



تشخیص آلرژن های غذایی نظیر گلوتن با استفاده از روش واکنش زنجیره ای پلیمرز در زمان واقعی

تقویت شبکه آزمایشگاهی با تقویت روابط و همکاری آزمایشگاهها در استانها

بهره‌مندی مراکز عضو شبکه آزمایشگاهی از اعتبار مالیاتی



مدیریت کارایی دارایی‌های آزمایشگاه



تخمین عمر باقیمانده لوله‌های فولادی به کار گرفته شده در صنایع پالایشگاهی



بررسی و شبیه‌سازی آنالیز تخریب زانویی ۹۰ درجه



معرفی دستگاه طیف‌سنج جرمی نسبت ایزوتوپی و کاربرد ایزوتوپ‌های پایدار در ردیابی و کنترل اصالت مواد غذایی



تعیین مقدار کمی ترکیبات هیدروکربن مایع: مقایسه بین کروماتوگرافی گازی - طیف‌سنجی فرابنفش خلاء و کروماتوگرافی گازی دو بعدی

نویسندگان

حسین محمدی^{۱*}آرزو باباییان^۲، مازیار نادر اصلی^۳

۱. کارشناس خوردگی شرکت آزمون فولاد
۲. کارشناس خوردگی آزمایشگاه شرکت آزمون فولاد
۳. مدیر بازرسی فنی شرکت آزمون فولاد

* Hosseinmohammadi528@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲

تخمین عمر باقیمانده لوله‌های فولادی ASTM A106 grade B به کار گرفته شده در صنایع پالایشگاهی



واژه‌های کلیدی

تخمین عمر، لوله‌های انتقال سیال، ضخامت‌سنجی، سرویس‌دهی، ضریب اطمینان.

چکیده

در این پژوهش، به بررسی و تخمین عمر باقیمانده لوله‌های فولادی ASTM A106 grade B پرداخته شده است. لوله‌های مورد بررسی به مدت ۷ سال در دمای ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد و فشار کاری ۶۱ بار مورد استفاده قرار گرفته‌اند و سیال داخل آن بیشتر، متان بوده است. به‌منظور تخمین عمر، آزمون‌هایی از قبیل: ضخامت‌سنجی، آنالیز ترکیب شیمیایی، بررسی ریزساختار میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی - طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس، آزمون کشش در دمای محیط و دمای بالا و آزمون ماکروسختی صورت گرفت. براساس نتایج حاصل شده، تمامی موارد، دارای ریزساختار فریت-پرلیت بوده‌اند و کاهش قابل ملاحظه‌ای در ضخامت نمونه‌های مورد بررسی مشاهده نشده است. علاوه بر آن، با توجه به شرایط عملیاتی حاضر، برای استفاده به مدت ۷ سال دیگر با ضریب اطمینان ۹۹/۴، لوله‌ها از شرایط خوبی برای بهره‌برداری برخوردار هستند.

مقدمه

لوله‌ها به‌عنوان پرکاربردترین تجهیزات در انتقال مواد، انرژی و غیره شناخته می‌شوند. به دلیل نقش اساسی این لوله‌ها، تخریب آنها در صنایع گوناگون منجر به خسارات متعددی می‌شود. امروزه رفته‌رفته با افزایش قدمت صنایع پالایشگاهی پیش‌بینی عمر باقیمانده لوله‌های موجود، اهمیت پیدا کرده است. یکی از روش‌های کاهش خسارات ناشی از تخریب ناگهانی خطوط لوله گاز و نفت، تخمین عمر باقیمانده لوله‌های فولادی به کار گرفته شده در خط لوله است. به‌منظور جلوگیری از خسارات اقتصادی، زیست‌محیطی و جانی ناشی از تخریب و از کارافتادگی خط لوله، استفاده از روش‌هایی در راستای تخمین عمر مفید سرویس‌دهی خطوط لوله در مواجهه با پدیده‌هایی چون خوردگی، اکسیداسیون و سایش به‌منظور تعمیر و جایگزینی این خطوط از اهمیت بالایی برخوردار است. به‌طور معمول، لوله‌های مورد استفاده در صنایع به دلیل مواجهه با پدیده خوردگی، دچار کاهش ضخامت، کاهش استحکام مکانیکی، کاهش سختی و اکسیداسیون سطحی می‌شوند و این پدیده می‌تواند منجر به تخریب لوله‌ها شود. بنابراین، تخمین عمر باقیمانده لوله‌ها و بررسی اثرات ناشی از خوردگی پیش از پیش‌حائز اهمیت است. براساس مطالعات گوناگون، خوردگی منجر به تخریب در لوله‌ها می‌شود.

لوله‌ها با قرارگیری در معرض خوردگی، دچار کاهش استحکام می‌شوند. به همین دلیل، بررسی خواص کششی در این لوله‌ها نیز حائز اهمیت است؛ از طرف دیگر، به دلیل قرارگیری این لوله‌ها در دمای بالا، بررسی خواص مکانیکی در دمایی نزدیک به دمای کاری، می‌تواند اطلاعات بسیاری مفیدی به‌منظور پیش‌بینی عمر باقیمانده لوله‌ها ارائه دهد.

