

بررسی اثر فشار هیدروتست در کاهش اولیته ، تنشهای پسماند و بهبود خواص مکانیکی

مقدمه:

با توجه به نیاز روزافزون کشور به لوله های انتقال نفت و گاز و دستیابی به تکنولوژی تولید آن در داخل کشور نیاز به بررسی علمی و دقیق فرایندهای تولید دیگر بر هیچکس پوشیده نیست. در همین راستا و در جهت تحقق اهداف علمی ، بر آن شدیم تا به بررسی مزایای فرآیند هیدروتست و تاثیر این فرآیند بر خواص مکانیکی لوله های اسپیرال بپردازیم .

در این مقاله سعی شده است تا به بررسی پارامتر فشار که یکی از مهمترین پارامترهای تاثیر گذار در فرآیند هیدروتست می باشد پرداخته شود و تاثیر فرآیند هیدروتست بر روی خواص مکانیکی لوله های تولیدی و همچنین تاثیر متقابل فشار اعمالی بر کاهش اولیته لوله های هیدروتست شده که از تاثیر مستقیم این فرآیند بر کاهش تنشهای پسماند ناشی از فرآیند تولید است بررسی شود . همچنین بدست آوردن یک حد بهینه فشار جهت تست لوله های اسپیرال تولیدی جهت دستیابی به خواص مکانیکی بهتر و اولیته کمتر با توجه به استانداردهای API و IPS جزو سایر اهداف این مقاله می باشد.

کلیه نتایج این مقاله بر پایه آزمایشهای عملی بر روی سایزهای مختلف لوله های اسپیرال گاز بوده ، بر اساس نتایج این تستهای عملی به نظر میرسد که استاندارد IPS در ارتباط با فشار تست نیازمند به بررسی بیشتر است.

1-انواع تنش های پسماند :

نخست تنشهای پسماند در مقیاس ماکرو که حداقل در ابعاد قطر چند دانه می باشد و دلایل پیدایش آن خمش ورق در حین فرآیند تولید و سرعتهای متفاوت سرد کردن ورق در حین فرآیند نورد یا در اثر تغییر شکلهای موضعی که در حین جابجایی و حمل کردن ایجاد می شود می باشند.

دوم: تنشهای پسماند در مقیاس میکرو که در بین دانه های هم جوار رخ می دهد و وابسته به میکرو ساختار اتصال است که به دلیل تفاوت ساختاری میان دو ناحیه در میکرو ساختار پدید می آید مانند کولنی های پرلیت در مقابل دانه های فریت.

سوم: تنشهای پسماند در مقیاس اتمی که در اثر جدایش شیمیایی در مرز دانه ها و فازهای کوهیرنت کوچک در فولادهای میکروآلیاژی پدید می آید.

در موادی که قابلیت تغییر شکل دارند تنشهای پسماند می توانند بوسیله کرنش پلاستیک کاهش یابند در غیر این صورت باعث کاهش استحکام تسلیم خواهند شد.

بعد از اینکه ورقهای فولادی (کوئل) بوسیله فرآیند نورد و جوشکاری به شکل لوله در آمد تنشهایی در جداره لوله باقی می ماند که بزرگی این تنشهای ایجاد شده بستگی به روش تولید و فرآیندهای تکمیلی بعدی بر روی لوله ها دارد.

نمودارهای مربوط به توزیع تنش بر روی جداره لوله بعد از ترک ایستگاه فرمینگ را می توان در شکل شماره 1 مشاهده کرد (نمودارهای مربوط را می توان در سمت چپ تحت عنوان تنشهای بعد از ترک ایستگاه فرمینگ مشاهده کرد)

در این دیاگرامها علامت (+) به معنای تنش کششی و علامت (-) به معنای تنش فشاری می باشد.

2- بررسی تنشهای اعمالی در حین فرآیند هیدروتست:

بارهای وارد به لوله توسط فشار داخلی که در حین فرایند هیدروتست اعمال می شود باعث ایجاد یک تنش کششی در جداره لوله می شود که این تنشها به تنشهای حاصله از فرآیند تولید اضافه می شود و با برداشتن فشار این تنشها نیز برطرف می شود. در نتیجه فشارهای وارده، در مکانهایی از جداره لوله که تنشها به طور موضعی از σ_y بزرگتر باشد لوله را به صورت موضعی دستخوش تغییرات پلاستیکی می کنند (شکل 1 ستون سمت چپ درست بالای خط خنثی).

