

بررسی تغییر خواص مکانیکی و متالورژیکی حاصل از آزمایش هیدرواستاتیک به روش ۱۱۰ درصد تنش تسلیم در خطوط لوله گاز

سیدامیر رضاییگی^۱، محمدحسین یاس^۲، بهروز درگاهی^۳

۱. کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، شرکت گاز استان کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

۲. استاد، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۳. کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، واحد بازرسی فنی، شرکت مهندسی توسعه گاز ایران، تهران، ایران

آدرس پست الکترونیک نویسنده مسئول مکاتبات: yas@razi.ac.ir

مقاله‌ی علمی-پژوهشی

صفحه ۲۲ - ۳۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۳

چکیده

یکی از پرسش‌های مجربان و بهره‌برداران، تأثیر فشار ۱۱۰ درصدی آزمون هیدرواستاتیک بر روی خواص مکانیکی و متالورژیکی لوله و اثرات آن در زمان بهره‌برداری است. هدف این نوشتار بررسی این موضوع از طریق آزمون‌های عملی و تحلیل تئوری و نرم‌افزاری است. برای نیل به این هدف، آزمون مقاومت ۱۱۰ درصدی هیدرواستاتیک با همکاری واحد پژوهش شرکت مهندسی و توسعه گاز ایران در بندرعباس بر روی لوله ۳۰ اینچ ساخت شرکت لوله‌سازی اهواز (API5L PIPE30 THK0.5 SAW X60) انجام شد و از آنجایی که لوله به مدت ۴ ساعت تحت فشار قرار گرفت نتایج به‌دست‌آمده با شرایط واقعی یکسان است.

از لوله انتخابی فوق یک رینگ قبل از اعمال فشار مقاومت و یک رینگ پس از آزمون مقاومت از لوله برش زده، ابتدا تنش پسماند در دو رینگ اندازه‌گیری و سپس ۲۸ نمونه برای انجام آزمون‌های کشش، خمش، ضربه، سختی و متالوگرافی ساخته شد.

به‌منظور دستیابی به نتایج و داده‌های قابل استناد، آزمون‌های مکانیکی خمش، کشش و ضربه در آزمایشگاه مرجع گام اراک که دارای گواهی‌نامه از اداره استاندارد می‌باشد و آزمون سختی و متالوگرافی در آزمایشگاه متالوژی واحد کنترل مرغوبیت شرکت ماشین‌سازی اراک (QA) انجام شد.

با به دست آمدن نمودار تنش کرنش و خواص لوله X60 در منطقه پلاستیک از آزمون کشش، لوله تحت فشار ۱۱۰% Sy در نرم‌افزار آباکوس تحلیل و تنش و کرنش پلاستیک ایجاد شده در لوله مورد بررسی قرار گرفت و ضخامت مناطق الاستیک و پلاستیک به کمک آباکوس تخمین زده شد.

به‌منظور بررسی تغییرهای احتمالی ساختار متالورژیکی، نمونه‌هایی از قبل و بعد از آزمون مقاومت با همکاری آزمایشگاه کنترل مرغوبیت شرکت ماشین‌سازی اراک در حالت ماکرو و میکرو مورد بررسی قرار گرفت.

کلید واژه‌ها: آزمون مقاومت، آزمون هیدرواستاتیک ۱۱۰ درصد، آزمون هیدرواستاتیک خطوط لوله



۱. مقدمه

تنش تسلیم واقعی لوله به دست آمده از آزمون کشش:

$$SMYS = 78000 \text{ Psi}$$

$$P_y = (2 \times S_y \times t) / D = 2 \times 78000 \times 0.5 / 30 = 2600$$

$$\text{Psi} = 17.9 \text{ MPa}$$

فشار آزمون مقاومت:

$$P = 1.1 \times P_y = 2860 \text{ Psi} = 19.7 \text{ MPa}$$

از لوله (PIPE30 THK0.5 SAW X60) پیش و پس از آزمون مقاومت ۱۱۰٪ S_y دو رینگ برای اندازه گیری تنش پسماند و ساخت نمونه های آزمون های مکانیکی کشش، خمش، ضربه و متالوگرافی و ... جدا شد. (شکل ۱ و ۲).

۳. محاسبه تنش پسماند

مطابق بند ۹،۱۶،۴ استاندارد (۱) IGS-M-PL-001-2 مقدار مجاز تنش پسماند نباید از ۱۰ درصد حداقل تنش تسلیم ماده بیشتر باشد [۲].

با داشتن S_y و S_{ut} از آزمایش کشش:

$$S_y = 0.10 \times 413 = 41.3 \text{ MPa}$$

مطابق بند ۹،۱۶،۳ استاندارد (۱) IGS-M-PL-001-2 مقدار تنش پسماند محاسبه می شود:

$$S = EtC / (12.566R2)$$

S residual stress in MPa (Psi)

C + change in circumference mm (in)

t nominal thickness mm (in)

$$E = 200\,000 \text{ MPa} (2.9 \times 10^7 \text{ Psi})$$

R = nominal pipe radius mm (in)

تنش پسماند لوله قبل از آزمایش هیدرواستاتیک:

$$S = 200000 \times 12.7 \times (-36) / (12.566 \times 381^2) = -50.1 \text{ MPa}$$

که طبق این رابطه لوله مذکور که ساخت کارخانه لوله سازی اهواز است شرایط استاندارد IGS را برآورده نمی کند.