در پژوهشی، چین و همکاران [۱] به استفاده از روش‌های استاتیک برای محاسبه نرخ خوردگی در لوله‌های صنایع پتروشیمی پرداختند. در راستای بررسی ضخامت لوله‌ها، استفاده از گیج نقطه‌ای التراسونیک در دستور کار قرار گرفت. با داده‌های حاصل از اندازه‌گیری ضخامت، ضخامت باقیمانده لوله‌ها، نرخ خوردگی و عمر باقیمانده لوله‌ها محاسبه شد. در پژوهش دیگری، چین و چن [۲] به بکارگیری روش‌های استاتیک برای پایش شرایط لوله‌ها در فرآیندهای پتروشیمی پرداختند. در این پژوهش نیز از ضخامت‌سنجی نقطه‌ای التراسونیک در راستای بررسی شرایط کاهش ضخامت لوله‌ها استفاده شد. همچنین، بابی و همکاران [۳] به اندازه‌گیری نرخ خوردگی و عمر باقیمانده لوله‌های مورد استفاده در صنایع نفت و گاز، بر طبق استانداردهای API و ASME پرداختند. براساس ASME B31 ضخامت باقیمانده در لوله‌ها اندازه‌گیری شد و با استفاده از ضخامت باقی‌مانده و ضخامت فعلی در ابتدا نرخ خوردگی و سپس عمر باقیمانده به دست آمد. در پژوهش دیگری، آنتونو و همکاران [۴] به بررسی آنالیز تخریب لوله‌های ASTM A106 به کار گرفته شده در صنایع نفتی پرداختند. براساس نتایج حاصل شده، در نزدیکی اتصالات، نشتی‌هایی وجود دارد که از سطوح داخلی، جوانه‌زنی کرده‌اند. علاوه بر آن، پس از رسوب‌زدایی از سطح داخلی، کاهش ضخامت‌های موضعی در نمونه مشاهده شد. وجود مقادیری سولفور، سولفور آهن و کربنات آهن، نشان از وقوع پدیده خوردگی میکروبی بوده است. در پژوهش دیگری، نصر آزادانی و همکاران [۵] به آنالیز تخریب لوله‌های مجزاکننده API 5L grade B پرداختند. در این پژوهش، لوله‌های مورد بررسی در معرض دمای ۱۲۰ تا ۱۹۰ درجه فارنهایت قرار داشتند و غلظت سولفید هیدروژن بین ۳۵۰ ppm تا ۱۰۰۰ ppm گزارش شد. براساس مطالعات صورت گرفته، دلیل اصلی تخریب در این لوله‌ها، خوردگی حفره‌ای شدید به دلیل قرارگیری در معرض حمله کلریدی است. تاوازر و همکاران [۶] به برون‌یابی علل تخریب لوله‌های تولید آب از مجزاکننده‌های نفتی به دلیل خوردگی موضعی داخلی پرداختند. غلظت یون متغیر حاصل از تولید آب، به‌عنوان علت اصلی خوردگی موضعی در راستای طول جوش ایجاد شده در این لوله‌ها، گزارش شد. علاوه بر آن، وجود مقادیر بالای آخال‌ها در ریزساختار، منجر به تخریب زودرس در این لوله‌ها می‌شود؛ به همین دلیل، بررسی ریزساختار و حذف آخال‌ها در این لوله‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است.

در این پژوهش با استفاده از آزمون‌هایی از قبیل ضخامت‌سنجی، آنالیز ترکیب شیمیایی، بررسی ریزساختار میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی - طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس، آزمون کشش در دمای محیط و دمای بالا و آزمون ماکروسختی به تخمین عمر باقیمانده لوله‌های فولادی API 106 grade B [۷] پرداخته شد.

□ مواد و روش تحقیق

در این پژوهش در راستای مطالعات تخمین عمر باقیمانده لوله‌های فولادی API 106 grade B به کار گرفته شده در صنایع پالایشگاهی، ۴ نمونه لوله که دو نمونه P.1 و P.2 دارای fin (سطح اضافه) و نمونه‌های P.3 و P.4 بدون fin بوده‌اند، مورد بررسی و مطالعه قرار گرفتند. در شکل (۱) تصاویری از نمونه‌های مورد بررسی نشان داده شده است. براساس تصاویر موجود، در سطح لوله‌ها، پدیده‌های اکسیداسیون و کربورازسیون رخ داده است که با محصولات خوردگی حاصل از آن روی سطح مشاهده می‌شود. در جدول (۱)، چگونگی نمونه‌برداری از هر نمونه ارائه شده است.

جدول (۱): نمونه‌برداری از نمونه‌های مورد بررسی.



شکل (۱): تصاویری از نمونه‌های مورد بررسی. (الف): نمونه P.1. (ب): نمونه P.2. (ج): نمونه P.3. (د): نمونه P.4.

به‌منظور بررسی کاهش ضخامت موجود در نمونه‌ها، ضخامت‌سنجی با استفاده از دستگاه ضخامت‌سنج التراسونیک^۱ صورت گرفت. در راستای بررسی شیمیایی، ترکیب شیمیایی نمونه‌ها، براساس استاندارد ASTM E415 [۸] و با استفاده از دستگاه کوانتومتری طیف‌سنجی نشر جرقه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. ریزساختار نمونه‌های ارسالی، پس از آماده‌سازی و اچ، براساس استاندارد ASTM E3 [۹] و ASTM

مناطق نمونه‌برداری شده

موقعیت	نمونه‌ها			
	P.1	P.2	P.3	P.4
ابتدای نمونه	P.11	P.21	P.31	P.41
میانه نمونه	P.12	P.22	P.32	P.42
انتهای نمونه	P.13	P.23	P.33	P.43

نتایج

□ ضخامت‌سنجی

به‌منظور بررسی ضخامت کاهش‌یافته در نمونه‌های مدنظر، آزمون ضخامت‌سنجی روی نمونه‌ها صورت گرفت. در جدول (۴) نتایج حاصل از آزمون ضخامت‌سنجی روی نمونه‌ها، نشان داده شده‌است. براساس نتایج حاصل شده، در نمونه‌های P.1 و P.2 به دلیل وجود fin، ضخامت میانگین بیشتری به‌دست آمده است. از طرف دیگر، براساس Sch:80, ASTM A106, Gr. B, Without Fin، ضخامت اولیه در حدود ۸/۵۶ میلی‌متر است؛ بنابراین، کاهش ضخامت قابل ملاحظه‌ای در نمونه‌ها مشاهده نشد و کمترین ضخامت اندازه‌گیری شده ۸/۱ میلی‌متر گزارش شده است.

جدول (۴): نتایج حاصل از آزمون ضخامت‌سنجی روی نمونه‌های مورد بررسی.

