۸.۴– روشهای جایگزین پیشگرم در جوشکاری

4.8- Alternative to Traditional Welding Preheat

۱- شرح

۱,۱. کلیات

پیشگرم در عملیات جوشکاری شامل گرم کردن تا دمای بالاتر از محیط در زمان قبل و حین جوشکاری بوده و در اکثر کدهای ساخت و بهره برداری الزام گردیده است. می توان تحت شرایط خاصی از روشهای جایگزین استفاده نمود. صرفنظر از الزام یا عدم الزام پیشگرم، مزایای آن شامل موارد زیر می شود:

a) کاهش تنشهای انقباضی در جوش و ناحیه مجاور فلز پایه و خصوصاً در اتصالات دارای قید و بند بالا
b) با کم کردن نرخ سرمایش منجر به پیشگیری از افزایش بیش از حد سختی و جلوگیری از کاهش داکتیلیتی در جوش و منطقه متاثر از حرارت HAZ می گردد.
c) با کاهش نرخ سرمایش خصوصاً از زیر $400^{o}F$ به پایین سبب می شود تا هیدروژن نفوذی احتمالی زمان بیشتری جهت خروج از جوش و فلز پایه مجاور داشته باشد و احتمال ترک خوردگی ناشی از هیدروژن کاهش یابد.

موانعی نظیر حضور پوشش یا دیگر تجهیزات و قطعات در نزدیکی محل اتصال ممکن است قابلیت اجرایی عملیات پیشگرم را با چالش روبرو نموده و انجام آن را غیر عملی نماید. در صورتی که بتوان با اعمال حداکثر میزان مجاز حرارت ورودی مطابق دستورالعمل جوشکاری تایید شده، حرارت پخش شده در قطعه را به تعادل رسانیده و دمای قطعه از حداقل دمای پیشگرم فراتر رود، می توان به عنوان یک روش جایگزین عملیات پیشگرم استفاده نمود. اساس این مقاله نیز بر همین اصل استوار است، یعنی افزایش حرارت ورودی به قطعه تا سقف مجاز بر اساس دستورالعمل جوشکاری تایید شده تا بتوان دمای قطعه را از حداقل میزان دمای پیشگرم فراتر برد. به همین منظور انتخاب و کنترل دقیق پارامترهای تاثیر گذار در حرارت ورودی نظیر مواد مصرفی، تکنیک و ترتیب مهره های جوش از عوامل تاثیرگذار در این روش جایگزینی پیش گرم است.

۱,۲. الزامات پیشگرم بر اساس استانداردهای مختلف

قبل از اینکه به بررسی روشهای جایگزین پیشگرم می بایست الزامات عملیات پیشگرم بر اساس استانداردهای مختلف را مرور نماییم که در قسمتهای زیر به ان اشاره گردیده است.

۱,۳. الزامات پیشگرم در ظروف تحت فشار

در استاندارد ASME Sec VIII-Div1 الزامات پیشگرم در ضمیمه R به عنوان یک پارامتر غیرالزامی[۱] ذکر گردیده است. بر اساس این استاندارد پیشگرم تنها زمانی الزامی خواهد بود که به عنوان یکی از روشهای جایگزین تنش زدایی به کار رود. به عنوان مثال بر اساس جدول UCS-56.1 در فولادکربنی با P-No 1 برای ضخامتهای بین ۳۲ الی ۳۸ میلمتر می توان با انجام پیشگرم با دمای 95°C از تنش زدایی صرف نظر نمود(جدول ۱).

جدول ۱– الزامات تنش زدایی بر اساس UCS-56.1 برای فولادهای کربنی P-1

Table UCS-56-1
Postweld Heat Treatment Requirements for Carbon and Low Alloy Steels — P-No. 1

Material	Normal Holding Temperature, °F (°C), Minimum	Minimum Holding Time at Normal Temperature for Nominal Thickness [See UW-40(f)]		
		Up to 2 in. (50 mm)	Over 2 in. to 5 in. (50 mm to 125 mm)	Over 5 in. (125 mm)
P-No. 1 Gr. Nos. 1, 2, 3	1,100 (595)	1 hr/in. (25 mm), 15 min minimum	2 hr plus 15 min for each additional inch (25 mm) over 2 in. (50 mm)	2 hr plus 15 min for each additional inch (25 mm) over 2 in. (50 mm)
Gr. No. 4	NA	None	None	None

GENERAL NOTES:

(a) When it is impractical to postweld heat treat at the temperature specified in this Table, it is permissible to carry out the postweld heat treatment at lower temperatures for longer periods of time in accordance with Table UCS-56.1.

(b) Postweld heat treatment is mandatory under the following conditions:

(1) for welded joints over 1½ in. (38 mm) nominal thickness;

(2) for welded joints over 1¼ in. (32 mm) nominal thickness through 1½ in. (38 mm) nominal thickness unless preheat is applied at a minimum temperature of 200°F (95°C) during welding. This preheat need not be applied to SA-841 Grades A and B, provided that the carbon content and carbon equivalent (CE) for the plate material, by heat analysis, do not exceed 0.14% and 0.40%, respectively, where

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

بر اساس ضمیمه R میزان دمای پیش گرم برای برخی متریالهای رایج به شرح زیر است :

P-1 Gr 1,2&3 :

- برای متریالهایی که کربن معادل آنها بالاتر از 0.3 بوده و هم چنین ضخامت بالاتر از 25mm حداقل 79°C پیشگرم توصیه می شود.
- هم چنین حداقل پیشگرم 10°C برای تمامی متریالها توصیه می شود.

P-3 Gr 1,2&3 :

[۱] - Nonmandatory

- برای متریالهایی که حداکثر میزان استحکام کششی UTS آنها از 70,000 psi (480MPa) بیشتر بوده یا ضخامت آنها از 13mm بیشتر است، حداقل پیشگرم 79°C توصیه می شود.
- هم چنین حداقل پیشگرم 10°C برای تمامی متریالها توصیه می شود.

P-4 Gr 1 & 2 :

- برای متریالهایی که حداکثر میزان استحکام کششی UTS آنها از 60,000 psi (410MPa) بیشتر بوده یا ضخامت آنها از 16mm بیشتر است، حداقل پیشگرم 121°C توصیه می شود.
- هم چنین حداقل پیشگرم 10°C برای تمامی متریالها توصیه می شود.

P-5A,P-5B Gr 1 :

- برای متریالهای که حداکثر میزان استحکام کششی UTS آنها از 60,000 psi (410MPa) بیشتر بوده یا حداقل کروم معادل ۶ درصد و ضخامت بالاتر از 13mm باشد، حداقل پیشگرم 204°C توصیه می شود.
- هم چنین حداقل پیشگرم 149°C برای تمامی متریالها توصیه می شود.

P-6 Gr1,2&3 :

- حداقل دمای پیشگرم برای این متریالها با تمامی ضخامتها 204°C می باشد.

P-7 Gr 1 & 2 :

- نیاز به پیشگرم ندارد.

P-8 Gr 1 & 2 :

- نیاز به پیشگرم ندارد.

نحوه محاسبه میزان کربن معادل بر اساس استاندارد فوق به شرح زیر می باشد :

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

۱,٤. الزامات پیشگرم در سیستم لوله کشی

الزامات پیش گرم در سیستم لوله کشی فرآیندی در استاندارد ASME B31.3 جدول 330.1.1 بیان گردیده است که در جدول شماره ۲ مشاهده می نمایید.

