همایش آموزشی علمی - کاربردی

جوشکاری خطوط لوله

عبدالوهاب ادب آوازه

مهر ماه ۱۳۸۳

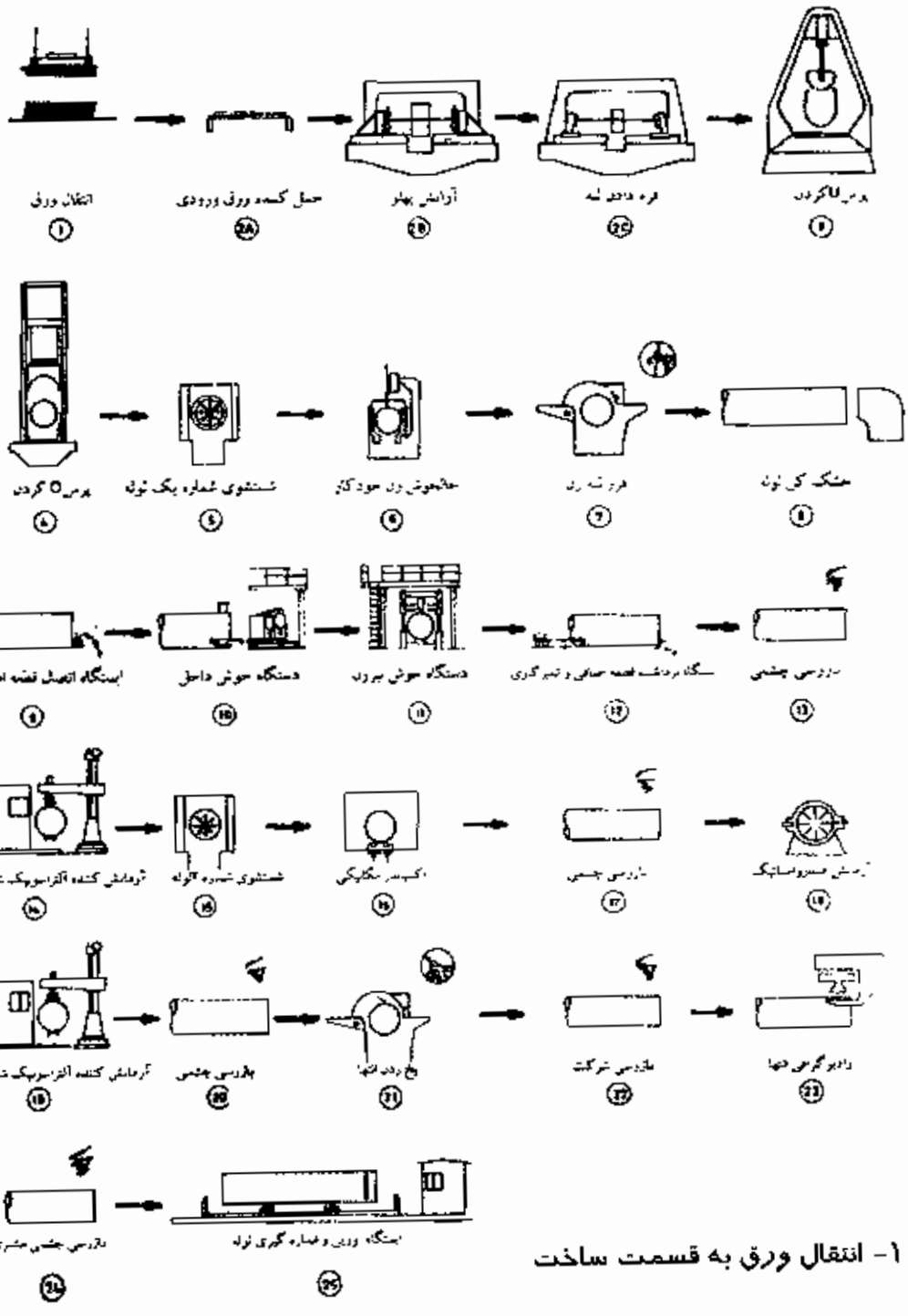
IWNT
انجمن جوشکاری و آزمایشهای غیرمخرب ایران
نشانی: تهران : خیابان انقلاب خیابان شهید عباس موسوی (فرصت) ، پلاک ۷۱
سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران تلفن و فاکس: ۸۸۲۹۵۸۸ - ۰۲۱
Email: info@iwnt.com

ساخت لوله

لوله به صورت بی درز و درزدار تهیه می شود. لوله درزدار هم دارای درز طولی مستقیم و هم دارای درز مارپیچ است.

لوله های درزدار از ورق تهیه می شود. نمودار تولید لوله درز مستقیم و درز مارپیچ در کارخانجات لوله سازی داخل کشور بطور ساده نشان داده شده است.

الف – نمودار تولید لوله درز مارپیچ با جوش زیرپودری (از داخل و بیرون)



۱- انتقال ورق به قسمت ساخت

۲- برش طرفین ورق و شکل دهی اولیه لبه های ورق
۳- "U" کردن ورق توسط پرس
٤- "O" کردن ورق توسط پرس
۵- دستگاه شستشوی لوله
۶- خالجوش زنی نقاطی از درزجوش با دستگاه
۷- گونیا کردن دو سرلوله
۸- جوشکاری داخلی
۹- جوشکاری خارجی
۱۰- اکسپند کردن لوله بمنظور تامین راستائی و گردی لوله و تقسیم تنش تمرکز در درزجوش
۱۱- پخ زدن دو سرلوله
۱۲- دستگاه تست هیدرولیک لوله

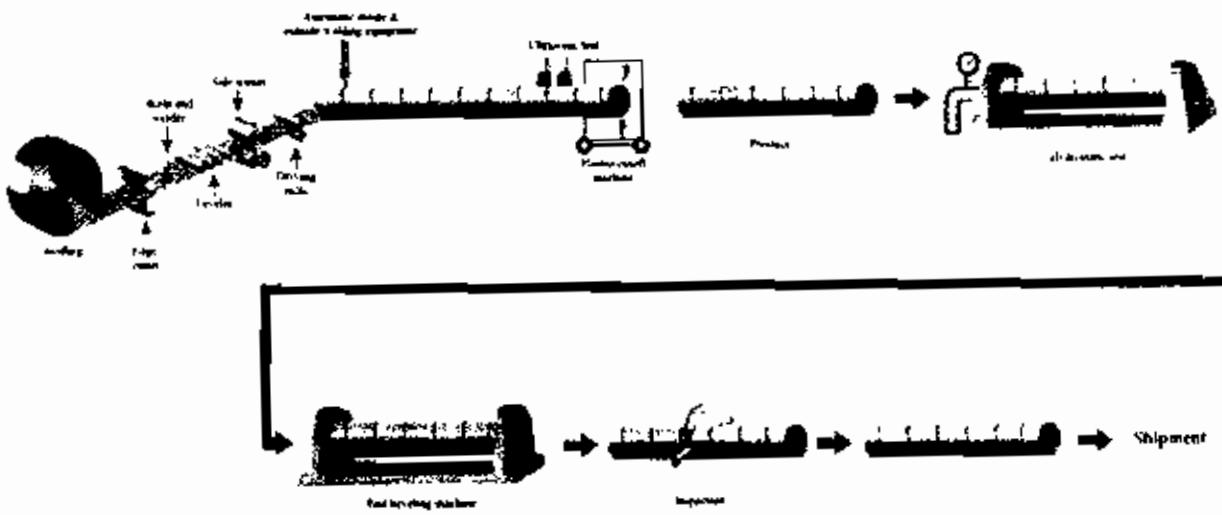
بازرسی و کنترل کیفیت

بازرسی و کنترل کیفیت کارخانه، برروی مواد خام رسیده به کارخانه و در طول فرایند ساخت لوله تستها و آزمایشات گوناگونی بر مبنای استاندارد انجام می دهد که عبارتند از:

- چند ایستگاه بازرسی چشمی
- چند ایستگاه آلتراسونیک
- ایستگاه هایدروتست
- کنترل فیزیکی لوله در چند نوبت
- کنترل دو سر لوله توسط ذرات مغناطیسی
- رادیوگرافی ایکس از دوسرتمام لوله ها
- ارسال نمونه به آزمایشگاه کنترل کیفیت (آزمایشگاه فیزیکی و متالوگرافی)
- ایستگاه بازرسی توسط بازرسین خریدار لوله

ب – نمودار تولید لوله درز مستقیم با جوش زیرپودری (از داخل و بیرون) در عکسهائی که در جلسه ارائه می شود، مراحل زیر مشاهده می گردد:

- دریافت مواد
- انبار مواد اولیه
- حمل به دستگاه
- آماده سازی کلاف
- حمل به دستگاه
- بازرسی کلاف
- سه غلطکی صاف کن مرحله اول
- برش ابتدا و انتهای کلاف
- هفت غلطکی صاف کن مرحله دوم
- لبه زنی
- پخ زنی
- بازرسی طرح اتصال
- خم لبه ورق
- شکل دهی لوله
- جوش داخلی
- جوش خارجی
- تست امواج مافوق صوت
- برش لوله
- حمل به قسمت تمیزکاری
- تمیزکاری
- حمل به بازرسی
- بازرسی داخل و خارج
- حمل به هیدروتست
- هیدروتست
- حمل به ***BEVEL***
- سنگ زدن طرف ***A*** لوله
- ***BEVEL*** طرف ***A*** لوله
- حمل توسط جرثقیل
- چرخاندن لوله توسط جرثقیل
- حمل به ***BEVEL***
- سنگ زدن طرف ***B*** لوله
- ***BEVEL*** طرف ***B*** لوله
- حمل به بازرسی نهایی
- بازرسی نهایی
- بازرسی توسط ناظر
- حمل به قسمت توزین
- توزین
- انتقال به دپودهای حمل
- انبار تا ارسال
- ارسال محصول نهایی



علامت شناسایی لوله

برای شناسائی لوله، علامت، حروف و اعداد بشرح زیر روی لوله به نحوهٔ شایسته ای ثبت می گردد.

