فصل ۲: انجام تعمیر با روش های جوشکاری

عنوان	صفحه
۲-۱ : برشکاری محل عیب و برداشتن کامل آن و نصب ورق جایگزین با اتصال لب به لب	32
۲- ۲ :انجام جوشکاری سطحی خارجی به منظور جبران استحکام از دست رفته داخلی	67
۲-۳ : آب بندی اتصالات رزوه ای با جوش	86
۲-۴:تعمیر با استفاده از باکس	90
۲-۶: استفاده از غلافی (Sleeve)برای سیستم های لوله کشی	101
۲-۷: وصله های رو کار با جوش های پلاگ تقویتی	109
۲-۸: روش های جایگزین پیش گرم در جوشکاری	119
۲-۹: روش های جایگزین عملیات حرارتی بعد از جوشکاری(PWHT)	130
۲-۱۰: جوشکاری حین سرویس روی ظروف تحت فشار و خطوط لوله از جنس فولاد های کربنی	135
۲-۱۱: تعمیر پوشش های داخلی فلزی و انجام جوش سطحی برای ترمیم عیوب	148
۲-۱۲: وصله های روکار (Fillet Weld Patch)	156
۲-۱۳: استفاده از پلاگ های رزوه ای جهت تعمیر(Thread-Welded Plug)	158
۲-۱۴ عملیات حرارتی میدانی روی ظرف تحت فشار	162

۲-۱ : برشکاری محل عیب و برداشتن کامل آن و نصب ورق جایگزین با اتصال لب به لب

Article 2.1: Butt-Welded Insert Plates in Pressure Components

۲-۱- ۱ : توضیحات

در این روش بخشی از ظرف تحت فشار، لوله و مخزن به صورت کامل برشکاری و برداشته می شود و به جای آن ورقی سالم جایگزین می شود. اتصال ورق جدید به تجهیز یا لوله به صورت لب به لب می باشد. استفاده از این روش برای بدنه های استوانه ای ، کروی ، مخروطی و تخت قابل استفاده می باشد. ورق جایگزین می بایست دارای انحنا و شعاعی معادل تجهیز و لوله باشد. به نوعی قبل از نصب ورق جایگزین می بایست نسبت به شکل دادن آن با شعاع مناسب اقدام کرد.

شکل ۲-۱ ورق تک انحنا و دو انحنا برای جایگزینی محل معیوب

در این روش تعمیراتی محدودیتی از نظر ابعادی وجود ندارد به جز برای لوله و تیوب هایی با قطر کوچک که عملا این روش تعمیراتی بسیار مشکل می باشد. ولیکن باز هم اگر روش های اجرایی خاصی برای انجام چنین تعمیری روی لوله ها و تیوب های سایز پایین وجود داشته باشد از نظر استاندارد اعمال آن بلامانع می باشد.در انجام تعمیر با این روش می بایست الزامات استاندارد های ساخت ، متریال ، طراحی و نصب رعایت شود.

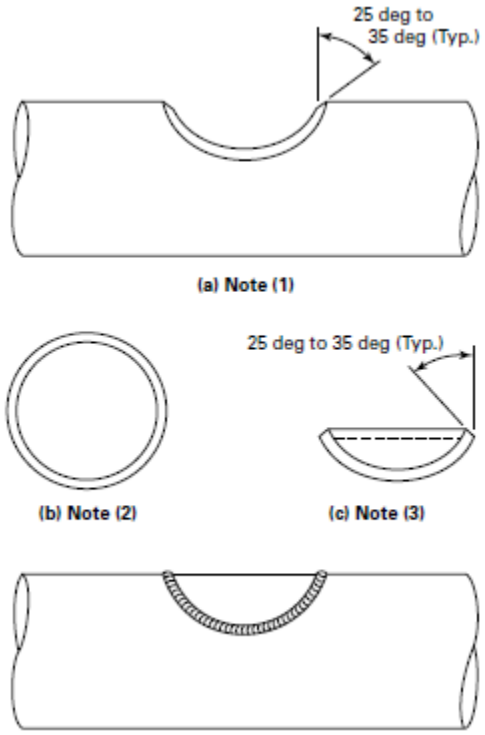
این روش برای تعمیر انواع همه عیوب مانند انواع خوردگی ها ، سایش ، ترک و... مناسب می باشد چون در این روش عیب به صورت کامل برداشته می شود. در جدول ۱ از فصل ۱ استاندارد ASME PCC2 عبارت Y به مفهوم متناسب بودن این روش برای رفع همه عیوب عنوان شده است.

جدول ۲-۱: وضعیت تناسب روش تعمیراتی جایگزین کردن ورق برای عیوب مختلف

General wall Thinning	Local wall Thinning	Pitting	Gouges	Blisters	Laminations	Circumferential Crack	Longitudinal
Y	**Y**	**Y**	**Y**	**Y**	**Y**	**Y**	**Y**

استفاده از روش برای تعویض کل بدنه ، کل عدسی و یا بخش زیادی از لوله به عنوان یک روش تعمیراتی مد نظر نمی باشد.

شکل ۲-۲ تصویری کلی از این روش تعمیراتی ارایه می دهد.



شکل ۲-۲ : نمونه ای از تعمیر به با روش جایگزین کردن ورق

۲-۱-۲: محدودیت ها

در انجام تعمیر به این روش تعمیراتی می بایست تناسب متریالی که استفاده می شود از نظر نوع و ضخامت لحاظ شود. در هنگام جوشکاری احتمال اعوجاج در اتصالات و ساپورت های اطراف در نظر گرفته شود. و آزمون های مناسب غیر مخرب و تست فشار نیز لحاظ شود.

روش جایگزین کردن ورق می تواند هم برای خوردگی داخلی و هم خوردگی خارجی می تواند اعمال شود. در زمانیکه این روش به عنوان یک روش دایم استفاده می شود. به ویژه برای سطوحی که تحت فشار خارجی هستند موضوع عمر باقیمانده و خستگی ارزیابی شود.

این روش تعمیراتی برای تجهیزات ولوله هایی که پوشش داخلی فلزی دارند نیز استفاده شود. در این خصوص می بایست به جزییات و دستورالعمل های جوشکاری به ویژه برای زمانیکه پوشش داخلی معیوب است دقت نمود.

ممکن است ورقی که به عنوان ورق جایگزین استفاده می شود دارای استحکامی متفاوت نسبت به لوله یا تجهیز موجود باشد. در این حالت محاسبات ضخامت بر اساس استاندارد های طراحی و ساخت با در نظر گرفتن همه متغیر ها مانند فشار ، قطر ، ضریب کیفیت جوش (Joint Efficiency=E) انجام شود. ارزیابی پدیده لرزش و خستگی نیز در این شرایط از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد.

مثال ۲-۱: در ظرف تحت فشاری از جنس متریال A/SA 387 Grade 11 ، ضخامت ۴۵ میلیمتر و دارای فشار داخلی 2000psi در دمای ۳۰۰درجه سانتیگراد در سرویس بهره برداری قرار دارد. خوردگی یکنواختی با بیشترین عمق ۸ میلیمتر در نیمه پایینی ظرف مشاهده شده است. ظرف به مدت ۱۲ سال در سرویس بهره برداری بوده است.

- آیا عیب مشاهده شده در محدوده پذیرش قرار دارد یا خیر

- در صورتیکه ورق A/SA387 Grad 11 وجود نداشته باشد. و با هماهنگی کارفرما بنا باشد از ورق A/SA387 Grade 22 استفاده شود. حداقل ضخامت مورد نیاز با احتساب اینکه دوره بازرسی بعدی ۵ سال آینده می باشد چقدر است.

S In ACC ASME II Part D, Table Sub Part1= 17100Psi

In Acc ASME VIII-Div1 UG 27 : t = PR/(SE-0.6P) =

(2000×12)/(17100×1-0.6×2000)=1.5in =38.33mm

با توجه به خوردگی ۸ میلیمتری مشاهده شده ضخامت باقیمانده ۳۷ میلیمتر می باشد که از حداقل ضخامت مورد نیاز کمتر می باشد و مورد تایید نیست. بنابراین لارم است عیب مذکور تعمیر شود.

حداقل ضخامت مورد نیاز برای ورق A/SA 378 Grade 22 با توجه به تنش مجاز آن که برابر با 16600psi می باشد.

t = (2000×12)/(16600×1-0.6×2000)= 1.55in = 39.6mm

ظرف ۱۲ سال در سرویس بهره برداری بوده بنابراین سرعت خوردگی یکنواخت برابر با 8mm/12 برابر با 0.67 میلیمتر در سال می باشد. دوره بازرسی بعدی ۵ سال بعد یعنی عمر باقیمانده مورد انتظار ۱۰ سال بوده بنابراین خوردگی مجاز برابر با ۶/۷ میلیمتر می باشد.

CA = FCA×RF = 0.67×10 =6.7mm

t 1 = 39.6 + 6.7=46.3mm

بنابراین در صورتیکه که ضخامت ورق A/SA387 Grade 22 از ۴۶/۳ میلیمتر بیشتر باشد می توان جهت انجام تعمیر از آن استفاده کرد.

۲-۱-۳) طراحی

ضخامت ورق انتخابی ، نوع متریال و جوشکاری مربوطه می بایست مطابق با الزامات استاندارد های طراحی و ساخت باشد. در محاسبه ضخامت انتخاب مناسب ضریب کبفییت جوش یا Joint Efficiency(E) به صورت دقیقی انجام شود. مانند آنچه در مثال ۲-۱ مشاهده شد از فرمول مناسب و استاندارد های دقیق آن استفاده شود.

تنش مجاز (AS=S) بر اساس استاندارد طراحی و ساخت انتخاب شود. از مراجع مهم برای مشخص کردن S استاندارد ASME B31.3 Table A1 برای لوله های فرایندی و ASME II Part D Sub Part 1 برای همه از جمله ظروف تحت فشار پیشنهاد می شود.

در خصوص انتخاب متریال نیز می بایست مطابق با استاندارد های ساخت و متریال عمل کرد. یکی از مراجع مهم و کاربردی که در این زمینه موجود می باشد ASME IX-QW422 است. در جدول مذکور چیدمان متریال به گونه ای است که ردیابی و مشخص نمودن خلاصه متریال یا Brief Of Material(BOM) را بسیار آسان می کند.(در بخش تکمیلی ۲-۱-۳-الف نیز توضیحاتی پیرامون این قضیه ارایه می شود.)

انتخاب ضخامت برای ورق جایگزین می بایست مطابق با الزامات استاندارد های طراحی انجام شود. ولی ساده ترین راه این است که دقیقا از نمونه خود ورق موجود با همان شماره اسپک و گراید به عنوان ورق جایگزین استفاده شود. به عنوان مثال اگر جنس بدنه ظرف تحت فشار از A/SA516Gr70 با ضخامت ۱۶ میلیمتر است و قرار است بخشی از آن با روش تعمیراتی فوق تعویض شود بهتر است از همان ورق و همان ضخامت استفاده شود. در غیر این صورت لازم است محاسبات استحکام و ضخامت و ملاحظات طراحی در خصوص پدیده خستگی ، دمای کاری و... لحاظ شود.

شکل ورق می تواند به صورت دایره ای و چهار گوش باشد. البته زمانی که قرار است کل بدنه یک تجهیز تعویض شود. شکل ورق فاقد موضوعیت برای بحث است. رمانیکه شکل ورق به صورت مستطیل یا چهار گوش است لازم است گوشه ها دارای شعاع مناسب باشند و به صورت زاویه دار مونتاژ نشوند.

شکل ۲-۳: شکل ورق های جایگرین چهار گوش

با توجه به ضخامت ورق شعاع گوشه از ۷۵ تا ۱۵۰ میلیمتر می تواند باشد. وقتی ضخامت ورق از ۲۵ میلیمتر بیشتر است شعاع گوشه حتما از ۷۵ میلیمتر بیشتر باشد.

ابعاد ورق می بایست به گونه ای باشد تا ناحیه عیب که کاملا برداشته می شود را پوشش دهد.

در زمانیکه عملیات حرارتی بعد از جوشکاری یا PWHT انجام نمی شود از نظر ابعادی برای ورق جایگزین محدودیت ایجاد می شود. در این شرایط اگر ورق دایره ای به صورت دایره ای است شعاع و اگر به صورت مستطیلی است طول و عرض نباید از بیشینه ۱۲ برابر ضخامت یا ۳۸ میلیمتر کمتر باشد.(t ضخامت ورق است.)

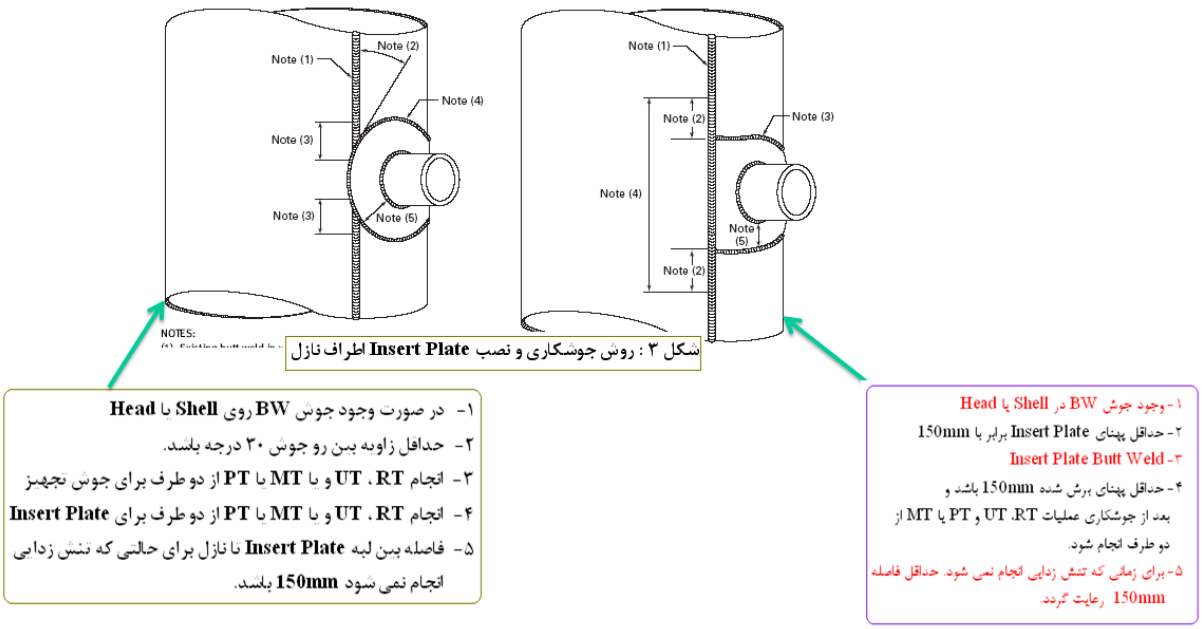
$$t = Max (12t , 380mm)$$

در زمان انجام جوشکاری می بایست از تنش های حرارتی ناشی از تنش های حرارتی پیش گیری شود. این کار را می توان با انجام جوشکاری به صورت متقارن انجام داد و یا از ساپورت های موقت در نواحی که کار جوشکاری انجام می شود استفاده کرد.

یکی از مواردی که ممکن است حین نصب ورق جایگزین با آن مواجه شویم برخورد ورق و جوش های مربوط با نازل ها می باشد . در این حالت ابعاد ورق می بایست از ابعادی که در ذیل قید شده است بزرگتر باشد.

- از قطر نازل بعلاوه پد تقویتی که برای نازل استفاده شده است.

- در زمانیکه عملیات حرارتی انجام نمی شود لازم است فاصله بین جوش های ورق جایگزین تا جوش های اطراف حداقل ۱۵۰ میلیمتر باشد واگر قطر نازل ۱۲ اینچ و کمتر است ابعاد ورق جایگزین حداکثر تا دو برابر قطر نازل باشد.



شکل ۲-۴: نحوه اتصال ورق جایگزین جهت انجام تعمیر در اطراف نازل

۲-۱-۳- الف: انتخاب متریال در طراحی:

فلزات آهنی و غیر آهنی با توجه به ترکیب شیمیایی، شکل و نوع عملیات های حرارتی، دارای تنوع زیادی هستند به طوری که بیش از ۱۹۰۰ نوع آلیاژ آهنی و غیر آهنی در استاندارد متریال ASME II نامگذاری شده اند. بررسی ه ر متریال به صورت جداگانه در فرآیندهای بازرسی فنی و جوشکاری عملا باعث اتلاف وقت زیادی می شود و نتیجه مطلوبی را در پی نخواهد داشت. به عنوان مثال متریالی با ترکیب شیمیایی بین ۱تا یک و نیم درصد کرم ، حدود نیم درصد مولیبدن دارای بیش از ۴۰ نوع دسته می باشد که به صورت ورق، آهنگری، ریخته گری، لوله و ... وجود دارند. همه این متریال ها تقریبا دارای خواص مکانیکی مشابه و نزدیک به هم می باشند و فیلر و الکترودهای جوشکاری آنها نیز مشابه می باشد.

این زمینه به استاندارد های ASME IX2010 QW422 و یا AWS B2.1-BMG2009 مراجعه نمود. در ASME IX QW422 تقسیم بندی با P:NO و در AWS B2.1-BMG تقسیم بندی با M.NO انجام شده که هر دو دارای یک مفهوم می باشد.

در ASME IX QW422 حدود ۲۲۰۰ نوع متریال با توجه به روش تولید ، خواص مکانیکی ، آنالیز شیمیایی و... لیست شده اند. که بیش از ۱۹۰۰ نوع از این متریال در استاندارد ASME II لیست شده اند که در ادامه به آنها پرداخته می شود.

الف- ۱) متریال با شماره ۱ (P no/M no=1)

تعداد متریال با شماره متریال ۱ ، بیش از ۲۴۰ عدد هستند که پرکاربردترین آنها در صنایع نفت و گاز و پتروشیمی عبارتند از

جدول ۲-۲ : تعدادی از فلزات کرنی پر کاربرد با شماره مواد ۱

Spec.No	Type Or Grade	Nominal Composition	Production Form
A/SA-105		C	Flanges &fittings
A/SA-106	B	C-Mn-Si	Smls.Pipe
A/SA-179		C	Smls.Tube
A/SA-216	WCB	C-Si	Castings
A/SA-234	WPB	C-Mn-Si	Piping fittings
A/SA-516	70	C-Mn-Si	Plate

برای انتخاب الکترود جوشکاری به روش SMAW این گروه متریال می بایست به ASME II Part C SFA5.1 مراجعه کرد. متداول ترین الکترود های این گروه E6010 و E7018 می باشد.

برای انتخاب فیلر های جوشکاری به روش GTAW این گروه می بایست به ASME II Part C SFA5.18 مراجعه کرد، متداولترین فیلر های مربوط به این گروه ER70S-3/6/2 می باشد.

با انتخاب روش های عملیات حرارتی مناسب می توان دانه بندی فولاد های ساده کربنی را به صورت ریزتری در آورد و نقطه تبدیل از شکست نرم به شکست ترد را کاهش داد. بهنوعی در این حالت چقرمگی و مقاومت به شکست متریال بهبود پیدا می کند. تعدادی از متریال کربنی که این خصوصیت را دارند شامل سه گراید ۱، ۶ و ۱۰ از SA333 و SA350 Gr LF2 می با شد. الکترود و فیلر مورد استفاده برای متریال ریزدانه

ER80S-Ni و E7018-1 می باشد.

نکته قابل توجهی که در زیر نویس اکثر جداول مربوط به متریال کربنی وجود دارد این است که مجموع درصد عناصر کرم ، مس ، مولیبدن و وانادیم می بایست از یک درصد کمتر باشد.

الف-۲ : فولاد های آلیاژی

عمده متریالی که با شماره متریال های مذکور موجود هستند را می توان در دو کاتاگوری تقسیم بندی کرد، یکی متریالی که درصد کرم آنها بین نیم تا ۹ درصد می باشد. این متریال جهت استفاده در دماهای بالا کاربرد

دارند و در جاهاییکه خطر پدیده تخریب خزش وجود دارد مد نظر هستند و دیگری متریالی که نیکل در آنها نقش بازی می کند درصد نیکل در این متریال متنوع می باشد و می تواند تا بیش از ۹ درصد هم برسد و در دماهای پایین از آنها استفاده می شود.

الف-۲-۱: متریال با P NO=3

حدود ۷۰ گراید از متریال مربوط به ASME II Part A با شماره متریال ۳ در ASME IX QW422 نامگذاری شده اند. پرکاربردترین گروه های این دسته دارای نیم درصد مولیبدن هستند. و به متریال هال مولی معروف می باشند. با احتساب روش های تولید ، شکل و... این نوع متریال حدود ۲۴ نوع هستند. متریال قید شده در جدول ذیل(جدول ۴) متداول ترین نوع این گروه در صنایع نفت ، گاز و پتروشیمی هستند

جدول ۲-۳ : گروهی از متریال با شماره متریال ۳ در Spec های ASME II -A

Spec.No	Type Or Grade	Production Form
A/SA-182	F1	Forgings
A/SA-209	T1	Smls.Tube
A/SA-217	WC1	Castings
A/SA-234	WP1	Piping fittings
A/SA-335	P1	Smls.&Welded Pipe
A/SA-336	F1	Forgings
A/SA-352	LC1	Castings
A/SA-369	FP1	Forged Pipe
A/SA-426	CP1	Centrifugal Cas Pipe

بر اساس ASME II –C-SFA5.5الکترود متداول برای جوشکاری متریال قید شده در جدول ۴ ، E8018G و و بر اساس ASME II –C-SFA5.28فیلر مربوط ER80s-G می باشد.

از انواع دیگر متریال با شماره ۳ (P no=3) می توان به گروه ذیل اشاره کرد.

جدول ۲-۴: متریال با P no=3 حاوی نیم درصد کرم و نیم درصد مولیبدن

Spec.No	Type Or Grade	Nominal Composition	Production Form
A/SA-182	F2	0.5Cr-0.5Mo	Forgings
A/SA-213	T2	0.5Cr-0.5Mo	Smls.Tube
A/SA-250	T2	0.5Cr-0.5Mo	E.R.W.Tube
A/SA-369	FP2	0.5Cr-0.5Mo	Forged Pipe
A/SA-387	2,Cl.1	0.5Cr-0.5Mo	Plate
A/SA-387	2,Cl.2	0.5Cr-0.5Mo	Plate
A/SA-426	CP2	0.5Cr-0.5Mo	Centrifugal Cas Pipe
A/SA-691	0.5CR-Cl.1	0.5Cr-0.5Mo	Fusion Welded Pipe
A/SA-691	0.5CR-Cl.2	0.5Cr-0.5Mo	Fusion Welded Pipe

بر اساس ASME II –C-SFA5.5الکترود متداول برای جوشکاری متریال قید شده در جدول ۵ ، E8018-B1 و بر اساس ASME II –C-SFA5.28فیلر مربوط **ER-70S-A1**می باشد.

علاوه بر گروههای قید شده در جداول ۴ و ۵ گروه دیگری از آلیاژهایی با شماره متریال ۳ وجود دارند که حاوی حداکثر تا۰/۷۵ درصد نیکل می باشند. الکترود متداول برای جوشکاری این گروه E8018-C3i و فیلر مربوطه ER80S-Ni1 می باشد.

الف -۲-۲ : متریال با شماره ۴ (P no/M no=4)

حدود ۵۰نوع و گراید با شماره متریال ۴ در استاندارد ASME IX-QW422 فهرست شده اند که متعلق به استاندارد ASME II Part A می باشد. متداولترین این گروه متریال یک و بیست و پنج صدم درصد کرم و نیم درصد مولیبدن می باشد که الکترود جوشکاری در روش SMAW برای آنها بر اساس ASME II Part C-

SFA5.5 ، E8018-B2 و فیلر جوشکاری برای آنها در روش جوشکاری GTAW براساس ASME II Part C- SFA5.28 ، ER80S-B2 می باشد.

جدول ۲-۵: متداول ترین شماره متریال ۴ در صنایع نفت ، گاز و پتروشیمی

Spec.No	Type Or Grade	Production Form
A/SA-182	F11.Cl.1	Forgings
A/SA-213	T11	Smls.Tube
A/SA-234	WP11,Cl.1	Piping fittings
A/SA-335	P11	Smls.&Welded Pipe
A/SA-336	F11,Cl.1	Forgings
A/SA-387	11,Cl.1	Plate
A/SA-426	CP11	Centrifugal Cas Pipe
A/SA-739	B11	Bar

الف -۲-۳ : متریال با شماره 5A (P No/M no=5A)

در صنایع نفت ، گاز ، پتروشیمی و پالایشگاهی گروه حاوی دو و بیست و پنج صدم درصد – یک درصد مولیبدنآشنا ترین گروه برای مهندسین می باشد. که پرکاربردترین آنها در جدول ۷ نشان داده شده است. ولی بر اساس ASME II و جدول *ASME IX-QW422* تعداد متریال از این گروه با توجه به خواص مکانیکی ، شکل ، آنالیز شیمیایی و ... حدود ۴۰ نوع می باشد. که ۲۶ نوع آن 2.25%Cr-1%Mo و ۱۲ نوع آن 3%Cr-1%Mo می باشد.

جدول ۲-۶ : متداول ترین متریال با (P No/M no=5A)

Spec.No	Type Or Grade	Production Form
A/SA-182	F22,Cl.1	Forgings
A/SA-213	T22	Smls.Tube
A/SA-234	WP22,Cl.1	Piping fittings
A/SA-335	P22	Smls.&Welded Pipe
A/SA-336	F22,Cl.1	Forgings
A/SA-387	22,Cl.1	Plate
A/SA-426	CP22	Centrifugal Cas Pipe
A/SA-739	B22	Bar

الکترود و فیلر های مربوط به متریال با شماره 5A عبارتند از:

Electrode For SMAW
Process:
Spec: ASME II –c SFA5.5
Electrode Classification:
E9018-B3

Electrode For GTAW
Process:
Spec: ASME II –c SFA5.28
Filler Classification:
ER90S-B3

الف-۲-۴ : متریال با شماره 5B (P No/M no=5B)

بیش از ۳۰ نوع متریال با شماره(P no/M no= 5B) متعلق به ASME II-A در ASME IX-QW422 با شماره متریال مذکور نامگذاری شده است. تعدادی از این متریال دارای ۵ درصد کرم و نیم درصد مولیبدن که پرکابردترین آنها در جدول ۸ قید شده است.متداول ترین الکترود و فیلر های جوشکاری برای این متریال ER8018-B6 در روش جوشکاری SMAW و ER80S-B6 در روش جوشکاری GTAW می باشد.

جدول ۲-۷ : متریال پنج درصد کرم –نیم درصد مولیبدن با شماره P No/M no=5B

Spec.No	Type Or Grade	Production Form
A/SA-182	F5	Forgings
A/SA-213	T5	Smls.Tube
A/SA-217	C5	Castings
A/SA-234	WP5,Cl.1	Piping fittings
A/SA-335	P5	Smls.&Welded Pipe
A/SA-387	5,Cl.1	Plate
A/SA-426	CPS	Centrifugal Cas Pipe

گروه دیگری از متریال با P no/M no=5B که با الکترود E-9018-B9 و فیلر آن ER90S-B9 جوشکاری می شود حاوی ۹ درصد کرم و یک درصد مولیبدن می باشد.

جدول ۲-۸ : متریال پنج درصد کرم –نیم درصد مولیبدن با شماره P No/M no=5B

Spec.No	Type Or Grade	Production Form
A/SA-182	F9	Forgings
A/SA-213	T9	Smls.Tube
A/SA-217	C12	Castings
A/SA-234	WP9,Cl.1	Piping fittings
A/SA-335	P9	Smls.&Welded Pipe
A/SA-387	9,Cl.2	Plate
A/SA-426	CP9	Centrifugal Cas Pipe

الف -۲-۵ متریال با شماره (P no/M no=5C)

از نظر درصد کرم و مولیبدن این گروه از متریال شبیه P No/M no=5A است ولیکن اضافه شده درصد کمی وانادیم ، تیتانیم یا بور باعث شده که استحکام نهایی این متریال نسبت به سایر فولاد های آلیاژی حاوی دو و بیست و پنج صدم تا ۳ درصد کرم و یک درصد مولیبدن بسیار بیشتر باشد.

استحکام شکست این گروه متریال از 85ksi تا 115ksi متغیر است و عدد سختی برخی از انواع آن مانند SA182 Gr F22V نیز نسبت به کرم –مولیبدن بیشتر می باشد. الکترود و فیلر با شماره کلاس در ASME II

Part C برای این گروه متریال شماره گذاری نشده است ولی در ASME II –Part A تعمیر فلنج های SA182 GR F3v با درصد عناصر آلیاژی به صورت

3 % Cr, 1 % Mo, 1⁄4 % V-Ti

در متریال ASME II-Aاز این شماره متریال حدود ۳۷ نوع وجود دارد که از نوع ورق ، ریخته گری و فرج می باشند.

الف -۲-۶ متریال با شماره (P no/M no=15E)

در ویرایش سال ۲۰۱۰ ، شماره متریال جدید با عنوان 15E در ASME IX-QW422 معرفی شد. در واقع متریال حاو ی۹ درصد کرم و یک درصد مولیبدن که حدود دو دهم درصد وانادیم و یا ۲ درصد تنگستن داشته باشند با این شماره متریال نامگذاری شدند. این گروه متریال ۱۶ نوع می باشد. تعدادی از متریال با P no/M no=15E عبارتند از:

SA182 F91, SA213T91, SA234WP91, SA335 P91, SA387-91

قبل از ویرایش ASME IX-2010 متریال مذکور دارای P No=5B بودند.

الف-۲-۷: متریال حاوی نیم تا ۹ درصد نیکل (P no/M no=9A,9B,9C, 11A,11B,11C)

متریال حاوی نیکل (حداکثر تا ۹ درصد) ، دارای مقاومت به شکست بالایی هستند. تعداد این نوع متریال با احتساب روش تولید، آنالیز شیمیایی و ... حدود ۷۶ عدد می باشد.(متریالی که تحت استاندارد ASME II) هستند.

تعدادی از لوله های مربوط به این گروه دارای شماره Spec ، SA333 هستند. که مشخصات آنها در جدول ۱۰ قید شده است.

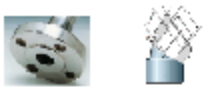
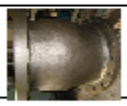
جدول ۲-۹: تعدادی از لوله های آلیاژی حاوی نیکل

Spec.No	Type Or Grade	Pno	Nominal Composition	Filler In Acc SFA5.28 Or SFA5.14	Electrod In Acc SFA5.5 Or SFA5.11
A/SA-333	*7*	*9A*	*2.5Ni*	*ER-80S-Ni 1*	***E-8018-C1***
A/SA-333	*3*	*9B*	*3.5Ni*	*ER-80S-Ni3*	***E-8018-C2***
A/SA-333	*8*	*11A*	*9Ni*	*ERNICr3*	***ENiCrMo-3***

الف -۳ شماره متریال ۸ (P no/M no=8)

این گروه که اغلب فولاد های ضد زنگ آستنیتی هستند دارای بیش از ۵۰۰ گروه در استاندارد ASME II-A می باشند که تحت ۲۰ شماره Spec گراید بندی شده اند..اعم این شماره Spec ها در جدول ذیل مشخص شده است.

جدول ۲-۱۰ تعدادی شماره Spec های مربوط به فولاد های ضد زنگ آستنیتی

Forging	SA182	
Piping	SA312	
Tube	SA213	
Casting	SA351	
Wrought Fitting	SA403	
Plate	SA240	

الف-۴: شماره متریال ۶ (P no/M no=6)

این گروه فولاد های ضد زنگ مارتنزیتی می باشند که دارای سختی بالایی هستند. و به طور متوسط دارای ۱۲ تا ۱۵ درصد کرم (اغلب به صورت 13Cr موسوم هستند.) و مقاومت بالایی در برابر سایش دارند. این گروه دارای بیش از ۳۰ گراید می باشد که تحت ۱۲ شماره Spec نامگذاری شده اند. که تعدادی از آنها در جدول ۲-۱۱ نشان داده شده است.

جدول ۲-۱۱ : برخی از متریال با شماره ۶مواد مربوط به فولاد های ضد زنگ مارتنزیتی

SPEC.NO	TYP OR GRAD	PRODUCT	SMAW(EL) ASME II SFA5.4	GTAW(ER) ASME II SFA5.9
SA-182	F6a, Cl.	Forgings	E 410-15 or 16	ER410
SA-182	F6NM	Forgings	13% Cr, 4% Ni	
SA-182	F429	Forgings	E 430-16	ER430
SA-217	CA15	Castings		
SA-240	Type 410	Plate, sheet, & strip		
SA-352	CA6NM	Castings		
SA-426	CPCA15	Centrifugal cast pipe		
SA-479	403	Bars & shapes		
SA-487	CA15M Cl. A	Castings		
SA-731	S41500	Smls. & welded pipe		
SA-815	S41500	Fittings		

الف -۵ متریال با شماره ۷ (P no/M no=7)

۲۵ نوع متریال در این گروه تحت استاندارد ASME II نامگذاری شده است. در بین این گروه تعدادی از متریال ها حاوی ۱۷ تا ۱۸ درصد کرم هستند و جزء فولاد های ضد زنگ فریتی می باشند.(جدول ۲-۱۲)

جدول ۲-۱۲ : تعدادی از متریال با شماره ۷ (P no/M no=7)

Spec.No	Type Or Grade	Nominal Composition	Production Form
A/SA-182	F430	17Cr	Forging
A/SA-240	Type 430	17Cr	Plate
A/SA-268	TP430	17Cr	Smls.&Welded tube
A/SA-268	18Cr-2Mo	18Cr-2Mo	Smls.&Welded tube
A/SA-479	430	17Cr	Bars&Shapes
A/SA-731	TP439	18Cr-Ti	Bars&Shapes
A/SA-731	18Cr-2Mo	18Cr-2Mo	Bars&Shapes
A/SA-803	TP439	18Cr-Ti	Welded tube

الف-۶ فولاد های ضد زنگ دو فازی Duplex (P no/M no=10H,10J,10K..)

فولاد های ضد زنگ دو فازی دارای ۲۱ تا ۲۹ درصد کرم و با توجه به شکل ، آنالیز شیمیایی و... دارای بیش از ۱۰۰ نوع هستند که در استاندارد ASME II-A تحت ۱۲ شماره SPEC نامگذاری شده اند. در جدول ۱۴ گروهی از فولاد های ضد زنگ دو فازی که در ASME II –A182 گراید بندی شده است نشان داده شده است.

جدول ۲-۱۳ : فولاد های ضد زنگ دوفازی SA182

Ferritic-Austenitic Stainless Steels	
F 50	25% Cr, 6% Ni, 1.7% Mo
F 51	22% Cr, 5.5% Ni, 3% Mo
F 52	26% Cr, 8% Ni, 2% Mo
F 53	25% Cr, 7% Ni, 4% Mo
F 54	25% Cr, 7% Ni, 3% Mo, W
F 55	25% Cr, 7% Ni, 3.5% Mo
F 57	25% Cr, 7% Ni, 3% Mo, 1.5% Cu, 1% W
F 59	E NiCrMo-10
F 60	22% Cr, 5.5% Ni, 3% Mo
F 61	26% Cr, 9% Ni, 3.5% Mo

الف-۷ متریال غیر آهنی (ASME II-Part B)

متریال غیر آهنی در Part B از ASMII توضیح داده شده است. به جز حدود ۲۰ گروه از آلیاژهای نیکل سایر گروه ها که بیش از ۶۴۰ نوع می باشند با پیشوند SB نامگذاری شده اند.

الف-۷-۱: نیکل و آلیاژهای آن:

در صنعت مهندسین اغلب آلیاژهای نیکل را به صورت گروه ۲۰۰، ۶۲۵، ۲۰۱ ، ۸۰۰ و ... می شناسند. که در واقع این نوع گروه بندی همان عدد جهانی متریال (UNS-NO) می باشد. در ASME IX-QW422 آلیاژهای نیکل دارای شماره متریال ۴۱ تا ۴۹ می باشند. با توجه به شکل، آنالیز شیمیایی و... حدود ۴۰۰ نوع آلیاژ با پایه نیکل در استاندارد ASME II-B وجود دارد. البته استثنایی که در اینجا وجو دارد این است که ۲۰ نوع از این متریال در ASME II-A طبقه بندی شده اند.

الکترود های جوشکاری آلیاژهای نیکل برای روش جوشکاری SMAW در ASME II-C-SFA5.11 و فیلر های جوشکاری این آلیاژها در ASME II-C-SFA5.14 توضیح داده شده است.

جدول ۲-۱۴ : گروه آلیاژی ۲۰۰ و ۲۰۱

Trade Name	UNS	Nickel Alloy Industry Specifications	6Moly Chemical Composition
Nickel 200	UNS N02200	**ASME** SB-160, SB-161, SB-162, SB-163 **ASTM** B160, B161, B162, B163, B366, B564, B725, B730 **AWS** C2.25 (W-Ni-2)	**C** 0.15 max **Cu** 0.25 max **Fe** 0.40 max **Mn** 0.35 max **Ni** 99.0 min **S** 0.010 max **Si** 0.35 max
Nickel 201	UNS N02201	**ASTM** B160, B161, B162, B163, B366, B725, B730	**C** 0.02 max **Cu** 0.25 max **Fe** 0.40 max **Mn** 0.35 max **Ni** 99.0 min **S** 0.010 max **Si** 0.35 max

جدول ۲-۱۵ : گروه آلیاژی ۴۰۰

Alloy 400 **Monel 400®**	**UNS N04400**	**AMS** 4544, 4574, 4575, 4730, 4731, AS7233 **ASME** SB-127, SB-163, SB-164, SB-165, SB-564 **ASTM** B127, B163, B164, B165, B366, B564, B725, B730, F96, F467 (400), F468 (400)	**C** 0.3 max **Cu** rem **Fe** 2.50 max **Mn** 2.00 max **Ni** 63.00-70.00
		MIL SPEC MIL-N-24106, MIL-T-1368, MIL-V-17547	**S** 0.024 max **Si** 0.50 max

جدول ۲-۱۶ : گروه آلیاژی ۶۰۰ و ۶۰۱

Alloy 600 **Inconel 600®**	**UNS N06600**	**AMS** 5540, 5580, 5665, 5687, 5961, AS7232 **ASME** SB-163, SB-166, SB-167, SB-168, SB-564 **ASTM** B127, B163, B164, B165, B366, B564, B725, B730, F96, F467 (400), F468 (400) **MIL SPEC** MIL-N-24106, MIL-T-1368, MIL-V-17547	**C** 0.3 max **Cu** rem **Fe** 2.50 max **Mn** 2.00 max **Ni** 63.00-70.00 **S** 0.024 max **Si** 0.50 max
Alloy 601 **Inconel 601®**	**UNS N06601**	**ASTM** B166, B167, B168, B751, B775, B829 **ASME** SB166, SB167, SB168, SB751, SB775, SB829	**Ni** 58.00-63.00 **Cr** 21.00-25.00 **Al** 1.00-1.70 **C** 0.10 **Mn** 1.00 **Cu** 1.00 **Si** 0.50 **S** 0.015 **Fe** Balance

جدول ۲-۱۷ : گروه آلیاژی ۶۲۵ و ۸۲۵

Alloy 625 **Inconel 625®**	**UNS N06625**	**ASTM** 5599, 5869, 5666, 5581, 5837 **ASME** B366, B443, B446, B444, B564, B704, B705, B751, B775, B829	**C** 0.10 max **MN** 0.5 max **P** 0.15 max **S** 0.15 max **Si** 0.50 max **Cr** 20.0-23.0 **Ni** 58.0 min **Mo** 8.0-10.0 **Co** 1.0 max **Ti** 0.40 max **Al** 0.40 max **Fe** 5.0 max **Nb** 3.15-4.15
Alloy 825 **Incoloy 825®**	**UNS N08825**	**ASTM** B163, B423, B425, B564, , B424, SB425, SB564, B704, B705, B751, B775, B829, B906 **ASME** SB163, SB423, SB424, SB425, SB564, SB704, SB751, SB775, SB809, SB906	**C** 0.05 max **Cr** 19.25-23.5 **Fe** 0.50 max **Ni** 38.0-46.0 **Al** 0.2 max **Ti** 0.6-1.2 **Cu** 1.5-3.0 **Mo** 2.5-3.5

جدول ۲-۱۸: Hastelloy C-276

C-276 **Hastelloy C-276®**	**UNS N10276**	**ASTM** B574, B564, G28-A/B, B575, A480, B619, B626 **ASME** SB574, SB564, SB575, SB619, SB626	**Cr** 14.5-16.5 **W** 3.0-4.5 **Mn** 1.0 max **V** 0.35 max **S** 0.03 max **No** 15-0-17.0 **Fe** 4.0-7.0 **Co** 2.5 max **C** 0.02 max **P** 0.03 max
			Si 0.08 **Ni** Balance

جدول ۲-۱۹ : Hastelloy C-22

C-22 **Hastelloy C-22®**	**UNS N06022**	**ASTM** B574, B575, B619, B622, B626 **ASME** SB574, SB575, SB619, SB622, SB626	**Ni** 56 **Co** 2.5 **Cr** 22 **Mo** 13 **W** 3 **Fe** 3 **Si** 0.08 **Mn** 0.50 **C** 0.010 **V** 0.35

الکترود های جوشکاری برای آلیاژهای پرمصرف نیکلی نیز در جدول ۲۱ نشان داده شده است.

