

مقایسه سطح شکست نمونه‌های آزمون ضربه

سقوطی و ضربه شاریبی در فولاد ترمومکانیکال

وجود هر نوع ترک در لوله‌های پرفشار انتقال گاز بالقوه خطرناک بوده و می‌تواند باعث انفجار گردد. بنابراین ایمنی سازه و مقاومت آن در مقابل رشد ترک نرم، اهمیت ویژه‌ای در طراحی خطوط لوله دارد. در تحقیق حاضر به منظور ارزیابی رفتار دینامیکی فولاد API X70 آزمون‌های ضربه شاریبی و ضربه سقوطی در دمای صفر درجه سانتی‌گراد روی نمونه‌های استاندارد انجام شد. نتایج حاصله نشان داد که درصد شکست نرم (برشی)، بعنوان مهم‌ترین شاخصه مقاومت فولاد تحت بارگذاری دینامیکی، در ضربه سقوطی حدود ۹۵٪ است. نمونه آزمون شاریبی با جذب انرژی ۲۵۶ ژول، دارای ۱۰۰٪ سطح شکست نرم بود. شکست نگاری نمونه‌ها نشان داد که شکست، از نوع دیمپلی و در اثر پیوند حفره‌های ریز در ماتریس ماده بوده است.

حمید خوانین^۱

کارشناسی ارشد

سیدحجت هاشمی^۲

استاد

واژه‌های راهنما: آزمون ضربه سقوطی، آزمون ضربه شاریبی، سطح شکست، شکست نگاری، فولاد API X70

۱- مقدمه

مصرف نفت در بخش صنعت در سال (۱۹۷۰) میلادی به بیشترین مقدار خود رسید. این میزان به تدریج کاهش پیدا کرد و جای خود را به گاز طبیعی داد. پیش‌بینی می‌شود مصرف گاز طبیعی با نرخ رشد میانگین ۳٪ برای هر سال، تا سال (۲۰۳۰) میلادی به حداکثر مقدار خود برسد. از آنجایی که منابع گاز طبیعی کشف شده در حال حاضر در مکان‌های دور قرار گرفته‌اند، استفاده از روش‌های انتقال گاز اجتناب ناپذیر می‌نماید. هم‌اکنون عمومی‌ترین و باصرفه‌ترین روش شناخته شده جهت انتقال گاز طبیعی از محل تولید به بازار مصرف (در حجم بالا به صورت بدون وقفه) استفاده از لوله‌های قطور فولادی می‌باشد. این لوله‌ها تا قبل از دهه (۱۹۷۰) با استفاده از فولادهای نورد گرم و نرمالیزه شده و پس از این زمان با استفاده از فولادهای تولید شده به روش کنترل ترمومکانیکال ساخته می‌شدند [۱]. در سال‌های اخیر، استفاده از فن‌آوری‌های جدید در روش ترمومکانیکال کنترل شده منجر به تولید ورق‌های فولادی با اضافه کردن میکروآلیاژهایی همچون وانادیوم و نیوبیم با مقدار پایین کربن گردیده است.

بیشتر خطوط لوله‌ی نصب شده در خارج از آب (لوله‌های ساحلی) خطوط لوله انتقال گاز هستند. بزرگ‌ترین خطری که ممکن است به وسیله خط لوله انتقال گاز ایجاد شود، آسیب‌هایی است که در اثر انفجار به وجود

^۱ نویسنده مسئول، کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند Hamidkhanin@yahoo.com

^۲ استاد، گروه پژوهشی مطالعات لوله و صنایع وابسته، دانشگاه بیرجند SHHashemi@Birjand.ac.ir

می‌آید. در سال (۱۹۵۰) چند شکست طولانی در خط لوله‌ای با قطر ۲۴ اینچ در هنگام آزمون با گاز در آمریکا اتفاق افتاد و به عنوان اولین موارد رشد شکست ترد گسترده در خط لوله ثبت گردید. در سال (۱۹۵۸)، ۵/۶ کیلومتر از یک خط لوله به قطر ۲۶ اینچ در ونزولا در اثر شکست ترد در هنگام آزمون با گاز (با وجود گذراندن موفق چند آزمون فشار) دچار خرابی شد. همچنین در اروپا ۱۸۰ متر از یک لوله دچار شکست ترد گردید. در سال (۱۹۶۰) مشهورترین مثال از خرابی لوله در شرکت لوله ترنس وسترن^۱ در نیومکزیکوی آمریکا روی داد که شکست ترد در یک خط لوله به قطر ۳۰ اینچ و از جنس فولاد^۲ API X56، تقریباً ۱۳ کیلومتر گسترش یافت. پس از این خرابی‌ها، اینکه کدام آزمون در مقیاس آزمایشگاهی می‌تواند در تشخیص شکست ترد طولانی در لوله استفاده شود، هدف پژوهش‌های بسیاری قرار گرفت [۲].