تنش پسماند لوله بعد از آزمون هیدرواستاتیک:

$$S = 200000 \times 12.7 \times (-28) / (12.566 \times 381^2) = -39 \text{ MPa}$$

یعنی پس از آزمایش هیدرواستاتیک ۱۱۰ درصدی، تنش پسماند لوله کاهش یافته و در محدوده استاندارد IGS قرار گرفته است.

در سایت های علمی و پایان نامه های دانشگاهی کمتر به این موضوع پرداخته شده است و مقالاتی درباره موضوع هایی مربوط به لوله، جوشکاری، تنش پسماند و آزمون هیدرواستاتیک ۹۰ درصد تنش تسلیم در دسترس هستند اما در رابطه با میزان تغییر خواص مکانیکی و متالورژیکی پس از آزمون هیدرواستاتیک ۱۱۰ درصد و سهم کرنش ناشی از انبساط تحقیقی اگر انجام شده یا نشده قابل دسترسی نبود. از جمله مقاله های نزدیک به موضوع به موارد زیر می توان اشاره نمود:

1. Hydrostatic burst test of X80 grade steel pipe
11 september 2009

a. Research center of oil and gas safety
Engineering Technology, china university of
petroleum

b. shashi Steel Pipe Works, China Petrochemical
Group Corp.,

در مرکز تحقیقات مهندسی ایمنی در صنعت نفت و گاز دانشگاه پتروشیمی چین لوله X80 مدفون تحت آزمایش هیدرواستاتیک قرار گرفته است. تغییر شکل و تنش تسلیم جوش طولی زیر پودری لوله به قطر ۱۰۱۶ میلی متر و ضخامت ۴/۱۸ میلی متر تحت ۵ فشار متفاوت قرار گرفته و اندازه گیری شده است و نتیجه گیری شده تا زمانی که تنش هوپ کمتر از ۱،۱ SMYS باشد تغییر شکل به صورت الاستیک و یکنواخت بوده است.

۲. مقاله ای با موضوع «بررسی اهمیت آزمون هیدرواستاتیک در خطوط انتقال نفت و گاز» توسط آقای حامد بیرامی کارشناس ارشد مهندسی ابزار دقیق صنایع نفت از دانشگاه شیراز در اولین کنفرانس بین المللی نفت و گاز و پتروشیمی و نیروگاهی ارائه شده و به اهمیت آزمایش هیدرواستاتیک با فشار حداکثر ۹۰٪ S_y در ایجاد ایمنی و تشخیص نشتی ها پرداخته است و به موضوع آزمایش مقاومت ۱۱۰٪ S_y هیچ گونه اشاره ای نشده است.

۲. معادلات حاکم

آزمون هیدرواستاتیک ۱۱۰٪ S_y بر روی لوله ۳۰ اینچ و تحت فشار زیر در سایت بندرعباس انجام شد [۱].

مشخصات لوله مورد آزمایش:

API5LPSL2SAWL30" 0.5" X60





شکل ۱: کاهش قطر ۳۶ میلی‌متر رینگ پیش از آزمون مقاومت
شکل ۲: کاهش قطر ۲۸ میلی‌متر رینگ بعد از آزمون هیدرواستاتیک

۴. آزمون‌های مکانیکی لازم بر اساس استاندارد API5L

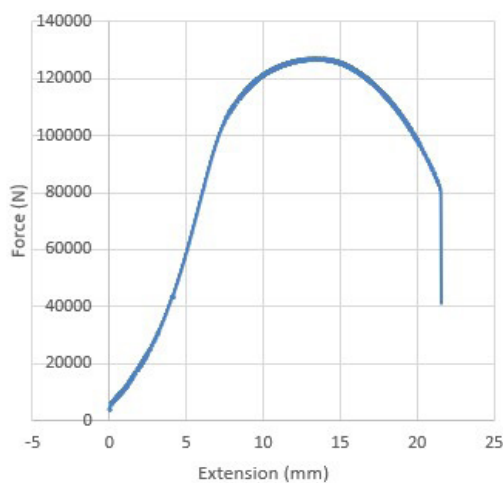
بر اساس استاندارد فوق انجام آزمایش‌های مکانیکی و متالورژیکی زیر بر روی لوله‌های گاز الزامی است:

جدول ۱: آزمایش‌های مکانیکی و متالورژیکی بر اساس API 5L

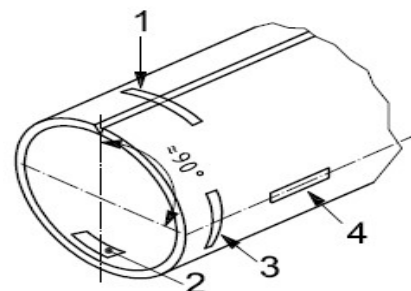
Number, Orientation and Location of Test Pieces						
After Hydro Test	Befor Hydro Test		REFERENCES	Type of Test	Sampel Location	Type of Pipe
1T180	1T180		ASTM A370	Tensile	Pipe body	SAWL or COWL
3T90	3T90		ASTM E23	CVN		
1	1			DWT		
1w and 1HAZ	1w and 1HAZ			Metalography		
1w stress strain figure	1w		ASTM A370	Tensile	Seam weld	
3w and 3HAZ	3w and 3HAZ	Weld, HAZ	ASTM E23	CVN		
2w	2w	Face, Root Weld	ASTME290-ASTM E858	Guided bend		
1w and 1HAZ	1w and 1HAZ			Metalography		

۴-۱. آزمون کشش

موقعیت نمونه‌های آزمون کشش بر اساس روش جوشکاری مطابق شکل زیر است:



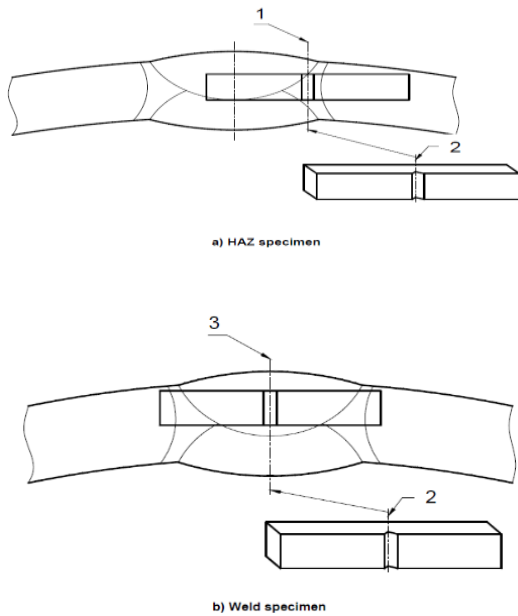
شکل ۴: آزمون کشش جوش قبل از آزمایش مقاومت



شکل ۳: CW, LFW, LW, SAWL and COWL pipe

۴-۲. آزمون ضربه

برای بررسی تمایل ماده به داشتن رفتار ترد یا چکش خوار، انواع مختلف آزمون‌های ضربه بکار می‌رود. این نوع آزمون تفاوت‌های بین مواد را آشکار می‌کند که در آزمون کشش قابل مشاهده نیستند. برای آزمون ضربه با شیار، دو دسته نمونه استاندارد وجود دارد: (۱) نمونه شاریبی با مقطع مربعی شکل و شیار V شکل ۴۵ درجه و یا U شکل که به صورت افقی قرار می‌گیرد (۲) نمونه ایزود با مقطعی مربع یا دایره‌ای شکل و شیار جناغی که به صورت عمودی قرار می‌گیرد. بر اساس استاندارد ASTM A370 انجام می‌شود [۴].



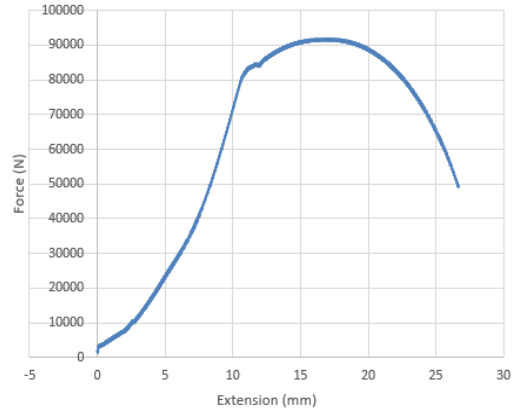
شکل ۸: موقعیت نمونه‌های آزمون ضربه

۳۶ نمونه‌ها برای آزمون ضربه شاریبی ساخته و مورد آزمایش قرار گرفت.

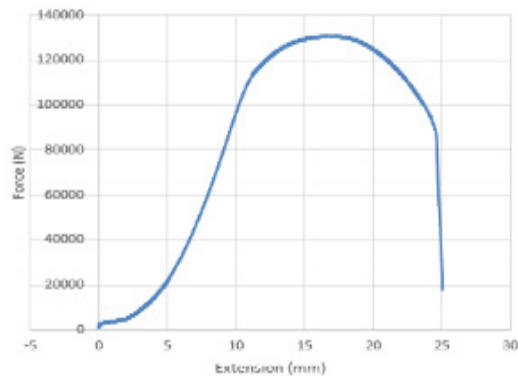
نتیجه: انرژی ضربه پس از آزمایش مقاومت در هر سه قسمت Body/HAZ/Weld افزایش یافته است.