جدول ۲-الزامات پیشگرم بر اساس استاندارد ASME B31,3-2014

Table 330.1.1 Preheat Temperatures

Base Metal P-No. [Note (1)]	Base Metal Group	Greater Material Thickness mm	Greater Material Thickness in.	Additional Limits [Note (2)]	Required Minimum Temperature °C	Required Minimum Temperature °F
1	Carbon steel	≤25	≤1	%C > 0.30 [Note (3)]	10	50
		>25	>1	%C ≤ 0.30 [Note (3)]	10	50
		>25	>1	%C > 0.30 [Note (3)]	95	200
3	Alloy steel, Cr ≤ ½%	≤13	≤½	SMTS ≤ 450 MPa (65 ksi)	10	50
		>13	>½	SMTS ≤ 450 MPa (65 ksi)	95	200
		All	All	SMTS > 450 MPa (65 ksi)	95	200
4	Alloy steel, ½% < Cr ≤ 2%	All	All	None	120	250
5A	Alloy steel	All	All	SMTS ≤ 414 MPa (60 ksi)	150	300
		All	All	SMTS > 414 MPa (60 ksi)	200	400
5B	Alloy steel	All	All	SMTS ≤ 414 MPa (60 ksi)	150	300
		All	All	SMTS > 414 MPa (60 ksi)	200	400
		≤13	≤½	%Cr > 6.0 [Note (3)]	200	400
6	Martensitic stainless steel	All	All	None	200 [Note (4)]	400 [Note (4)]
9A	Nickel alloy steel	All	All	None	120	250
9B	Nickel alloy steel	All	All	None	150	300
10I	27Cr steel	All	All	None	150 [Note (5)]	300 [Note (5)]
15E	9Cr–1Mo–V CSEF steel	All	All	None	200	400
...	All other materials	...	...	None	10	50

NOTES:
(1) P-Nos. and Group Nos. from BPV Code, Section IX, QW/QB-422.
(2) SMTS = Specified Minimum Tensile Strength.
(3) Composition may be based on ladle or product analysis or in accordance with specification limits.
(4) Maximum interpass temperature 315°C (600°F).
(5) Maintain interpass temperature between 150°C and 230°C (300°F and 450°F).

۱,۵. الزامات پیشگرم در خطوط لوله هیدروکربنی

مطابق تصویر ۱ بر اساس بند 434.8.8 استاندارد خطوط لوله انتقال سیالات هیدروکربنی مایع ASME B31.4 در مورد حداقل ضخامت مورد نیاز برای انجام پیشگرم صحبتی نگردیده و بر مبنای الزامات کارفرما و قوانین داخلی می باشد.

۱,٦. الزامات پیشگرم در خطوط لوله گاز

مطابق تصویر ۲ بر اساس بند 824 استاندارد خطوط لوله گاز ASME B31.8 در صورتی که میزان کربن از 0.32% وزنی یا کربن معادل از 0.65% بالاتر باشد نیاز به پیش گرم است که میزان دمای پیش گرم بر اساس دستورالعمل های کارفرما مشخص می شود. در صورت اتصال دو فلز غیر هم جنس نیز الزام پیش گرم با فلزی خواهد بود که دمای پیشگرم بالاتری دارد.

434.8.8 Preheating and Interpass Temperature

(a) The welding procedure specification shall specify the minimum preheat temperature. When the welding procedure specification specifies preheating above ambient temperatures, the method of heating shall be specified. For heat treated and other high strength materials and impact tested materials, control of interpass temperatures may be necessary. The operating company shall determine when interpass temperature limits are necessary, and, when required, the interpass temperatures shall be provided in the welding procedure specification.

(b) When welding dissimilar materials having different preheating requirements, the material requiring the higher preheat shall govern.

(c) The preheating temperature shall be checked by the use of temperature indicating crayons, thermocouple pyrometers, or other suitable method to assure that the required temperature is attained prior to and maintained during the welding operation.

تصویر ۱- الزامات بند 434.8.8 استاندارد ASME B31.4 در زمینه پیشگرم

824 PREHEATING

824.1 Carbon Steels

Carbon steels having a carbon content in excess of 0.32% (ladle analysis) or a carbon equivalent (C + ¼ Mn) in excess of 0.65% (ladle analysis) shall be preheated to the temperature indicated by the welding procedure. Preheating shall also be required for steels having lower carbon content or carbon equivalents when the welding procedure indicates that chemical composition, ambient and/or metal temperature, material thickness, or weld-end geometry require such treatment to produce satisfactory welds.

تصویر ۲- الزامات بند 824 استاندارد ASME B31.8 در زمینه پیشگرم

۱,۷. پهنای پیشگرم در سیستم لوله کشی

مطابق تصویر ۳ حداقل پهنای پیش گرم بر اساس بند 330.1.4 استاندارد ASME B31.3 می بایست ۱ اینچ از هر طرف لبه های اتصال باشد.

330.1.4 Preheat Zone. The preheat zone shall extend at least 25 mm (1 in.) beyond each edge of the weld.

تصویر ۳- الزامات بند 330.1.4 استاندارد ASME B31.3 در زمینه پیشگرم

۱,۸. پهنای پیشگرم در ظروف تحت فشار

در استاندارد ASME Sec VIII-Div1 با توجه به اینکه پیشگرم به عنوان یک ضمیمه غیر الزامی است، در مورد حداقل پهنای پیشگرم موردی ذکر نگریده است.

۱,۹. پهنای پیشگرم در خطوط لوله

در استانداردهای خطوط لوله هیدروکربنی ASME B31.4 و خطوط لوله گاز ASME B31.8 در زمینه پهنای پیشگرم مورد خاصی ذکر نشده است.

۲- محدودیت ها

۲,۱. فصل سوم

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

۲,۲. کاهش ممنوعه

کاهش یا حذف دمای پیشگرم ممکن است بر اساس الزامات کارفرما، شرایط سرویس خورنده یا الزامات استاندارد ساخت امکان پذیر نباشد.

۲,۳. موارد نامناسب

حذف پیشگرم در بسیاری از موارد مناسب نمی باشد. به عنوان مثال متریالهای حاوی کربن بالا یا کربن معادل بالا، سختی پذیری بالا و یا قطعاتی که به دلیل هندسه دارای قید و بند بالایی هستند.

۲,٤. دسترسی محدود

دسترسی محدود و عدم امکان کاربرد تکنیک و فرآیندهای جوشکاری با شرایط خاص جهت جایگزینی پیشگرم می تواند مانع از حذف پیشگرم شود.

۲,۵. جوشکاری

تمامی جوشکاری ها و دستورالعمل های جوشکاری می بایست بر اساس الزامات استانداردهای ساخت و کدهای بهره برداری باشد.

۳. طراحی

در روشهای جایگزین پیشگرم الزامات استانداردهای ساخت و کدهای بهره برداری استراتژی و ملاحظات زیر مد نظر قرار می گیرد:

a) هندسه شیار
b) فرآیند جوشکاری
c) مواد مصرفی جوشکاری
d) ارزیابی کربن معادل
e) ارزیابی پارامتر ترک خوردگی P_{cm}
f) جوشکاری رسوب کنترلی (تمپر بید[۱])

۳,۱. هندسه شیار[۲]

به منظور کاهش تنشهای پسماند می توان هندسه و حجم جوش را کاهش داد، البته به شرطی که منجر به ترک خوردگی ناشی از انقباض جوش نشود.

a) تنشهای پسماند در جوش و منطقه متاثر از حرارت را کاهش دهید. البته حذف کامل تنشهای پسماند در حین جوشکاری امکان پذیر نیست. تنش در حین جوشکاری در فلز پایه تنش کششی و در جوش تنش فشاری است و پس از جوشکاری تنش در فلز جوش کششی و در فلز پایه فشاری است (تصاویر ۴ الی۶). به همین دلیل است یکی از روشهای کاهش تنش پسماند در جوشکاری انجام چکش کاری[۳] بلافاصله پس از جوشکاری در قسمت جوش است تا با اعمال تنش فشاری از میزان تنشهای کششی وارده کاسته شود. چکش کاری در بند UW-39 استاندارد