۱- علامت تجارتی کارخانه سازنده

۲- مونوگرام استاندارد مربوطه (*API* و غیره)

۳- قطر خارجی

٤- وزن لوله (پوند بر فوت یا کیلوگرم بر متر)

۵- گرید (*A* برای گرید *A* و *B* برای گرید *B*، *X42* ، *X46* ، *X52* ، *X56* ، *X60* ، *X65* ، *X70* و *X80* برای گریدهای مربوطه)

۶- فرایند ساخت

S برای لوله بی درز

E برای لوله درز جوشی، بجز جوش مداوم

F برای لوله درزجوشی با جوش مداوم

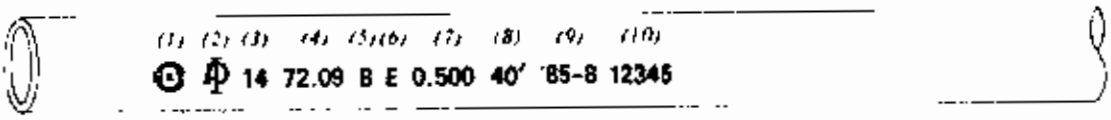
۷- ضخامت دیواره (اینچ یا میلیمتر)

۸- طول شاخه (فوت و دهم فوت یا متر و دهم متر)

۹- سال و ماه ساخت

۱۰- شماره ذوب

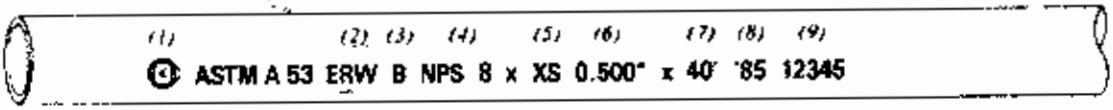
دو نمونه شماره شناسائی ثبت شده روی لوله طبق *API* و طبق *ASTM* در تصویر ارائه گردیده است.



(1) Manufacturer's Mark
(2) API Monogram
(3) Outside Diameter
(4) Calculated Weight in Pounds per Foot
(5) Grade

Grade A	A	Grade B	B
Grade X42	X42	Grade X46	X46
Grade X52	X52	Grade X56	X56

(6) E Electric Welded
(7) Wall Thickness in Inches
(8) Length in Feet and tenths of a Foot
(9) Year-Month Manufactured
(10) Heat Number



(1) Manufacturer's Brand
(2) Electric Resistance Welded
(3) Grade
F Grade A
B Grade B
(4) Nominal Pipe Size Designation
(5) XS Extra Strong
(will be shown on extra strong pipe only)
(6) Wall Thickness
(7) Length in feet and tenths of a foot
(8) Year Manufactured
(9) Heat Number

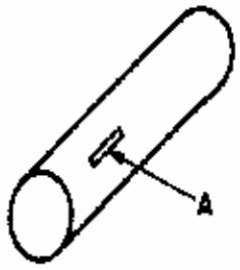
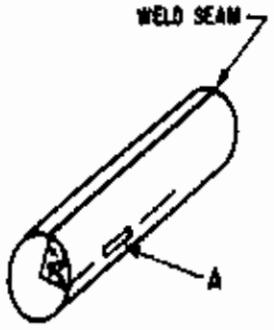
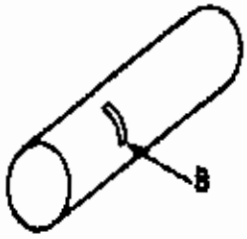
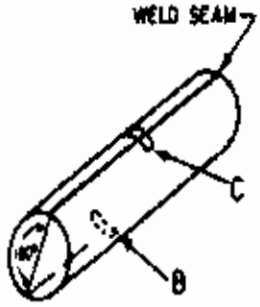
لوله های فولادی

مشخصات مکانیکی لوله‌های فولادی مورد استفاده در خطوط لوله، طبق استانداردهای *API*، *EN* (اروپا) و *DIN* (آلمان) در جدول زیر درج شده است.

طبقه فولاد طبق : API 5L-92	EN 10208-2	DIN 171	حداقل مقاومت تسلیمی نیوتن بر میلیمتر مربع	حداقل مقاومت تسلیمی هزار پوند بر اینچ مربع	مقاومت کششی نیوتن بر میلیمتر مربع	مقاومت کششی هزار پوند بر اینچ مربع	حداقل ازدیاد طول درصد
A			207	30.0	331	48.0	28
	L210		210	30.4	320	46.4	26
		StE 210.7	210	30.4	320	46.4	26
B			241	35.0	413	60.0	23
	L245MB		245	35.5	415	60.2	22
		StE 240.7	240	34.8	370	53.7	24
X 42			289	42.0	313	60.0	23
	L290MB		290	42.0	415	60.2	21
		StE 290.7 StE 290.7 TM	290	42.0	420	60.9	23
X 46			317	46.0	434	63.0	22
	L 320 M		320	46.4	460	66.7	21
		StE 320.7 StE 320.7 TM	320	46.4	460	66.7	21
X 52			358	52.0	455	66.0	21
	L 360MB		360	52.2	460	66.7	20
		StE 360.7 StE 360.7 TM	360	52.2	510	74.0	20
X 56			386	56.0	489	71.0	20
	L385M		385	55.8	530	76.9	19
		StE 385.7 StE 385.7 TM	385	55.8	530	76.9	19
X 60			413	60.0	517	75.0	19
	L415MB		415	60.2	520	75.4	18
		StE 415.7 StE 415.7 TM	415	60.2	550	79.8	18
X 65			448	65.0	530	77.0	18
	L450MB		450	65.3	535	77.6	18
		TM StE 445.7	445	64.6	560	81.2	18
X 70			482	70.0	565	82.0	18
	L485 MB		485	70.3	570	82.7	18
		StE 480.7 TM	480	69.6	600	87.0	18
X 80			550	80.0	620	90.0	18
	L555 MB		555	80.5	625	90.6	18
		StE 550.7 TM	550	79.8	690	100.1	18

جدول – تجزیه شیمیایی لوله ها طبق *API Spec 5L* (درصد)

نوع لوله	درجه و کلاس	کربن حداکثر	منگنز حداقل	منگنز حداکثر	فسفر حداقل	فسفر حداکثر	گوگرد حداکثر	کلمبیوم حداقل	وانادیوم حداقل	تیتانیوم حداقل
بی درز										
میبسط شده یا میبسط شده سرد	*A25 , CI I*	۰/۲۱	۰/۳۰	۰/۶۰	–	۰/۰۴۵	۰/۰۶	–	–	–
مسبط شده یا مسبط شده سرد	*A25 , CI I*	۰/۲۱	۰/۳۰	۰/۶۰	۰/۰۴۵	۰/۰۸۰	۰/۰۶	–	–	–
مسبط شده یا مسبط شده سرد	*A*	۰/۲۲	–	۰/۹۰	–	۰/۰۴	۰/۰۵	–	–	–
مسبط شده یا مسبط شده سرد	*B*	۰/۲۷	–	۱/۱۵	–	۰/۰۴	۰/۰۵	–	–	–
مسبط شده	*X42*	۰/۲۹	–	۱/۲۵	–	۰/۰۴	۰/۰۵	–	–	–
میبسط شده سرد	*X46, X52*	۰/۲۱	–	۱/۳۵	–	۰/۰۴	۰/۰۵	–	–	–
مسبط شده یا میبسط شده سرد	*X42,X46,X52*	۰/۲۹	–	۱/۲۵	–	۰/۴	۰/۵	–	–	–
مسبط شده یا میبسط شده سرد	*X56 , X60*	۰/۲۶	–	۱/۲۵	–	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵
	X65,X70,X80	با توافق								
با درز										
ناحوش مقاومت الکتریکی یا فقط حوش پیوسته	*A25 CI II*	۰/۲۱	۰/۳۰	۰/۶۰	–	۰/۴۵	۰/۰۶	–	–	–
	A25 CI II	۰/۲۱	۰/۳۰	۰/۶۰	۰/۴۵	۰/۰۸۰	۰/۰۶	–	–	–
مسبط شده یا مسبط شده سرد	*A*	۰/۲۱	–	۰/۹۰	–	۰/۰۴	۰/۰۵	–	–	–
مسبط شده یا مسبط شده سرد	*B*	۰/۲۶	–	۱/۱۵	–	۰/۰۴	۰/۰۵	–	–	–
مسبط شده یا مسبط شده سرد	*X42*	۰/۲۸	–	۱/۲۵	–	۰/۰۴	۰/۰۵	–	–	–
مسبط شده	*X46 , X52*	۰/۲۰	–	۱/۳۵	–	۰/۰۴	۰/۰۵	–	–	–
مسبط شده سرد	*X46 , X52*	۰/۲۸	–	۱/۲۵	–	۰/۰۴	۰/۰۵	–	–	–
مسبط شده یا مسبط شده سرد	*X56 , X60*	۰/۲۶	–	۱/۳۵	–	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵
مسبط شده یا مسبط شده سرد	*X65*	۰/۲۶	–	۱/۴۰	–	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵
مسبط شده یا مسبط شده سرد	*X70*	۰/۲۳	–	۱/۶۰	–	۰/۰۴	۰/۰۵	–	–	–
مسبط شده یا مسبط شده سرد	*X80*	۰/۱۸	–	۱/۸۰	–	۰/۰۳۰	۰/۰۱۸	–	–	–