در شکل 1 ستون میانی تنشهای وارده به لوله در اثر فشار هیدروتست طبق محاسبات تئوری نشان داده شده است و در ستون آخر سمت راست مجموع تنشهای وارده در هنگام فرآیند هیدروتست به همراه تنشهای موجود در لوله نشان داده شده است و نواحی که دستخوش تغییرات پلاستیکی قرار گرفته اند در سطر 1 با F11 در سطر 2 با F12 و F22 و در سطر 3 با F13 و F23 نشان داده شده است. از این تصاویر میتوان استنباط کرد که با افزایش فشار تست، قسمتی از لوله ها که دستخوش تغییرات پلاستیک می گیرند بزرگتر می شوند.

3- تنشهای پسماند بعد از فرآیند هیدروتست:

شکل 2 نشان دهنده تنشهای پسماند بعد از فرآیند هیدروتست می باشد. تنشهای موجود در ستون سمت راست تنشهای پسماند بعد از فرآیند هیدروتست را نشان می دهد در ستون میانی تنشهای وارده توسط فرآیند هیدروتست با توجه به فشار اعمالی را نشان می دهد شکل 2 موید این مطلب است که با افزایش فشار فرآیند هیدروتست (تا حد معین) تنشهای پسماند کاهش می یابد.

4- ضرورت انجام فرآیند هیدروتست در لوله های اسپیرال نسبت به لوله های درز جوش مستقیم:

موضوعی که بیش از پیش ضرورت انجام فرآیند هیدروتست در لوله های اسپیرال را نمایان می سازد این است که لوله های اسپیرال به دلیل خصوصیات خوب هندسی احتیاجی به انبساط مصنوعی (کالیبره کردن) جهت دستیابی به اندازه های دلخواه را ندارند و کاهش تنشهای پسماند ناشی از فرایند تولید فقط در هنگام فرایند هیدروتست ممکن می باشد در صورتیکه در لوله های درز جوش مستقیم بواسطه انجام عملیات کالیبر تنشهای موجود در جداره لوله کاهش می یابد.

5- بررسی تاثیر فرایند هیدروتست بر روی خواص مکانیکی لوله:

در جدول 1 نتایج آزمایش خواص مکانیکی قبل وبعد از فرایند هیدروتست نشان داده شده است این آزمایشات بر لوله هایی با قطر 48 اینچ ضخامت 0/562 اینچ و گرید X65 صورت گرفته است.

نمونه های مذکور به طرق زیر تهیه شده اند:

All weld : نمونه از مغز جوش و در امتداد جوش تهیه شده است که نشان دهنده خواص مکانیکی ناشی از تاثیر پودر، فلز پر کننده و فلز پایه می باشد.

Weld : نمونه در جهت عمود بر راستای جوش تهیه شده است که تا حدودی نشان دهنده خواص مکانیکی منطقه متأثر از حرارت می باشد زیرا نمونه تهیه شده در بر گیرنده این منطقه نیز می باشد و بدلیل اینکه منطقه متأثر از حرارت دارای خواص مکانیکی پایین تری نسبت به جوش و فلز پایه می باشد عموماً شکست از این منطقه صورت می پذیرد.

Body : نمونه ها در دو جهت طولی و عرضی تهیه شده اند(بدلیل جهت دار بودن خواص مکانیکی) و نشان دهنده خواص مکانیکی فلز پایه می باشد .

5-1- بررسی نتایج بدست آمده از آزمایش خواص مکانیکی قبل وبعد از فرآیند هیدروتست:

همانطور که انتظار می رفت ودر نتایج بدست آمده نیز مشهود است، تنشهای پسماند در منطقه جوش و منطقه متاثر از حرارت بیشتر از فلز پایه مشاهده می شود و تاثیر فرایند هیدروتست بر روی این دو منطقه بیشتر می باشد که این مطلب با افزایش تنش تسلیم خود را نشان داده است و همچنین با توجه به کاهش سختی در مناطق سه گانه(جوش ، فلز پایه و منطقه متاثر از حرارت) می توان اینگونه استنباط کرد که تنشهای پسماند کاهش یافته است و این کاهش سختی میتواند ناشی از کاهش اعوجاج سیستم بدلیل کاهش تنشهای پسماند باشد (سختی سنجی یکی از آزمایشهایی است که در بررسی تنشهای پسماند مورد استفاده قرار می گیرد) و در آخر لازم به ذکر است که نتایج تست ضربه نیز بهبود نسبی از خود نشان داده اند.