شکست‌های گسترده در دو نوع نرم و ترد (که هر دو برای لوله‌های انتقال گاز خطرآفرین هستند) تقسیم‌بندی می‌شوند. شکست ترد با سرعت بسیار زیادی حدوداً بین ۳۶۵ تا بیش از ۹۱۴ متر بر ثانیه در لوله گسترش می‌یابد. رشد ناگهانی و چندگانه شکست ترد در طول لوله در این حالت طبیعی است. معمولاً شکست ترد در لوله‌ها در اثر برهم کنش شکست و امواج تنش‌های الاستیک (حاصل از انفجار) با الگوی سینوسی گسترش می‌یابد. سطح شکست به جز لبه‌های باریک در داخل و خارج ضخامت لوله، نشان دهنده شکست ترد (کلیواژ) است و تغییر شکل مومسان کلی همراه با گسترش شکست وجود ندارد. بر خلاف شکست ترد، شکست نرم با سرعت کمتری حدوداً بین ۱۲۰ تا ۲۴۰ متر بر ثانیه گسترش می‌یابد. شکست در یک خط مستقیم در طول لوله و تنها در یک مد شکست پیشرفت می‌کند. سطح شکست در تمام ضخامت لوله از نوع برشی است و نازک شدن ضخامت به طور محلی مشاهده می‌شود [۲].

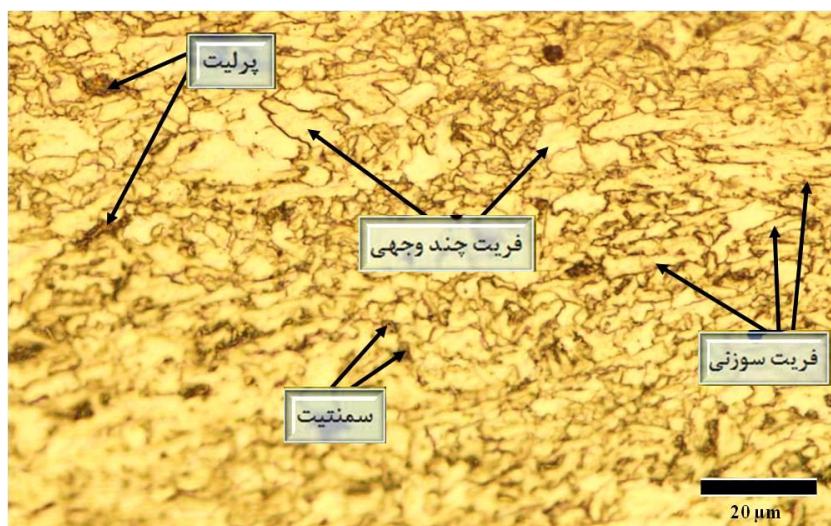
سرعت رشد ترک ناشی از انفجار، ظاهر سطح شکست، الگوی گسترش شکست و تعداد شکست‌ها همگی به میزان چقرمگی فولاد لوله بستگی دارند. اگر لوله دارای چقرمگی مناسب باشد، هر شکستی که در آن رخ دهد به سرعت متوقف خواهد شد. بدین منظور در حال حاضر انجام آزمون‌های ضربه شاریپی و ضربه سقوطی در دمای صفر درجه و تعیین انرژی شکست و درصد شکست برشی در استاندارد API مورد تاکید است [۳ و ۲]. از آنجا که بخش عمده‌ای از خطوط لوله انتقال گاز طبیعی از جنس فولاد API X70 می‌باشد، ضروری است در مورد این نوع فولاد اطلاعاتی نظیر خواص مکانیکی (استحکام تسلیم، استحکام کششی و حداکثر ازدیاد طول نسبی)، ترکیب شیمیایی، رفتار شکست و چقرمگی بدست آید و با استاندارد API مقایسه شود. به منظور ارزیابی رفتار دینامیکی فولاد API X70، آزمون‌های ضربه شاریپی و ضربه سقوطی روی نمونه‌های استاندارد انجام شد. در آزمون ضربه شاریپی انرژی لازم برای شکست نمونه استاندارد (حاوی شیار V شکل) و همچنین درصد سطح شکست برشی در مقطع شکست نمونه اندازه‌گیری می‌شود. در آزمون ضربه سقوطی سطح شکست نمونه استاندارد (با ضخامت کامل لوله و حاوی شیار V شکل) بررسی می‌شود. در این تحقیق نتایج حاصل از آزمون‌ها ارائه و با استاندارد API مقایسه خواهد شد. همچنین سطح شکست نمونه‌ها با استفاده از تصاویر شکست نگاری بحث و بررسی می‌گردد.

¹ Transwestern Pipeline Co.

² American Petroleum Institute

۲- معرفی فولاد مورد آزمایش

ماده مورد استفاده در این تحقیق لوله فولادی با قطر خارجی ۱۴۲۲ و ضخامت اسمی ۱۹/۸ میلی‌متر می‌باشد که به روش اسپیرال (مارپیچ) فرم دهی شده و به وسیله جوشکاری زیرپودری در شرکت لوله و تجهیزات سدید تولید شده است. کوپل (کلاف) مورد استفاده جهت ساخت لوله از جنس فولاد با گرید API X70 است که یک فولاد کم آلیاژ پر استحکام (HSLA) می‌باشد. فولادهای HSLA توسط عملیات ترمومکانیکی تولید می‌شوند که از نورد کنترل شده و سرد کردن سریع تشکیل شده است. ریزساختار فولاد API X70 در شکل (۱) نشان داده شده است. همانگونه که در این شکل مشاهده می‌شود ریز ساختار این فولاد بطور عمده از فریت سوزنی و مقادیر کم فریت چند وجهی به همراه مقادیر جزئی سمنتیت/پرلیت ریز تشکیل شده است. فریت سوزنی بر خلاف فریت چند وجهی غیر هم محور است و از رشد فریت در داخل دانه‌های آستنیت در جهت‌های مختلف به وجود آمده است. ریزساختار فریت سوزنی به همراه مقادیر کم فریت چند وجهی ریزساختار مطلوب فولادهای خط لوله بوده و دستیابی به استحکام و چقرمگی بالا را تضمین می‌کند [۴و۵].



