

بررسی محافظت از لوله های انتقال نفت و گاز در مقابل خوردگی با استفاده از پوشش های پلی اوره تان

چکیده

امروزه از رنگ های پلی اورتان برای پوشش دهی انواع لوله های فولادی جهت صنایع نفت، گاز، پتروشیمی، انتقال آب و سایر صنایع استفاده می شود. پوشش پلی اورتان با جامد ۱۰۰٪ به عنوان یکی از بهترین انواع مواد محافظ به شمار می رود. در این مقاله خواص فیزیکی و مکانیکی این ماده، مانند چسبندگی روی فولاد، استحکام کششی، نشت پذیری، مقاومت به ضربه و غیره هنگامی که این ماده به عنوان پوشش محافظ استفاده می شود، طبق استانداردهای معتبر اندازه گیری و با خواص سایر پوشش های متداول مقایسه شده است. ضمناً بصورت تفصیلی نحوه اعمال پوشش پلی اورتان ۱۰۰٪ جامد بر بدنه داخلی و خارجی لوله ها در کنار ارزیابی اقتصادی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که پوشش پلی اورتان با جامد ۱۰۰٪ خواص بهتری نسبت به سایر پوشش ها دارد و مقاومت به خوردگی آن در اکثر محیط های خوردنده بالا می باشد بطوریکه استفاده از این پوشش در اکثر موارد توصیه می شود.

- ۳- مقاومت عالی در برابر اشعه های مخرب فرابنفش^۲ [۴].
- ۴- مقاومت بسیار عالی در برابر شوکهای حرارتی تا ۱۱۰ درجه سانتیگراد. در شرایط غوطه ور در دمایی مابین ۳۰ - تا ۸۰ درجه سانتیگراد مقاومت دارد [۱].
- ۵- در مواردی که پوشش دچار صدمه ناگهانی گردد به راحتی قابل ترمیم می باشد [۵].
- ۶- این پوشش یک نوع ماده خود خاموش شونده است لذا مانع از گسترش آتش سوزی می گردد [۴].
- ۷- آلودگیها بر روی این پوشش نمی چسبند و به راحتی قابل تمیز کردن می باشند [۵].
- ۸- از خواص مکانیکی دیگر این پوشش می توان به مقاومت بالا در برابر پارگی (180 kg/cm^2)، انقباض ۰٪، چسبندگی بالا (برای مثال در خصوص فولاد بالاتر از ۱۰ MPa) و سختی مناسب (۷۵±۵ shore D) اشاره کرد [۱].
- ۹- نفوذپذیری بسیار پایین (در مورد بخار آب 0.0018 perm/cm) [۱].
- ۱۰- وجود این پوشش بر روی سطح مانع از انتقال جریان برق می گردد (با ضخامت ۲ میلیمتر می تواند در جریان D.C با ولتاژ ۱۵۰۰ ولت مقاومت کند [۴].
- ۱۱- زمان نیمه عمر پوشش ۳۰ سال می باشد به طوریکه پس از این مدت خواص مکانیکی و شیمیایی آن به نصف کاهش یافته ولی همچنان قابلیت سرویس دهی است [۱].
- ۱۲- دارای مقاومت شیمیایی عالی در برابر مواد شیمیایی خورنده با $\text{pH}=1-13$ می باشد [۶].

بطور کلی پوشش های پلی اوره تان را می توان در مجاورت مواد شیمیایی مانند نفت خام، سوخت نفتی، هیدروکربن های آلیفاتیک، روغن سویا، نفت سفید، گازوئیل، پر اکسید هیدروژن، سولفات کلسیم، محلول های borax، وایت اسپریت، روغن کرچک، کلرید آمونیوم، ازن، گلیسرین، اتیلن، گلیکول، چربیهای حیوانی، فرمالدهید، آب دریا، اسید استیک ۲۰٪، اسید کلریدریک ۲۰٪، اسید نیتریک ۲۰٪، اسید فسفریک، اسید اولئیک، اسید فرمیک، اسید فلئورو هیدریک ۳۰٪، هیدروکسید سدیم ۳۰٪، هیدروکسید پتاسیم ۲۰٪، هیدروکسید آمونیوم ۲۰٪، نمک های آمونیوم و... استفاده نمود. این پوشش به دلیل دارا بودن خواص ممتاز که دارد طول عمر بیشتری نسبت به سایر پوششهای آلی - حفاظتی دارد به طوریکه عمر مفید آن در محیط های شدیداً خورنده بین ۲۰ تا ۳۰ سال می باشد [۳].