اندازه‌گیری ضخامت فلز											
میانگین	نقطه ۱۰	نقطه ۹	نقطه ۸	نقطه ۷	نقطه ۶	نقطه ۵	نقطه ۴	نقطه ۳	نقطه ۲	نقطه ۱	نمونه
۹/۴۷	۹/۷	۹/۵	۹/۵	۹/۴	۹/۳	۹/۳	۹/۴	۹/۳	۹/۴	۹/۴	P1
۹/۲۵	۹/۳	۹/۴	۹/۴	۹/۲	۹/۱	۹/۲	۹/۲	۹/۱	۹/۰	۹/۴	P2
۸/۴۳	۸/۶	۸/۳	۸/۵	۸/۴	۸/۱	۸/۵	۸/۷	۸/۴	۸/۲	۸/۶	P3
۸/۴۲	۸/۳	۸/۴	۸/۵	۸/۶	۸/۴	۸/۴	۸/۲	۸/۵	۸/۵	۸/۴	P4

□ آنالیز شیمیایی

به‌منظور بررسی ترکیب شیمیایی، آزمون کوانتومتری روی تمامی نمونه‌ها، انجام شد. نتایج حاصل از آزمون در جدول (۵) نشان داده شده‌است. براساس نتایج حاصل از آزمون کوانتومتری، هر چهار نمونه با الزامات استاندارد ASTM A106 grade B، مطابقت دارد.

E407 [۱۰]، با استفاده از میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین براساس استاندارد ASTM A370 [۱۱]، از هر کدام از لوله‌ها، (۳) نمونه از نواحی مختلف، برای آزمون کشش در دمای محیط و براساس استاندارد ASTM E8/E8M [۱۲] از هر کدام از لوله‌ها، یک نمونه در دمای کاری ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد، در معرض آزمون کشش گرم قرار گرفتند. آزمون ماکروسختی نیز براساس استاندارد ASTM E10 [۱۳] روی نواحی مختلف لوله‌ها انجام شد.

□ پس‌زمینه

با توجه به اطلاعات موجود، جنس تمامی لوله‌ها از ASTM A106 grade B بوده و لوله‌ها به مدت ۷ سال در شرایط سرویس‌دهی و دمای کاری آنها، حدود ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد است. فشار داخلی آنها در شرایط کاری در حدود ۶۱ بار گزارش شد. در جدول (۲)، شرایط ترمودینامیکی سیال موجود در لوله‌ها ارائه شده‌است. در جدول (۳)، نتایج حاصل از بررسی ترکیب شیمیایی سیال موجود در لوله‌ها نشان داده شده‌است. بر همین اساس، بیشترین میزان فاز موجود در سیال، متان است.

جدول (۲): شرایط ترمودینامیکی سیال مورد بررسی.

شرایط ترمودینامیکی سیال					
کسر مولی بخار	آنتالپی	وزن ملکولی	فشار (بار)	سانتیگراد (درجه دما)	نرخ کل (کیلوگرم مول در ساعت)
۱۷/۱۴۹	۸/۲۵۳۶	۱۸/۵۴۴۸	۶۱	۲۸۰	۱۷/۹۷۸

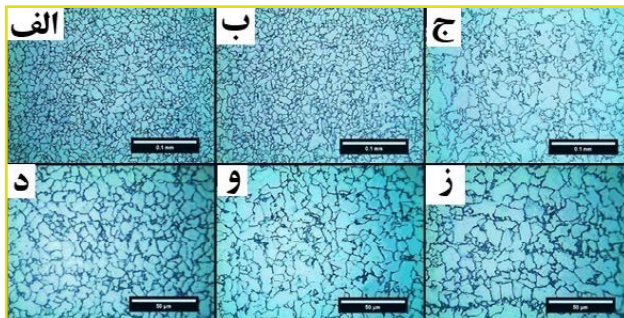
جدول (۳): بررسی ترکیب شیمیایی سیال موجود در لوله‌ها.

فازهای بخار						
C6 CUT	پوتان	پروپان	اتان	متان	پنتان	دی‌اکسید کربن
۲/۴۵۷۳	۱۷/۱۴۹	۳۶/۶۶۲	۹۹/۴۰۸	۱۵۵۵/۴۱۷	۶/۱۰۳	۱۴/۳۸۸۹
بخار خشک						
نیترژن						
۶۳/۵۱۵۸						
سیال						

جدول (۵): نتایج حاصل ترکیب شیمیایی نمونه‌ها از آزمون طیف‌سنجی نشر جرقه‌ای.

نمونه	ترکیب شیمیایی لوله ASTM A106 grade B										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Ti	Fe
ASTM A106 grade B	>۰/۳۰	<۰/۱۰	۲۹/۰۶ ۰/۱	>۰/۰۳۵	>۰/۰۳۵	>۰/۴۰	>۰/۱۵	>۰/۴۰	>۰/۴۰	-	Rem
نمونه P.1	۰/۱۲۲	۰/۲۳۶	۰/۹۳۱	۰/۰۱۵۰	۰/۰۰۴	۰/۰۴۲	۰/۰۰۱۹	۰/۰۳۴	۰/۰۱۹	۰/۰۰۴۸	Rem
نمونه P.2	۰/۱۱۵	۰/۲۲۶	۰/۹۶۳	۰/۰۱۵۶	۰/۰۰۴	۰/۰۴۷	۰/۰۰۱۸	۰/۰۴۴	۰/۰۲۳	۰/۰۰۳۴	Rem
نمونه P.3	۰/۱۲۵	۰/۲۴۶	۰/۹۴۴	۰/۰۱۵۷	۰/۰۰۴	۰/۰۴۲	۰/۰۰۱۷	۰/۰۳۵	۰/۰۱۸	۰/۰۰۳۶	Rem
نمونه P.4	۰/۱۶۷	۰/۲۱۸	۰/۹۷۲	۰/۰۰۹۶	۰/۰۰۵	۰/۰۵۱	۰/۰۰۵۱	۰/۰۳۷	۰/۰۱۶	۰/۰۰۱۴	Rem

در شکل (۳)، تصاویر حاصل از میکروسکوپ نوری به‌منظور بررسی ریزساختار در سه ناحیه گفته شده نشان داده شده‌است. همان‌طور که مشخص است، ریزساختار در این نمونه نیز شامل فریت روشن رنگ و پرلیت تیره رنگ است با این تفاوت که فاز پرلیت موجود در آن، توزیع یکنواخت‌تری دارد و پدیده باندینگ رخ نداده است.