شکل ۱- ریزساختار میکروسکوپ نوری از فولاد API X70 بکار رفته در تحقیق حاضر [۴]

در تولید فولاد API X70 عناصر آلیاژی را نمی‌توان به مقدار زیاد به ترکیب اضافه کرد، زیرا قابلیت جوشکاری فولاد کاهش می‌یابد. درصد کربن معمولاً پایین نگه داشته می‌شود (کمتر از ۰/۱ درصد وزنی) و فقط منگنز به مقدار بیشتری (معمولاً بین ۱/۴ تا ۱/۹ درصد وزنی) اضافه می‌شود تا چقرمگی فولاد بهبود یابد [۱]. نتایج اندازه گیری ترکیب شیمیایی فولاد مورد آزمایش به همراه مقادیر استاندارد (جهت مقایسه) در جدول (۱) داده شده است [۶].

جدول ۱- ترکیب شیمیایی فولاد API X70 [۶]

درصد وزنی مجاز در استاندارد API 5L	درصد وزنی	عنصر
۰/۴۳۰	۰/۳۲۰	کربن معادل (CE)
۰/۲۴۰	۰/۰۵۰	کربن
۱/۴۰۰	۱/۵۰۰	منگنز
۰/۰۲۵	۰/۰۰۸	فسفر
۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	گوگرد
۰/۰۶۰	۰/۰۱۸	تیتانیوم
-	۰/۲۰۰	سیلیسیوم
-	۰/۰۵۰	نیوبیوم
-	۰/۰۱۰	کروم
-	۰/۲۴۰	مولیبدن
-	۰/۰۴۰	وانادیوم
-	۰/۱۸۷	نیکل
-	۰/۰۱۰	مس

خواص کششی فولاد API X70 در جهت محیطی و طولی لوله با استفاده از ۳ نمونه کششی با مقطع گرد بدست آمد. این نمونه‌ها به قطر ۱۴ و طول سنجه ۵۰ و قطر سنجه ۸ میلی‌متر پس از جداسازی قطعات اولیه از لوله و ماشینکاری دقیق با دستگاه تراش با کنترل کامپیوتری تهیه شد. برای انجام آزمون از دستگاه آزمون کشش زوئیک^۱ و فک‌های گوه‌ای (جهت حداقل لغزش) استفاده گردید. تحلیل داده‌ها پس از انجام آزمون‌ها و جمع آوری اطلاعات آزمون کشش از نیروسنج و حسگر اندازه‌گیری تغییر طول (متصل به رایانه دستگاه) انجام شد. نتایج بدست آمده در جدول (۲) نشان داده شده و با مقادیر پیشنهادی در استاندارد API قابل مقایسه می‌باشند [۷و۲].

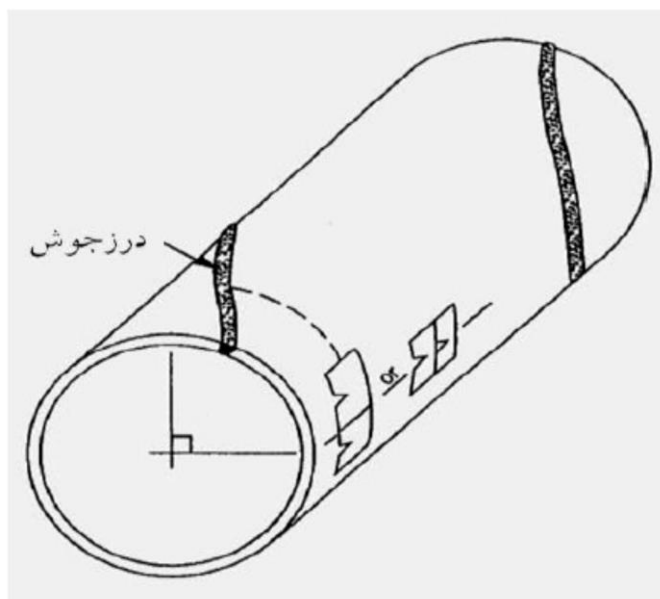
جدول ۲- خواص کششی فولاد API X70 در دو جهت محیطی و محوری لوله [۷و۲]

جهت استخراج نمونه	مدول یانگ (GPa)	استحکام تسلیم (MPa)	استحکام کششی (MPa)	نسبت استحکام تسلیم به استحکام کششی	ازدیاد طول نسبی (در ۵۰ میلی‌متر)
محیطی	۱۹۱	۵۲۸	۶۰۳	۰/۸۸	۱۶/۴
محوری	۲۲۲	۵۷۰	۶۱۹	۰/۹۲	۱۳/۸
مقادیر الزام شده در استاندارد API 5L (2007)					
حداقل		۴۸۵	۵۷۰	-	
حداکثر		۶۳۵	۷۶۰	۰/۹۳	

^۱ Zwick Z600E

۳- تشریح نمونه‌های آزمایشگاهی و روش انجام آزمون

از آنجایی که بیشترین تنش وارده بر لوله در راستای محیطی می‌باشد، اگر ترکی در لوله بوجود آید عموماً در راستای طولی (مد اول شکست) رشد خواهد کرد. بنابراین مقاطع فولادی اولیه براساس استاندارد API از موقعیت ساعت ۳ لوله نسبت به خط جوش (در جهت محیطی) توسط شعله هوا برش مطابق شکل (۲) جدا شد.