جدول ۲-۲۰ : فیلر و الکترود های جوشکاری برای آلیاژهای نیکل

Suggested Filler Metals for Welding Nickel Alloys to Steel

Nickel Alloy			Filler Metal for Welding to[b]	
UNS No.	Common Designation[a]	Filler Metal Form	Carbon or Low-Alloy Steel	Stainless Steel
N02200	Commercially pure nickel	Covered electrode Bare wire	ENi-1, ENiCrFe-2 ERNi-1, ERNiCr-3	ENI-1, ENiCrFe-2, ENiCrFe-3 ERNi-1, ERNiCr-3, ERNiCrFe-6
N04400 N05500 N05502	Alloy 400 Alloy K-500 Alloy 502	Covered electrode Bare wire	ENiCu-7, ENi-1 ERNi-1	ENiCrFe-2, ENiCrFe-3 ERNiCr-3, ERNiCrFe-6
N06600 N08800	Alloy 600 Alloy 800	Covered electrode Bare wire	ENiCrFe-2, ENiCrFe-3 ERNiCr-3, ERNiCrFe-6	ENiCrFe-2, ENiCrFe-3 ERNiCr-3, ERNiCrFe-6
N06625	Alloy 625	Covered electrode Bare wire	ENiCrFe-2, ENiCrMo-3 ERNiCr-3, ERNiCrMo-3	ENiCrFe-2, ENiCrMo-3 ERNiCr-3, ERNiCrMo-3
N08825	Alloy 825	Covered electrode Bare wire	ENiCrMo-3 ERNiCrMo-3	ENiCrMo-3 ERNiCrMo-3
N10665	Alloy B-2	Covered electrode Bare wire	ENiMo-7 ERNiMo-7	ENiMo-7 ERNiMo-7
N10276	Alloy C-276	Covered electrode Bare wire	ENiCrMo-4 ERNiCrMo-4	ERNiCrMo-4 ERNiCrMo-4
N06455	Alloy C-4	Covered electrode Bare wire	ENiCrMo-4 ERNiCrMo-7	ENiCrMo-4 ERNiCrMo-7
N06007	Alloy G	Covered electrode Bare wire	ENiCrMo-9 ERNiCrMo-1	ENiCrMo-9 ERNiCrMo-1

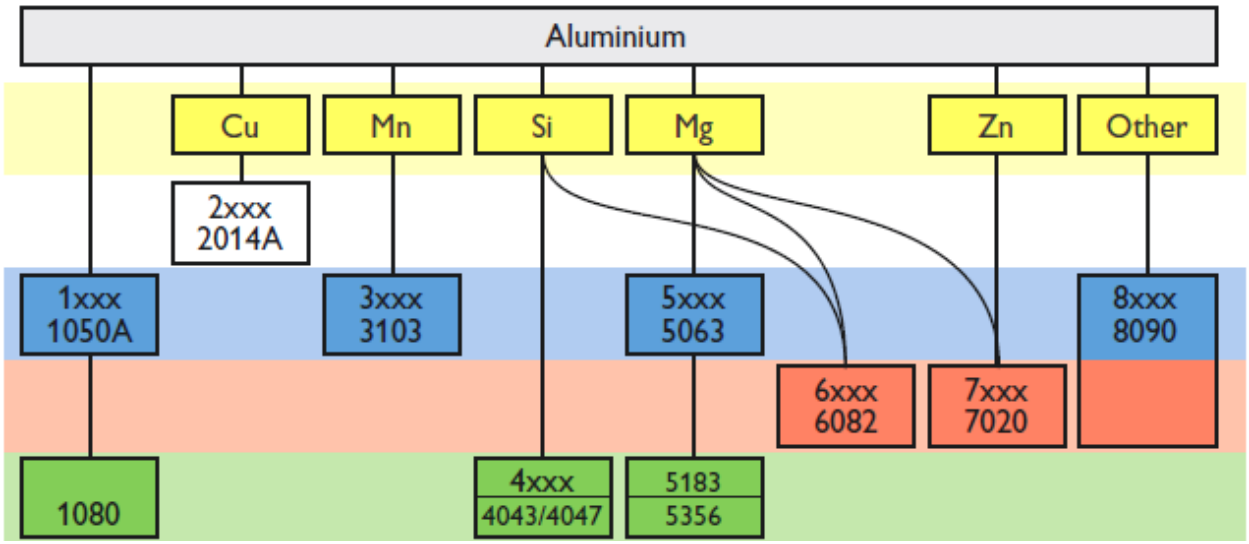
الف-۷-۲ آلومنیم و آلیاژهای آن:

حدود ۷۰ گروه آلیاژهای آلومنیم دارای مختلف ریختگی ، ورق ، بار و... در ASME II-B تحت حدودا ۱۹ شماره Spec نامگذاری شده است. به عنوان مثال متریال با شماره Spec ، SB234 از نظر شکل تیوب بدون درز معرفی شده است و با توجه به درصد عناصر آلیاژی دارای ۶ گراید می باشد.

جدول ۲-۲۱ گراید های مربوط به SB234

Type Or Grade	UNS No.	Nominal Composition
Alclad 3003		Al-Mn-Cu
1060	A91060	99.60Al
3003	A93003	Al-Mn-Cu
5052	A95052	Al-2.5Mg
5454	A95454	Al-2.7Mg.Mn
6061	A96061	Al-Mg-Si-Cu

ولی در مجموع آلیاژهای آلومنیم بیشتر با شماره گراید که چهار حرف است و تقسیم بندی کلی آنها در شکل ۵ نشان داده شده است. شناخته می شوند.



شکل ۲-۵ : تقسیم بندی کلی آلیاژهای آلومنیم

در استاندارد ASME IX-QW422 نیز آلیاژهای آلومنیم دارای شماره متریال (P No) ۲۱ تا ۲۶ هستند.

ASME II-C-SFA 5.10 در خصوص فیلر و الکترود های جوشکاری آلیاژهای آلومنیم می باشد. و به طور خلاصه ماتریس ذیل را برای انتخاب فیلر و الکترود های آلومنیم ارائه داده است.

جدول ۲-۲۲ : ماتریس انتخاب فیلر و الکترود برای آلیاژهای آلومنیم

Base Metal	1060, 1100, (1050), 3003	3004	5005, 5050	5052	5083	5086	5154, 5354	5454	5456	6005, 6061	7005	356,0 443,0
1060, 1100, (1050), 3003	1100 (1050) (b)(e)	4043 (d)(e)	4043 (d)(e)	4043 (d)(e)	5356 (b)(d)	5356 (b)(d)	4043 (d)(e)	4043 (d)(e)	5356 (b)(d)	4043 (e)	5356 (b)(d)	4043 (e)
3004		4043 (d)(e)	4043 (d)(e)	4043 (d)(e)	5356 (d)	5356 (d)	5356 (a)	5356 (a)	5356 (d)	4043 (d)(e)	5356 (b)(e)	4043 (e)
5005, 5050			4043 (d)(e)	4043 (d)(e)	5356 (d)	5356 (d)	5356 (a)	5356 (a)	5356 (d)	4043 (d)(e)	5356 (b)(d)	4043 (e)
5052				5356 (a)(b)	5356 (d)	5356 (d)	5356 (a)	5356 (a)	5356 (d)	5356 (a)(b)	5356 (a)	4043 (a)(e)
5083					5183 (d)	5356 (d)	5356 (d)	5356 (d)	5183 (d)	5356 (d)	5183 (d)	5356 (b)(d)
5086						5356 (d)	5356 (d)	5356 (d)	5356 (d)	5356 (d)	5356 (d)	5356 (b)(d)
5154, 5254							5356 (a)	5356 (a)	5356 (a)	5356 (a)	5356 (d)	4043 (a)
5454								5554 (b)(d)	5356 (d)	5356 (a)(b)	5356 (a)	4043 (a)(e)
5456									5556 (d)	5356 (d)	5556 (d)	5356 (b)(d)
6005, 6061, 6063, 6351										4043 (a)(e)	5356 (a)(b)	4043 (a)(e)
7005											5356 (d)	4043 (a)(e)
356,0 443,0												4043 (c)(e)

الف -۷-۳: مس و آلیاژهای آن

بیش از ۱۱۰ نوع آلیاژ مس تحت حدود ۱۶ شماره Spec در ASME II-B نامگذاری شده است. پرکاربردترین این گروه برنج و برنز می باشد. در ASME IX-QW422 نیز آلیاژهای مس با شماره متریال (P no) ۳۱ تا ۳۵ مشخص شده است. فیلر و الکترود های جوشکاری آلیاژهای مس در ASME II-C SFA5.06/5.07 مشخص شده است.

جدول ۲-۲۳ : الکترود های جوشکاری برای آلیاژهای مس بر اساس ASME II-C

TABLE 2
SUMMARY OF MATERIALS REQUIRED FOR TESTING

	Base Metal[a] (ASTM Specifications and UNS Numbers)		
AWS Classification	Chemical Analysis	Tension Test[b]	Transverse Guided Bend Test[b]
ECu	B152 or B11 C12200	B152 or B11 C12200	B152 or B11 C12200
ECuSi	B96 or B97 C65500	B96 or B97 C65500	B96 or B97 C65500
ECuSn-A	B103 C51100	B103 C51100	B103 C51100
ECuSn-C	B130 C52100	B130 C52100	B130 C52100
ECuNi[c]	B122 C71500	B122 C71500	B122 C71500
ECuAl-A2	B169 C61400	B169 C61400	B169 C61400
ECuAl-B	B148 C95400	B148 C95400	
ECuNiAl	B148 C95800	B148 C95800	B148 C95800[d]
ECuMnNiAl	B148 C95700	B148 C95700	B148 C95700[d]

الف ۷-۴ آلیاژهای تیتانیم

بیش از ۹۰ نوع آلیاژ تیتانیم در ASME II-B معرفی شده است. آلومنیم ، پادمیم ، مولیبدن و نیکل در آلیاژهای تیتانیم نقش زیادی بازی می کنند.

یکی از معروف ترین آلیاژهای تیتانیم SB338 می باشد که به عنوان تیوب در مبدل ها و کندانسور ها مورد استفاده قرار می گیرد. در ASME IX-QW422 نیز آلیاژهای تیتانیم با شماره متریال (P no) ۵۱ تا ۵۳ مشخص شده اند. فیلر ها مربوط به آلیاژهای تیتانیم نیز ASME II-C-SFA 5.016 معرفی شده اند ، ۱۳ نوع فیلر که ساده ترین آنها ER-Ti1 می باشد. با توجه به آنالیز شیمیایی انتخاب نوع فیلر به راحتی قابل انجام می باشد.

جدول ۲-۲۴ : تعدادی از آلیاژهای تیتانیم

Spec.No	Type Or Grade	Production Form
B/SB-265	2H	Plate,Sheet &Strip
B/SB-338	2H	Smls.&Welded Tube
B/SB-348	2H	Bars &Billets
B/SB-363	WPT 9	Smls.&Welded fittings
B/SB-381	F-1	Forgings
B/SB-861	2H	Smls.Pipe
B/SB-862	2H	Welded Pipe

در بازرسی های متریال تیتانیم و همچنین بازرسی جوش آنها موردی را که می بایست مد نظر قرار دارد رنگ این آلیاژها بعد از کار گرمی که روی آنها انجام می دهیم می باشد. جدول ۲۶ الگوریتم رنگی قابل قبول و غیر قابل را بعد از انجام کار گرم از جمله جوشکاری روی آلیاژهای تیتانیم را نشان می دهد.

جدول ۲-۲۵ : تعدادی از آلیاژهای تیتانیم

Weld Color	Quality Indication
Bright Silver	Acceptable[a]
Silver	Acceptable[a]
Light Straw	Acceptable[a]
Dark Straw	Acceptable[a]
Bronze	Acceptable[a]
Brown	Acceptable[a]
Violet	Unacceptable[b, c]
Dark Blue	Unacceptable[b, c]
Light Blue	Unacceptable[b, c]
Green	Unacceptable[b, c]
Gray	Unacceptable
White	Unacceptable

الف ۷-۵ : زیرکونیم و آلیاژهای آن

آلیاژها زیر کونیم شماره گذاری شده در ASME II-B در جدول ذیل قید شده اند. الکترود های جوشکاری این متریال نیز در ASME II-C بخش SFA5.24 عنوان شده است.

جدول ۲-۲۶ : زیرکو نیم و آلیاژهای آن

Spec.No	Type Or Grade	Pno	Nominal Composition	Production Form
B/SB-493	R60702	61	99.2Zr	Forgings
B/SB-493	R60705	62	95.5Zr+2.5Cb	Forgings
B/SB-523	R60702	61	99.2Zr	Smls.&Welded Tube
B/SB-523	R60705	62	95.5Zr+2.5Cb	Smls.&Welded Tube
B/SB-550	R60702	61	99.2Zr	Bar &Wire
B/SB-550	R60705	62	95.5Zr+2.5Cb	Bar &Wire
B/SB-551	R60702	61	99.2Zr	Plate,Sheet &Strip
B/SB-551	R60705	62	95.5Zr+2.5Cb	Plate,Sheet &Strip
B/SB-653	R60702	61	99.2Zr	Smls.& Welded fittings
B/SB-658	R60702	61	99.2Zr	Smls.&Welded Pipe
B/SB-658	R60705	62	95.5Zr+2.5Cb	Smls.&Welded Pipe

جدول ۲-۲۷ : فیلر های جوشکاری مربوط به آلیاژهای زیر کونیم

SPECIFICATION FOR ZIRCONIUM AND ZIRCONIUM ALLOY WELDING ELECTRODES AND RODS

SFA-5.024

ER Zr2		ERZr4
	ERZr3	

۲-۱-۴: ساخت.

برشکاری ورق جایگزین می تواند با برشکاری گرم ، سرد و یا ماشینکاری انجام شود. لبه سازی آن و ایجاد طرح اتصال می بایست مطابق با استاندارد های طراحی و ساخت انجام شود. در شکل دهی ورق به حالت تک انحنا و دو انحنا(شکل۲-۱) می بایست فرایند مناسب انتخاب شود. ممکن است برشکاری ورق جدید از بدنه استوانه ای یا کروی با انحنای تجهیز یا لوله بریده شود. در این حالت شکل دهی نیاز نیست و لازم است صرفا لبه ساری انجام شود. به عنوان مثال برای یک لوله ۲۴ اینچ که در سرویس بهره برداری قرار دارد و بخشی از آن معیوب است اگر ورق جایگزین هم از یک لوله ۲۴ اینچ با همان ضخامت انجام شود فرایند شکل دهی حذف می گردد. ولیکن اگر ورق جایگزین از لوله ای با قطری متفاوت مثلا R_0 تهیه گردد. آن را به شعاع R_f که شعاع نهایی است. انجام شود. اگر ورق جایگزین از ورق تخت تهیه شود. شعاع بینهایت می باشد. اگر درصد کار سرد جهت شکل دهی بیشتر از ۵ درصد بیشتر باشد. لازم است عملیات حرارتی انجام شود.

درصد کار سرد برابر ورق های تک انحنا(استوانه ای) از رابطه زیر به دست می آید. (t ضخامت ورق، R_0 شعاع اولیه نمونه و R_f شعاع نهایی قطعه است.)

$$\text{Cold Forming\%} = 50t/R_f(1- R_f/R_0)$$

همانطور که گفته شود. برای تخت شعاع برابر با بینهایت است. بنابراین اگر نمونه اولیه ورق تخت باشد درصد کار سرد از رابطه $50t/R_f$ محاسبه می شود.

اگر ورق جایگزین دو انحنا (کروی یا بیضوی) باشد درصد کار سرد از راابطه ذیل محاسبه می شود.

$$\text{Cold Forming\%} = 75t/R_f(1- R_f/R_0)$$

اگر نمونه اولیه ورق باشد شعاع برابر با بینهایت باشد درصد کار سرد از رابطه $75t/R_f$ محاسبه می شود.

برای درصد کار مجاز بدون انجام تنش زدایی برای سایر متریال غیر از فولاد های کربنی و آلیاژی می بایست به استاندارد های طزاحی و ساخت آنها مراجعه کرد.

لبه سازی و جوشکاری می بایست مطابق با طرح اتصال های قید شده در استاندارد های طراحی و ساخت انجام شود. انتخاب روش جوشکاری ، فیلر، الکترود، نیز مطابق با استاندارد های ASME IX ، ASME II Part C انجام شود.

در مجموع پیشنهاد می شود برای این روش جوشکاری نیز دستورالعمل تهیه و متغیر های نه گانه جوشکاری در WPS لحاظ شود. در صورتیکه PQR های مربوط به زمان ساخت این نوع جوشکاری را پوشش می دهند. می توان از آنها استفاده نمود در غیر این صورت لازم WPS و PQR جدید تهیه گردد. جوشکارانی هم که قرار است عملیات جوشکاری را انجام دهند می بایست مطابق بلASME IX دارای تاییدیه معتبر باشند.

مراحل انتخاب متریال و انجام جوشکاری مطابق با شرایط ذیل انجام شود.

- مراجعه به نقشه ها و اسناد پروژه مانند P&ID ، نقشه های کلی ،لوح شناسایی ، اسپک های لوله کشی ، ایزومتریک و...

- برای مخازن ، ظروف تحت فشار بعد از مشخص شدن شماره تجهیز از روی لوح شناسایی و P&ID به نقشه های کلی یا General Drawing آنها مراجعه می شود. و با استفاده از نقشه شماره اسپک متریال(نوع متریال) ، ضخامت و... مشخص می شود. البته از انجام آزمون های میدانی مانند ضخامت سنجی و PMI نیز نباید غافل شد. این دو آزمون جهت حصول اطمینان از داده های قید شده در اسناد پیشنهاد می شود.

- برای سیستم های لوله کشی بعد از مشخص شدن شماره خط ، کلاس خط (قراردادی بین کارفرما و طراح بوده است –مثلا A1A2) مشخص می گردد. بعد از آن به اسپک های سیستم لوله کشی از جمله PMS مراجعه و خلاصه متریال مورد نیاز را می توان از آن استخراج کرد. در صورت ضعف اسناد و مدارک در این خصوص می توان از آزمون های PMI ، ضخامت سنجی ، سختی سنجی، مارکینگ اتصالات و فلنج ها استفاده کرد. در مجموع خلاصه متریال یا Brief Of Material(BOM) را می توان با تلفیق روش های مذکور و استفاده از جدول QW422 از ASME IX و با کمک شماره مواد(P no) ، شماره جهانی مواد (UNS-No) ، خلاصه آنالیز شیمیایی مواد و خواص مکانیکی مانند UTS که در این جدول قید شده است تهیه کرد.

- بعد از مشخص شدن موارد مذکور تهیه متریال برای ورق جایگزین انجام می شود. پیشنهاد می شود ورقی که جهت تعمیر استفاده می شود از نظر شماره اسپک، گراید ، ضخامت با لوله یا تجهیز کاملا مشابه باشد در این شرایط می توان از WPS و PQR های حین ساخت و نصب استفاده کرد در غیر این صورت به احتمال زیاد تهیهWPS و PQR جدید ، محاسبات ضخامت مجدد ، الزاماتی مانند مقاومت به پدیده خستگی ،ارزیابی شکست ترد و... نیز می بایست انجام شود.

برای انتخاب الکترود می توان از جداول قید شده در ضمیمه A از استاندارد API 582 استفاده کرد.

جدول ۲-۲۸ :انتخاب الکترود جوشکاری برای فولاد های کربنی و آلیاژی

Table A.1—Carbon and Low-allow Steel

Base Material (See Notes 1, 2, and 4)	Carbon Steel	Carbon-molybdenum Steel	1 and 1 1/4 Cr-1/2 Mo Steel	2 1/4 Cr-1 Mo Steel	5 Cr-1/2 Mo Steel	9 Cr-1 Mo Steel	2 1/4 Nickel Steel	3 1/2 Nickel Steel	9 % Nickel Steel
carbon steel	AB (see Note 3)	AC	AD	ADE	ADEF	ADEFH	AJ	AK	*
carbon-molybdenum steel		C	CD	CDE	CDE	CDEFH	*	*	*
1 and 1 1/4 Cr-1/2 Mo steel			D	DE	DEF	DEFH	*	*	*
2 1/4 Cr-1 Mo steel				E	EF	EFH	*	*	*
5 Cr-1/2 Mo steel					F	FH	*	*	*
9 Cr-1 Mo steel						H (see Note 4)	*	*	*
2 1/4 nickel steel							J	JK	LM
3 1/2 nickel steel								K	LM
9 % nickel steel									LM

Key

A ASME/AWS SFA/A 5.1, Classification E70XX low hydrogen (see Note 5).

B ASME/AWS SFA/A 5.1, Classification E6010 for root pass (see Note 5).

C ASME/AWS SFA/A 5.5, Classification E70XX-A1, low hydrogen.

D ASME/AWS SFA/A 5.5, Classification E70XX-B2L (see Note 6) or E80XX-B2, low hydrogen.

E ASME/AWS SFA/A 5.5, Classification E80XX-B3L (see Note 6) or E90XX-B3, low hydrogen.

F ASME/AWS SFA/A 5.5, Classification E80XX-B6 or E80XX-B6L (see Note 6), low hydrogen.

H ASME/AWS SFA/A 5.5, Classification E80XX-B8 or E80XX-B8L (see Note 6), low hydrogen.

J ASME/AWS SFA/A 5.5, Classification E80XX-C1 or E70XX-C1L, low hydrogen.

K ASME/AWS SFA/A 5.5, Classification E80XX-C2 or E70XXC2L, low hydrogen.

L ASME/AWS SFA/A 5.11, Classification ENiCrMo-3.

M ASME/AWS SFA/A 5.11, Classification ENiCrMo-6.

* An unlikely or unsuitable combination. Consult the owner's engineer if this combination is needed.

NOTE 1 This table refers to coated electrodes. For bare wire welding (SAW, GMAW, GTAW), use equivalent electrode classifications (ASME/AWS SFA/A5.14, SFA/A5.17, SFA/A5.18, SFA/A5.20, SFA/A5.23, SFA/A5.28). Refer to the text for information on other processes.

NOTE 2 Higher alloy electrode specified in the table should normally be used to meet the required tensile strength or toughness after PWHT. The lower alloy electrode specified may be required in some applications to meet weld metal hardness requirements.

NOTE 4 This table does not cover modified versions of Cr-Mo alloys.

NOTE 5 See 6.1.3.

NOTE 6 PWHT can cause the strength of these filler metals to drop below minimum requirements. Care should be taken to insure adequate strength in the PWHT condition.

جدول ۲-۲۸ :انتخاب الکترود جوشکاری برای فولاد های ضد زنگ

Table A.2—Stainless Steel Alloys

Base Material (See Notes 1, 2, and 3)	Type 405 Stainless Steel	Type 410S Stainless Steel	Type 410 Stainless Steel	Type 304 Stainless Steel	Type 304L Stainless Steel	Type 304H Stainless Steel	Type 310 Stainless Steel	Type 316 Stainless Steel	Type 316L Stainless Steel	Type 317L Stainless Steel	Type 321 Stainless Steel	Type 347 Stainless Steel	Type 347H Stainless Steel
carbon and low-alloy steel	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB
Type 405 stainless steel	ABC	ABC	ABC	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB
Type 410S stainless steel		ABC	ABC	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB
Type 410 stainless steel			ABC	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB
Type 304 stainless steel				D	DH	DJ	A	DF	DGH	DI	DE	DE	DE
Type 304L stainless steel					H	DHJ	A	DF	GH	HI	DE	DE	DE
Type 304H stainless steel (see Note 5)						J	A	DFJ	DGHJ	DIJ	DEJ	EJ	EJ
Type 310 stainless steel							K	AK	A	A	A	A	A
Type 316 stainless steel								F	FG	FI	EF	EF	EF
Type 316L stainless steel									G	GI	EG	EG	EG
Type 317L stainless steel										I	EI	EI	EI
Type 321 stainless steel											E (see Note 1)	E	E
Type 347 stainless steel												E	E
Type 347H stainless steel (see Note 5)													E

Key

A ASME/AWS SFA/A 5.4, Classification E309-XX.

B ASME/AWS SFA/A 5.11, Classification ENiCrFe-2 or -3 or ENiCrMo-3 (see Note 4).

C ASME/AWS SFA/A 5.4, Classification E410-XX (0.05 % C max.) (heat treatment at 1400 °F required).

D ASME/AWS SFA/A 5.4, Classification E308-XX.

E ASME/AWS SFA/A 5.4, Classification E347-XX.

F ASME/AWS SFA/A 5.4, Classification E316-XX.

G ASME/AWS SFA/A 5.4, Classification E316L-XX.

H ASME/AWS SFA/A 5.4, Classification E308L-XX.

I ASME/AWS SFA/A 5.4, Classification E317L-XX.

J ASME/AWS SFA/A 5.4, Classification E308H-XX.

K ASME/AWS SFA/A 5.4, Classification E310-XX.

NOTE 1 This table refers to coated electrodes. For bare wire welding (SAW, GMAW, GTAW), use equivalent electrode classifications (ASME/AWS SFA/A 5.9, SFA/A5.14). Refer to the text for information on other processes. Either ER347 or ER321 may be used for GTAW or PAW of Type 321 stainless steel.

NOTE 2 The higher alloy electrode specified in the table is normally preferred.

NOTE 3 See Section 6 weld metal delta ferrite requirements.

NOTE 4 See 6.2.2 for the temperature limitation for nickel-base filler metals.

NOTE 5 E16-8-2 is often specified when the weld deposit will be exposed to high creep strains where sigma phase may affect performance.

جدول ۲-۲۹:انتخاب الکترود جوشکاری برای فولاد های ضد زنگ دوفازی

Table A.3—Duplex Stainless Steels

Base Metals ↓ →		Duplex Alloys						Undermatched Alloys			Overmatched Alloys		
		2304	2205	F255	Zeron 100	2507	DP3W	P1-P5	P8 (Type 304)	P8 (Type 316)	P8 (Type 254 SMO)	P43 (Type IN625)	P45 (Type IN825)
TN	UNS												
2304	S32304	A-DF	A-DF	A-DF	A-DF	A-DF	A-DF	AEF	AEF	AF	GH	GH	GH
2205	S31803		A-D	A-D	A-D	A-D	A-D	AEF	AEF	AF	GH	GH	GH
	S32205												
F255	S32550			B-D	B-D	B-D	B-D	ABEF	ABEF	ABF	GH	GH	GH
zeron 100	S32760				CDGH	CDGH	CDGH	A-DEF	A-DEF	A-DF	GH	GH	GH
2507	S32750					CDGH	CDGH	A-DEF	A-DEF	A-DF	GH	GH	GH
DP3W	S39274						CDGH	A-DEF	A-DEF	A-DF	GH	GH	GH

Key

A ASME SFA 5.4, Classification E(R) 2209—duplex filler material.

B ASME SFA 5.4, Classification E (R)2553—duplex filler material.

C ASME SFA 5.4, Classification E(R) 2594—duplex filler material.

D DP3W (unclassified)—duplex filler material.

E ASME SFA 5.4, Classification E(R) 309L—high-alloy austenitic filler material.

F ASME SFA 5.4, Classification E(R) 309LMo—high-alloy austenitic filler material.

G ASME SFA 5.11, Classification ENiCrMo-10—nickel-base filler material.

H ASME SFA 5.11, Classification ENiCrMo-14—nickel-base filler material.

NOTE This table refers to coated electrodes. For bare wire welding (SAW, GMAW, GTAW), use equivalent electrode classification (ASME/AWS SFA/A5.9 and SFA/A5.14). Refer to the text for information on other processes.

جدول ۲-۳۱:انتخاب الکترود جوشکاری برای نیکل و آلیاژهای آن

Table A.4—Copper-nickel and Nickel-base Alloys

Base Material (See Note 1)	70-30 and 90-10 Cu-Ni	Alloy 400 (N04400)	Nickel 200 (N02200)	Alloy 800 (N08800), 800H (N08810), 800HT (N08811)	Alloy 600 (N06600)	Alloy 625 (N06625)	Alloy 825 (N08825)	Alloy C-22 (N06022)	Alloy C-276 (N10276)	Alloy B-2 (N10665)	Alloy G-3 (N06985)	Alloy G-30 (N06030)
carbon and low-alloy steel	BC	BC	C	A	A	A	A	D	E	F	G	H
300 series stainless steel	BC	AC	AC	A	A	A	A	D	E	F	G	H
400 series stainless steel	B	B	AC	A	A	A	A	D	E	F	G	H
70-30 and 90-10 Cu-Ni	B	B	C	C	C	C	C	*	*	*	*	*
Alloy 400 (N04400)		B	BC	A	A	A	A	A	A	F	A	A
Nickel 200 (N02200)			C	AC	AC	AC	AC	CD	CE	CF	CG	CH
Alloy 800 (N08800), 800H (N08810), 800HT (N08811) (see Note 2)				K	A	A	A	DJ	EJ	FJ	GJ	HJ
Alloy 600 (N06600)					A	AJ	A	DJ	EJ	FJ	GJ	HJ
Alloy 625 (N06625)						J	J	DJ	EJ	FJ	GJ	HJ
Alloy 825 (N08825)							J	DJ	EJ	FJ	GJ	HJ
Alloy C-22 (N06022)								D	EJ	FJ	GJ	HJ
Alloy C-276 (N10276)									E	FJ	GJ	HJ
Alloy B-2 (N10665)										F	GJ	HJ
Alloy G-3 (N06985)											G	HJ
Alloy G-30 (N06030)												H

Key

A ASME/AWS SFA/A 5.11, Classification ENiCrFe-2 or -3.

B ASME/AWS SFA/A 5.11, Classification ENiCu-7.

C ASME/AWS SFA/A 5.11, Classification ENi-1.

D ASME/AWS SFA/A 5.11, Classification ENiCrMo-10.

E ASME/AWS SFA/A 5.11, Classification ENiCrMo-4.

F ASME/AWS SFA/A 5.11, Classification ENiMo-7.

G ASME/AWS SFA/A 5.11, Classification ENiCrMo-9.

H ASME/AWS SFA/A 5.11, Classification ENiCrMo-11.

J ASME/AWS SFA/A 5.11, Classification ENiCrMo-3.

K ASME/AWS SFA/A 5.11, Classification ENiCrCoMo-1 or matching filler.

* An unlikely or unsuitable combination. Consult the purchaser's engineer if this combination is needed.

NOTE 1 Table A.4 refers to coated electrodes. For bare wire welding (SAW, GMAW, GTAW), use equivalent electrode classification (ASME/AWS SFA/A 5.14). Refer to the text for information on other processes.

NOTE 2 For Alloys 800, 800H, and 800HT, if sulfidation or stress relaxation cracking is a concern, use matching filler metals.

بعد از اتمام جوشکاری می بایست سطح جوش پردازش و سنگ زنی شود. در زمانیکه پردازش سطح جوش انجام می شود میزان مجاز سطحی که احیانا از فلز پایه برداشته می شود نباید از کمینه ۰/۸ میلیمتر و ده درصد ضخامت بیشتر شود.

فاصله سرجوش ها تا جوش ورق جایگزین می بایست رعایت شود. برای ضخامت های کمتر از ۱۳ میلیمتر حداقل فاصله سرجوش ها ۱۳ میلیمتر و برای ورق هایی با ضخامت بزرگتر از ۱۳ میلیمتر این فاصله می بایست ۲۵۰ میلیمتر باشد. البته با انجام آزمون های غیر مخرب مناسب مانند MT و PT برای هر پاس جوشکاری و انجام RT می توان فاصله سرجوش ها را تا ۲۰۰ میلیمتر برای ضخامت های کوچکتر از ۴۰ میلیمتر کاهش داد. انجام صد در صدر MT و PT در هر پاس و لایه جوش می تواند منجر به حذف RT نیز شود. البته حذف یا کاهش درصد آزمون های غیر مخرب از جمله RT نباید با NDT-Plane زمان ساخت و نصب متناقض باشد.

در زمانیکه تنش زدایی بعد از انجام جوشکاری انجام می شود. فاصله سرجوش ها می تواند تا دو برابر ضخامت نیز کاهش یابد.

در صورت نیاز به انجام تنش زدایی بعد از جوشکاری می بایست دستورالعمل مربوطه تهیه گردد. این موضوع را می توان با مراجعه به استاندارد های طراحی و ساخت مشخص نمود همچنین امکان مشخص شدن این وضعیت در دستورالعمل های حین ساخت و بهره برداری نیز وجود دارد.

۲-۱-۵ آزمون ها (Examination)

مهمترین آزمون هایی که برای ارزیابی جوش استفاده می شوند شامل UT و RT می باشد. آزمون های MT و PT نیز برای ارزیابی سطح نهایی جوش و همچنین بین پاس ها مد نظر می باشد. برای سرجوش هایی که به صورت صد در صد انجام می شود می توان از انجام آزمون های MTو PT صرف نظر نمود.

۲-۱-۶: تست فشار

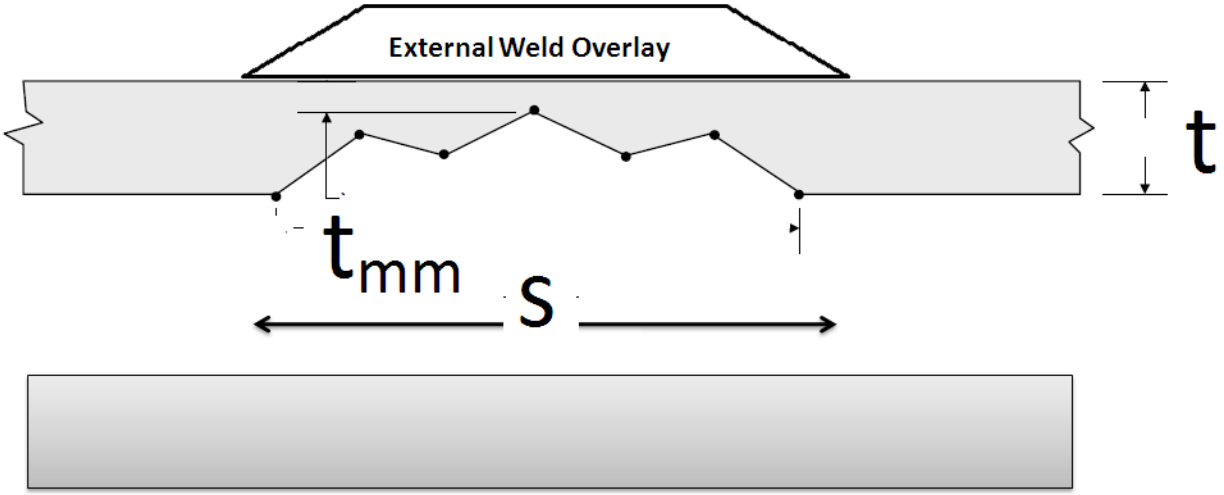
آزمون هیدروتست مطابق با استاندارد طراحی و ساخت که برای لوله های فرایندی ASME B31.3، می باشد انجام شود.

۲- ۲ :انجام جوشکاری سطحی خارجی به منظور جبران استحکام از دست رفته داخلی

External Weld Build to Repair Internal Thinning

۲-۲-۱: توضیحات:

در زمانیکه یک لوله ، ظرف تحت فشار و مخزن دارای کاهش ضخامت داخلی ناشی خوردگی و سایش می باشد بخشی از استحکام خود جهت تحمل فشار داخلی را از دست داده است. می توان مانند آنچه در شکل ۲-۵ نشان داده شده است با اعمال جوشکاری خارجی استحکام از دست رفته را جبران کرد.



شکل ۲-۶: حالت کلی جوشکاری سطحی خارجی جهت جبران استحکام از دست رفته ناشی از خوردگی داخلی

در شکل ۲-۵ لوله ای با ضخامت t را نشان می دهدکه بعد از خوردگی ضخامت t_{mm} در عمیق ترین ناحیه خورده شده باقیمانده است. در واقع جوش سطحی خارجی مانند یک تقویت کننده یا Reinforce عمل می کند. این روش تعمیراتی ممکن است برای فولاد های کربنی ، آلیاژی و فولاد های ضدزنگ آستنیتی استفاده شود. برای جوشکاری الکترودی با استحکام برابر یا بزرگتر از فلز پایه استفاده می شود. در صورتیکه فیلر مورد استفاده دارای استحکام برابر با فلز پایه باشد. حداقل ضخامت لایه جوش می بایست برابر با $t-t_{mm}$ باشد. اگر این روش تعمیراتی به عنوان یک روش دایم مد نظر است لازم است سرعت خوردگی و مکانیزم آن مشخص گردد.

۲-۲-۲:محدودیت ها:

در جدول ۱ از ASME PCC2 وضعیت تناسب تعمیر هر عیب با این رو ش نیز مشخص شده است.