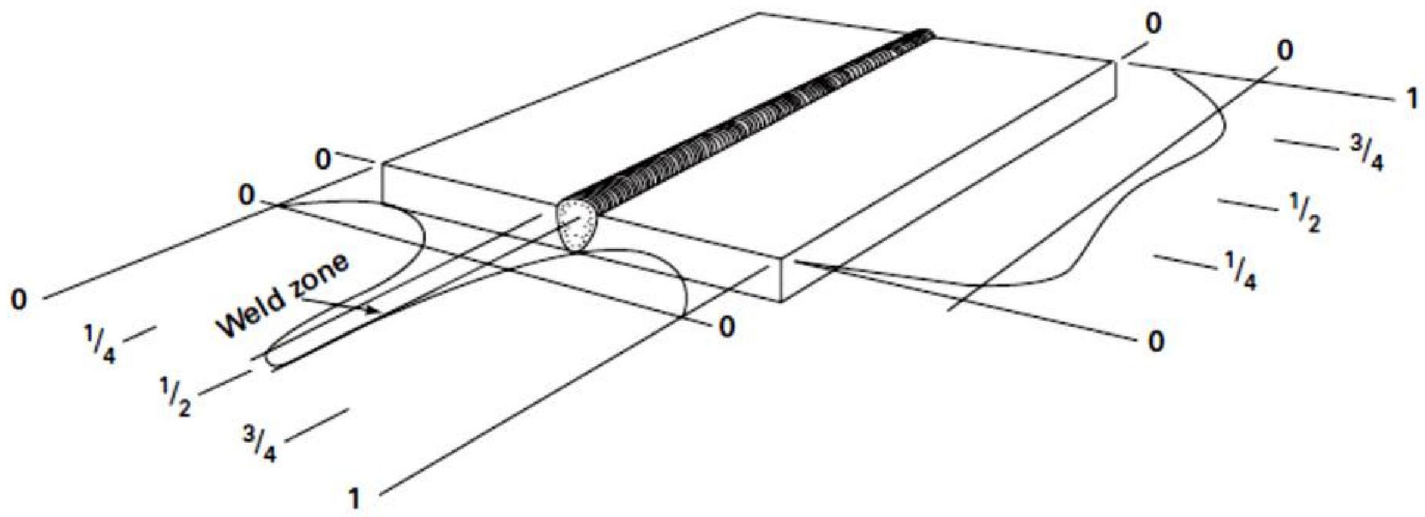
---

۱ - Temper bead

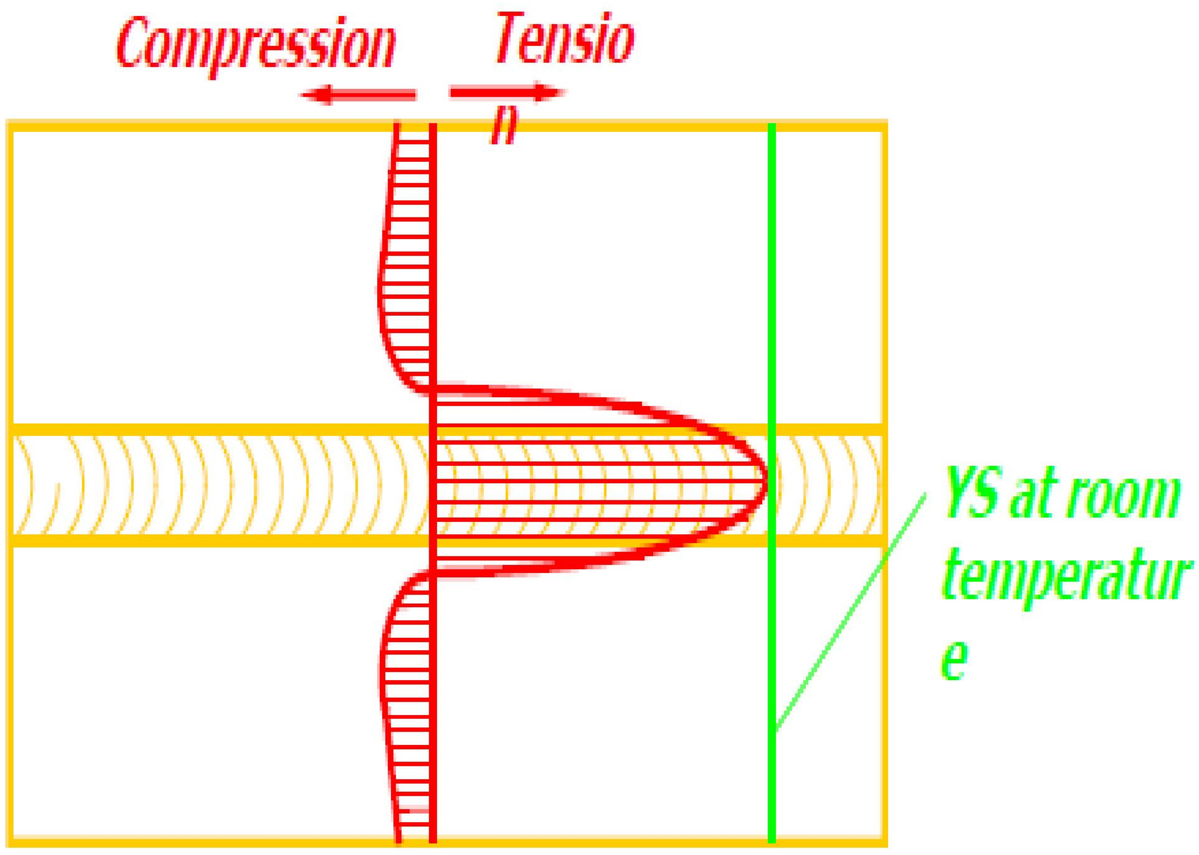
۲ - groove geometry

۳ - Peening

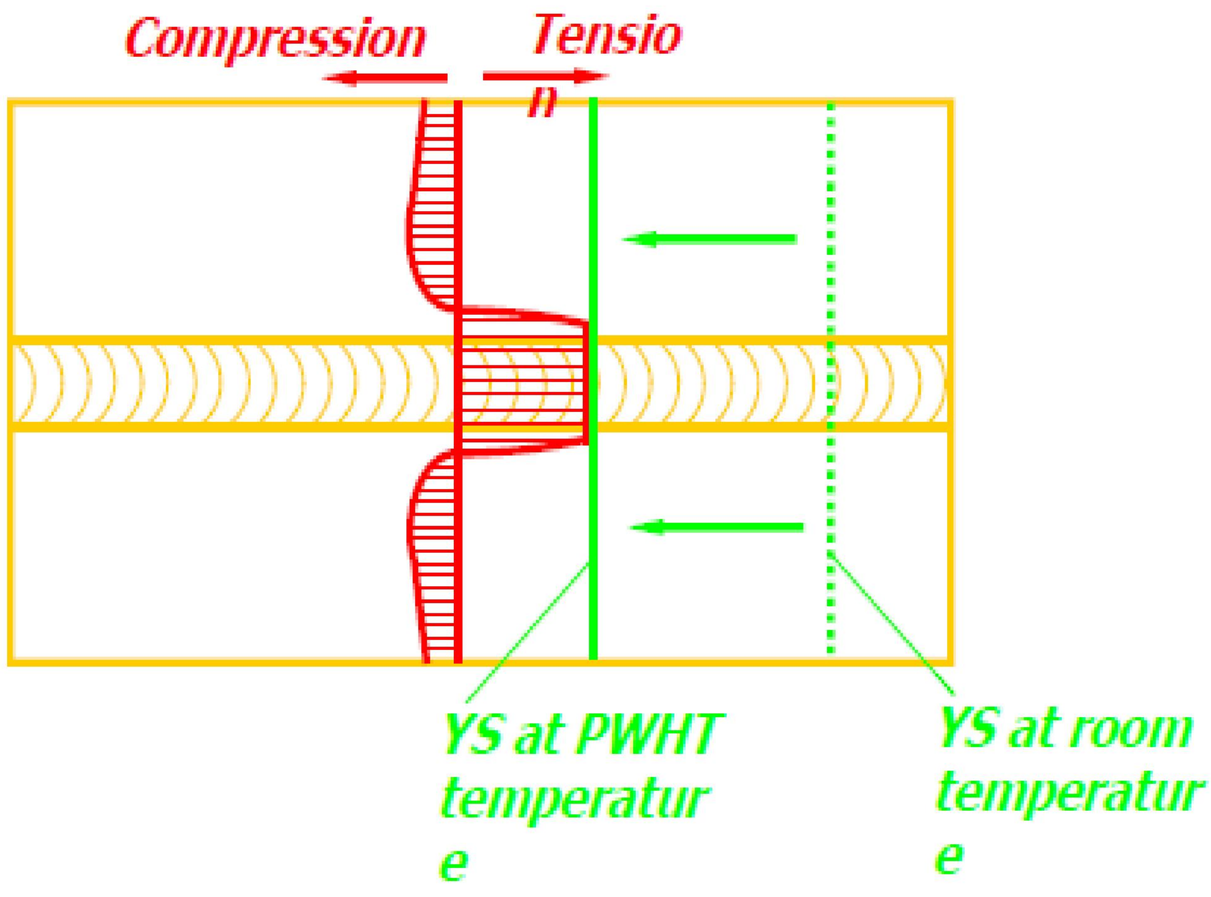
ASME Sec VIII-Div1 نیز به عنوان یکی از روشهای کاهش تنش پسماند بیان گردیده است.