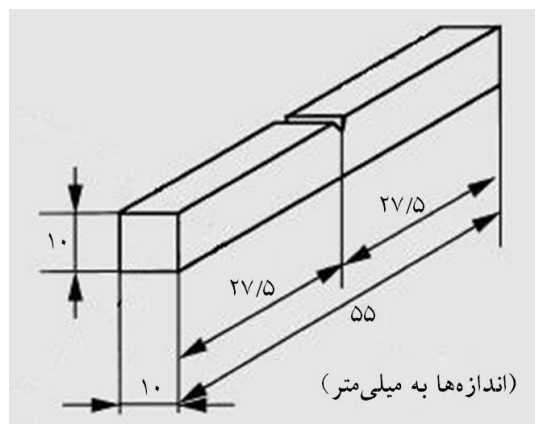


شکل ۲- موقعیت نمونه‌های آزمایشگاهی در لوله با درز جوش ماریپج [۲]

پس از برش قسمت‌های حرارت دیده توسط اره لنگ، نمونه‌ها جهت آماده سازی نهایی به کارگاه ساخت نمونه شرکت لوله و تجهیزات سدید منتقل گردید. با انجام مراحل برش، ماشینکاری و سنگ زنی نمونه‌ها آماده ایجاد شیار گردید. در شکل (۳) ابعاد نمونه آزمون ضربه شاریبی نشان داده شده است. نمونه ضربه شاریبی دارای ضخامت ۱۰ میلی‌متر، شیار ۷ شکل (با زاویه ۴۵ درجه) به عمق ۲ میلی‌متر و شعاع ریشه ۰/۲۵ میلی‌متر است. این شیار توسط دستگاه مخصوص شیارزن شاریبی (به روش خان‌کشی) روی ۳ نمونه ایجاد گردید. در کلیه نمونه‌ها شیار در راستای طولی لوله ایجاد شد. پس از اتمام مراحل ساخت، ابعاد نمونه‌ها، صافی سطح و مرکزیت شیار نمونه‌ها براساس استاندارد ASTM E23 کنترل و از کیفیت مناسب نمونه‌ها اطمینان حاصل گردید. آزمون ضربه شاریبی در دمای صفر درجه سانتیگراد روی ماشین استاندارد (Zwick- Roell) با ظرفیت ۷۵۰ ژول (در آزمایشگاه کنترل کیفیت شرکت لوله سازی اهواز) انجام شد. در این ماشین سرعت پاندول حین اصابت با نمونه آزمایشگاهی ۵/۵ متر بر ثانیه می‌باشد. جهت کنترل دمای نمونه‌ها در دمای صفر درجه سانتی‌گراد از سرد کننده آرمیکو^۱ با محیط سرد الکل و نمایشگر دمای دیجیتال با دقت ۰/۱ درجه سانتی‌گراد استفاده گردید. مطابق استاندارد ASTM E23 برای محیط سرد با واسط مایع، نمونه

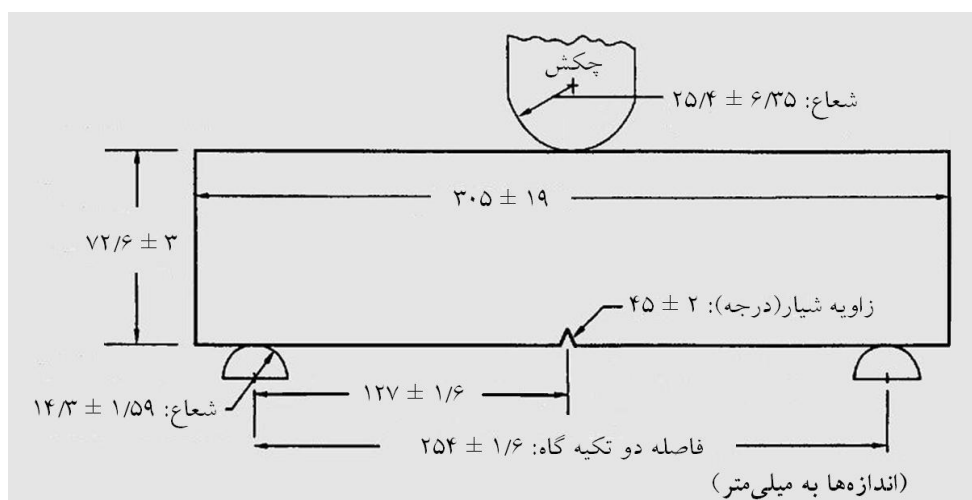
^۱ Armico

باید مدت زمان ۵ دقیقه یا به ازای هر میلی‌متر ضخامت ۳۰ ثانیه در محفظه قرار گیرد تا از هم‌دمایی یکنواخت آن با محیط سرد اطمینان حاصل شود. همچنین مطابق این استاندارد خروج نمونه از محفظه دمایی، قرار دادن نمونه در ماشین و برخورد ضربه‌زن به نمونه حداکثر باید ظرف ۵ ثانیه انجام شود [۸].