SIZE DESIG-NATION	SEAMLESS PIPE	WELDED PIPE	
		LONGITUDINAL SEAM	HELICAL SEAM
≤ 8-5/8			
≥ 8-5/8			

A = Strip Specimen (any circumferential location for seamless)

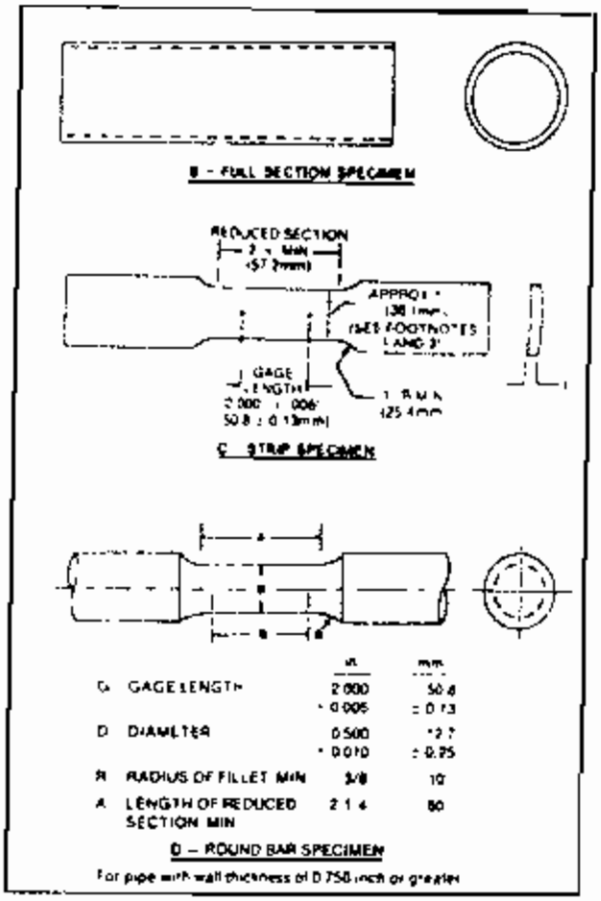
B = Transverse Specimen (any circumferential location for seamless). For double seam pipe the specimen shall be taken from a location midway between the welds.

C = Transverse Weld Specimen

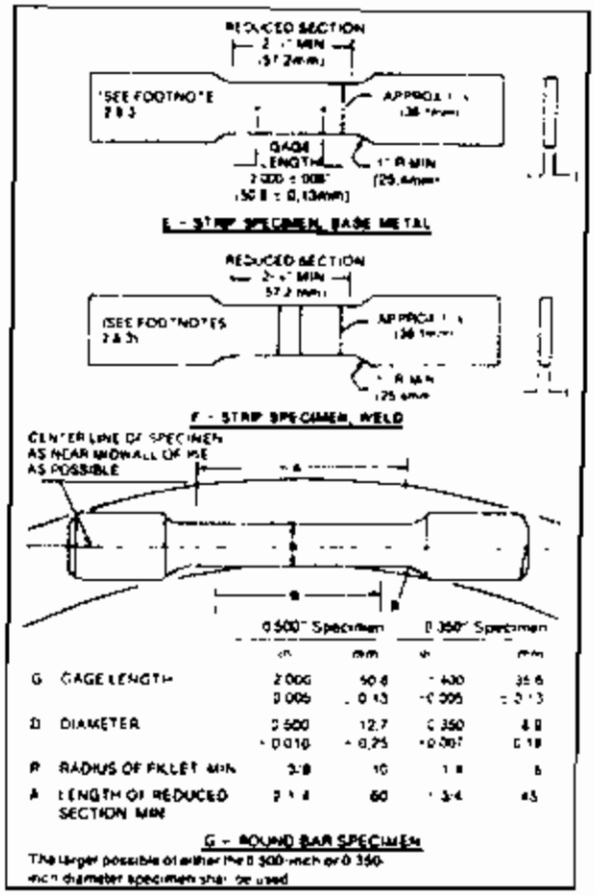
جای درآوردن نمونه های آزمایش کشش

(برای تعیین مشخصات لوله طبق *API SPEC 5L*)

A - RING EXPANSION SPECIMEN



LONGITUDINAL SPECIMENS



TRANSVERSE SPECIMENS

NOTE 1 See Par. 4.2 for gage width if testing is not done with proper ... ed grips.

NOTE 2 Flattening of transverse and weld specimens shall be performed at room temperature.

NOTE 3 Hot flattening, artificial aging, or heat treatment of tensile specimens is not permitted.

نمونه های آزمایش کشش

(برای تعیین مشخصات لوله طبق *API SPEC 5L*)

عیوب آخال سرباره طویل شده

1		2		3
Maximum Dimensions,		Minimum Separation		Maximum Number in any
in.	mm	in.	mm	6 in. (152.4 mm)
1/16 × 1/8	(1.6 × 12.7)	6	(152.4)	1
1/16 × 1/4	(1.6 × 6.4)	3	(76.2)	2
1/16 × 1/8	(1.6 × 3.2)	2	(50.8)	3

*Maximum accumulated length of discontinuities in any 6 in. (152.4 mm) shall not exceed ½ in. (12.7 mm).

EXAMPLE 1: ONE 1/2" (12.7 mm) DISCONTINUITY

EXAMPLE 2: TWO 1/4" (6.4 mm) DISCONTINUITIES

EXAMPLE 3: THREE 1/8" (3.2 mm) DISCONTINUITIES

مثال های حداکثر نحوه پخش عیوب آخال سرباره طویل شده

آخال سرباره مدور و حفره های گازی

1		2		3		4
Size,		Adjacent Size,		Minimum Separation,		Maximum Number in any 6 in.
in.	mm	in.	mm	in.	mm	(152.4 mm)
**1/8	(3.2)	**1/8	(3.2)	2	(50.8)	2
**1/8	(3.2)	1/16	(1.6)	1	(25.4)	Varies
**1/8	(3.2)	1/32	(0.8)	½	(12.7)	Varies
**1/8	(3.2)	1/64	(0.4)	⅜	(9.5)	Varies
1/16	(1.6)	1/16	(1.6)	½	(12.7)	4
1/16	(1.6)	1/32	(0.8)	⅜	(9.5)	Varies
1/16	(1.6)	1/64	(0.4)	¼	(6.4)	Varies
1/32	(0.8)	1/32	(0.8)	***¼	(6.4)	8
1/32	(0.8)	1/64	(0.4)	3/16	(4.8)	Varies
1/64	(0.4)	1/64	(0.4)	⅛	(3.2)	16

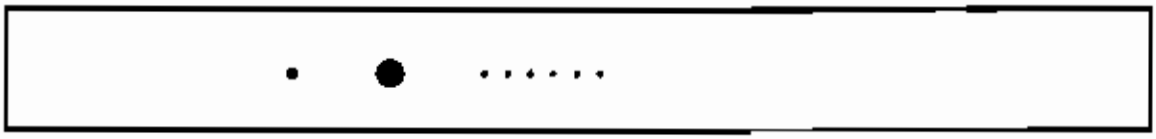
*The sum of the diameters of all discontinuities in any 6 in. (152.4 mm) not to exceed ¼ in. (6.4 mm).

**Maximum size discontinuity for 0.250 in. (6.4 mm) wall and lighter shall be 3/32 in. (2.4 mm).

***Two discontinuities, 1/32 in. (0.8 mm) or smaller, may be as close as one diameter apart provided they are separated from any other discontinuity by at least ½ in. (12.7 mm).

EXAMPLE 1: TWO 1/8" (3.2 mm) DISCONTINUITIES

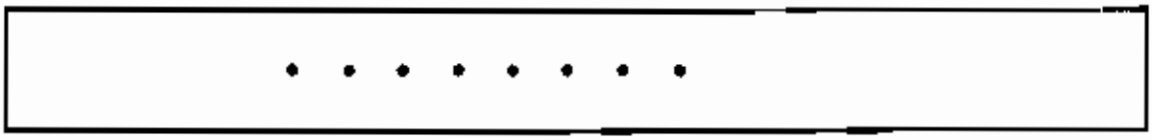
EXAMPLE 2: ONE 1/8" (3,2 mm), ONE 1/16" (1,6 mm), TWO 1/32" (0,8 mm) DISCONTINUITIES



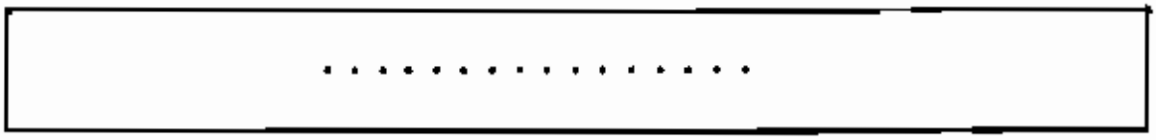
EXAMPLE 3: ONE 1/8" (3.2 mm), ONE 1/32" (0.8 mm), SIX 1/64" (0.4 mm) DISCONTINUITIES

EXAMPLE 4: FOUR 1/16" (1.6 mm) DISCONTINUITIES

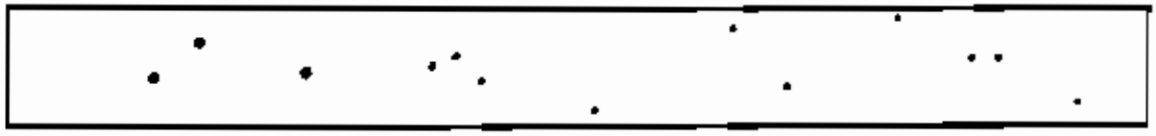
EXAMPLE 5: TWO 1/16" (1.6 mm), FOUR 1/32" (0.8 mm) DISCONTINUITIES