تصویر ۴- تنش پسماند در جوش و فلز پایه

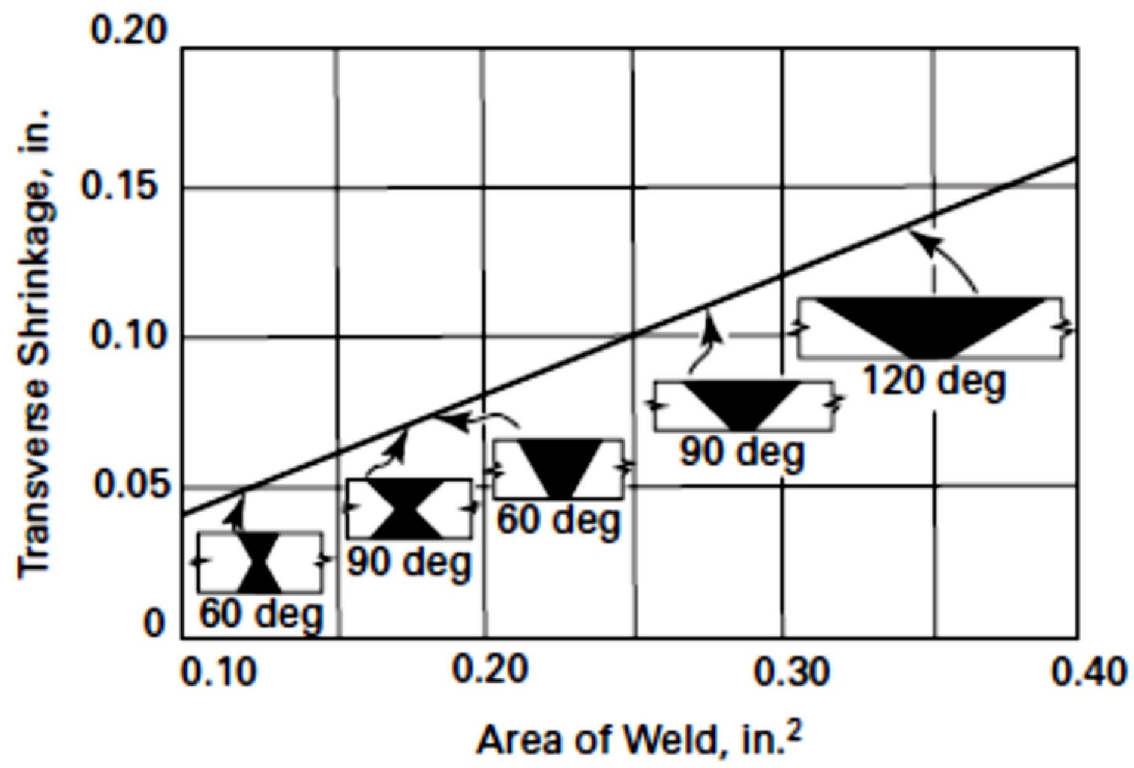


تصویر ۵- تنش پسماند در جوش و فلز پایه قبل از انجام تنش زدایی- سمت راست میزان تنش کششی و سمت چپ تنش فشاری است.



تصویر ۶- کاهش تنش پسماند پس از انجام تنش زدایی

b) جوشهای نازک، مهره های پهن و ضخامت کم در زمان حذف پیشگرم در مقایسه با شکل های مدور و مخروطی تر نسبت به ترک خوردگی بیشتر مستعد می باشند. مطابق تصویر ۷ طرح اتصال با تنش انقباضی بیشتر نسبت به ترک خوردگی مستعد می باشد. البته از طرف دیگر نیز طرح اتصالات با زاویه پخ بازتر و حجم جوش بیشتر نیز معمولاً دارای سطوح تنش پسماند بیشتری هستند.



تصویر ۷- اثر ناحیه جوش بر انقباض عرضی

۳,۲. فرآیند جوشکاری

از فرآیندهای جوشکاری که دارای میزان رقت[۱] پایین و هیدروژن پایین استفاده شود. مطابق تصویر ۸ رقت عبارت از میزان حجم فلز پایه ذوب شده به حجم جوش.

a) فرآیندهای جوشکاری تحت پوشش گاز محافظ GMAW[۲] و جوشکاری قوس تنگستن GTAW[۳] از فرآیندهای مناسبی اند که دارای کنترل رقت خوبی بوده و احتمال نفوذ هیدروژن نیز در آن کم است. در زمانی که دمای پشگرم کاهش یا پیشگرم حذف می شود، ترجیحاً از این فرآیندها استفاده شود.

b) از فرآیندهای جوشکاری الکترود دستی SMAW[۴]،جوشکاری توپودری FCAW[۵] و جوشکاری زیر پودری SAW[۶] در زمان نیاز به نرخ رسوب بالا و میزان تنش انقباضی کم استفاده شود.

در زمان تایید دستورالعمل جوشکاری ملاحظات لازم در زمینه ارزیابی حرارت ورودی و پارامترهای تاثیر گذار بر روی نفوذ، رقت و انقباض صورت پذیرد.