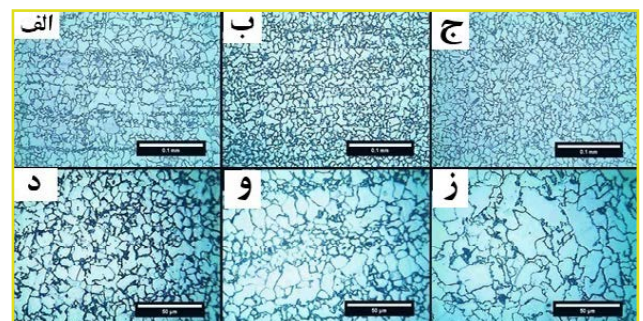


شکل (۳): تصاویر ریزساختار گرفته شده با میکروسکوپ نوری از نواحی مختلف نمونه P.2. (الف): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. (ب): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. (ج): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. (د): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر. (و): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر. (ز): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر.

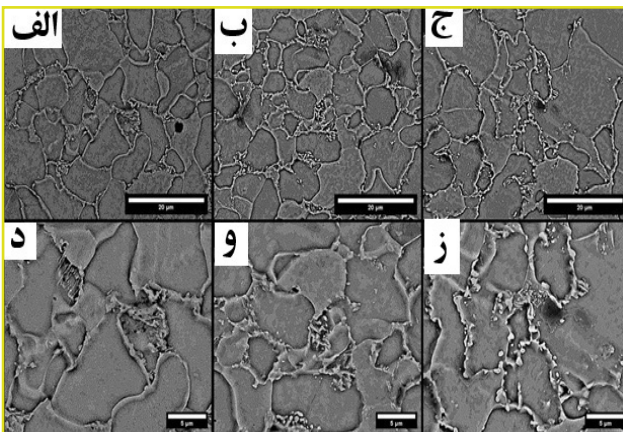
در شکل (۴)، تصاویر ریزساختار نمونه P.3 حاصل از میکروسکوپ نوری، نشان داده شده‌است. براساس تصاویر، ریزساختار شامل فاز روشن فریت و فاز تیره پرلیت است. با توجه به شکل (۴-ز)، پرلیت‌های موجود در این ریزساختار خشن‌تر هستند و لایه‌های سمنتیت موجود در پرلیت، قابل مشاهده‌اند. علاوه‌بر آن، لازم به ذکر است که کشیدگی در دانه‌ها و جهت‌گیری فاز پرلیت نیز در ساختار وجود دارد، این امر نشان‌دهنده پدیده باندینگ در لوله مورد بررسی است.

▣ بررسی به‌وسیله میکروسکوپ نوری

به‌منظور بررسی ریزساختار فولاد، از سه ناحیه ابتدا، اواسط و انتهای هر لوله، نمونه‌هایی تهیه شد. در شکل (۲) تصاویر حاصل از ریزساختار نمونه P.1 نشان داده شده‌است. براساس تصاویر موجود، ریزساختار شامل فاز پیوسته فریت به همراه مقدار اندکی فاز پرلیت است. فاز فریت به‌صورت رنگ روشن و فاز پرلیت به‌صورت رنگ تیره در ریزساختار وجود دارد. همان‌طور که نشان داده شده‌است، در برخی از نواحی لوله، تجزیه پرلیت صورت گرفته است و درصد فاز پرلیت در ریزساختار کاهش یافته است. علاوه‌بر آن، در ساختار، کشیدگی‌هایی وجود دارد که این موارد مشخص‌کننده فرآیند تولید و یا انجام کار مکانیکی روی لوله‌ها است. این پدیده با عنوان باندینگ شناخته می‌شود.

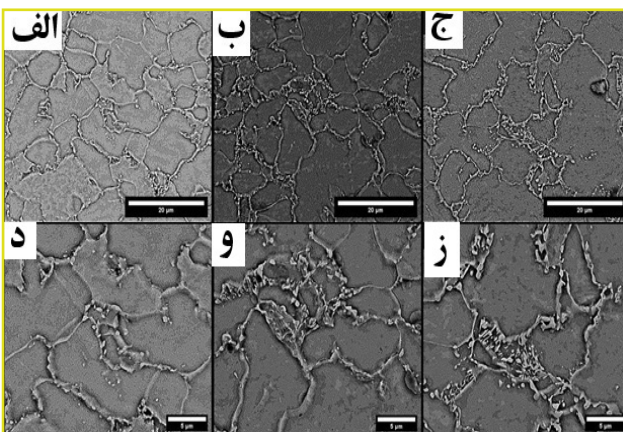


شکل (۲): تصاویر ریزساختار گرفته شده با میکروسکوپ نوری از نواحی مختلف نمونه P.1. (الف): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. (ب): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. (ج): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. (د): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر. (و): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر. (ز): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر.



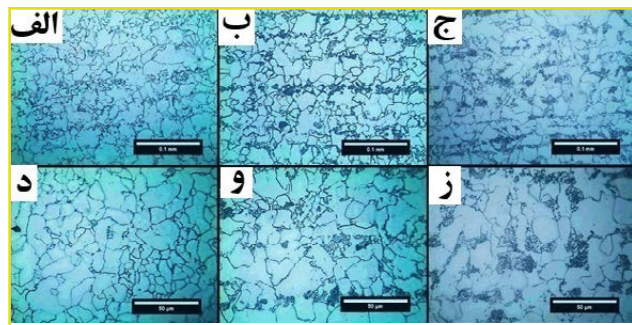
شکل (۶): تصاویر ریزساختار گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی از نواحی مختلف نمونه P.1. (الف): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر. (ب): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر. (ج): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر. (د): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر. (و): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر. (ز): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر.

در شکل (۷)، تصاویر ریزساختار گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی از نواحی مختلف نمونه P.2 نشان داده شده است. براساس تصاویر، ریزساختار شامل دو فاز فریت و پرلیت بوده که سمیتیت موجود در پرلیت در برخی نواحی، از حالت سوزنی شکل خارج شده و به صورت کروی شکل در آمده است.



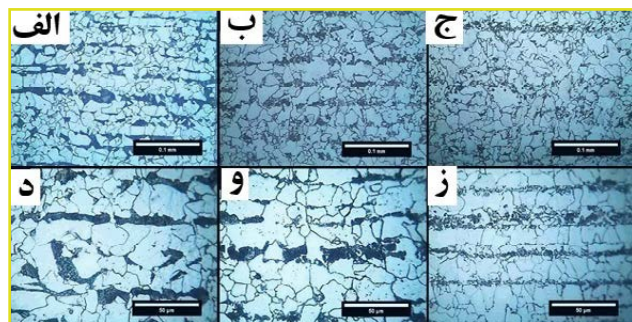
شکل (۷): تصاویر ریزساختار گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی از نواحی مختلف نمونه P.2. (الف): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر. (ب): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر. (ج): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر. (د): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر. (و): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر. (ز): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر.