۴-۳. آزمون خمش

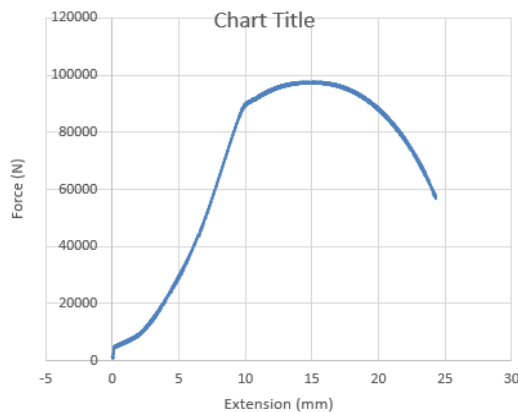
آزمایش خمش یکی از ساده‌ترین آزمون‌هاست و معمولاً برای مواد تردی استفاده می‌شود که دارای رفتار الاستیک خطی هستند. دو نوع اصلی آزمایش خمش به نام‌های خمش سه نقطه‌ای و چهار نقطه‌ای هستند و بر اساس استاندارد ASTM A370 و یا ISO 7438 انجام می‌شود [۴].



شکل ۵: آزمون کشش فلز لوله قبل از آزمایش مقاومت



شکل ۶: آزمون کشش جوش پس از آزمایش مقاومت



شکل ۷: آزمون کشش فلز لوله پس از آزمایش مقاومت

جدول ۲: مقایسه تغییرات تنش‌های مکانیکی پس از آزمایش مقاومت

BREAK	S_{ut} (Psi)	S_y (Psi)		
45742	85294	78000	BODY	BEFOR 100%YP TEST
51880	81511	68237	WELD	
51453	88258	81040	BODY	AFTER 100%YP TEST
56173	84549	72900	WELD	

جدول ۳: نتایج آزمون خمش

تاریخ آزمایش	قطر سنبه خمش mm	عرض نمونه mm	طول mm	ضخامت mm	نتیجه آزمایش		
۱۴۰۰/۱۲/۰۷	۳۹	۳۸/۹	۲۰۰	۱۲	ترک مویی قابل قبول	WELD FACE	BEFOR 100%YP TEST
۱۴۰۰/۱۲/۰۷	۳۹	۴۲/۱	۲۰۰	۱۲	ترک مویی قابل قبول	WELD ROOT	
۱۴۰۰/۱۲/۰۷	۳۹	۳۸/۹	۲۰۰	۱۲	ترک مویی قابل قبول	WELD FACE	AFTER 100%YP TEST
۱۴۰۰/۱۲/۰۷	۳۹	۴۲/۱	۲۰۰	۱۲	ترک سرتاسری به عرض نمونه	WELD ROOT	



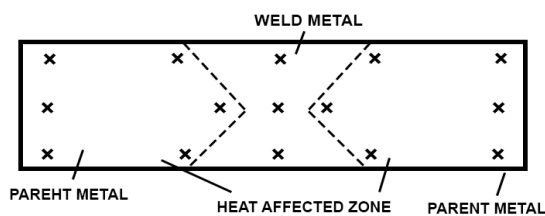
شکل ۹: آزمون خمش و ترک سراسری جوش در نمونه خمش لوله تحت فشار قرار گرفته



شکل ۱۰: آزمون‌های مکانیکی کشش و ضربه

نتیجه: نمونه‌های خمش Face/Root مربوط به لوله از فشار مقاومت دچار ترک سراسری گردید و مردود شد و پیش از فشار مقاومت دارای ترک مویی قابل قبول بودند. نمونه رویه جوش دارای ترک مویی و در محدوده قابل قبول قرار داشت. نمونه ریشه جوش مربوط به شرکت لوله‌سازی اهواز پس

۴-۴. سختی سنجی



LOCATION OF HARDNESS FOR SAW PIPE

شکل ۱۱: موقعیت نقاط سختی سنجی

به‌منظور حصول نتایج دقیق، سختی سنجی به روش سختی ویکرز HV با دندان‌ه الماسه هرمی شکل برحسب ویکرز در واحد کنترل مرغوبیت ماشین‌سازی اراک انجام شد. کیلوگرم بر میلی‌متر مربع

F: بار وارده برحسب کیلوگرم
d: قطر مربع فرورفتگی برحسب میلی‌متر

$$HV = F/A = 1.8544F/(d^2)$$

جدول ۴: نتایج آزمون سختی ویکرز بر حسب kg/mm^2

AFTER 110%Yp TEST		BEFOR 110%Yp TEST		
Avrage		Avrage		
290	298-288-284	270	263-268-281	BODY
320	321-326-314-328-316-318	250	253-246-251-255+245+254	HAZ
350	345-353-354	270	264-278-269	WELD

نتیجه: با توجه به تصاویر می توان در فلز پایه ۱۵ درصد فریت و مابقی را پرلیت تخمین زد. فلز جوش نیز حدوداً حاوی حدود ۷۵ درصد پرلیت و ۱۵ درصد فریت است.

تغییری در فازها و اندازه دانه بندی فلز پایه و جوش قابل مشاهده نیست که می تواند به دلیل نامحسوس بودن انجام کار سرد باشد.

