

۶.۴- غلاف محیطی برای سیستم لوله کشی

4.6- Full Encirclement Steel Reinforcing Sleeves for Piping

۱- شرح

در این مقاله به بررسی الزامات طراحی، نصب و اجرای غلافهای محیطی کامل فولادی که به صورت جوشی بر روی سیستم لوله کشی و خطوط لوله به وفور بکار می روند، می پردازیم. در طراحی غلاف می توان هم برای قابلیت تحمل فشار و یا تنها برای یک تقویت خط لوله و سیستم لوله کشی در نظر گرفت. از غلافهای محیطی کامل به وفور در صنایع به عنوان یک روش تعمیراتی موثر در تقویت و تعمیر عیوب داخلی و خارجی استفاده می شود. در تصویر شماره ۱ نمونه کاربرد غلاف محیطی را برای تعمیر یک خط لوله مشاهده می نمایید.

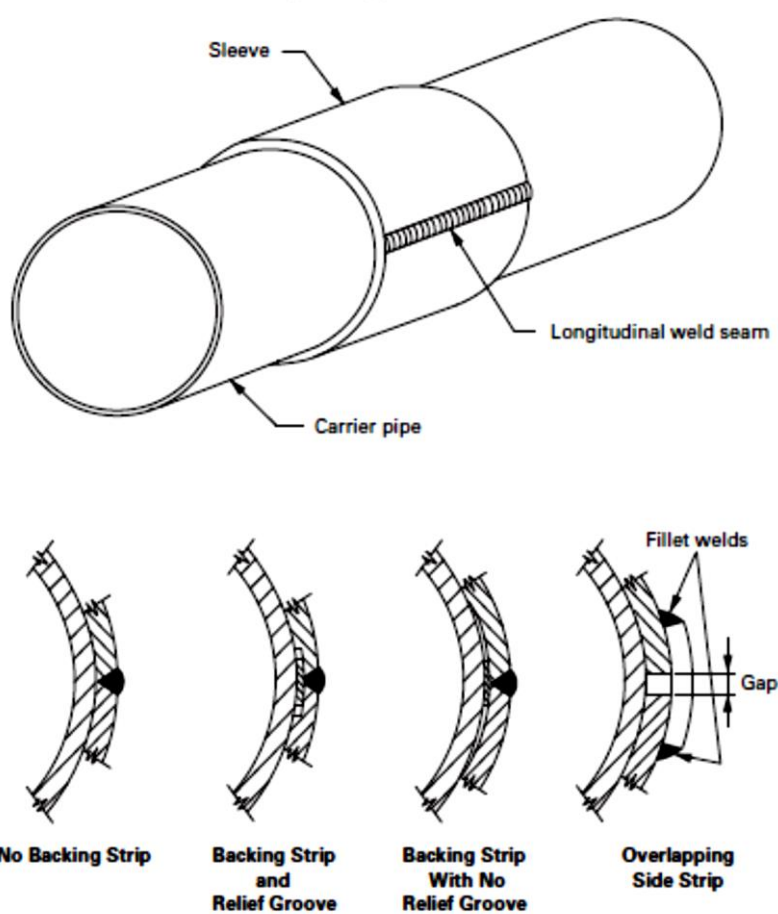


تصویر ۱- استفاده از غلاف محیطی برای تقویت نواحی خورده شده خطوط لوله

۱.۱. غلاف فولادی

غلاف های محیطی فولادی شامل یک پوسته استوانه ای می باشد که بر روی موضع عیب لوله قرار گرفته و دو درز جوش طولی آن جوشکاری می شود. غلاف ها به دو نوع A و نوع B تقسیم بندی می شوند. در غلاف نوع A تنها درز جوشهای طولی جوشکاری شده و درز جوشهای محیطی بدون جوشکاری باقی می ماند. در غلاف نوع B علاوه بر درز جوشهای طولی، دو سر درز جوش محیطی نیز جوشکاری می شود.

تصاویر ۲ و ۳ نمونه غلافهای نوع A و نوع B را مشاهده می نمایید. غلاف را می توان از یک لوله یا ورق رول شده تهیه نمود.



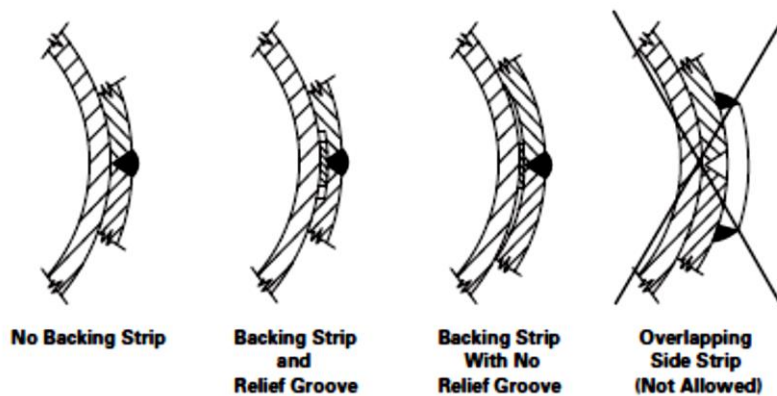
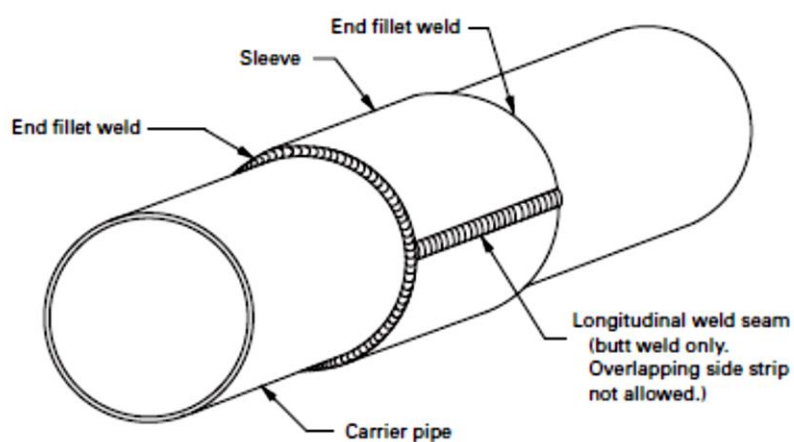
تصویر ۲- غلاف نوع A

۱,۲. غلاف نوع A

همانگونه که در تصویر ۲ مشاهده می نمایید در غلاف نوع A سرجوشهای محیطی دو طرف غلاف جوشکاری نشده و بنابراین قابلیت تحمل فشاری را نداشته و صرفاً برای تقویت ناحیه خورده شده به کار می رود. از این غلاف برای تعمیر عیوبی که ناشی نداشته و احتمال رشد آنها نیز در حین سرویس وجود نداشته و یا زمانی که کاملاً مکانیزم تخریب مربوطه تحت کنترل باشد، به کار می رود.

۱,۲. غلاف نوع B

مطابق تصویر شماره ۳ در غلاف نوع B دو سر جوش محیطی غلاف نیز جوشکاری شده و بنابراین قابلیت تحمل فشاری را دارا خواهد بود. از غلاف نوع B می توان برای تعمیر عیوب دارای نشتی و یا عیوبی که در آینده دچار نشتی می شود و هم چنین برای تقویت لوله هایی که دارای عیوب منجر به کاهش قابلیت تحمل استحکام طولی لوله می شوند، استفاده نمود.



تصویر ۳- غلاف نوع B

۲- محدودیت ها

۲,۱. فصل سوم

فصل سوم این کتاب شامل الزامات تکمیلی و محدودیت هایی است که تمامی روشهای تعمیراتی را شامل می شود. استفاده از این روش با فصل سوم کتاب مغایرتی نداشته باشد.

۲,۲. مقررات داخلی Regulations

مقررات داخلی شرکتها در زمینه تعمیرات خطوط لوله و سیستمهای لوله کشی بر مجموعه قوانین کدها و استانداردهای دیگر اولویت قانونی داشته و استفاده از آنها باید در تقدم قرار گیرد. استفاده از غلاف برای تعمیرات خطوط لوله و سیستم لوله کشی نیایستی با قوانین داخلی شرکتی مغایرتی داشته باشد.

۲,۳. جوشکاری حین سرویس

مطابق بند ۸,۱,۳ کدهای بازرسی کارخانجات API Plant مجوز جوشکاری حین سرویس بر عهده بالاترین مقام اجرایی حوزه (owner /user) می باشد. بنابراین پس از تهیه دستورالعمل تعمیراتی توسط غلاف توسط واحد بازرسی فنی مجوز جوشکاری حین سرویس در اختیار رئیس عملیات تولید یا رئیس منطقه مربوطه خواهد بود. در تصویر ۴ بند کد بازرسی سیستم لوله کشی در دوره بهره برداری API 570,2016 در زمینه مجوز جوشکاری حین سرویس را مشاهده می نمایید.