جدول ۲-۳۲: وضعیت تناسب روش جوشکاری سطحی خارجی برای عیوب مختلف

General wall Thinning	Local wall Thinning	Pitting	Gouges	Blisters	Laminations	Circumferential Crack	Longitudinal
N	Y	Y	Y	N	N	N	N

همانطور که در جدول ۲-۲ مشخص است این روش تعمیراتی برای کاهش ضخامت های عمومی ، تاول های هیدروژنی، تورق ، ترک های طولی و محیطی مناسب نمی باشد. و لیکن عبارت N که به عنوان وضعیت تراسب عیب و روش تعمیراتی می باشد موضوع را به صورت کامل منتفی نمی داند و عنوان می کند عموما این روش تعمیراتی برای این عیب مناسب نمی باشد.دلایل محدودیت این روش برای کاهش ضخامت های داخلی وسیع می تواند به این دلیل باشد سطح این نوع خوردگی ها عموما زیاد است. و عملا می بایست حجم جوش زیادی را روی سطح اعمال کرد. و این موضوع مشکلات زیادی مانند تنش های پس ماند خیلی زیاد، اعوجاج و تغییر شکل در قطعه ایجاد می کند و حتی ممکن است وزن ناشی از آن نیز وضعیت ساپورت ها را نیز تحت تاثیر قرار دهد.

برای تاول های هیدروژنی نیز به دلیل وسعت آنها ، قابل کنترل نبودن و تشدید تخریب به دلیل حرارت ناشی از جوشکاری این روش مناسب تشخیص داده نشده است. همچنین در قطعه ای که تاول هیدروژنی مشاهده شده است امکان وجود هیدروژن های محبوس شده در فلز وجود دارد و اعمال حرارت در اثر جوشکاری ممکن است باعث ایجاد تشدید تخریب های هیدروژنی گردد.

برای تورق یا Lamination این روش تعمیراتی نمی تواند مثمر به ثمر باشد. زیرا در مرحله اول پایش آنها را بسیار سخت می کند.و حرارت ناشی از جوشکاری و عملیات حرارتی احتمالی نیز ممکن است باعث رشد آنها شود.

ماهیت ترک نیز به گونه ای است که جوشکاری سطحی خارجی کمکی به پیشگیری از رشد آن نخواهد کرد. و پایش آن را نیز سخت می کند.

می توان از این روش برای زمانیکه لوله یا تجهیز در سرویس بهره برداری قرار دارد استفاده کرد ولیکن می بایست الزامات مربوط جوشکاری حین سرویس از نظر ضخامت ،آتش زا بودن سیال، سمی بودن آن، سرعت سیال ، واکنش های شیمیایی احتمالی در اثر افزایش دما، دمای بحرانی خزش... را در نظر گرفت.

جدول ۲-۳۳: دمای بحرانی خزش برای فلزات مختلف

Material	Temperature Limit
Carbon Steel $\left(UTS \leq 414MPa\ (60\ ksi)\right)$	343°C (650°F)
Carbon Steel $\left(UTS > 414MPa\ (60\ ksi)\right)$	371°C (700°F)
Carbon Steel – Graphitized	371°C (700°F)
C-1/2Mo	399°C (750°F)
1-1/4Cr-1/2Mo – Normalized & Tempered	427°C (800°F)
1-1/4Cr-1/2Mo – Annealed	427°C (800°F)
2-1/4Cr-1Mo – Normalized & Tempered	427°C (800°F)
2-1/4Cr-1Mo – Annealed	427°C (800°F)
2-1/4Cr-1Mo – Quenched & Tempered	427°C (800°F)
2-1/4Cr-1Mo – V	441°C (825°F)
3Cr-1Mo-V	441°C (825°F)
5Cr-1/2Mo	427°C (800°F)
7Cr-1/2Mo	427°C (800°F)
9Cr-1Mo	427°C (800°F)
9Cr-1Mo – V	454°C (850°F)
12 Cr	482°C (900°F)
AISI Type 304 & 304H	510°C (950°F)
AISI Type 316 & 316H	538°C (1000°F)
AISI Type 321	538°C (1000°F)
AISI Type 321H	538°C (1000°F)
AISI Type 347	538°C (1000°F)
AISI Type 347H	538°C (1000°F)
Alloy 800	565°C (1050°F)
Alloy 800H	565°C (1050°F)
Alloy 800HT	565°C (1050°F)
HK-40	649°C (1200°F)

به عنوان مثال سرویس های حاوی هیدروژن ، سیانید هیدروزن، اکسیژن ، کاستیک ، بوتادیین، ترکیبات استلینیک، H2S ، کلراین و انواع اسید ها سیالاتی هستند که نه تنها جوشکاری حین سرویس آنها توصیه نمی شود بلکه لازم است زمانی هم که از سرویس بهره برداری خارج می شوند قبل از انجام جوشکاری تمیزکاری داخلی انجام و برای شروع این روش تعمیراتی آماده شودند. همچنین برای زمانیکه سیال ساکن است و هنوز تخلیه نشده است جوشکاری سطحی خارجی انجام نشود.

در جدول ۲-۳۳ دمای بحرانی خزش برای فلزات محتلف قید شده است. جوشکاری حین سرویس برای زمانیکه دمای بهره برداری به دمای بحرانی خزش نزدیک است توصیه نمی شود. علاوه بر محدودیت های قید شده در ASME PCC2 می توان این محدودیت را نیز اضافه کرد که جوشکاری در حین سرویس بهره برداری برای سیالاتی که دمای بهره برداری آنها از دمای بین پاسی بیشتر است نیز بدون کاهش دمای بهره برداری به زیر دمای بین پاسی انجام نشود.البته تغییر داده های فرایندی از جمله دما و فشار را می بایست با مشورت واحد فرایند انجام داد.

۲-۲-۳: طراحی

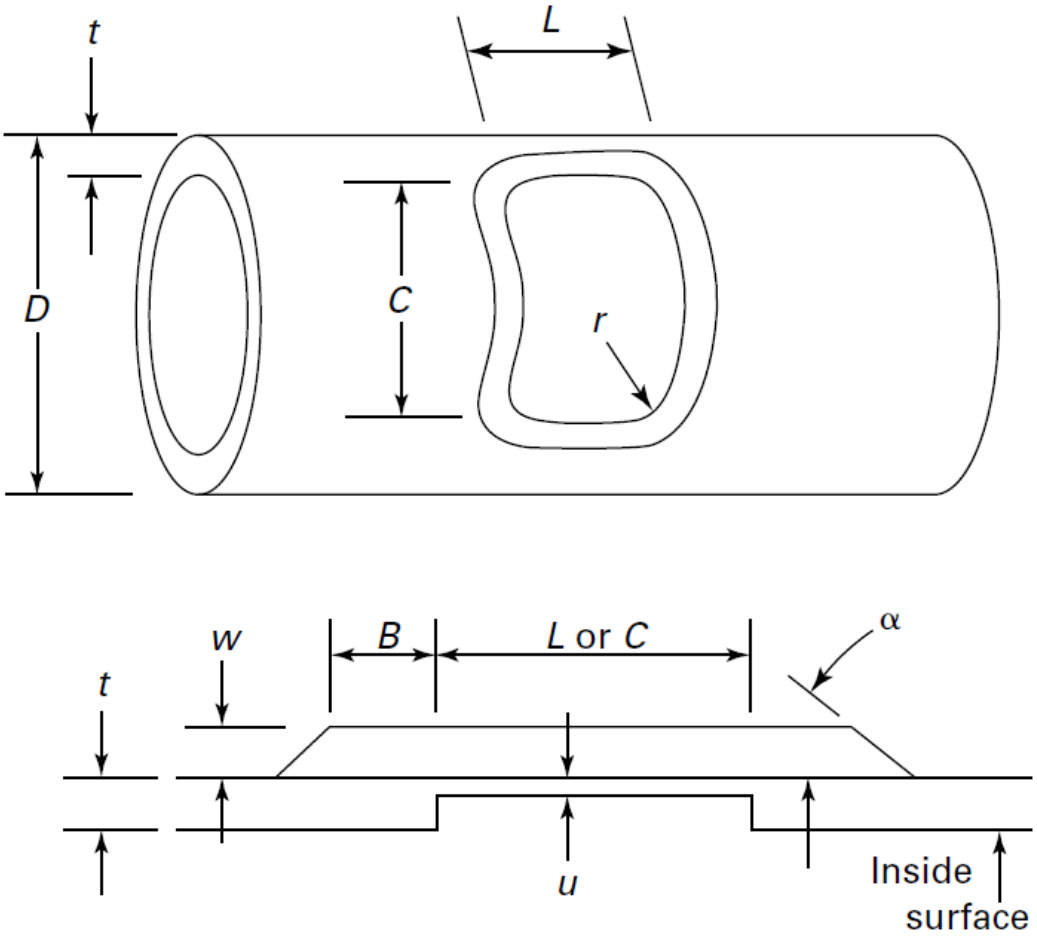
آنالیز شیمیایی فلز جوش ، خواص مکانیکی آن ، خواص فیزیکی حتی المقدور با فلز پایه هم خوانی داشته باشد.ارزیابی داده های طراحی به دقت انجام شود. استحکام فلز جوش از فلز پایه کمتر نباشد.

هندسه جوش خارجی سطحی با مشخصات ابعادی کامل در شکل ۲-۷ نشان داده شده است. جوش سطحی حداقل به اندازه B از انتهایی ترین ناحیه خورده شده فاصله داشته باشد. مقدار B از رابطه ذیل محاسبه می شود که در آن R شعاع لوله یا تجهیز و t_{nom} ضخامت اسمی آن می باشد.

$$B = 0.75(Rt_{nom})^{1/2}$$

انتهای ناحیه جوشکاری شده می بایست پردازش و Taper شود. و حداقل زاویه Taper برابر با ۴۵ درجه باشد. همچنین شعاع گوشه های Taper شده نباید از ضخامت لایه جوش کمتر شود.

فاصله سطح جوشکاری شده نیز از سایر جوش ها نباید از $B = 0.75(Rt_{nom})^{1/2}$ کمتر باشد.



شکل ۲-۷ : هندسه جوش سطحی خارجی

ضخامت لایه جوش نباید از ضخامت فلز پایه بیشتر باشد. هندسه جوشی که شرایط فوق الذکر را پوشش ندهد می بایست توسط واحد های مهندسی از جمله مهندس طراح بررسی شود. روش تعیمراتی جوش سطحی

خارجی نیز مانند سایر روش ها آرمون های کیفیت را پاس کنند یکی از روش های مربوط به آزمون کیفیت روش های تعمیراتی که در ASME PCC2 به آن اشاره شده است تست پارگی یا Burst Test می باشد.که در ادامه به آن پرداخته می شود. برخی از حالت های این روش تعمیراتی نیاز به آزمون کیفیت پارگی ندارد. به نوعی از پیش تایید شده یا Prequalified هستند. این روش تعمیزاتی با لحاظ شدن شرایط ذیل جز روش های از پیش تایید شده می باشد.

- حداکثر دمای بهره برداری از ۳۴۰ درجه بیشتر نباشد.

-مواردی که در خصوص فاصله ، هندسه جوش ، خواص مکانیکی در قسمت قبل عنوان شد رعایت گردد.

- ضخامت لوله از رده ضخامتی ۴۰ یا STD (هر کدام که کوچکتر هستند.) کمتر باشد. به عنوان مثال ضخامت یک لوله ۶ اینچ با رده ضخامتی ۴۰ یا STD برابر با ۷/۱۱ میلیمتر می باشد. جوشکاری از این نوع روی یک لوله ۶ اینچ با ضخامت ۷/۱۱ میلیمتر و کمتر نیاز به انجام تست پارگی ندارد. و از پیش تایید شده می باشد. البته در برخی از قطر های اسمی ضخامت رده های ۴۰ و STD یکسان نیستند. مقدار کمتر ملاک است.

- زاویه Taper در انتهای جوش از ۳۰ درجه بیشتر نباشد.

- سطح تمام شده جوش ، دایره ای ، بیضوی یا مستطیلی باشد.

- بیشترین ابعاد جوش از نصف قطر اسمی تجهیز یا لوله بیشتر نباشد.

- جوش های سطحی مستطیلی موازی با محور تقارن ظرف تحت فشار و یا لوله باشد. و شعاع گوشه ها از ضخامت جوش بیشتر باشد.

-جوش های سطحی که بیضیگون هستند دارای شعاع گوشه ای بیشتر از $0.75(Rt_{nom})^{1/2}$ باشد.

- حداقل استحکام جوش به اندازه ای باشد که استحکام باقیمانده را جبران کند.

۲-۲-۳-الف: آزمون پارگی (Burst Test)

وقتی تجهیز، مخزن، ظروف تحت فشار، سیستم لوله کشی، خط لوله و ... به روشهای موقت یا دائم تعمیر می شوند، انجام آزمونهای تائیدیه (Proof Test) ، لازم می باشد.

هدف از انجام Proof Test ، رسیدن به این اطمینان است ک ه آیا روش های تعمیراتی انجام شده، قابلیت پیشگیری از وقوع واماندگی (Failure) را در محل انجام تعمیر را دارد یا خیر . یکی از آزمونهای Proof Test روش Burst Test می باشد.

- این روش متداول ترین و شاید مطمئن ترین روش برای رسیدن به این نتیجه است که مناسب بودن روش تعمیراتی را برای عیب ارزیابی می کند.
- در این روش ابتدا ناحیه معیوبی که در عمل و روی تجهیز واقعی وجود دارد را در یک نمونه ایجاد می کنند. ناحیه معیوب ایجاد شده روی نمونه می بایست به گونه ای باشد که در انجام در انجام Fitness for Service (FFS) ، امکان ادامه بهره برداری در شرایط و فشار و دمای بهره برداری در آ ن وجود نداشته باشد.
- روی نمونه آماده شده، عملیات تعمیر را به روش مورد نظر مانند Composite- Repair , Overlay , انجام شود. تعمیر می بایست براساس دستورالعمل انجام شود و الزامات ASME PCC_2 را نیز پوشش دهد.
- برای لوله یا ظروف تحت فشاری که در معرض فشار داخلی وجود دارند، سه نوع تنش وجود دارد (با توجه به استوانه ای بودن سه نوع تنش به قسمت های مختلف جداره وارد می شود و تنش که باعث واماندگی می شود Hoop Stress می باشد.

$$S_{hoop} = \frac{PD}{2t}$$

در آزمون Burst Test ، فشار بایدِ به گونه ای باشد که Hoop Stress به بیشترین مقدار خود یعنی UST(Ultimate Tensile Stress) برسد.

$$\rho = \frac{2tS_{hoop}}{t} \quad \Longrightarrow \quad S_{hoop} = S_{act} = UTS$$

$$P = \frac{2tS_{act}}{D}$$

UTS را می توان از مراجع استانداردی استخراج کرد که در دسترس ترین این مراجع ASME IX-QW422 می باشد.

- در زمانی که فشار به اندازه عدد محاسبه شده در فرمول مذکور رسید، قطعه می بایست در ناحیه ای غیر از محل انجام تعمیر دچار واماندگی شود . با توجه به اینکه UTS قید شده در استاندارد اسمی بوده و از UTS واقعی کمتر است، می بایست فشار را تا وقوع واماندگی ادامه داد.

مثال: برای لوله ای خارجی با مشخصات ذیل، سطح خورده شده داخلی یا خارجی، حدود 0.2in با طول 2in می باشد. لوله مذکور را می خواهیم به روش Composite Repair تعمیر کنیم. فشار Burst Test را محاسبه کنید.

API 5LX52, THK. 0.5in, NPS14in

- تهیه نمونه آزمایش مانند آنچه در اجرا وجود دارد و اجرای روش تعمیراتی روی آن

UTS=66000 PS:

$$P = \frac{2tS_{act}}{D} = \frac{2*0.5*66000}{14} = 4714 \text{ psi}$$

با توجه به اینکه S_{act}>UTS می باشد، 4714 psi حداقل فشار است و ممکن است تا 15%-10% لازم باشد فشار را بیشتر کنیم تا Failure واماندگی در محلی غیر از انجام تعمیر رخ ده‌د.

۲-۲-۴ : ساخت

قبل از شروع جوشکاری می بایست دلیل تخریب و کاهش ضخامت در سطح داخلی مشخص شود. سرعت رشد آن بررسی گردد. آیا امکان توقف رشد تخریب وجود دارد و یا با سرعت معینی رشد می کند. مورد بعدی اینکه آیا جوشکاری سطحی خارجی منجر به تسریع رشد تخریب خواهد شد و یا تاثیری روی روند رشد ندارد. اگر موارد مذکور ناشناخته است قبل از شروع حتما با مهندسین طراح و مهندسین خوردگی مشورت شود. آزمون مناسب غیر مخرب از جمله UT جهت ارزیابی سطح قبل از شروع جوشکاری انجام شود و این اطمینان حاصل شود که عیوبی مانند ترک و تورق در ناحیه ای که قرار است جوشکاری سطحی انجام شود وجود ندارد. قبل از شروع جوشکاری و بعد از پردازش سطح آزمون های سطحی مناسب مانند MT و PT انجام شود. ناحیه ای که قرار است با این روش جوشکاری تعمیر مارک شود.

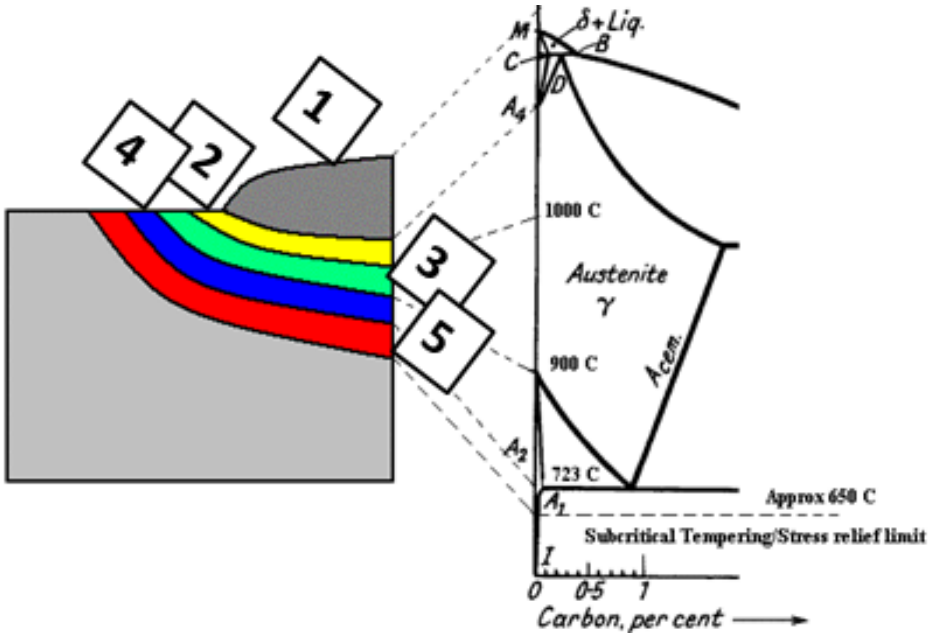
دستورالعمل ها از جمله WPS و PQR مطابق با آنچه در ASME IX عنوان شده تهیه و تدوین گردد. آزمون های کیفیت و همچنین PWHTبرای جوش و برای این روش تعمیراتی بر اساس استاندارد های طراحی ، ساخت ، این استاندارد و ASME IX انجام شود. روشی به نام جوش بستر گرمایی یا Half Temper Bead است که علاوه در این روش جوشکاری هم می تواند انجام شود. عموما از این روش به عنوان جایگزین انجام PWHT استفاده می شود. این روش برای سرویس های ترش (H2S) ، HCN و HF نباید به عنوان روش جایگزین PWHT استفاده شود. در زمانیکه از این روش استفاده می شود هم پوشانی ردیف های جوشکاری در هر لایه حداقل ۵۰ درصد باشد.

۲-۲-۴-الف: مرروی بر جوش سطحی بستر گرمایی

QW290 : جوشکاری با روش بستر گرمایی[1]

در بسیاری اوقات به ویژه برای زمانی که لوله های فرایندی ، مخازن ذخیره و ظروف تحت فشار در سرویس بهره بردای هستند حتی در رمان خارج کردن موقت آنها عملیات حرارتی بعد از جوشکاری سخت و گاها غیر ممکن می باشد. محققین همواره در تلاش برای یافتن راهی جهت جایگزینی تنش زدایی بعد از جوشکاری بوده اند.البته این روش حین ساخت و نصب توصیه نمی شود و صرفا برای رفع عیوب در حین بهره برداری کاربرد دارد. در این روش با تعریف روش جوشکاری به صورت ویژه ساختار متالوژی محدوده تحت تاثیر حرارت و ناحیه جوش را بهبود می دهنداصل انجام جوشکاری بستر گرمایی کنترل گرمایی ورودی و پیش گرم در نواحی مختلف ناحیه تحت تاثیر حرارت و جوش می باشد. گرمای ورودی در لایه اول جوشکاری تا حدامکان می بایست کم باشد به طوریکه ناحیه تحت تاثیر حرارت درشت دانه[2] نشود. با افزایش گرمای ورودی از لایه دوم جوشکاری به بعد ناحیه تحت تاثیر حرارت تا دمای زیر ۷۲۳ درجه سانتیگراد گرم و به نوعی تحت دمایی معادل دمای تنش زدایی قرار می گیرد. ادامه این فرایند لایه زیرین جوش را به ترتیب تحت یک نوع عملیات حرارتی کوتاه مدت قرار می دهد.می توان با سنگ زنی[3] و پردازش هر لایه این اثر را شدت بیشتری داد.

[1] -Temper Bead Welding
[2] -Coars Grain
[3] -Grinding



شکل۲-۸ : وضعیت نواحی جوش و فلز پایه در زمان جوشکاری

همانطور که در شکل فوق نشان داده شده است وقتی جوشکاری انجام می شود، علاوه بر حوضچه مذاب(ناحیه ۱) چهار ناحیه و لایه زیرین گرده جوش در چهار ناحیه حرارتی متفاوت قرار می گیرند. ناحیه ۲ در حین جوشکاری ترکیبی از فاز مذاب و جامد می باشد و در زمان انجام جوشکاری دمای ناحیه ۲ بین ۱۰۰۰ تا ۱۵۴۰ درجه سانتیگراد است. در ناحیه ۳ دما بین ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه و فاز آستنیت تشکیل می گردد. ناحیه ۴ ترکیبی از فاز های فریت و آستنیت و دما بالای خط انتقالی (از ۷۲۳ تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد) است و در نهایت در ناحیه ۵ که دما حدود ۶۵۰ درجه سانتیگراد و زیر دمای انتقال فاز می باشد. در این ناحیه فاز غالب فریت است. مجموع نواحی ۴ تا ۵ ناحیه تحت تاثیر حرارت (HAZ) را تشکیل می دهند.

هدف از روش جوشکاری بستر گرمایی این است که در حین جوشکاری لایه های ریزین و ناحیه تحت تاثیر حرات به صورت یکنواخت تا دمای زیر ۷۲۳ درجه سانتیگراد گرم و ساختار یکنواخت گردد.در واقع هر لایه جوشکاری یک نوع عمیات حرارتی برای لایه های زیرین ایجاد می کند و اگر کنترل گرمای ورودی به صورت حساب شده ای انجام شود می توان به ساختار همگنی در لایه های جوشکاری و ناحیه تحت تاثیر حرارت مشابه آنچه در تنش زدایی ایجاد می شود رسید.

روش جوشکاری بستر گرمایی دارای فنون و تکنیک های متنوعی می باشد.

جوشکاری و سنگ زنی نصف لایه جوش و جوشکاری مجدد[۴] : این تکنیک در روش جوشکاری SMAW انجام می شود قطر الکترود برای جوشکاری لایه اول ۲/۵ میلیمتر، برای لایه جوشکاری دوم ۳/۲ میلیمتر، و برای لایه سوم ۴ میلیمتر می باشد. افزایش قطر الکترود در هر لایه باعث می شود که گرمای ورودی افرایش یابد. قبل از شروع جوشکاری سطح می بایست به صورت کامل تمیز و پیش گرم تا دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد انجام شود. استفاده از الکترود با قطر ۲/۵ میلیمتر باعث می شود که ناحیه تحت تاثیر حرارت کم باشد. پس از انجام هر لایه جوشکاری می بایست نصف آن با سنگ زنی برداشته شود.

روش جوشکاری ایجاد لایه پایدار[۵]: در این تکنیک که در روش های جوشکاری SMAW و GTAW استفاده می شود. در این روش لایه اول تا حد امکان ضخیم اعمال می شود به طوریکه گرمای ناشی از آن ناحیه تحت تاثیر حرارت را به اندازه کافی گرم کند . البته دمای این ناحیه نباید از ۷۲۳ درجه سانتیگراد بیشتر شود.در این شرایط ناحیه تحت تاثیر حرارت دارای فاز های مارتنزیت و بنیت می باشد.

روش سوم گرمایش تناوبی لایه های جوشکاری[۶] می باشد که برای فولاد های کربنی حاوی منگنز و یا مولیبدن کاربرد دارد. در این روش سطح تمیزکاری و پیش گرم تا دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد انجام می شود. گرمای ورودی هر لایه جوشکاری نباید از ده درصد قید شده در WPS و نمونه PQR بیشتر شود.

در روش چهارم کنترل متغیر های جوشکاری[۷] از جمله متغیر های الکتریکی مبنای اعمال لایه های جوشکاری می باشد. این روش برای فولاد های مستعد به ترک های ناشی از گرمایش مجدد[۸] (مانند فولاد های حاوی کرم و مولیبدن و فولاد های ضد زنگ سری ۳۰۰) مناسب می باشد. در این حالت متغیر های جوشکاری مانند ولتاژ، آمپرو سرعت جوشکار می بایست کنترل شود به طوریکه نسبت گرمای ورودی[۹] هر لایه نسبت به لایه قبل بین ۳۰ تا ۸۰ درصد بیشتر باشد.و یک هم پوشانی ۵۰ درصدی هم بین پاس ها و لایه های مختلف جوشکاری وجود داشته باشد.

برای روش های جوشکاری بستر گرمایی می بایست WPS تهیه و PQR انجام شود. آزمون های مورد نیاز نیز برای تائید نمونه PQR و نهایی کردن WPS عبارتند از:

[4] -Half Bead Techniques
[5] -Consistent Layer Technique
[6] -Alternate Temper Bead Technique
[7] -Controlled Deposition Technique
[8] Reheat Cracking
[9] -Heat Input Ratio Layer 1 to Layer2 Or Heat Input Ration Layer 3 To Layer 2 .....

- بررسی ریزساختار جوش[10] و ناحیه تحت تاثیر حرارت: پیشنهاد می شود با نمونه برداری بررسی ریزساختار با استفاده از تصاویری که با بزرگنمایی مناسب توسط میکروسکوپ های الکترونی و نوری گرفته می شود انجام گردد. تصاویر ریزساختار توسط افراد متخصص بررسی و این اطمینان حاصل شود که ناحیه تحت تاثیر حرارت و جوش عاری از فازهای نامناسب از جمله مارتنزیت تمپر نشده می باشد. البته عملیات مایکرواچ و آنالیز شیمیایی در لایه های مختلف جوشکاری پیشنهاد می شود

- آزمون ضربه هم در ناحیه جوش و هم در ناحیه تحت تاثیر حرارت انجام شود.

- آزمون خمش نیز برای ارزیابی چقرمگی[11] مورد نیاز است

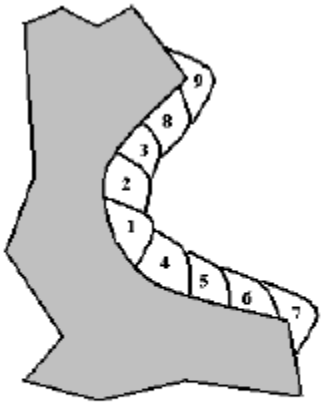
پیشنهاد می شود برای اینکه مطمئن شویم جوشکاری با روش بستر گرمایی به صورت صحیح انجام می شود دو نمونه PQR تهیه گردد. یکی به صورت معمول جوشکاری و تنش ردایی شود و دیگری با یکی از فرایند های بستر گرمایی که WPS هم برای آن تهیه شده جوشکاری شود. آزمون های مورد نیاز برای هر دو انجام و نتایج مربوط به جوش بستر گرمایی با حالت تنش زدایی مقایسه گردد.

علاوه بر تهیه دستورالعمل (WPS,PQR) جوشکارانی که می خواهند در این فرایند کار کنند مورد تست قرار بگیرند و مشخص شود که آیا جوشکار توانایی توانایی انجام جوش بستر گرمایی با رعایت متغیر های فوق الذکر

را دارد یا خیر. در واقع جوشکاری که نمونه PQR را انجام و جوش مربوطه نیز در آرمون های ریزساختاری ، خمش و ضربه الزامات استاندارد را پاس می کند مورد تائید می باشد.

مثال ذیل حالتی از جوشکاری بستر گرمایی با روش کنترل متغیر ها می باشد در این حالت که روش جوشکاری استفاده شده SMAW می باشد، پیش گرم تا دمای ۱۵۰ درجه انجام و حداقل دمای بین پاسی ۲۰۰ درجه سانتیگراد می باشد. قطر الکترود استفاده شده برای لایه اول ۲/۴ و برای سایر لایه ها ۳/۲ میلیمتر می باشد. عامل تعیین کننده و تحت کنترل در اینجا گرمای وردی است که برای پاس های مربوط به لایه اول ۰/۶۷ تا ۱/۱۴ کبلو ژول بر میلیمتر[12] و برای لایه دوم ۱/۴ کیلوژول بر میلیمتر است و لایه آخر هم با سنگ زنی برداشته می شود.(اشکال ذیل)

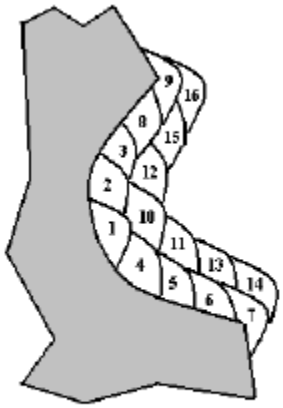
[10] -Microstructure
[11] -Ductility
[12] Kj/mm



Welding Parameters 2,5 mm electrodes

Run	Volts	Amps	Speed mm/min	Heat Input KJ/mm
1	20	100	173	0.69
2	21	95	156	0.76
3	21	95	153	0.79
4	20	95	174	0.67
5	20	95	174	0.66
6	20	95	180	0.63
7	20	95	180	0.63
8	20	95	192	0.59
9	21	95	180	0.67
				0.67

FIRST LAYER



Welding parameters 2.5 mm electrodes

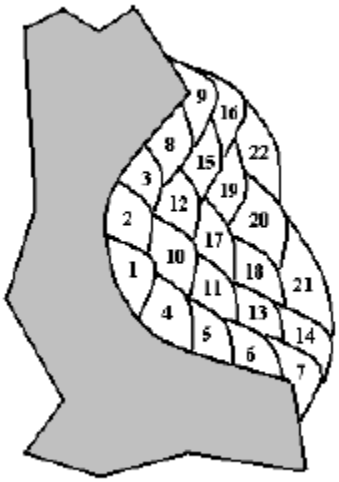
Run	Volts	Amps	Speed	Heat Input
10	21	100	132	1.19
11	21	95	132	1.19
12	21	95	140	1.13
13	21	95	146	1.10
14	21	95	146	1.09
15	21	95	138	1.14
16	21	95	140	1.13
				1.14

SECOND LAYER

Welding Parameters with 3,2 mm electrodes

Run	Volts	Amps	Speed	Heat Input
17	21	125	113	1,39
18	21	125	118	1,33
19	21	125	105	1,50
				1,40

THIRD LAYER



Welding Parameters with 3.2 mm electrodes

Run	Volts	Amps	Speed	Heat Input
20	21	125	140	1,13
21	21	125	142	1,11
22	21	125	150	1,05
				1.10

FINAL LAYER

شکل 2-9: مراحل انجام جوش سطحی بستر گرمایی

متغیر های مربوط به روش بستر گرمایی ار نظر ضروری و غیر ضروری بودن در جدول QW290.4 قید شده اند. آزمون های سختی سنجی و ضربه دو آزمون مهمی هستند که در دستورالعمل و تائیدیه کیفیت یا PQR انجام می شوند، در حین اجرا متغییر ها ممکن است با آنچه در نمونه PQR انجام شده است متفاوت باشد. موضوعی که در اینجا از اهمیت زیادی دارد این است که جدول QW290.4 این متغیر ها به چهار دسته تقسیم کرده است. دسته اول شامل متغیر هایی هستند که در صورت تغییر لازم است یک نمونه PQR تهیه و فقط آزمون سختی سنجی روی آن انجام شود به این متغیر ها ضروری برای تست سختی سنجی[۱۳] ، گروه دوم متغیر ها در صورت مشاهده تفاوت بین آنها در نمونه PQR و اجرا فقط انجام آزمون ضربه الزام می شود به این متغیر ها ضروری برای تست ضربه [۱۴] می گویند. گروه سوم متغیر ها برای این تکنیک جوشکاری به عنوان متغیر ضروری برای هر دو آزمون ضربه و سختی سنجی مطرح هستند و دسته چهارم متغیر های مذکور نیز عموما به عنوان متغیر های غیر ضروری موسوم هستند.

اگر در اجرا در زمان انجام جوش سطحی بستر گرمایی از سمت دیگر قطعه جریان سیال وجود داشته باشد ولیکن WPS و PQR برای حالت معمولی تهیه و انجام شده باشد. با توجه به ضخامت نمونه PQR و اجرا برای آزمون های سختی و ضربه به عنوان یک متغیر ضروری محسوب می شود.

مشخصه های فلز پایه از جمله شماره مواد (PNo) ، ضخامت و شماره گروه متغیر هایی هستند که در تکنیک ها و روش های مختلف جوشکاری به عنوان متغیر های ضروری قابل بحث بوده اند. در جوش بستر گرمایی شماره گروه به عنوان یک متغیر مطرح نشده است ولیکن شماره مواد (PNo) به عنوان متغیر ضروری برای آزمون ضربه و افزایش ضخامت به عنوان متغیر ضروری برای آزمون سختی مد نظر هستند. متغیر دیگری که در جوش بستر گرمایی در کد ASME IX به عنوان متغیر ضروری برای آزمون سختی سنجی مورد بحث قرار می گیرد افزایش کربن معادل در حالت عملی نسبت به نمونه آرمون PQR می باشد.

افزایش دمای بین پاسی و کاهش دمای پیش گرم به ترتیب برای آزمون های ضربه و سختی سنجی به عنوان متغیر های ضروری محسوب می شوند.

نسبت گرمای ورودی بین دو پاس نیز جز متغیر های ضروری مطرح بوده و در صورت تغییر از حد مشخص شده در ASME IX ، تغییر در WPS و تکرار PQR با انجام آزمون های سختی و ضربه ضروری می باشد.

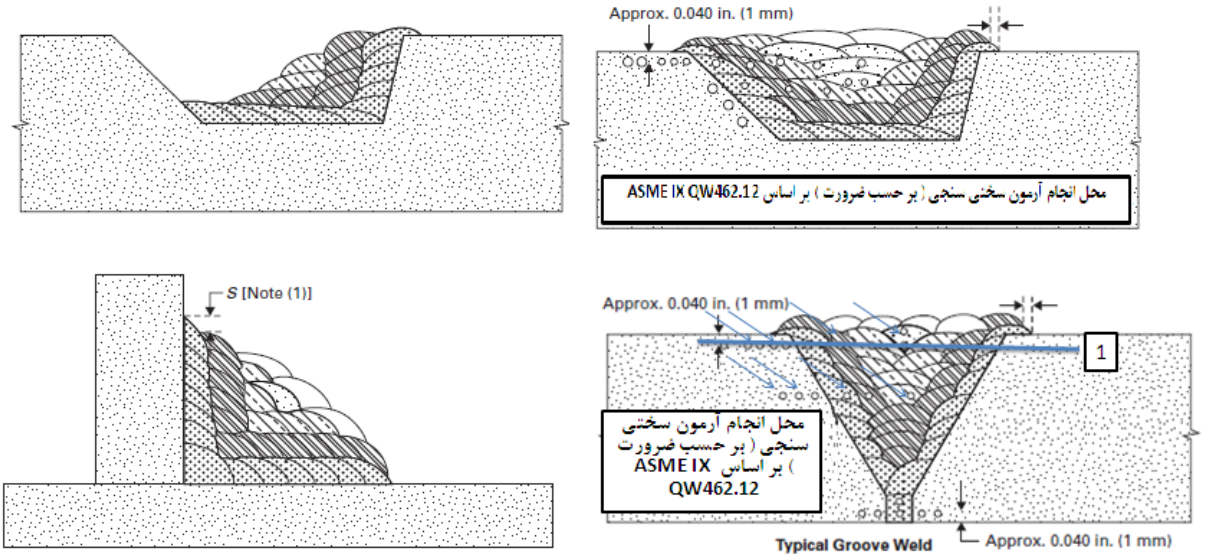
[13] -**Hardness Test Essential Variables**

[14] -**Impact Test Essential Variables**

فنون و تکنیک های جوشکاری در اکثر روش های جوشکاری به عنوان متغیر غیر ضروری هستند ولیکن در روش جوشکاری بستر گرمایی فنون جوشکاری مانند کاهش سطح در عمل نسبت به نمونه PQR ، تغییر فاصله سطح جوشکاری شده از لبه در عمل و دستورالعمل، نحوه آماده سازی سطح در عمل و تفاوت آن با دستورالعمل(آماده سازی با روش های حرارتی) و حذف و یا اضافه شدن فرایند پردازش با سنگ زنی از متغیر های ضروری هم برای آزمون ضربه و هم برای آزمون سختی سنجی محسوب می شوند.

نحوه آماده سازی نمونه برای انجام PQR در جوش بستر گرمایی

نمونه ای که برای PQR و انجام آزمون های کیفیت برای جوش بستر گرمایی تهیه می شود ممکن است دارای هندسه ای دیگر باشد. شکل ... که بر اساس ASME IX-2015-QW462.12 می باشد. طرح اتصال متنوعی را برای نمونه PQR پیشنهاد داده است.



شکل ۲-۱۰ : نمونه های مربوط به PQR در جوش بستر گرمایی

- فاصله جوش تا لبه قطعه حداقل ۳ اینچ و حداقل ۲ لایه جوشکاری مورد نیاز می باشد

- آزمون خمش بر اساس ASME IX-2015-QW451 مانند آنچه که در جوشهای شیاری[15] بحث شد انجام شود.

- نقاط پیشنهادی جهت آرمون سختی سنجی در شکل مشخص شده است. برای هر لایه جوشکاری حداقل دونقطه، ناحیه تحت تاثیر حرارت سه نقطه و برای فلز پایه حداقل دو نقطه سختی سنجی شود. علاوه بر موارد مذکور از دو سمت فلز پایه و در فاصله یک میلیمتری از سطح نیز روی فلز پایه، جوش و ناحیه تحت تاثیر حرارت سختی سنجی شود.

نمونه برداری برای آزمون ضربه نیز مطابق با ASME II-SA370 برای فلز پایه، جوش و ناحیه تحت تاثیر حرارت انجام شود.

۲-۲-۵: آزمون های مورد نیاز(Examination)

آزمون های سطحی مانند PT و MT قبل و بعد از انجام جوشکاری ضروری است . همچنین آزمون های حجمی NDT مانند RTو UT نیز برای تایید این جوش سطحی از این نوع نیاز است. لازم است اندازه گیری ضخامت لایه جوش اعمال شده نیز جهت بررسی یکنواختی آن انجام شود.

