک می شد. بعد از ۱۲ سیکل رطوبت دهی، خاک اطراف لوله ها برداشته و پوشش ها مورد بازرسی و آزمایش قرار گرفت. هیچگونه عدم چسبندگی، ایجاد سوراخ و نفوذ آب مشاهده نشد. مجدداً لوله ها مدفون و ۱۲ سیکل دیگر بر روی آن انجام شد مجدداً لوله مورد بازرسی و توسط هالیدی دتکتور ۱۰KV مورد بررسی قرار گرفت و هیچگونه آسیبی مشاهده نگردید. مدت زمان این آزمایش در مجموع ۲ سال بطول انجامیده است. اصولاً انتظار می رود پوشش های نرم در مقابل تنش های خاک مقاومت نمایند.

آزمایشها نشان می دهد پوشش های سخت همانند پوشش انامل قطرانی در مقابل این تنش ها مقاوم نیستند .

۷- مقاومت در برابر ترک های خوردگی تنشی (Stress Corrosion Cracking) [10]

یکی از پدیده هایی که در مورد پوشش های لوله ها ایجاد می شود ترک های خوردگی تنشی است که نظریه رایج در مورد مکانیسم وقوع و رشد ترک های ناشی از این پدیده بر اساس شکسته شدن فیلم اکسید آهن محافظ فولاد (Fe_3O_4) در اثر تنش و اثر ترکیبات کربنات و بی کربنات سدیم بر روی مرز دانه های فولاد می باشد. عواملی نظیر موقعیت خاک اطراف لوله، درجه حرارت محیط و لوله، جریان حفاظت کاتدی و نوع پوشش عایق لوله، می توانند نقش اساسی و کنترل کننده در تشکیل محیط مناسب جهت شروع و پیشرفت ترک های خوردگی تنشی (SCC) داشته باشند. طبق کار تحقیقاتی انجام شده توسط آقای خانیان [10]، ایشان نتیجه گرفته اند که بیتوسیل بعلت داشتن چسبندگی بسیار بالا و قابلیت حفظ آن و همچنین با داشتن ساختاری دارای Micropore ها (محل نفوذ جریان کاتدی برای حفاظت لوله) موقعیت برتری نسبت به سایر پوشش ها جهت پیشگیری از وقوع SCC دارد. در حالیکه پوشش پلی اتیلن سه لایه علیرغم داشتن چسبندگی و مقاومت مکانیکی بالا، دارای بدنه ای سخت و غیر قابل نفوذ (بدون منافذ و Pore) می باشد لذا در صورت خرابی های احتمالی بعلت کم اثر بودن جریان کاتدی شرایط مناسبی برای شروع و رشد SCC بوجود می آید. پوشش های قیری معمولی هر چند چسبندگی بالائی دارد ولی بعلت برخورداری از خلل و فرج فراوان امکان نفوذ و تاثیر بخشی از جریان حفاظت کاتدی را مهیا نموده و در کل از وضعیت متوسطی در برابر این پدیده برخوردار می باشند.

۸- جدا شدن بتون از پوشش Push off [13]

زمانیکه خطوط لوله لازم است از دریا گذرانده شوند علاوه بر پوشش عایقکاری (انامل) یک پوشش بتونی بر روی انامل نیز ایجاد می گردد تا بر نیروی شناوری غلبه نموده و لوله سنگین شود. لذا لازم است بتون کاملاً به پوشش بچسبد تا از لغزش جلوگیری کند. در صورت عدم چسبندگی و لغزش بتون مشکلات بعدی ایجاد می گردد. در یک آزمایش لوله های با قطر ۲۰ اینچ و طول ۱/۳ متر که با پوشش انامل و نهایتاً با پوشش بتون آماده شده اند توسط یک دستگاه آزمایش هیدرولیک در دانشگاه هریوت وات مورد آزمایش قرار گرفته و نیروی لازم برای

حرکت دادن بتون از روی پوشش انامل اندازه گیری شده است همانگونه که در جدول شماره ۱۶ مشاهده می شود نتایج برای هر دو پوشش انامل قیری و بیتوسیل یکسان است لذا استفاده از پوشش بیتوسیل برای لوله گذاری دریایی (off-shore) مناسب است. در مورد پوشش پلی اتیلن سه لایه بدلیل صافی سطح پوشش باید ابتدا سطح زبر شده و یا از دانه های ماسه ای رزین - بوکسیت بر روی پوشش استفاده گردد تا از لغزش بتون بر روی سطح پلی اتیلن جلوگیری بعمل آید.

جدول ۱۶ - نتایج آزمایش Push off بتون [13]

نوع پوشش	تنش برشی N/mm^2	حرکت mm	زمان بارگذاری min
انامل قیری	۰/۰۸۶	۱/۱	۳۰
بیتوسیل	۰/۱۲۸	۲/۰	۳۰

۹- افت ولتاژ دی الکتریک Electrical Breakdown Resistance [11]

مقاومت شکست الکتریکی پوشش های بر حسب KV/mm اندازه گیری می شود. نتیجه آزمایش انجام شده برای پوشش بیتوسیل مطابق BS1858 که معادل IP 101/58 می باشد حدود $23 KV$ بدست آمده است. نمونه در دمای $90^{\circ}C$ بین دو الکترود به فاصله $1/25mm$ قرار گرفته و افزایش ولتاژ با شدت $1KV$ در ثانیه تا نقطه شکست ادامه یافته است. معمولاً مقاومت شکست الکتریکی پوشش های قیری در محدود $15-30KV$ قرار دارد.