۵-۲. ماکروگرافی



شکل ۱۶: ماکروگرافی جوش پیش از آزمون مقاومت



شکل ۱۷: ماکروگرافی جوش پس از آزمون مقاومت

۶. تحلیل تئوریک

در لوله تحت فشار داخلی تنش در شعاع داخلی حداکثر است بنابراین هنگامی که فشار داخلی به مقداری برسد که پلاستیسیته آغاز شود تغییر شکل دائمی از $R = R_f$ شروع خواهد شد. مقدار بحرانی فشار بستگی به انتخاب معیار تسلیم دارد. و معیار ترسکا که معیاری محافظه کارانه است فشار کمتری را پیش بینی می کند [۶].

نتیجه: با توجه به داده های جدول فوق، سختی در هر سه قسمت جوش پس از آزمایش مقاومت افزایش یافته است.

۵. متالوگرافی

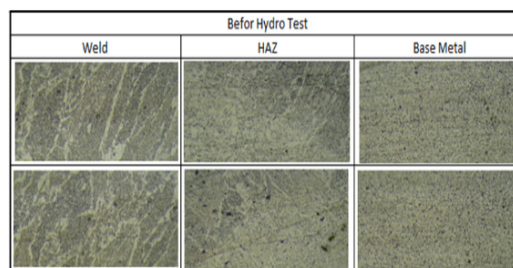
۵-۱. آماده سازی نمونه ها

دو نمونه از لوله قبل و بعد از آزمون مقاومت تهیه و پس از آماده سازی سطح و سمباده زنی با شماره های ۱۰۰۰، ۲۰۰ و ۲۰۰۰ و اچ نمودن نمونه ها، مناطق WELD/HAZ/BASEPLATE بررسی گردید [۵]

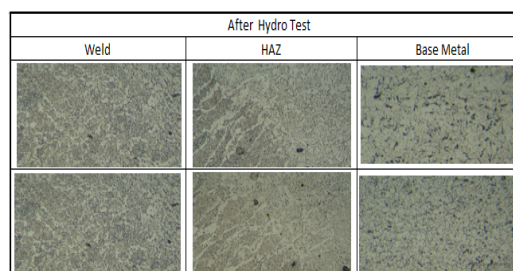


شکل ۱۳: پولیش نهایی

شکل ۱۲: سمباده زنی



شکل ۱۴: متالوگرافی لوله آزمون نشده



شکل ۱۵: متالوگرافی لوله آزمون شده





مقادیر به دست آمده از آزمون کشش:

$$S_y = 537.79 \text{ Mpa} \quad S_{ut} = 588 \text{ MPa}$$

$$R_o = 381 \text{ mm} \quad R_i = 368.3 \text{ mm}$$

۶-۱. تسلیم اولیه و فشار ترکیدگی

الف - از معیار تسلیم فون میز داریم:

فشار داخلی برای آغاز تسلیم در جداره داخلی

$$P_y | R_i = (S_y / \sqrt{3}) \times (K^2 - 1) / \sqrt{K^4 + 1/3}$$

$$P_y | R_i = 537.79 / \sqrt{3} \times (1.0345^2 - 1) / \sqrt{1.0345^4 - 1/3} = 17.922 \text{ MPa}$$

ب - بر اساس معیار ترسکا:

$$P_y | R_i = S_y (1 - 1/k^2) / 2$$

فشار آغاز تسلیم جداره داخلی:

$$P_y | R_i = 537.8 \times (1 - 1/1.0345^2) / 2 = 17.63 \text{ MPa}$$

فشار ترکیدگی: اگر فشار داخلی تا حدی افزایش یابد که جداره خارجی به پلاستیک برسد لوله در آستانه ترکیدگی قرار می گیرد.

بر اساس معیار ترسکا فشار ترکیدگی برابر است با:

$$P_y | R_o = S_y \times \ln(k) = 18.24 \text{ MPa}$$

۶-۲. بررسی لوله تحت فشار داخلی در حالت الاستیک

$$S_{ut} = 588 \text{ MPa} \quad S_y = 537.79 \text{ MPa}$$

فشار آغاز تسلیم:

$$P_{iy} = 17.9 \text{ MPa}$$

$$K = R_o / R_i = 381 / 368.3 = 1.034$$

$$P_o = 0 \quad \sigma_r = -P_i ((R_o/r)^2 - 1) / (K^2 - 1)$$

$$P_o = 0 \quad \sigma_\theta = +P_i ((R_o/r)^2 + 1) / (K^2 - 1)$$

در وسط جداره

$$r = 0.3$$

$$\sigma_r | R_m = -17.9 ((0.381/0.374)^2 - 1) / (1.0345^2 - 1) = 9.6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_\theta | R_m = 17.9 ((0.381/0.374)^2 + 1) / (1.0345^2 - 1) = 519.7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_r | R_o = 0$$

۶-۳. توزیع الاستوپلاستیک تنش

با توجه به اینکه فشار داخلی از فشار تسلیم بالاتر رفته است ناحیه پلاستیک به طرف شعاع خارجی مخزن گسترش می یابد. چنانچه فشار را طوری کنترل نماییم که لوله تا شعاع معینی پلاستیک شود آنگاه یک لوله دوگانه داریم. تنش تسلیم قسمت پلاستیک به خاطر کرنش سختی نسبت به ناحیه الاستیک افزایش یافته و توزیع تنش شعاعی در این قسمت یکنواخت تر می شود زیرا شیب منحنی تنش کرنش در ناحیه پلاستیک بسیار کمتر از آن در قسمت الاستیک است.