6- بررسی مزایا و معایب افزایش فشار فرآیند هیدروتست:

[2] فشار اعمالی در فرایند هیدروتست طبق استاندارد IPS:

$$P = \frac{20ST}{D}$$

P= فشار هیدروتست (Kpa)

S= حد اقل استحکام تسلیم برای گریدهای مختلف فولاد مطابق دستور العمل (SMYS) (Mpa)

T= ضخامت لوله (mm)

D= قطر خارجی (mm)

در استاندارد IPS مقدار 95SMYS٪ را در فرمول ذکر شده جایگذاری می کنند.

یکی از مزایای افزایش فشار ، افزایش ضریب اطمینان لوله های اسپیرال مورد استفاده در خطوط لوله نفت و گاز می باشد. در شکل 3 وابستگی سائز عیوب احتمالی و نسبت عمق عیب به ضخامت لوله نشان داده شده است [1] به طور مثال در فشاری معادل 90SMYS٪ عیوبی با طول 4/5 اینچ و نسبت عمق عیب به ضخامت برابر 0/5، می توانند در لوله باقی بمانند و عیوبی با طول بیشتر یا نسبت عمق عیب به ضخامت بالاتر باعث انهدام لوله می شود ولی در فشاری معادل MAOP (72/SMYS) عیوبی با طول 10 اینچ و نسبت عمق عیب به ضخامت لوله برابر 0/5 می تواند بدون اینکه باعث انهدام لوله شود وجود داشته باشد.

این مطلب موید آن است که افزایش فشار هیدروتست باعث افزایش ضریب اطمینان از عدم حضور عیوبی شود که در نهایت میتواند باعث انهدام خطوط لوله گردد.

با توجه به اینکه MAOP فشاری معادل $SMYS/72$ است و حداکثر فشاری است که در خطوط لوله اعمال می شود ممکن است این سوال پیش آید که اگر حداکثر فشار اعمالی در خطوط لوله معادل $SMYS/72$ است چه لزومی بر انجام این تست در فشارهای بالاتر وجود دارد؟ جواب سوال در این مطلب نهفته است که با انجام تست در فشارهای بالاتر از MAOP می توان مطمئن بود عیوبی که در حین فرآیند تولید در لوله ها ایجاد شده اند طول کمتری دارند و این مطلب نشان دهنده آن است که این عیوب جهت رسیدن به حد بحرانی مدت زمان بیشتر را طی می کند و این امر می تواند باعث افزایش اطمینان از مدت زمان بهره برداری از خطوط لوله شود.

پس از بررسی های به عمل آمده بر روی 844 لوله 30 اینچ، ضخامت $0/375$ با گرید X52 [1] مشخص گردید [1] که تعداد بسیار کمی از لوله ها دارای استحکام تسلیمی پایین تر از $SMYS/100$ می باشند و اکثر قریب به اتفاق آنها دارای استحکام تسلیمی بالاتر از مقدار مذکور می باشند که نتایج این بررسی در شکل شماره 4 نشان داده شده است.