8.1.3 Approval

All proposed methods of design, execution, materials, welding procedures, examination, and testing shall be approved by the inspector or by the piping engineer, as appropriate. **Owner/user approval of on-stream welding is required.**

تصویر ۴- بند ۸,۱,۳ کد API 570 در زمینه اخذ مجوز جوشکاری حین سرویس

۲,۴. عمر تعمیراتی

بر اساس کد بازرسی سیستم لوله کشی در دوره بهره برداری API 570 غلافهای نوع A و نوع B جزء تعمیرات موقت بوده و بنابراین می بایست در اولین فرصت تعمیراتی ممکن با تعمیرات دائم جایگزین شده و در غیر اینصورت تنها پس از ارزیابی توسط واحد مهندسی می توان تا دوره تعمیراتی بهره برداری بعدی عمر تعمیراتی غلاف را تمدید نمود. در تصویر ۵ بند ۸,۱,۴,۱ کد بازرسی سیستم لوله کشی در دوره بهره برداری API 570,2016 را مشاهده می نمایید که غلاف را جزء تعمیرات موقت به شمار می آورد.

8.1.4 Welding Repairs (Including On-stream)

8.1.4.1 Temporary Repairs

For temporary repairs, including on-stream, a full encirclement welded split sleeve or box-type enclosure designed by the piping engineer may be applied over the damaged or corroded area. See various articles in ASME PCC-2 for more information on repairs to piping systems. Longitudinal cracks shall not be repaired in this manner unless the piping engineer has determined that cracks would not be expected to propagate from under the sleeve. In some cases, the piping engineer will need to consult with a fracture analyst. The design of temporary enclosures and repairs shall be approved by the piping engineer.

تصویر ۵- بند ۸,۱,۴,۱ کد API 570 در زمینه تعمیرات موقت بودن غلاف

۲,۵. عیوب دارای نشتی

برای تعمیرات عیوب دارای نشتی با استفاده از غلاف نوع B می بایست تمهیدات لازم جهت رفع نشتی قبل از جوشکاری غلاف اندیشیده شود. برای این منظور می توان از گوه، نوارهای کامپوزیتی و یا چسب های پایه رزین استفاده نمود.

۲,۶. فرآیندهای سیکلی

در صورتی که از غلاف برای تعمیر در فرآیندهای دارای سکیل های فشاری و گرمایی استفاده می شود، می بایست ارزیابی خستگی بر اساس بند ۳,۸ صورت پذیرد. در صورتی که از غلاف نوع B برای فرآیندهای با سیکل گرمایی استفاده می شود، حتما ارزیابی خستگی جوشهای گوشه محیطی بر اساس بند ۳,۸ صورت پذیرد.

۲,۷. عیوب محیطی

استفاده از غلاف نوع A برای عیوب محیطی که قابلیت تحمل بارهای طولی را ندارند، مناسب نمی باشد زیرا غلاف نوع A قابلیت تحمل بارهای طولی را ندارد.

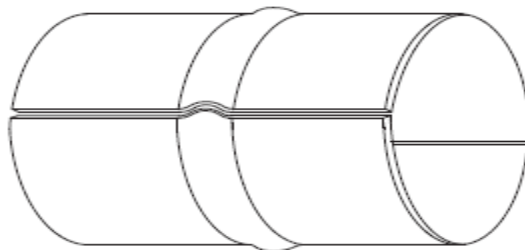
۲,۸. خوردگی زیر غلاف

در غلاف نوع A می بایست تمهیدات لازم برای جلوگیری از نفوذ رطوبت به زیر غلاف از سمت سر جوشهای محیطی و خوردگی متعاقب در فضای بین غلاف و لوله به کار برده شود. استفاده از آب بند یا پوشش برای دو سر محیطی غلاف نوع A توصیه می شود.

۲,۹. گرده جوش

گرده جوشهای طولی و محیطی لوله میتواند مانع فیتاپ دقیق غلاف بر روی لوله شود. در صورتی که به منظور اجرای دقیق غلاف بر روی لوله نیاز به سنگ زنی و برداشتن گرده اضافی جوشهای طولی یا محیطی است، قبل از سنگ زنی نسبت به رادیوگرافی یا آلتراسونیک جوشهای مربوطه اقدام به عمل آید. البته می

توان مطابق تصویر ۶ با تعبیه یک برآمدگی بر روی غلاف در محل جوشهای طولی یا محیطی نسبت به فیتاپ دقیق غلاف و لوله اقدام نمود. درز جوش در راستای طول و محل برآمدگی غلاف می بایست کاملاً یکنواخت باشد.



تصویر ۶- تعبیه یک برآمدگی در غلاف در محل جوشهای محیطی یا طولی

۲,۱۰. الزامات اندازه غلاف

مواضعی که الزامات ارزیابی کارآمدی FFS را برآورده نکرده، می بایست با غلاف به طور کامل پوشانیده شود. در غلاف نوع B نیز سر جوشهای محیطی در منطقه با ضخامت مناسب قرار گیرد تا از سوختگی فلز پایه و نشت سیال احتمالی جلوگیری شود.

۲,۱۱. جوشکاری

جوشکاری می بایست توسط جوشکار دارای تایید صلاحیت و بر اساس یک دستورالعمل جوشکاری WPS تایید شده و منطبق با شرایط حین سرویس صورت پذیرد. برای تایید دستورالعمل جوشکاری حین سرویس می توان به روش جوشکاری شبیه سازی شده بر اساس یک دستورالعمل شبیه سازی شده محیطی^۱ SISWPS استفاده نمود که در مقاله ۴,۱۰ به طور مفصل به این قضیه می پردازیم. در تصویر ۷ نمونه حالت شبیه سازی شده جهت تایید یک دستورالعمل جوشکاری حین سرویس غلاف را مشاهده می نمایید.

۲,۱۲. مواد پر کن بین غلاف و لوله

در صورتی که از مواد پر کننده سخت شونده بین لوله و غلاف استفاده می شود، می بایست با شرایط محیطی و سیال مربوطه سازگار باشد. ماده پرکنی می بایست با شرایط دمایی، غلاف نوع B و سیال سرویس سازگار باشد. ماده پرکنی را می توان قبل از نصب غلاف یا پس از نصب غلاف با انجام تزریق اعمال نمود.

^۱ - Simulated In Service WPS



تصویر ۷- انجام دستورالعمل شبیه سازی شده SISWPS جهت تایید دستورالعمل جوشکاری غلاف حین سرویس

۳- طراحی

۳.۱. غلاف نوع A

متریال غلاف نوع A می بایست با کدهای ساخت مربوطه سازگار بوده و حداقل ضخامت آن از $2/3$ ضخامت فلز پایه لوله اصلی کمتر نباشد. تنشهای طولی وارده بر خط لوله اصلی باید الزامات کدهای کاربردی مربوطه را برآورده نماید زیرا غلاف نوع A قابلیت تحمل تنش های طولی در راستای محیطی را ندارد.

۳.۲. غلاف نوع B

غلاف نوع B به دلیل قابلیت تحمل فشاری می بایستی ضخامت آن حداقل بزرگتر مساوی ضخامت مورد نیاز جهت تحمل حداکثر فشار مجاز طراحی باشد یا می توان بر اساس ارزیابی های مهندسی حداقل ضخامت مورد نیاز را جهت تحمل فشار طراحی و برابر با بارهای وارده به لوله اصلی محاسبه نمود. به عنوان مثال حداقل ضخامت مورد نیاز غلاف برای یک سیستم لوله کشی فرآیندی بر اساس بند 304.2 استاندارد ASME B31.3 از فرمول زیر محاسبه می شود :

$$t = \frac{PD}{2(SEW + PY)}$$

در این فرمول :

P : فشار طراحی

D : قطر خارجی لوله

S : مقدار تنش مجاز متریال در دمای طراحی که از جدول A1 بدست می آید (تصویر ۸)

E : مقدار رندمان اتصال جوشی که از جدول J.E بدست می آید (تصویر ۹). شایان ذکر است این راندمان اتصال تنها برای جوشهای طولی در نظر گرفته می شود زیرا بیشترین تنش وارده که تنش محیطی است در راستای جوشهای طولی وارد می شود.

W: ضریب کاهش استحکام جوش، به دلیل کاهش استحکام جوش در دمای بالا نسبت به فلز پایه مقدار این فاکتور بر اساس جدول تصویر ۱۰ بدست می آید.

Y : فاکتور افزایش قطر فلز پایه در دمای بالا است که بر اساس جدول تصویر ۱۱ به دست می آید.