۱۰- مقاومت الکتریکی (Specific Electrical Resistivity) [8]

نتیجه این آزمایش برای پوشش بیتوسیل و پلی اتیلن سه لایه برابر و 10^8 اهم متر مربع می باشد. شرایط آزمایش بعد از مدت زمان ۱۰۰ روز در محلول کلرید سدیم $0/1 M$ می باشد.

۱۱- جذب آب [15]

نتایج آزمایشهای انجام گرفته بر روی نمونه های بیتوسیل در آزمایشگاه در زمینه مقدار جذب آب در جدول ۱۷ ارائه شده است. نمونه های قیری در دمای 210°C ذوب شده و در ظرف شیشه ای به ضخامت ۵mm پوشش داده شده اند. نمونه ها بمدت ۳ روز در دمای محیط 23°C رها شدند و سپس بمدت ۵ ساعت در آب 40°C قرار گرفته و سپس سطح آنها خشک و توزین شده اند. معمولاً استانداردها در مواردی میزان ۱.۵ و در مواردی ۰.۷ گرم بر متر مربع را بعنوان حداکثر میزان جذب آب ذکر کرده اند.

جدول ۱۷- جذب آب پوششهای مختلف [15]

نوع پوشش	نتایج آزمایش در چند مرحله g/m^2			
انامل قیری	۰/۱۴	۰/۸۵	۰/۸۲	۰/۶
بیتوسیل گرید A	۰/۷۱	۰/۲۵	۰/۱۴	۰/۳۷
بیتوسیل گرید B	۰/۵۹	۰/۰۸	۰/۶۸	۰/۴۵
اورتان ۲ جزئی	۱/۷۲	۱/۵۶	۱/۴۸	۱/۵۹

۱۲- ازدیاد طول در نقطه شکست @ Elongation [8]

پوشش بیتوسیل بخاطر طبیعت لاستیکی خود قبل از رسیدن به نقطه شکست در اثر کشش، ازدیاد طول زیادی را تحمل می کند روش آزمایش ISO527 می باشد.

جدول ۱۸- مقایسه بیتوسیل و پلی اتیلن سه لایه در آزمایش ازدیاد طول در نقطه شکست

نوع پوشش	ازدیاد طول در نقطه شکست
بیتوسیل	$> 1330\%$
پلی اتیلن سه لایه	$> 350\%$

اجرای پوشش بیتوسیل و مزایای آن در مقایسه با دیگر پوشش ها

نه تنها بیتوسیل بلکه دیگر پوشش ها هنگامی یک سیستم ضد خوردگی مطلوب ایجاد می نمایند که سطح لوله مورد نظر بطور صحیح و کامل تمیز شده باشد . معمولاً سطح لوله را با پاشیدن دانه های ریز و خاصی از ماسه ، ساچمه و یا خرده های فلز (sand , shot or grit blasting) بطوری سایش مکانیکی می دهند که علاوه بر زنگ زدائی کامل و ایجاد سطحی خاکستری از زبری و خلل و فرج لازم مطابق با $Sa 2\frac{1}{2}$ برخوردار شود . این سطح بوسیله پوشش اولیه پرایمر پوشانده می شود و نهایتاً باعث چسبندگی مناسب پوشش اصلی (انامل) با فلز می گردد. جهت سازگاری انامل و پرایمر و ایجاد چسبندگی عالی ، لازم است انامل و پرایمر توسط یک سازنده تامین گردند. پرایمر قبل از مصرف باید با همزدن به یکنواختی لازم برسد و پس از استعمال باید بر روی لوله سطحی صاف ، یکنواخت و بدون شره ایجاد نماید. معمولاً ضخامت پرایمر بر روی لوله باید در محدوده ۳۰ میکرون قرار گیرد و مقدار مصرف آن در حدود ۰/۱ لیتر برای هر متر مربع می باشد. یکی از مزایای سیستم پوششی بیتوسیل نسبت به انامل های قیری و قطرانی نوع پرایمر می باشد. پرایمر بیتوسیل بدلیل ترکیبات خاص و سازگار با انامل بیتوسیل چسبندگی فوق العاده ای ایجاد می نماید بطوریکه امکان جدا نمودن پوشش براحتی میسر نمی باشد در حالیکه پوشش های دیگر قیری را می توان براحتی از روی لوله جدا نمود . زمان خشک شدن پرایمر بیتوسیل در دمای معمولی حدود ۳۰ دقیقه و در دمای 45°C حدود ۴-۵ دقیقه است. معمولاً در عمل بدلیل پیش گرم شدن و عملیات زنگ زدائی ، دمای لوله در هنگام پرایمر زدن کمی بالاست لذا پرایمر در مدت کوتاهی خشک شده و عملیات بصورت مداوم می تواند ادامه یابد.

هیچگاه نباید یک پوشش قیری یا قطرانی و یا بیتوسیل را بیش از دمائی که توسط سازنده (بسته به گرید خاص انامل) توصیه می شود ، گرم نمود . همچنین برای انامل های قیری و قطرانی مدت زمانی که مواد حتی در دمای ایمن بصورت مذاب و گرم نگهداری می شوند نیز محدودیت دارد .