همچنین پس از بررسی های بعمل آمده در 300 مایل خطوط لوله به قطر 30 اینچ، ضخامت $0/375$ با گرید X52 که در $SMYS/113$ تست شده بودند تنها 100 اتصال از بین 40000 اتصال تست شده به میزان حداکثر 1٪ منبسط شده بودند و در تست دیگری که در 66 مایل خطوط لوله با قطر 36 اینچ با گرید X60 در $SMYS/113$ تست شده بودند 100 لوله در بین 6600 لوله به میزان حداکثر 1٪ منبسط شده بودند. ولیکن با وجود مطالب ذکر شده در بالا این افزایش فشار با معایبی نیز همراه می باشد، همانگونه که از جدول شماره 2 و 3 (ازمایش بر روی لوله هایی به قطر 48 اینچ، ضخامت 0.78 اینچ و گرید X70 صورت گرفته است) استنباط می شود با افزایش فشار فرآیند هیدروستات از $SMYS/95$ (جدول 2) به $SMYS/112$ (جدول 3) اولیته لوله ها افزایش یافته است که این موضوع از جنبه تئوری نیز تأیید شده است که افزایش فشار از یک میزان بیشتر باعث افزایش تنشهای پسماند و به طبع آن افزایش اولیته خواهد شد همچنین افزایش فشار بیش از میزان ذکر شده در بالا ممکن است باعث بوجود آمدن ترکهای نرمی در ساختار شود که حتی با کاهش فشار نیز باقی می ماند و موجبات انهدام لوله ها را فراهم می آورد.

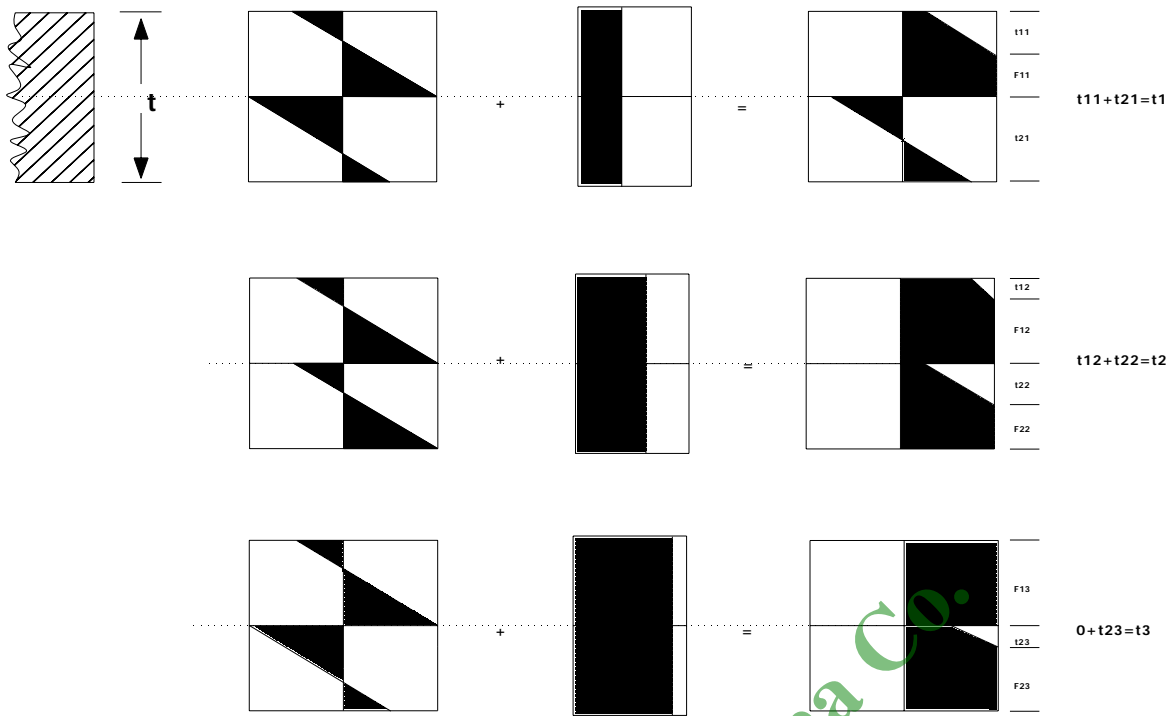
8- نتیجه گیری:

مطالب بالا بیان گر لزوم انجام فرایند هیدروستات لوله های اسپیرال می باشد همچنین ذکر این مطلب که افزایش فشار بیش از $SMYS/95$ (تا حد معینی) تهدیدی برای لوله های تولیدی نمی باشد ولی از این نکته نیز نباید غافل بود که افزایش فشار بیش از حد معین به افزایش اولیته لوله ها و ایجاد ترکهای نرم در ساختار کمک می کند. بهر حال این موضوع نیازمند بررسی های دقیق تری جهت بدست یک حد بهینه فشاری باشد.