۲-۲-۶ تست ها(Testing)

آزمون هیدرتست مطابق با استاندارد های طراحی و ساخت انجام شود. در زمان انجام هیدروتست توجه به پیشگیری از شکست ترد از اهمیت زیادی بر خوردار است. برای لوله های فرایندی که استاندارد طراحی و ساخت آنها ASME B31.3 می باشد فشار هیدروتست از رابطه ذیل به دست می آید.

$$P_T = 1.25P(S_T / S)$$

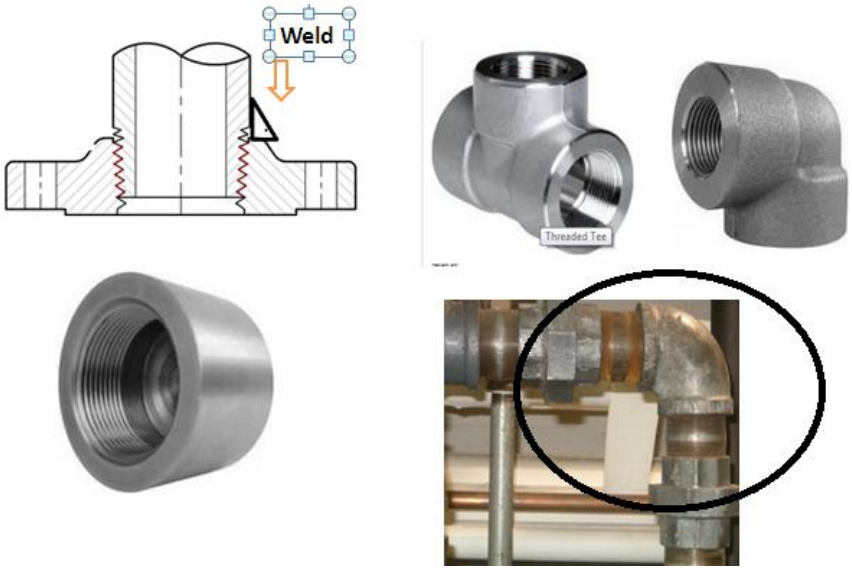
که در این رابطه P فشار طراحی ، P_T حداقل فشار تست ، S تنش مجاز در دمای محیط و S_T تنش مجاز در دمای کاری می باشد. در فصل های آینده به الزامات هیدروتست بیشتر پرداخته می شود.

[15] -Groov Weld

۲-۳ : آب بندی اتصالات رزوه ای با جوش

۲-۳-۱ : توضیحات :

در سیستم های لوله کشی ، ظروف تحت فشار و مخازن علاوه بر اتصالات جوشی و فلنجی سایر اتصالات از جمله اتصالات رزوه ای نیز وجود دارند. اتصالات رزوه ای که در سیستم لوله کشی استفاده می شوند شامل کپ، فلنج، پلاگ، سه راهی ، کوپلینگ و... می باشد. شکل ۲-۱۱ نمونه ای از این نوع اتصالات را نشان می دهد.



شکل ۲-۱۱ : نمونه ای از اتصالات رزوه ای در سیستم لوله کشی

این موضوع نه تنها به عنوان یک روش تعمیراتی مد نظر است بلکه می بایست در زمان ساخت و نصب واحد ها و تسهیلات تاسیساتی نیز لحاظ گردد. اتصالات رزوه ای که در سیالات سمی و آتش زا هستند و همچنین اتصالات رزوه ای که در سرویس های بهره برداری با دمای بالا و پایین استفاده شده اند می بایست با جوش آب بندی شوند.

در زمان ساخت و نصب و قبل از راه اندازی واحد تمام اتصالات بر اساس ایزومتریک ها، P&ID و... بررسی و بازرسی شوند.وضعیت واحد های مشابه بلاستعلام و پیگیری مشخص شود. ممکن است در یک طراحی جدید

طراح صرفا استحکام رزوه ها را در نظر گرفته باشد. جوشکاری محیطی و آب بندی رزوه ها به عنوان یک روش تعمیراتی هم استفاده شود.

۲-۳-۲: محدودیت ها

این روش صرفا جهت آب بندی اتصالات رزوه ای استفاده می شود و کاربرد دیگری ندارد به همین دلیل در جدول ۱ از ASME PCC2 استفاده از این روش را NA یعنی غیر قابل استفاده درج کرده است.

جدول ۲-۳۴: وضعیت تناسب روش تعمیراتی آب بندی اتصالات رزوه ای با جوش

General wall Thinning	Local wall Thinning	Pitting	Gouges	Blisters	Laminations	Circumferential Crack	Longitudinal
NA	**NA**	**NA**	**NA**	**NA**	**NA**	**NA**	**NA**

انجام جوشکاری حین سرویس بهره برداری روی اتصالات سرویس محدودیت های خاص خود را دارد. قبل از انجام جوش در حین بهره برداری ایزوله کردن بخشی از سیستم لوله کشی که قرار است روی اتصال رزوه ای آن جوشکاری انجام شود ضروری است.

در واقع رزوه یا اتصالات مانند کپ ، فلنج های رزوه ای و ... استحکام لازم را جهت نگهداری اتصال تامین کند و جوش صرفا جهت آب بندی استفاده می شود. در زمان جوشکاری حین بهره برداری آلودگی های اطراف رزوه ها با دقت تمیزکاری شوند.زیرا وجود آلودگی ها باعث ایجاد عیوبی مانند ترک خواهند شد.

متریال اتصالات رزوه ای قبل از جوشکاری به صورت کامل ارزیابی شود. برخی از اتصالات رزوه ای ممکن است از جنس چدن باشند که جوشکاری آنها تمهیدات خاص خود را می طلبد. همچنین به پوشش های مربوط به اتصالات رزوه ای نیز می بایست دقت کرد. برخی از این پوشش ها گالوانیزه و رنگ هستند و نیاز است برداشته شوند.

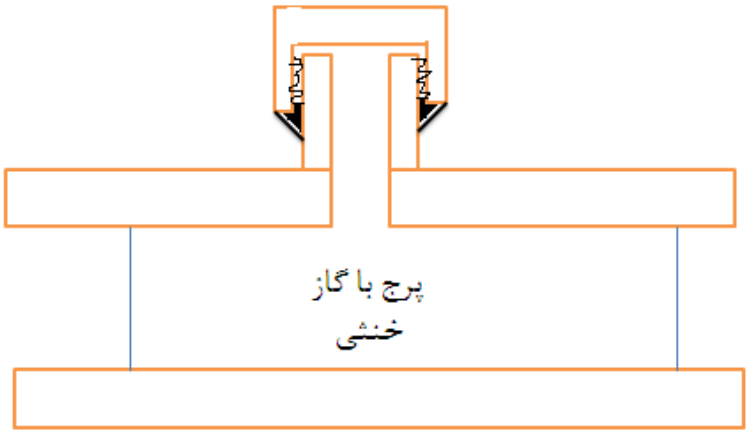
برخی از شیرآلات دارای رزوه هستند و اعمال شرایط جوشکاری برای آنها نیز ممکن است در برخی شرایط الزام باشد و یا در حین بهره برداری نیاز به تعمیر داشته باشند. در این خصوص لازم است مراقبت لازم در خصوص آثار تخریبی ناشی از حرارت جوشکاری روی اجزای داخلی شیر لحاظ شود.

۲-۳-۳: طراحی

برای جوشهایی که جهت آب بندی رزوه های انجام می شوند. در مرحله اول می بایست به الزامات استاندارد های طراحی و ساخت توجه شود. این موضوه در بند های 3.1a و 3.1b از استاندارد ASME BPV-I قید شده است. همچنین الزاماتی برای انجام آن در استاندارد هایی مانند ASME B31.3 در نظر گرفته شده است. این نوع جوش ها برای تامین استحکام کاربردی ندارند و صرفا جهت پیش گیری از نشتی استفاده می شوند. برای اتصالاتی که در سرویس بهره برداری هستند رعایت الزامات استاندارد های ساخت مشکل است بنابراین با تسهیل بیشتری و با رعایت نکات ایمنی و تمیزکاری مناسب جوشکاری جهت آب بندی انجام شود. در این روش حداقل لازم است دو پاس جوشکاری انجام شود.

۲-۳-۴ : ساخت

اگر این روش جوشکاری در حین بهره برداری انجام می شود. لازم است خط یا تجهیز به صورت کامل ایزوله شود. تمیز کاری مناسب صورت پذیرد و بعد از حصول اطمینان از شرایط ایمن نسبت به جوشکاری اقدام شود. قبل از شروع جوشکاری ممکن است مسیر های منتهی به محل جوشکاری با گاز مناسب Purg شود.



شکل ۲-۱۲ : نمونه ای از جوشکاری روی کپ رزوه ای

مراحل تهیه WPS و PQR و انجام تست جوشکار مانند آنچه برای سایر روش های جوشکاری قید شده است برای این روش نیز انجام شود.. در این نوع جوش ها پدیده خستگی از اهمیت زیادی برخوردار می باشد.
همچنین از روغن کاری اتصالاتی قرار است جوشکاری شوند خودداری گردد. در حالتی که این روش جوشکاری حین سرویس انجام می شود. پردازش و سنگ زنی با دقت زیاد انجام شود. به دلیل وجود آلودگی های ناشی از بهره برداری خطر ایجاد عیوب جوش از جمله تخلخل در پاس اول بسیار محتمل است. که در صورت مشاهده لازم است پاس اول جوشکاری سنگ زنی و جوشکاری مجددا انجام شود.

۲-۳-۵: آزمون ها(Examination)

از روش های بازرسی چشمی ، مایعات نافذ و ذرات مغناطیسی جهت ارزیابی این عیوب استفاده می شود.

۲-۳-۶: تست ها :

برای اطمینان از انجام بندی توسط جوش لازم است آزمون نشتی انجام شود. روش های انتخابی برای انجام آزمون نشتی می تواند با آب ، هوا (همراه با کف صابون) باشد. هرچند پیشنهاد می شود که هیدروتست هم انجام شود ولیکن در زمان بهره برداری این موضوع مشکل است و در زمان ساخت و نصب های جدید اینگونه اتصالات همراه با کل خط هیدروتست می شوند.

۲-۴:تعمیر با استفاده از باکس:

۲-۴-۱-توضیحات:

استفاده از باکس به عنوان یک روش تعمیراتی هم جهت جبران استحکام از دست رفته و هم جهت آب بندی و پیشگیری از نشتی مد نظر می باشد. شکل ۲-۱۳ نمونه ای از باکس را نشان می دهد.

د

شکل ۲-۱۳: نمونه Box

باکس دارای تنوع شکل است می تواند به صورت استوانه ای ، مکعبی ، سه راهی زانویی و.... باشد. بسته به محل نصب باکس که ممکن است روی لوله ، زانویی و سه راهی باشد.شکل باکس هم تغییر می کند. فضای خالی بین باکس و سطح داخلی را می توان با پر کننده های غیر فلزی مناسب پر نمود و یا به صورت خالی باقی بماند.

۲-۴-۲: محدودیت ها

این روش تعمیراتی برای سه نوع عیب کاهش ضخامت عمومی ، کاهش ضخامت های موضعی و حفره ای کاملا مناسب بوده و بدون اعمال هیچ گونه محدودیتی می تواند استفاده شود. و برای دو نوع ترک های طولی و محیطی روش مناسبی نبوده و استفاده از آن توصیه نمی شود و برای کندگی یا Gauge با در نظر گرفتن تمهیداتی می توان از آن استفاده کرد.

جدول ۲-۳۵وضعیت تناسب روش تعمیراتی باکس برای عیوب مختلف

General wall Thinning	Local wall Thinning	Pitting	Gouges	Blisters	Laminations	Circumferential Crack	Longitudinal
Y	Y	Y	R	N	N	N	N

عموما یکی از محدودیت های که باکس ایجاد می کند این است که پایش عیوب مشکل و در بسیاری حالت ها عملا غیر ممکن می شود. بنابراین وقتی از باکس استفاده می شود می بایست وضعیت کاملا ارزیابی شود. و عمر باقیمانده و سرعت رشد عیب کاملا بررسی شود.

علاوه بر عیوبی که در جدول ۲-۳۵ به آن اشاره شده باکس را می توان برای فلنج ها، اتصالات رزوه ای و شیرالاتی که دارای نشتی هستند استفاده کرد. این روش ممکن است قادر به پیشگیری از رشد ترک نباشد بنابراین باکس در ناحیه ای که ترک وجود دارد مناسب نیست. در صورتیکه چاره ای جز استفاده از باکس در محل ترک نباشد لازم است ارزیابی لازم بر اساس ***API 579*** انجام و سرعت رشد ترک و عمر باقیمانده کاملا محاسبه شود. در این وضعیت خطر و پیامد ترک های محیطی نسبت به طولی کمتر است.

برای نصب و جوشکاری باکس لازم است مجری مهارت کافی در این زمینه را داشته باشد. همچنین رعایت نکات ایمنی به ویژه برای زمانی که باکس در حین بهره برداری نصب و جوشکاری می شود ضروری می باشد.

۲-۴-۳: طراحی:

انجام طراحی برای باکس ، شامل انتخاب متریال ، تعیین مشخصات ابعادی و محاسبات فشار می باشد که لازم است مطابق با استاندارد های طراحی و ساخت انجام شود. مشخص کردن طرح اتصال ، تناسب متریال انتخابی با دما ضروری می باشد. بررسی پدیده شکست ترد در باکس از اهمیت زیادی برخوردار است. ممکن است متریالی که برای باکس استفاده می شود مشابه متریال موجود بوده و ممکن است تفاوت داشته باشد که در هردو حالت می بایست این موضوع در محاسبات ضخامت و شرایط جوشکاری لحاظ شود. عمر طراحی نیز بستگی به زمان نشتی لوله یا اتصال و استحکام باکس دارد. پدیده شکست ترد در باکس بررسی شود. آزمون های لازم کیفیت انجام شود. در طرح اتصالات جوش الزامات استاندارد های طراحی و ساخت رعایت شود. سرجوش های انتهایی باکس روی اتصالات و محل انتهای کپ جوشکاری نشود، مگر اینکه با مهندس طراح در این زمینه مشورت شود. محاسبات ضخامت بر اساس استاندارد طراحی و ساخت انجام شود. به عنوان مثال لوله های فرایندی که استاندارد طراحی و ساخت آنها بر اسا سASME B31.3 می باشد. ضخامت آنها از فرمول PD/2SE محاسبه می شود. معمولا قطر باکس یک رده از قطر لوله و اتصالات موجود بیشتر است. با فرض اینکه قطر لوله و اتصالات موجود D_1 باشد و ضخامت مورد نیاز برابر با t_1 باشد. در صورتیکه برای باکس از لوله و اتصالی با قطر D_2 استفاده شود. ضخامت مورد نیاز بدون احتساب خوردگی مجاز (***CA***) از رابطه ذیل محاسبه می شود.

$t_1 = PD_1/2SE$

$t_2 = PD_2/2SE \rightarrow t_2 / t_1 = D_2 / D_1$

به عنوان مثال در صورتیکه یک لوله با قطر اسمی ۱۰اینچ دارای نشتی باشد و جهت باکس از یک لوله با قطر اسمی ۱۲ اینچ استفاده شود. حداقل ضخامت موردنیاز جهت باکس به صورت تقریبی برابر است با 12.75/10.75 برابر $1.18t_1$ یا ۱۸ درصد از لوله موجود بیشتر است. تفاوت ضریب کیفیت جوش مربوط به باکس و لوله اصلی نیز می بایست لحاظ شود.ممکن است باتوجه به این ضریب ضخامت باکس بر ضریب های دهدهی مانند ۰/۹ ،۰/۸۵ و.. نیز تقسیم گردد.

طراحی ساپورت های سیستم لوله کشی برای حالت معمول و حالتی که باکس استفاده می شوند با هم متفاوت باشند. با توجه به وزن خود باکس و وزن سیال ناشی از نشتی تعداد و نوع ساپورت ها نیاز به بازنگری داشته باشند. همه متغیر های مربوط به طراحی از جمله انبساط ، انقباض ، مقاومت دربرابر لرزش و... برای باکس نیز می بایست لحاظ شوند. انشعاب تخلیه (Vent&Drain) نیز لازم است روی باکس تعبیه شود.

فضای زیر باکس و سرجوش های مربوطه لازم است قبل از باکس بررسی و عاری از ترک و عیوب خطی باشند.

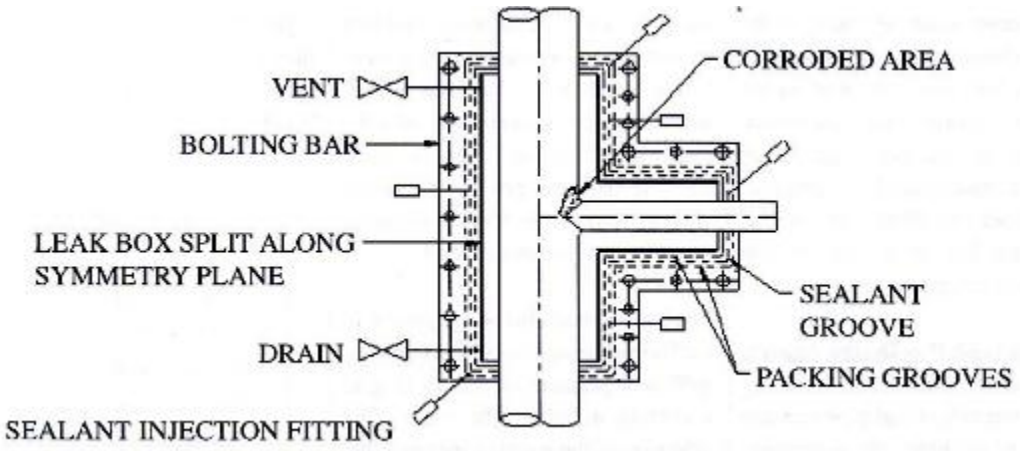
در صورت تزریق پرکننده های غیر فلزی می بایست به این نکته توجه داشته باشیم که این مواد قابلیت خشک شدن در فضای بین باکس ، لوله و اتصالات موجود را داشته باشند.

۲-۴-۴: ساخت و نصب

سطح زیر باکس باید تمیز و عاری از آلودگی هایی مانند رنگ ، رسوب های خوردگی ، اثرات باقیمانده عایق ، و.. باشد. برای نصب باکس می بایست از تجهیزات بالابر مناسب استفاده شود.

برای جوشکاری دستورالعمل های مورد نیاز از جمله WPS و PQR ، تست جوشکار و... مانند آنچه در ASME IX عنوان شده است انجام شود. اگر جوشکاری حین سرویس انجام می شود الزامات سند API 2201 مانند مکش مذاب به داخل (Burn Through) ، خطر HIC ، سرعت سرمایش ، سرعت گرمایش و... در نظر گرفته شود.

عملیات حرارتی نیز مطابق با آنچه در استاندارد های طراحی و ساخت قید شده است مد نظر قرار گیرد.



شکل۲-۱۴ : نمونه ای از باکس جهت پیشگیری از نشتی روی یک انشعاب

۲-۴-۵ : آزمون ها (Examination)

آزمون های غیر مخرب توسط افراد با صلاحیت تحت دستورالعمل های مشخص می بایست انجام شود. الزامات زمان ساخت و NDT-Plan مربوطه رعایت شود. در زمانی که خطر خوردگی شیاری کم است و نسبت هوپ استرس به تنش مجاز از ۵۰ درصد کمتر است انجام آزمون های غیر مخرب از اهمیت کمتری برخوردار هستند.

$S_0/AS < 0.5 \rightarrow PD/2t < 0.5(AS)$

سر جوشهای را که نمی توان آزمون های مانند UT و RT روی آنها انجام داد. را می توان با آزمون های سطحی MT وPT مورد ارزیابی قرار داد.

ارزیابی و معیار های پذیرش عیوب نیز بر اساس استاندارد های طراحی و ساخت می باشد.

۲-۴-۶: تست ها (Testing)

طراح باید شرایط تست بعد از اجرا را مد نظر قرار دهد . احتمال و پیامد های مربوط به انجام و یا عدم انجام هیدروتست حتما لحاظ شود.

اگر پیامد های نشتی کم است می توان حین فرایند آزمون نشتی را انجام داد. تست هوا را نیز می توان جایگزین هیدورتست کرد. انجام تست هوا و به دنبال آن استفاده از کف صابون جهت ارزیابی اتصالات و سرجوش ها می تواند جایگرینی برای هیدورتست باشد. یکی از مواردی که در هیدروتست برای باکس می بایست در نظر گرفتن امکان تغییر شکل و اعوجاج لوله داخلی می باشد.

در ضمیمه ۲-۴- الف نمونه ای از دستورالعمل اعمال باکس وجود دارد.

۲-۴-الف : نمونه دستورالعمل تعمیراتی برای اجرای Box

۱-لف توضیحات اولیه

الف- باکس به عنوان یک روش تعمیراتی برای آب بندی و تقویت اتصالات و لوله ها در سیستم های لوله کشی کاربرد دارد.

ب- باکس برای پیشگیری از نشتی جبران استحکام از دست رفته به دلیل معیوب بودن مورد استفاده قرار می گیرد.

ج- شکل و اجزای باکس متنوع است ولی متداول ترین آن که در استاندارد ***ASME PCC2*** به آن اشاره کرده مشابه شکل ۲-۱۳می باشد.

اجزای *Box* مورد استفاده عبارت از بخش استوانه ای، بخش عدسی که در شکل نشان داده شده است.

د- همه اجزاء از نظر استحکام می بایست دارای استح‌کامی معادل با بیشتر از لوله ها و اتصالات موجودباشند

ه- با توجه به این که جنس لوله های مورد استفاده ***API 5L X5L52*** می باشد. لازم است اتصالات مورد استفاده جهت Box از جنس ***A860-WPHY52*** باشد.

۲-الف :محدودیتها

الف- الزامات و محدودیتهای قید شده در فصل اول استاندارد ASME PCC2، از جمله آنچه در ماتریس انجام تعمیرات در جدول ۱ استاندارد مذکور قید شده است مد نظر قرار گیرد.بر اساس ASME PCC2 Table1 چهار Category برای روش های تعمیراتی و نوع عیب به شرح ذیل تعیرف شده که تعمیر عیب Lamination با استفاده از Box در Category4 قرار می گیرد.

جدول ۲-۳۶ : محدودیت های اعمال باکس

Category	Abbreviation	Recommendation Of ASME PCC2
1	*Y*	*generally appropriate*
2	*S*	*may be acceptable, but is not generally used for this condition*
3	*R*	*may be used, but requires special cautions*
4	***N***	***not generally appropriate***
5	*NA*	*not applicable*

ب- از عدم وقوع ترک در زمان اجرای باکس اطمینان حاصل شود. به همین منظور هیدروتست باکس و لوله موجود بعد از اجرا ضروری است.

۳-الف طراحی

FOR Fxis Pipe=MRT=$\frac{PD}{2(SE+PY)}$

$$\Rightarrow MRT = \frac{40 * 1044}{2(20000 * 1 + 1044 * 4)} + \mathrm{C.A} = 29.17mm$$

For Box=$\frac{42*1044}{2(200000*8+1044*4+417.6} + 3.2 = 37.2mm$

برای Box و اجزای آن ضخامت به شرح ذیل میباشد.

For Cylindrical

Tee: A860, WPHY52 THK=37.2mm

THK=37.2mm Elbow: A860 WPHY52

Cap: A860 WPHY52 THK=37.2mm

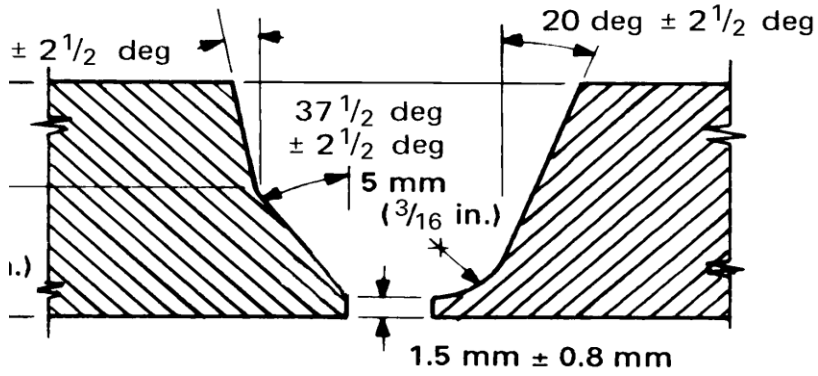
- با توجه به محدودیت انجام RT و همچنین وجود Fillet Weld ، ضریب بازدهی اتصال(Joint Efficiency) معادل 0.8 در نظر گرفته می شود(بر اساس استاندارد ASME B31.3)

- بر اساس استاندارد ASME PCC2 ، طراحی موارد فوق برای Normal-Opation می باشد.و لازم است واحد فرآورش در مورد شرایط بهره برداری در حالتهای خاص اظهار نظر نماید.

- در قسمت پایین Box ، یک Drain با قطر اسمی 1/2in نصب و با استفاده از شیر حداقل با کلاس مناسب بر اساس ASME B16.34 مسدود شود.

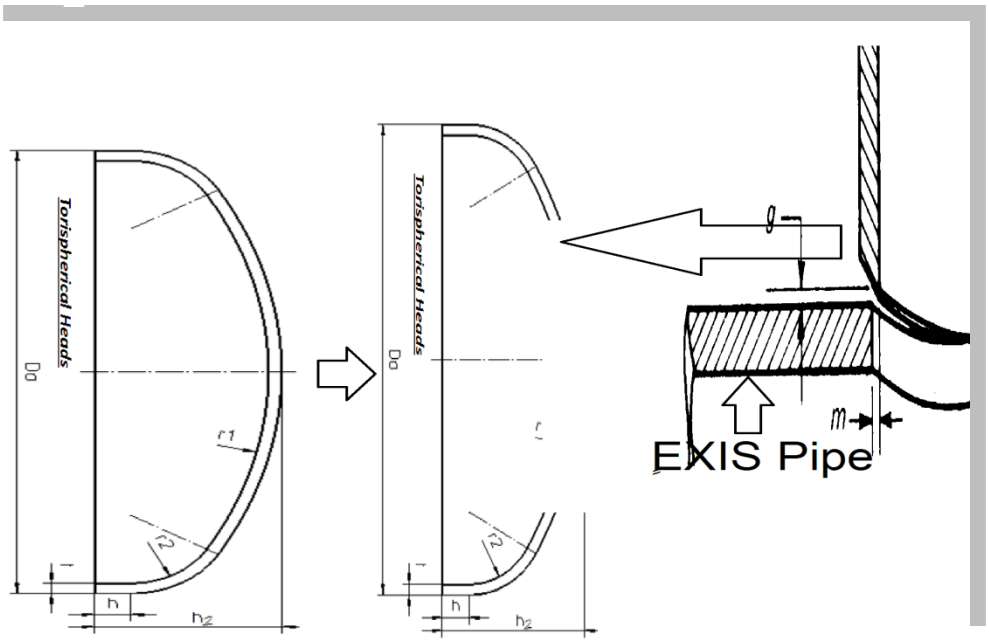
۴-الف : ساخت:

- برای هر اتصال سه راهی تهیه یک عدد ***TEE*** با حداقل ضخامت ***37mm*** و قطر اسمی ***۴۲*** اینچ و سه عدد ***Cap*** با قطر اسمی ۴۲ ضخامت حداقل **37mm** و برای هر اتصال زانویی تهیه یک ***Elbow*** با قطر اسمی ***۴۲*** اینچ و ضخامت ***37mm*** و دو عدد ***Cap*** با قطر اسمی ***۴۲*** اینچ و ضخامت ۳۷ میلیمتر مورد نیاز است.
- لبه سازی (Chipping) اتصال Tee و Cap و دونیمه TEE و Capدر محل اتصال به یکدیگر به صورت ذیل انجام شود.(ASMEB31.3)



شکل۲-۱۵ : نحوه لبه سازی اتصالات Butt Weld

- برشکاری و لبه سازی کپ در محل اتصال به ***Exist Pipe*** به صورت ذیل انجام شود.



شکل ۲-۱۶ : نحوه آماده سازی Cap

۵-۱الف: **نصب ،جوشکاری**

- جوشکاری با استفاده از فیلر ER-70S-6 و توسط جوشکار کد انجام گردد.

- استفاده از ابزار مناسب از جمله تورچ با طول مناسب ضروری می باشد.(با توجه به ضخامت محل جوش)

- درزمان جوشکاری سرجوش های Butt Weld ، سطح لوله موجود با کاور مناسب (فویل آلومینیومی) پوشانده شود و پس از انجام جوشکاری فایل برداشته شود.

- جوشکاری اتصال Fillet ، نیز با فیلر ER-70S-6 انجام و لبه سازی مطابق اشکال فوق Groove+ Fillet انجام گردد.

- انجام آزمونهای مناسب غیر مخرب از جمله PAUT ضروری است. لازم به ذکر است با توجه به نوع اتصال و محل نصب، امکان انجام RT میسر نمی باشد. زیرا در این حالت اشعه می بایست از چهار دیواره فلزی عبور کند که عملا ردیابی جوش موجود با این روش بسیار مشکل می باشد.

- روی جوش Fillet انجام آزمون ***MT,PT*** ضروری می باشد.

- با توجه به وزن قطعات Box استفاده از تجهیزات مناسب جهت حرکت در جهات افقی و عمودی و همچنین مونتاژ کار ماهر در این زمینه ضروری می باشد.

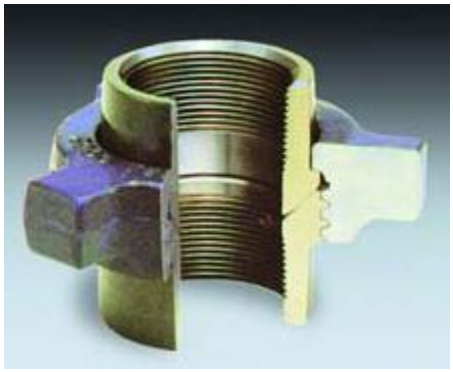
- قبل از شروع مجری دستورالعمل را مطالعه، و توانایی اجرای این دستورالعمل را کتباً اعلام نماید.

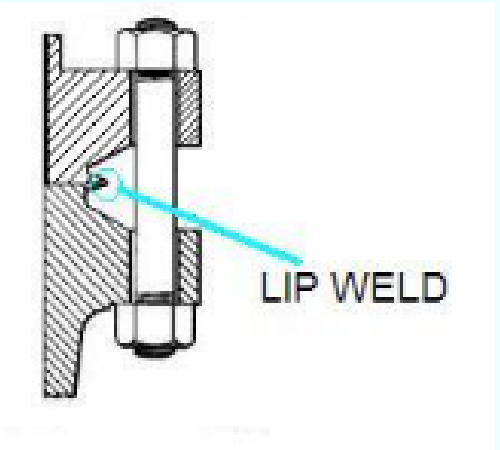
- انجام آزمونهای قید شده در استاندارد ***ASME PCC2*** روی **Box** و ***Exist Pipe And Fitting*** ضروری می باشد.

- بعد از انجام اجرای ***Box*** و انجام آزمونهای مورد نیاز فضای خالی بین باکس و اتصالات موجود با تزریق مواد غیر فلزی مناسب مانند ***Epoxy*** پر شود.

- قبل از انجام هر کاری اخذ پرمیت از واحد ایمنی و هماهنگی با واحد بهره بردار ضروری می باشد.

۲-۵ : Weld Lip Seal





شکل ۲-۱۷ : نمونه انجام روش تعمیر LIP Weld

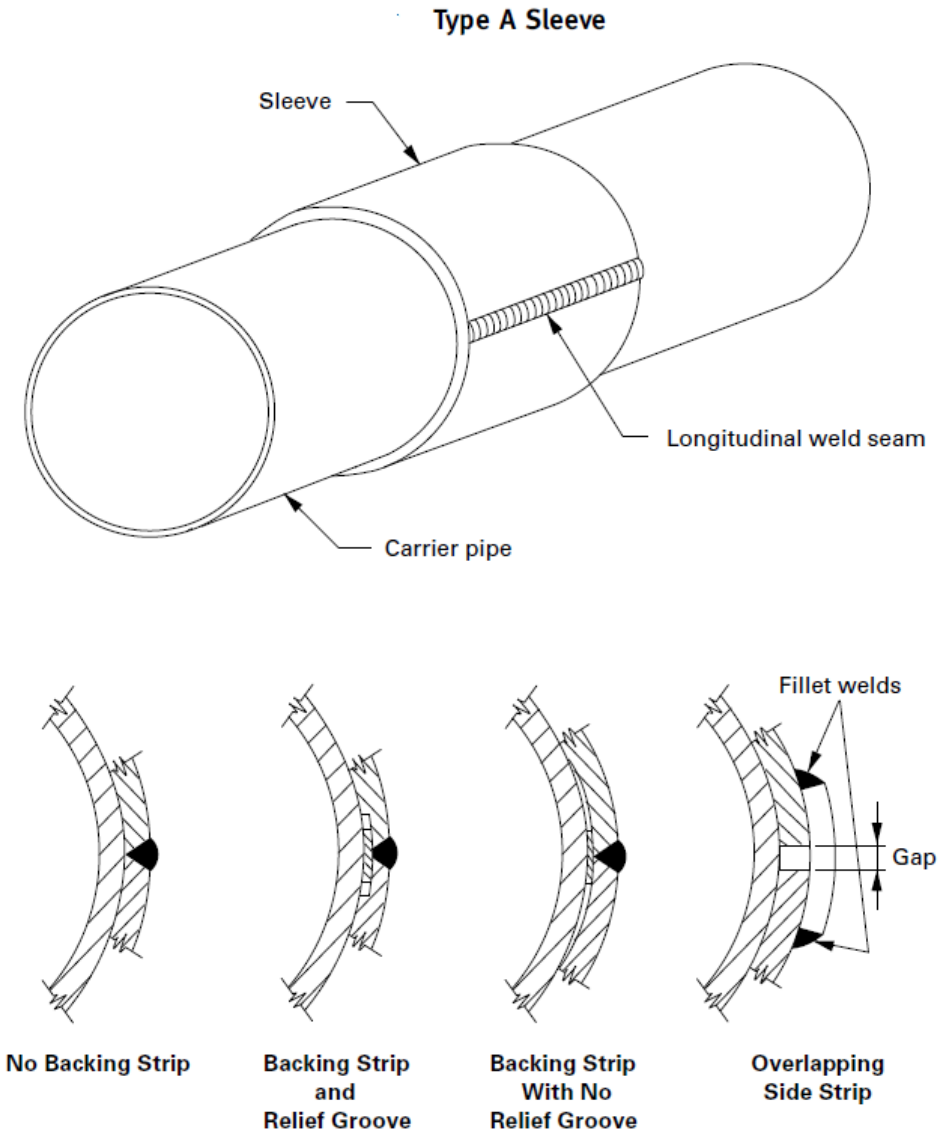
تحت تدوین : هنوز در ASME PCC2 نهایی و منتشر نشده است.

۲-۶: استفاده از غلافی (Sleeve)برای سیستم های لوله کشی

۲-۶-۱: توضیحات

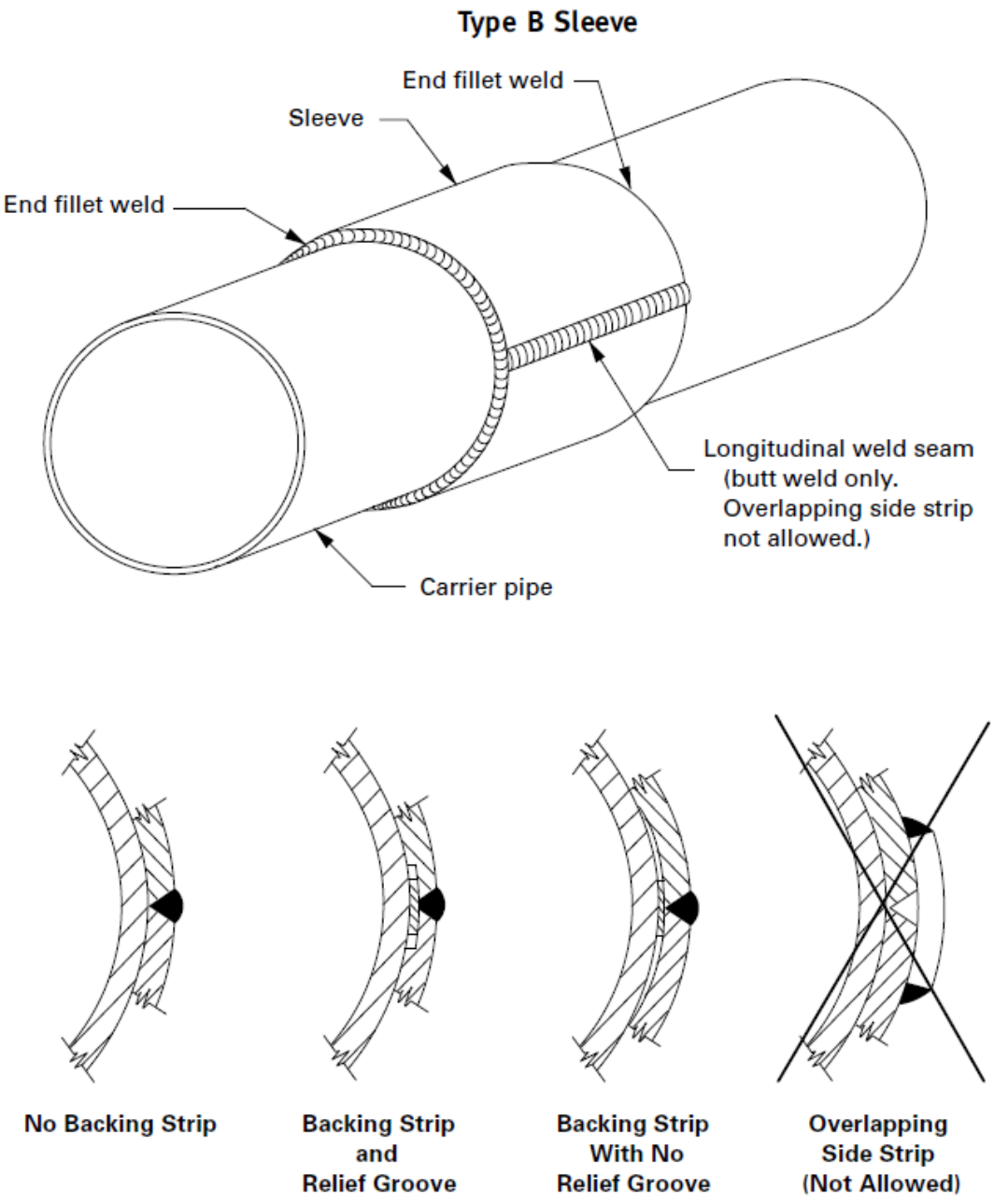
روش نصب غلافی هم برای عیوب داخلی و هم عیوب خارجی قابل استفاده می باشد. یک غلافی دارای یک یا دو سرجوش طولی و دو سرجوش محیطی گوشه ای (Fillet) می باشد. با توجه به اینکه سرجوش های محیطی جوش شوند یا خیر غلافی به نوع A یا B تقسیم بندی می شود.