بعبارت دیگر اگر انامل را به مدت طولانی در حالت گرم نگهداریم باعث تغییر مشخصات آن خواهد شد که متأسفانه مسئله ای است که معمولاً در هنگام اجرا در کارگاه های پوشش ، بدلیل مشکلات فنی روی می دهد . اما در مورد پوشش های بیتوسیل اولاً بدلیل اتوماتیک بودن سیستم ، مشکلات توقفی کمتر حادث می شود ثانیاً تغییر مشخصات انامل حتی بمدت چند روز

نگهداری بصورت گرم ، وجود نداشته است . عملاً به مدت دو هفته انامل بیتوسییل در دمای 170°C نگهداری شده و هیچگونه تغییری در کیفیت آن ایجاد نشده است . انامل های بیتوسییل در دمای 170°C ذخیره سازی و در دمای حدود 190°C بر روی لوله اجرا می شود در حالیکه انامل های قیری و قطرانی معمولاً در دماهای 220°C - 250°C اجرا شده و در دمای حدود 200°C نگهداری و ذخیره می شوند. علت این امر این است که ویسکوزیته انامل های بیتوسییل در دماهای پائین از انامل های قیری و قطرانی کمتر است. در دمای 200°C تقریباً ویسکوزیته ها برابر و در دماهای بالاتر از 200°C ویسکوزیته بیتوسییل بیشتر می شود. یکی دیگر از علل بروز این مشکلات در مورد انامل های قیری ، سیستم های قدیمی اجرای پوشش است. معمولاً در این کارگاهها روش حرارت دهی بطور مستقیم و یا غیر مستقیم توسط شعله آتش صورت می گیرد . وجود شعله باعث پدیده افزایش بیش از حد گرمای موضعی می شود . در حالیکه در سیستم اجرای پوشش بیتوسییل ، گرمایش بصورت غیر مستقیم با سیستم دو جداره روغن داغ بوده و در هیچ موردی پدیده افزایش دما را نخواهیم داشت . بیتوسییل در حالت مذاب هیچگاه با اکسیژن تماس چندانی ندارد بدلیل اینکه سیستم بسته است اما انامل های قیری با اکسیژن در تماس بوده که این امر باعث سخت تر شدن انامل و تشکیل پوسته در سطح آن می گردد. [4]

از دیگر مزایای سیستم اجرای پوشش بیتوسییل مسئله ایمنی و محیط زیست می باشد اصولاً در آینده باید در مورد استانداردهای پوشش لوله ، سیستم مدیریت زیست محیطی Enviromental Management System در نظر گرفته شود. در مورد پوشش در سه مرحله:

- ۱- اجرای پوشش در کارخانه ۲- تاثیر پوشش بر محیط زیست (مانند مرحله اجرای پوشش اتصالات که در زمین در محل لوله گذاری انجام می شود) ۳- تاثیرات طولانی مدت پوشش بر روی خاک اطراف و آب باید مقررات لازم تدوین و اجرا گردد.

روش اجرای بیتوسییل در حقیقت تلفیقی از دانش پلاستیک (پلیمر) و قیر است ، همانگونه که بخش عمده ترکیب آن نیز تلفیقی از این دو ماده است . از مزایای این روش کاربرد می توان موارد ذیل را بر شمرد :

- ۱- راحتی اجرا ۲- معتبر و موثر بودن روش اجرا ۳- شروع سریع ۴- حداکثر ایمنی روش اجراء ۵- کیفیت کار و ایجاد ضخامت لازم پوشش ۶- اقتصادی بودن روش ۷- مصرف پائین انرژی ۸- حداقل خطرات زیست محیطی ۹- حداقل تاخیرات در هنگام اجرا بدلیل تنظیمات اتوماتیک سیستم اجراء . این سیستم فقط شامل سه مرحله الف - پرایمر مخصوص ب- انامل بیتوسییل ج - نوار خارجی با کارائی و دوام فوق العاده می باشد. تنظیمات

فرایند اجرا بصورت اتوماتیک انجام شده و بدلیل کنترل دما ، ضخامت و ... هم مواد دورریز و هم آلودگی ها حذف می شوند. از طرف دیگر ضخامت بیتوسیل از ۶ میلی متر ضخامت برای پوشش های انامل قیری و قطرانی به ۴ میلی متر کاهش می یابد و نوارهای تقویت کننده پوشش از ۲ نوار داخلی (Inner wrap) و یک نوار خارجی (Outer wrap) صرفاً به یک نوار خارجی مخصوص تقلیل می یابد . کلیه موارد فوق ضمن اقتصادی و ایمن نمودن کار نه تنها به کیفیت لطمه ای وارد نمی کند بلکه کیفیت و کارائی این سیستم بسیار بالاتر نیز می باشد.

همانگونه که در شکل ۱ ملاحظه می شود سیستم اجرای بیتوسیل شامل یک مخزن ذخیره انامل بیتوسیل بصورت گرم ، یک هد اکسترودر که توسط کامپیوتر کنترل می شود و یکسری تجهیزات اندازه گیری است . مهمترین بخش این سیستم همان هد اکسترودر است که مقدار مشخص ، ثابت و یکنواختی از بیتوسیل را بر روی لوله می ریزد . فاکتورهای متغیر این سیستم اجرا که توسط کامپیوتر کنترل می شود شامل : ۱- سرعت جلو رفتن لوله ۲- سرعت چرخش لوله ۳- قطر لوله ۴- ضخامت مورد نیاز پوشش می باشد. همانگونه که ملاحظه می شود در این سیستم ، دما متغیر نیست بلکه فاکتوری ثابت و مستقل است و بر خلاف روشهای صنعتی که دما متغیر می باشد این عمل صورت نگرفته و لذا باعث کیفیت و ایمنی کار می گردد.

پس از مرحله پرایمر زنی ، در مرحله اول مسیر درز جوش لوله بطور اتوماتیک پوشش داده می شود این مسئله از جهت ایجاد یک پوشش کامل و صحیح ضروری باشد که در روشهای سنتی وجود ندارد . پس از این مرحله پوشش بیتوسیل به ضخامت حدود ۴mm بصورت اکسترودر بر روی لوله ایجاد می شود. بلافاصله یک لایه نوار خارجی که قبلاً از نوع خاصی از انامل بیتوسیل اشباع شده بر روی لوله پیچیده می شود بطوریکه انامل بیتوسیل از سوراخهای این نوار بیرون آمده و نوار کاملاً با سطح جوش می خورد.