EXAMPLE 6: EIGHT 1/32" (0.8 mm) DISCONTINUITIES



EXAMPLE 7: SIXTEEN 1/64" (0.4 mm) DISCONTINUITIES



EXAMPLE 8: SCATTERED, THREE 1/32" (0.8 mm), TEN 1/64" (0.4 mm) DISCONTINUITIES

مثال‌های حداکثر نحوه پخش عیوب آخال سرباره مدور و حفره‌های گازی

احداث خطوط لوله انتقال

۱- مشخصات فنی و نقشه ها

۲- تعیین مسیر (حریم و باند عملیات ساختمانی)

۳- جاده دسترسی (راههای دسترسی، تسطیح، جاده دسترسی)

٤- تحویل گیری ، حمل و نقل، بارگیری، تخلیه و انبار کردن کالا و مواد

۵- زنگ زدائی و پرایمرزنی

۶- حفر کانال

۷- ریسه کردن لوله ها

۸- خم‌کاری لوله‌ها

۹- جوشکاری خط لوله و تعمیرات احتمالی

۱۰- بازرسی و آزمایش جوش

۱۱- پوشش و نوار پیچی(عایقکاری سرد یا گرم)

۱۲- عایقکاری شیرها و اتصالات

۱۳- آزمایش منفذ یابی عایقکاری لوله مدفون شونده

۱٤- استقرار لوله در کانال (لوله گذاری)

۱۵- ریختن خاک نرم دور لوله

۱۶- خاک ریزی برگشتی

۱۷- تقاطع با موانع هوائی یا موانع زمینی

۱۸- تقاطع با مسیر آبهای جاری

۱۹- تقاطع با رودخانه (عبور لوله از زیر آب)

۲۰- نصب شیرفلکه‌ها

۲۱- نصب اتصالات عایق

۲۲- کارهای بتنی، مهار و ساپورت (نصب فلنج مهارکننده)

۲۳- نصب تله ارسال توپک

۲٤- نصب تله دریافت توپک

۲۵- کوه نُری و تسطیح مسیر

۲۶- آماده سازی کانال در آبرفت ها

۲۷- آماده سازی کانال در قسمتهای کوهستانی

۲۸- اتصال میان مسیری

۲۹- اعمال پوشش بتنی روی لوله
۳۰- بسترسازی عبور از رودخانه
۳۱- نصب شیرها، فیتینگ ها و متعلقات
۳۲- پوشش محافظ برای شیرها، فیتینگ ها و غلاف ها
۳۳- تمیزکاری داخل لوله با زدن توپک تمیزکاری
۳٤- اندازه گیری قطر داخلی لوله با زدن توپک اندازه گیری
۳۵- آب‌زنی و آزمایش فشار هیدرواستاتیک
۳۶- نصب و راه اندازی تاسیسات و تجهیزات سیستم حفاظت کاتدی
۳۷- نصب تاسیسات توپک یاب
۳۸- علائم و نشانگذاری حط لوله
۳۹- رنگ آمیزی تاسیسات مختلف
٤۰- عملیات ساختمانی (گودبرداری، بتن و بتن آرمه)
٤۱- مرتب کردن و تمیزکردن نهائی محوطه عملیات
٤۲- مقررات حریم خطوط لوله انتقال
٤۳- آماده سازی برای راه اندازی و بهره برداری

اطلاعات دستورالعمل جوشکاری

۱ـ۱ـ مقدمه :

قبل از آنکه جوشکاری خط لوله شروع شود ، بایستی دستورالعمل جوشکاری مناسبی تهیه شود و با انجام آزمایشهای لازم به تایید برسد ونشان دهد که طبق دستورالعمل می توان جوشهائی با خواص مکانیکی(مقاومت ،قابلیت نرمی وسختی) مناسب وسالم بدست آورد. نتایج حاصل از این آزمایشات در فرم مخصوصی ثبت وبعنوان مدرک نگهداری میشود.

۲ـ۱ـ دستورالعمل جوشکاری طبق استاندارد (API 1104):

دستورالعمل جوشکاری طبق استاندارد ***API 1104*** بایستی اطلاعات زیر را داشته باشد

۱ـ۲ـ۱ـ

۱-فرآیند

فرآیندجوشکاری مورد استفاده (دستی ،نیمه خودکارياخودکار) بایستی مشخص شود.

۲ـ۲ـ۱ـ

۲- ماتریال لوله وفیتینگ

ماتریال مورداستفاده چه طبق استاندارد ***API SPEC 5L*** یا ***ASTM*** با یستی مشخص گردیده و ارائه گردد.

۳ـ۲ـ۱ـ

۳-قطر وضخامت لوله

محدوده قطر وضخا مت دیواره لوله بایستی مشخص و ارائه شود.

۴ـ۲ـ۱ـ

٤- طرح اتصال

مشخصات هندسی اتصال بایستی با رسم شکل نشان داده شودکه شامل :

راویه پخ . اندازه وجبهه ریشه ، فاصله بین دو لبه یا فاصله بین اعضاءمی باشد.شکل واندازه جوشهای گوشه ای بایستی نشان داده شود .

۵ـ۲ـ۱ـ

۵-فلزپرکننده و تعداد پاسها

اندازه وشماره طبقه بندی فلز پر کننده و حداقل تعداد پاسها و ترتیب وتوالی پاسها بایستی مشخص گردد.

۶-۲-۱-

۶-خصوصیات الکتریکی

نوع برق متناوب یا مستقیم و در صورت برق مستقیم ، قطب معکوس یا مستقیم بایستی مشخص شود. محدوده ولتاژ و آمپراژ برای هرالکترود یا سیم جوش بایستی ارائه گردد.

۷-۲-۱-

۷-خصوصیات شعله

شعله خنثی ،احیاء کننده یا اکسید کننده بایستی مشخص شود . اندازه اریفیس درنوک مشعل برای هر اندازه سیم جوش بایستی مشخص گردد.

۸-۲-۱-

۸-وضعیت جوشکاری

ثابت بودن لوله یا چرخاندن لوله هنگام جوشکاری بایستی مشخص شود.

۹-۲-۱-

۹- جهت جوشکاری

جوشکاری عمودی بایستی مشخص شود که از پائین به بالا است یا از بالا به پائین .

۱۰-۲-۸-

۱۰- زمان بین پاسها

حداکثر زمان بین تکمیل پاس ریشه و شروع پاس دوم ، همینطور حداکثر زمان بین اتمام پاس دوم وشروع پاس دیگر ، بایستی مشخص گردد.

۱۱-۲-۱-

۱۱- نوع گیره همترازی و موقع بازکردن گیره

برای سرهم کردن لوله ، آیا از گیره همترازی داخلی یا بیرونی استفاده میشود؟ ، یا از گیره استعاده نمی شود

در صورت استفاده از گیره همترازی ، حداقل چند درصد از پاس ریشه تکمیل شود، تابنوان گیره را باز نمود.

۱۲-۲-۱-

۱۲- تمیزکاری ویا سنگ زنی

برای تمیزکاری ازابزار دستی استفاده می شود یا از ابزار برقی و یا از سنگ زنی و یا هردو استفاده می شود

مراتب بایستی در دستور العمل اعلام گردد.

۱۳_۲_۱_

۱۳- عملیات حرارتی قبل وبعد ازجوشکاری

روش گرم کردن ، درجه حرارت لازم ، روش کنترل درجه حرارت ومحدوده درجه حرارت محیط برای عملیا ت حرارتی قبل و بعد از جوشکاری بایستی دردستورالعمل مشخص شود.

۱۴_۲_۱_

۱٤- گاز محافظ ودبی گاز

ترکیب گاز محافظ مورد استفاده ومحدوده دبی گاز (چندلیتربردقیقه)بایستی مشخص شود.

۱۵_۲_۱_

۱۵- پودر جوشکاری

نوع پودر جوشکاری بایستی مشخص گردد.

۱۶_۲_۱_

۱۶- سرعت حرکت

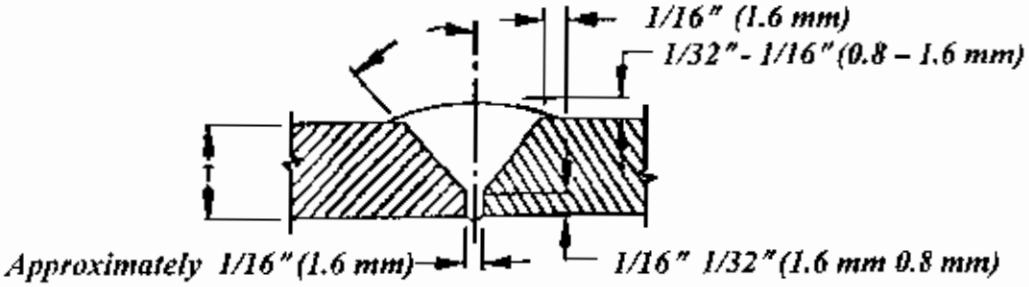
محدوده سرعت حرکت (اینچ یا میلیمتر بر دقیقه) برای هرپاس جوش بایستی مشخص شود.

Reference : API Standard 1104

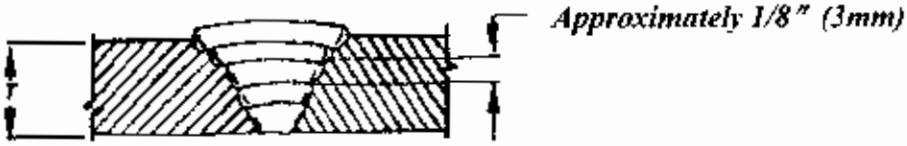
PROCEDURE SPECIFICATION NO.