در شکل (۸)، تصاویر ریزساختار گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی از نواحی مختلف نمونه P.3 نشان داده شده است. براساس تصاویر موجود، تجزیه پرلیت به خوبی نشان داده شده است. در این نمونه، سمیتیت موجود در پرلیت دیگر به صورت سوزنی شکل نبوده و به صورت کروی شکل در آمده‌اند.



شکل (۴): تصاویر ریزساختار گرفته شده با میکروسکوپ نوری از نواحی مختلف نمونه P.3. (الف): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. (ب): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. (ج): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. (د): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر. (و): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر. (ز): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر.

در شکل (۵)، تصاویر میکروسکوپ الکترونی حاصل از ریزساختار نمونه P.4 نشان داده شده است. براساس تصاویر موجود، ریزساختار شامل فاز فریت به عنوان فاز پیوسته و پرلیت به صورت کشیده است. کشیدگی در ساختار به خوبی قابل مشاهده است و می‌تواند به دلیل انجام کار مکانیکی باشد. علاوه بر آن، پرلیت موجود در ریزساختار به صورت کلونی‌های درشت دانه وجود دارند.



شکل (۵): تصاویر ریزساختار گرفته شده با میکروسکوپ نوری از نواحی مختلف نمونه P.4. (الف): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. (ب): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. (ج): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۲۰۰ برابر. (د): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر. (و): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر. (ز): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر.

■ بررسی به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی

در راستای بررسی ریزساختار، نمونه‌هایی از نواحی ابتدا، وسط و انتهای هر لوله با میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد مطالعه قرار گرفت. در شکل (۶) تصاویر ریزساختار گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی از نواحی مختلف نمونه P.1 نشان داده شده است. براساس تصاویر موجود، ریزساختار شامل فریت و پرلیت بوده و تجزیه پرلیت نیز به خوبی قابل مشاهده است.

کشش در دمای محیط برای نمونه P.1 در جدول (۶) نشان داده شده است. براساس استاندارد مربوط به خواص مکانیکی ASTM A106 grade B، خواص کششی نمونه‌ها با الزامات استاندارد مدنظر مطابقت دارد.

جدول (۶): نتایج آزمون کشش در دمای محیط برای نمونه P.1.

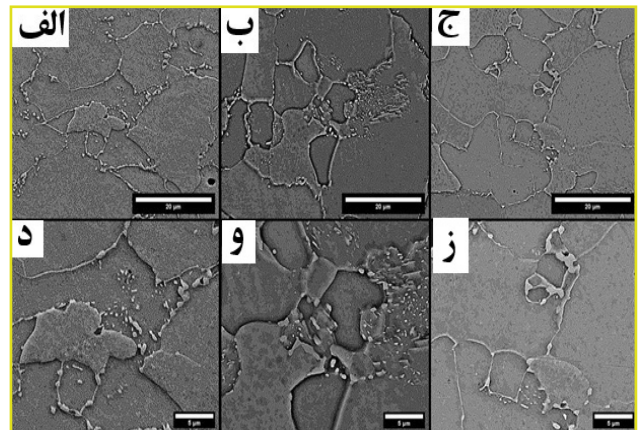
آزمون کشش در دمای محیط						
مشخصه نمونه	قطر نمونه (mm)	طول نمونه (mm)	کاهش سطح مقطع (درصد)	ازدیاد طول (درصد)	استحکام تسلیم (MPa) (Y.P)	استحکام تسلیم (MPa) (U.T.S)
P.11	۶/۲۳	۲۵/۰۱	۷۲/۵	۲۴/۷	۴۰۰	۵۱۹
P.12	۶/۲۴	۲۴/۸۳	۷۵/۶	۲۷/۹	۳۶۶	۵۲۷
P.13	۶/۲۴	۲۴/۸۳	۷۲/۹	۲۶/۷	۳۶۴	۵۰۹
Standard grade B				Min ۲۲	Min ۲۴۰	Min ۴۱۵

در جدول (۷) نتایج حاصل برای آزمون کشش در دمای محیط برای سه نمونه لوله P.2 نشان داده شده است. به طور کلی می‌توان گفت در این لوله نسبت به لوله P.1 خواص مکانیکی کاهش پیدا کرده است، با این وجود در این لوله نیز خواص کششی، با الزامات استاندارد مدنظر مطابقت دارد.

جدول (۷): نتایج آزمون کشش در دمای محیط برای نمونه P.2.

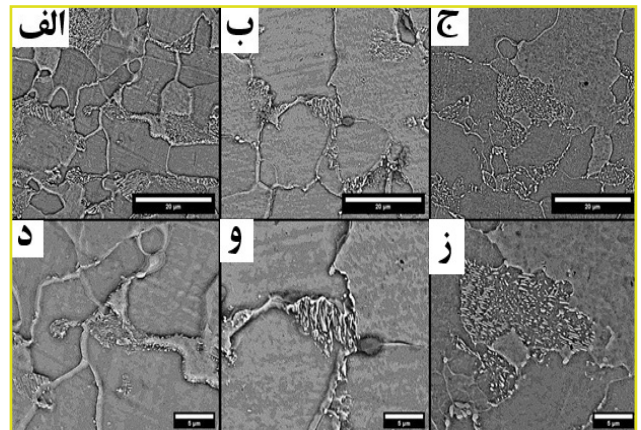
آزمون کشش در دمای محیط						
مشخصه نمونه	قطر نمونه (mm)	طول نمونه (mm)	کاهش سطح مقطع	ازدیاد طول	استحکام تسلیم (MPa) (Y.P)	استحکام تسلیم (MPa) (U.T.S)
P.21	۶/۲۸	۲۵/۰۲	۷۷/۶	۲۵/۸	۴۰۵	۴۹۵
P.22	۶/۲۷	۲۵/۰۱	۷۳/۲	۲۶/۴	۳۹۴	۵۱۴
P.33	۶/۲۷	۲۵/۱۰	۷۲/۳	۲۷/۳	۳۲۸	۵۱۰
Standard grade B				Min ۲۲	Min ۲۴۰	Min ۴۱۵

در جدول (۸)، نتایج آزمون کشش در دمای محیط برای نمونه P.3 نشان داده شده است. براساس نتایج در این نمونه، خواص کششی از دو لوله قبلی کمتر است. در این لوله نیز خواص کششی به دست آمده با الزامات استاندارد مدنظر مطابقت دارد.