این نوار خارجی برای ایجاد حفاظت مکانیکی ، انعطاف پذیری و محکمی پوشش استفاده می شود . پس از سرد شدن و انجام آزمایشهای لازم کنترل کیفیت ، لوله ها ذخیره می شوند. در حمل و نقل ممکن است تعدادی از پوشش ها آسیب ببینند که باید تعمیرات لازم صورت گیرد. طی یک برآورد آماری نقاط تعمیری در حمل و نقل از ۱۵-۱۰ مورد برای پوشش های انامل قیری به ۵-۰ مورد برای پوشش بیتوسیل کاهش داشته است و این به دلیل طبیعت انعطاف پذیر پوشش بیتوسیل است که بر اثر حمل و نقل و ضربه و ... کمتر آسیب می بیند. بهر حال نقاط تعمیراتی براحتی با استفاده از یک کاردک داغ قابل اصلاح می باشد. برای محل اتصالات

علاوه بر استفاده از انواع Sleeve پلیمری (مانند پلی اتیلن) می توان از بیتوسیل ممبرین نیز استفاده نمود که بر پایه همان ترکیبات بیتوسیل انامل می باشند. این ممبرین ها هم با دست و هم با دستگاه قابل استفاده می باشند. مزیت این ممبرین ها نسبت به سرجوشهای پلی اتیلنی، اطمینان از یکنواختی پوشش لوله از مواد یکسان و با کارائی بالا می باشد.

همانگونه که ملاحظه می شود این سیستم اجرا بسیار ساده و در عین حال کامل می باشد. در سیستم های اجرای پوشش های دیگر معمولاً نقاط ضعفی وجود دارد. مثلاً در پوشش پلی اتیلن سه لایه از مواد زیر استفاده می شود: ۱- یک لایه پرایمر FBE ۲- یک لایه چسباننده ۳- لایه سه میلی متری پلی اتیلن اکستروود شده. لایه پرایمر FBE یک لایه ضد خوردگی یکنواخت با مقاومت گسیختگی کاتدی خوب ایجاد می نماید. این لایه بنحوی فرموله شده است که با گروههای واکنش دهنده موجود در لایه چسباننده بصورت شیمیایی ایجاد چسبندگی نماید. همچنین این لایه چسباننده باعث ایجاد چسبندگی بین پلی اتیلن غیر قطبی با لایه FBE قطبی می گردد. پلی اتیلن به منظور حفاظت مکانیکی و ضد رطوبتی استفاده شده و ادعا می شود که لایه محافظ UV برای پوشش FBE می باشد. در اجرای این سیستم پوششی معمولاً عیوبی بوجود می آید، زیرا این سه لایه معمولاً بدون هیچگونه بازرسی و کنترلی پشت سر هم اجرا می گردند. مثلاً اگر پوشش FBE بخوبی سخت و محکم (cure) نشده باشد و یا نقاط پوشش نشده ای وجود داشته باشد، معلوم نمی گردد زیرا لایه های بعدی بلافاصله اجرا می شوند. همین مسئله در مورد لایه چسبی نیز مطرح است که در صورت وجود اشکال باعث عدم چسبندگی پلی اتیلن به FBE می گردد. معمولاً مشکلاتی در این سیستم پوششی دیده می شود که مربوط به همین مسائلی است که ذکر شد مانند چین خوردگی و عدم یکنواختی پلی اتیلن، آسیب ها و ترک هایی در محل های جوش لوله که باعث نفوذ یا خروج لایه چسب می شود. در صورت وجود چنین معایبی بهترین روش تعمیر این است که کل قسمت معیوب پوشش از دور لوله بریده و دور ریخته شود، سپس پوشش FBE اسپری و از یک لایه پوشش پیش ساخته که با حرارت جمع شده و به لوله می چسبد استفاده گردد. بدیهی است روش ایده آل برای سیستم پوشش پلی اتیلن سه لایه این است که لوله پس از پوشش با FBE، سرد شده و توسط دستگاه منفذ یاب مورد آزمایش هالیدی قرار گرفته و پس از اطمینان از سخت شدن (cure)، لایه چسبی و پلی اتیلن بکار برده شود. بدیهی است در این صورت هزینه سیستم بالاتر رفته و باعث غیر اقتصادی شدن این پوشش خواهد شد.

آزمایشهای انجام شده در پژوهشگاه صنعت نفت

جهت کنترل کیفیت و ارزیابی محصول بیتوسیل آزمایشهای مختلفی در پژوهشگاه انجام گرفته که در زیر نتایج حاصله و نهایتاً تحلیل آن ارائه شده است. لازم به ذکر است که این آزمایشها در چند مرحله و روی نمونه های مختلف اخذ شده از محل کارخانه شرکت ورزیران و محل مصرف آن در در کارخانه تولید لوله و پوشش سلفچگان و همچنین روی نمونه های ارسالی از طرف آن شرکت صورت گرفته است که بدلیل یکسان بودن تقریبی آنها از ذکر کلیه نتایج خودداری و صرفاً نتایج یک مورد ارائه شده است.