For..... Working of..... Pipe and fiting.....
Process .....
Material .....
Diameter and wall thikness .....
Joint design.....
Filler metal and no. of beads.....
Electrical or flame characteristics.....
Position.....
Direction of welding.....
No. of weldings.....
Time lapse between passes.....
Type and removal of lineup clamp.....
Cleaning and/or grinding.....
Preheat / stress relief.....
Shielding gas and flow rate.....
Shielding flux.....
Speed of travel.....
Plasma gas composition..... Plasma gas flow rate.....
Plasma gas orifice size.....
Sketches and tabulations attached.....

Tested ..... Welder .....
Approved..... Welding supervisor.....
Adopted..... Chief engineer.....



Standard V-Bevel Butt Joint



Sequence of Beads

Note: Dimensions are for example only.

ELECTRODE SIZE AND NUMBER OF BEADS

Bead Number	Electrode Size and Type	Voltage	Amperage And Polarity	Speed

Figure 1 – Sample Procedure Specification Form

Welding of Pipeline and Related facilities

COUPON TEST REPORT

Date..... *Test No.*.....
Location.....
State..... *Weld Position* *Roll* ☐ *Fixed* ☐
Welder..... *Mark*.....
Welding time..... *Time of day*.....
Mean temperature..... *Wind break used*.....
Weather condifitions.....
Voltage..... *Amperage*.....
Welding machine type..... *Welding machine size*.....
Filler metal.....
Reinforcement size.....
Pipe type and grade.....
Wall thickness..... *Outside diameter*.....

	1	2	3	4	5	6	7
Coupon stenclied							
Origiral Specimen Dimensions							
Original Speccimen area							
Maximum load							
Tensile Strength							
Fracture Location							

☐ *Procedure* ☐ *Qualitying test* ☐ *Qualified*
☐ *Welder* ☐ *Line test* ☐ *Disqualified*

Maximum tensile..... *Minimum tenesile*..... *Average tenesile*.....
Remarks on tensile-strength tests.....
1......
2......
3......
4......
Remarks on bend tests.....
1......
2......
3......
4......
Remarks on nick-break tests.....
1......
2......
3......
4......

Test made at..... *Date*.....
Tested by..... *Supervised by*.....

Note: Use back for additonal remarks. This form can be used to report either a procedure qualification test or a welder qualification test

Figure 2 – Sample Coupon Tets Report

تغییرات اساسی

برای جوشکاری و حین جوشکاری ،پارامترهای جوشکاری تغییر می کنند . بعضی از این تغییرات حائز اهمیت است که به آنها «تغییرات اساسی» می گویند .

تغییرات اساسی موجب میشود که تایید صلاحیت دستورالعمل، تجدید شود. برای تغییرات دیگرکه اساسی نیستند، مشخصات روش جوشکاری تجدید نظر میشود، اما به تایید صلا حیت مجدد. نیازی نیست. تغییرات اساسی، که به تایید صلاحیت مجدد، نیاز دارند ، عبارتند از :

۱-فرآیند جوشکاری یا روش کاربرد

تغییرات فرآیند جوشکاری یا تغییر روش قبلی ، متغیر اساسی محسوب می شود.

۲- فلز مبنا

تغییر گروه فلزمبنا تغییر اساسی است. اگر دو گروه مختلف فلز مبنا به همدیگر جوش داده میشوند ، دستور العمل بر اساس گروه با مقاومت بالاتر تنظیم میگردد.

در استاندارد *API 1104* فلز پایه به سه گروه بشرح زیر تقسیم میشود :

الف- فلز مبنا باحداقل مقاومت تسلیمی مشخص شده کمتر از یا مساوی با ۴۲۰۰۰ پوند براینچ مربع .

ب – فلزمبنا حداقل مقاومت تسلیمی بیشتر از۴۲۰۰۰ پوند بر اینچ مربع تاکمتر از ۶۵۰۰۰ پوند بر اینچ مربع .

ج – فلز مبنا با حداقل مقاومت تسلیمی مساوی با یا بیشتر از۶۵۰۰۰پوند بر اینچ مربع.

برای گروه (ج) یعنی *X65* ، *X70* و *X80*هر کدام بایستی تایید صلاحیت روش (*PQR*) جداگانه ای تهیه شود .

۳- طرح اتصال

تغییر عمده درطرح اتصال (یعنی اگرشیار جناغی به شیار لاله ای تغییر پیدا کند تغییر اساسی است ولی تغییر جزئی در زاویه پخ یا پایه پخ شیار جوشکاری ، تغییر اساسی نمی باشد.

۴- حالت جوشکاری

تغییر جوشکاری لوله از حالت چرخان به حالت ثابت یا بالعکس ، تغییر اساسی محسوب می شود .

۵-۱۲-۱-

۵- ضخامت دیواره

تغییر ضخامت از یک گروه ضخامت دیواره به گروه دیگر ضخامت دیواره تغییر اساسی است .

تقسیم بندی گروه ضخامت دیواره بشرح زیر است :

الف – ضخامت اسمی دیواره لوله کمتر از ٤/٨ میلیمتر

ب – ضخامت اسمی دیواره لوله از ٤/٨ میلیمتر لغایت ۱۹/۱ میلیمتر

ج -ضخامت اسمی دیواره بیشتر از ۱۹/۱میلیمتر

۶-۱۲-۱-

۶- فلز پر کننده

تغییرات ذیل در فلز پر کننده ، تغییرات اساسی محسوب میشوند .

الف – تغییر از یک گروه فلز پر کننده به گروه دیگر (طبق جدول)

ب – برای ماتریال با حداقل مقاومت تسلیمی بیشتر از یا مساوی با ۶۵۰۰۰ پوند بر اینچ مربع، تغییر در طبقه بندی *AWS* فلز پر کننده .

گروه بندی فلز پرکننده

گروه	مشخصات	الکترود	پودر *c*
1	*A 5.1* *A 5.5*	*E6010 , E6011* *E7010 , E7011*	
2	*A 5.5*	*E8010 , E8011 , E9010*	
3	*A 5.1 or A 5.5* *A 5.5*	*E7015 , E7016 , E7018* *E8015 , E8016 , E8018 , E9018*	
4[a]	*A 5.17*	*EL8* *EL8K* *EL12* *EM5K* *EM12K* *EM13K* *EM15K*	*P6XZ* *F6X0* *F6X2* *F7XZ* *F7X0* *F7X2*
5[b]	*A 5.18* *A 5.18* *A 5.28* *A 5.28*	*ER70S-2* *ER70S-6* *ER80S-D2* *ER90S-G*	
6	*A 5.2*	*RG60 , RG65*	
7	*A 5.20*	*E61T-GS[d]* *E71T-GS[d]*	
8	*A 5.29*	*E71T8-K6*	
9	*A 5.29*	*E91T8-G*	

یادآوری : الکترود، سیم جوش و پودر دیگر نیز می تواند مورد استفاده قرارگیرد، اما *PQR* جداگانه لازم دارد

a - هر ترکیبی از پودر و سیم جوش در گروه ٤ می تواند برای تایید صلاحیت دستورالعمل بکاربرده شود. ترکیب پودر و سیم جوش بایستی طبق *AWS* مشخص شود مثل : *F7A0-EL12* یا *F6A2-EM12K*. فقط جایگزینی همان طبقه بندی *AWS* بدون تایید صلاحیت مجدد مجاز است

b - برای سیم جوش گروه ۵ بایستی گاز محافظ مصرف شود

c - در مشخصه پودر، *X* بجای *A* یا *P* می باشد (*A* = بهمان صورت جوش داده شده، *P* = بعد از عملیات حرارتی)

d - فقط برای جوشکاری پاس ریشه

تغییرات فلز پر کننده در گروه خود برای جوشکاری فلز مبنای هم گروه بلامانع است. ازنظر خواص مکانیکی فلز مبنا و فلز پرکننده بایستی سازگار یا هم خانواده باشند.

۷- خصوصیات الکتریکی

تغییر از جریان مستقیم به جریان متناوب و بالعکس ، تغییر اساسی است . در صورت استفاده ازبرق جریان مستقیم ، تغییر از الکترود مثبت به الکترود منفی یا بالعکس ، تغییر اساسی محسوب میشود .

۸ – زمان بین پاسها

افزایش حداکثر زمان بین تکمیل پاس ریشه وشروع پاس دوم ، تغییر اساسی است .

۹ – جهت جوشکاری

در جوشکاری عمودی ، تغییر در جهت پیشرفت جوشکاری یعنی تغییر از جوشکاری سرازیر به سربالا یا از سربالا به سرازیر ، تغییراساسی می باشد .

۱۰ – گاز محافظ ودبی گاز محافظ

تغییر از یک گاز محافظ به گاز محافظ دیگر یا از یک مخلوط گاز ها به مخلوط گازهای دیگر، تغییر اساسی محسوب می شود.

افزایش یا کاهش عمده در محدوده دبی گاز (لیتر بر دقیقه) برای گاز محافظ نیز تغییر اساسی به حساب می آید.

۱۱ – پودر جوشکاری

تغییر پودر جوشکاری (مطابق جدول فلز پرکننده)،تغییر اساسی است .

۱۲ –سرعت حرکت

تغییر در محدوده سرعت حرکت (سانتیمتر بر دقیقه) ، تغییر اساسی است .