آزمایشات انجام شده

آزمایشات فیزیکی و مکانیکی مختلف بر روی پوشش های لعاب قیر^۳، اتصال ذوبی^۴، پلی اتیلن^۵، پلی اورتان حل شده در قیر^۶ و پلی اورتان با جامد ۱۰۰٪ انجام گرفت. این آزمایشات شامل اندازه گیری جریان الکتریسته، نشن پذیری، چسبندگی بر روی فولاد زنگ نزن تمیز کاری شده، مقاومت به ضربه، ازدیاد طول، شعاع جدایش، استحکام کششی و خواص ظاهری پس از شوک حرارتی می باشد. همچنین مقاومت این پوششها در محیطهای مختلف آزمایش شد. لازم به ذکر است که این آزمایشات مطابق با استانداردهای بین المللی انجام گرفته است و نتایج آزمایشات با این استانداردها تفسیر شده است.

² Ultra Violet

³ Coal tar Enamel

⁴ Fusion Bonding

⁵ HD polyethylene (Extruded) 3XLPE

⁶ Tar Extended poly Urethane

یافته ها و بحث

در این قسمت نتایج بدست آمده از آزمایشات بررسی می شوند. جدول ۱ نتایج آزمایشات فیزیکی و مکانیکی را نشان می دهد. نتایج بدست آمده در مقایسه با استاندارد های موجود برای پوشش ها نشان می دهد که پوشش پلی اورتان با جامد ۱۰۰٪ نسبت به همه پوشش ها دارای خواص بسیار مطلوبی می باشد.

جدول ۱- نتایج آزمایشات فیزیکی و مکانیکی پوشش های مختلف

ردیف	آزمایش	پوشش لعاب قیر	اتصال ذوبی	پلی اتیلن	پلی اورتان حل شده در قیر	پلی اورتان با جامد ۱۰۰٪
۱	جریان الکتریسته ohm/m ²	۴×۱۰ ^۲ تا ۵×۱۰ ^{۱۰}	۲/۳×۱۰ ^۲	۷/۶×۱۰ ^۲ تا ۸×۱۰ ^۲	۱×۱۰ ^۲ (۱۰۰ روز در ۱ مول NaCl)	۴×۱۰ ^۲ >
نتیجه						
	نشت پذیری M.v.t	-	خوب	خیلی خوب	خیلی خوب	عالی
۲	Gms. 24 hr/m ² U.S. Perms	-	Epoxies have higher permeability typical for liquid applied: ۰/۱-۰/۲ U.S. Perms	۰/۹	-	۰/۲۶۲
		-		-	۰/۰۰۴۵	۰/۰۰۲۵
نتیجه						
۳	چسبندگی روی فولاد زنگ نزن تمیز کاری شده	غیر قابل اندازه گیری و بسیار کم	< gt la when grid cut in accordance with DIN 53151	چسبنده Elcometer Lap shear adhesive strength at 25°C system Resistance to peeling 4kg/Cm Min.	psi ۱۴۵۰> Elcometer pull off DIN 30671	psi ۱۵۰۰> Elcometer pull off ASTM D4541
نتیجه						
۴	استحکام کششی در دمای اتاق MPa	غیر قابل اندازه گیری (ترک)	-	نسبتاً خوب	عالی	عالی
		۲/۵۰۰+	-	۲/۵۰۰+	-	۲/۵۰۰+
نتیجه						
		نتیجه	ضعیف	خوب	خیلی خوب	-