پرایمر بیتوسیل :

جدول ۲۰- نتایج آزمایشهای پرایمر بیتوسیل ورزیران

نام آزمایش	روش آزمایش	نتیجه
زمان جاری شدن (فنجان شماره ۴) در 23°C ، ثانیه	BS 4147	۵۲
نقطه اشتعال ، $^{\circ}\text{C}$	BS 4147	۲۶
مواد فرار ، درصد جرمی	BS 4147	۷۳

انامل بیتوسیل :

انامل بیتوسیل در دو گرید نرم و سخت تولید می شود. لازم به ذکر است که در پروژه خط لوله اتیلن غرب کشور از گرید سخت استفاده می گردد.

جدول ۲۱- نتایج آزمایشهای انامل بیتوسییل ورزیران و انامل قیر نفتی

نتیجه		روش آزمایش	نام آزمایش
انامل قیر نفتی گرید b	انامل بیتوسییل گرید B (سخت)		
۳۲	۲۸	BS 4147	مقدار مواد پرکننده ، wt%
۱/۲۸	۱/۲۴	BS 4147	دانسیته در ۲۵°C ، gr/cm ³
۱۲۱	۱۴۱	BS 4147	نقطه نرمی ، °C
۱۲	۸	BS 4147	نفوذ پذیری ، 0.1mm
۳۰.۵	۳۰.۶	BS 4147	نقطه اشتعال ، °C
۰/۵	۰	BS 4147	ریزش در ۷۵°C ، mm
۳	۰/۵	BS 4147	ریزش در ۹۰°C ، mm
۵	۱/۱	BS 4147	ریزش در ۱۰۰°C ، mm
>۱۵	>۲۵	BS 4147	خمش در 0°C ، mm
ایجاد ترک	>۲۵	BS 4147	خمش در -10°C ، mm
۴۳۸۰	۱۱۳۰	BS 4147	ضربه ، سطح جدا شده در 25°C mm ²
سطح کاملاً جدا شده	۳۷۶۲	BS 4147	ضربه ، سطح جدا شده در 0°C mm ²
سطح کاملاً جدا شده	۵۸۰۹	BS 4147	ضربه ، سطح جدا شده در -10°C mm ²
۱	۰	BS 4147	(چسبندگی) کنده شدن ، mm
۳	۰		اولیه در: ۳۰°C
۲	۰		۴۰°C :
۱	۰		۵۰°C :
۰	۰		۶۰°C :
۰	۰		تاخیری در: ۳۰°C
۰	۰		۴۰°C :
۰	۰		۵۰°C :
۰	۰		۶۰°C :
۱۵/۵	۱۶/۸	ASTM- D149	افت ولتاژ دی الکتریک ، KV/mm
۱/۵ × ۱۰ ^{۱۲}	۱/۷ × ۱۰ ^{۱۲}	ASTM- D257	مقاومت الکتریکی حجمی ohm.cm
۲/۱۰/۳۰/۸	۱/۲۰/۸۳ و ۰/۹۰/۶۷ و ۰/۶۸ و ...	ISO 5256	جذب آب ، gr/m ² (نتیجه چند آزمایش)
۱۰/۵	۲/۸	ASTM - G8	گسیختگی کاندی ، فاصله سطح جدا شده از سوراخ ایجاد شده اولیه ، mm

نوار خارجی بیتوسییل :

جدول ۲۲- نتایج آزمایشهای نوار خارجی بیتوسییل (Bituseal outer wrap) ورزیران و نوار خارجی انامل قیر نفتی

نتیجه		روش آزمایش	نوع آزمایش
نوار خارجی انامل قیر نفتی	نوار خارجی بیتوسییل		
۴۴۰	۴۵۵	AWWA-C203	وزن ، gr/m^2
۰/۷۵	۰/۸۳	AWWA-C203	ضخامت ، mm
۶۷۳۵	۱۷۲۲۵	AWWA-C203	مقاومت کششی تا شکست ، N/m : طولی عرضی
۵۱۲۰	۱۶۴۳۸		
عالی	عالی	AWWA-C203	خمش پذیری
۰/۲	۰/۳	AWWA-C203	افت وزنی بر اثر حرارت

آزمایشهای تکمیلی بر روی بیتوسییل انامل

علاوه بر آزمایشهای مرسوم استاندارد ، یکسری آزمایشهای تکمیلی نیز به تقاضای مجری و مشاور محترم خط لوله اتیلن غرب کشور بر روی انامل بیتوسییل نمونه گیری شده از محل تولید و مصرف انجام گرفت که در جدول زیر ارائه شده است .

جدول ۲۳- نتایج آزمایشهای تکمیلی انامل بیتوسییل ورزیران

No.	TEST	Sample Treatment Duration (h)/ Temperature (°C)	RESULT
1	Adhesion , kg/cm : @ 50 °C @ 50 °C @ 50 °C @ 50 °C @ 60 °C @ 60 °C @ 60 °C @ 60 °C @ 70 °C @ 70 °C @ 70 °C @ 70 °C	- 24/50 72/50 720/50 - 24/60 72/60 720/60 - 24/70 72/70 720/70	0.55 0.46 0.54 0.98 0.48 0.52 0.59 0.58 0.41 0.47 0.51 0.46
2	Impact Resistance , 2 kgf.m : @ -20 °C @ -20 °C @ -10 °C @ -10 °C @ 50 °C @ 50 °C @ 50 °C	- 24/-20 - 24/-10 - 72/50 720/50	Failed Failed Failed Failed Passed Passed Passed
3	Indentation , mm : @ -20 °C @ -10 °C @ 50 °C @ 50 °C	24/-20 24/-10 72/50 720/50	0 0.5 4 4
4	Hardness , Shore – D Scale : @ -20 °C @ -10 °C @ 50 °C @ 50 °C	24/-20 24/-10 72/50 720/50	51 41 Too Soft Too Soft
5	Electric Volume Resistivity @ 25 °C , ohm-cm	- 24/50 72/50 720/50 24/60 72/60 720/60 24/70 72/70 720/70	1.0×10^{15} 1.1×10^{15} 1.3×10^{15} 2×10^{15} 1.2×10^{15} 1.4×10^{15} 5.2×10^{15} 9.7×10^{14} 1.5×10^{15} $>1 \times 10^{16}$