---

۱ -dilution

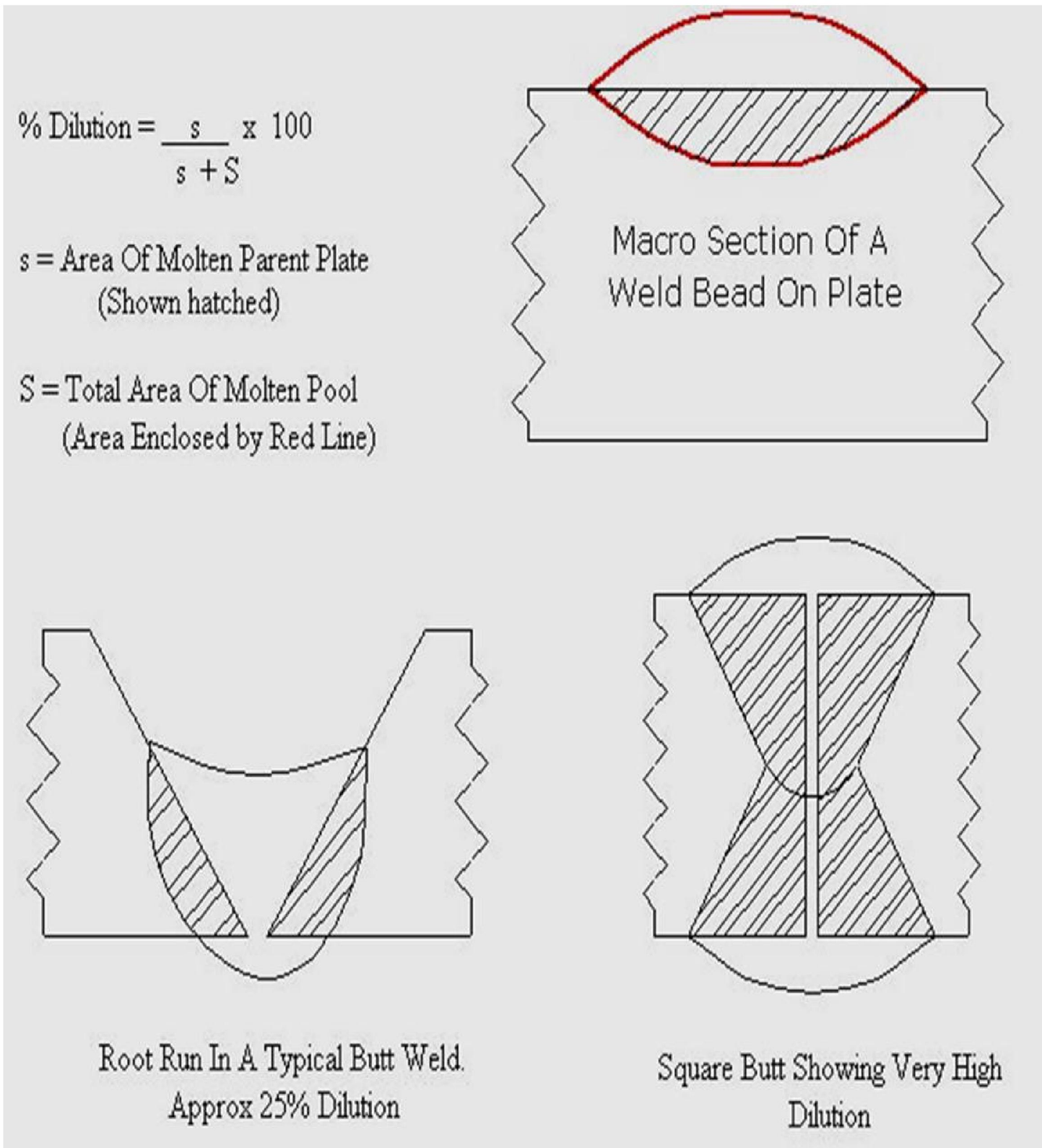
۲ -gas metal arc welding

۳ - gas tungsten arc welding

۴ - shield metal arc welding

۵ - flux cored arc welding

۶ - submerged arc welding



تصویر ۸ – پارامتر رقت در جوشکاری و تاثیر طرح اتصال

۳,۳. مواد مصرفی جوشکاری

مواد مصرفی جوشکاری می بایست دارای نرخ کنترل خنک کاری مناسبی بوده و نسبت به ترک گرم در زمان خنک شدن مقاوم باشند. هم چنین مواد مصرفی جوشکاری از نوع کم هیدروژن و ترجیحاً H4 یا H5 نهایتاً بوده و از جوش پذیری مناسبی نیز برخودار باشند.

خواص مواد مصرفی جوشکاری نظیر استحکام و میزان کربن می بایست معادل فلز پایه بوده و خیلی از فلز پایه، جوش و منطقه متاثر از حرارت بالاتر نرود تا از عدم تعادل بین خواص فلز جوش، فلز پایه ومنطقه متاثر از حرارت HAZ جلوگیری شود.

اکثر مواد مصرفی رایج به گونه ای فرموله می شوند که در تحت شرایط گوناگون قابلیت جبران رقت و تنش زدایی را داشته باشد. به همین دلیل استحکام اکثر مواد مصرفی جوشکاری از میزان حداقل های ذکر شده آنها بیشتر است. این مساله در زمان طراحی و اجرای جوشکاری تعمیری بسیار حایز اهمیت است. در جدول شماره ۱ مقایسه ای بین استحکام مواد مصرفی جوشکاری با مقدار واقعی آنها را مشاهده می نمایید. بنابراین خواص واقعی مواد مصرفی را باید بر اساس دیگر گزارشات متریال و نتایج آزمونه ها بدست آورد.

جدول شماره ۱– مقایسه مشخصات ذکر شده و مشخصات واقعی مواد مصرفی جوشکاری

	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.

۳,٤. کربن معادل CE

از کربن معادل CE [۱] به عنوان یک ابزار در تعیین الزام پیشگرم و دمای آن استفاده می شود.

کربن معادل (بر حسب درصد وزنی) از فرمول زیر محاسبه می شود:

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

- اگر $CE \leq 0.45\%$ باشد، پیشگرم اختیاری است.
- اگر $0.45\% \leq CE \leq 0.6\%$ باشد، پیشگرم 200^oF الی 400^oF مورد نیاز است.

[۱] - carbon equivalent

- اگر CE>0.6% باشد، پیشگرم 400ºF الی 700ºF مورد نیاز است.

در صورتی که CE>0.5% باشد، انجام آزمونهای غیرمخرب می بایست با یک بازه تاخیر حداقل ۲۴ ساعته صورت پذیرد زیرا احتمال ترک های تاخیری[۱] وجود دارد.

۳,۵. پارامتر ترک خوردگی Pcm

برای میزان کربن بالاتر از 0.17% و فولادهای استحکام بالا از پارامتر ترک خوردگی ایتو Ito و بسیو Bessyo برای پیش بینی دقیق تر الزام پیشگرم و دمای آن استفاده می شود. پارامتر ترک خوردگی Pcm بر حسب درصد وزنی از رابطه زیر به دست می آید:

$$Pcm = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn + Cu + Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad 2$$

- اگر Pcm≤015% باشد، پیشگرم اختیاری است.
- اگر 0.15%≤ Pcm ≤0.28% باشد، پیشگرم 200ºF الی 400ºF مورد نیاز است.
- اگر Pcm >0.26% و تا 0.28% باشد، پیشگرم 400ºF الی 700ºF مورد نیاز است.

۳,٦. جوش رسوب کنترلی CDW [۲]

a) استفاده از جوش رسوب کنترلی (تمپر بید) به منظور ایجاد منطقه متاثر از حرارت با دانه های ریز و بهبود خواص چقرمگی بسیار مناسب است. از این روش در زمانی که از پیشگرم دمای بالا یا عملیات تنش زدایی مطابق استانداردهای ساخت نمی توان استفاده نمود، به کار می رود. الزامات دستورالعمل جوش رسوب کنترلی در استانداردهای API 510,ASME Sec IX, QW-290 و ANSI NB-23 بیان گردیده است. در آرتیکل ۴,۹ به بررسی الزامات روش جوش رسوب کنترلی به صورت مفصل خواهیم پرداخت.

b) زمانی که از مواد مصرفی جوشکاری با ترکیب یکسان با فلز پایه استفاده می شود این روش به هیچ وجه منجر به کاهش تنش پسماند نشده و ارزیابی تاثیر این روش جوشکاری بر روی تنشهای پسماند می بایست صورت پذیرد.

٤- مونتاژ و اجرا

---

[۱] - delayed cracking

[۲] - controlled deposition welding

جهت اجرای روشهای جایگزین پیشگرم می بایست کنترل کافی بر روی مراحل اجرایی با دقت صورت پذیرد تا از مشکلات احتمالی جلوگیری به عمل آید. انتخاب فرآیندهای جوشکاری و مواد مصرفی جوشکاری با میزان هیدروژن کم یکی از راهکارهاست. استفاده از تکنیکهایی که میزان تنش پسماند کمتری دارند از دیگر روشهاست. در زمان اجرا می بایست پایش کافی بر روی اعمال صحیح دستورالعملهای مربوطه وجود داشته باشد. مواردی که در زیر بیان می گردد از اهمیت بالایی در اجرای صحیح این روشها برخودار می باشد.

٤,١. تمیزی

قبل از هر گونه جوشکاری تمامی آلودگی های سطحی نظیر چربی، رطوبت و پوسته های اکسیدی حذف شود.

٤,٢. تکنیک جوشکاری

تکنیک به کار رفته در جوشکاری نقش بسزایی در کاهش تنشهای انقباضی، تنشهای پسماند، کنترل حرارت ورودی و اجتناب از ترک خوردگی دارد.

a) مطابق تصویر ۹ مهره های کوتاه در مقایسه با مهره های بلند از تنشهای انقباضی کمتری برخوردار هستند. به منظور کاهش تنشهای پسماند می توان از روشهایی نظیر یک گام به عقب[۱] و یا دیگر روشها استفاده نمود.

b) میزان حرارت ورودی به قطعه را کنترل و به حداقل رسانید. مطابق تصویر ۱۰ از مهره های صاف با نوسان کمتر به جای مهره های پهن با نوسان زیاد استفاده شود.