تصویر ۸- جدول مقادیر تنش مجاز متریال بر اساس جدول A1 استاندارد ASME B31.3

Table A-1 Basic Allowable Stresses in Tension for Metals¹ (Cont'd)
Numbers in Parentheses Refer to Notes for Appendix A Tables; Specifications Are ASTM Unless Otherwise Indicated

Material	Spec. No.	Type/ Grade	UNS No.	Class/ Condition/ Temper	Size, in.	P-No. (5)	Notes	Min. Temp., °F (6)	Specified Min. Strength, ksi				
									Tensile	Yield	to 100	200	300
Carbon Steel													
Pipes and Tubes (2)													
A285 Gr. A	A134	...	...	...	...	1	(8b)(57)	B	45	24	15.0	14.7	14.2
A285 Gr. A	A672	A45	K01700	...	...	1	(57)(59)(67)	B	45	24	15.0	14.7	14.2
Butt weld	API 5L	A25	...	...	...	1	(8a)	-20	45	25	15.0	15.0	14.7
Smis & ERW	API 5L	A25	...	...	...	1	(57)(59)	B	45	25	15.0	15.0	14.7

Table 302.3.4 Longitudinal Weld Joint Quality Factor, E_j

No.	Type of Joint	Type of Seam	Examination	Factor, E_j
1	Furnace butt weld, continuous weld 	Straight	As required by listed specification	0.60 [Note (1)]
2	Electric resistance weld 	Straight or spiral (helical seam)	As required by listed specification	0.85 [Note (1)]
3	Electric fusion weld			
	(a) Single butt weld 	Straight or spiral (helical seam)	As required by listed specification or this Code	0.80
	(with or without filler metal)		Additionally spot radiographed in accordance with para. 341.5.1	0.90
			Additionally 100% radiographed in accordance with para. 344.5.1 and Table 341.3.2	1.00

تصویر ۱۰- جدول مقادیر J.E جوش طولی بر اساس استاندارد ASME B31.3

Table 302.3.5 Weld Joint Strength Reduction Factor, W

Steel Group	Component Temperature, T_i , °C (°F)														
	427 (800)	454 (850)	482 (900)	510 (950)	538 (1,000)	566 (1,050)	593 (1,100)	621 (1,150)	649 (1,200)	677 (1,250)	704 (1,300)	732 (1,350)	760 (1,400)	788 (1,450)	816 (1,500)
CrMo [Notes (1)–(3)]	1	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77	0.73	0.68	0.64	...	...	...	...	...	...
CSEF (N + T) [Notes (3)–(5)]	...	...	...	1	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77	...	...	...	...	...	...
CSEF [Notes (3) and (4)] (Subcritical PWHT)	...	...	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	...	...	...	...	...	...
Autogenous welds in aus- tenitic stainless grade 3xx, and N088xx and N066xx nickel alloys [Note (6)]	...	...	...	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Austenitic stainless grade 3xx and N088xx nickel alloys [Notes (7) and (8)]	...	...	...	1	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77	0.73	0.68	0.64	0.59	0.55	0.5
Other materials [Note (9)]	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

تصویر ۱۱- جدول مقادیر ضریب کاهش استحکام جوش W بر اساس استاندارد ASME B31.3

Table 304.1.1 Values of Coefficient Y for $t < D/6$

Materials	Temperature, °C (°F)					
	≤ 482 (900 & Lower)	510 (950)	538 (1,000)	566 (1,050)	593 (1,100)	≥ 621 (1,150 & Up)
Ferritic steels	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7
Austenitic steels	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
Other ductile metals	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Cast iron	0.0	...	...	...	...	...

تصویر ۱۲- مقادیر فاکتور Y بر اساس استاندارد ASME B31.3

شایان ذکر است مقدار راندمان اتصال جوشی J.E برای جوشهای طولی غلاف برابر با 0.8 در نظر گرفته می شود مگر اینکه جوشهای طولی غلاف ۱۰۰٪ رادیوگرافی RT یا آلتراسونیک UT شوند که در این حالت مقدار راندمان اتصال جوشی برابر با 1 در نظر گرفته می شود. در صورتی که از غلاف نوع B برای تعمیر عیوب محیطی استفاده می شود در طراحی و ارزیابی ضخامت غلاف می بایست بارهای محوری طولی و خمشی نیز مد نظر قرار گیرد.

۳.۳. فشار طراحی

در محاسبات ضخامت غلاف فشار طراحی بر اساس کدهای مربوطه در نظر گرفته شده و بنابراین متریال غلاف و تنش مجاز طراحی آن باید بر اساس استانداردهای طراحی مربوطه باشد. میزان حد مجاز خوردگی بر اساس قضاوت های مهندسی و به صورت تجربی در نظر گرفته می شود.

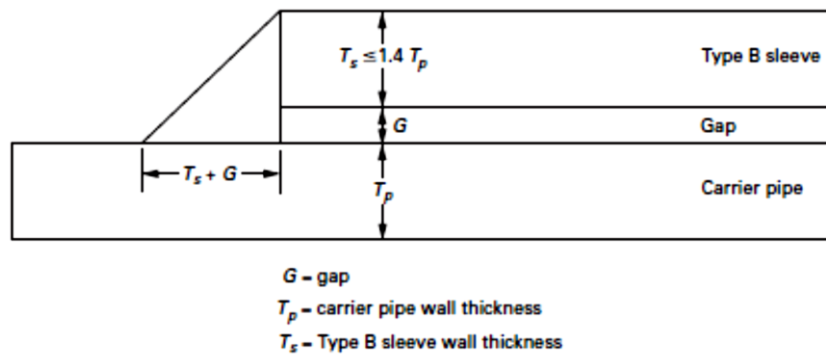
۳.۴. ابعاد غلاف

حداقل سائز غلاف های نوع A و B می بایست 4 اینچ بوده و حداقل به میزان 2 اینچ از لبه های عیب را کاور نمایند.

۳,۵. گوشه‌های محیطی در غلاف نوع B

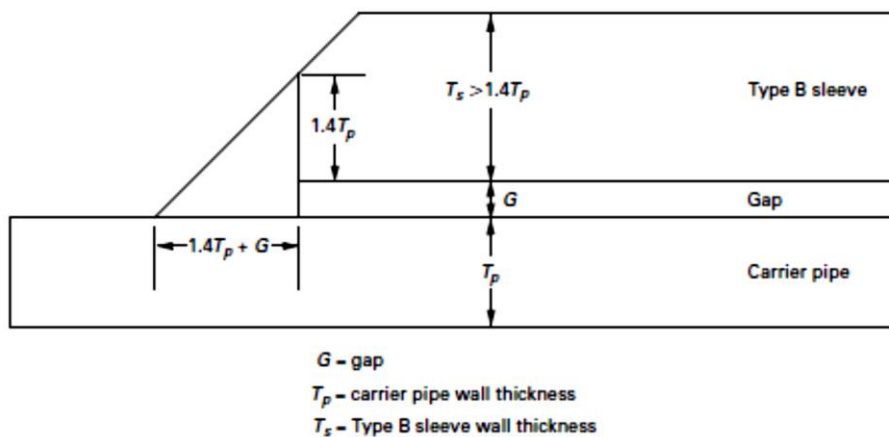
حداقل ابعاد و سائز ساق جوشه‌های گوشه محیطی در غلاف نوع B می‌بایست بر اساس بندهای زیر باشد:

(a) مطابق تصویر ۱۳ برای حالتی که ضخامت غلاف کوچکتر مساوی ۱.۴ برابر ضخامت لوله است ($T_s \leq 1.4 T_p$)، از جوش گوشه کامل استفاده می‌شود. در صنعت نیز بیشتر با این نوع غلاف سر و کار داریم و بنابراین با در نظر گرفتن گپ بین غلاف و لوله، ساق جوش مطابق تصویر برابر با ضخامت غلاف است. T_s ضخامت غلاف و T_p ضخامت لوله است. به عبارت دیگر میزان گپ بین غلاف و لوله را بایستی به ساق جوش اضافه نمود.

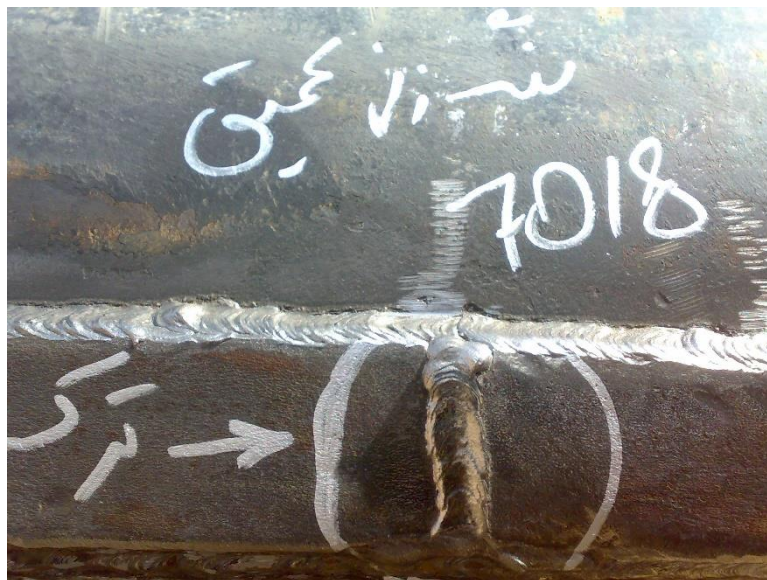


تصویر ۱۳- الزامات جوش گوشه برای غلاف نوع B - حالت اول $T_s \leq 1.4 T_p$

(b) در صورتی که ضخامت غلاف از ۱.۴ برابر ضخامت لوله بیشتر باشد ($T_s > 1.4 T_p$)، در این حالت مطابق تصویر ۱۴ نسبت به لبه سازی از محل ضخامت مازاد بر ۱.۴ ضخامت لوله با یک زاویه حدوداً ۴۵ درجه اقدام شود. میزان ساق جوش نیز برابر ۱.۴ ضخامت لوله بانضمام گپ مابین لوله و غلاف است.



تصویر ۱۴- الزامات جوش گوشه برای غلاف نوع B - حالت دوم $T_s > 1.4T_p$
 به منظور کاهش میزان تمرکز تنش زاویه پنجه جوش لوله به صورت هموار بوده و زاویه کل بین پنجه جوش و لوله نباید به صورت یک زاویه تیز باشد. در ضمن در محل اتصال جوشهای گوشه وجود عیوبی نظیر سوختگی لبه های جوش undercut مجاز نمی باشد (تصویر ۱۵).