در غلافی نوع A (Type A-Sleeve) سرجوش های محیطی بین لوله و غلافی جوشکاری نمی شود. غلافی نوع A صرفا به عنوان یک تقویتی جهت عیوب استفاده می شود و قابلیت استفاده برای آب بندی و پیشگیری از نشتی را ندارد. بنابراین غلافی نوع A صرفا برای عیوبی که رشد آنها متوقف شده و منجر به نشتی هم نشده اند کاربرد دارد.



شکل ۲-۱۸: غلافی نوع A

در غلافی نوع B (Type B-Sleeve) انتهای جوش محیطی غلافی نیز جوشکاری می شود. همانطور که در شکل نشان داده شده است غلافی نوع B ، هم تحمل فشار داخلی و هم قابلیت انجام نشت بندی را دارد. این روش تعمیراتی می تواند برای حالتی که نشتی رخ داده و یا خطر وقوع آن وجود دارد هم استفاده شود.



شکل ۲-۱۹: غلافی نوع B

۲-۶-۲: محدودیت ها:

غلافی نوع A برای کاهش ضخامت های عمومی ، کاهش ضخامت های موضعی و خوردگی حفره ای با شرط متوقف کردن روند رشد خوردگی مناسب می باشد.(Y) از این روش برای کندگی یا Gauge با رعایت مواردی از جمله ارزیابی استحکام در محل کندگی، اطمینان از عدم وجود عیوبی مانند ترک در اطراف کندگی و بررسی شکست ترد می توان استفاده نمود. (R) .ای ن روش برای ترک های طولی ، محیطی ، تورق و تاول مناسب نبوده ولی براساس ASME PCC2 Table 1 استفاده از آن به صورت کامل نهی نشده است.

جدول۲-۳۷: تناسب روش تعمیراتی غلافی نوع A برای عیوب مختلف

General wall Thinning	Local wall Thinning	Pitting	Gouges	Blisters	Laminations	Circumferential Crack	Longitudinal
Y	Y	Y	R	N	N	N	N

غلافی نوع B برای همه عیوب به جز ترک های طولی مناسب می باشد. برای ترک های طولی هم اگر شرایط خاصی مانند ارزیابی های کامل ، شرایط رشد ترک ، علل و پیامد ها بررسی شوند استفاده از آن منتفی نمی باشد.

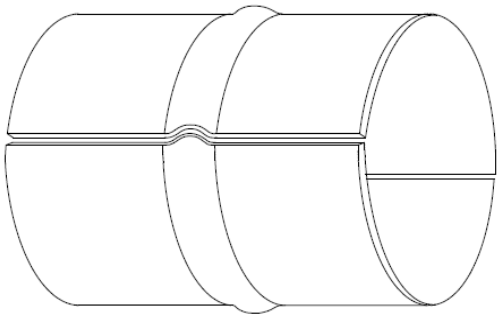
جدول۲-۳۸: تناسب روش تعمیراتی غلافی نوع B برای عیوب مختلف

General wall Thinning	Local wall Thinning	Pitting	Gouges	Blisters	Laminations	Circumferential Crack	Longitudinal
Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	R

اعمال این روش برای زمانیکه نشتی رخ داده است بسیار مشکل است و گاها لازم است بخشی از لوله که نشتی در آن رخ داده است ایزوله شود. اختلاف ضریب انبساط حرارتی بین غلافی نوع B و لوله و همچنین اختلاف دما بین آنها موجود ممکن است ایجاد مشکل کند. اگر انبساط حرارتی بین غلافی و لوله زیاد باشد امکان ایجاد ترک در جوش های محیطی وجود دارد.

برای غلافی نوع A نیز خطر نفوذ رطوبت زیر سطح و وقوع خوردگی وجود دارد.

در صورتیکه در ناحیه ای که غلافی نصب می شود سرجوش وجود داشته باشد. باید از سلامت سروجوش با انجا آزمون های UT و RT اطمینان حاصل شود. در این نقاط غلافی می بایست به صورت مناسب شکل داده شود.



شکل ۲-۳۹: شکل غلافی هایی که در محل نصب آنها سرجوش وجود دارد.

۲-۶-۳ طراحی:

غلافی نوع A می بابست مطابق استاندارد های طراحی ، ساخت و نصب شود. . این نوع غلافی در واقع به عنوان تقویتی وظیفه جبران استحکام از دست رفته ناشی از عیوب از جمله خوردگی را دارد. و می بایست قابلیت تحمل تنش های طول ناشی از فشار داخلی را داشته باشد.

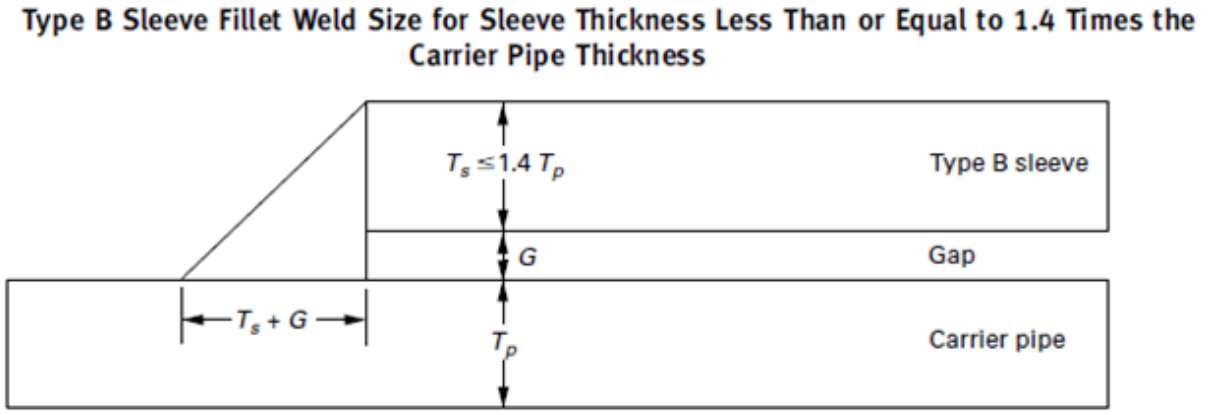
ضخامت غلافی نوع A حداقل می بایست ۲/۳ لوله موجود باشد.

ضخامت برای غلافی نوع B با توجه به تنش مجاز، قطر ، فشار داخلی و... مانند لوله حساب می شود. در صورتیکه آزمون UT روی سرجوش های غلافی نوع B انجام شود ضریب کیفیت جوش (E) برابر با یک است در غیر این صورت این ضریب برابر با ۰/۸ می باشد.

هردو غلافی نوع Aو B حداقل می بایست دارای طولی برابر با ۱۰۰ میلیمتر باشد. فاصله انتهای غلافی تا عیب حداقل می بایست ۵۰ میلیمتر باشد.

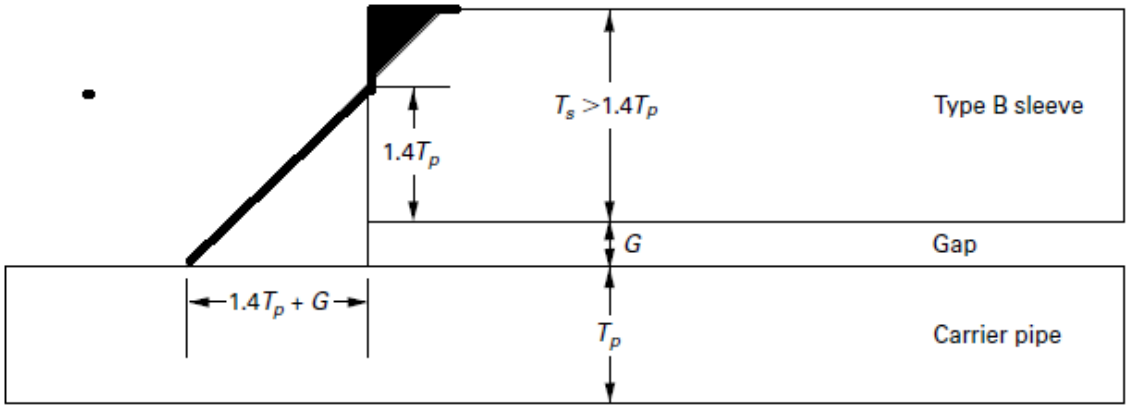
در غلافی نوع Bساق جوش گوشه ای حداکثر ۱/۴ برابر ضخامت لوله موجود باشد. اگر ضخامت غلافی از ۱/۴ برابر بیشتر باشد جوشکاری تا همان طول ۱/۴ برابری کفایت می کند. و جوش گوشه ای نباید تا کل ضخامت غلافی انجام شود.

شکل ۲-۴۰ طرح اتصال غلافی نوع B در زمانیکه ضخامت غلافی از ۱/۴ برابر ضخامت لوله موجود کمتر است را نشان می دهد.



شکل ۲-۴۰ : طرح اتصال برای ضخامت های غلافی کمتر از ۱/۴ ضخامت لوله

شکل ۲-۴۱ طرح اتصال غلافی نوع B در زمانیکه ضخامت غلافی از ۱/۴ برابر ضخامت لوله موجود بیشتر است را نشان می دهد. در این حالت لازم است در امتداد شیب جوش گوشه ای پردازش ضخامت اضافی با همان شیب جوش انجام شود.(مثلث مشکی)



شکل ۲-۴۱ : طرح اتصال برای ضخامت های غلافی بزرگتر از ۱/۴ ضخامت لوله

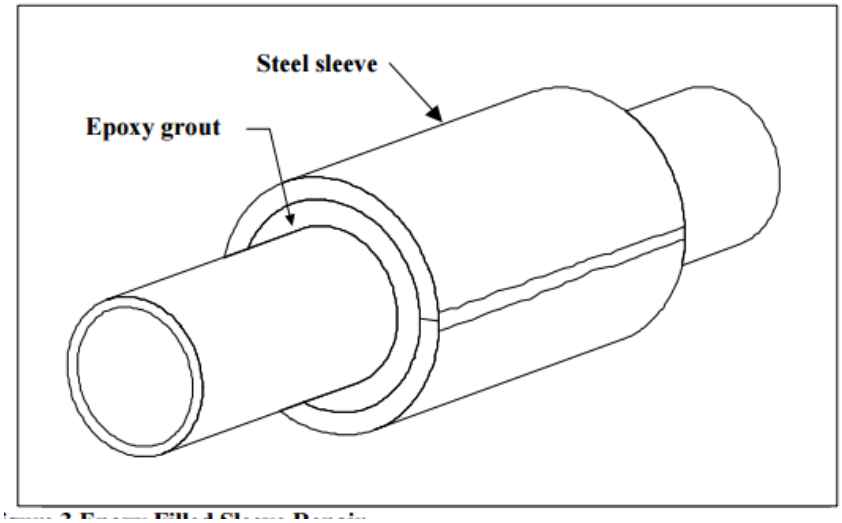
در شکل های ۲-۴۰ و ۲-۴۱ T_p ضخامت لوله موجود، T_s ضخامت غلافی و G گپ یا فاصله بین غلافی و لوله می باشد.

در صورتیکه لوله در یک دوره بهره برداری (از زمان در سرویس قرار گرفتن تا خارج از سرویس شدن) دارای تغییرات فشار داخلی بیش از ۲۰ درصد در ۴۰۰ دفعه باشد. لازم است آنالیز تنش توسط مهندس طراح انجام شود.

همچنین برای سیکل های حرارتی ناشی از تغییر دمای کمتر ۱۰۰ درجه فارانهایت به تعداد دفعات کمتر از ۲۰۰ محاسبات مربوط به خستگی نیاز نیست و لیکن تعداد دفعات تغییر دما بیش از ۲۰۰ و تغییر دمای بیشتر از ۱۰۰ درجه فارانهایت ارزیابی از نظر خستگی ناشی از تغییر حرارت ضروری می باشد.

۲-۶-۴: ساخت:

هر دو نوع غلافی می بایست به صورت کامل دور تا دور لوله را بپوشانند. سطح زیر می بایست عاری از محصولات خوردگی باشد . در محل جوشهای محیطی غلافی نوع B نباید خوردگی وجود داشته باشد. حداکثر فاصله بین غلافی و لوله (G) برابر با ۲/۵ میلیمتر است و ممکن است این فضا با پرکننده های غیر فلزی مناسب پر شوند.



شکل۲-۴۲: استفاده از پرکننده های غیر فلزی برای غلافی نوع A

جوش طولی غلافی می بایست از نوع شیاری یا لب به لب و با نفوذ کامل انجام شود. همانطور که در اشکال ۲-۱۸ و ۲-۱۹ نشان داده شده است استفاده از پشت بند برای جوش های طولی مجاز می باشد. برای انجام جوشکاری به ویژه جوش محیطی غلافی به لوله از الکترود های کم هیدروژن استفاده شود. در زمانیکه جوشکاری حین سرویس است مراقبت های لازم جهت پیشگیری از مکش مذاب به داخل انجام شود. در این خصوص لازم است الزامات استاندارد API 2201 در خصوص ضخامت رعایت شود. در صورتیکه قرار است جوشکاری حین سرویس انجام شود لازم است در حین جوشکاری فشار خط بین ۵۰ تا ۸۰ درصد فشار بهره برداری باشد.

در مجموع در جوشکاری حین سرویس خطر مکش مذاب و وقوع یا تشدید ترک های ناشی از هیدروژن وجود دارد که در این خصوص می بایست الزامات استاندارد های مربوطه رعایت شود.

این الزامات نه تنها حین عمل بلکه از زمان تهیه WPS ، جوشکاری PQR ، آزمون های مورد نیاز برای نمونه PQR و تست جوشکار می بایست در نظر گرفته شوند.

۲-۶-۵: آزمون ها(Examination)

ناحیه ای که قرار است غلافی روی آن نصب شود بازرسی چشمی شود و عاری از محصولات خوردگی ، پس ماند های رنگ و عایق باشد. آزمون UT جهت ارزیابی کامل عیب و عاری بودن لوله موجود از سایر عیوب از جمله ترک و تورق انجام شود.بعد از اتمام جوشکاری از سرجوش ها آزمون های غیر مخرب سطحی مناسب مانند PT و MT و از سرجوش های طولی آزمون غیر مخرب حجمی مانند UT و RT انجام شود. در زمانیکه خطر وقوع ترک های تاخیری وجود دارد لازم است آزمون های غیر مخرب ۲۴ تا ۴۸ ساعت بعد از جوشکاری انجام شود.

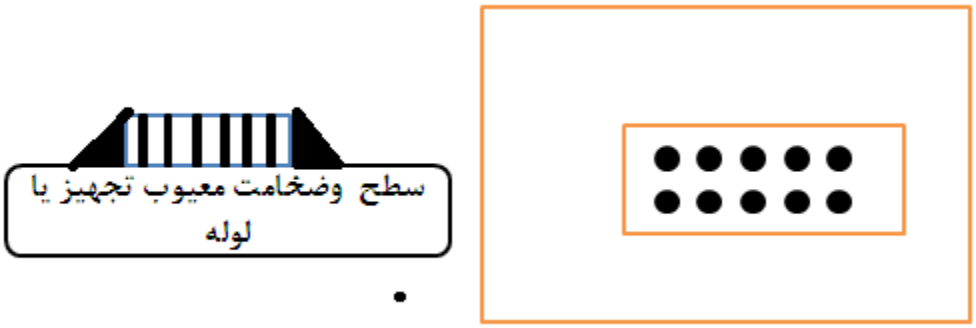
۲-۶-۶ تست ها(Testing)

تست های نشتی و هیدروتست برای غلافی نوع B انجام شود.

۲-۷: وصله های رو کار با جوش های پلاگ تقویتی

۲-۷-۱ توضیحات:

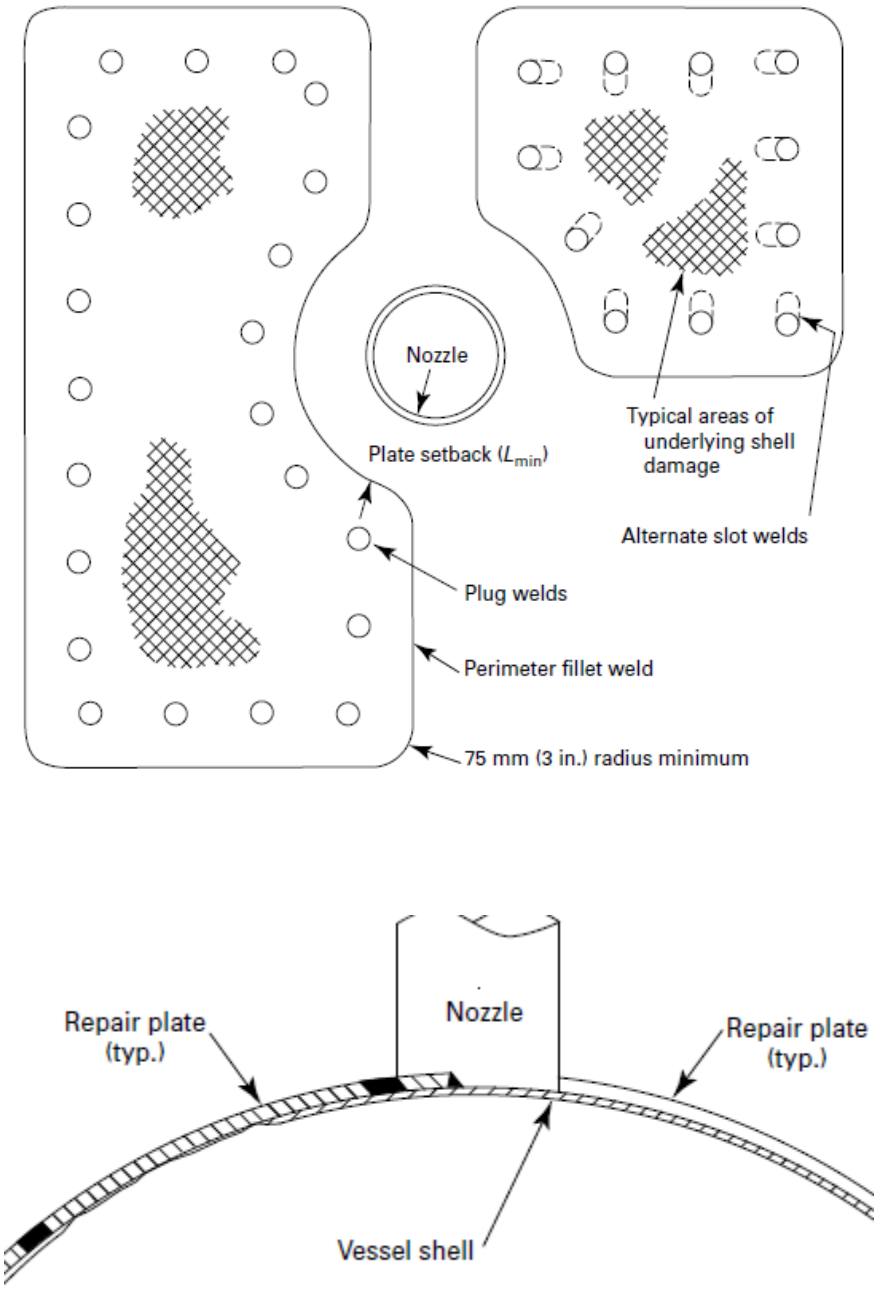
در این روش از یک وصله روکار یا (Overlay Patch) برای تقویت استحکام و یا پیشگیری از نشتی استفاده می شود. جوش ورق یا وصله به صورت گوشه ای یا Fillet روی بدنه تجهیز یا لوله بوده و درون وصله (Patch) سوراخهای دایره ای ایجاد می کنند و آن را با جوش پر می کنند. در این شرایط استحکام Patch جهت کاربرد مورد نظر خیلی بیشتر از Patch معمولی می شود.



شکل ۲-۴۳: حالت کلی وصله روکار با جوش گوشه ای و جوش پلاگ تقویتی

این روش برای کاهش های ضخامت موضعی کاربرد زیادی دارد. دمای کاری این روش از دمای تردی فلز تا دمای ۳۴۵ درجه سانتیگراد می باشد. برای استفاده از این روش در دماهای کمتر از تردی ارزیابی مهندسی خیلی دقیقی نیاز می باشد. شکل ۲-۴۴ نمونه ای از انجام این روش تعمیراتی کنار یک نازل را نشان می دهد.

گوشه ورق ها می بایست دارای شعاع معینی باشند که در شکل مشخص شده است



شکل ۲-۴۴: روش تعمیراتی وصله روکار با پلاگ جوشی کنار نازل

۲-۷-۲: محدودیت ها

در فصل یک تناسب استفاده از این روش برای عیوب مختلف مشخص شده است. این روش تعمیراتی برای سرویس های سمی قابل استفاده نیست. استفاده از این نوع تعمیرات برای زمانیکه نوع عیب و دلیل آن مشخص شده است و همچنین سرعت رشد ارزیابی شده باشد مجاز می باشد.

جدول ۲-۳۹ : تناسب تعمیر با وصله روکار همراه با پلاگ جوش تقویتی برای عیوب مختلف.

General wall Thinning	Local wall Thinning	Pitting	Gouges	Blisters	Laminations	Circumferential Crack	Longitudinal
N	Y	Y	Y	S	N	R	R

همانطور که در جدول مشخص شده این روش برای سه عیب کاهش ضخامت موضعی ، حفره ای و کندگی مناسب می باشد. برای کاهش ضخامت های یکنواخت و عمومی به دلیل حجم و سطح وسیع آنها ، برای تورق به دلیل اینکه پایش آنها را غیر ممکن می سازد مناسب نمی باشد. برای تاول های هیدرروژنی نیز روش مرسومی نیست و برای ترک های طولی و محیطی با در نظر گرفتن تمهیداتی که احتمالا توقف رشد ترک و یا تبدیل ترک با برداشتن سطح به نوع کاهش ضخامت های موضعی قابل استفاده می باشد.

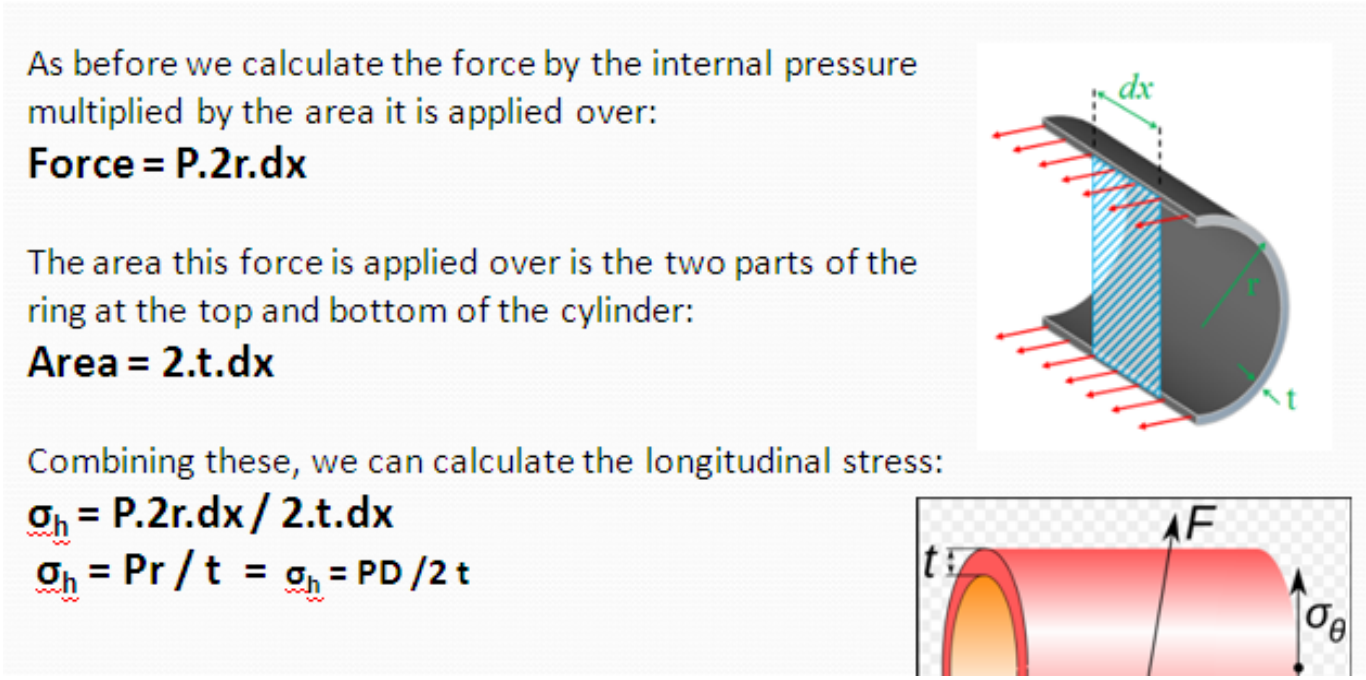
۲-۷-۳ طراحی

جوش پلاگ در ASME VIII-Div1-UW 17 بررسی شده است. محاسبه همه نیروها روی وصله می بایست توسط مهندس طراح انجام شود.

در حالت کلی متریال Patch، فیلر و الکترود مصرفی از نظر خواص مکانیکی ، آنالیز شیمیایی و خواص فیزیکی می بایست با فلز پایه (لوله و تجهیزی که تعمیر روی آن انجام می شود.) نزدیک باشد. ضخامت ورق روکار بستگی به خواص مکانیکی آن و محاسبات ضخامت دارد. ابعاد وصله نیز بستگی به محل ابعاد و قابلیت استفاد از این روش از نظر هندسی دارد. این ابعاد و اندازه می بایست به اندازه ای باشد که کل عیب را بپوشاند و لیکن ابعاد وصله نباید از ۲۵ میلیمتر کمتر باشد.

استفاده از وصله روکار به همراه پلاگ های جوش تقویتی برای اجزایی که تحت فشار خارجی هستند قابل استفاده بوده ولیکن مساله تغییر شکل و تنش های ناشی از فشار خارجی می بایست در محاسبات لحاظ شوند.

تنش های طولی و حلقوی ناشی از فشار داخلی که در دو جهت بر یک تجهیز یا لوله وارد می شود برای Patch هم می بایست لحاظ شوند. در اشکال ۲-۴۵ و ۲-۴۶ مفاهیم مذکور تشریح شده اند.



شکل ۲-۴۵: مفهوم نیرو و تنش محیطی در یک ظرف یا لوله

σ_e = Force / Area

Force = Px (Cross-sectional area of pipe)
= $P\pi r^2$

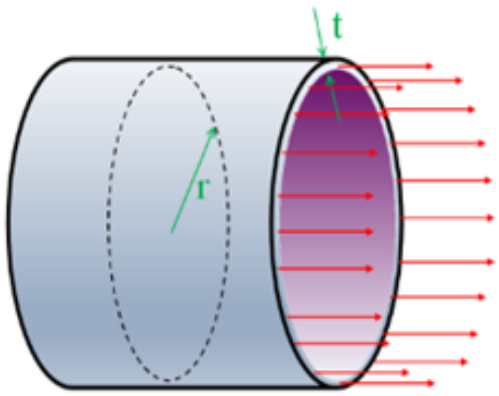
The area this force is applied over is the thin ring of wall around the edge: Area = $2\pi rt$

Combining these, we can calculate the longitudinal stress:

$\sigma_e = P\pi r^2 / 2\pi rt$ =

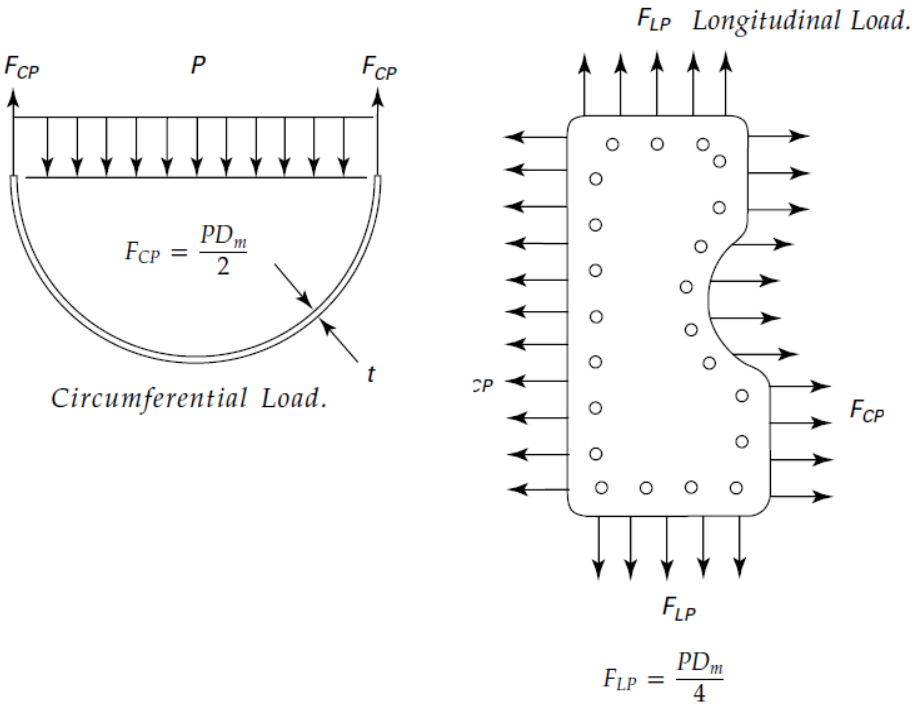
$\sigma_e = Pr / 2t$

$\sigma_e = PD / 4t$



شکل ۲-۴۶: مفهوم نیرو و تنش طولی در یک ظرف یا لوله

آنچه در ASME PCC2 ارزیابی شده است نیروی های محیطی و طولی می باشند که در اشکال ۲-۴۷ مشخص شده اند.



شکل۲-۴۷: نیروهای محیطی و طولی برای یک وصله روکار

همانطور که در شکل مشخص شده نیروی محیطی یا Hoop Force وارد بر بر وصله از رابطه ذیل به دست می آید.

$F_{CP} = PD_m /2$

و نیروهای طولی که نصف نیروی محیطی می باشد از رابطه ذیل محاسبه می شود.

$F_{LP} = PD_m /4$

در روابط فوق P فشار داخلی، D_m قطر متوسط تجهیز می باشد.

علاوه بر نیروهای ناشی از فشار داخلی نیروهای دیگری مانند نیروهای ناشی از خستگی ، نیروهای ناشی از تغییر دما و ... وجود دارند که می بایست در تحلیل های تنش می بایست لحاظ می کنند.

$F_C = F_{CP} + F_{C0}$

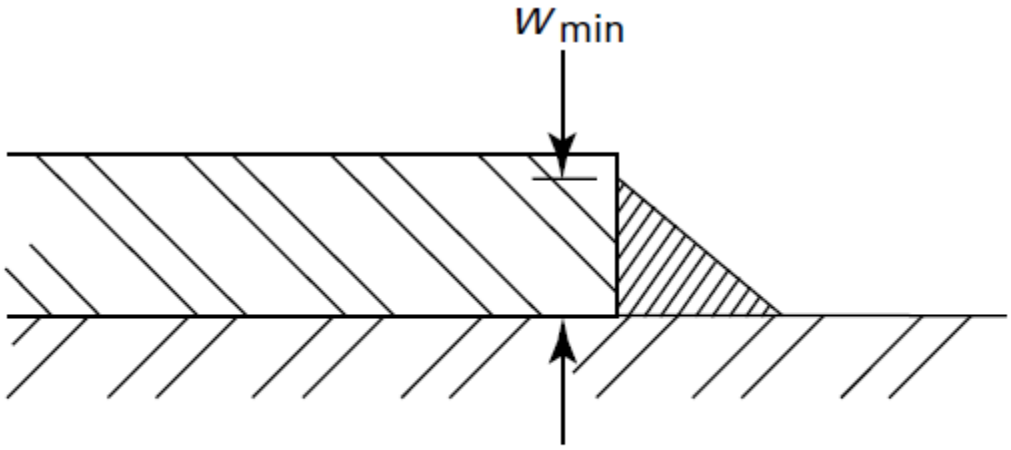
$F_L = F_{LP} + F_{L0}$

F_C کل نیرو ها در راستای محیطی و F_L کل نیرو ها در راستای طولی می باشد.

برای اینکه اثر تمرکز تنش در اطراف ناپیوستگی های اصلی مانند رانل حداقل باشد لازم است یک حداقل فاصله ای بین جوش وصله و جوش های اطراف رعایت شود این فاصله برابر است با

$L_{min} = 2(Rt_{nom})^{1/2}$

در رابطه مذکور t_{nom} ضخامت و R_m شعاع متوسط لوله و تجهیز می باشد. در صورتیکه رابطه مذکور برقرار نباشد می بایست تحلیل تنش انجام شود. یکی از روش های تحلیل تنش محاسبه نیروی مجاز برای Patch و پلاگ می باشد.



$$F_A = w_{min} E S_a$$

شکل ۲-۴۸ : نیروی مجاز برای یک وصله روکار بدون پلاگ

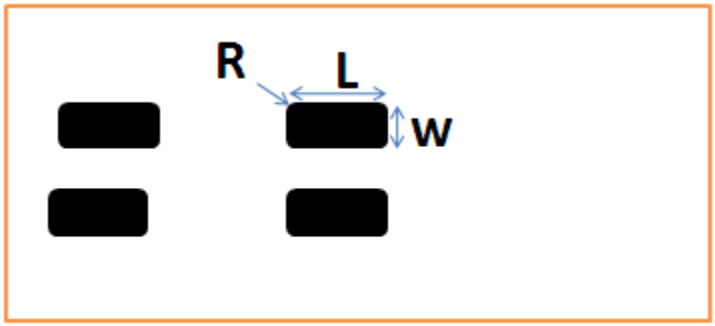
که در رابطه قید شده در شکل ، W_{min} حداقل طول ساق جوش گوشه ای ، E ضریب کیفیت جوش (Joint Efficiency) و S_a تنش مجاز که از مشخصه های ورق است و می توان آن را از ASME B31.3-Table A1 و یا ASME II Part D- Table 1A استخراج کرد. به عنوان مثال در صورتیکه برای یک وصله روکار از یک ورق A516 Grad 70 با ضخامت ۳۰ میلیمتر استفاده شود. و ساق جوش گوشه ای وصله برابر با ضخامت ورق باشد حداکثر نیروی مجار برای این وصله چند نیوتن بر میلیمتر می باشد.

$F_A = 30 \times 0.55 \times 138 = 2277$ N/mm

نیروی مجاز برای پلاگ جوش نیز از رابطه ذیل به دست می آید. در واقع نیروی مجاز برای پلاگ ها گاها تا ۳۰ درصد نیروی وصله روکار می باشد.

$$F_p(N/mm) = 0.63S_a(d - 6)^2$$

برخی اوقات به جای استفاده از پلاگ با سطح مقطع دایره ای به شکل سوراخ هایی به شکل مستطیل در وصله ایجاد می کنند که به آن Slot می گویند. نبروی قابل تحمل در واحد طول برای این نوع پلاگ در شکل ذیل قید شد ه است.

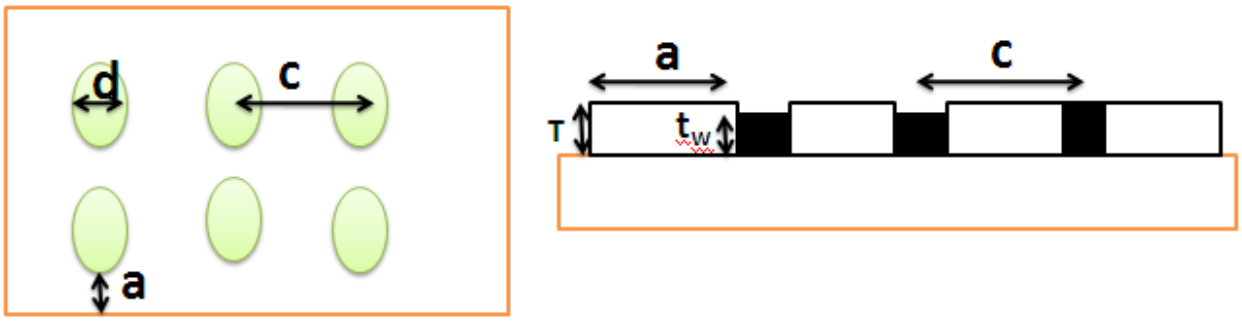


$$F_s = 0.8\ S_a\ [(W - 6)\ (L - 6) - 0.86\ R^2]$$

شکل ۲-۴۹: نیروی مجاز برای یک پلاگ هایی با سطح مقطع مستطیل

جوش پلاگ را برای تقویت وصله انجام می دهند در این شرایط و با حضور پلاگ می توان استحکام وصله را تا ۳۰ درصد هم افزایش داد.

قطر پلاگ(d) می بایست بین T+6 و 2T+6 باشد. T ضخامت وصله است.فاصله بین جوش پلاگ تا انتهای وصله(a) بین 2T و 4T مورد تایید می باشد. و فاصله بین دو پلاگ مرکز تا مرکز(c) نباید از سه برابر قطر آن کمتر باشد. ارتفاع جوش(t_w) برای ضخامت های وصله کمتر از ۸ میلیمتر می بایست از بیشینه 0.5T و 0.31d بیشتر باشد.



شکل ۲-۵۰: مشخصات ابعادی پلاگ و وصله روکار

برای زمانیکه قطر پلاگ با سطح مقطع دایره ای از ۱۹ میلیمتر کمتر باشد ایجاد جوش با کیفیت در آن تا حدودی مشکل است بنابراین از پلاگ هایی با سطح مقطع مستطیل استفاده می شود.

در این حالت پهنای مستطیل بین T+6 و2T+6 و همچنین طول آن حداکثر تا 3T+6 مورد تایید می باشد.

وصله های روکار را ممکن است با شکل دادن سرد آماده کنند در صورتیکه در این روش درصد کار سرد از ۵ درصد بیشتر باشد می بایست عملیات حرارتی روی آن انجام شود.

۲-۷-۴ ساخت

ورقهایی که جهت وصله روکار استفاده می شوند ممکن است در فرایند های مختلفی مانند برشکاری سرد، ماشین کاری، برشکاری گرم و....آماده شود . در هر حالت می بایست ابعاد حدود ۱/۵ میلیمتر بزرگتر برشکاری شود. و در زمان لبه سازی و نصب با سنگ زنی پردازش شود. و لبه ها با آزمون ذرات مغناطیسی تست شوند.ساق جوش گوشه ای که برای وصله روکار استفاده می شود نباید از ۲۵ میلیمتر بیشتر باشد.سوراخی که روی وصله روکار جهت پلاگ استفاده می شود ممکن است با روش های مختلف برشکاری سرد یا گرم ایجاد شود.در صورتیکه سطح مقطع پلاگ به صورت مستطیلی باشد لازم است شعاع گوشه حداقل به اندازه نصف عرض آن باشد. در زمانیکه برشکاری ، سوراخکاری و آماده سازی با روش های گرم انجام می شود حتما به اندازه ۱/۵ میلیمتر از سطح بسنگ زنی پردازش شود. تا فاصله حداقل ۴۰ میلیمتر از ناحیه ای که جوشکاری انجام می شود تمیزکاری شود.

۲-۷-۵ : آزمون ها(Examination)

آزمون های غیر مخرب سطحی مناسب در همه مراحل انجام کار از شروع تا پایان انجام شود.

۲-۷-۶ : تست ها(Testing)

تست نشتی از ضروریات این روش تعمیراتی می باشد. ولیکن در صورتیکه با آزمون های غیرمخرب قابلیت ارزیابی وجود دارد می توان از این تست صرف نظر کرد.