منابع:

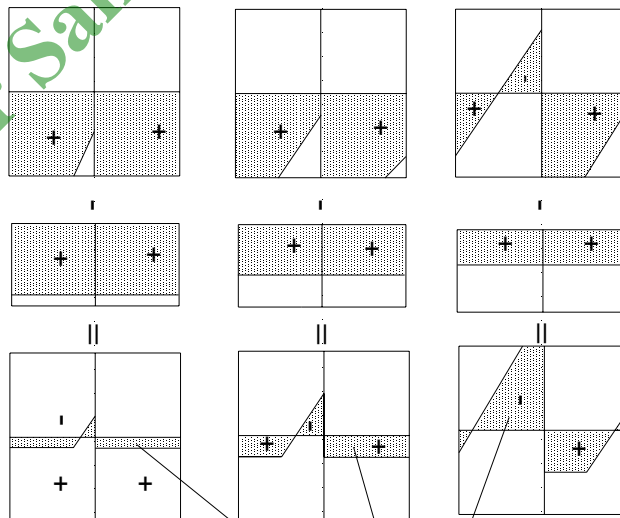
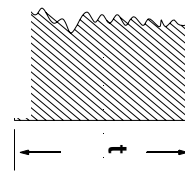
1-kiefner,john.The Benefits And Limitation Of Hydrostatic Testing (2004)

2-- Iranian Petroleum Standard, IPS-M-PI-190(2), 2004.