ادامه جدول ۱

ردیف	آزمایش	پوشش لعاب قیر	اتصال ذوبی	پلی اتیلن	پلی اورتان حل شده در قیر	پلی اورتان با جامد ۱۰٪
۵	مقاومت به ضربه	۱۴۲<<< in Lb. (1.56 x 10 ⁵ gm-cm: 650 gms x 2.40 meters Rs. At 25°C) stripped- alpn doo To impact= 65 Cm2 max. JIS G3492	۸۸/۵<<< in Lb. (1.02 x10 ³ gm.cm) DIN 30671 >10Nm	۱۴۲<<< in Lb. (1.56 x 10 ⁵ gm-cm: 650 gms x 2.40 meters at 25°C)	۱۳۳<<< in Lb (1.53 x 10 ³ gm-cm) DIN 30671 >15 Nm	۱۶۵۰<<< in Lb. (1.9 x 10 ³ gm-cm): ASTM G14
نتیجه		ضعیف	متوسط	خوب	خوب	قابل ملاحظه
۶	ازدیاد طول ASTM D638	بسیار پایین و غیر قابل اندازه گیری	۵٪ DIN 30671	۴۰٪ Note: PE is a plastic material which undergoes permanent deformation (flow) when stress is applied	۴۸٪ Note: PUR-Tar is an elastomer which recovers When stress (less than stress at break) is relieved	۴۸٪ Note: P urethane is an elastomer which recovers when stress (less than stress at break) is relieved
نتیجه		ضعیف	ضعیف	خوب	خیلی خوب	خیلی خوب
۷	شکل ظاهری بعد از شوگ حرارتی -30°C to +60°C 50 Cycles	-	-	عادی	عادی	عادی
نتیجه		-	-	خوب	خیلی خوب	خیلی خوب
۸	شعاع پارگی (mm) - 1.5 V, 20-25°C 3% NaCl 30 days - 6.0 V, 20-25°C 3% NaCl 30 days	-	ماکسیم ۱۰	-	۷	۶
نتیجه		۱۳-۲۱	-	۵<	-	-
نتیجه		ضعیف	خوب	خیلی خوب	خیلی خوب	خیلی خوب

جدول ۲ مقاومت به خوردگی پوشش های مورد استفاده را در در انواع محیط ها نشان می دهد. همچنین این جدول نحوه کاربرد پوشش های نام برده را در محیط های مذکور بیان می کند که نوع پوشش در محیط مورد استفاده مناسب است یا خیر. همانطور که از جدول ۲ مشاهده می شود پوشش پلی اورتان با جامد ۱۰۰٪ در اکثر محیط های خورنده دارای مقاومت خوبی است و استفاده از این نوع پوشش بطور کاربردی پیشنهاد می شود.