تصویر ۱۵- مارک نمودن عیوب undercut جهت سنگ زنی در جوشهای غلاف

۳,۶. فشار خارجی

در صورت اعمال بارهای خارجی بایستی الزاماً از غلاف نوع B با در نظر گرفتن ارزیابی های مهندسی استفاده نمود. در این حالت به منظور انتقال حداکثری فشارهای خارجی می بایست حداکثر میزان جفت و جوری و کمترین میزان فضای خالی بین غلاف و لوله در فیتاپ غلاف بر روی لوله مد نظر قرار گرفته و در غیر اینصورت فضای خالی بین لوله و غلاف با مواد پرکنی^۱ نظیر رزین های پایه اپوکسی پر شود، یا با انجام هات تپ یک لوله بر روی غلاف فشار زیر غلاف متعادل شود. در نظر گرفتن ونت و درین برای غلاف نوع B الزامی است. در صورتی که فضای بین غلاف و لوله به صورت خالی و بدون تزریق پرکنی رها می شود، می بایست از عدم خوردگی بواسطه سیال ساکن بین غلاف و لوله اطمینان حاصل نمود.

۳,۷. خوردگی خارجی

در صورت استفاده از غلاف نوع A و B برای تعمیر خوردگی خارجی (تصویر ۱۶)، قبل از نصب غلاف ابتدا نسبت به تمیزکاری سطح خارجی و پر نمودن مواضع خوردگی با مواد سخت شونده باید اقدام نمود به گونه ای که تمامی حفرات و مواضع خوردگی بین غلاف و لوله با مواد پرکنی کاملاً پر شود تا امکان انتقال بارها به غلاف باشد. در صنعت استفاده از چسب های آهن Devcon و Belzona برای پر نمودن مواضع دارای خوردگی بسیار رایج است.



تصویر ۱۶- پر نمودن خوردگی خارجی سطح لوله قبل از اعمال غلاف

^۱ - Filler

۳,۸. فرآیند سیکلی

- (a) در صورتی که سیستم در معرض بارهای سیکلی فشاری با تعداد سیکل بیشتر از ۴۰۰ سیکل و نوسان فشاری بیشتر از ۲۰٪ فشار طراحی قرار گرفته باشد، می بایست یک ارزیابی دقیق از قطعه با در نظر گرفتن امکان غلاف از سمت داخلی و بر اساس استاندارد ASME FFS-1 صورت پذیرد.
- (b) استفاده از غلاف نوع B برای سیستمهایی که تفاوت دمایی بین غلاف و لوله کمتر از 100°F و میزان سیکل های دمایی کمتر از ۲۰۰ سیکل می باشد، نیازی به ارزیابی و آنالیز خستگی ندارد ولی در غیر اینصورت می بایست یک ارزیابی دقیق از قطعه با در نظر گرفتن امکان غلاف از سمت داخلی و بر اساس استاندارد ASME FFS-1 صورت پذیرد.

۳,۹. جلوگیری از بادکردگی^۱ لوله

- کاهش ضخامت موضعی و عیوبی نظیر تورفتگی در لوله ها به دلیل فشار داخلی وارده معمولاً دچار تورفتگی به سمت بیرون می شوند. اثربخشی تعمیر غلاف بستگی به میزان موثر بودن غلاف در جلوگیری از بادکردگی لوله دارد. در طراحی ها در نظر گرفتن موارد زیر الزامی است:
- (a) استفاده از مواد پرکنی نظیر رزین های پایه اپوکسی و مشابه آن به منظور پرکردن حفرات در زیر غلاف
- (b) کاهش فشار خط در زمان نصب غلاف

۳,۱۰. غلاف نوع A با مواد پرکنی

در غلاف نوع A استفاده از ماده پرکنی مناسب بین غلاف و لوله در مواضع عیب و تعمیری به منظور انتقال نیروهای وارده از سمت لوله به غلاف الزامی است.

۳,۱۱. تفاوت در ضریب انبساط حرارتی

برای غلاف های نوع A و نوع B می بایست تفاوت ضریب انبساط حرارتی بین غلاف و لوله در طراحی مد نظر قرار گیرد و این امر خصوصاً برای غلاف های نوع B بسیار مهم است. تفاوت ضریب انبساط حرارتی به مرور زمان میتواند منجر به مکانیزم تخریبی نظیر خستگی گرمایی خصوصاً در محل جوشهای گوشه غلاف نوع B و نهایتاً ترک خوردگی آن گردد. تنشهای وارده ناشی از تفاوت در ضریب انبساط حرارتی خصوصاً در زمان خاموشی و راه اندازی که تفاوت دمایی بین لوله و غلاف چشمگیر است، حایز

^۱ - pipe bulging

اهمیت خواهد بود. هم چنین استفاده از غلاف با متریال غیر هم جنس نیز می تواند علاوه بر خوردگی گالوانیک مساله خستگی گرمایی و شوک حرارتی را دوچندان نماید.

۴- مونتاز و اجرا

۴.۱. نصب

برای نصب غلافهای نوع A و نوع B می بایست کل سطحی از لوله که توسط این غلافها پوشانیده می شود تا سطح فلز لخت^۱ تمیزکاری شود. در صورت استفاده از ماده پرکنی در تمامی خلل و فرج و عیوب نظیر تورفتگی و حفرات اعمال شود. غلاف به طرز مناسب و کاملاً محکم بر روی لوله فیتاپ شود. به منظور فیتاپ حداکثری و عدم لقی غلاف می توان از تجهیزاتی نظیر کلمپ های مکانیکی هیدرولیکی یا کلمپ های پیچ و مهره ای و یا تجهیزات باربرداری استفاده نمود (تصاویر ۱۷ و ۱۸). توصیه می شود قبل از نصب غلاف بر روی لوله اصلی به منظور جلوگیری از آسیب احتمالی به لوله اصلی ابتدا غلاف را بر روی یک لوله هم سائز فیتاپ نمایید و پس از اعمال نیرو و فیتاپ حداکثری بر روی نمونه شاهد، آن را بر روی لوله اصلی نصب نمایید (تصاویر ۱۹ و ۲۰).



تصویر ۱۷- فیتاپ غلاف بر روی لوله با استفاده از تجهیزات باربرداری به منظور فیتاپ حداکثری

^۱ - bare metal



تصویر ۱۸- فیتاپ غلاف بر روی لوله با استفاده از چین بلاک به منظور فیتاپ حداکثری



تصویر ۱۹- استفاده از یک نمونه لوله هم سایز جهت فیتاپ اولیه قبل از نصب به منظور جلوگیری از آسیب به لوله اصلی



تصویر ۲۰- استفاده از یک نمونه لوله هم سایز جهت فیتاپ اولیه قبل از نصب به منظور جلوگیری از آسیب به لوله اصلی

در فیتاپ غلاف بهتر است هیچ گونه گپ و فاصله ای وجود نداشته باشد، اما به هر حال حداکثر میزان گپ شعاعی 2.5 mm مجاز می باشد. برای سرجوشهای محیطی در غلاف نوع B زمانی که میزان گپ شعاعی زیاد باشد ممکن است نیاز به روشهای جوشکاری نظیر آسترکاری به منظور اصلاح گپ باشد.

۴.۲. ماده پرکنی

در صورتی که از ماده پرکنی جهت فضای خالی بین غلاف و لوله استفاده می شود، می بایست ملاحظات لازم به منظور جلوگیری از نفوذ ماده پرکنی به محل جوشکاری صورت پذیرد. به منظور جلوگیری از تاثیر بر روی کیفیت جوشکاری ناشی از سوختن ماده پرکنی در زمان جوشکاری می توان ماده پرکنی را پس از جوشکاری غلاف به درون فضای خالی بوسیله پمپ تزریق نمود. البته تزریق ماده پرکنی پس از جوشکاری تنها به شرطی است که وجود فضای خالی کافی بین غلاف و لوله اجازه این کار را دهد.

۴.۳. عیوب دارای نشتی

برای تعمیر عیوب دارای نشتی قبل از جوشکاری نسبت به ایزوله نمودن ناحیه نشتی اقدام شود. برای جوشکاری بر روی لوله های حاوی سیالات اشتعال پذیر و دارای نشتی می توان فضای بین غلاف را بوسیله نیتروژن یا دیگر گازهای خنثی پرچ نمود. شایان ذکر است در صنعت برای سیالاتی نظیر گازها که دارای نشتی هستند، حتی جوشکاری در زمان نشتی و بدون پرچ نمودن انجام میشود و علت آن فشار مثبت داخلی لوله است که امکان حریق داخلی را مهیا نمی سازد.