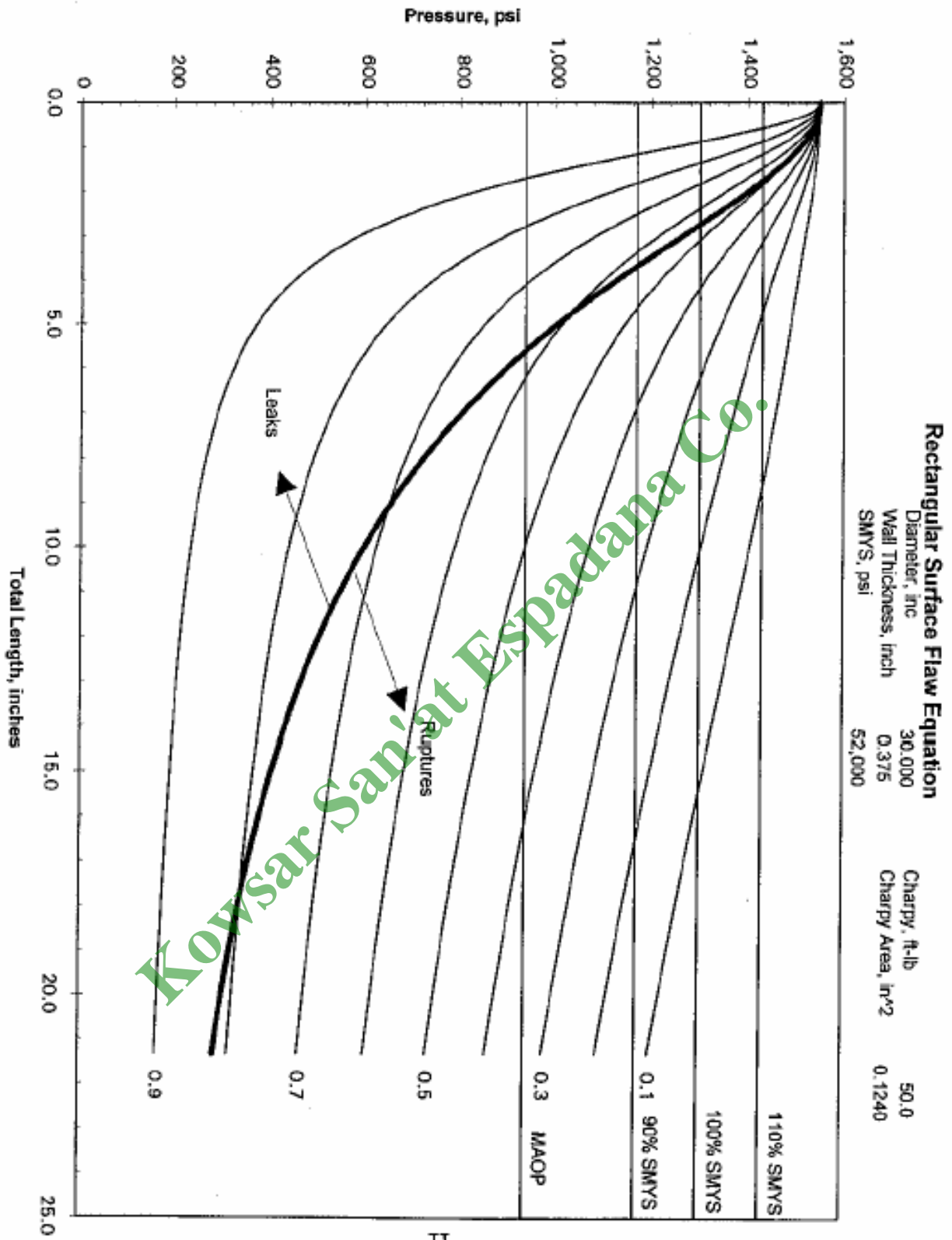
شکل 1- تنشهای اعمالی در حین فرایند

هیدروتست

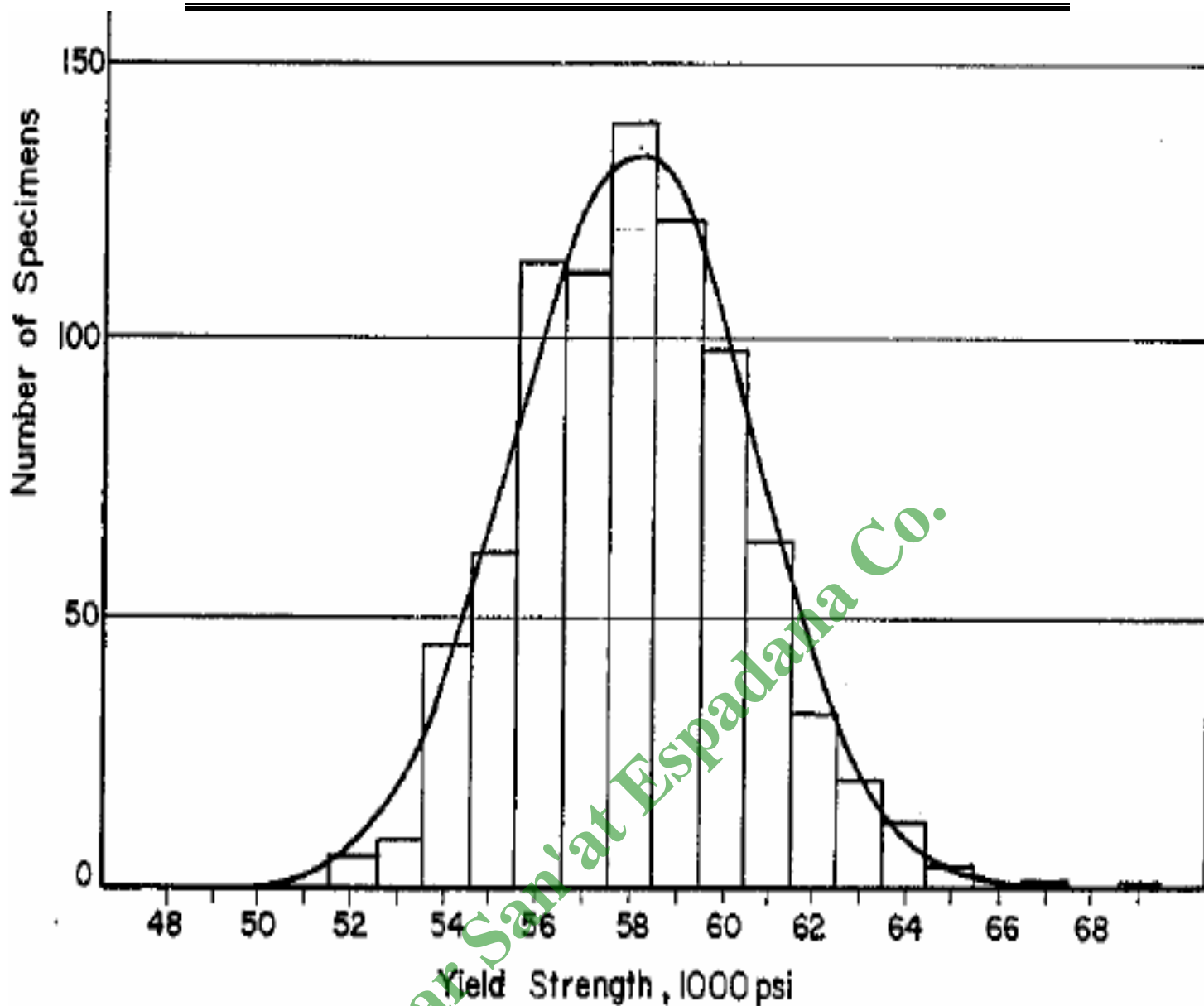


تنشهای پسماند باقیمانده در جداره لوله

شکل 2: تنشهای پسماند بعد از فرایند هیدروتست



شکل 3: وابستگی سائز عيوب احتمالی و نسبت عمق عيب به ضخامت اوله با توجه به فشار اعمالی فرايند هيدروتست



شکل 4: منحنی نرمال توزیع فراوانی استحکام تسلیم 844 شاخه لوله 30 اینچ ضخامت 0.375 اینچ، گرید X52

وضعیت لوله شماره لوله		هیدروتست نشده (۱۶۹۲۸۸)					هیدروتست شده (۱۶۹۲۸۹)					
		All Weld		Weld	Body		All Weld			Weld	Body	
نام تست	شماره نمونه ها	۱	۲		T	L	۱	۲	۳		T	L
تست کشش	Yeild(Rp - γ N/mm ²)	۵۱۹.۰۱	۵۱۴.۷۵	۴۱۰.۰۷	۵۰۸.۶۹	۵۴۷.۲۵	۵۶۰.۵۹	۵۵۰.۷۳	۵۶۱.۷۱	۵۲۹.۴۸	۴۷۵.۹۸	۴۸۵.۶۶