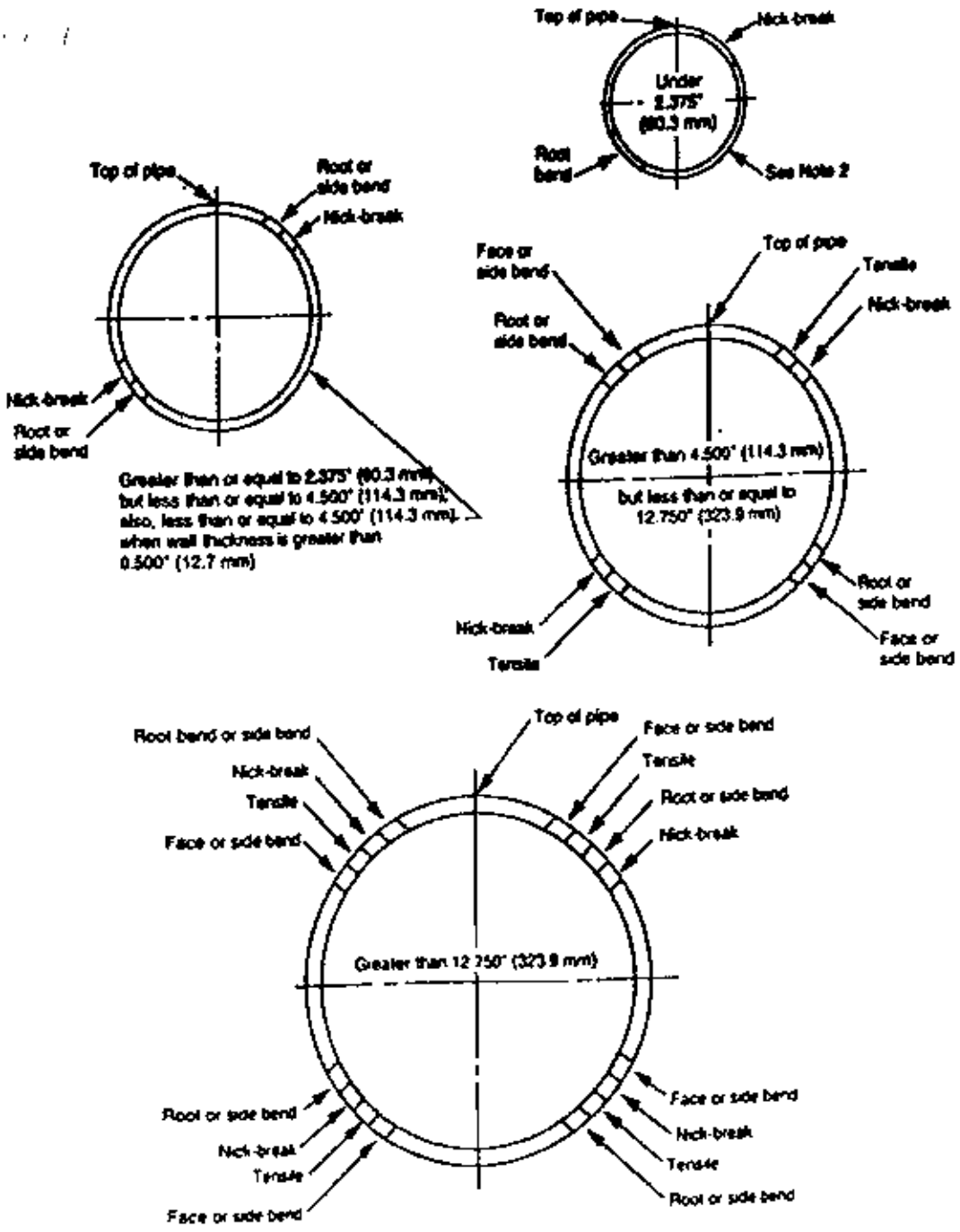
۱۳ – پیش گرمایش

کاهش حداقل درجه‌حرارت مشخص شده برای پیش گرمایش ،متغیر اساسی است .

۱٤ – عملیات حرارتی پس از جوشکاری (*PWHT*)

افزودن عملیات حرارتی پس از جوشکاری از محدوده یا مقادیر مشخص شده در دستور العمل ، تغییر اساسی محسوب می شود.

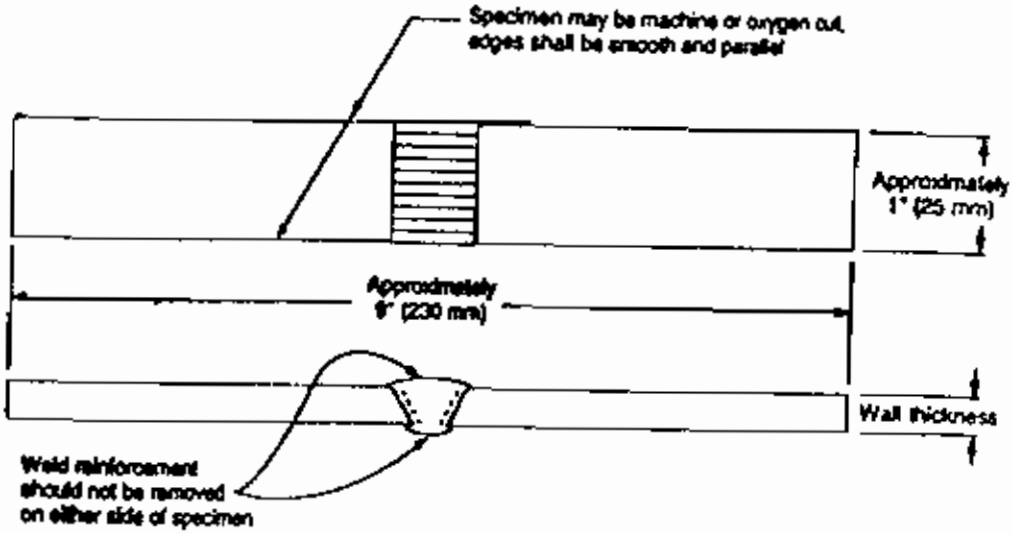
آزمایشات تایید صلاحیت دستورالعمل جوشکاری



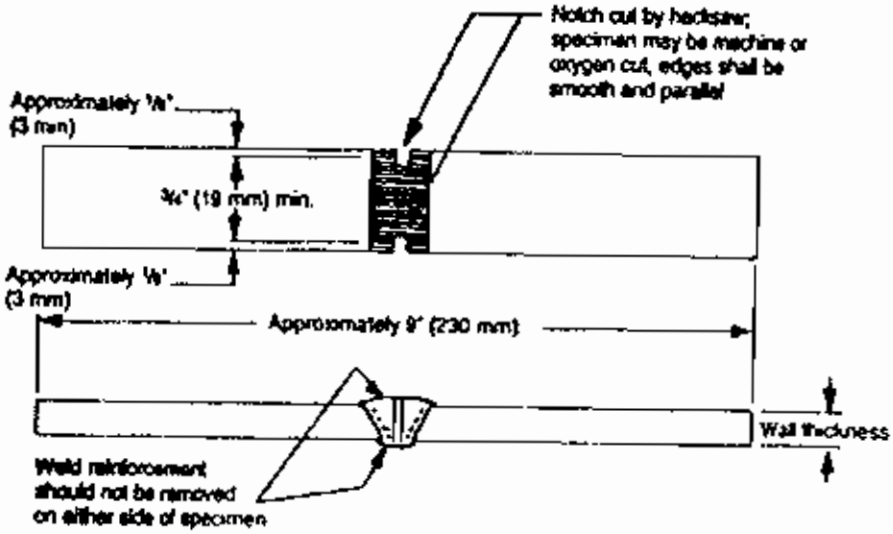
Notes
1 At the company's option, the locations may be rotated, provided they are equally spaced around the pipe; however, specimens shall not include the longitudinal weld.
2 One full section tensile specimen may be used for pipe with a diameter less than or equal to 1.315 in. (33.4 mm).

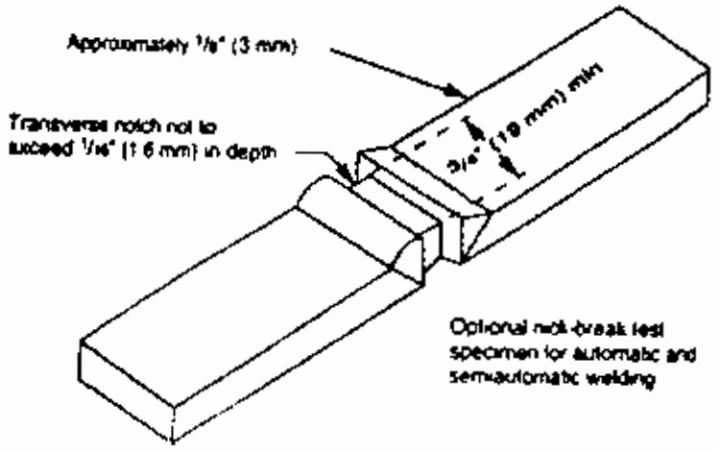
Location of Test Butt-Weld Specimens for Procedure Qualification Test