۴,۴. جوشها

در صورتی که جوشهای محیطی جوشکاری می شود، جوشهای طولی غلاف می بایست مطابق تصویر ۳ به صورت جوش لب به لب نفوذی کامل باشد. تمهیدات لازم به منظور تخلیه گازهای جوشکاری در زمان جوشهای انتهایی صورت پذیرفته و پس از جوشکاری سوراخهای تنفسی با جوش یا اتصال پلاگ رزوه ای پر گردد. دستورالعمل جوشکاری جوشهای محیطی متناسب با سرویس لوله و شرایط خنک کاری سیال بر اساس کدهای ساخت یا کدهای بهره برداری باشد. همانگونه که قبلاً نیز اشاره گردید می توان جهت تایید و صحت آزمایشی دستورالعمل جوشکاری از دستورالعمل جوشکاری شبیه سازی شده SISWPS استفاده نمود که در تصویر ۷ نیز مشاهده می نماید. در بخش آرتیکل ۴,۱۰ به بررسی الزامات جوشکاری حین سرویس خواهیم پرداخت. برای جوشکاری استفاده از الکترودهای قلیایی کم هیدروژن EXXX5, EXXX6 و یا EXXX8 الزامی است. در صورتی که برای جوشهای طولی از نوار پشت بند استفاده نمی شود کاهش فشار مطابق بند ۴,۵ الزامی است. برای غلاف نوع A مطابق تصویر ۲ می توان جوشهای طولی را به صورت لب به لب یا گوشه استفاده نمود.

۴,۵. کاهش فشار

در زمان اجرای تعمیرات نسبت به کاهش فشار سیستم لوله کشی یا خط لوله و برقراری دایم جریان سیال در خط اقدام نمایید. در زمان جوشکاری حین سرویس الزامات استاندارد API RP 2201 می بایست رعایت گردد. در صورتی که نتوان الزامات استاندارد فوق را برآورده نمود نیاز است تا خط لوله جهت تعمیرات از سرویس خارج شود. فشار توصیه شده جهت نصب حین سرویس غلاف بهتر است بین ۵۰ الی ۸۰٪ فشار فرآیندی خط باشد.

۴,۶. جوشکاری حین سرویس

در زمان جوشکاری حین سرویس می بایست تمامی جنبه های مربوطه را بر اساس استانداردهای مختلف نظیر API, ASME, PCC مورد بررسی قرار داد. بررسی تایید دستورالعمل جوشکاری مربوطه مد نظر قرار گرفته که مهمترین آنها شامل موارد زیر می باشد:

- (a) به دلیل نرخ سرد شدن بالا در جوشکاری حین سرویس و هم چنین حضور هیدروژن در محیط احتمال ترک خوردگی القایی هیدروژنی در ناحیه متأثر از حرارت HAZ وجود دارد.
- (b) احتمال تشکیل یک ناحیه متأثر از حرارت با سختی بالا به دلیل شیمی فلز پایه و غلاف وجود دارد.
- (c) احتمال سوختگی فلز پایه به دلیل عدم ضخامت کافی لوله یا اعمال زیاد جریان جوشکاری که منجر به ذوب بیش از حد فلز پایه و عدم قابلیت تحمل فشار توسط لوله می شود.

۴,۷. دستورالعمل جوشکاری

دستورالعمل جوشکاری شامل پیش گرم، تنش زدایی، دمای بین پاسی و دیگر الزامات بر اساس یک کد ساخت یا بهره برداری مورد تایید قرار گیرد.

۴,۸. جانمایی و مساحی Survey در خطوط لوله

در زمان اجرای جوشکاری حین سرویس برای خطوط لوله یکی از مسایل مهم و در عین حال ساده ای که بسیار حایز اهمیت است، مساحی و جانمایی خط لوله قبل از جوشکاری است. این مساله خصوصاً در مناطقی که چندین خط لوله هم سائز از کنار یکدیگر عبور می کنند، در صورت عدم survey و جانمایی می تواند منجر به حادثه شود. در تصاویر ۲۱ الی ۲۳ نمونه عملیات جانمایی را قبل از جوشکاری حین سرویس برای یکی از مناطق نفت خیز جنوب کشور مشاهده می نمایید. مطابق تصاویر ۲۴ و ۲۵ همین عدم جانمایی ساده قبل از جوشکاری و برشکاری اشتباه خط لوله مجاور به دلیل اینکه در زیر پل مکان لوله ها تغییر کرده منجر به ایجاد حادثه انفجار و فوت ۱ نفر در یکی از مناطق نفتخیز در سال ۱۳۹۵ گردید.