٤,٣. چکش کاری[۲]

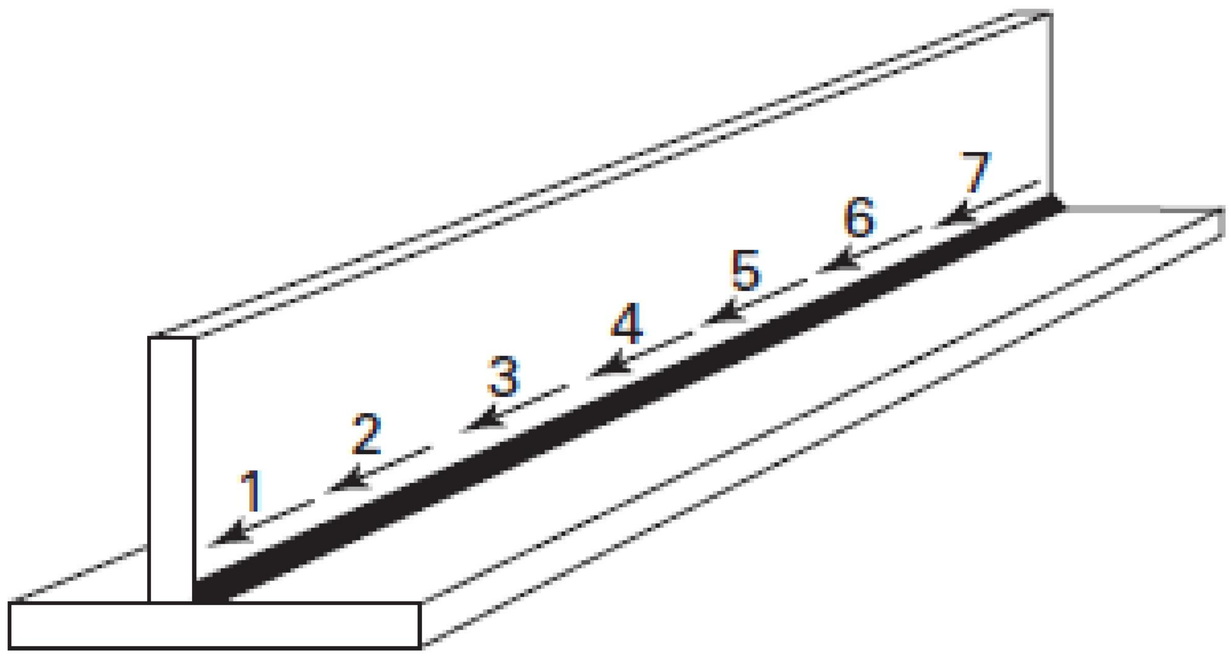
یکی از روشهای موثر در کاهش تنشهای انقباضی و اعوجاج استفاده از چکش کاری می باشد. چکش کاری معمولا بر روی پاس ریشه و پاس نهایی استفاده می شود. چکش کاری موثر زمانی است که متریال دفرمه و از تنش تسلیم فراتر رود. توجه شود که ایجاد اثرات چکشی با تفنگ های سوزنی[۳] به هیچ وجه جایگزین چکش کاری نمی باشد (تصویر ۱۱).

---

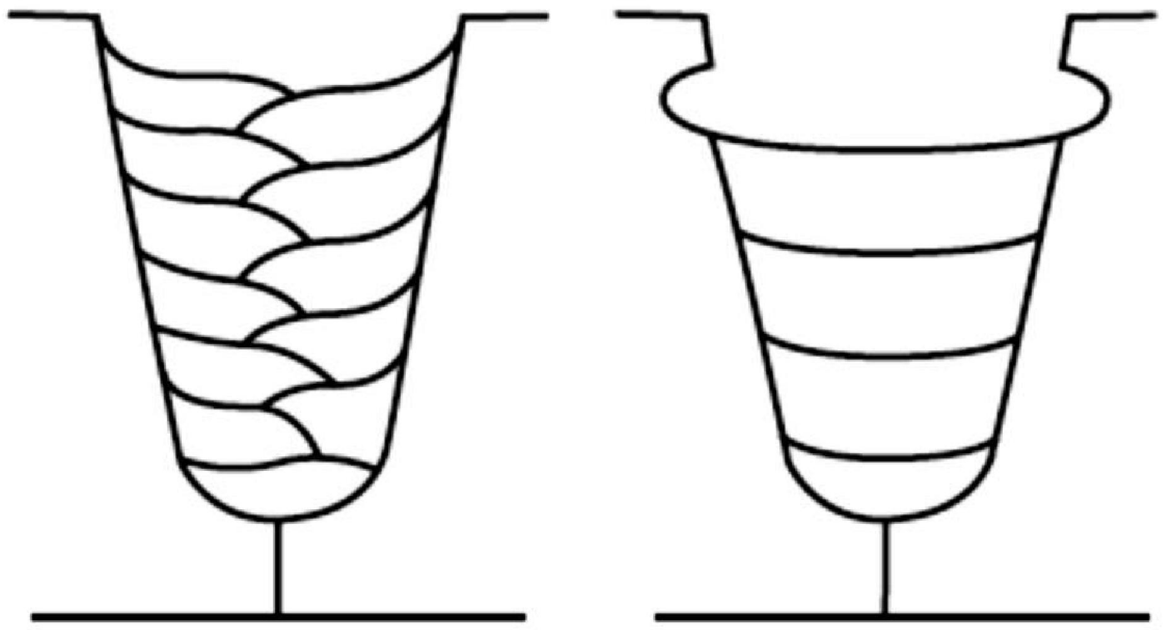
۱ - back step

۲ - peening

۳ - needle gun



تصویر ۹- نمونه روش یک گام به عقب جهت کاهش تنشهای پسماند



تصویر ۱۰- تفاوت بین روش مهره مستقیم نوسانی[۱](سمت چپ) و مهر پهن موج دار[۲] (سمت راست)

---

[۱] Oscillated stringer bead

[۲] Wide weave bead

تصویر۱۱- استفاده از روش تفنگ سوزنی جهت بهبود خواص خستگی

٤,٤. کاهش ترک خوردگی

می توان با انجام تکنیکهای صحیح از ترک خوردگی چاله انتهایی جوش و ترک خوردگی مهره ها جلوگیری نمود.

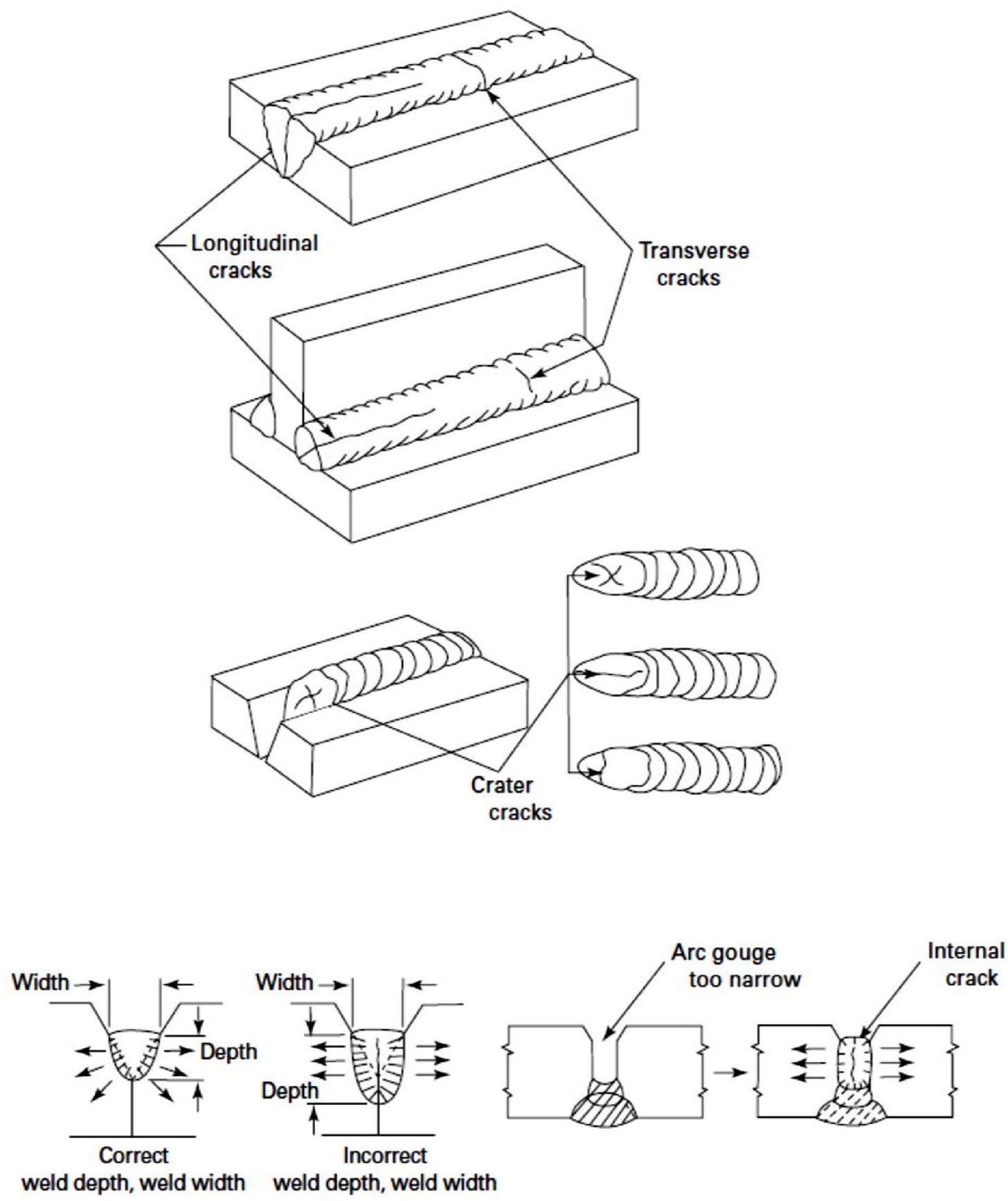
a) مطابق تصویر ۱۲ بجای استفاده از مهره های جوش نازک و پهن از جوش با مهره های سطح مقطع مدور استفاده نمایید.