۲-۸: روش های جایگزین پیش گرم در جوشکاری

۲-۸-۱: توضیحات:

در پیش گرم دمای قطعه را قبل و در حین جوشکاری به حد معینی بالاتر از دمای محیط می رسانند. این دما نباید از حداکثر دمای بین پاسی جوشکاری بیشتر شود. انجام پیش گرم هم در استاندارد های طراحی و ساخت و هم در استاندارد های تعیمر و نگهداری مانند API510 ، AP570 ، API653 و... عنوان شده است.

از مزایای پیش گرم می توان به کاهش خطر ایجاد ترک های انقباضی و تاخیری ، کم کردن سرعت سرمایش ، پیشگیری از تشکیل فاز مارتنزیت ، کاهش عدد سختی ، خارج شدن هیدروژن از فلز و بهینه شدن وضعیت گرمای ورودی (Heat Input) می باشد.

- برای لوله های فرایندی دمای انجام پیش گرم در Table 330.1.1 از ASME B31.3 (فصل ۵ –ویرایش سال ۲۰۱۴) قید شده است.

- برای ظروف تحت فشار انجام متغیر پیش گرم در استاندارد ASME VIII-Div1-AppendixR قید شده است.

- در مخازن ذخیره استاندارد ساخت API STD 650 می باشد. دمای انجام پیش گرم برای گروه های مختلف فلزی در فصل ۷ استاندارد مذکور (ویرایش ۲۰۱۴) قید شده است.

در فصل ۴ از بخش جوشکاری کد ASME IX توضیح وضعیت تغییر ، حذف و اضافه شدن عملیات گرمایی بعد از جوشکاری و تاثیر آن بر دستورالعمل و تائیدیه های کیفیت به صورت کامل قید شده است و لی مراجعی که لروم انجام این عملیات و اندازه متغیر های مربوطه مانند سرعت سر مایش[۱۶] ، سرعت گرمایش[۱۷] ، دمای عملیات گرمایی و زمان نگهداری[۱۸] را عنوان می کند استاندارد های طراحی و ساخت می باشد.

[16] -Cooling Rate
[17] -Heating Rate
[18] -Holding Time

۲-۸-۲: محدودیت ها:

در فصل محدودیت های اعمال این روش برای تعمیر عیوب مختلف عنوان شده است.

جدول۲-۴۰: تناسب انجام روش پیش گرم برای عیوب مختلف

General wall Thinning	Local wall Thinning	Pitting	Gouges	Blisters	Laminations	Circumferential Crack	Longitudinal
Y	Y	R	Y	R	Y	R	R

همانطور که در جدول مشخص شده است تسهیل و یا حذف شرایط پیشگرم با شرایط جایگزین برای تعمیرات خوردگی های عمومی ، خوردگی موضعی ، کندگی و تورق مناسب می باشد. و برای سایر عیوب برای اجرای آن می بایست تمهیدات خاصی را در نظر گرفت.

کاهش دما وزمان پیش گرم و لحاظ کردن روش های جایگزین برای انجام پیش گرم برای درصد کربن بالا، درصد کربن معادل بالا ، فلزاتی دارای قابلیت سخت شدن و طرح اتصال هایی که باعث تمرکز تنش می شوند. پیشنهاد نمی شود. تسهیل و حذف پیش گر م نباید با استاندارد های طراحی و ساخت و تعمیر و نگهداری مغایرت داشته باشد.

انتخاب روش های خاص جوشکاری و انجام آنها نیز در تسهیل و تعدیل پیش گرم تاثیر دارند و لیکن این روش های خاص همواره در دسترس نیستند.

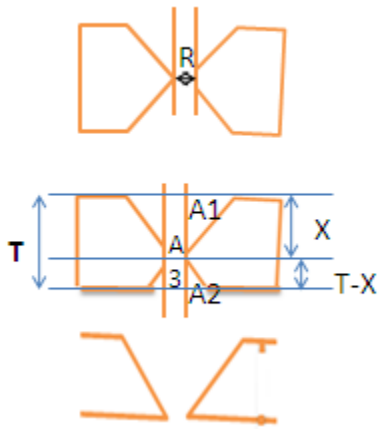
۲-۸-۳: طراحی

با انجام تغییر و انتخاب مناسب در روش ها ممکن است بتوان انجام پیش گرم را با توجه به استاندارد های طراحی ، ساخت ، تعمیر و نگهداری تسهیل و یا جایگزین کرد.

- هندسه و طرح اتصال جوش
- فرایند جوشکاری

- فیلر و الکترود های مصرفی
- ارزیابی کربن معادل
- بررسی پارامتر ترک
- استفاده از روش جوشکاری بستر گرمایی

هندسه جوش و طرح اتصال می بایست به گونه ای باشد که حجم جوش حداقل باشد. به گونه ای که تنش های پس ماند نیز به تناسب کمتر شوند. در این شرایط انتخاب نوع طرح اتصال از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در یک ضخامت مشخص در جوش شیاری طرح اتصال نوع X نسبت به به V حجم جوش کمتری را نیاز دارد. در واقع هرچه از حالت X به حالت V نزدیک تر شویم حجم جوش بیشتر خواهد شد. برای اینکه روابط ساده تر بیان شود حجم جوش در واحد طول حساب شده است.



$$A= 2A1 + 2A2 + A3$$

$$V= A*1= V= 2(X^2tg\alpha) +2(T-X)^2tg\alpha +R*T$$

$$dV/dX = 0 \rightarrow 2tg\alpha[2X+4T-4X] =0 \rightarrow -$$

$$2X+4T=0 \rightarrow X=T/2$$

$$V= 4X^2tg\alpha -4TX+2T^2 +R*T$$

شکل ۲-۵۱ : مقایسه حجم جوش در لبه سازی های متنوع در یک ضخامت ثابت

همانطور که در شکل ۲-۵۱ مشخص شده در زمانیکه X=T/2 یا نصف ضخامت است تابع حجم یا V مینیمم است. و در زمانیکه X=0 است حجم جوش بیشترین مقدار خود را دارد. در یک زاویه مشخص مثلا ۴۵ درجه و ضخامتی معلوم مثلا ۱۰۰ میلیمتر می توان این نمودار را ترسیم کرد. فاصله دو قطعه یا R برابر با ۳ میلیمتر فرض شده است.

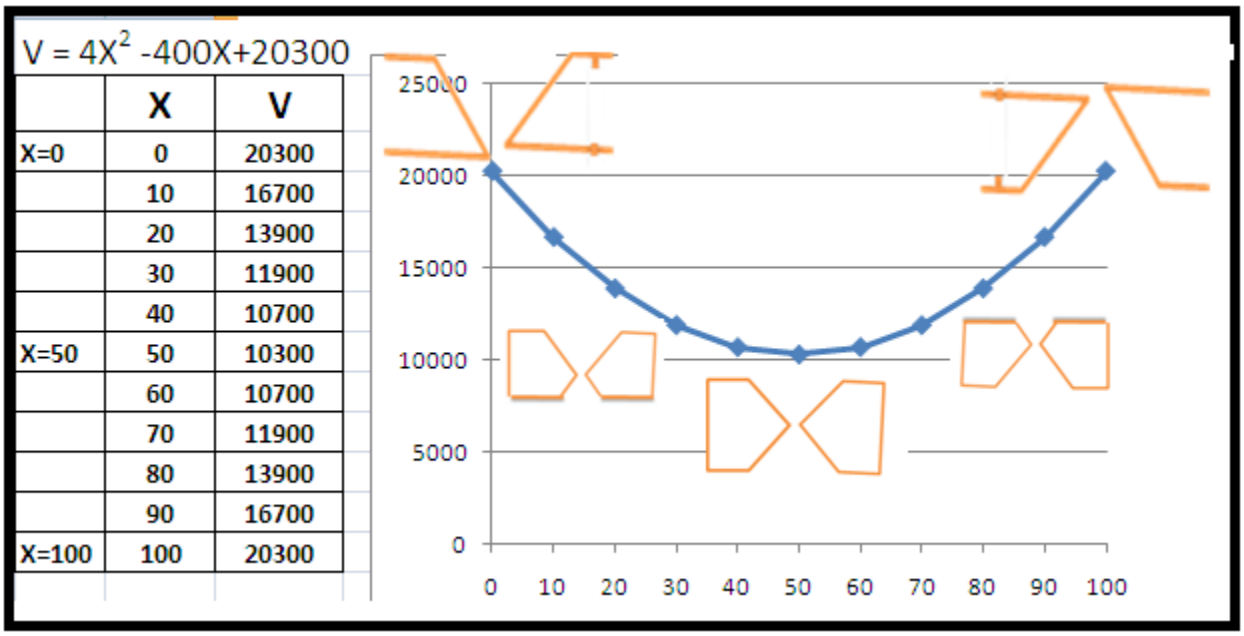
$$V= A*1= V= 2(X^2tg\alpha) +2(T-X)^2tg\alpha +R*T$$

$dV/dX = 0 \rightarrow 2tg\alpha[2X+4T-4X] =0 \rightarrow -2X+4T=0 \rightarrow X=T/2$

$V= 4X^2tg\alpha -4TX+2T^2 +R*T$

$V=4X^2tg45 -4\times100\times X +2\times(100)^2+ 3\times100 \rightarrow V = 4X^2 -400X+20300$

این موضوع در شکل ۲-۵۲ به صورت واضحی نشان داده شده است. مینیمم حجم برای زمانی است که لبه سازی به صورت X می باشد و ماکزیمم برای زمانی است که لبه سازی به صورت V می باشد.

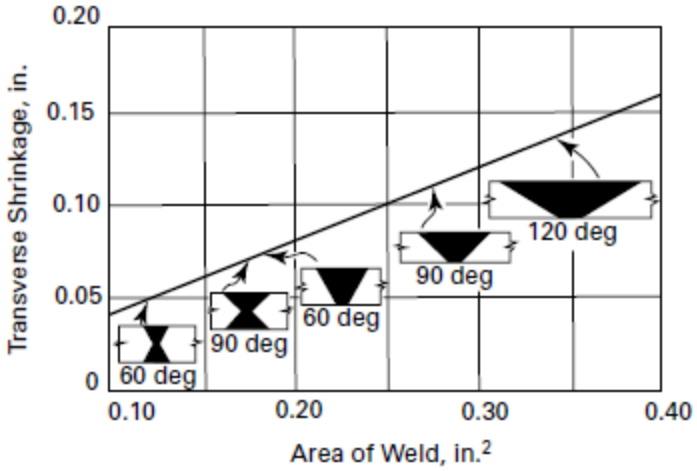


	X	V
X=0	0	20300
	10	16700
	20	13900
	30	11900
	40	10700
X=50	50	10300
	60	10700
	70	11900
	80	13900
	90	16700
X=100	100	20300

شکل ۲-۵۲: حجم جوش در واحد طول برای لبه سازی نوع V و انواع مختلف لبه سازی X(برای ضخامت ۱۰۰ میلیمتر)

زاویه لبه سازی هم هرچه کمتر باشد حجم جوش کمتر و در نتیجه انقباض کمتر می شود. با توجه به زاویه های مختلف مجاز در استاندارد های طراحی و ساخت و جوشکاری پیشنهاد می شود کوچکترین زاویه لبه سازی انتخاب شود.

هرچند کاهش حجم جوش در ASME PCC2 به عنوان یکی از روش های تسهیل در انجام پیش گرم مد نظر می باشد ولیکن سطح در تماس با سیال از جمله برای زمانیکه سیال حاوی کاستیک می باشد نیز دارای اهمیت بوده و ممکن است هرچه سطح جوش در تماس در معرض سیال بیشتر باشد سبب تردی کاستیکی شود. به ویژه برای ظروف تحت فشار حاوی بخار که احتمال آلوده شدن آنها به کاستیک وجود داشته باشد.



شکل ۲-۵۳: اثر حجم جوش در انقباض گرده جوش

پیشنهاد می شود در انتخاب روش جوشکاری به دو عامل تخریبی که پیش گرم در کاهش آنها نقش موثری دارد توجه کرد. یکی انقباض های حرارتی و دیگری نفوذ هیدروژن . وقتی با انتخاب روش جوشکاری می خواهیم شرایط پیش گرم را تسهیل کنیم با ید در نظر بگیریم که روش جوشکاری مد نظر احتمال کدام تخریب را می تواند کمتر کند و تاثیر بیشتری در رخداد تخریب دیگر دارد. در زمانیکه خطر نفوذ تخریب های هیدروژنی وجود دارد روش های جوشکاری GMAW و GTAW نسبت به روش جوشکاری SMAW مناسب تر می باشند.
بنابراین وقتی الزام پیش گرم برای سرویس های تولید کننده هیدروژن می باشد و ضخامت از مقادیر قید شده در استاندارد های طراحی و ساخت (که پیش گرم برای آنها الزام شده است) کمتر است پیشنهاد می شود روش جوشکاری GTAW و GMAW استفاده شود. و زمانیکه الزام پیش گرم به دلیل ضخامت است و خطر تخریب هیدروژنی کمتر است اولویت با روش جوشکاری SMAW می باشد. البته با انتخاب الکترود های کم هیدروژن نیز می توان این عیب روش جوشکاری SMAW در خصوص تخریب های هیدروژنی را تا حدودی مرتفع کرد.

جدول ۲-۴۱ : مقایسه الکترود های مختلف کم از نظر استحکام

	Specification Requirements, ksi		Typical As-Welded, ksi		Typical Stress Relieved, ksi	
Filler Metal	Ultimate	Yield	Ultimate	Yield	Ultimate	Yield
E6013	62	50	74	64	...	...
E6018	67	55	68	57	...	...
E7018	72	60	87	79	83 [Note (1)]	74 [Note (1)]
E7018-A1	70 [Note (1)]	57 [Note (1)]	90	71	84 [Note (1)]	70 [Note (1)]
E8018-B2	80 [Note (2)]	68 [Note (2)]	118	103	95 [Note (1)]	79 [Note (1)]
E9018-B3	90 [Note (2)]	77 [Note (2)]	141	127	101 [Note (1)]	87 [Note (1)]
E9015-B9	90 [Note (3)]	77 [Note (3)]	210	...	120 [Note (4)]	100 [Note (4)]
ER70S-2	70	58	74	60	...	...
ER70S-6	72	60	94 [Note (5)]	75 [Note (5)]	85 [Notes (1), (5)]	71 [Notes (1), (5)]
ER80S-D2	80	68	110	79	100 [Note (2)]	86 [Note (2)]
ER70S-A1	80 [Note (6)]	68 [Note (6)]	92	79	90 [Note (2)]	72 [Note (2)]
ER90S-B3	90 [Note (2)]	78 [Note (2)]	...	...	104 [Note (2)]	93 [Note (2)]

NOTES:
(1) Stress relieved @ 621°C (1,150°F) for 1 h.
(2) Stress relieved @ 690°C (1,275°F) for 1 h.
(3) Stress relieved @ 746°C (1,375°F) for 1 h.
(4) Stress relieved @ 760°C (1,400°F) for 1 h.
(5) GTAW process.
(6) SGMo DIN 8575, Wks. No. 1.5424.

کربن معادل (CE) نیز به عنوان معیار دیگری است که به صورت کمی وضعیت انجام پیش گرم را مشخص می کند.

$$CE = C + (Mn+Si)/6 + (Cr +Mo + V) /5 + (Ni + Cu)/15$$

وقتی $CE<0.45$ می باشد انجام پیش گرم اختیاری است. برای $0.45<CE<0.6$ انجام پیش گرم از دمای ۹۴ درجه تا ۲۰۴ درجه سانتیگراد و برای $CE>0.6$ پیش گرم از دمای ۲۰۴ تا ۳۷۲ درجه سانتیگراد اجباری می باشد.

پارامتر پیش بینی ترک(P_{Cm}) به عنوان معیار دیگری است که برای انتخاب پیش گرم به صورت کمی می تواند مد نظر باشد. این پارامتر به عنوان معیار ترک(ایتو و بسیو) نیز موسوم است. و اغلب پیش بینی دقیقی از وضعیت و ضرورت انجام یا عدم انجام پیش گرم ارایه می دهد.

$$P_{Cm} = C + Si/30 +(Mn + Cu +Cr)/20 + Ni/6 + Mo/15 + V/10 + 5B$$

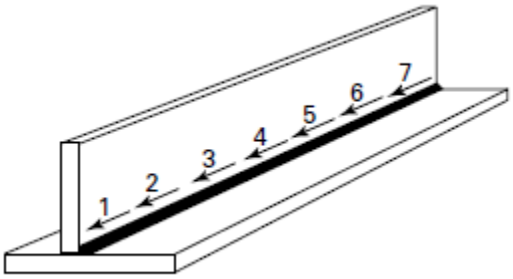
برای پارامتر های ترک کمتر از ۰/۱۵ پیش گرم اختیاری است. برای پارامتر ترک بین ۰/۱۵ تا ۰/۲۶ درصد دمای پیش گرم بین ۹۳ تا ۲۰۴ درجه سانتیگراد و برای پارامتر ترک بزرگتر از ۰/۲۶ پیش گرم از دمای ۴۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتیگراد ضروری می باشد.

کنترل رسوب جوش که در بخش جوشکاری سطحی خارجی نیز به آن اشاره شد یکی از روش های حذف پیش گرم می باشد.

۲-۸-۴ ساخت:

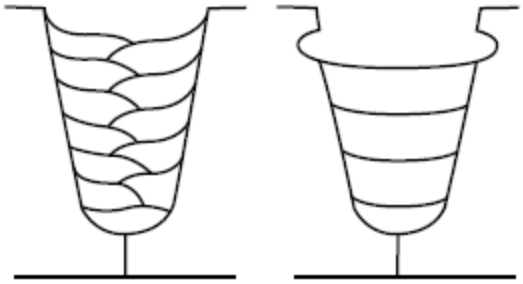
هر تکنیک و روش جوشکاری که خطر وقوع ترک های انقباضی را کاهش می دهد می بایست در ساخت مد نظر قرار گیرد. یکی از مواردی که ممکن است در ایجاد عیوب از جمله ایجاد ترک موثر باشد. آلودگی های سطحی می باشد. لازم است هر گونه آلودگی سطحی مانند رطوبت ، گریس و... از روی سطح برداشته شود.

جوشکاری با الگوریتم از قبل تعریف شده انجام شود. که نمونه ای از آن در شکل ۲-۵۴ نشان داده شده است.



شکل ۲-۵۴: روش جوشکاری ناپیوسته و منقطع

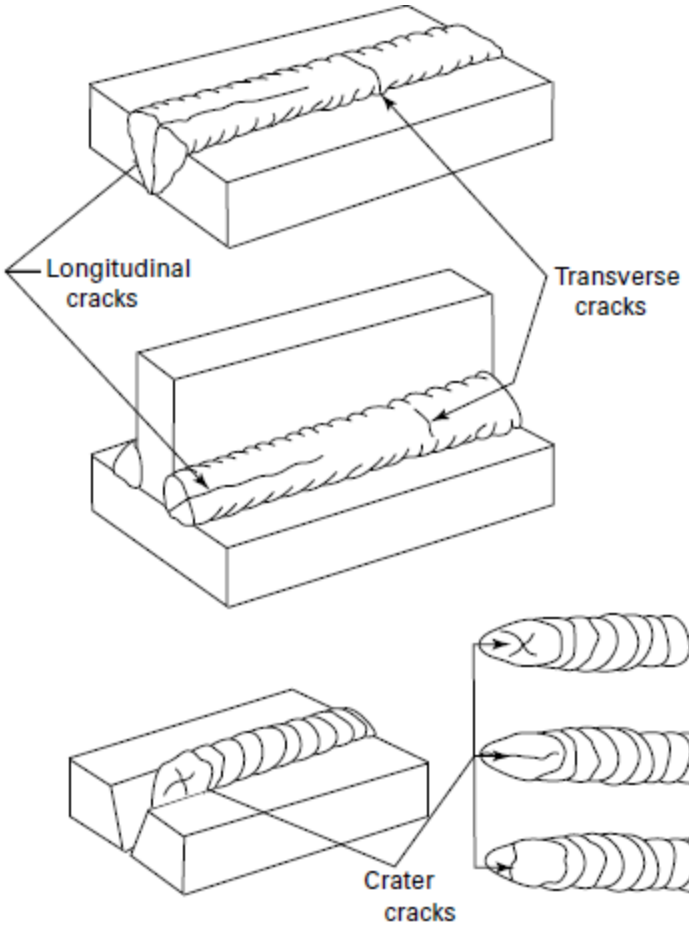
کم کردن دامنه نوسان الکترود و افزایش تعداد لایه های جوش در هر پاس ، کم کردن گرمای ورودی نیز از عوامل موثر در کاهش ترک می باشد.

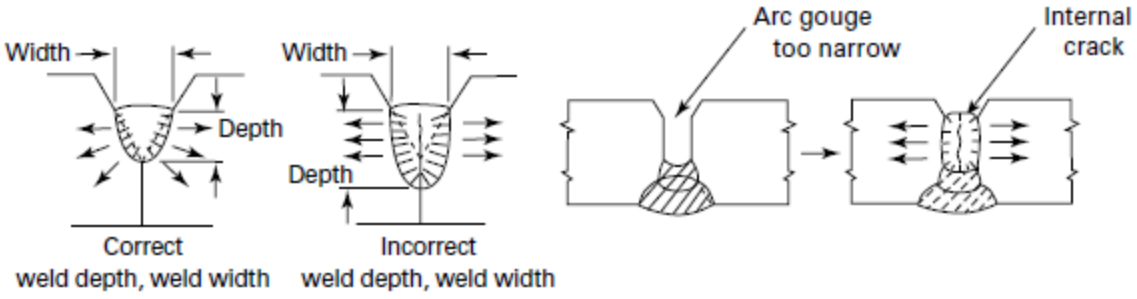


شکل ۲-۵۵: تکنیک جوشکاری تک پاسه و چند پاسه

با انتخاب طرح اتصال مناسب می توان خطر ترکهای انقباضی را کمتر کرد. طرح اتصال و زاویه پخ می بایست یک حد بهینه داشته باشد.

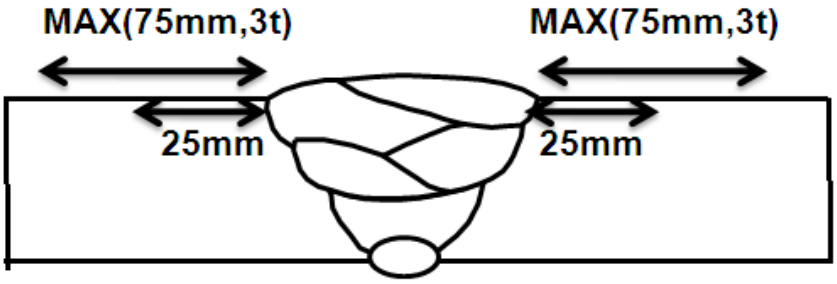
در زمان جوشکاری لایه جوشی که سرد می شود می بایست حداقل ۱۰ میلیمتر یا ۲۵ درصد ضخامت باشد تا احتمال رخداد ترک کمتر شود.





شکل ۲- ۵۶: اثر ضخامت و سطح روی ترک های انقباضی

پیش گرم را می توان با مشعل و یا المنت الکتریکی انجام داد. پیش گرم با هر روشی که انجام می شود می بایست یکنواخت باشد. و اختلاف حرارت و دمای در نواحی مختلف نباید وجود داشته باشد. برخی از استاندارد های طراحی و ساخت مانند ASME B31.3 پیشنهاداتی جهت فاصله پیش گرم از طرح اتصال و ناحیه HAZ ارایه داده است.



شکل ۲-۵۷: محدوده انجام پیش گرم براساس ASME B31.3

دمای پیش گرم را می توان بلگچ حرارتی و یا ترمومتر های لبزری اندازه گیری کرد. در گچ های حرارتی با توجه به نقطه ذوب گچ می توان مطمین شد که حداقل دمای پیش گرم رعایت شده است. گچ های حرارتی با دمای مشخصی مانند ۱۵۰ و ۲۰۰ درجه سانتیگراد وجود دارند. با کشیدن گچ حرارتی روی ناحیه ای که پیش گرم شده است و با توجه به ذوب یا عدم ذوب گچ می توان دمای تقریبی سطح را مشخص نمود.

۲-۸-۵: آزمون ها(Examination)

آزمون های سطحی مانند PT و MT برای شناسایی ترک های سطحی ناشی از تسهیل و یا حذف پیش گرم انجام شود. آزمون های حجمی غیر مخرب مانند UT و RT بر اساس استاندارد های طراحی و ساخت ضروری می باشد. برای فلزاتی که دارای استحکام بالایی هستند و کربن معادل بیش از ۰/۵ درصد می باشد آزمون های حجمی غیر مخرب بعد از ۲۴ الی ۴۸ ساعت بعد از جوشکاری انجام شود. این موضوع به شناسایی ترک های تاخیری انقباضی کمک زیادی می کند.

همه آزمون هایی که انجام می شوند می بایست مستند گردند.

۲-۸-۶ تست (Testing)

آزمون های کیفیت مورد نیاز بر اساس استاندارد های طراحی ، ساخت ، تعمیر و نگهداری انجام شوند. یکی از این آزمون ها می تواند سختی سنجی باشد.

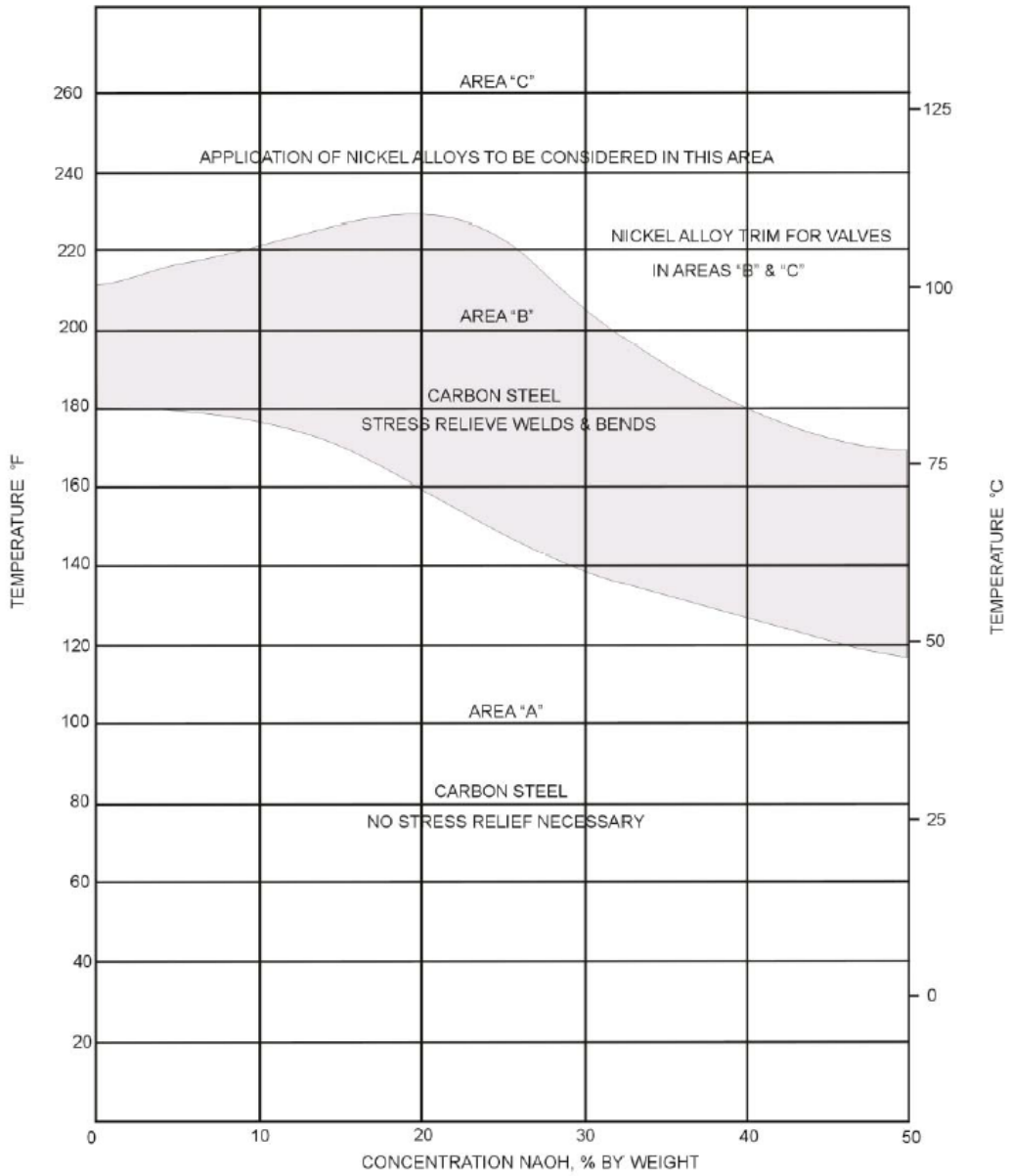
۲-۹: روش های جایگزین عملیات حرارتی بعد از جوشکاری(PWHT)

۲-۹ -۱: توضیحات

در این بخش روش هایی برای تسهیل و یا حذف عملیات حرارتی بعد از جوشکاری و یا تنش زدایی ارایه شده است. عملیات حرارتی بعد از جوشکاری در استاندارد های طراحی و ساخت مانند ASME B31.3 ، ASME VIII ، API650 و... و همچنین در استاندارد های تعمیر و نگهداری مانند API510 ، API570 و API653 تحت شرایط خاصی الزام شده است. دلیل انجام تنش زدایی کاهش تنش های پس ماند، کاهش هیدروژن نفوذ کرده و پیشگیری از ترک های انقباضی می باشد. مواردی که انجام تنش زدایی را الزام می کنند عبارتند از:

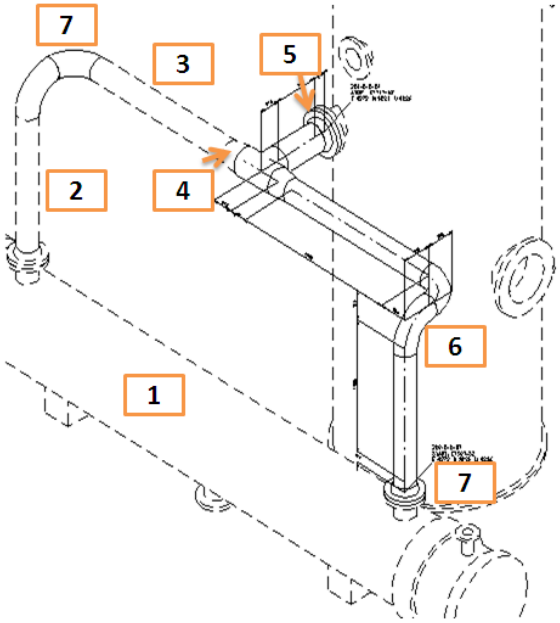
- ضخامت از حد مشخصی(با توجه به نوع آلیاژ) بیشتر باشد. به عنوان مثال برای لوله های فرایندی از جنس فولاد کربنی (بر اساس ویرایش های قبل از سال ۲۰۱۴ استاندارد ASME B31.3) معیار انجام تنش زدایی ۲۰ میلیمتر می باشد.

- سیالات بهره برداری مانند کاستیک ، آمین ،H2S و.. انجام تنش زدایی بعد از جوشکاری را برای برخی از فلزات از جمله فولاد های کربنی الزام می کند. به عنوان مثال بر اساس نمواد ذیل با توجه به شرایط دمایی خاصی و درصد معینی کاستیک برای فولاد های کربنی تنش زدایی بعد از جوشکاری الزام می باشد.



شکل ۲-۵۸: انجام تنش زدایی برای سرویس کاستیک با توجه به دما

- شرط متریال که با توجه به درصد کربن ، کربن معادل و کرم وضعیت انجام یا عدم انجام تنش زدایی مشخص می گردد. به عنوان مثال برای متریالی حاوی ۹ درصد کرم ، یک درصد مولیبدن با هر ضخامت و در هر سرویس بهره برداری نیاز به تنش زدایی دارند.برای تشریح این موضوع به شکل ذیل توجه نمایید . سرجوش های ذیل تحت هر شرایطی می بایست تنش زدایی شوند.



Item	Description
1	Pipe 10in ,A/SA335 P91
2,3	Pipe 2in ,A/SA335 P91
4	Reducer , A/SA234 WP91
5,7	Flange A/SA182 F11
6	Elbow 90, A/SA234 WP91

شکل۲-۵۹: جوشکاری متریال حاوی ۹ درصد کرم با الزام انجام تنش زدایی در هر شرایطی

روش های جایگزین تنش زدایی می تواند بهبود وضعیت پیش گرم، استفاده از تکنیکهای جوشکاری خاص و کنترل فرایند های جوشکاری و... باشد.

۲-۹-۲: محدودیت ها

در انجام جوشکاری های تعمیراتی استفاده از روش های جایگزین تنش زدایی برای همه عیوب به جز تاول های هیدروژنی مناسب عنوان شده است.(Y) . برای عیب تاول های هیدروژنی نیز به صورت کامل نفی نشده و لیکن استفاده از آن توصیه نشده است(S) . شاید دلیل عدم پیشنهاد روش های جایگزین تنش زدایی برای عیب تاول پیش بینی وجود هیدروژن در فلز می باشد که با روش های دیگر غیر از تنش زدایی خارج کردن مشکل و یا غیر ممکن می باشد.

جدول۲-۴۲ : تناسب استفاده از روش های جایگزین تنش زدایی برای عیوب مختلف

General wall Thinning	Local wall Thinning	Pitting	Gouges	Blisters	Laminations	Circumferential Crack	Longitudinal
Y	Y	Y	Y	S	Y	Y	Y

از محدودیت دیگر این روش این است که فقط از روش های قید شده در استاندارد های طراحی و ساخت می توان استفاده کرد. نمونه هایی از شرایط تسهیل و یا حذف تنش زدایی در ASME VIII-Div1-UCS56 قید شده است. که نمونه ای از آن برای فولاد های کربنی به شرح ذیل می باشد.

جدول۲-۴۳: الزامات مربوط به عملیات حرارتی بعد از جوشکاری برای فولاد های کربنی بر اساس ASME VIII –Div1-Table UCS56-1

مشخصه متریال	حداقل دمای تنش زدایی	حداقل دمای نگهداری در دمای انجام تنش زدایی		
		Thickness<=50mm	mm<Thickness<=125mm	Thickness>125mm
P no 1 Group No 1,2,3	۵۹۵ درجه سانتیگراد	برای هر ۲۵ میلیمتر یک ساعت—حداقل ۱۵ دقیقه	دو ساعت بعلاوه ۱۵ دقیقه برای هر ۲۵ میلیمتر ضخامت بزرگتر از ۵۰ میلیمتر	دو ساعت بعلاوه ۱۵ دقیقه برای هر ۲۵ میلیمتر ضخامت بزرگتر از ۵۰ میلیمتر
P no 1 Group No 4	تنش زدایی نیاز نیست			

انجام تنش زدایی یا عملیات حرارتی بعد از جوشکاری در شرایط ذیل اجباری است.

الف : ضخامت اسمی بزرگتر از ۳۸ میلیمتر

ب: برای ضخامت های بین ۳۲ تا ۳۸ میلیمتر اگر پیش گرم در دمای ۹۵ درجه سانتیگراد انجام شود تنش زدایی نیاز نیست. البته متریال SA841 Grad A, B از این قضیه مستثنی است و در صورتیکه در صد کربن از ۰/۱۴ درصد کمتر و کربن معادل ار ۰/۴ کمتر باشد بهپیش گرم هم نیاز ندارد

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Cu+Ni}{15}$$

ج:در زمانیکه ضخامت ظرف تحت فشار[19] از ۳۲ میلیمتر بزرگتر است برای ضخامت های کمتر از ۱۳ میلیمتر(برای نارل ها و اتصالات) ، جوش های گوشه ای با اندازه کوچکتر از ۱۳ میلیمترو قطر داخلی واقعی برای نارل های کوچکتر از ۲ اینچ(ID<2In) در صورت انجام پیش گرم تا دمای ۹۵ درجه تنش زدایی نیاز نیست.

در مجموع آزمون هایی که برای تایید کیفیت این روش استفاده می شوند می بایست قابلیت ارزیابی تردی هیدروژنی و تردی در دمای خزش را داشته باشد.

برخی از پدیده های متالوژیکی هستند که فرایند تنش زدایی آنها را تشدید می کند. به عنوان مثال تنش زدایی منجر به خوردگی بین دانه ای و حساس شدن در فولاد های ضدزنگ آستنیتی می شود.

۲-۹-۳ طراحی:

بررسی شرایط انجام یا عدم انجام تنش زدایی می بایست بر اساس استاندارد های طراحی و ساخت مشخص گردد. مواردی که برای تسهیل پیش گرم گفته شد برای تنش زدایی نیز کاربرد دارند. در زمانیکه دو فلز غیر مشابه به هم جوش می شوند. وضعیت می بایست برای هر دو فلز بررسی شود.

۲-۹-۴: ساخت

خیلی از استانداردهای طراحی و ساخت از جمله ASME VIII تحت شرایطی و با انجام پیش گرم امکان حذف تنش زدایی را مجاز قید کرده اند. ASME B31.3-2014 نیز با همین نگاه بخش تنش زدایی را نسبت به ویرایش های قبل تغییر داده است. استاندارد های تعمیر و نگهداری مانند API510 انجام جوش بستر گرمایی را به عنوان جایگزین تنش زدایی در شرایط معینی پیشنهاد داده است.

[19] -Pressure Vessel

۲-۱۰: جوشکاری حین سرویس روی ظروف تحت فشار و خطوط لوله از جنس فولاد های کربنی

۲-۱۰-۱: توضیحات:

در این فصل الزامات مورد نیاز جهت جوشکاری های سطحی خارجی روی خطوط لوله انتقال گاز و ظروف تحت فشاری که از جنس فولاد های کربنی هستند عنوان شده است. در این شرایط خط لوله یا ظرف تحت فشار از سرویس بهره برداری خارج نمی شود. نمونه ای از این نوع جوشکاری ها گرفتن انشعاب از خطوط انتقال گاز برای گاز رسانی به شهر ها و روستا ها می باشد. از این روش می توان برای انجام تعمیر هم استفاده کرد.

دو مشکلی که برای این روش جوشکاری قابل پیش بینی هستند مشکل اول مکش مذاب (Burn Through) که بستگی به ضخامت دارد. هرچه ضخامت کمتر باشد خطر این پدیده بیشتر است. در ضخامت های زیر ۴/۸ میلیمتر امکان وقوع مکش مذاب جوش به داخل خیلی زیاد است. بنابراین توصیه می شود وقتی ضخامت باقیمانده کمتر از ۴/۸ میلیمتر است جوشکاری حین سرویس انجام نشود. حالت دوم ضخامت بین ۴/۸ تا ۶/۴ میلیمتر است که در این حالت پیشنهاد می شود که از الکترود های با قطر کمتر از ۲/۴ میلیمتر برای جوشکاری استفاده شود. و کنترل گرمای ورودی نیز مد نظر قرار گیرد. مشکل دومی که در این روش جوشکاری وجود دارد خطر وقوع ترک های محیطی از جمله HIC می باشد. در این شرایط لازم است از الکترود های کم هیدروژن استفاده شود. کنترل سرعت سرمایش حوضچه مذاب و رسوب جوش از مواردی هستند که خطر وقوع ترک های هیدروژنی را کاهش می دهند.