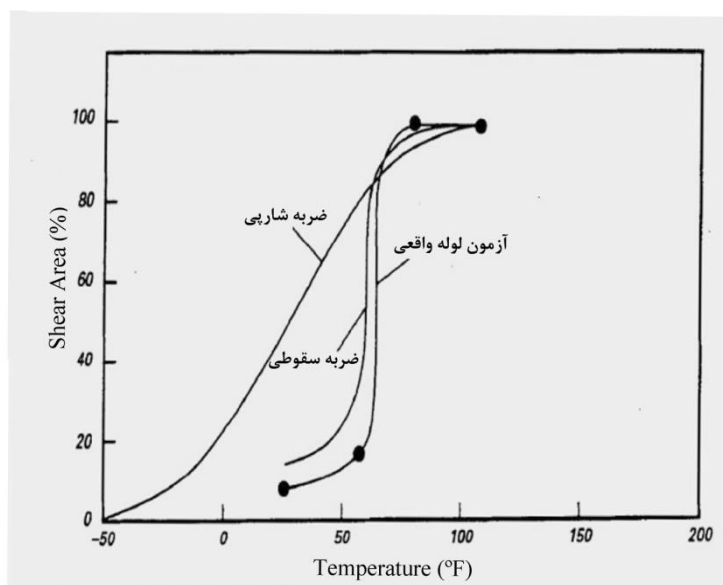
شکل ۳- ابعاد هندسی نمونه آزمون ضربه شاریپی [۸]

در شکل (۴) ابعاد نمونه آزمون ضربه سقوطی نشان داده شده است. برخلاف نمونه ضربه شاریپی که دارای ضخامت مشخص ۱۰ میلی‌متر است، نمونه آزمون ضربه سقوطی دارای ضخامت واقعی لوله (۱۹/۸ میلی‌متر) می‌باشد [۹]. جهت تهیه نمونه ضربه سقوطی ابتدا قطعات توسط پرس صاف شده و پس از ماشینکاری و رسیدن به اندازه استاندارد، شیار زنی نمونه با اسکنه به شعاع ریشه ۰/۰۲۵ و عمق شیار ۵ میلی‌متر انجام گردید. پس از نگهداری نمونه به مدت ۳۰ دقیقه در داخل محفظه سرد کننده با محیط گازی جهت رسیدن به دمای صفر درجه سانتی‌گراد، آزمون ضربه سقوطی روی ماشین ضربه با ظرفیت ۳۰۰۰۰ ژول انجام شد (در آزمایشگاه کنترل کیفیت شرکت لوله و تجهیزات سدید). در این ماشین جرم وزنه سقوط کننده ۱۰۰۰ کیلوگرم، ارتفاع سقوط ۳ متر و سرعت وزنه حین اصابت با نمونه آزمایشگاهی ۷/۵ متر بر ثانیه می‌باشد.



شکل ۴- ابعاد هندسی نمونه آزمون ضربه سقوطی [۹]

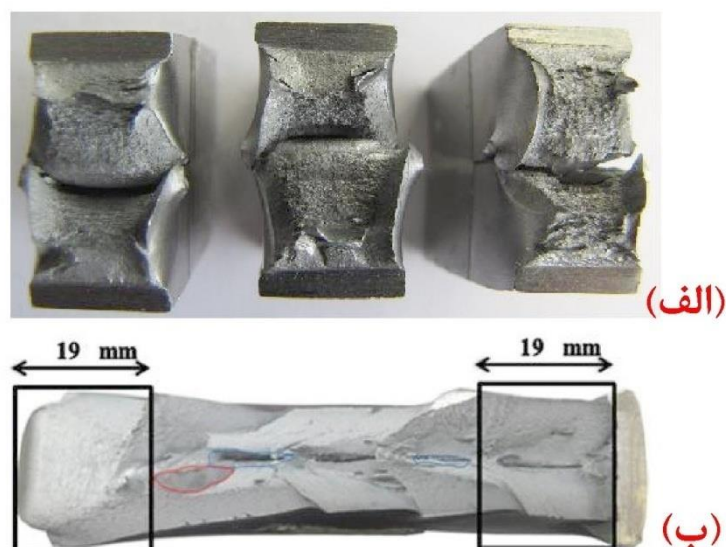
بر اساس استاندارد API فولادی دارای چقرمگی لازم و معتبر است که در دمای صفر درجه سانتی گراد در آزمون ضربه سقوطی بیش از ۸۵٪ مقطع دچار شکست نرم و در آزمون ضربه شاریپی انرژی میانگین شکست نمونه‌ها از ۵۴ ژول بیشتر باشد [۲]. بررسی ناحیه شکست نرم به همراه بررسی انرژی شاریپی جهت شکست نمونه‌ها اطمینان کامل از عدم رشد ترک ترد و کنترل رشد ترک نرم در لوله فولادی را حاصل خواهد کرد. شکل (۵) میزان تطابق نتایج آزمون‌های ضربه سقوطی و ضربه شاریپی با آزمون مقیاس واقعی برای فولاد API X52 در دماهای مختلف را نشان می‌دهد [۱۰]. همانطور که در این شکل دیده می‌شود، نتایج حاصل از نمونه آزمون ضربه سقوطی (به دلیل ضخامت برابر با جداره لوله) نزدیکتر به آزمون لوله (آزمون انفجار در مقیاس واقعی) می‌باشد.