No.	TEST	Sample Treatment Duration (h)/ Temperature (°C)	RESULT
6	Dielectric Breakdown @ 25 °C , Kv/mm	-	10.5
		24/50	10.2
		72/50	10.4
		720/50	11.1
		24/60	11.5
		72/60	11.6
		720/60	11.9
		24/70	12.1
		72/70	12.5
		720/70	12.8
7	Softening Point , °C	-	143
		24/50	140
		72/50	140
		720/50	142
		24/60	138
		72/60	139
		720/60	143
		24/70	136
		72/70	135
		720/70	145
8	Solubility in Kerosine @ 50 °C , wt% :		
		6 h exposure time	69.6
		12 h exposure time	70.1
		24 h exposure time	70.8
9	Water Absorption @ 50 °C , 5h , wt%	-	0.066
		24/50	0.077
		72/50	0.083
		720/50	0.088
		24/60	0.076
		72/60	0.079
		720/60	0.074
		24/70	0.078
		72/70	0.075
		720/70	0.068
	Cathodic Disbonding @ 50°C , mm	-	5.8
		24/50	7.1
		720/50	9.5
		-	7.5
		24/70	14.2
		720/70	14.8

لازم به ذکر است که آزمایشهای تکمیلی مطابق با دستور العملی که توسط مشاور این طرح به پژوهشگاه داده شده بود انجام شد. دستور العمل ارائه شده توسط مشاور و مجری محترم طرح به پژوهشگاه بر این اساس استوار بوده که نمونه هایی از انامل بیتوسیل طی زمانهای مختلف در دماهای متفاوت قرار گرفته و سپس در همان درجه حرارت یا درجه حرارت دیگری که مشخص می کنند آزمایش شود. بدیهی است اثر دو پارامتر زمان نگهداری در دمای بالا و درجه حرارت بر روی خواص فیزیکی انامل بیتوسیل، مورد نظر ایشان بوده است و در ارتباط با این آزمایشها توضیحات ذیل ضروری است:

۱- آزمایشهای انجام شده مطابق با روشهای استاندارد مورد نظر و یا شرایط خاص مندرج در شرح کار ارائه شده صورت پذیرفته است.

۲- شرایط عملیات حرارتی بر روی بیتوسیل انامل بدین صورت بوده است که ابتدا انامل به شکل لایه ای به ضخامت ۴ میلی متر قالب ریزی شده و پس از تهیه، در داخل Oven با قابلیت چرخش هوا در زمان و دمای مورد نیاز نگهداری شده است.

۳- در آزمایش شماره ۱ (Adhesion) که مطابق با استاندارد ASTM-D1000 انجام گرفته است، هیچ یک از نمونه ها از صفحه فلزی جدا نشدند و نیروی ذکر شده نیروی پارگی پوشش می باشد.

۴- به جای آزمایش Thermal Stability، آزمایش Softening Point مطابق روش ASTM-D36 انجام گرفت، زیرا این روش برای قیرها بیشتر مرسوم می باشد در حالی که روش پیشنهادی برای پلیمرها توصیه می گردد.

۵- در رابطه با پایداری رزین بکار گرفته شده در بیتوسیل انامل، آزمایش Separation مطابق با روش ASTM-D5841 (قرار دادن نمونه به مدت 16h در دمای 135°C) انجام گرفت که نتیجه حاکی از یکنواخت بودن نمونه پس از انجام آزمایش می باشد. ضمناً اظهار نظر در خصوص اثرات زیست محیطی رزین به کار گرفته شده در بیتوسیل انامل از نقطه نظر سمی بودن و یا امکان انحلال آن در آبهای زیر زمینی و یا Leach-Out شدن از بافت قیر، مستلزم انجام آزمایشهای متعدد و صرف هزینه و زمان بسیار زیاد می باشد.

آزمایش های نوارهای سرجوش (Bituseal Membrane)

علاوه بر شرکت ورزیران ، تعدادی از شرکت های دیگر نیز اقدام به ساخت این محصول نموده اند. همراه با نماینده محترم مجری خط لوله اتیلن غرب کشور از کلیه کارخانه ها بازدید و از محصولات تولیدی (پرایمر و نوار سرجوش) نمونه گیری بعمل آمد. نتایج آزمایشهای انجام گرفته روی این نوارها در جدول ۲۴ ارائه شده است.

علاوه بر آزمایشهای مندرج در این جدول ، بر روی نمونه ورزیران آزمایش جذب آب در دمای 65°C به مدت ۵ روز نیز انجام گرفت. هیچگونه تغییر در ظاهر نمونه ایجاد نشد و آزمایش چسبندگی قبل و بعد از آزمایش جذب آب صورت گرفت که تغییری را نشان نمی داد.