یکی از عواملی که روی هردو پدیده مخرب مذکور تاثیر دارد گرمای ورودی می باشد. افزایش گرمای ورودی از یک حد مشخص باعث تشدید خطر مکش و کاهش آن احتمال وقوع تخریب های هیدروژنی را بیشتر می کند. کنترل این وضعیت برای ضخامت های کمتر از ۶/۴ میلیمتر مشکل است.

۲-۱۰-۲ محدودیت ها:

تناسب انجام جوشکاری حین سرویس با عیوب مختلف فصل ۱ از استاندارد ASME PCC2 قید شده است. تعمیر با این روش عموما برای جوشکاری سطحی روی لوله و ظروفی که از جنس فولاد کربنی هستند پیشنهاد شده است.

جدول ۲-۴۴: تناسب جوشکاری حین برای عیوب مختلف

General wall Thinning	Local wall Thinning	Pitting	Gouges	Blisters	Laminations	Circumferential Crack	Longitudinal
N	N	N	N	N	N	N	N

این روش تعمیراتی برای فولاد های آلیاژی و ضد زنگ پیشنهاد نمی شود. محدودیت های ضخامتی که برای این روش در API2201 قید شده است رعایت گردد.

در استاندارد طراحی ساخت ASME B31.8 بند 855.44تحت شرایط خاصی جوشکاری خوردگی های جزیی روی سطح فلز را حین سرویس پیشنهاد داده است. در این شرایط ولتاژ و آمپر بهینه پیشنهادی جهت انجام جوشکاری حین سرویس ۲۰ ولت و ۱۰۰آمپر پیشنهاد داده است. البته با توجه به سرعت گاز در لوله و فشار ضخامت هایی که در کمتر از آنها خطر مکش مذاب وجود دارد قید شده است.

جدول ۲-۴۳: سرعت سیال و فشار برای ضخامت های مختلف

	Gas Velocity, ft/sec			
psia	0	5	10	20
15	0.320	. . .	. . .	. . .
500	0.300	0.270	0.240	0.205
900	0.280	0.235	0.190	0.150

به عنوان مثال برای سرعت سیال 20Ft/Sec و فشار 500PSI در ضخامت های کمتر از (0.205in(5.2mm خطر مکش مذاب به داخل وجود دارد.

انجام PWHT در جوشکاری حین سرویس بسیار مشکل است. در زمانیکه حذف تنش زدایی و جایگزین کردن آن غیر ممکن است لازم است شرایط خاصی برای تنش زدایی حین سرویس لحاظ شود.

۲-۱۰-۳ طراحی:

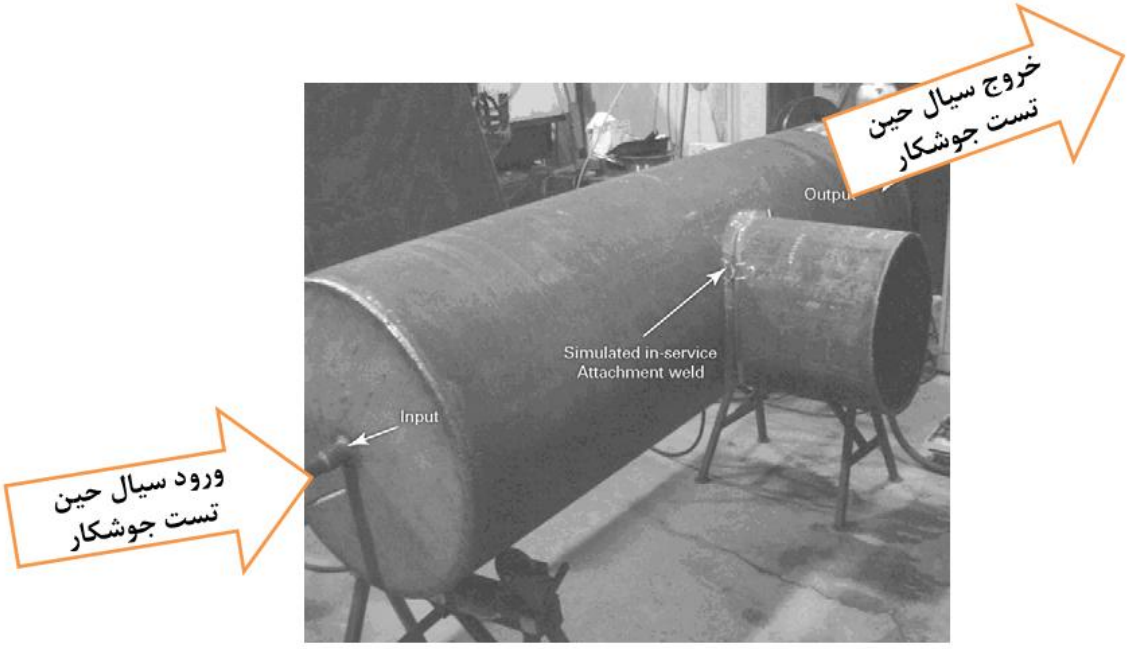
دستورالعمل های(WPS,PQR) مربوط به جوشکاری حین سرویس می بایست به صورت سطحی یا جوش گوشه ای می باشد. البته نحوه انجام جوشکاری و تهیه نمونه با آنچه در ASME IX توضیح داده شده است تفاوت دارد. تست جوشکار نیز می بایست مطابق با شرایط اجرا باشد.

متغیری که در حالت جوشکاری حین سرویس اضافه می شود. جریان سیال می باشد. جریان سیال باعث ایجاد شرایط جدیدی جهت انجام جوشکاری می شود. و توانایی جوشکار را جهت انجام یک جوش سالم تحت تاثیر قرار می دهد. دو موردی که اینجا از اهمیت زیادی برخوردار است یکی مکش مذاب[۲۰] در جداره لوله و دیگری پدیده ترک های ناشی از نفوذ هیدروژن سیال[۲۱] در ناحیه جوش و ناحیه تحت تاثیر حرارت می باشد. البته از وقوع پدیده سرد شدن سریع و تبدیل گرده جوش و بخشی از گرده جوش به فاز های نامناسب از جمله مارتنزیت تمپر نشده نیز نباید غافل شد.

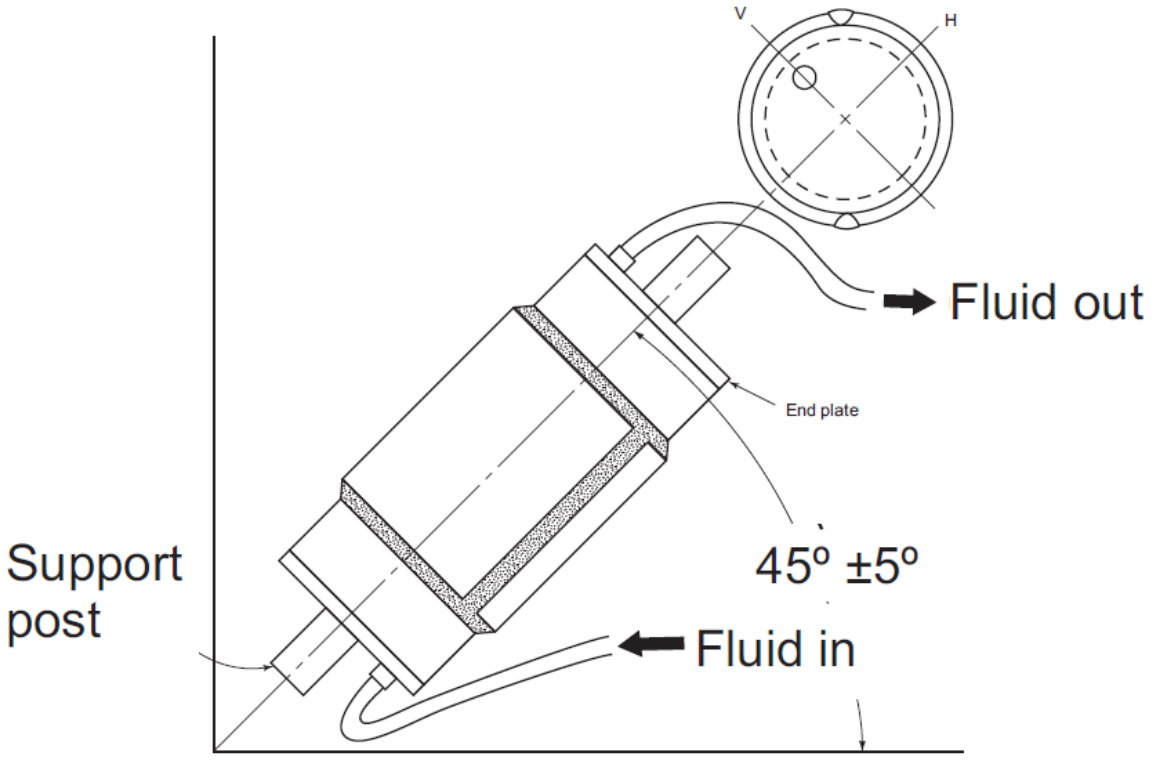
در واقع دو خطر مکش و ترک پدیده هایی هستند که می بایست با کنترل سرعت سیال از وقوع آنها پیشگیری کرد. وقتی سرعت سیال در لوله کم باشد خطر مکش مذاب به داخل وجود داردو در صورت آتش زا[۲۲] و سمی[۲۳] بودن سیال این موضوع می تواند خطر ساز شود. سرعت بالای سیال نیز منجر به سرعت سرمایش سریع جوش و نهایتا منجر به ترک شود. در ضخامت های فلز پایه کمتر ۶/۴ میلیمتر خطر مکش مذاب جوش خیلی بالا است. بنابراین پیشنهاد می شود در صورت نیاز به انجام جوشکاری حین سرویس از الکترود هایی با قطر کمتر ۲/۴ میلیمتر برای لایه یک استفاده شود و در حین جوشکاری نیز گرمای ورودی با بهینه کردن آمپر ، ولت و سرعت جوشکار بهینه شود. وقتی ضخامت فلز پایه کوچکتر از ۴/۸ میلیمتر است انجام جوشکاری حین سرویس توصیه نمی شود. در ضخامت های بین ۶/۴ تا ۱۲/۷ میلیمتر خطر مکش مذاب خیلی کم می شود ولیکن امکان وقوع ترک ناشی از سرد شدن سریع وجود دارد. بنابراین اضافه شدن جریان سیال به عنوان یک متغیر ایجاب می کند که سایر متغیر ها مانند از جمله گرمای وردی کنترل و بهینه شود و از جوشکار با مهارت کافی در این روش جوشکاری استفاده شود.

[20] -Burn Through
[21] -HIC-Hydrogen Induce Cracking
[22] -Flammable
[23] -Toxic

عموما حالت های جوشکاری که حین سرویس وجود دارد یا به صورت انشعاب و یا جوشکاری روی سطح جهت اعمال باکس ، غلافی و... می باشد. نمونه تستی که برای جوشکار در حالت انشعاب استفاده می شود. در شکل ... و نمونه تستی که برای سایر جوشکاری های حین سرویس استفاده می شود در شکل.. نشان داده شده است.



شکل۲-۶۰: شبیه سازی جوشکاری حین سرویس برای تست جوشکار



۲-۶۱: نمونه تست برای جوش های حین سرویس

آنچه در استاندارد API STD 1104-Appendix B قید شده است. تائید دستورالعمل و سپس تست جوشکار و تائید جوشکار برای روش های جوشکاری حین سرویس می باشد. که در شکل۲-۶۱ نشان داده شده است.در جوشکاری حین سرویس متغیر های جوشکاری حین سرویس عبارتند از

- متریال : پارامتر مهمی که به عنوان مشخصه متریال تاثیر زیادی دارد کرین معادل می باشد.

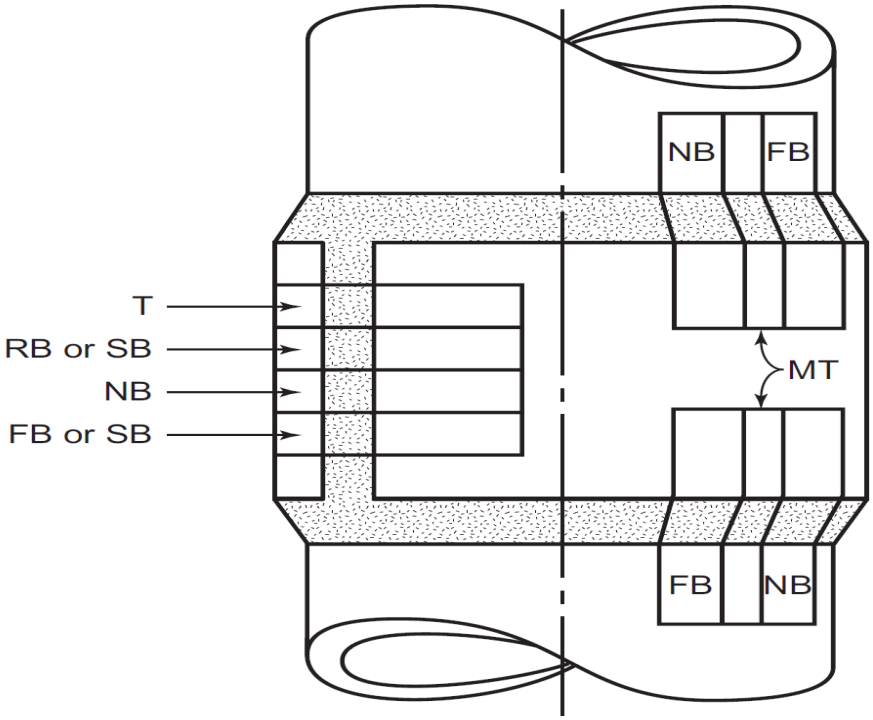
$$CEIIW = \%C + \%Mn/6 + (\%Cu + \%Ni)/15 + (\%Cr + \%Mo + \%V)/5.$$

پیشنهاد می شود نمونه تستی که برای تائید دستورالعمل و تست جوشکار تهیه می شود دارای کربن معادل بزرگتر از ۰/۶۵ درصد و کربن بزرگتر از ۰/۳۵ باشد.

- جریان سیال: نوع سیال سرعت، دما و فشار از متغیر هایی هستند که می بایست در دستورالعمل جوشکاری حین سرویس مشخص و در تست جوشکار نیز لحاظ شود.

- اندازه گرمای ورودی : متغیر گرمای ورودی نیز به عنوان یک عامل بسیار مهم در جوشکاری حین سرویس مد نظر می باشد.

در استاندارد API 1104 انجام آرمون ها برای تائید دستورالعمل جوشکاری در چهار حالت جوشکاری شیاری[۲۴]، غلافی[۲۵] ، انشعاب[۲۶] و تعمیر عیوب حین سرویس با جوش[۲۷] برای ضخامت های بزرگتر از ۱۲/۷ میلیمتر و ضخامت های کوچکتر از ۱۲/۷ میلیمتر بررسی شده است. نحوه نمونه برداری و تعداد نمونه های لازم جهت آزمون های کشش، شکست ، خمش وماکرواچ درشکل ۲-۶۲ و جدول۲-۴۴ قید شده است.



۲-۶۲: نحوه برداشتن نمونه برای آزمون های مخرب(WPS-PQR ,WQT)

[24] -Groove Weld
[25] -Sleeve
[26] -Branch
[27] -Weld deposition repairs-WDR

جدول۲-۴۴: نوع و تست های مورد نیاز جهت تائید دستورالعمل (WPS,PQR)جوشکاری حین سرویس- بر اساس API1104

ضخامت	نوع جوش	نوع و تعداد آزمون های مورد نیاز						
		کشش	شکست	خمش از ریشه[31]	خمش از رو[30]	خمش از کنار[29]	ماکرواچ[28]	جمع کل آزمون ها
<=12.7mm	شیاری	۲	۲	۲	۲			۸
	غلافی		۴		۴		۴	۱۲
	انشعاب		۴		۴		۴	۱۲
	تعمیر		۲		۴		۲	۸
>12.7mm	شیاری	۲	۲			۴		۸
	غلافی		۴		۴		۴	۱۲
	انشعاب		۴		۴		۴	۱۲
	تعمیر		۲		۲	۲	۲	۸

بعد ار تائید دستورالعمل جوشکارانی که جهت جوشکاری حین سرویس انتخاب می شوند می بایست مطابق با دستورالعمل تست دهند و آزمون های ذیل مطابق با API 1104 روی نمونه جوشکاری انجام شود.علاوه بر آزمون های مذکور لازم است سختی سنجی نیز انجام شود.

جدول ۲-۴۵: نوع و تعداد تستهای مورد نیاز جهت تایید جوشکار(جوشکاری حین سرویس)

Table B.2—Type and Number of Test Specimens for Longitudinal Seam Welds—Welder Qualification Test

Wall Thickness	Tensile	Number of Specimens				
		Nick Break	Root Bend	Face Bend	Side Bend	Total
≤0.500 in. (12.7 mm)	1	1	1	1		4
>0.500 in. (12.7 mm)	1	1			2	4

[28] -Macro Test-MT
[29] -Side Bend-SB
[30] -Face Bend-FB
[31] -Root Bend-RB

اجرای جوشکاری چه در زمان تست و چه در عمل می بایست با ترتیب[۳۲] مشخصی که در اشکال ذیل نشان داده شده اند انجام شود.

در استاندارد ASME PCC2 نیز آزمون های لازم برای دستورالعمل (WPS,PQR) در جدول ذیل قید شده است. شباهت های زیادی از نظر نوع و تعداد آزمون های مورد نیاز بین هر دو وجود دارد. ولیکن در صورتیکه جوشکاری حین سرویس روی خطوط لوله انتقال است رعایت الزامات هردو استاندارد اجبار است ولیکن اگر جوشکاری حین سرویس برای تاسیسات و تسهیلاتی است که استاندارد طراحی و ساخت آنها ASME B31.8 و ASME B31.4 نمی باشد صرفا رعایت الزامات استاندارد ASME PCC2 از نظر نوع و تعداد نمونه های مورد نیاز برای PQR کفایت می کند.

جدول۲-۴۴: نوع و تست های مورد نیاز جهت تائید دستورالعمل (WPS,PQR)جوشکاری حین سرویس- بر اساس ASME PCC2

Wall Thickness	In-Service Weld Type	Tests				
		Face Bend	Side Bend	Nick-Break	Metallography	Hardness
≤12.7 mm (0.500 in.)	Fillet	4	...	4	2	2
	Attachment	4	...	4	2	2
	Weld metal buildup	4	...	...	2	2
>12.7 mm (0.500 in.)	Fillet	4	...	4	2	2
	Attachment	4	...	4	2	2
	Weld metal buildup	2	2	...	2	2

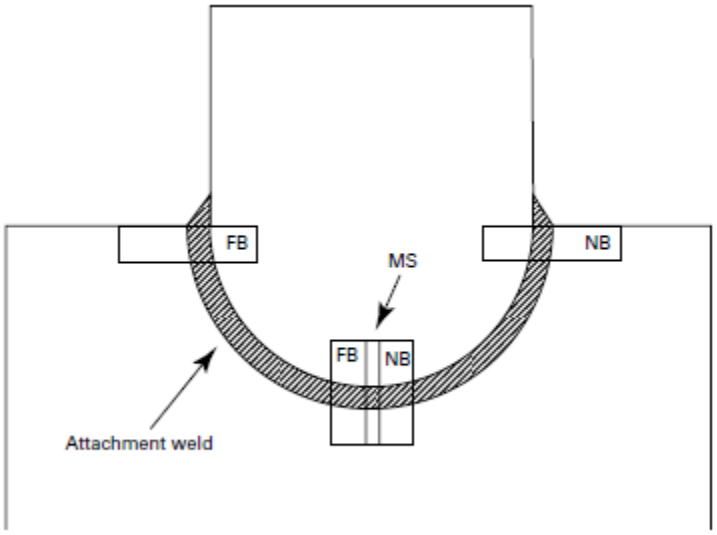
۲-۱۰-۴: ساخت(عمل یا اجرا)

در عمل مشخص کردن نوع جوش حین سرویس می بایست انجام شود. جوش های حین سرویس عموما به سه دسته تقسیم بندی می شوند.

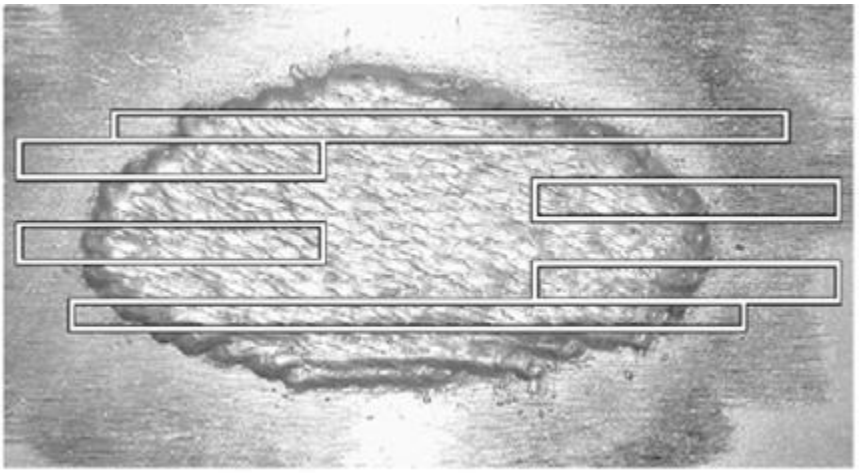
- جوش های گوشه ای مانند گرفتن انشعاب حین سرویس
- جوش متعلقات مربوط به روش های تعمیراتی مانند وصله ها

[32] -Sequence

- جوش های سطحی



۲-۶۳: نمونه جوش گوشه ای حین سرویس و نحوه نمونه برداری از آن



شکل ۲-۶۴: نمونه جوش سطحی و نحوه نمونه برداری جهت تست ها

بعد از تایید دستورالعمل(WPS,PQR) برای جوشکاری حین سرویس لازم است از جوشکاران نیز مطابق با آنچه در بند قبل عنوان شد تست گرفته شود. موضوع مهمی که در اینجا مطرح است اندازه گیری متغیر ها حین کار و مقایسه آن با نتایج قید شده در دستورالعمل (WPS,PQR) این روش می باشد.

علاوه بر متغیر هایی که در ASME IX برای روش های جوشکاری معمول عنوان شده است. متغیر های ذیل نیز در جوشکاری حین سرویس به عنوان متغیر ضروری محسوب می شوند.

- سرعت سرمایش حوضچه مذاب : سرعت سرمایش یا پتانسیل سرد شدن به عنوان یک متغیر ضرور ی محسوب می شود. به نوعی وقتی نمونه PQR برای این روش جوشکاری تهیه می شود و سرعت سرمایش حوضچه مذاب می بایست در جوشکاری نمونه اندازه گیری و یادداشت شود. در بازرسی های جوشی که حین سرویس انجام می شود نیز این متغیر می بایست اندازه گیری شود و با سرعت سرمایش نمونه PQR مقایسه شود. در صورتیکه سرعت سرمایش حین اجرا و عمل از نمونه PQR بیشتر باشد. جوش انجام شده مورد تایید نیست. سرعت سرمایش های ۵۵۶ درجه سانتیگراد سرعت بهینه ای است که هم امکان تایید نمونه PQR در آن زیاد است و هم امکان انجام جوشکاری با سرعت های کمتر از آن در عمل وجود دارد.

اندازه گیری سرعت سرمایش با روش های مختلفی مانند شبیه سازی ، محاسبه ، اندازه گیری مستقیم و یا تلفیقی از روش های مذکور انجام شود. هرچند در روش های جوشکاری حین سرویس ضخامت به عنوان یک متغیر غیر ضروری محسوب می شود ولیکن با توجه به اینکه ضخامت به صورت مستقیم بر سرعت سرمایش تاثیر دارد. تغییر آن از یک حد مشخصی می تواند منجر به تکرار (WPS,PQR) شود.

-کربن معادل: برای جوش های حین سرویس کربن معادل نقش خیلی زیادی را بازی می کند. هرچه مقدار کربن معادل بالاتر برود خطر ایجاد ترک بیشتر می شود. در عمل و اجرا کربن معادل نباید از نمونه PQR و آنچه در WPS قید شده است بیشتر باشد. بنابراین پیشنهاد می شود نمونه PQR درای حداکثر کربن معادل ممکن باشد.

-فرایند جوشکاری جز متغیر های ضروری می باشد .به عنوان مثال WPS و PQR که برای روش جوشکاری GTAW تهیه و تدوین شده است قابل استفاده برای روش جوشکاری SMAW نمی باشد و برعکس

- فیلر و الکترود های مصرفی: چون جوشکاری حین سرویس که در این فصل تشریح شده خاص فولاد های کربنی می باشد. بحث در خصوص آنالیز شیمیایی الکترود به عنوان یک متغیر مطرح نمی باشد وفقط بحث رده

الکترود (F no) به عنوان متغیر ضروری مطرح است . استفاده از فیلر و الکترودی با F no متفاوت از آنچه در WPS قید شده ونمونه PQR با آن تهیه شده است مجاز نمی باشد.

- گرمای ورودی نیز متغیر های ضروری می باشد. پیشنهاد می شود گرمای ورودی با شبیه سازی مشخص و حد بهینه ای برای آن تعریف شود.

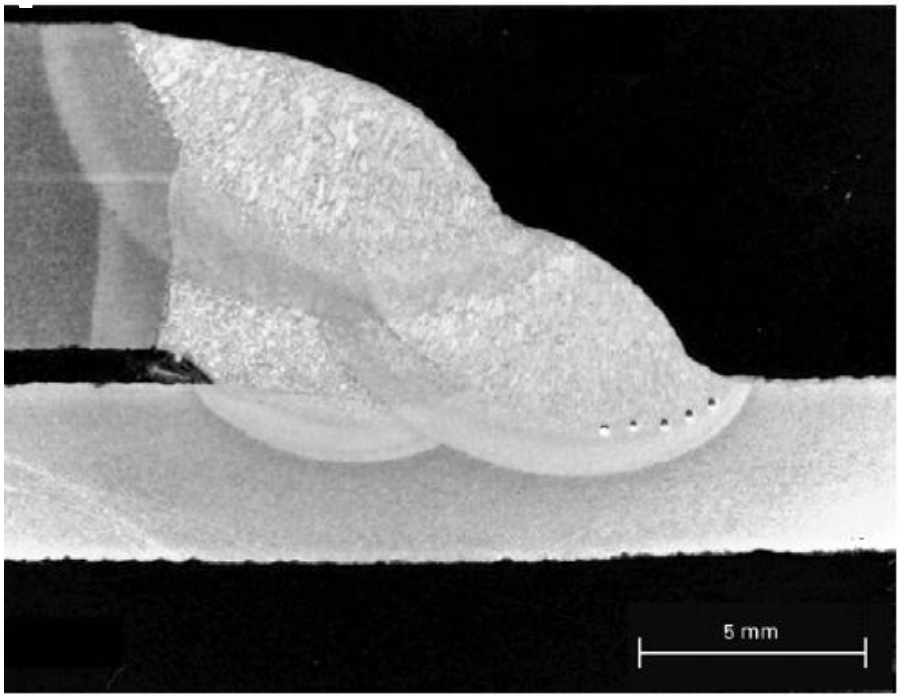
- هرچند در گرمای ورودی که مستقیما با ولتاژ و آمپر در ارتباط است یک متغیر ضروری محسوب می شود. لیکن آمپر جوشکاری در نمونه PQR و عمل نیز می بایست یکسان باشد.

- عملیات حرارتی که بعد از جوشکاری برای خارج کردن هیدروژن های نفوذ کرده در فلز استفاده می شود یک متغیر ضروری بوده و حذف و اضافه کردن آن در عمل و اجرا نسبت به نمونه PQR مجاز نمی باشد.

- محل اعمال جوش های سطحی در نمونه PQR و عمل می بایست یکسان باشد. به عنوان مثال وقتی جوشکاری در نمونه PQR بین ساعت های ۱۱ تا ۲ لوله انجام شده در عمل نیز صرفا انجام جوشکاری در این محدوده مجاز می باشد. پیشنهاد می شود جهت پیشگیری از وقوع چنین مشکل و عدم تطابقی نمونه PQR برای دور تا درو یک لوله انجام شود و آزمون های لازم مانند خمش ، مایکرواچ، سختی سنجی نیز به تعداد کافی انجام شود.

در این آزمون ها مواردی که می بایست مد نظر قرار گیرند مکش مذاب، HIC ، عیوب معمول جوش ، ترک، عدد سختی و.. می باشد.

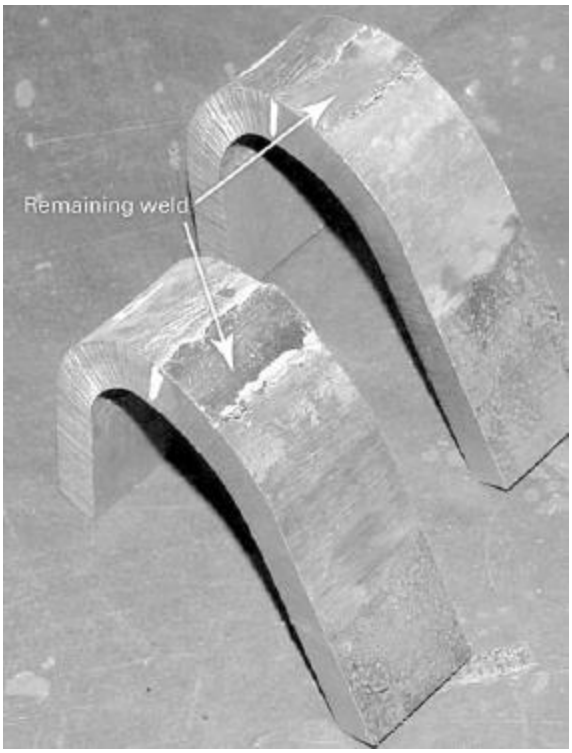
یکی از آزمون های مهمی که بعد از انجام جوشکاری نمونه PQR می بایست انجام شود. مایکرو اچ می باشد. در این شرایط قطعه ای که از نمونه های جوشکاری شده (مانند شکل ۲-۶۳) برداشته می شود بعد از شکست با بزرگنمایی مشخصی رویت می شوند. سطح می بایست عاری از ترک، بریدگی(۰/۸ میلیمتر یا ۱۰درصد ضخامت هر کدام کمتر هستند.) و ذوب ناقص باشد. آزمون سختی سنجی نیز لازم است براساس ASTM E384 و یا استاندارد های مشابه انجام شود. در این شرایط لازم است سختی جوش و ناحیه تحت تاثیر حرارت مورد بررسی قرار گیرد. ممکن است قطعه ای که برای سختی سنجی تهیه می شود در آزمون ماکرواچ نیز از آن استفاده شود.



شکل ۲-۶۵: آزمون سختی سنجی و مایکرو روی سطح جوش

آزمون شکست روی جوش گوشه ای انجام شود و عیوبی مانند ذوب ناقص، گل جوش ، حفره و... با بازرسی چشمی ارزیابی شود. گل جوش هایی با ارتفاع کمتر ۰/۸ میلمتر و طول کمتر از۳/۲ میلیمترو حفرات با ابعاد کمتر از ۱/۶ میلیمتر مورد تایید می باشند. فاصله گل جوش ها نباید از ۱۲/۷ میلیمتر کمتر باشد.

آزمون خمش نیز با برشکاری از ناحیه جوش انجام شود. بیشترین عمق عیوب قابل پذیرش روی سطح محدب می بایست از کمینه ۳/۲ میلیمتر و نصف ضخامت لوله بیشتر باشد. اگر عیوب در لبه های سطح محدب باشند حداکثر عمق عیوب می تواند تا ۶/۴ میلیمتر هم باشد.



شکل ۲-۶۶: نمونه تست خمش

در تست جوشکار نیز می بایست شرایط مانند آنچه در عمل وجود دارد شبیه سازی شود. و شرایط تست با عمل نزدیک باشد. آزمون های تست جوشکار که در شرایط معمول در ASME IX برای تایید جوشکاران عنوان شده است. این نوع جوشکاری را پوشش نمی دهد.

۲-۱۰-۵ : آزمون ها (Examination)

آزمون های غیر مخرب که در استاندارد های طراحی ، ساخت ، تعمیر و نگهداری الزام شده است برای این نوع جوش می بایست انجام شود. با توجه به اینکه در جوش های حین سرویس خطر ترک های هیدروژنی و ترکهای انقباضی تاخیری وجود دارد. لازم است آزمون های غیر مخرب ۲۴ الی ۷۲ ساعت بعد از انجام جوشکاری انجام شود.

۲-۱۱: تعمیر پوشش های داخلی فلزی و انجام جوش سطحی برای ترمیم عیوب:

۲-۱۱-۱: توضیحات

در این بخش جوشکاری سطحی برای ترمیم عیوب سطحی و ترمیم پوشش های داخلی فلزی یا کلد بیان خواهد شد. جوشکاری سطحی دقیقا روی محل عیب انجام خواهد شد. می توان عیوبی مانند ترک را بعد از برداشتن و سنگ زنی با این روش تعمیر کرد.

این روش برای سطوحی که زمینه آنها فولاد کربنی می باشد مناسب است و بهتر است که به عنوان یک روش مرسوم برای همه فلزات و آلیاژها استفاده نشود. جوشکاری های سطحی مقاوم به خوردگی و سایش که در ASME IX برای آنها جداول جداگانه ای برای تعریف متغیر ها تعریف شده است جز این نوع جوشکاری ها لحاظ می شوند. در جوش های سطحی با اصطلاحات متنوعی مانند Ovrlay ، Build Up و Buttring مواجه هستیم که هر کدام تعریف خاص خود را دارد.

Overlay : ایجاد یک لایه جوشکاری سطحی مقاوم به خوردگی و سایش روی یک فلز پایه ، به عنوان مثال استفاده از فیلر و الکترود های از جنس فولاد ضد زنگ روی سطح یک فولاد کربنی

Build Up : به مفهوم بازسازی سطح معیوب یک فلز پایه

Buttering : آسترکاری یا ترمیم محل های آسیب دیده به صورت جزئی وبا ضخامت های کم.

۲-۱۱-۲: محدودیت ها:

تناسب این روش تعمیراتی با عیوب مختلف در جدول ذیل نشان داده شده است. این روش برای کاهش ضخامت های موضعی مناسب می باشد. و برای کاهش ضخامت های عمومی ، تورق ، ترک محیطی و طولی نامناسب عنوان شده است. برای کندگی ، تاول و خوردگی های حفره ای نیز می بایست شرایط بررسی شود ممکن است امکان استفاده از آن وجود داشته باشد.

جدول ۲-۴۵: تناسب استفاده از روش ترمیم سطحی با جوشکاری برای عیوب مختلف

General wall Thinning	Local wall Thinning	Pitting	Gouges	Blisters	Laminations	Circumferential Crack	Longitudinal
N	Y	S	S	S	N	N	N

۲-۱۱-۳: طراحی

قبل از شروع جوشکاری می بایست به این موضوع توجه داشت که مکانیزم خوردگی و تخریب سطح چه بوده و با چه سرعتی انجام شده است. و ترمیم سطح یا کلد با روش جوشکاری چه اثراتی روی فلز دارد. آیا سرعت تخریب کاهش پیدا می کند ، تاثیری ندارد و یا با عث تشدید تخریب می گردد.

برای این روش تعمیراتی نیز می بایست (WPS,PQR) تهیه و تدوین شود و آزمون های مورد نیاز بر اساس ASME IX انجام شود.

جدول QW453 از کد ASME IX شرایط ضخامت و دامنه مورد تائید را برای دستورالعمل و اجرا مشخص کرده است در جدول ضخامت نمونه و شرایط تست برای دستورالعمل قید شده است.

جدول ۲-۴۶ : نمونه تست جوشکاری و محدوده ضخامتی برای جوشکاری های سطحی –دستورالعمل (WPS,PQR)

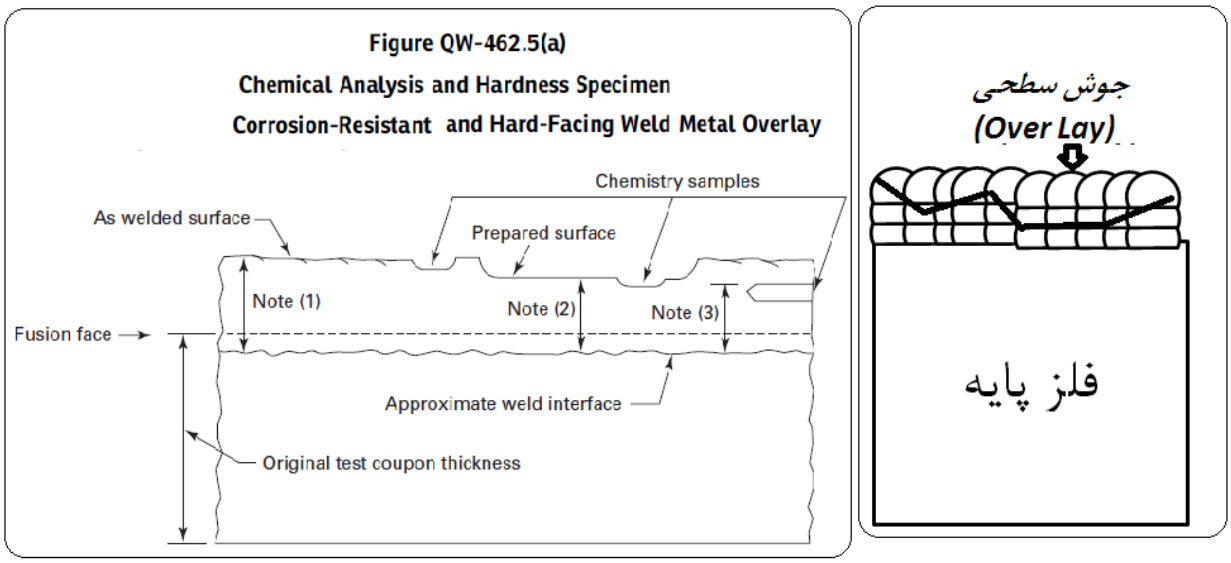
Corrosion-Resistant Overlay				Hard Facing Overlay(Wear Resistant)		
ضخامت نمونه جوشکاری (میلیمتر)	دامنه ضخامت تحت پوشش PQR برای جوش		نوع و تعداد تست های مورد نیاز	دامنه ضخامت تحت پوشش PQR برای جوش		نوع و تعداد تست های مورد نیاز
	کمترین	بیشترین		کمترین	بیشترین	
T<25mm	T	نامحدود	PT, Bend Test and PMI	*T*	*25mm*	PT, Bend Test and PMI,Hardness Test
T>25mm	25mm	نامحدود		*25mm*	نامحدود	

-طول و عرض قطعه ای که به عنوان نمونه جوشکاری تهیه می شود نباید کمتر از ۱۵۰ میلیمتر باشد. ابعاد جوش سطحی (Ovrlay) حداقل می بایست 38mm×150mm باشد.

- حداقل قطر لوله ای که برای نمونه جوشکاری انتخاب می شود نباید از ۶ اینچ کمتر باشد.