شکل ۵- مقایسه درصد شکست برشی (نرم) در سه آزمون (شاریپی، ضربه سقوطی و آزمون با مقیاس واقعی) در دماهای مختلف برحسب درجه فارنهایت برای فولاد API X52 [۱۰]

۴- تعیین درصد سطح شکست نرم (برشی) در نمونه‌ها

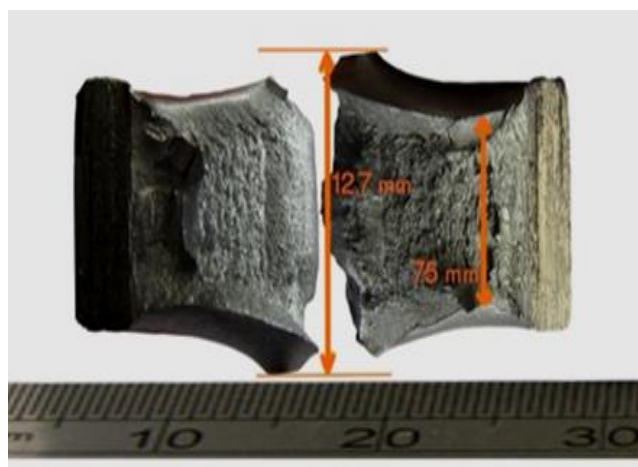
سطح شکست نمونه‌های آزمایش شده در شکل (۶) نشان داده شده است. در سطح شکست نمونه‌های آزمون شاریپی مطابق شکل (۶-الف) شکست ترد مشاهده نگردید، بنابراین کل مقطع دچار شکست نرم گردیده است. همچنین میانگین انرژی شکست نمونه‌های شاریپی برابر ۲۹۰ ژول محاسبه گردید که چند برابر حداقل انرژی ذکر شده (۵۴ ژول) در استاندارد API می‌باشد. در بررسی سطح شکست آزمون ضربه سقوطی برای محاسبه درصد شکست نرم برای نمونه‌های با ضخامت بزرگتر از ۱۹ میلی‌متر، مطابق شکل (۶-ب) باید به مقدار ۱۹ میلی‌متر از بالا و پایین نمونه چشم پوشی کرد [۹]. بر این اساس درصد شکست نرم اندازه‌گیری شده ۹۵٪ تخمین زده شد که بالاتر از مقدار مشخص شده (۸۵٪) در استاندارد API می‌باشد.



شکل ۶- الف) شکست نرم در تمام سطوح شکست نمونه‌های ضربه شاری، ب) اندازه‌گیری سطح شکست نرم با چشم پوشی از ۱۹ میلی‌متر از طرفین در نمونه ضربه سقوطی

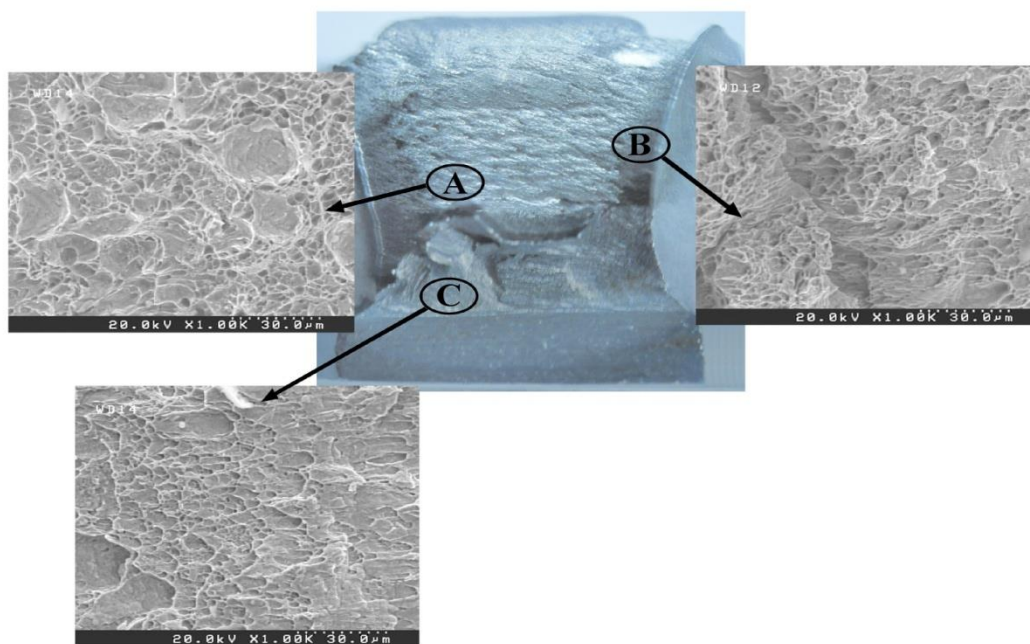
۵- بررسی ماکروسکپی و میکروسکپی مقطع شکست نمونه‌ها