جدول ۲۴ - نتایج آزمایشهای بیتوسیل ممبرین (نوار سر جوش) شرکت های مختلف

No.	TEST	TEST METHOD	وزیران	تائیدیان	ایزوناتام	سروش بام	پلی گام
1	Thickness, mm	DIN 30672	۴/۴	۴/۶	۵/۹	۳/۹	۴/۹
2	Weight, g/m ²	DIN 30672	۵۳۳۰	۵۰۸۲	۶۶۶۴	۳۹۱۶	۵۶۴۴
3	Tensile Strength, kg/cm : a) Longitudinal b) Transverse	DIN 30672	۲۳ ۲۹	۱۸ ۲۵	۱۶ ۲۶	۸ ۶	۱۶ ۱۵/۵
4	Adhesion Strength @ 23°C, wrapping/metal surface, kg/cm	DIN 30672	۱۲	۱۰	۱۰	۲	۳
5	Impact Resistance, Stress Class C, 15 KV	DIN 30672	Passed	Passed	Passed	Failed	Passed
6	Volume Resistivity, Ohm.cm	ASTM - D257	۱/۷ × ۱۰ ^{۱۴}	۱/۳ × ۱۰ ^{۱۴}	۱/۰ × ۱۰ ^{۱۴}	۱/۰ × ۱۰ ^{۱۴}	۱/۰ × ۱۰ ^{۱۴}
7	Resistance to Indentation @ 23°C, Stress Class B, residual layer thickness, mm	DIN 30672	۳	۳/۱	۳/۹	۲/۹	۳/۴
8	Water Absorption, g/m ²	ISO 5256	*	*	*	*	*
9	Dielectric Strength, KV	ASTM - DI49	>۴۰	>۳۰	>۳۰	غیر قابل آزمایش بخاطر وجود لایه الومنیوم	>۳۰

* برای کلیه نمونه ها نتایج نسبتاً یکسان ولی متفاوت (0.6-1.2-1.0-1.5) بدست می آید.

تحلیل نتایج حاصل از آزمایشهای پژوهشگاه صنعت نفت

بررسی نتایج بدست آمده بر روی مصالح پوششی بیتوسیل بیانگر موارد زیر می باشد :

- ۱- پرایمر بیتوسیل نسبت به پرایمر های قیر نفتی از خواص بهتری در آزمایشهای صفحه (ضربه - شره - خمش و ...) برخوردار است .
- ۲- نقطه نرمی انامل بیتوسیل گرید سخت معمولاً بالاتر از 140°C می باشد لذا این انامل نسبت به انامل های قیر نفتی و قطرانی گرید b که معمولاً نقطه نرمی آنها بین $105-125^{\circ}\text{C}$ می باشد، برای استفاده در خطوط لوله در شرایط گرمتر مناسب تر است.
- ۳- انامل بیتوسیل تا 100°C ریزش یا شره کمتر از ۱mm دارد در حالیکه انامل های قیری و قطرانی حداکثر دمای تحمل 75°C با ریزش کمتر از ۱/۵mm دارند. با توجه به این نتیجه و همچنین نتیجه بند ۲ ، استفاده از این انامل برای شرایط گرمتر (شرایط آب و هوای محیطی یا دمای سیال لوله) مناسب تر می باشد.
- ۴- انامل بیتوسیل خمش در 10°C را براحتی تحمل می نماید و تا ۲۵mm که آخرین حد اندازه گیری دستگاه می باشد هیچگونه ترکی ایجاد نمی نماید. انامل های قیری و قطرانی صرفاً در دمای 0°C قادر به تحمل این حد از خم پذیری هستند.
- ۵- در آزمایش مقاومت در برابر ضربه ، انامل بیتوسیل علاوه بر دمای 25°C در دماهای صفر و 10°C نیز سطح جدا شده کمتر از 6500mm^2 دارد. در حالیکه انامل های قیری و قطرانی معمولاً در 25°C سطح جدا شده ای برابر با انامل بیتوسیل در 10°C - نشان می دهند.
- ۶- در آزمایش چسبندگی اگر به روش BS 4147 یعنی آزمایش کنده شدن (peel) انجام شود انامل بیتوسیل هیچگونه جدا شدگی از سطح ندارد. با اینحال این پوشش بدلیل چسبندگی فوق العاده به سطح ، همانند پلیمرها با نیرو سنج نیز قابل آزمایش می باشد در حالیکه انامل های قیری و قطرانی چسبندگی ضعیفتری دارند.
- ۷- بدلیل چسبندگی بالاتر انامل بیتوسیل ، در آزمایش گسیختگی کاتدی نیز این پوشش کمتر از ۵ میلی متر ($3/2$ میلی متر) جدا می شود در حالیکه برای انامل های قیری و قطرانی این مقدار معمولاً ۱۰-۱۲ میلی متر می باشد.
- ۸- در آزمایش جذب آب اعداد مختلفی بدست می آید. جالب اینکه همانگونه که در متن گزارش نیز درج شده در آزمایشگاه های خارج از کشور نیز همینطور بوده است . بهر حال این عدد در حدود $0.6-1.2\text{ gr/m}^2$ متغیر می باشد.

۹- نوار خارجی بیتوسیل به مراتب قوی تر و محکم تر از نوار خارجی انامل های معمولی است که در آزمایش مقاومت کششی طولی و عرضی کاملاً مشخص و در حد چند برابر می باشد.

۱۰- نوارهای سرجوش یا بیتوسیل ممبرین کلیه شرکت ها نیز آزمایش شد. نمونه های سرجوش بام و پلی گام در بعضی آزمایشها مردود شدند ولی نمونه های ورزیران ، ایزونام و تانگیران دارای حداقل مشخصات هستند هر چند نمونه ورزیران در مقاومت کششی طولی و عرضی و هم چنین چسبندگی بهتر از نمونه های دیگر می باشد. بهر حال مشخصات مورد نیاز متقاضی نیز در این مورد ملاک می باشد.