شکل (۸): تصاویر ریزساختار گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی رویشی از نواحی مختلف نمونه P.3. (الف): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر. (ب): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر. (ج): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر. (د): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر. (و): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر. (ز): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر.

در شکل (۹)، تصاویر ریزساختار گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی رویشی از نواحی مختلف نمونه P.4 نشان داده شده است. براساس تصاویر موجود، ریزساختار، فریت و پرلیت است که سمنتیت سوزنی در ریزساختار به صورت واضح قابل مشاهده است. علاوه بر آن در شکل (۹-و) برخی فازهای ثانویه نیز مشاهده می‌شوند که می‌توانند مربوط به آخال‌هایی باشند که در فرآیند ساخت و تولید در ریزساختار ایجاد شده‌اند.



شکل (۹): تصاویر ریزساختار گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی رویشی از نواحی مختلف نمونه P.4. (الف): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر. (ب): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر. (ج): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر. (د): از ابتدای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر. (و): از اواسط نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر. (ز): از انتهای نمونه در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰ برابر.

■ کشش در دمای محیط

به منظور بررسی خواص مکانیکی لوله‌ها، از هر کدام از لوله‌ها، سه نمونه از ابتدا (۱)، وسط (۲) و انتها (۳) به منظور آزمون کشش در دمای محیط تهیه شد. نتایج حاصل از آزمون

جدول (۱۰): نتایج آزمون کشش برای نمونه‌ها در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد.

آزمون کشش در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد						
مشخصه نمونه	ابعاد نمونه (میلیمتر در میلیمتر)	طول گیج (میلیمتر)	S0 سطح مقطع (میلیمتر مربع)	افزایش طول (درصد)	استحکام تسلیم (MPa) (Y.P)	استحکام تسلیم (MPa) (U.T.S)
P.1	۵/۵۹ × ۶/۲۴	۲۵	۳۴/۸۸	۴۱	۳۰۵	۴۲۲
P.2	۵/۵۷ × ۶/۲۸	۲۵	۳۴/۹۸	۳۷	۲۹۵	۴۱۸
P.3	۵/۶۰ × ۶/۱۸	۲۵	۳۴/۶۱	۳۶	۲۸۶	۴۰۴
P.4	۵۸/۵ × ۲۵/۶	۲۵	۳۴/۸۸	۳۳	۳۱۷	۴۲۴

جدول (۸): نتایج آزمون کشش در دمای محیط برای نمونه P.3.

آزمون کشش در دمای محیط						
مشخصه نمونه	قطر نمونه (mm)	طول نمونه (mm)	کاهش سطح مقطع	ازدباده طول	استحکام تسلیم (MPa) (Y.P)	استحکام تسلیم (MPa) (U.T.S)
P.31	۸/۳۸	۴۹/۸۰	۷۰/۱	۳۲/۲	۲۹۶	۴۳۴
P.32	۸/۷۴	۴۹/۸۰	۶۹/۳	۳۲/۴	۳۱۵	۴۴۵
P.33	۸/۸۲	۴۹/۸۰	۶۹/۴	۳۴/۱	۳۰۷	۴۵۲
Standard grade B				Min ۲۲	Min ۲۴۰	Min ۴۱۵

در جدول (۹)، نتایج حاصل از آزمون کشش در دمای محیط برای نمونه P.4 نشان داده شده است. خواص کششی به دست آمده در این نمونه از خواص مکانیکی حاصل از نمونه P.3 بیشتر است ولی نسبت به دو نمونه P.1 و P.2 کمتر است. با وجود کاهش شدید در خواص کششی این نمونه، مقادیر گزارش شده با الزامات استاندارد مورد نظر مطابقت دارد و از لحاظ خواص مکانیکی مورد تایید است.

جدول (۹): نتایج آزمون کشش در دمای محیط برای نمونه P.4.

آزمون کشش در دمای محیط						
مشخصه نمونه	قطر نمونه (mm)	طول نمونه (mm)	کاهش سطح مقطع	ازدباده طول	استحکام تسلیم (MPa) (Y.P)	استحکام تسلیم (MPa) (U.T.S)
P.41	۸/۸۴	۴۹/۸۰	۶۶/۰	۳۶/۴	۳۱۹	۴۶۱
P.42	۸/۶۸	۴۹/۷۳	۶۷/۴	۳۴/۴	۳۳۸	۴۷۰
P.43	۸/۵۷	۵۰/۳۰	۶۷/۸	۳۳/۸	۳۳۹	۴۶۷
Standard grade B				Min ۲۲	Min ۲۴۰	Min ۴۱۵

□ ماکروسختی

در راستای بررسی سختی لوله‌های مورد مطالعه، آزمون ماکروسختی براساس استاندارد ASTM E10 روی سه ناحیه نمونه‌ها صورت گرفت و نتایج حاصل از آن در جدول (۱۱) ارائه شد. از هر لوله از سه ناحیه ابتدایی، وسط و انتهایی، نمونه‌هایی تهیه شد و روی سطح بیرونی، مرکز و سطح داخلی، آزمون ماکروسختی صورت گرفت. براساس نتایج حاصل شده، میانگین سختی نمونه‌ها بین ۱۳۶ تا ۱۴۹ برینل گزارش شد که کمترین مقدار سختی مربوط به سطح داخلی انتهایی لوله شماره چهار بوده است.