جای در آوردن نمونه های آزمایش جوش لب بلب برای آزمایش تایید صلاحیت دستورالعمل

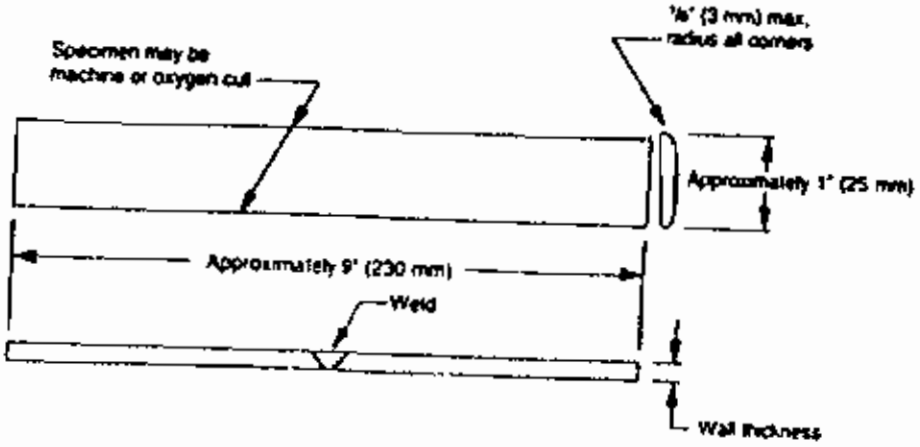


نمونه آزمایش مقاومت کششی *Tensile Strength Test Specimen*





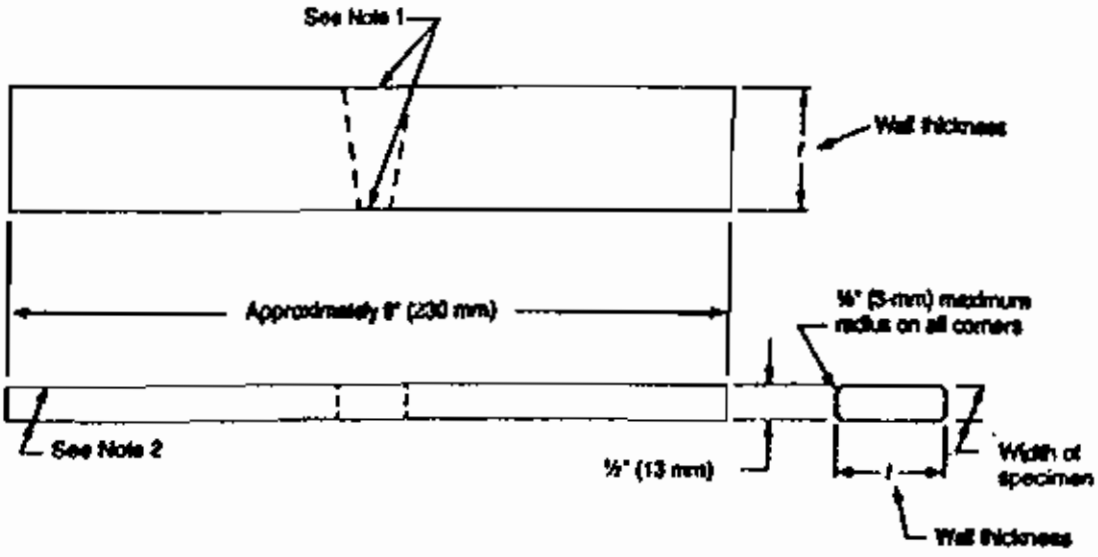
نمونه آزمایش شکست شکافی Nick-Break Test Specimen



Note The weld reinforcement shall be removed from both faces with the surface of the specimen. The specimen shall not be flattened prior to testing

·Root· and Face·Bend Test Specimen Wall Thicknesses Less Than or Equal to 0.500 in. (12.7 mm)

نمونه آزمایش خمش ریشه و رویه : ضخامت دیواره کمتر یا مساوی ۱۳ میلیمتر



Notes:
1. The weld reinforcement shall be removed from both faces flush with the surface of the specimen.
2. Specimens may be machine cut to a width of ½ in. (13 mm), or they may be oxygen cut to a width of approximately ¾ in. (19 mm) and then machined or ground smooth to a width of ½ in. (13 mm). Cut surfaces shall be smooth and parallel.

-Side-Bend Test Specimen: Wall Thicknesses Greater than 0.500 in. (13 mm)

نمونه آزمایش خمش پهلو: ضخامت دیواره بیشتر از ۱۳ میلیمتر

نوع و تعداد نمونه ها برای آزمایش تایید صلاحیت دستورالعمل

قطر خارجی لوله		تعداد نمونه ها					
اینچ	میلیمتر	مقاومت کششی	شکست شکافی	خمش ریشه	خمش رویه	خمش پهلو	کل
ضخامت دیواره کوچکتر یا مساوی با ۱۲/۷ میلیمتر							
< 2.375	< 60.3	0b	2	2	0	0	4a
2.375-4.500	60.3 - 114.3	0b	2	2	0	0	4
> 4.500-12.750	114.3-323.9	2	2	2	2	0	8
> 12.750	> 323.9	4	4	4	4	0	16
ضخامت دیواره بزرگتر از ۱۲/۷ میلیمتر							
≤ 4.500	≤ 114.3	0b	2	0	0	2	4
> 4.500-12.750	> 114.3-323.9	2	2	0	0	4	8
> 12.750	> 323.9	4	4	0	0	8	16

یادآوری:

a- یک نمونه آزمایش شکست شکاف دار و یک نمونه خمش ریشه باید از هر کدام از دو نمونه جوش شده گرفته شود یا برای لوله با قطر داخلی کمتر یا مساوی ۱/۳۱۵ اینچ (۳۳/٤ میلیمتر) یک نمونه استحکام کششی باید تهیه شود.

b – برای موادی با حداقل استحکام تسلیم مشخص شده بزرگتر از ***PSI*** ٤۲۰۰۰ (***Mpa***) ۲۹۰ حداقل یک نمونه تست کشش مورد نیاز است.

معیارهای پذیرش آزمایش های مخرب

الف – آزمایش کشش

برای هر نمونه مقاومت کششی جوش و منطقه ذوب، بایستی بزرگتر یا مساوی با حداقل مقاومت کششی مشخص شده جنس لوله باشد ولی نیازی نیست که بیشتر یا مساوی مقاومت کششی واقعی لوله باشد.

اگر نمونه خارج از جوش یا منطقه ذوب پاره شود و حداقل مقاومت کششی را داشته باشد، جوش قبول است.

اگر نمونه از جوش یا منطقه ذوب پاره شود ولی حداقل مقاومت مشخص شده لوله را داشته باشد، جوش قبول است.

اگر نمونه از فلز مبنا بشکند ولی مقاومت کمتر از حد لازم داشته باشد، نمونه بایستی تکرار شود.

ب – شکست شکافی

سطوح در معرض نمونه شکست شکافی بایستی نفوذ و ذوب کامل نشان دهد. بیشترین اندازه منفذ گازی از ۱/۶ میلیمتر بیشتر نباشد و مساحت منفذهای گازی نبایستی از ۲ درصد مساحت سطح در معرض بیشتر شود.

آخال سرباره نبایستی عمق بیشتر از ۰/۸ میلیمتر و طول بیشتر از ۳ میلیمتر یا نصف ضخامت دیواره لوله هرکدام کوچکتر است، باشد. بین دو آخال محاور بایستی حداقل ۱۳ میلیمتر فاصله وجود داشته باشد.

ج – آزمایش خمش ریشه و رویه

اگر ترک یا عیب دیگر بیشتر از ۳/۲ میلیمتر یا نصف ضخامت دیواره، هرکدام کوچکتر است، در هر جهت در جوش یا منطقه ذوب نمایان نشود، جوش قبول است.
ترک ناشی از آماده سازی لبه های نمونه که حین آزمایش بوجود آید و کمتر از ۶ میلیمتر طول در هر جهت داشته باشد، عیب محسوب نمی شود مگر آنکه عیب بدیهی دیده شود.

تمام نمونه های آزمایش خمش بایستی قبول شوند.

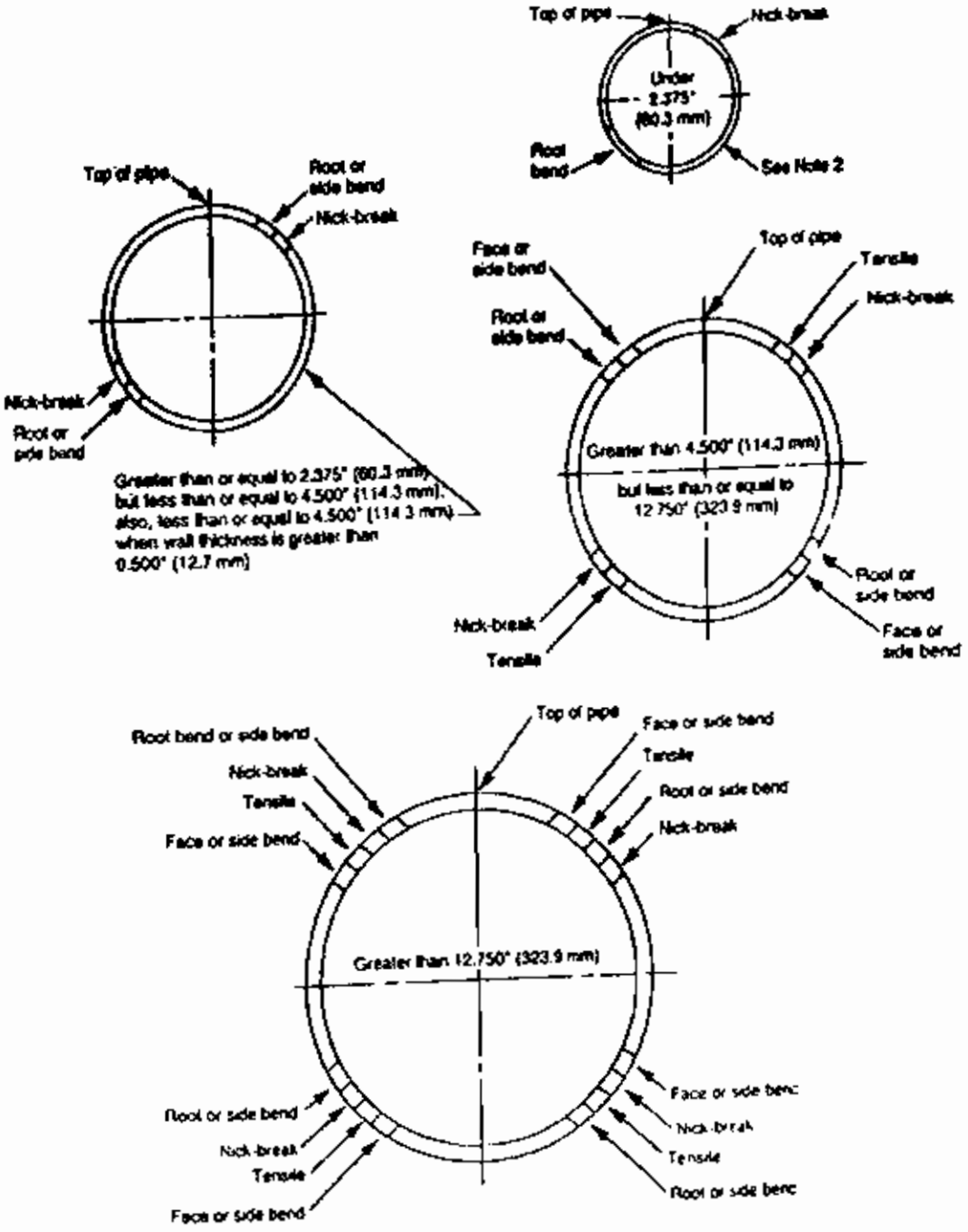
آزمون تایید صلاحیت جوشکار

نوع و تعداد نمونه های آزمایش جوش لب بلب برای آزمون تایید صلاحیت جوشکار و آزمایش مخرب جوشهای تولیدی