b) از نقاط شروع/توقف[1] ضعیف اجتناب شود. با استفاده از تکنیکهای مناسب یا تجهیزات خاص نسبت به حذف نقاط شروع، توقف اقدام نمایید.

c) میزان رسوب فلز جوش کافی باشد تا منجر به ترک خوردگی ناشی از انقباض در زمان جوشکاری نشود. به عنوان یک قانون سرانگشتی در اکثر استانداردهای ساخت حداقل میزان نرخ رسوب جهت جلوگیری از ترک خوردگی 10mm یا 25% ضخامت شیار جوش ذکر شده است. به عنوان مثال زمانی که بین جوشکاری پاسهای مختلف وقفه می افتد، حداقل میزان نرخ رسوب جوش می بایست 10mm باشد تا منجر به ترک خوردگی نشود.

---

[1] -stop/start



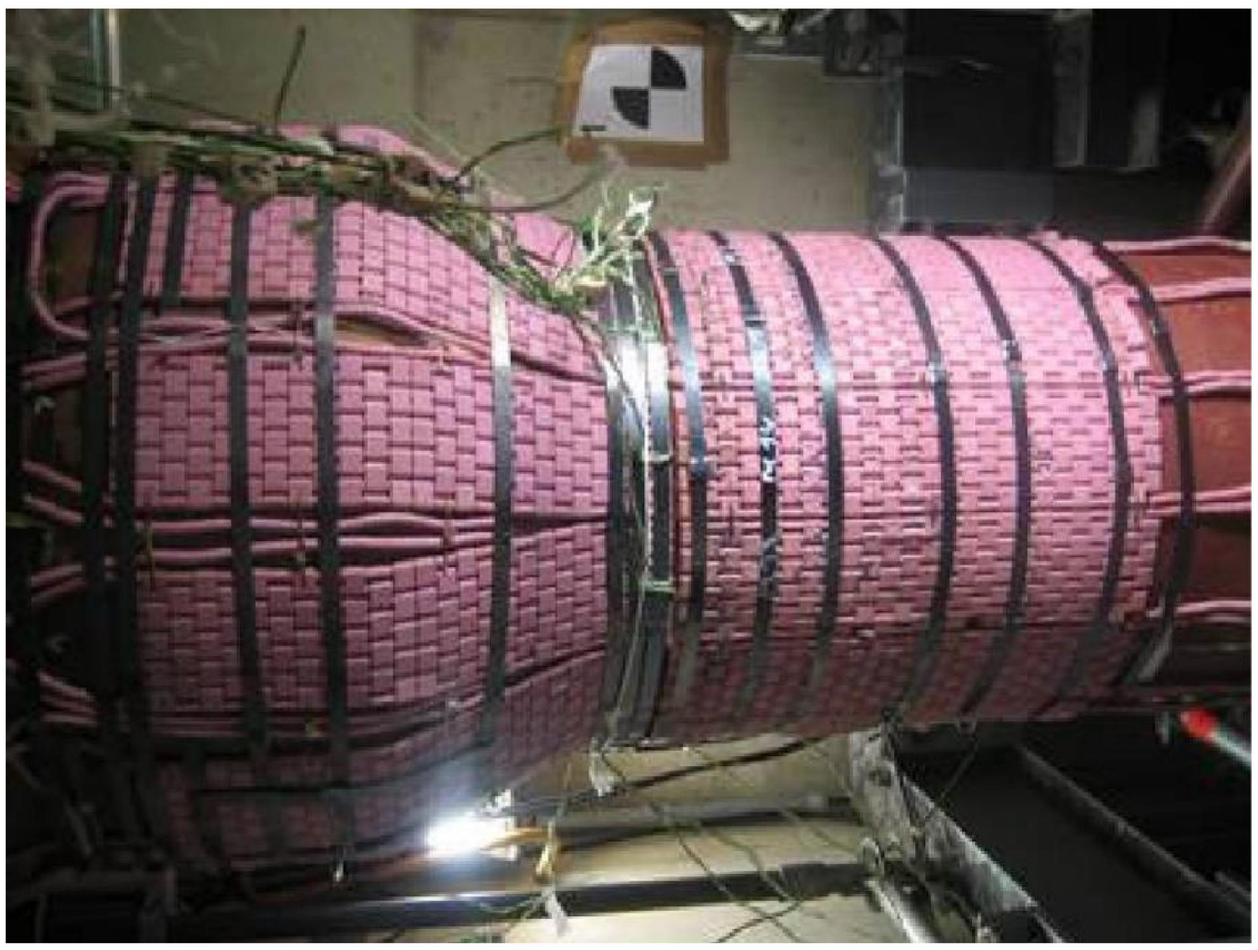
تصویر ۱۲- اثر سطح مقطع مهره های جوش بر ترک خوردگی

٤,٥. روشهای پیشگرم

برای پیشگرم می توان از روشهای متعددی نظیر شعله (هوا-سوخت یا اکسی-سوخت)، مقاومت الکتریکی یا القای الکتریکی بصورت کارگاهی یا میدانی استفاده نمود (تصاویر ۱۳ الی ۱۵). صرف نظر از روش مورد استفاده پیشگرم می بایست به صورت یکنواخت و کل ضخامت را در بر گرفته و هم چنین محل اتصال و

قسمتی از فلز پایه را نیز پوشش دهد. به عنوان مثال در کدهای API Plant در زمان جوشکاری تعمیری حداقل میزان پهنای پیشگرم مقدار بزرگتر 4d یا 4 inch بیان گردیده که d عمق تعمیر می باشد.

تصویر ۱۳- پیشگرم اکسی سوخت میدانی



تصویر ۱۴- پیش گرم مقاومت الکتریکی

تصویر ۱۵- پیش گرم القایی

٤,٦. پایش پیشگرم

تجهیزات متنوعی برای اندازه گیری و پایش دما وجود دارد. قطعه قبل از جوشکاری پیشگرم می شود تا گرما به درون ضخامت آن نفوذ یافته و میزان نرخ سرد شدن کنترل شود که در برخی مواقع این میزان حرارت راه یافته به قطعه را می بایست اندازه گیری نمود. اندازه گیری دمای سطح قطعه نیز از یک حداقل فاصله با لبه اتصال بر اساس پهنای پیشگرم ذکر شده در استانداردهای ساخت یا کدهای بهره برداری باید صورت پذیرد. اندازه گیری دما در لبه اتصال با استفاده از روشهایی که احتمال آلودگی جوش وجود دارد، نظیر گچ های حرارتی، به هیچ وجه قابل قبول نیست. بنابراین روش مناسب و محل مناسب برای پیشگرم می بایست انتخاب گردد.