تصویر ۲۱- گذر چندین خط لوله هم سائز از یک کانال و ضرورت جانمایی قبل از عملیات



تصویر ۲۲- انجام عملیات جانمایی و survey خط لوله قبل از عملیات جوشکاری حین سرویس



تصویر ۲۳- مارکینگ خط لوله مد نظر جهت تعمیرات



تصویر ۲۴- انفجار خط لوله یکی از مناطق نفتخیز به دلیل برشکاری جابجا در خط لوله



تصویر ۲۵- انفجار خط لوله یکی از مناطق نفتخیز به دلیل برشکاری جابجا در خط لوله

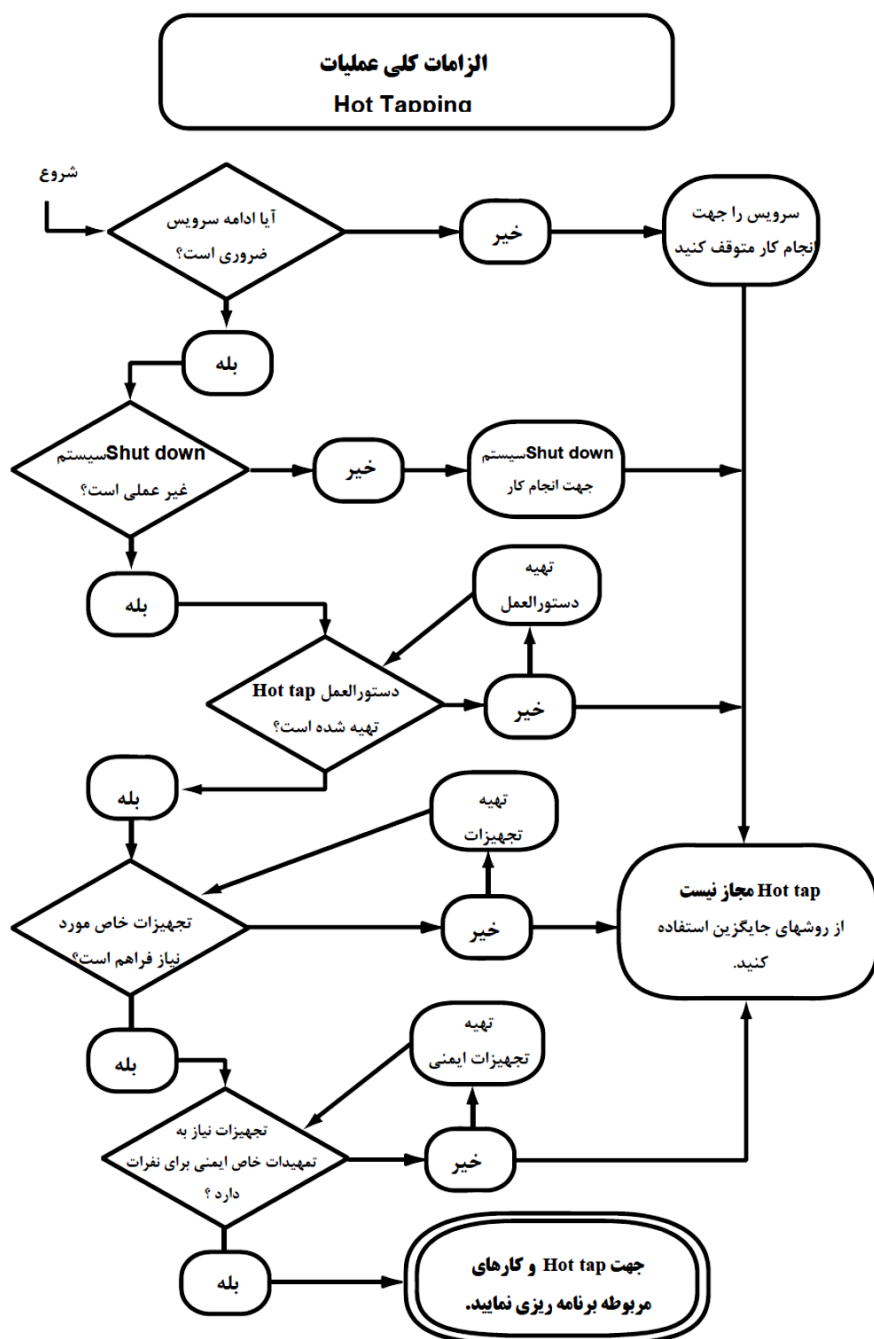
۴,۹. ارزیابی ریسک و چک لیست

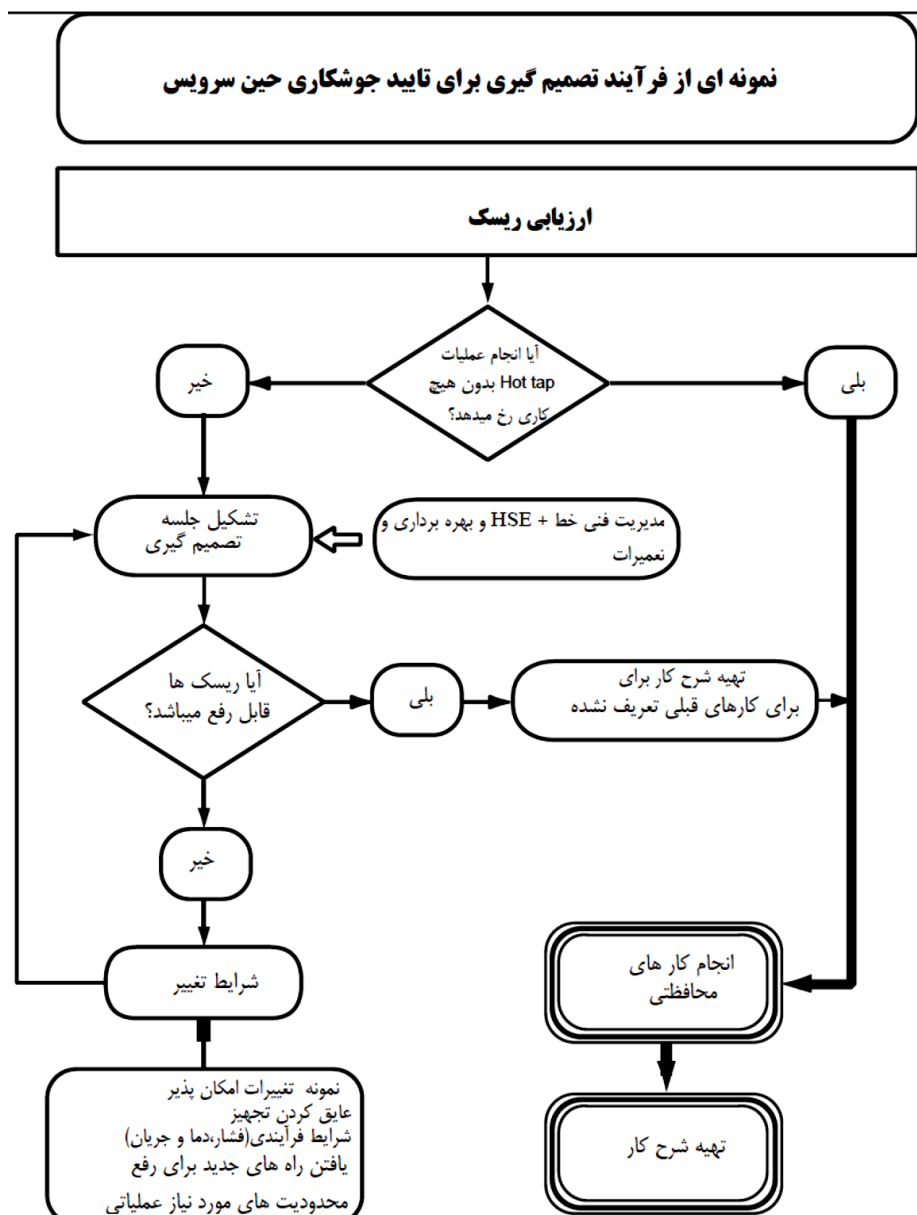
مطابق توصیه کدهای بهره برداری و استاندارد API RP 2201 انجام ارزیابی ریسک، تهیه و تکمیل چک لیست های ایمنی و ارزیابی ریسک مربوطه قبل از شروع عملیات الزامی می باشد. (تصویر ۲۶). نمونه

فرم امکان سنجی جوشکاری حین سرویس مطابق استاندارد API RP2201 در نمودار ۱ و فلوچارت ارزیابی ریسک را بر اساس همین استاندارد را در نمودار شماره ۲ مشاهده می نمایید.



تصویر ۲۶- ارزیابی ریسک نهایی قبل از شروع جوشکاری





نمودار ۲- فلوچارت ارزیابی ریسک قبل از عملیات جوشکاری حین سرویس مطابق API RP 2201

۴.۱۰. پوشش دهی

پس از غلاف گذاری نسبت به پوشش دهی و یا نوارپیچی^۱ مطابق دستورالعملهای شرکتی اقدام می شود (تصاویر ۲۷ و ۲۸).



تصویر ۲۷- آماده سازی سطح غلاف به منظور پوشش دهی



^۱ - Wrapping

تصویر ۲۸- انجام نوارپیچی

۵- آزمون

۵.۱. آزمون چشمی

تمامی فیتا‌پهای غلاف قبل از جوشکاری مورد چشمی قرار گیرد و پس از اتمام جوشکاری نیز جوشهای مربوطه را مورد بازرسی قرار دهید.

۵.۲. غلاف نوع A

در غلاف نوع A قبل از جوشکاری درز جوشها را از نظر امکان ذوب و نفوذ مورد بازرسی چشمی قرار دهید. پس از جوشکاری نیز سرجوشهای طولی مورد آزمونهای مایعات نافذ، ذرات مغناطیسی یا آزمون آلتراسونیک قرار گیرد.

۵.۳. غلاف نوع B

در غلاف نوع B مواضع جوشهای محیطی با آزمون آلتراسونیک از نظر میزان ضخامت باقیمانده، ترک و احتمال تورق^۱ مورد آزمون و بررسی قرار گیرد و اطمینان از ضخامت کافی جهت جلوگیری از سوختگی باشد (تصویر ۲۹). در صورت عدم استفاده از نوار پشت بند برای سرجوشهای طولی، انجام آزمون آلتراسونیک در محل درز جوشهای طولی الزامی است. درز جوشهای طولی پس از اتمام عملیات جوشکاری نیز مورد بازرسی چشمی قرار گیرند. در زمان جوشکاری نیز پاس ریشه جهت حصول اطمینان از نفوذ و ذوب کافی مورد آزمون قرار گیرد. سرجوشهای محیطی پس از اتمام مورد آزمون مایعات نافذ و ذرات مغناطیسی قرار گیرد (تصویر ۳۰). از آنجایی که احتمال ترکهای سرد تاخیری وجود دارد، انجام آزمونهای غیرمخرب می بایست حداقل ۲۴ ساعت پس از اتمام جوشکاری صورت پذیرد. برای تایید دستورالعمل جوشکاری می توان از شبیه سازی با یک دستورالعمل جوشکاری با نرخ کولینگ بالاتر، کربن معادل بالاتر و انجام آزمونها ۴۸ ساعت پس از جوشکاری مطابق ضمیمه B استاندارد API 1104 اقدام نمود. در تصویر ۳۱ نمونه موقعیت آزمون تایید دستورالعمل جوشکاری حین سرویس و در تصویر ۳۲ نیز موقعیت آزمونهای تایید دستورالعمل را مطابق ضمیمه B استاندارد API 1104 مشاهده می نمایید. در آرتیکل ۴،۱۰ نیز مفصل به روشهای تایید دستورالعمل جوشکاری حین سرویس و آزمون مهارت جوشکار حین سرویس خواهیم پرداخت.

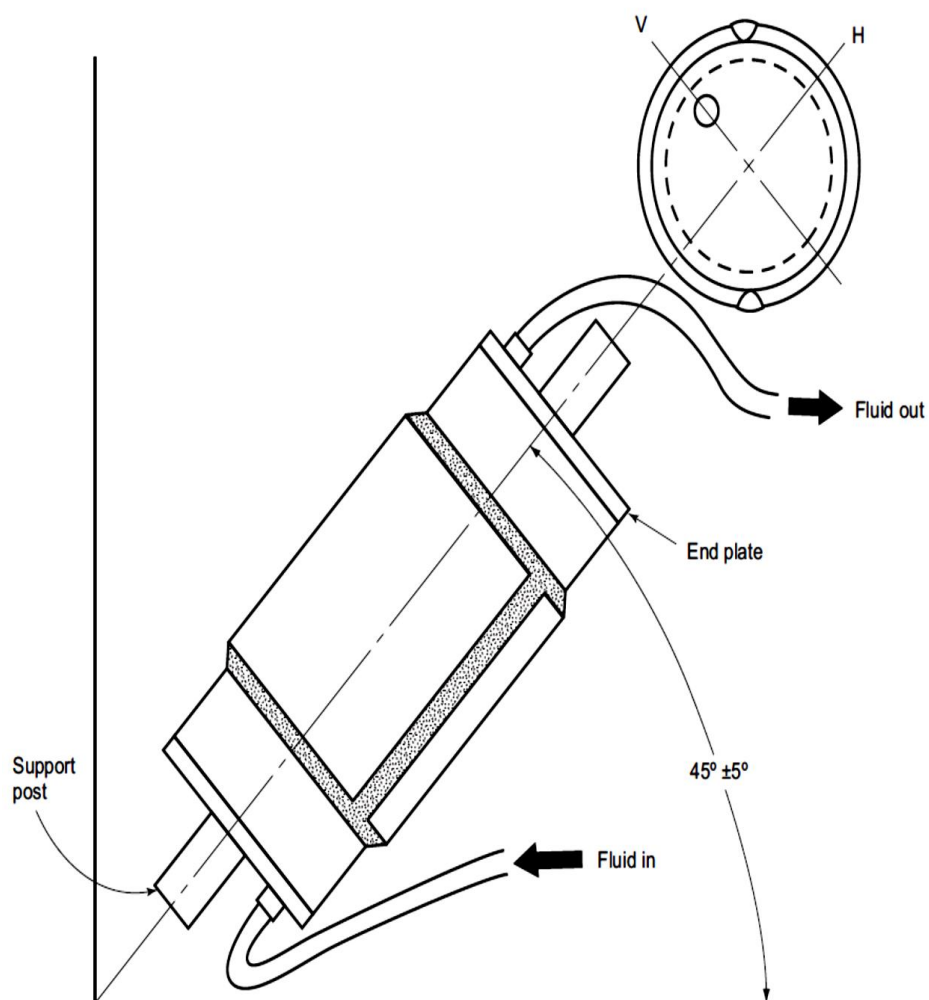
^۱ - Lamination



تصویر ۲۹- آزمون آلتراسونیک موضع قرار گیری سرجوشهای غلاف قبل از جوشکاری به منظور اطمینان از ضخامت کافی و عدم وجود عیوب