جدول ۲- مقاومت به خوردگی پوشش های مختلف و نحوه استفاده در محیط های گوناگون

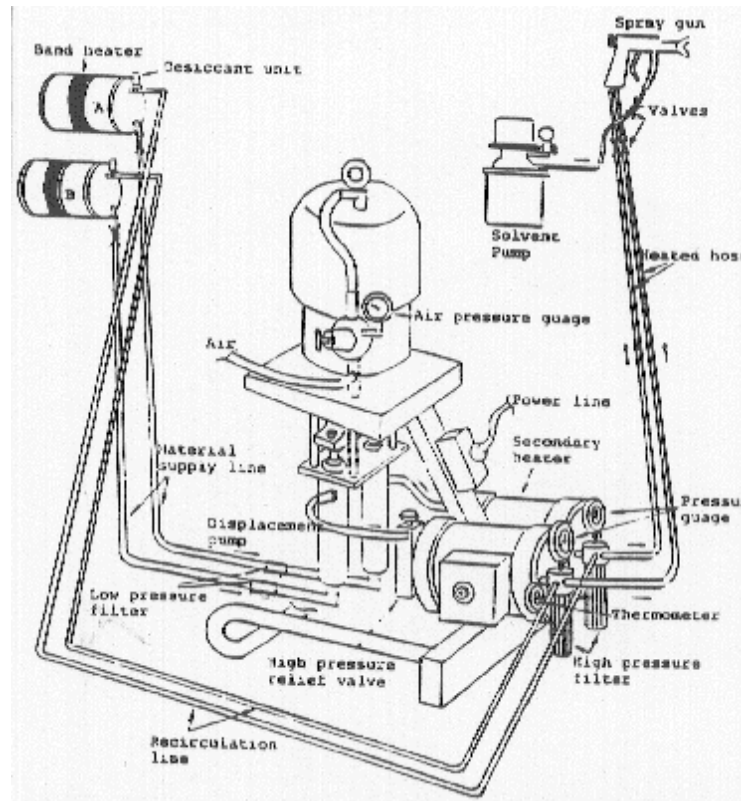
ردیف	محیط	پوشش لعاب قیر	اتصال ذوبی	پلی اتیلن	پلی اورتان حل شده در قیر	پلی اورتان با جامد ۱۰۰٪
۱	مقاومت به خوردگی در دمای اتاق	ضعیف	ضعیف	خوب	خیلی خوب	خیلی خوب
۲	اسید ضعیف ۱۰٪ متوسط ۵۰٪ غلظت < ۵۰٪	R NR NR	R NR NR	R R R	R R R	R R NR
۳	باز ضعیف ۱۰٪ متوسط ۵۰٪ غلظت < ۵۰٪	LR NR NR	R NR NR	R R R	R R R	R R NR
۴	نمک ها	NR	R	R	R	R
۵	حلال ها الکل ها انواع کتون ها	NR NR	NR NR	NR NR	NR NR	NR NR
	استفاده به عنوان پوشش محافظ R-Recommended NR-Not Recommended I-R – Limited Recommended	NO	YES	NO	YES	YES

کاربرد

هم اکنون تکنولوژی استفاده از پلی اورتانهای ۱۰۰ درصد جامد در گستره وسیعی از زمان تثبیت در دسترس می باشد مانند برس ، رولر ، اسپری دستی ، خط اتوماتیک و قالب ریزی . گستره زمان تثبیت (خشک شدن سطحی) برای این پلی اورتانهای از کمتر از یک دقیقه تا چندین ساعت میباشد.

برس و رولر جهت استفاده در سر جوشها و نواحی کمتر از یک سانتیمتر مربع مناسب می باشند و سیستمهای ایرلس جهت پوشش سطوح بزرگتر.

سیستمهای چند جزئی (با زمان تثبیت کمتر از ۱۲۰ دقیقه) معمولاً با پمپهای plural اعمال می گردند. پمپهای ایرلس دوجزئی، دو بخش پلی اورتان (ایزوسیانات و پلی الکل) را به دقت تنظیم می کنند (شکل ۱). دو جزء تا قبل از نازل پاشش بصورت جداگانه حفظ می شوند.



شکل ۱

ساختمانبندی پمپ ایرلس دو جزئی

زمان تثبیت کوتاه مدت پلی اورتانهای ۱۰۰ درصد جامد امکان بازرسی ضخامت و هالیدی آنها را پیش از جایگذاری لوله ها آسان می کند.

اگر نسبت اجزای پلی اورتان به درستی رعایت نشده باشد ماده هرگز سخت نشده و به فیلم جامد تبدیل نخواهد شد همچنین اگر سطح فلز خوب تمیز نشده باشد و یا مرطوب باشد زمان تثبیت فیلم به کندی صورت میگیرد و در نهایت فیلم پس از خشک شدن تاول می زند.

بدون شک سیستم FBE در پوشش دهی خطوط لوله صنعت نفت و گاز بسیار متداول و اقتصادی است. ولی مشکلات اخیر در نئومکزیکو در خصوص پیش بینی اعمال صحیح ماده مشخص کرد تخمین نحوه اعمال پلی اورتان آسانتر است. در نهایت واکنش ایزوسیانات و پلی الکل یک واکنش گرمازا است و لذا این ماده امکان اعمال در هر شرایط محیطی را دارا می باشد. در حالیکه متداول نیست که پلی اورتان ۱۰۰ درصد جامد در دمای زیر منفی ۴۰ درجه بدون اعمال حرارت به سطح به کار رود.