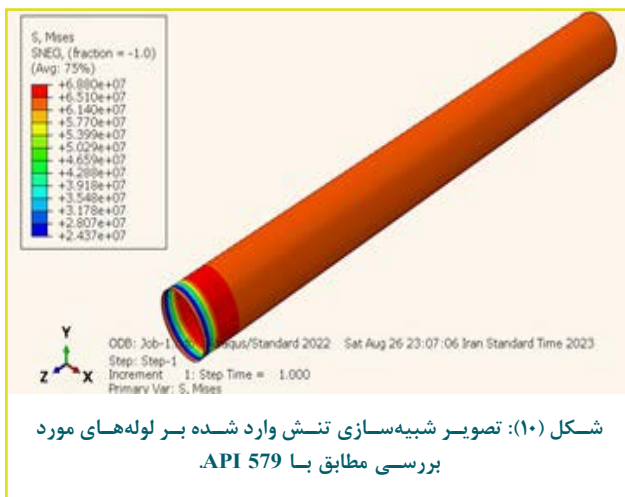
جدول (۱۱): نتایج حاصل از آزمون ماکروسختی روی نمونه‌ها در سه ناحیه ابتدایی (Zone 1)، وسط (Zone 2) و انتهایی (Zone 3).

سختی سنجی ماکروسکوپی نمونه‌ها												
موقعیت	AVG Hardness of P1			AVG Hardness of P2			AVG Hardness of P3			AVG Hardness of P4		
	P11	P12	P13	P21	P22	P23	P31	P32	P33	P41	P42	P43
سطح خارجی	۱۴۲	۱۴۱	۱۴۰	۱۴۲	۱۳۹	۱۳۹	۱۴۰	۱۴۲	۱۴۶	۱۴۹	۱۴۴	۱۴۶
مرکز	۱۴۴	۱۴۴	۱۴۴	۱۴۵	۱۴۷	۱۴۲	۱۴۵	۱۴۳	۱۴۹	۱۴۹	۱۴۶	۱۴۶
سطح داخلی	۱۴۳	۱۴۰	۱۳۹	۱۴۱	۱۴۴	۱۴۶	۱۳۹	۱۴۱	۱۴۵	۱۴۸	۱۴۵	۱۳۶

□ کشش در دمای بالا

به منظور بررسی خواص مکانیکی در دمای بالا، آزمون کشش در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد که نزدیک به دمای سرویس‌دهی نمونه است، صورت گرفت. در جدول (۱۰) نتایج حاصل از این آزمون نشان داده شده است. بیشترین استحکام تسلیم و استحکام کششی مربوط به لوله P.4 بوده و کمترین مقادیر نیز مربوط به لوله P.3 است.

کشش در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد، استحکام تسلیم تمامی لوله‌ها در حدود ۳۰۰ مگاپاسکال گزارش شده‌است. بنابراین، تنش وارد شده خیلی کمتر از تنش تسلیم است و لوله‌های مورد بررسی تا ۷ سال آینده با ضخامت ۷/۱۹ اثرات مخرب و ناگهانی نخواهند داشت و شرایط سرویس‌دهی در آن‌ها از ضریب اطمینان خوبی برخوردار است. در شکل (۱۰)، تنش محاسبه شده از طریق شبیه‌سازی مطابق با استاندارد API 579 [۱۸] نشان داده شده‌است. براساس نتایج، تنش محاسبه شده برابر با ۶۸ مگاپاسکال خواهد بود.



شکل (۱۰): تصویر شبیه‌سازی تنش وارد شده بر لوله‌های مورد بررسی مطابق با API 579.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به بررسی و تخمین عمر باقیمانده لوله‌های فولادی ASTM A106 grade B پرداخته شده‌است. نتایج حاصل از این بررسی عبارتند از:

- ضخامت لوله‌ها نسبت به شرایط استاندارد، ۸/۵۶ میلی‌متر، کاهش قابل ملاحظه‌ای نداشته و کمترین ضخامت اندازه‌گیری شده برابر ۸/۱ میلی‌متر است.
- ترکیب شیمیایی نمونه‌های مورد بررسی مطابق با ASTM A106 grade B است.

- ریزساختار نمونه‌های مورد بررسی به صورت فریت - پرلیت است.

- لوله‌های مورد بررسی از نظر خواص کششی با الزامات ASTM A106 مطابقت داشتند.

- استحکام تسلیم لوله‌های مذکور در دمای ۲۵۰ به‌طور تقریبی، ۳۰۰ مگاپاسکال بود که نسبت به شرایط عملیاتی حاضر برای ۷ سال آینده دارای ضریب اطمینان ۴/۹۹ است.

- سختی لوله‌های مورد بررسی بین ۱۳۶ تا ۱۴۹ برینل است.

با توجه به بررسی‌های آزمایشگاهی، محاسبات و شبیه‌سازی انجام شده، نشان می‌دهد که نمونه‌های مورد بررسی برای ۷ سال آینده از شرایط خوبی برای بهره‌برداری برخوردار هستند و پیشنهاد می‌شود نمونه‌های مورد بررسی پس از ۷ سال مورد ارزیابی مجدد قرار گیرند.

بحث و بررسی

به‌منظور تخمین عمر باقیمانده در لوله‌های ASTM A106 grade B به کار گرفته شده در صنایع پالایشگاهی، نتایج حاصل از آزمون‌های انجام شده، مورد مقایسه قرار گرفت. یکی از پدیده‌های مخربی که در صنایع گوناگون منجر به تخریب قطعات می‌شود، پدیده خوردگی است [۱۴]. بر همین اساس، با استفاده از نرخ خوردگی و شبیه‌سازی می‌توان به اطلاعات مناسبی به‌منظور تنش‌های وارد بر لوله دست پیدا کرد. با در نظر گرفتن مدت زمان سرویس‌دهی لوله‌ها که ۷ سال بوده است، در طول مدت ذکر شده، با وجود اینکه کاهش ضخامت آنچنانی در نمونه مشاهده نشده‌است، طبق استاندارد API 570 [۱۵] و API 510 [۱۶] نرخ خوردگی براساس رابطه (۱) قابل اندازه‌گیری است:

$$\text{Corrosion Rate Long Time} = \frac{t(\text{nom}) - t(\text{act})}{I} \quad (1) \text{ رابطه (۱)}$$

که در آن:

$t(\text{nom})$: ضخامت اولیه، $t(\text{act})$: ضخامت فعلی و I : مدت‌زمان مورد بازرسی است.