	UTS(F Max N/mm ²)	۵۸۱.۸۸	۵۹۸.۵۳	۶۸۶.۲۹	۶۲۰.۲۱	۶۱۸.۸۸	۶۳۴.۷۵	۶۲۴.۳۷	۶۲۸.۹۲	۶۷۵.۶۶	۶۰۶.۹۳	۶۰۸.۸۷
	EL (Strain at Break %)	۲۲.۸۵	۲۶.۰۶	۲۹.۶۰	۲۹.۱۶	۲۹.۵۰	۲۱.۶۳	۲۳.۱۰	۱۵.۰۳	۲۷.۲۹	۳۱.۷۲	۳۱.۸۰
	Yeild/UTS	-۰.۸۹۲	-۰.۸۶۰	-۰.۵۹۸	-۰.۸۲۰	-۰.۸۸۴	-۰.۸۸۲	-۰.۸۸۲	-۰.۸۹۳	-۰.۷۹۸	-۰.۷۸۴	-۰.۷۹۸
تست صربه (ژول)	Body	۲۷۲	۲۷۶	۲۷۰	AVG : ۲۷۲		۲۹۲	۲۷۰	۳۰۰	AVG : ۲۸۷		
	Weld	۲۱۶	۱۵۶	۱۹۸	AVG : ۱۹۰		۲۳۰	۲۳۰	۲۴۰	AVG : ۲۳۲		
تست سختی	Weld	Point ۱۰	۲۴۰				۲۲۸					
		Point ۲۲	۲۳۶				۲۲۸					
		Point ۳۶	۲۴۵				۲۲۱					
	HAZ	Point ۱۶	۲۰۶				۱۸۵					
		Point ۲۲	۲۱۳				۱۸۱					
		Point ۳۲	۲۱۳				۲۰۲					
	Body	Point ۳	۲۲۴				۲۱۳					
		Point ۲۹	۲۲۱				۲۰۹					
	Point ۱۸	۲۲۸				۲۰۶						

جدول شماره 1: نتایج خواص مکانیکی قبل و بعد از فرایند هیدروتست

Kowsar San'at Espadana Co.