در صورتیکه سطح لوله ها حاوی هرگونه آلودگی روغنی باشد، محل آلودگی به کمک تینر تمیز شده و سپس با آب توسط دستگاه واتر جت جهت پاک شدن از هر گونه آلودگی نمکی و گرد و خاک شستشو داده میشود.

پس از اتمام مرحله شستشو با گردش توربین و پاشش شات و گریت (مخلوط شات و گریت با توجه به میزان پروفایل و تمیزی سطح لوله و با توجه به میزان زنگ زدگی به نسبت خاصی تهیه میشوند). عملیات بلاستینگ لوله انجام میشود. در حین عملیات

دستگاه‌های Dust Collector داخل لوله را از وجود هر گونه گرد و خاک و یا شات و گریت پاک نگه میدارند و شات و گریت خارج شده از داخل لوله در صورتیکه قابل استفاده باشد توسط نقاله‌های مخصوص مجدداً به مسیر استفاده بازگردانده میشوند. (شکل ۲)



شکل ۲

دستگاه شات بلاست سطح خارجی لوله‌های فولادی

در حین عملیات بلاستینگ میزان رطوبت نسبی محیط و دمای سطح استیل لوله تحت کنترل قرار میگیرند. بطوریکه دمای سطح لوله میبایست حداقل 3°C بالاتر از نقطه شبنم باشد. در غیر اینصورت عملیات متوقف میشود. پس از پایان بلاستینگ و در قسمت بازرسی، بدنه بلاست شده لوله خام مطابق با استانداردهای Nace No.2, API RP 5L2, ISO 8503, ISO 8502, ISO 8501 نظر عمق پروفایل، زبری، میزان گرد و خاک موجود در سطح و تمیزی سطح مورد بازرسی قرار میگیرند. حداقل عمق پروفایل مطابق با استاندارد توصیه شرکت سازنده ماده پوشش جهت حصول چسبندگی مناسب تعیین می‌گردد. تمیزی سطح میبایست حداقل مطابق با استاندارد Nace No. 2 (SSPC SP10) باشد. عمق پروفایل توسط دستگاه مخصوص و به کمک فیلم عمق سنج و با کمک دستگاه دیجیتال اندازه‌گیری میشود. تمیزی سطح به صورت مقایسه‌ای و آلودگی گرد و خاک توسط چسب مخصوص سنجیده میشود. ضمناً بدنه بلاست شده توسط دستگاه مخصوص از نظر وجود هر گونه آلودگی نمکی مورد سنجش قرار میگیرد و در صورتیکه از حد خاصی بیشتر باشد، لوله میبایست برگشت داده شده و بدنه لوله با آب شستشو داده شود. آلودگی نمکی بیش از حد استاندارد در دراز مدت بر اثر خاصیت اسمز معکوس موجب انتقال رطوبت به زیر فیلم پوشش شده و تاول زدگی را در پی خواهد شد. در آخرین مرحله توسط پمپ‌های مخصوص ایرلس اعمال پوشش پلی اورتان بر سطح لوله انجام میپذیرد (شکل ۳).



شکل ۳

پاشش پلی اورتان بر سطح خارجی لوله

تست الکتریکی هالیدی مطابق استاندارد Nace RP0188 جهت مشخص کردن امکان وجود هرگونه عیوب میکرونی صورت میپذیرد. بعد از سخت شدن نهایی تست چسبندگی بر روی لوله های تولیدی انجام میگیرد.

طول عمر فیلم

جواب این سوال که طول عمر فیلم پوشش پلی اورتان ۱۰۰ درصد جامد چقدر است، بسیار مشکل است. چراکه به فاکتورهای فراوانی چون آماده سازی سطح، ضخامت فیلم و دمای آب، تعداد دفعات تکرار یخ زدگی، حفاظت کاتدیک و غیره وابسته می باشد. ولی بهر حال در بدترین شرایط طول عمری بالای ۵ سال دارا میباشند.