لازم به ذکر است، به‌منظور کاهش خطر، حداقل ضخامت اندازه‌گیری شده در رابطه (۱) قرار گرفت. براساس محاسبات انجام شده، نرخ خوردگی ۰/۰۶۵ میلی‌متر بر سال گزارش شد. با استفاده از رابطه (۲)، ضخامت حاصل برای ۷ سال آینده نیز محاسبه شد.

$$t(\text{proj}) = t(\text{act}) - 2\text{Crate} \times I \quad (2) \text{ رابطه (۲)}$$

براساس رابطه (۲)، ضخامت برای ۷ سال آینده در حدود ۷/۱۹ میلی‌متر است.

براساس API 530 [۱۷] میزان تنش وارد بر لوله‌ها از رابطه (۳) قابل محاسبه است:

$$\sigma = \frac{P}{2[(D/t)-1]} \quad (3) \text{ رابطه (۳)}$$

که در آن:

σ : تنش وارد بر لوله‌ها برحسب مگاپاسکال، P : فشار کاری براساس مگاپاسکال، D : قطر خارجی و t : ضخامت براساس میلی‌متر است.

با در نظر گرفتن ضریب اطمینان ۱/۵ برای طراحی و با توجه به ضخامت به‌دست آمده برای ۷ سال آینده، با استفاده از رابطه (۴)، ضریب اطمینان حاصل می‌شود:

$$\text{CF} = \text{YS}/\sigma_{\text{mod}} = 300/60.07 = 4.99 \quad (4) \text{ رابطه (۴)}$$

براساس رابطه‌های (۳) و (۴)، در ۷ سال آینده، ضخامت در حدود ۷/۱۹ میلی‌متر خواهد شد که تنش وارده بر آن حدود ۶۰/۰۷ مگاپاسکال است. براساس نتایج حاصل از آزمون

1. The Check-Line TI-25LT Ultrasonic Steel Thickness Gauge

- [1] C.-H. Chien and C.-H. Chen, "Using Statistic Method to Calculating and Monitoring the Corrosion Rate of Petroleum Process Piping," in ASME Pressure Vessels and Piping Conference, 2006, vol. 47578, pp. 261-269
- [2] C.-H. Chien and C.-H. Chen, "Applying statistical methodology to monitor the piping conditions in petroleum process," Journal of Loss Prevention in the Process Industries, vol. 21, no. 4, pp. 450-460, 2008
- [3] N. V. Baby, B. Paricha, and S. J. Naik, "Determination of Corrosion rates and remaining life of piping using API and ASME standards in oil and gas industries," International Research Journal of Engineering and Technology, vol. 3, pp. 772-777, 2016
- [4] A. Antono, A. Irawan, and B. Munir, "The failure analysis of a leak-off oil pipe ASTM A106 on compact separator at an off-shore facility," in AIP Conference Proceedings, 2021, vol. 2338, no. 1: AIP Publishing
- [5] S. Nasrazadani, M. A. Akhtar, A. Patel, and C. Ezell, "Failure analysis of API 5L (grade B) oil field separator flowline pipe," Journal of Failure Analysis and Prevention, vol. 18, pp. 721-726, 2018
- [6] S. Tavares et al., "Investigation of the failure in a pipe of produced water from an oil separator due to internal localized corrosion," Engineering Failure Analysis, vol. 61, pp. 100-107, 2016.
- [7] C. N. Peroni et al., "ASTM A106/A53 Gr. B Carbon Steel Seamless Pipe," Clinics, vol. 67, no. 3, pp. 265-272, 2012
- [8] A. Standard, "E415-14: Standard Test Method for Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry," ASTM International, 2014.
- [9] ASTM Standard E3-11, Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens
- [10] ASTM E407-07, Standard Practice for Microetching Metals and Alloys
- [11] ASTM A370, Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products
- [12] ASTM E8/E8M, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials
- [13] ASTM E10, Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials
- [14] I. S. Cole, P. Corrigan, S. Sim, and N. Birbilis, "Corrosion of pipelines used for CO2 transport in CCS: Is it a real problem?," International Journal of Greenhouse Gas Control, vol. 5, no. 4, pp. 749-756, 2011.
- [15] API 570, Piping Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of Piping Systems
- [16] API 510, Pressure Vessel Inspection Code
- [17] API 530, Calculation of Heater-tube Thickness in Petroleum Refineries
- [18] API 579-1/ASME FFS-1, Fitness-For-Service.

Authors

Hossein Mohammadi^{1*}**Arzoo Babaeian²****Maziar Naderasli³****Hosseinmohammadi528@gmail.com**

1. Corrosion Specialist at Azmoune-Foulad Company
2. Corrosion Specialist at the Laboratory of Azmoune-Foulad Company
3. Technical Inspection Manager at Azmoune-Foulad Company



Estimation of Remaining Life of ASTM A106 Grade B Steel Pipes Used in Refinery Industries

Abstract

This research focuses on the investigation and estimation of the remaining life of ASTM A106 Grade B steel pipes. The examined pipes have been in service for 7 years at a temperature of 280 degrees Celsius and a working pressure of 61 bar, conveying mostly methane as the fluid. Various tests including thickness measurement, chemical composition analysis, examination of microstructure using optical microscopy and scanning electron microscopy-energy dispersive X-ray spectroscopy, tensile testing at ambient and elevated temperatures, and macrohardness testing were conducted to estimate the remaining life.

According to the obtained results, all samples exhibited a ferrite-pearlite microstructure, and no significant reduction in the thickness of the examined specimens was observed. Moreover, considering the current operational conditions, it is concluded that the pipes are in good condition for service for an additional 7 years with a confidence level of 4.99%.

Keywords

Fitness for service, Fluid Transmission Pipes, Thickness Measurement, Servicing, Reliability Coefficient.



Real-time PCR Analysis of Food Allergens and Gluten



Defining 'Performance' in Asset
Performance Management



Estimation of Remaining
Life of ASTM A106 Grade B
Steel Pipes Used in Refinery
Industries



Examination and Simulation of
Failure Analysis in 90-Degree
Elbow Joints



Quantification of the composi-
tion of liquid hydrocarbon
streams: Comparing the GC-VUV
to DHA and GCxGC



Introducing the isotope ratio
mass spectrometer and the
application of stable isotopes
in tracing and controlling the
authenticity of food