جدول 2: نتایج بدست آمده از تغییرات اولیته لوله قبل و بعد از فرایند هیدروتست در فشاری معادل 95% SMYS

شماره لوله: ۱۶۸۱۰۹		شماره لوله: ۱۶۸۰۹۴		شماره لوله: ۱۶۸۱۰۷		شماره لوله: ۱۶۸۱۰۸	
سمت: B		سمت: A		سمت: B		سمت: A	
قبل از هیدروتست	بعد از هیدروتست	قبل از هیدروتست	بعد از هیدروتست	قبل از هیدروتست	بعد از هیدروتست	قبل از هیدروتست	بعد از هیدروتست
۱۹	۱۸	۲۰	۱۷	۱۶	۱۹	۱۷	۱۸
۲۰	۱۹	۱۷	۲۰	۲۱	۱۶	۱۶	۱۶
۱۷	۲۰	۲۰	۱۸	۱۶	۱۶	۱۸	۱۶
۱۹	۱۶	۲۲	۲۰	۱۸	۲۲	۱۸	۱۸
۲۹	۲۸۲۷	۲۲	۲۸	۲۲	۲۲	۲۲	۲۹
۲	۴	۵	۳	۴	۷	۵	۱۰
۱۵	۱۵	۲۱	۲۲	۲۰	۲۰	۲۱	۲۲
۲۲	۱۹	۱۶	۱۵	۱۶	۱۶	۱۶	۱۲
۱۷	۱۹	۱۹	۲۰	۱۶	۲۲	۱۹	۲۱
۲۰	۲۰	۱۹	۱۹	۱۸	۰	۱۷	۱۶
۲۱	۲۸۲۷	۲۸	۲۸	۲۲	۲۹	۲۰	۲۸
۷	۵	۳	۷	۴	۷	۵	۱۰

جدول 3: نتایج بررسی تغییرات اولیته لوله های اسپیرال قبل و بعد از فرایند هیدروتست در فشاری معادل 112: SMYS

شماره لوله:		سایز: 48*14.3(x65)		
سمت: B		سمت: A		
قبل از هیدروتست	بعد از هیدروتست	قبل از هیدروتست	بعد از هیدروتست	محور
18	20	23	21	X
20	16	18	19	Y
22	18	18	16	Z
17	20	23	22	W
33	30	38	3829	پیرامون
5	4	5	6	اولیته
شماره لوله:		سایز: 48*14.3(x65)		
سمت: B		سمت: A		
قبل از هیدروتست	بعد از هیدروتست	قبل از هیدروتست	بعد از هیدروتست	محور
20	23.5	21.5	25	X
17	12	19	13	Y
20	21	21	21	Z
18	18	16.5	17	W
32	30	35	31.5	پیرامون
3	11.5	5	12	اولیته
شماره لوله:		سایز: 48*14.3(x65)		
سمت: B		سمت: A		
قبل از هیدروتست	بعد از هیدروتست	قبل از هیدروتست	بعد از هیدروتست	محور
19	18	25	22	X
18	19	15	14	Y
17	19	20	20.5	Z
21	17	20	21	W
32	30	35	30	پیرامون
4	2	10	8	اولیته
شماره لوله:		سایز: 48*14.3(x65)		
سمت: B		سمت: A		
قبل از هیدروتست	بعد از هیدروتست	قبل از هیدروتست	بعد از هیدروتست	محور
15	18	22	21	X
23	19	18	13	Y
19	21	15	18	Z
17	18.5	29	22	W
33	28	37	30	پیرامون
8	3	14	8	اولیته
شماره لوله:		سایز: 48*14.3(x65)		
سمت: B		سمت: A		
قبل از هیدروتست	بعد از هیدروتست	قبل از هیدروتست	بعد از هیدروتست	محور
21	20	23	16	X
16	15	16	18	Y
19	19	18	20	Z
18	17	20	18	W
29	25	33.5	32	پیرامون
5	5	7	4	اولیته
شماره لوله:		سایز: 48*14.3(x65)		
سمت: B		سمت: A		
قبل از هیدروتست	بعد از هیدروتست	قبل از هیدروتست	بعد از هیدروتست	محور
20	21	22	23	X
19	17	16	13	Y
19	18	20	20	Z
19	19	17	16	W
34	30	34	3830	پیرامون
1	4	6	10	اولیته