هزینه کم

صنعت پوشش پلی اورتان با توسعه سیستمهایی که مقدار کمی بیشتر Filler دارند، هزینه ها را کاهش داده است. پوششهای پلی اورتان ۱۰۰ درصد جامد تجاری تر و اقتصادی تر از PP و PE و FBE و کلرو نئوپرن هستند که گران بوده و اعمال به مراتب مشکلتتری نسبت به PU دارند. چرا که پوششهایی نظیر پلی پروپیلن و نئوپرن در چندین لایه و چندین مرحله اعمال میشوند. این مساله خود نشانگر اختلاف هزینه ها می باشد. از طرفی تعمیرات بسیار ساده این ماده که امکان اجرا در تمامی شرایطی محیطی را دارد از اصلی ترین محاسن لوله های پوشش داده شده با پلی اورتان بشمار میرود. ضمناً ماده با داشتن سطح کاملاً شفاف پس از اعمال بر بدنه لوله امکان ردیابی ریزترین عیوب و در نتیجه جلوگیری از پیشرفت خرابیها را برآورده کرده است. (شکل ۴)



شکل ۴

لوله فولادی پوشش داده شده با پلی اورتان ۱۰۰٪ جامد

نمونه های تاریخ

در سال ۱۹۹۳ شرکت مهندسی خوردگی سان دیه گو سیستم محافظ خوردگی نصب شده در ۶ فایل خط لوله ۱۲ اینچی را در سال ۱۹۹۱ و خط لوله فولادی در جزیره فیستا پروژه جایگزینی (فاز یک) را تست کرد. این سیستم ۶۲۵ میکرون پلی اورتان ۱۰۰ درصد جامد و آندهای فداشونده منیزیم را بکار می برد. آنالیزهای مشاوره ای نشان داد که سیستم پوششی نصب شده ۹۹/۶۶ درصد کارایی دارد و خط لوله برای حفاظت از خوردگی به یک جریان واقعی، یعنی سه برابر کمتر از میزان طراحی شده نیاز دارد. بازرسان اظهار داشته اند که به عقیده آنها این سیستم پوششی برای شیر فلکه ها و اتصالات بسیار مفید هستند. کاربران ترجیح دادند سیستم پلی اورتان را بجای کولتار اپوکسی به جهت مزایای بسیار زیاد تکنولوژی این سیستم بکار گیرند. در ابتدا بایست خاطر نشان کرد هیچ عامل سرطانزای کولتاری در سیستم پلی اورتان وجود ندارد. بخاطر اینکه اولاً اکستندر کولتار حذف شده است، دوماً پلی اورتان در یک لایه بکار برده می شود (بدون پرایمر) و مستقیماً با اسپری اتوماتیک به بدنه بلاست شده لوله اعمال شده و سرعت اجرای پلی اورتان نسبت به کولتار اپوکسی ۵ تا ۱۰ برابر می باشد. بازرسان گزارش کردند ۲۰۰۰ مایل خط لوله از بیرمنگهام و آلاباما تا سان دیه گو با پلی اورتان بدون کوچکترین آسیبی پوشش داده شده اند.

خط لوله گاز Maljamar

در سال ۱۹۸۸ جهت حفاظت ۴،۵ مایل خط لوله ۶ اینچی که گاز را از حوزه Maljamar و نیو مکزیکو برای شرکتهای بزرگ نفت و گاز انتقال می دادند، پوشش پلی اورتان ۱۰۰ درصد جامد بکار برده شد. مهندسین پس از بازرسی خط لوله گزارش دادند، خط از نظر حفاظت خوردگی همانند روز اول و زمان نصب است. لوله ها به ضخامت ۴۵۰ میکرون در کارخانه ای در Odessa , TX ساخته شده سپس به Maljamar منتقل گردیده و در عمق یک متری زمین نصب شدند.

پلی اورتانهای سنگین با درجه بالای مقاومت در برابر ضربه و سایش، میزان پوشش و پارگی را در طی حمل و نقل و نصب به حداقل رسانیده اند.

بر خلاف کولتاراپوکسی و نوار Wrapping در معرض آفتاب داغ نئومکزیکو، برای چند هفته در طول نصب، بر روی خواص پلی اورتان اثر بدی مشاهده نشد.