در سطح شکست نمونه ضربه شاری مطابق شکل (۷)، دو ناحیه متمایز شامل شکست کج (مورب یا برشی) و شکست مسطح (یا تخت) قابل تشخیص است. در ناحیه مسطح که در نزدیکی و زیر شیار اولیه و همچنین در مرکز نمونه می‌باشد، رشد ترک در مد اول شکست اتفاق افتاده است. دلیل آن غالب بودن شرایط کرنش صفحه‌ای در این نقاط می‌باشد. ناحیه برشی و مد دوم شکست در نزدیک لبه‌های نمونه دیده می‌شود. دلیل آن نیز کاهش قیودات و نزدیکی شرایط بارگذاری به حالت تنش صفحه‌ای است. در محل اصابت چکش با نمونه (مقابل شیار اولیه) تغییر شکل پلاستیک زیادی مشاهده می‌شود و عرض سطح شکست در محل اصابت چکش افزایش یافته است. تمام سطح نمونه از نوع شکست نرم می‌باشد و اثری از شکست ترد (سطح براق یا کریستالی) مشاهده نمی‌شود.



شکل ۷- ماکروگراف از سطح شکست نمونه آزمون ضربه شاری

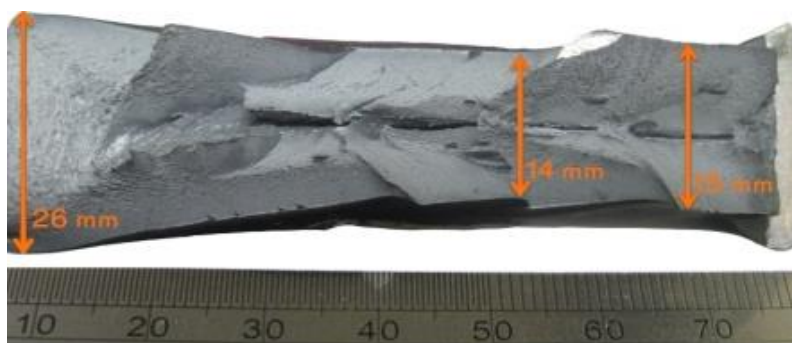
جهت بررسی دقیق‌تر سطح شکست، شکست‌نگاری با استفاده از میکروسکپ الکترونی روبشی (SEM-DSM960A) انجام شد. همانگونه که در شکل (۸) مشاهده می‌شود، تصاویر شکست‌نگاری نمونه ضربه شاری در قسمت‌های مختلف نمونه نمایانگر شکست حفره‌ای (نرم) می‌باشد. این حفره‌ها در بخش A دایره-ای و در بخش B کشیده و کوچکتر هستند. در دو بخش B و C نمونه می‌توان ترکیب حفره‌های بسته (نشان دهنده مد اول شکست) و حفره‌های کشیده (نشان دهنده مدهای برشی) را مشاهده نمود. در بخش A حفره‌ها عمیق و در بخش C دارای کمترین عمق و بصورت مسطح می‌باشند. هم‌چنین در بخش B نمونه تغییر صفحه گسترش شکست بصورت یک شکاف قابل مشاهده است. درصد شکست برشی در این نمونه ۱۰۰٪ گزارش شده است که تصاویر نشان داده شده در شکل (۸) مؤید این برآورد می‌باشد.



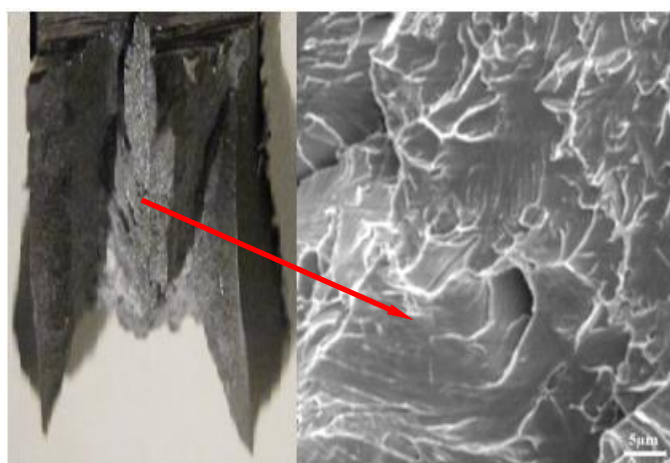
شکل ۸- تصویر میکروسکوپی از مرکز نمونه آزمون ضربه شاری