٤,٦,١. گچ حرارتی[1]

گچ های حرارتی دارای دمای ذوب مشخصی بوده که در آن دما ذوب می شود. این روش یکی از روشهای ساده و متداول است که با توجه به دمای پیشگرم یک گچ حرارتی با دمای ذوب متناسب با پیشگرم انتخاب می شود. تنها محدودیتی که در این روش وجود دارد این است که زمانی که دما از دمای ذوب بالاتر است، محدوده دمایی مشخص نمی باشد و برای این منظور می بایست از چندین گچ حرارتی با رنج های دمایی متفاوت استفاده نمود. در تصویر ۱۶ نمونه ای از این گچ های حرارتی را مشاهده می نمایید.

---

[1] - crayon

٤,٦,٢. ادوات الکتریکی / الکترونیکی پایش دما

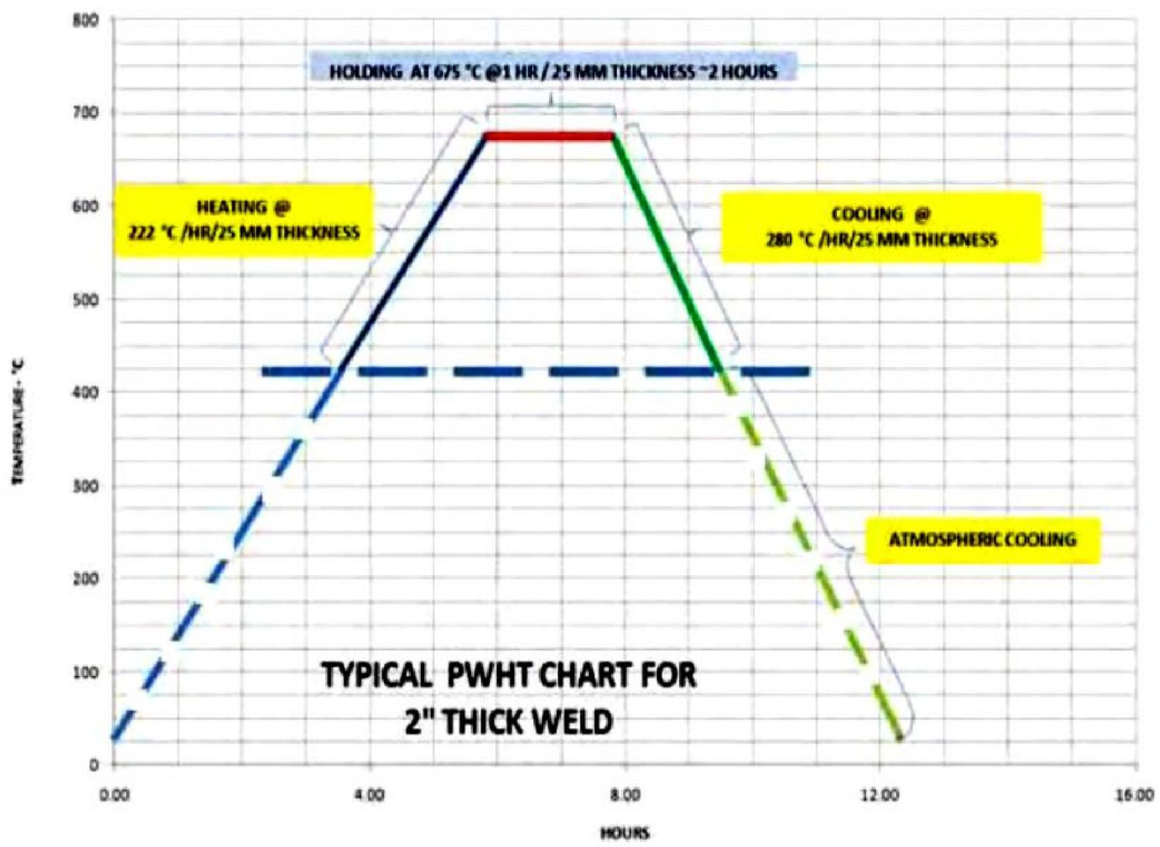
می توان از تجهیزاتی نظیر پیرومترهای تماسی[1]، ترموکوپل و یا دماسنج های غیرتماسی مادون قرمز استفاده نمود. تمامی این تجهیزات می بایست کالیبره بود و قابلیت اندازه گیری محدوده دمایی مد نظر را داشته باشند. از آنجایی که این تجهیزات قابلیت پایش مستمر و ثبت داده ها را دارا می باشند، تهیه نمودار پایش دمایی در زمان عملیات پیشگرم و تنش زدایی جهت پایش عملیات مد نظر قرار گیرد. در تصاویر ۱۷ و ۱۸ نمونه تجهیزات پایش دمایی و در تصویر ۱۹ نمونه گراف رسم شده در زمان عملیات تنش زدایی را مشاهده می نمایید.

تصویر۱۶ – گچ های حرارتی جهت پایش دما

[1] - contact pyrometer

تصویر ۱۷ – پیرومتر تماسی

تصویر ۱۸– دماسنج غیر تماسی مادون قرمز



تصویر ۱۹– گراف رسم شده مربوط به علمیات تنش زدایی

۵- آزمون

a) انجام آزمونهای سطحی به منظور حصول اطمینان از عدم ترک خوردگی به دلیل استفاده از روشهای جایگزینی و یا کاهش دمای تنش زدایی الزامی است.

b) در صورت نیاز بر اساس استانداردهای ساخت یا کدهای بهره برداری آزمون های حجمی جوش پس از اتمام عملیات جوشکاری صورت پذیرد.

c) فولادهای استحکام بالا کم آلیاژ HSLA و فولادهایی که کربن معادل CE آنها بالاتر از 0.5% است مستعد به ترکهای تاخیری بوده و آزمون آنها می بایست حداقل ۲۴ الی ۴۸ ساعت پس از جوشکاری صورت پذیرد.

d) تمامی آزمونها می بایست به صورت مستند و حداقل شامل نوع آزمون، محل، تکنسین، زمان و نتیجه آزمون باشد.

٦- تست

تستهای مورد نیاز بر اساس استانداردهای ساخت یا کدهای بهره برداری صورت پذیرد.

۷- مراجع

1. ANSI/NB-23-2007, National Board Inspection Code Publisher: American National Standards Institute (ANSI), 25 West 43rd Street, New York, NY 10036 (www.ansi.org)

2. API 510-2006, Pressure Vessel Inspection Code: Maintenance Inspection, Rating, Repair, and
3. Alteration Publisher: American Petroleum Institute (API), 1220 L Street NW, Washington, DC 20005 (www.api.org)
4. ASM Handbook Volume 6: Welding, Brazing, and Soldering, Ninth Edition Publisher: ASM International (ASM), 9639 Kinsman Road, Materials Park, OH 44073-0002 (www.asminternational.org)
5. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, 2007 Edition, Code Cases: N-373, N-594, N-606, N-638, N-644, and 2321
6. ASME B31.1-2007, Power Piping ,ASME B31.3-2006, Process Piping, Publisher: The American Society of Mechanical , Engineers (ASME), Two Park Avenue, New York, NY 10016-5990; Order Department: 22 Law Drive, P.O. Box 2900, Fairfield, NJ 07007-2900 (www.asme.org)
7. AWS D1.1/D1.1M-2006, Structural Welding Code, Appendix XI Publisher: American Welding ociety (AWS), 8669 NW 36 Street, No. 130, Miami, FL 33166 (www.aws.org)
8. Blodgett, O.W., Design ofWelded Structures, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, leveland, OH
9. Cary, H. B., Modern Welding Technology, Second Edition, Prentice Hall, New York, NY Ito, Y., and Bessyo, K., Weldability Formula of High Strength Steels Related to Heat Affected Zone Cracking, Journal of Japanese Welding Society, 1968
10. Newell, Jr., W. F., Euroweld Ltd., Certified Material Test Reports Newell, Jr., W. F., nderstanding and Using Carbon Equivalent Formulas,Welding Journal, September 1995
11. Stout, R. D., Weldability of Steels, Fourth Edition, Welding Research Council, Shaker Heights, OH