- انجام آزمون مایعات نافذ برای جوشکاری سطحی مقاوم به سایش (Hard Facing) و مقاوم به خوردگی ضروری است.

- آنالیز شیمیایی سطح جوش (PMI) و تهیه ۴ نمونه خمش از قطعه جوشکاری شده برای جوش های سطحی مقاوم به خوردگی ضروری است. برای مشخص کردن آنالیز شیمیایی می بایست سطح جوش مانند آنچه در QW462.5a نشان داده شده آماده سازی شود.



شکل ۲-۶۷: انجام آزمون آنالیز شیمیایی در عمق های مختلف جوش های سطحی

- آنالیز شیمیایی می بایست در عمق های مختلف جوش انجام شود و سطح جوش را پوشش دهد.

- سختی سنجی از جوشکاری سطحی مقاوم به سایش(حداقل ۳ نقطه) انجام شود.

تعداد لایه هایی که در عمل جوشکاری می شوند نباید نسبت به نمونه PQR کمتر باشد. در زمانیکه جوشکاری به روش بستر گرمایی انجام می شود تعداد پاس های جوشکاری نباید از ۲ و ضخامت هر لایه جوش نباید از ۳ میلیمتر کمتر باشد. اگر در جوشکاری لایه های مختلف به صورت یک ردیفه نیستند ردیف های مختلف می بایست با یکدیگر هم پوشانی داشته باشند.سایر مواردی که می بایست برای جوش های سطحی در نظر گرفت عبارتند از

- انتخاب فیلر و الکترود به صورت صحیح انجام شود.

-محاسبات ضخامت بر اساس ASME VIII-Div 1-UCL23 انجام شود.

- تفاوت ضریب انبساط حرارتی جوش سطحی و فلز پایه در نظر گرفته شود.

- خوردگی گالوانیکی بین جوش سطحی و فلز پایه بررسی شود.

۲-۱۱-۴: ساخت:

سطحی که قرار است روی آن جوشکاری شود می بایست تمیز و عاری از هر گونه آلودگی باشد. دستورالعمل های جوشکاری مطابق با ASME IX تهیه و متغیر های ضروری و غیر ضروری لحاظ شود.

بررسی متغیر های جوشهای مقاوم به خوردگی و سایش در ASME IX در جداول جداگانه ای بررسی شده است. به عنوان مثال جدول زیر وضعیت این متغیر ها را برای روش جوشکاری SMAW مشخص کرده است.

از مهمترین متغیر هایی که بررسی می شود گرمای ورودی می باشد. تغییر در گرمای ورودی برای جوشهای سطحی مقاوم به خوردگی و سایش یک متغیر ضروری محسوب می شود. متغیر مهم دیگر دمای پیش گرم می باشد.

جدول ۲-۴۷ : متغیر های ضروری برای جوش های سطحی مقاوم به خوردگی و سایش برای روش جوشکاری SMAW

Table QW-253.1
Welding Variables Procedure Specifications (WPS) — Shielded Metal-Arc Welding (SMAW)

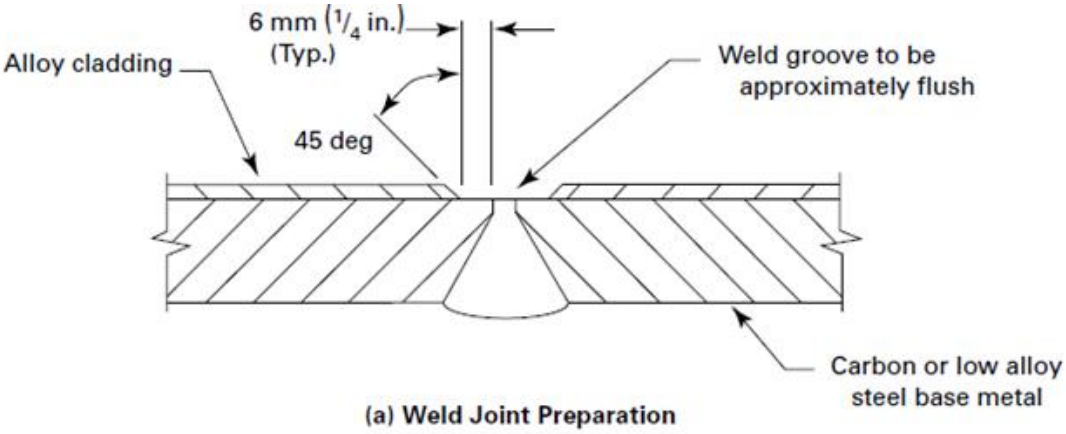
Paragraph		Special Process Variables: Essential Variables — Hard-Facing Overlay (HFO) (QW-216)	Special Process Variables: Essential Variables — Corrosion-Resistant Overlay (CRO) (QW-214)	Special Process Variables: Nonessential Variables for HFO and CRO
QW-402 Joints	.16	< Finished t	< Finished t	
QW-403 Base Metals	.20	ϕ P-Number	ϕ P-Number	
	.23	ϕ T Qualified	ϕ T Qualified	
QW-404 Filler Metals	.12	ϕ Classification		
	.37		ϕ A-Number	
	.38			ϕ Diameter (1st layer)
QW-405 Positions	.4	+ Position	+ Position	
QW-406 Preheat	.4	Dec. > 100°F (55°C) preheat > Interpass	Dec. > 100°F (55°C) preheat > Interpass	
QW-407 PWHT	.6	ϕ PWHT		
	.9		ϕ PWHT	
QW-409 Electrical Characteristics	.4	ϕ Current or polarity	ϕ Current or polarity	
	.22	Inc. > 10% 1st layer	Inc. > 10% 1st layer	
QW-410 Technique	.1			ϕ String/weave
	.5			ϕ Method of cleaning
	.26			± Peening
	.38	ϕ Multiple to single layer	ϕ Multiple to single layer	

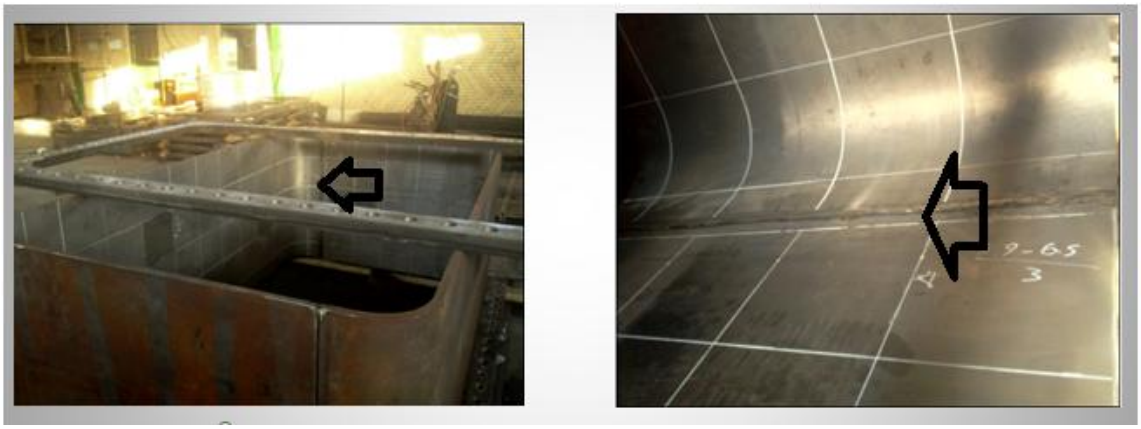
ضخامت لایه های جوشکاری می بایست مشخص و آزمون های غیر مخرب مناسب جهت ارزیابی ارایه شود.

نمونه لایه جوش فلزی که برای ترمیم کلد استفاده می شود در شکل ۲-۶۷ نشان داده شده است. جوشی که برای ترمیم کلد استفاده می شود نباید بیش از ۱/۵ میلیمتر پایین تر از خط نفوذ لایه کلد باشد.

برای مشخص کردن سطح کلد قدیم می بایست فرایند اچ را با اسید نیتریک یا حلال سولفات مس انجام و مرز کلد و فلز پایه مشخص شود.

در این روش تعمیری که ورق های اولیه دارای کلد هستند و می بایست تعمیر شوند. در ناحیه تعمیر لازم است حداقل تا ۶ میلیمتر پردازش و سنگی زنی شود.





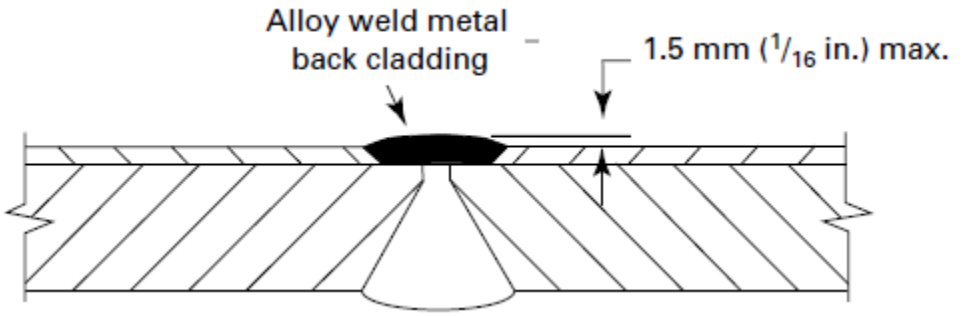
شکل ۲-۶۸: نمونه اتصال یا تعمیر قطعاتی که دارای کلد هستند.

از جمله موارد خاصی که می بایست مد نظر داشت. عملیات حرارتی جهت هیدروژن زدایی می باشد. تنش زدایی میانی که جهت هیدروژن زدایی است می بایست قبل از اعمال جوشکاری سطحی انجام شود. این موضوع برای فلزاتی که حاوی ۲/۲۵ کرم و یا ضخامت های بزرگتر از ۳۸ میلیمتر از اهمیت زیادی برخوردار می باشد.

۲-۱۱-۵: آزمون ها:

قبل از شروع جوشکاری تعمیری آزمون های غیر مخرب سطحی مانند مایعات نافذ و ذرات مغناطیسی انجام شود.در صورت مشاهده عیب لازم است عیب برداشته و تعمیر انجام گردد. معیار های پذیرش می بایست مطابق با استاندارد های طراحی و ساخت باشد.

بعد از انجام جوشکاری نیز می بایست آزمون های غیر مخرب مناسب مانند PTو MT انجام شود. اگر ضخامت لایه جوشکاری از ۹/۵ میلیمتر بیشتر باشد لازم است آزمون های حجمی مانند UT و RT نیز انجام شود.



شکل ۲-۶۹: جوش تمام شده سطحی برای ترمیم کلد

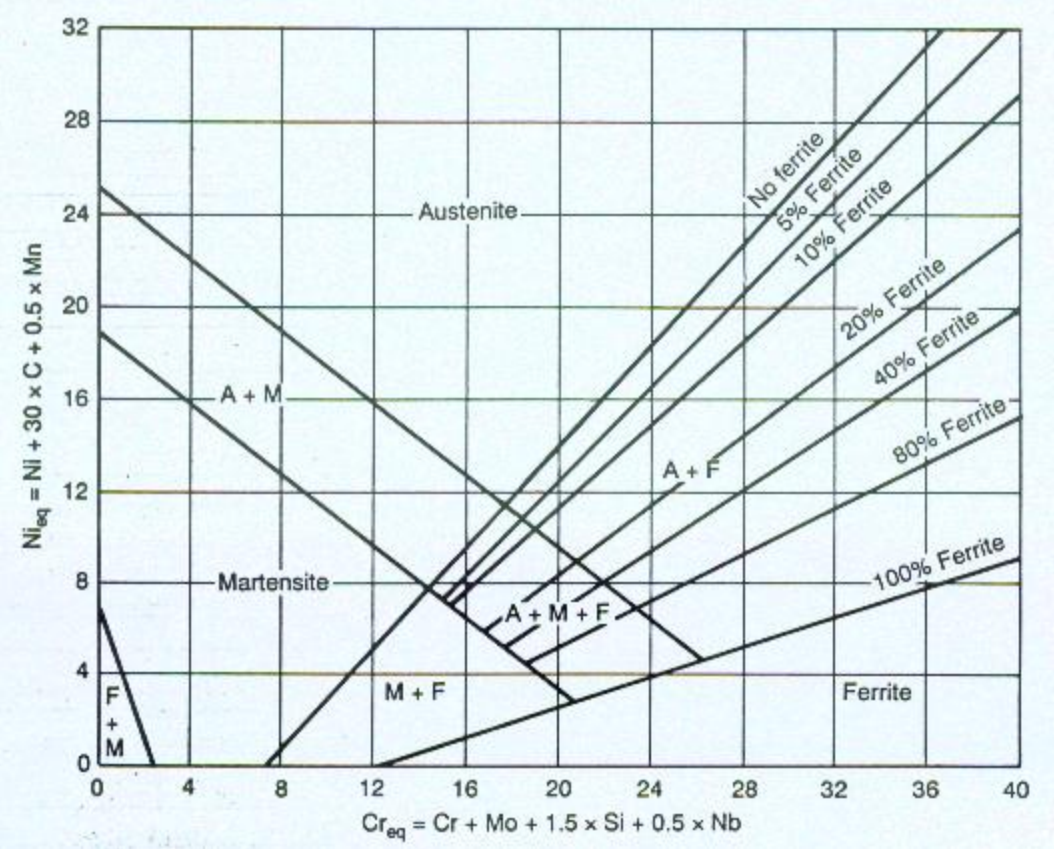
در زمانیکه لایه معیوب کلد که از جنس فولاد ضدزنگ است برداشته می شود. لازم است سطح عاری از فولاد ضدزنگ باشد به همین دلیل قبل از شروع جوشکاری می بایست از حلال سولفات مس جهت ارزیابی استفاده کرد.

۲-۱۱-۶ تست ها(Testing)

یکی از آزمون هایی که برای این جوش ها انجام می شود انجام آنالیز شیمیایی می باشد. این آزمون بعد از تهیه و ارسال نمونه PQR به آزمایشگاه در عمق های مشخصی انجام که به آن عمق موثر می گویند.(شکل ۲-۶۷)

آنالیز شیمیایی بر اساس ASME II-PartC انجام شود.

فریت سنجی نیز از آزمون های مهمی است که باید انجام شود. و عدد فریت مشخص گردد. یکی از روش ها یاندازه گیری عدد فریت محاسبه کرم معادل و نیکل معادل بر اساس آنالیز شیمیایی و استفاده از نمودار زیر جهت محاسبه عدد فریت می باشد. روش دیگر نیز استفاده از آزمون مستقیم جهت فریت سنجی می باشد.



شکل ۲-۷۰: نمودار تعیین فریت بر اساس کرم معادل و نیکل معادل

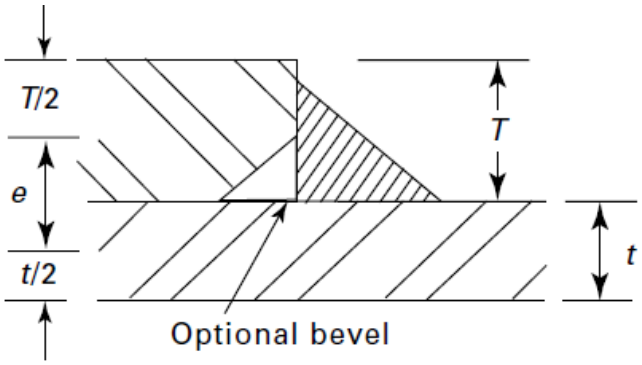
- برای فولاد های ضد زنگ 304، 304L ، 316L و 317L عدد فریت می بایست بین ۴ تا ۱۰ ، برای فولاد 347 عدد فریت بین ۳ و ۱۰ مورد تایید است.

برای آلیاژهای مونل گروه ۴۰۰ (Ni-Cu) نیز آزمونی به نام فری سیانید تعریف شده است.

هیدروتست معمولا برای ترمیم کلد و جوش های سطحی نیاز نیست ولیکن باز هم مبنا اسپک کارفرما و نظر بازرسی فنی می باشد.

۲-۱۲: وصله های روکار (Fillet Weld Patch)

این روش مانند آنچه که در فصل ۲-۷ گفته شد می باشد. ولیکن در اینجا پلاگ های جوشی استفاده نمی شود.در بخش ۲-۷ فرمول محاسبه تنش وارد بر جوش وصله و یا Patch از فرمول ذیل محاسبه می شود.



$$S_w = (PD_m/2T) + (3PD_m e/T^2)$$

where
e = load path eccentricity $(T + t)/2$, mm (in.)
S_w = calculated weld stress, MPa (psi); $S_w \le 1.5S_a$
T = wall thickness of patch plate, mm (in.)

شکل ۲-۷۱: محاسبه تنش در جوش وصله های روکار

تناسب روش تعمیراتی مذکور برای عیوب مختلف در جدول ذیل مشخص شده است.

جدول ۲-۴۵ تناسب استفاده از روش ترمیم سطحی با جوشکاری برای عیوب مختلف در جدول ۲-۴۹ قید شده است. این روش برای کاهش ضخامت های عمومی و تورق مناسب نمی باشد. برای خوردگی های موضعی ، حفره ای و کندگی روش مناسبی می باشد. استفاده از روش برای عیوب مانند تاول و ترک با در نظر گرفتن تمهیداتی بلامانع می باشد.

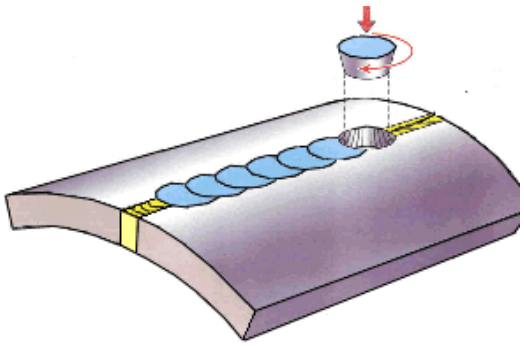
جدول ۲-۴۸: تناسب روش تعمیراتی وصله روکار برای عیوب مختلف

General wall Thinning	Local wall Thinning	Pitting	Gouges	Blisters	Laminations	Circumferential Crack	Longitudinal
N	Y	Y	Y	S	N	R	R

۲-۱۳: استفاده از پلاگ های رزوه ای جهت تعمیر(Thread-Welded Plug)

۲-۱۳-۱: توضیحات:

در این روش هم برای عیوبی که منجر به نشتی نشده و هم برای هم برای عیوبی که نشتی رخ داده است می تواند استفاده شود. استحکام از دست رفته با اتصال رزوه ای و آب بندی با جوش سطحی انجام می شود. ابتدا محل عیب یا نشتی با مته مناسب سوراخ شود و بعد از ایجاد رزوه مناسب در محل سوراخ شده، پیچ مناسب در محل نصب می شود. و سپس جوشکاری سطحی روی سطح بیرونی پیچ انجام و آزمون های مورد نیاز انجام می شود.



شکل ۲-۷۲: نمونها پلاگ برای رفع عیب و نشتی

۲-۱۳-۲ :محدودیت ها

محدودیت های این روش در فصل ۱ قید شده است. از مهمترین محدودیت های این روش عدم امکان استفاده از آن برای خوردگی ها و عیوب وسیع می باشد. بنابرای برای خوردگی های عمومی ، تاول ، تورق مناسب نمی باشد.

جدول ۲-۴۹: تناسب روش تعمیراتی پلاگ رزوه ای(جوشی) برای عیوب مختلف

General wall Thinning	Local wall Thinning	Pitting	Gouges	Blisters	Laminations	Circumferential Crack	Longitudinal
N	Y	Y	Y	S	N	R	R

با توجه به اینکه ممکن است در ابتدا و انتهای پلاگ خوردگی شیاری رخ دهد بنابراین لازم است این موضوع برای محیط های خوردنده مد نظر قرار گیرد.

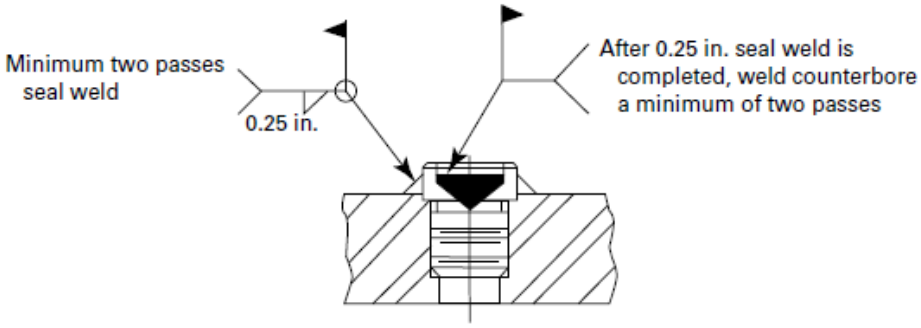
۲-۱۳-۲ طراحی:

شکل ۲-۷۳ نمونه هایی از این روش تعمیراتی را نشان می دهد .تعداد رزوه هایی که وجود دارند استحکام از دست رفته را جبران می کنند. و جوش وظیفه انجام آب بندی را انجام می دهد.

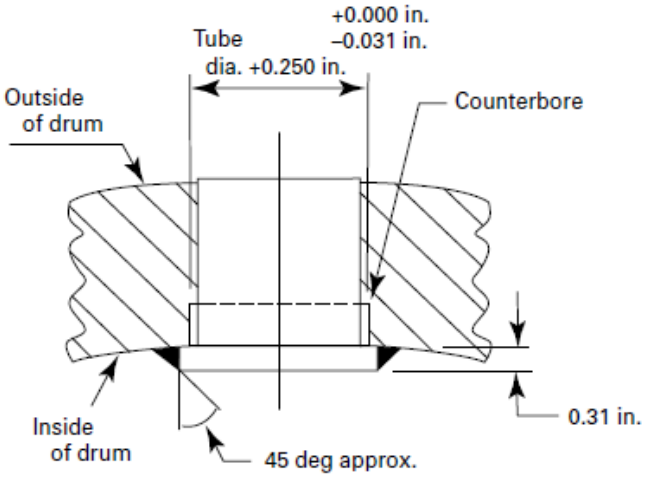
پلاگ رزوه ای که استفاده می شود . می بایست از نظر نوع متریال، استحکام ، ضریب انبساط حرارتی حتی المقدور با فلز پایه مطابقت داشته باشد . از استفاده از فلزات غیر مشابه با فل ز پایه خودداری شود . مگر اینکه توسط مهندس طراح بررسی و تایید گردد.

اندازه رزوه ها ، فاصله آنها، تعداد رزوه بر واحد طول (با توجه به قطر) و... رعایت گرد..

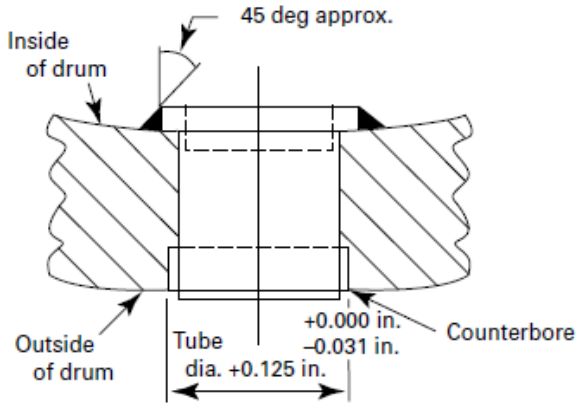
اندازه انتخاب پلاگ مناسب از نظر ابعاد و عکس العمل رزوه ها در برابر فشار داخلی بررسی شوند.



(a) Plug Welded in Position



(b) Plug Arrangement for Tube Holes With Inside Counterbore



(c) Plug Arrangement for Tube Holes Having No Counterbore or With Outside Counterbore

شکل ۲-۷۳: نمونه هایی از پلاگ رزوه ای برای تعمیرات

۲-۱۳-۴: ساخت

محل عیب مشخص و ابعاد آن با آزمون های غیر مخرب مناسب مشخص شود. آیا ابعاد عیب به گونه ای است که بتوان از پلاگ استفاده کرد یا خیر؟ بعد از بررسی محل عیب سوراخکاری با مته مناسب انجام و رزوه های مناسب در سوراخ ایجاد شود. آزمون های مناسب سطحی بعد از پردازش سطح (قبل و بعد از ایجاد رزوه) جهت شناسایی عیوب احتمالی سطحی از جمله ترک انجام شود. بعد از نصب پلاگ رزوه ای مناسب در محل سوراخ، با توجه به شرایط سطح خارجی پلاگ با جوش آب بند شود.

از روغن کاری رزوه های پلاگ و محل سوراخکاری شده خودداری شود. زیرا در انجام جوشکاری ایجاد مشکل می شود.

۲-۱۳-۵: آزمون ها (Examination)

آزمون های سطحی مانند VT ، PT وmt روی سطح در همه مراحل انجام شود.

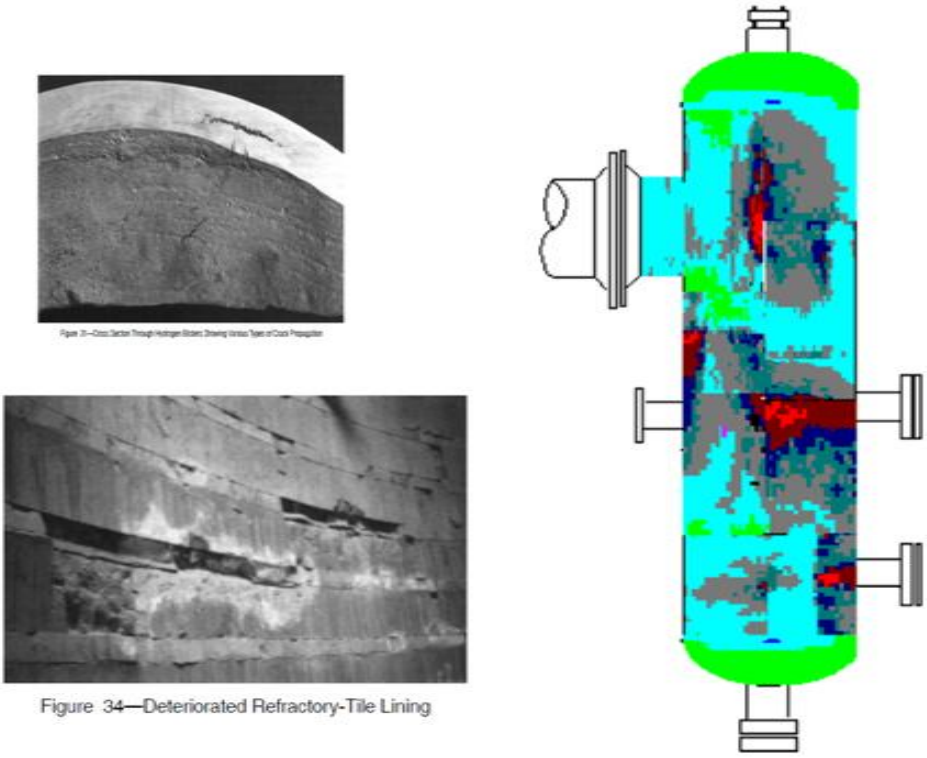
۲-۱۳-۶: تست ها(Testing)

هیدروتست، تست نشتی و تست استحکام ممکن است انجام شود.

۲-۱۴ عملیات حرارتی میدانی روی ظرف تحت فشار

۲-۱۴-۱ توضیحات

فرایند های گرمایی ناشی از بهره برداری باعث ایجاد تخریب در فلز می شود. این تخریب ها می توانند به صورت موضعی و ناشی از دمای سیال باشند. برای ظروف تحت فشاری که دارای عایق داخلی هستند. در صورت تخریب عایق داخلی خطر تخریب های حرارتی ناشی از دمای سیال وجود دارد.



شکل ۲-۷۴: نمونه ای از تخریب حرارتی در ظروف تحت فشار-دارای عایق حرارتی داخلی

برخی از این تخریب ها نیز می تواند ناشی از برخورد مستقیم مشعل باشد که در بویلر ها و کوره ها بسیار شایع است. ولی عملیات حرارتی ظروف تحت فشار در تعمیرات حین بهره برداری یک فرایند مفید و کارا است که از کاربردهای مهم آن هیدروژن زدایی ، بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی می باشد.

۲-۱۴-۲ طراحی ، ساخت و محدودیت ها

اعمال عملیات حرارتی روی ظرف تحت فشار می تواند به صورت موضعی و کل ظرف باشد. انجام آن می تواند با مشعل، ا لمنت های حرارتی ، به صورت داخلی و خارجی باشد. بسته به نوع فعالیتی که انتظار داریم نوع انجام عملیات حرارتی نیز متفاوت می باشد. از استاندارد هایی که می توان در این خصوص به آنها مراجعه کرد API510 و WRC-452[۳۳] می باشد.

دمای انجام تنش زدایی، زمان نگهداری با توجه به تنش های پس ماند ، هیدروژن زدایی و... محاسبه شود. در زمان انجام عملیات حرارتی امکان تخریب های حرارتی ناشی از حرارت بسیار زیاد است. محاسبات لازم و تمهیدات مورد نیاز جهت پیشگیری از این تخریب ها انجام شود.

این موضوع که انجام عملیات حرارتی باعث تخریب فونداسیون بتنی ، تحت تاثیر قرار گرفتن انکر ها، فلنج ها و.. می شود بررسی گردد.

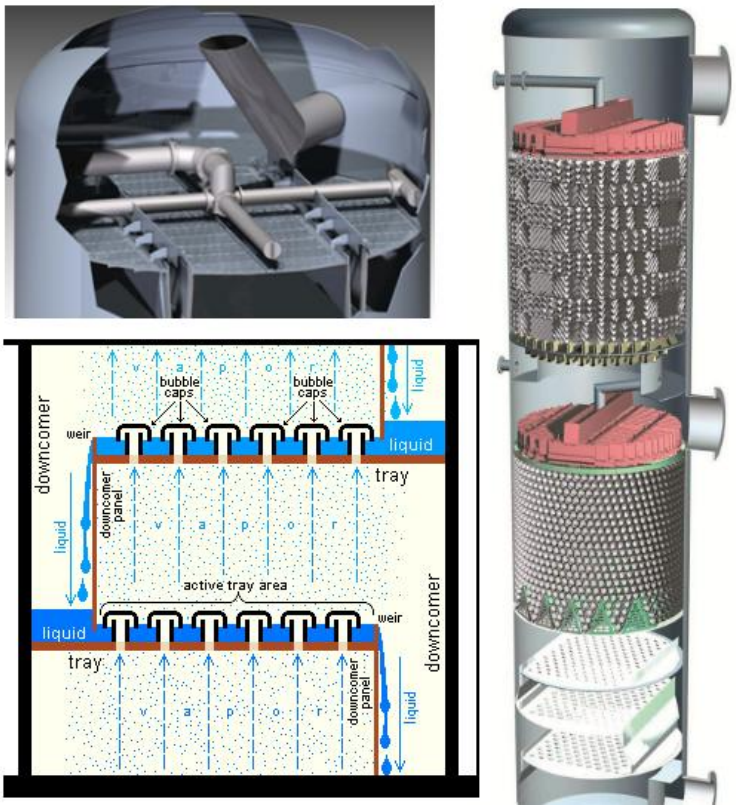
یکی از مواردی که می بایست بررسی شود این است که در عملیات حرارتی در دمای (حدود) ۶۵۰ درجه سانتیگراد،انبساط و انقباضی معادل ۸ میلیمتر در یک متر وجود دارد. با توجه به نوع ظرف تحت فشار می بایست

برای کاهش پیامد های احتمالی حتی المقدور ظرف از روی ساپورت های خود به صورت کامل باز و بعد از انجام عملیات حرارتی مجددا نصب گردد.

اجزای داخلی برج ها که دارای سینی هستند و سینی ها نیز گاها گسکت ها و آب بند های غیر فلزی دارند. در عملیات حرارتی داخل سایت مستعد تخریب های مکانیکی زیادی هستند. تخریب هایی مانند اعوجاج در خود سینی و آسیب های گسکت های بین ساپورت و سینی، در برجها در هنگام انجام این نوع عملیات گرمایی دور از انتظار نیست.

ظروف تحت فشار که دارای عایق داخلی و خارجی هستند امکان تخریب عایق آنها وجود دارد.

[33] -Welding Research Council(WRC-452)

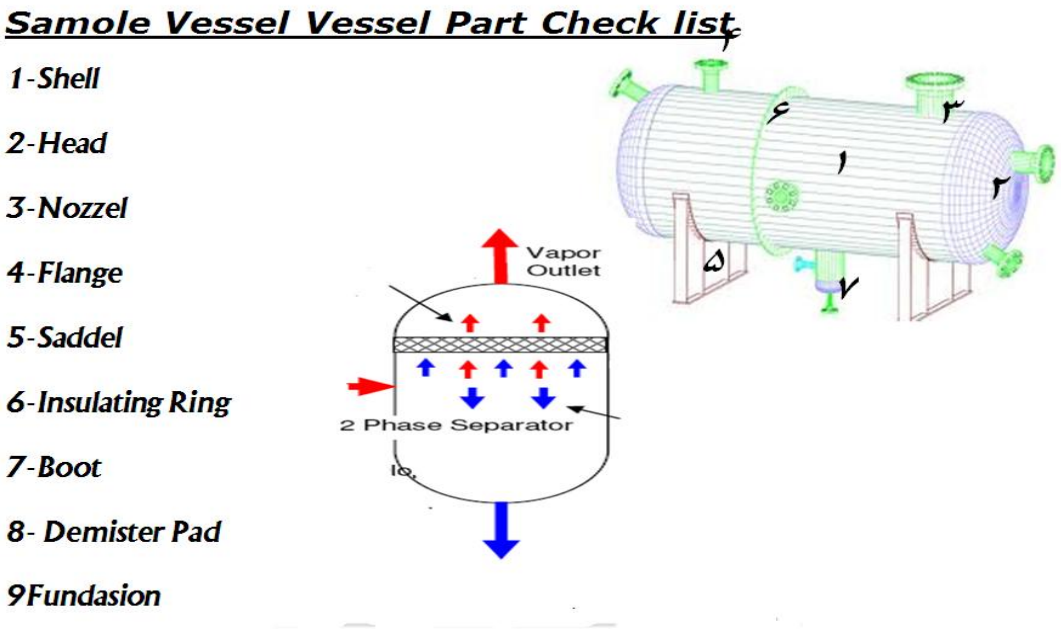


شکل ۲-۷۵:نمونه ای از اجزای داخلی برج (Tower)

وضعیت انجام عملیات حرارتی به گونه باشد که امکان کنترل آن وجود داشته باشد. با نصب ترموکوپل در جاهای مختلف پایش دما انجام شود.

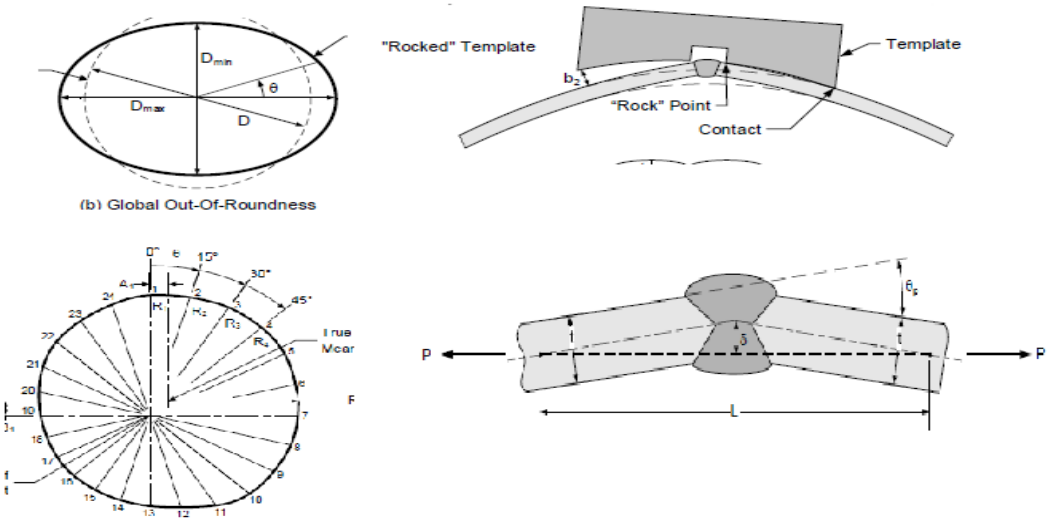
۲-۱۴-۳: آزمون ها

چک لیستی تهیه و وضعیت همه اجزا قبل و بعد از عملیات گرمایی بررسی شود. نمونه ای از چک لیست در شکل ذیل مشخص شده است.



شکل۲-۷۶: نمونه چک لیست بررسی وضعیت اجزای ظرف تحت فشار

وضعیت هر بخش قبل و بعد از انجام عملیات گرمایی مشخص شود. به عنوان مثال برای بدنه هم راستایی، حالت عمودی بودن، اعوجاج و... به صورت کامل بررسی شود.سیستم های لوله کشی اطراف نظر خمش ، عدم هم راستایی و... قبل و بعداز انجام عملیات گرمایی مشخص شود.

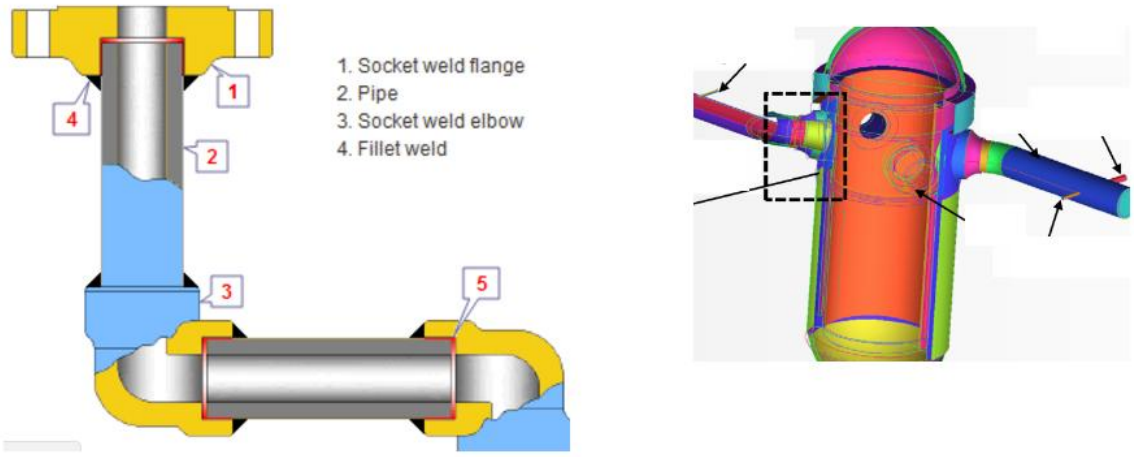


شکل ۲-۷۷: عیوب احتمالی ناشی از عملیات حرارتی

۲-۱۴-۴: تست ها(Testing)

تست ه‌ای غیر مخرب مناسب مانند MT ، PT و VT روی سطوح انجام شود و اطمینان حاصل شود که ترک به ویژه در جوش انشعابات و ساپورت رخ نداده است. بررسی ساختار نیز با استفاده از رپلیکا انجام شود.

آزمون های قید شده در API 510 نیز انجام شود.



شکل ۲-۷۸ : محل ه‌ای پیشنهادی انجام تست های سطحی بعد از انجام عملیات گرمایی در سایت.