در خلال بهار ۱۹۸۶ نیروی دریایی آمریکا در حدود 200,000 فوت مربع ستونهای استیل را با پلی اورتان و لوله ها را با کولتاراپوکسی پوشش داده و بکار گرفتند. هر دو بخش عملیات مطابق با استاندارد ۳۰۲۰-۸۱-۶۸-۰۹۸۵۰۵ Sec انجام گرفتند. ستونها توسط کارخانه ای در پنسیلوانا در بهار ۱۹۸۶ تولید شدند و توسط شرکت ساخت کارولینای جنوبی در پاییز همان سال نصب گردیدند.

در مجموع نتایج تست پلی اورتان بسیار عالی بودند. پلی اورتان هیچگونه ترک، شکستگی، شکاف و یا دو پوستگی را پس از تست ۵ ساله سایش و اسپری نمک و جزر و مد را از خود نشان نداد. سطح وسیعی از پلی اورتان کمترین مقدار آلودگی را در اثر چسبیدن صدف از خود نشان می داد که آن هم به راحتی قابل کندن بود و نواحی که در اثر ضربه ابزار تیز و برنده، پوشش کننده شده و منجر به خوردگی شده دیگر پیشروی خوردگی دیده نمی شود. در مقابل کولتار اپوکسی در نواحی بسیار زیادی تاول زده و دو پوسته شده بود. صدف در نواحی زیاد به پوشش چسبیده و جدا کردن آنها بسیار دشوار بود.

نتیجه گیری

۱- از پوشش پلی اورتان با جامد ۱۰۰٪ برای پوشش دهی لوله های فولادی صنایع نفت، گاز و پتروشیمی استفاده می شود که با مقاومت به خوردگی بالا از تخریب این تجهیزات جلوگیری به عمل می آورد.

۲- استفاده از پوشش پلی اورتان خطرناک نمی باشد و از لحاظ ایمنی کاملاً مناسب است.

۳- با توجه به نتایج آزمایشهای انجام شده این پوشش مطابق با استانداردهای جدید DIN و ASTM از لوله ها محافظت به عمل می آورد.

۴- پوشش پلی اورتان با جامد ۱۰۰٪ در محیط های اسید ضعیف و متوسط، باز ضعیف و متوسط و نمک ها بخوبی قابل استفاده است.

- [1]- G. Oertel, Polyurethane Handbook, Hanser Publishers, New York, 1985.
- [2]- American Society for Testing and Materials, Vol.:12, Philadelphia, 1976.
- [3]- Sherri. L. Bassner, New Polyurethane Prepolymers for Ultra-Low VOC Plural Component Coatings, Air Products and Chemicals, Inc, 1995.
- [4]- D.K. Chattopadhyay, Aswini K. Mishra, B. Sreedhar and K.V.S.N. Raju, Thermal and viscoelastic properties of polyurethane-imide/clay hybrid coatings, Polymer Degradation and Stability, Volume 91, Issue 8, August 2006.
- [5]- J. Kramer and S. L. Bassner, Modern Paint and Coatings, Painting and Coatings Industry. August, 1994.
- [6]- M. Manea, Polyurethane Dispersion Process by Hydrophilic Monomer Dissolution, European Coatings Conference, Germany, 2006.
- [7]- Woods, G., The ICI Polyurethanes Book, (John Wiley and Sons, New York, 1987), p.8
- [8]- Buist, J.M., Developments in Polyurethanes (Applied Science Publishers, London, 1978), p.67.
- [9]- Underwriters' Laboratories of Canada, "Report on Corrocote Protective Coatings for Underground Steel Tanks", (Scarborough, ON, 1975).
- [10]- Steel Tank Institute, "Underground Tank Design", Tank Talk - March, 1993, (Lake Zurich, IL, 1993)
- [11]- Houston, R.A., Scarvie, G.S., "Gas Company of New Mexico vs. Cook Paint, Lilly Industries, 3M et al", Second Judicial District Court of New Mexico, (Bernalillo, NM, 1994)