حال اگر فشار داخلی برداشته شود استوانه الاستیک نمی تواند به حالت اولیه برگردد بنابراین استوانه پلاستیک را تحت فشار قرار داده و سبب ایجاد تنش های باقیمانده فشاری در آن می گردد. این تنش ها بخشی از تنش های ناشی از بارگذاری مجدد مخزن را خنثی نموده و بدین ترتیب ظرفیت باربری مخزن را افزایش می دهد. این خاصیت موجب صرفه جویی در هزینه و نیز در مواردی که مواد موجود تحمل فشار مورد کاربرد را ندارند استفاده می شود [۶].

۷. شبیه سازی با نرم افزار

با توجه به اینکه $t/r < 1/20$ باشد لوله جداره نازک است. در این قسمت لوله تحت فشار ۱۱۰ درصد به دست آمده از تنش تسلیم واقعی لوله شبیه سازی می شود.

جدول ۵: مشخصات لوله مورد آزمایش

OD	30" = 762 mm	S_y	537.79 MPa
R_o	381 mm	S_{ut}	588 MPa
ID	29" = 736.6 mm	E	211 Gpa
R_i	368.3 mm	ν	0.3
L	12 m = 12000 mm		
THK	0.5" = 12.7 mm		

۷-۱. شرایط بارگذاری

از آزمون کشش تنش تسلیم ۷۸۰۰۰ پوند به دست آمد بنابراین:

فشار داخلی تسلیم:

$$P_y = (2 \times S_y \times t) / D = 2 \times 78000 \times 0.5 / 30 = 2600$$

$$Psi = 17.9 \text{ MPa}$$

فشار آزمایش مقاومت:

$$P = 1.1 \times P_y = 2856$$

$$Psi = 19.69 \text{ MPa}$$

در بحرانی ترین وضعیت لوله که نیروی فشار خارجی خاک کانال بر روی لوله نباشد

$$P_o = 0$$

مقادیر تنش و کرنش پلاستیک فولاد APIX60 از آزمون کشش برابر جدول زیر است:

جدول ۶: مقادیر تنش کرنش پلاستیک

تنش	کرنش پلاستیک
$S_y = 537$	0
538.019	0.000361702
539.001	0.001460993
540.0583801	0.002316312
541.0399358	0.002990071
542.0214916	0.003751773
543.0036889	0.009021277
544.136648	0.009512057
545.042502	0.009870922
546.0246993	0.010320567
547.006255	0.010839716
548.0635124	0.011377305
549.0450682	0.012005674
550.0272654	0.012638298
551.0088212	0.013313475
552.0660786	0.014192908
553.0482759	0.014889362

با جاگذاری داده‌های فوق در نرم‌افزار آباکوس، نتایج زیر به دست می‌آید:

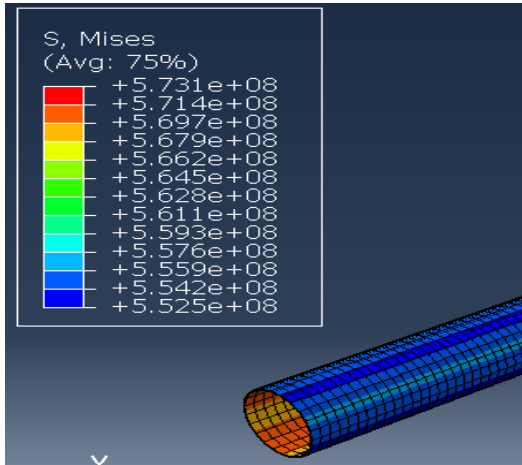
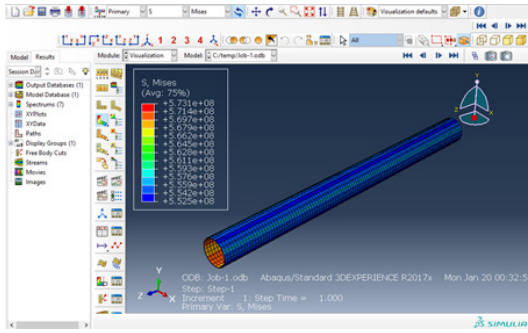
تنش میسر ماکزیمم در جداره داخلی (پلاستیک)