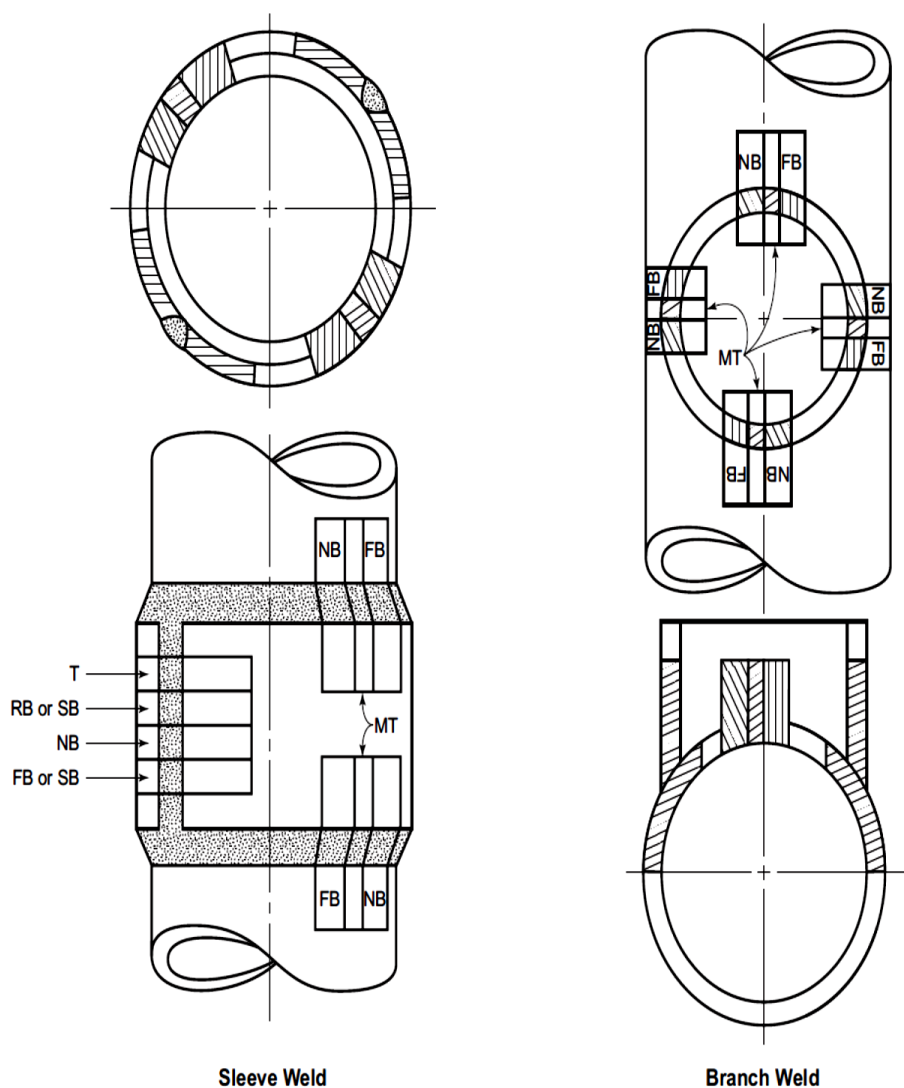
تصویر ۳۰- آزمون مایعات نافذ از سرجوشهای غلاف پس از پایان جوشکاری



NOTE This test position qualifies the procedure for all positions. Tests may be performed in other positions that qualify the procedure for that position only.

تصویر ۳۱- موقعیت پیشنهادی جهت آزمون تایید صلاحیت دستورالعمل جوشکاری حین سرویس مطابق ضمیمه

B استاندارد API 1104



NOTE T = tensile; RB = root bend; FB = face bend; NB = nick break; SB = side bend; MT = macro test.

تصویر ۳۱- موقعیت پیشنهادی آزمون‌های تایید دستورالعمل جوشکاری حین سرویس مطابق ضمیمه B استاندارد API 1104

۵.۴. آزمون حین عملیات In Process Examination

همانگونه که در بند 344.7 استاندارد ASME B31.3 نیز اشاره گردیده (تصویر ۳۲)، کارفرما می تواند آزمون چشمی به صورت کامل در تمامی زمان اجرای عملیات را الزامی نماید. در صورت انجام آزمون حین

عملیات تمامی نتایج باید مستندسازی شود. آزمونها می بایست توسط افراد تایید صلاحیت شده بر اساس استانداردهای ساخت یا کدهای بهره برداری صورت پذیرد.

344.7 In-Process Examination

344.7.1 Definition. In-process examination comprises examination of the following, as applicable:

- (a) joint preparation and cleanliness
- (b) preheating
- (c) fit-up, joint clearance, and internal alignment prior to joining
- (d) variables specified by the joining procedure, including filler material
 - (1) (for welding) position and electrode
 - (2) (for brazing) position, flux, brazing temperature, proper wetting, and capillary action
- (e) (for welding) condition of the root pass after cleaning — external and, where accessible, internal — aided by liquid penetrant or magnetic particle examination when specified in the engineering design
- (f) (for welding) slag removal and weld condition between passes
- (g) appearance of the finished joint

344.7.2 Method. The examination is visual, in accordance with para. 344.2, unless additional methods are specified in the engineering design.

تصویر ۳۲- آزمون کامل حین عملیات بر اساس بند 344.7 استاندارد ASME B31.3, 2014
بر اساس بند 344.7 استاندارد ASME B31.3 آزمون کامل حین عملیات به روش بازرسی چشمی بوده و شامل موارد زیر می شود:

- (a) آماده سازی و تمیزکاری اتصال
- (b) پیش گرم
- (c) فیتاپ، فاصله درزجوشها و همترازی داخلی
- (d) متغیرهای دستورالعمل جوشکاری نظیر موقعیت و الکتروود مصرفی

(e) شرایط پاس ریشه پس از تمیزکاری و انجام آزمونهای مایعات نافذ و ذرات مغناطیسی از داخل و

بیرون

(f) برداشتن سرباره و تمیزکاری بین پاسی

(g) وضعیت ظاهری پس از اتمام جوشکاری

در صورتی که در دستورالعمل مهندسی آزمونهای تکمیلی دیگر علاوه بر بازرسی چشمی جوش قید گردیده مطابق آن صورت پذیرد.

۵.۵. آزمون غیرمخرب

آزمونهای غیرمخرب بر اساس استاندارد ASME Sec V و معیارهای پذیرش بر اساس استانداردهای ساخت یا کدهای بهره برداری مربوطه صورت پذیرد.

۶- تست

انجام تست نشتی برای غلافهای نوع B مطابق بندهای زیر در صورت الزام کارفرما الزامی است:

(a) بر اساس استاندارد ساخت یا کد بهره برداری یک تست هیدرواستاتیک با تحت فشار قرار دادن فضای خالی بین غلاف و لوله انجام دهید. البته فشار تست به گونه ای باشد که منجر به تورفتگی لوله نگردد.

(b) یک تست حساس به نشتی با گازهایی نظیر هلیوم را مطابق بند 345.8 استاندارد ASMEB31.3 یا دیگر استانداردهای کاربردی را انجام دهید. در تصویر ۳۳ بند 345.8 استاندارد فوق را در زمینه تست حساس به نشتی مشاهده می نمایید.

345.8 Sensitive Leak Test

The test shall be the Bubble Test — Direct Pressure Technique in accordance with the BPV Code, Section V, Article 10, Appendix I or another leak test method that has a demonstrated sensitivity not less than 10^{-3} std ml/s under test conditions.

When the Bubble Test — Direct Pressure Technique is used

(a) the test pressure shall be at least the lesser of 105 kPa (15 psi) gage or 25% of the design pressure.

(b) the pressure shall be gradually increased until a gage pressure equal to the lesser of one-half the test pressure or 170 kPa (25 psi) is attained, at which time a preliminary check shall be made. Then the pressure shall be gradually increased in steps until the test pressure is reached, the pressure being held long enough at each step to equalize piping strains.

تصویر ۳۳- الزامات تست حساس به نشتی مطابق بند 345.8 استاندارد ASME B31.3

مطابق تصویر ۳۳ الزامات تست حساس به نشتی بر اساس بند مورد اشاره استاندارد به شرح زیر می باشد:

- تست حساس به نشتی به روش شمارش حباب بر ضمیمه I آرتیکل ۱۰ اساس استاندارد ASME Sec V یا روشهای دیگر با حداقل میزان حساسیت 10^{-3} ml/s باید صورت پذیرد.
- میزان فشار تست مقدار کمتر 15 psi یا 25 درصد فشار طراحی می باشد.
- فشار به صورت تدریجی تا مقدار کمتر نصف فشار تست یا 25 psi افزایش یافته و با در نظر گرفتن زمان به صورت تدریجی تا فشار تست، فشار را مرحله ای افزایش می دهیم و در هر مرحله نیز زمان کافی داده می شود.