۱۱- اصولاً به منظور یکنواختی پوشش یک خط لوله و اطمینان از کارایی و هم جنس بودن آن ، توصیه می شود کلیه مواد از یک سازنده تامین گردد یا در صورت تهیه از منابع مختلف اطمینان لازم از همگون بودن و سازگاری آنها با یکدیگر (compatibility) باید حاصل شود.

۱۲- آنچه که مسلم است هم انامل های قیری و هم انامل بیتوسیل و اصولاً کلیه مواد پوشش ، خصوصاً اگر به مدت طولانی در معرض درجه حرارت بالاتر قرار گیرند تحت تاثیر پدیده Aging قرار گرفته و اصطلاحاً اکسیده و پیر می شوند که نهایتاً باعث ایجاد تغییراتی در ساختمان شیمیایی و افت خواص فیزیکی آنها می گردد. انامل های بیتوسیل نیز از این قاعده مستثنی نیستند. هر چند در آزمایشهای تکمیلی بیتوسیل ، نمونه ها در یک آون با هوای چرخشی پیر شده اند در صورتیکه در شرایط عملی ، لوله های پوشش داده شده در زیر زمین در معرض اکسیژن به این شکل قرار نمی گیرند و لذا شرایط آزمایشگاه بسیار شدید و تا حدی غیر واقعی بنظر می رسد اما بهر حال آنچه که از این آزمایشها برداشت می شود این است که تغییرات خواص فیزیکی در شرایط نگهداری در دمای بالا و زمان طولانی از روند ثابتی برخوردار نیست. بعنوان مثال چسبندگی تغییر چندانی نکرده ولی گسیختگی کاتدی تغییرات منفی و مقاومت الکتریکی و سختی تغییرات مثبت داشته اند . همچنین این نتیجه مهم نیز بدست آمد که انامل بیتوسیل مخلوطی پایدار بوده و در شرایط مختلف ، یکنواختی خود را حفظ می نماید و جدا شدن فاز پلیمر و قیر از یکدیگر اتفاق نمی افتد.

۱۳- هر چند بیتوسیل انامل قابلیت تحمل درجه حرارت بالاتری را نسبت به انامل های معمولی دارد (حدود 80°C - 90°C) با اینحال در مواردی که دمای سیال داخل لوله بالاتر از 70°C می باشد بهتر است جهت ایجاد مقاومت مکانیکی بالاتر و مقاومت بیشتر در برابر فرو رفتن مواد خارجی در آن ، از یک لایه PP بر روی آن استفاده شود.

۱۴- سالهای متمادی (بیش از ۲۵ سال) است که انامل های قیر نفتی معمولی با موفقیت در بسیاری از پروژه ها استفاده شده است. با توجه به محدودیت های ایجاد شده برای انامل های قطرانی و همچنین با توجه به رفع نقیصه های انامل قیر نفتی خصوصاً در دماهای پائین به کمک پلیمرها بنظر می رسد نسل جدید انامل های قیر نفتی اصلاح شده با پلیمر یا همان انامل بیتوسیل بتواند در آینده جهت حفاظت بخش عظیمی از لوله ها بکار رود. همچنین پیش بینی می شود با توجه به جدید بودن این فناوری ، تحقیقات و پیشرفتهای تکمیلی (جهت رفع نواقص احتمالی و ایجاد کارائی بالاتر) همچنان صورت پذیرد.

مراجع :

- 1- Asphalt Protective Coatings for Pipelines, The Asphalt Institute , Specification Series No.7 (SS - 7) , 1972
- 2- Coating Standards for Pipeline Protection , by : L. Woolf , CAPCIS , March Ltd. , Manchester , UK , Corrosion Pervention & Control , June , 1993
- 3- Practical field testing of the BITUSEAL pipe coating system and cathodic protection at cathodic disbonding level , by : Henric Blomdahl and Bjorn B. Lauritzen , presented at the institute of corrosion conference , The European Gas Grid System (May 1996 , Lille , France)
- 4- An improved pipe coating system based on a polymer modified bitumen enamel , by : E. A. Mulder & B. Lauritzen , presented at the Third International Conference on the European Gas Grid System , March 1994, London , UK
- 5- Field experience with a polymer/bitumen coating in South Africa , The Akasia to Mabopane pipeline , by S. Andersen & E. A. Mulder & M. N. Dickinson , presented at the Institute of corrosion conference , Eurogas 98 , April 1998 , Harrogate , UK
- 6- Iranian Gas Standards , IGS – TP – 016 (0) : 2003
- 7- The bituseal system , www.phoenix-pipe-protectors.com
- 8- Development & modified bitumen enamel pipe coating system , E.A. Mulder & M. Soerensen , JPCL , July 2001 , PCE
- 9- A Testing Time , by : E. A. Mulder , M. Sorensen , world pipelines , March 2003
- ۱۰- نقش و رابطه پوشش های خطوط لوله زیرزمینی با پدیده ترک های خوردگی تنشی (SCC) آرمن خانیان ، اولین کنگره خوردگی در صنایع نفت ، خرداد ۱۳۷۹
- 11- Test report , Bituseal – Tomorrows Coating Technology Today , 2nd edition, A Phonix / Shell product , Tar Industries Services , by J. A. Sharp (1999)
- 12- Bituseal modified bitumen for pipeline protection , specification for external coating of steel linepipe using the bituseal system , 3rd edition, Phonix pipe protector
- 13- Corrosion protection of steel pipelines using high performance modified bitumen , by : E. A. Mulder & M. Sorensen, 16th International conference on pipeline protection , Aachen , Germany , October 2003
- 14- Soil stress test report , pipe protectors, phonix contractor , 1995
- 15- Water Absorption test report, Tar Industrial services a division of BCRA scientific & technical services limited , 1999