$$S = 573 \text{ MPa}$$

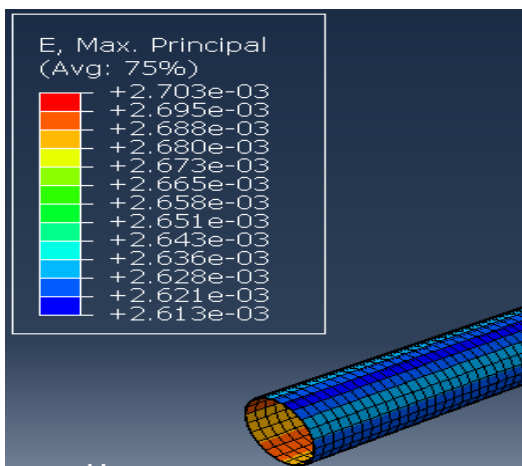
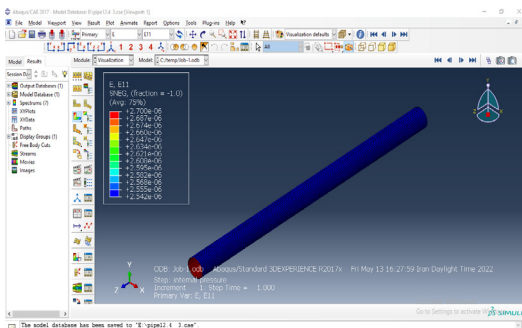
تنش میسر ماکزیمم در جداره خارجی (پلاستیک)

$$S = 552 \text{ MPa}$$

بر اساس تحلیل آباکوس با در نظر گرفتن تنش تسلیم واقعی و اعمال فشار ۱۱۰٪ S_y ، تمام ضخامت جداره به تسلیم می‌رسد و در آستانه ترکیدگی قرار می‌گیرد.



شکل ۱۸: مقادیر تنش میسر (Pa)



شکل ۱۹: مقادیر کرنش E

۸. نتیجه گیری

نتایج آزمایش های مکانیکی و متالورژیکی انجام شده مطابق (جدول ۷) است:

جدول ۷: تجمیع نتایج آزمایش های مکانیکی و متالورژیکی

PERCENT OF CHANGES	CHANGES	AFTER 110%Y _p TEST	BEFOR 110%Y _p TEST		TYPE OF TEST	NO
9.50%	↑	558.755 MPa	537.79 Mpa	σ _y MPa	TENSILE PIPE BODY TEST T180	1
3.40%	↑	608.5266	588.089	σ _{ut}		
6.80%	↑	502.63	470.48	σ _y	TENSILE SEAM WELD TEST T90	2
3.50%	↑	582.95	562	σ _{ut}		
12.60%	↑	250.6	221.9	PIPE	CVN PIPE 3T90	3
8.30%	↑	233.5	215.6	HAZ	CVN SEAM WELD	4
8%	↑	175.1	161.6	WELD		
7.40%	↑	290	270 Kg/cm ²	BODY	HARDNESS	5
28%	↑	320	250	HAZ		
29%	↑	350	270	WELD		
		ترک مویی قابل قبول	ترک مویی قابل قبول	FACE WELD	GUIDED BEND	6
	↓	ترک سرتاسری به عرض نمونه	ترک مویی قابل قبول	ROOT WELD		
	↑	محدوده استاندارد -39MPa	خارج از استاندارد -51.1MPa		RESIDUAL STRESS	7
				GRAIN SIZE	METALOGRAPHY	8
		15%PERLIT 85% FERIT	15%PERLIT 85% FERIT	% PHASES		

حالت الاستوپلاستیک در لوله ایجاد نمود که ضمن تقویت لوله و افزایش تحمل فشار بهره برداری در خطوط لوله گاز در کنار استفاده از فولادهای HSLA، موجب اقتصادی تر شدن آن می گردد با توجه به اینکه هزینه تولید فولادهای آلیاژی بالاست و از طرفی ضعف در مقاومت به خوردگی عاملی محدود کننده در استفاده از فولادهای کربنی است.

هرگاه در تعیین فشار آزمایش، از حداقل تنش تسلیم بر اساس شماره گرید لوله استفاده می شود از فشاری که بر اساس تنش تسلیم واقعی لوله به دست می آید پایین تر بوده، تنش در مرز محدوده الاستیک باقی مانده و وارد منطقه پلاستیک نمی شود به عنوان مثال آزمایش هیدرواستاتیک لوله گرید X60 (60200 Psi < Sy < 81900 Psi) [۷و۸] مورد

(۱) خواص مکانیکی کشش، سختی و ضربه با اصلاح ناتیجی ها مطابق (جدول ۵) بهبود یافت.

(۲) مطابق ردیف ۶ جدول نتایج، نمونه آزمایش خمش ریشه جوش مربوط به لوله تحت آزمایش مقاومت قرار گرفته، دچار ترک سراسری و مردود گردید.

(۳) مطابق ردیف ۷ جدول نتایج مقدار Residual Stress لوله تحت فشار آزمون قرار نگرفته، الزامات استاندارد IGS را برآورده ننمود و پس از آزمون هیدرواستاتیک در محدوده استاندارد قرار گرفت.

آزمایش مقاومت ۱۱۰ درصد انجام شده بر اساس حداقل تنش لوله گرید X 60 (۶۰۲۰۰ پوند) انجام شد و تمام لوله در محدوده الاستیک قرار گرفت. با افزایش فشار می توان

[8]. ASME B31.8 GAS TRANSMISSION AND DISTRIBUTION PIPING SYSTEM.