سطح شکست نمونه ضربه سقوطی در شکل (۹) نشان داده شده است. در این شکل در نزدیک شیار اولیه، ناحیه‌ای به شکل نوک پیکان (فلش) مشاهده می‌شود. در داخل این ناحیه، شکست بصورت تورق روی داده است که دارای ظاهر شکست رخ برگی (ترد) است [۱۱]. همانطور که در شکل (۹) مشاهده می‌شود سطح شکست در ناحیه پیکانی شکل بصورت براق است. علت ایجاد این سطوح جدایش می‌باشد. با توجه به ضخیم بودن نمونه، قید تنش خارج از صفحه در مرکز نمونه افزایش یافته و باعث جدایش یا لایه لایه شدن در اندازه‌های مختلف، قبل از شروع ترک اصلی می‌شود. پدیده لایه لایه شدگی به خاطر وجود تنش‌های سه بعدی در ماده ایجاد می‌شود. با لایه لایه شدن، این تنش‌ها کاهش یافته و شکست رخ می‌دهد، بنابراین با افزایش ضخامت، اندازه و عمق لایه لایه شدگی در مرکز نمونه افزایش خواهد یافت. تمام این لایه لایه شدگی دقیقاً در مرکز ضخامت رخ داده و نمونه را تقریباً به دو قسمت مساوی تقسیم کرده است. هم‌چنین در محل برخورد چکش به نمونه عرض سطح شکست به صورت چشمگیری افزایش یافته است. در این ناحیه

بخشی از مقطع شکست براق و مطابق شکل (۱۰) دارای مشخصه شکست رخ برگی (ترد) می‌باشد. این نوع شکست نوعی شکست غیر طبیعی مشهور به شکست معکوس است [۱۱].



شکل ۹- ماکروگراف از سطح شکست نمونه آزمون ضربه سقوطی



شکل ۱۰- میکروگراف شکست ترد در محل برخورد چکش نمونه آزمون ضربه سقوطی

۶- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

با توجه به آزمون ضربه شاریپی و آزمون ضربه سقوطی روی فولاد API X70 در دمای صفر درجه سانتیگراد و بررسی سطح شکست در مقیاس ماکرو و میکرو و مقایسه نتایج کمی با استاندارد API، مشخص شد این فولاد دارای چقرمگی بالایی می‌باشد. بیش از ۹۵٪ از سطح شکست نمونه ضربه سقوطی دچار شکست نرم از نوع برشی و تمام سطح شکست نمونه ضربه شاریپی دچار شکست نرم شده است.

سپاسگزاری

از شرکت لوله و تجهیزات سدید به جهت در اختیار گذاشتن فولاد API X70 و همکاری با آقای مهندس سالاری‌پور در انجام آزمون ضربه سقوطی، از شرکت لوله سازی اهواز (آقای مهندس داوودی‌یان) به جهت همکاری در انجام آزمون‌های ضربه شاریپی، و از آقای مهندس سلیمانی به لحاظ انجام آزمایش کشش تشکر می‌گردد.

مراجع

- [1] Verlinden, B., "Thermo-mechanical Processing of Metallic Materials", 1st Edition, Elsevier Ltd, (2007).
- [2] Cosham, A., "Don't Drop the Drop-weight Tear Test", Journal of Pipeline Engineering, Vol. 9, No 2, pp. 69-84, (2010).
- [3] ANSI/API Specification 5L, "Specification for Line Pipe", 44th. Edition, ISO 3183, (2007).
- [۴] سالاری پور، حجت، "تحلیل نتایج تجربی تست ضربه سقوطی فولاد API X70"، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند، (۱۳۹۰).
- [۵] رخس خورشید، مسعود، و هاشمی، سید حجت، "بررسی اثر سرعت سرد کردن بر رفتار استحاله تبرید پیوسته در فولاد خط لوله API X65"، مجله مهندسی مکانیک مدرس، دوره ۱۳، شماره ۸، (۱۳۹۲).
- [۶] هاشمی، سید حجت، صدقی، ثارا... و سلیمانی، وحید، "مقایسه مقادیر آزمایشگاهی و المان محدود زاویه گشودگی نوک ترک در فولاد API X70"، نوزدهمین همایش سالانه مهندسی مکانیک ایران، (۱۳۹۰).
- [۷] سلیمانی، وحید، "شبیه سازی کامپیوتری تست کشش نمونه شیار دار فولادی API X70 با مدل گرسون"، دانشگاه بیرجند، پایان نامه کارشناسی ارشد، (۱۳۹۰).
- [8] ASTM E23, "Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials", American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA, (2003).
- [9] API RP5L3, "Recommended Practice for Conducting Drop Weight Tear Tests on Line Pipe", 3rd Edition, American Petroleum Institute, Washington, USA, (1996).
- [10] Wiesner, C. S., "Predicting Structural Crack Arrest Behavior using Small-scale Material Characterization Tests", International Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol. 69., pp. 185-196, (1996).
- [11] Hwang, B., "Analysis of Abnormal Fracture Occurring during Drop-weight Tear Test of High-toughness Line-pipe Steel", Materials Science and Engineering A, Vol. 368, pp. 18-27, (2004).

فهرست نمادهای انگلیسی

°F : درجه فارنهایت

GPa : گیگاپاسکال

MPa : مگاپاسکال

Abstract

Any crack existence in the high-pressure gas transmission pipelines is potentially dangerous and can cause pipe explosion. Thus, the safety and structural resistance against crack growth is very important in pipeline design. In the present study, the Charpy impact test and drop weight tear test on standard test samples are conducted to evaluate the dynamic behavior of API X70 pipeline steel. The results showed that the shear fracture area (as the most important characteristic of steel strength under dynamic loading) was approximately 95% in drop weight tear test. The Charpy test specimen with average energy of 256 joules had 100% shear fracture surface. Fractography of the fracture surfaces of the test samples showed that dimple ductile fracture was the dominant fracture mode in the tested material.