۷- مراجع

1. AGA, American Gas Association, Pipeline Repair Manual, December 31, 1994 30
2. AGA, American Gas Association, 6th Symposium on Line Research Defect Repair Procedures, J. F. Kiefner October 29, 1979 Publisher: American Gas Association (AGA), 400 North Capitol Street, NW, Washington, DC 20001 (www.aga.org)
3. API RP 579, Fitness-for-Service
4. API RP 2201, Safe Hot Tapping Practices in the Petroleum and Petrochemical Industries
5. API Standard 1104, Welding of Pipelines and Related Facilities Publisher: American Petroleum Institute (API), 1220 L Street, NW, Washington, DC 20005 (www.api.org)
6. ASME B31.3, Process Piping
7. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section V Nondestructive Examination
8. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX Welding, Brazing, and Fusing Qualifications Publisher: The American Society of Mechanical Engineers (ASME), Two Park Avenue, New York, NY 10016-5990; Order Department: 22 Law Drive, P.O. Box 2900, Fairfield, NJ 07007-2900 (www.asme.org)

ضمیمه – الزامات غلاف محیطی بر اساس استاندارد ASME B31.4

۱- شرح

در این قسمت به بررسی الزامات استاندارد سیستم خطوط لوله انتقال سیالات هیدروکربنی بر اساس بند 451.6.2.9 استاندارد ASME B31.4 می پردازیم.

۲- غلاف محیطی کامل

تعمیرات می تواند با نصب یک غلاف دو تکه با جوش کامل انجام شود. غلاف محیطی می تواند به صورت یکی از موارد زیر باشد:

۲,۱. غلاف غیر فشاری نوع A

برای غلاف های دو تکه با جوش کامل اجرا شده جهت تعمیر صرفاً تقویتی و نه برای فشار داخلی، جوشکاری محیطی دو سر غلاف مجاز نیست. یک ماده پرکننده با قابلیت سخت شدن مانند یک نوع اپوکسی که در حین انجماد تغییر حجم ندارد، باید برای پر کردن حفره هایی که بین غلاف و منطقه معیوب در حال تعمیر مورد استفاده قرار گیرد. انتهای غلاف بایستی از هر دو طرف عیب حداقل 2 اینچ (50 mm) را بپوشاند. هنگامی که یک غلاف تقویتی برای عیبی با طول کمتر از L استفاده می شود، همانطور که در معادله زیر تعریف شده است، ضخامت غلاف باید حداقل دو سوم ضخامت لوله اصلی باشد. برای معایب با طول بیشتر از L غلاف باید برابر یا بیشتر از ضخامت لوله اصلی باشد.

$$L = 20 \times \sqrt{D \times t}$$

D = قطر لوله

t = ضخامت دیواره لوله

هنگامی که غلاف نوع A استفاده می شود، باید اقدامات لازم برای جلوگیری از نفوذ آب به فضای بین لوله و غلاف انجام گیرد. به منظور عملکرد حفاظت کاتدی، یکپارچگی الکتریکی بین لوله و غلاف بایستی حتماً ایجاد شود. استفاده از غلاف های نوع A برای تعمیر عیوب نشی و یا عیوبی که در جهت محیطی قرار گرفته اند، مجاز نیست.

غلاف نوع A می تواند به گونه نصب شود که باعث کاهش تنش محیطی (hoop stress) در لوله اصلی شود. روش های انجام این نوع غلاف شامل کاهش فشار قبل از نصب غلاف، اعمال نیروی مکانیکی خارجی، و یا پیشگرم غلاف برای تسهیل در عملیات "جا افتادن (Shrink-fit)" هستند.

۲,۲. غلاف غیر فشاری نوع B

غلاف‌های نوع B باید قابلیت تحمل فشاری را دارا بوده و این فشار طراحی غلاف از حداکثر فشار فرآیندی کمتر نباشد. درزهای طولی غلاف باید به صورت نفوذ کامل جوش لب به لب شوند. انتهای غلاف باید به صورت گوشه‌ای و با استفاده از یک فرآیند جوشکاری هیدروژن پایین به لوله اصلی جوش داده شود. انتهای غلاف بایستی از هر دو طرف عیب حداقل 2 اینچ (50 mm) را بپوشانند. اگر غلاف از لوله در حال تعمیر ضخیم‌تر باشد، انتهای محیطی غلاف باید (در حدود ۴۵ درجه) تا ضخامت لوله پخ زده شود و یا اندازه ساق جوش گوشه در انتهای غلاف نباید از ضخامت لوله اصلی بیشتر از 1/16 اینچ (1.6 mm) بیشتر شود. همچنین، اندازه ساق جوش گوشه‌ای در انتهای غلاف نباید کمتر از ضخامت لوله اصلی منهای 1/16 اینچ (1.6 mm) شود. توجه ویژه‌ای برای به حداقل رساندن تمرکز تنش ناشی از تعمیر باید بشود.

غلاف نوع B می‌تواند برای عیوب نشتی و یا غیرنشتی از جمله عیوب محیطی استفاده شود. وقتی غلاف‌های متعدد استفاده می‌شود، یک غلاف نوع B نباید کمتر از اندازه نیمی از قطر لوله و یا 4 اینچ هر کدام بزرگتر است، باشد. فاصله بین دو غلاف باید حداقل یک قطر لوله باشد. غلاف‌های مجزا در صورتی مجاز هستند که فاصله کمتر از یک قطر لوله را داشته باشند که توسط یک غلاف پل به همدیگر جوش داده شوند و یا از طریق جوشکاری لب به لب آنها را با هم به صورت پیوسته درآورد. هنگامی که این غلاف بر روی یک عیب غیرنشتی نصب می‌شود، غلاف نوع B می‌تواند به گونه‌ای باشد که باعث کاهش تنش محیطی در لوله اصلی شود. روش‌های انجام این نوع غلاف شامل کاهش فشار قبل از نصب غلاف، اعمال نیروی مکانیکی خارجی، و یا پیشگرم غلاف برای تسهیل در عملیات "جا افتادن" (Shrink-fit) هستند.

۲.۳. انتخاب نوع غلاف

با توجه به توضیحات داده شده برای مواردی که احتمال نشتی وجود دارد استفاده از غلاف نوع A مجاز نمی‌باشد. در جدول ۱ نیز معیارهای انتخاب غلاف نوع A و B ذکر شده است.

جدول شماره ۱ معیارهای انتخاب بین غلاف نوع A و B بر اساس استاندارد ASME B31.4

4a Reinforcing Full Encirclement Sleeve (Type A)	4b Pressure Containing Full Encirclement Sleeve (Type B)	Type of Defect
Limited [Note (3)]	Yes	External corrosion $\leq 80\% t$ (excluding grooving, selective, or preferential corrosion of ERW, EPW seams)
No	Yes	External corrosion $> 80\% t$
Limited [Note (6)]	Yes	Internal corrosion $\leq 80\% t$
No	Yes	Internal corrosion $> 80\% t$
No	Yes	Grooving, selective or preferential corrosion of ERW, EPW seam
Limited [Notes (3),(8)]	Yes	Gouge, groove, or arc burn
Limited [Note (7)]	Yes	Crack
Limited [Note (3)]	Yes	Hard spot
No	Yes	Blisters
No	Yes	Defective girth weld
No	Yes	Lamination

نکات:

- ۱- لوله جایگزین باید حداقل طول نصف قطر خودش یا ۳ اینچ (76.2 mm)، هر کدام بزرگتر است
- ۲- مشخصات فرآیند جوشکاری باید حداقل ضخامت دیواره باقی مانده در منطقه تحت تعمیر و حداکثر سطح فشار داخلی را در طول تعمیر مشخص کرده باشد. فرآیند جوشکاری کم هیدروژن باید استفاده شود.
- ۳- اطمینان از جفت و جور شدن غلاف در منطقه عیب باید حاصل شود و یا یک پرکننده با قابلیت سخت شدن مانند اپوکسی یا رزین پلی استر برای پر کردن خلاء یا فضای حلقوی بین لوله و غلاف تعمیری باید استفاده شود.
- ۴- عیب باید به طور کامل در ناحیه بزرگترین نمونه ممکن از ماده که می تواند از طریق هات-تپ حذف شود باشد.
- ۵- عیب باید به طور کامل در اتصالات مهار شود و اندازه اتصالات نباید از 3 NPS تجاوز کند.
- ۶- تنها در صورتی که خوردگی داخلی به صورت موثر مهار شده باشد، می توان استفاده کرد.

۷- بدون نفوذ تا بیش از ۴۰٪ از ضخامت دیواره لوله، هر گونه شیار، درز، سوختگی قوس، یا ترک باید به طور کامل برداشته شود. طول مجاز برای برداشتن در پاراگراف 451.6.2.2(a) تعیین شده است. برداشتن شیار، درز، سوختگی قوس، یا ترک باید توسط بازرسی و ارزیابی چشمی و ذرات مغناطیسی و یا مایع نافذ (به علاوه اچینگ در مورد سوختگی قوس) بررسی شوند.

۸- تنها در صورتی که شیار، درز، سوختگی قوس، یا ترک به طور کامل حذف شده و حذف توسط بازرسی چشمی و ذرات مغناطیسی و یا مایع نافذ (به علاوه اچینگ در مورد سوختگی قوس) تایید شده باشد، قابل استفاده است.