استفاده در این تحقیق، با فشار زیر انجام شد:

$$S_y = 60000 \text{ Psi}$$

$$P_y = (2 \times S_y \times t)/D = 2 \times 60000 \times 0.5/30 = 2000$$

$$\text{Psi} = 13.79 \text{ MPa}$$

$$P = 1.1 \times 2000 = 2200 \text{ Psi} = 15.17 \text{ MPa}$$

و لوله تحت این فشار به تسلیم نمی‌رسد.

اما با استفاده از تنش تسلیم واقعی لوله فشار آزمایش

برابر است با:

$$P = 1.1 \times (2 \times S_y \times t)/D = 1.1 \times 2 \times 78000 \times 0.5/30 = 2860 \text{ Psi} = 19.7 \text{ MPa}$$

و تمام جداره پلاستیک می‌شود.

و بر اساس معیار ترسکا فشار داخلی برای رسیدن به

تسلیم برابر است با:

$$2557 \text{ Psi} = 17.63 \text{ MPa}$$

تشکر و قدردانی

لازم است از واحد محترم پژوهش و بازرسی شرکت مهندسی و توسعه گاز ایران به دلیل حمایت بی‌دریغ آقایان دکتر اصلتی، مهندس اصغری و آقای مهندس سیدآبادی و همکاری واحد کنترل مرغوبیت (QA) شرکت ماشین‌سازی اراک قدردانی و سپاسگزاری نمایم.

مراجع:

- [1]. IGS-C-PL-100(3).
- [2]. IGS-M-PL-001-2(1).
- [3]. API Specifications 5L, Specifications for Line Pipe.
- [4]. ASTM A370.
- [5]. گل‌عذار، م. ع. (۱۳۹۲). عملیات حرارتی فولادها (ویرایش سوم). اصفهان: مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان.
- [6]. مجذوبی، غ.، و علوی‌نیا، ع. (۱۳۹۰). مقاومت مصالح III. همدان: انتشارات دانشگاه بوعلی‌سینا.
- [7]. ساری، ع. (۱۳۹۶). لوله‌های فولادی انتقال نفت و گاز. تهران: انتشارات شرکت ملی گاز ایران.



Investigating the Changes of Mechanical and Metallurgical Properties Obtained by Hydrostatic Test Using the Method of 110% Yield Stress in Gas Pipelines

Seyed Amir Rezabeigi¹, Mohammad Hossein Yas^{2*}, Behrouz Dargahi³

1. M.Sc. in Mechanical Engineering, Project Implementation Unit, Kermanshah Province Gas Company, Kermanshah, Iran
2. Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran
3. M.Sc. in Mechanical Engineering, Technical Inspection Unit, Iranian Gas Engineering and Development Company, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

ORIGINAL ARTICLE

Article History:

Received: 13 March 2024

Revised: 22 April 2024

Accepted: 09 June 2024

Keywords:

Gas pipeline resistance test

110% hydrostatic test

Pipelines hydrostatic test

ABSTRACT

One of the questions that exist for operators is the effect of 110% pressure of the hydrostatic test on the mechanical and metallurgical properties of the pipe and its effects during operation. The purpose of this article is to examine this issue through practical tests and theoretical and software analysis. In order to achieve this goal, a 110% hydrostatic resistance test (in cooperation with the research unit of Iran Gas Engineering and Development Company at the Bandar Abbas site) was conducted on a 30-inch pipe (API5L PIPE30 THK0.5 SAW X60) and since the pipe was under 4 hours the pressure was applied and the results obtained are the same as the actual conditions.

A 30 cm ring was cut from the above-selected pipe before applying the resistance pressure and a 30 cm ring was cut from the pipe after the resistance test

With the aim of obtaining reliable results and data, mechanical bending, tensile and impact tests in the reference laboratory of Arak Gam, which has a certificate from the standards department, and hardness and metallography tests in the metallurgy laboratory of the quality control unit of Arak Machinery Company (QA) Done.

By obtaining the X60 pipe stress strain diagram and properties in the plastic area from the tensile test, the pipe under 110% S_y pressure was analyzed in Abaqus software and the plastic stress and strain created in the pipe was analyzed and the thickness of the elastic and plastic areas was estimated with the help of Abaqus. was hit.

In order to investigate the possible changes in the metallurgical structure, samples before and after the strength test were examined in macro and micro mode in cooperation with the quality control laboratory of Arak Machinsazy Company.

DOR: [20.1001.1.25885251.1403.00.00](https://doi.org/10.1001.1.25885251.1403.00.00)

How to cite this article

S.A. Rezabeigi, M.H. Yas, B. Dargahi, Investigating the Changes of Mechanical and Metallurgical Properties Obtained by Hydrostatic Test Using the Method of 110% Yield Stress in Gas Pipelines. *Iranian Journal of Gas Engineering*. 2024; 11(1): 22-32. (https://www.ijge.irangi.org/article_722839.html)

* Corresponding Author.

E-mail address: yas@razi.ac.ir, (M.H. Yas).

Available online 01 September 2024

25885-5251/© 2014 The Authors. Published by Iranian Gas Institute.

This is an open access article under the CC BY license. (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