قطر خارجی لوله		تعداد نمونه ها					
اینچ	میلیمتر	مقاومت کششی	شکست شکافی	خمش ریشه	خمش رویه	خمش پهلو	کل
صخامت دیواره کوچکتر یا مساوی با ۱۲/۷ میلیمتر							
< 2.375	< 60.3	0	2	2	0	0	4a
2.375-4.500	60.3-323.9	0	2	2	0	0	4
> 4.500-12.750	114.3-323.9	2	2	2	0	0	6
> 12 750	> 323.9	4	4	2	2	0	12
صخامت دیواره بزرگتر از ۱۲/۷ میلیمتر							
≤ 4.500	≤ 114.3	0	2	0	0	2	4
> 4.500-12.750	> 114.3-323.9	2	2	0	0	2	6
> 12.750	> 323.9	4	4	0	0	4	12

یادآوری:

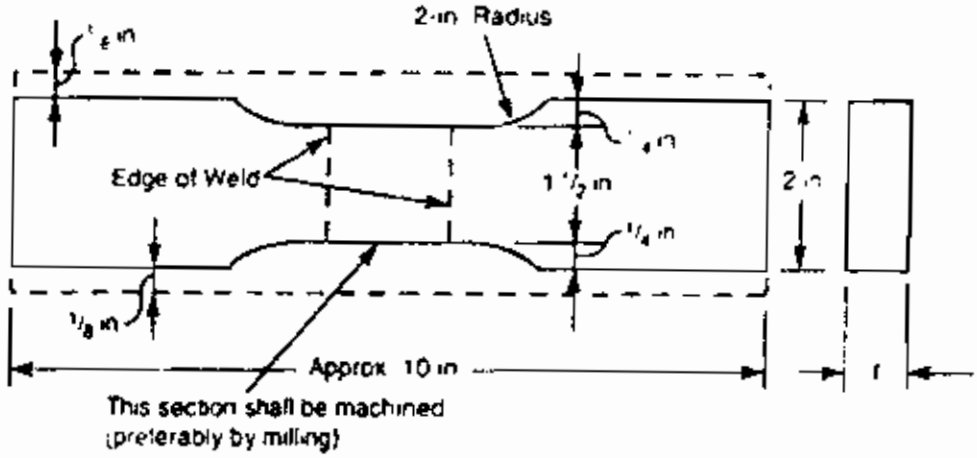
a- برای لوله های با قطر خارجی کمتر یا برابر با ۱/۳۱۵ اینچ (۳۳/٤ میلیمتر) نمونه ها از دو نمونه جوش یا یک نمونه استحکام کششی باید تهیه شوند.



Notes

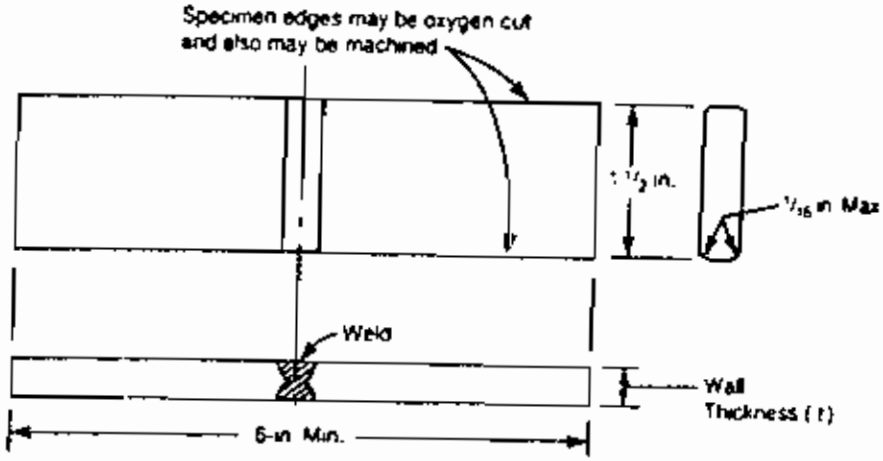
1. At the company's option, the locations may be rotated, provided they are equally spaced around the pipe; however, specimens shall not include the longitudinal weld.
2. One full section tensile strength specimen may be used for pipe with a diameter less than or equal to [illegible] mm).

جای درآوردن نمونه های آزمایش جوش لب بلب برای آزمون جوشکار



NOTES
1 Weld reinforcement or flash may or may not be removed flush with base metal
2 To convert inches (in) to millimetres (mm) multiply by 25 4

نمونه آزمایش کشش با مقطع باریک شده طبق *AWWA C200*



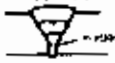
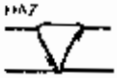
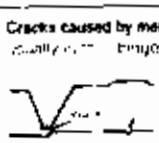
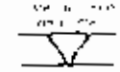
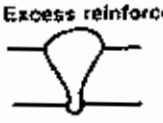
NOTES
1. Weld reinforcement or flash need not be removed flush with base metal
2. To convert inches (in.) to millimetres (mm), multiply by 25 4

نمونه آزمایش خمش راهنمائی شده طبق *AWWA C200*

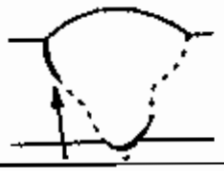
ورق ضخیم، نازک یا کویل برای ساخت لوله طبق *AWWA C200*

مشخصات فنی	درجه	حداقل نقطه تسلیم *Psi* *(Mpa)*
	Steel Sheet- Coil or Flat	
ASTM A570/A570M	30	30,000 (207)
	33	33,000 (228)
	36	36,000 (248)
	40	40,000 (276)
	45	45,000 (310)
	50	50,000 (345)
ASTM A607/A607M	45	45,000 (310)
	50	50,000 (345)
ASTM A907/A907M	30	30,000 (207)
	33	33,000 (228)
	36	36,000 (248)
	40	40,000 (276)
ASTM A935/A935M	45	45.000 (310)
	50	50.000 (345)
ASTM A935/A935M	50	50,000 (345)
	Steel Plate	
ASTM A36/A36M		36,000 (248)
ASTM A283/A283M	C	30,000 (207)
	D	33,000 (228)
ASTM A572/A572M	42	42,000 (290)
	50	50,000 (345)

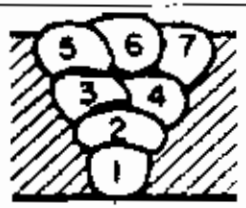
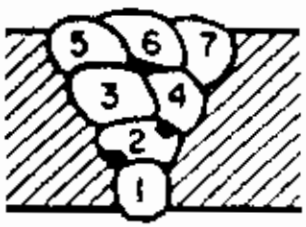
مشکل گشائی TROUBLE SHOOTING

عیب	شکل	علت	چگونگی پرهیز از عیب
تخلخل قابل دید	Porosity visible on the surface	- توسان دست اضافی و کنترل نشده - فاصله زیاد قوس - افزایش ریسک در لوله جدار نازک) - محتوای خیلی زیاد رطوبت در پوشش الکترود	- توسان دست را دو برابر قطر الکترود بیشتر نشود - قطر الکترود و آمپراژ مناسب با ضخامت دیواره لوله انتخاب شود. - الکترود در محفظه بسته نگهداری و دستورالعمل انبار کردن الکترود رعایت شود.
سوراخ ریز غیرقابل دید	Pinholes not visible on the surface	- فرایند اکسیژن گیری ناخیری در رسوب خوش - محتوای رطوبت پوشش الکترود خیلی کم یا خیلی زیاد	- از برهم زدن اضافی فلز خوش رسوب داده شده پرهیز شود - به‌دستورالعمل نگهداری الکترودها توجه شود.
تخلخل طویل‌شده اغلب در قسمت بیرونی گرده پاس خطی نادراین، عملاً بدون کاهش مقطع	Piping or hollow bead almost exclusively at the reinforcement of stringer beads. Therefore practically no reduction of cross section	- فاصله خیلی کم دو لبه در ریشه، گاززدائی بوسیله رقیق شدن اضافی ممانعت شده است - ترکیب شیمیائی فلزمبنا مبران آلومینیم زیاد، تشکیل تخلخل طویل شده را تسهیل میکند	- فاصله دو لبه از یک میلیمتر کمتر نشود - فاصله بهینه دولبه ریشه ۱/۵ میلیمتراست. - درصد آلومینیوم در فولاد نایستی ۰/۰۴۰ درصد بیشتر نباشد اگر مشکل وجود دارد. از الکترود با قطر کوچکتر استفاده شود
آخال سرباره عموماًدرزویه‌های شیار و ناحیه پاس خطی (رسل وار) بوجود می آید	Slag inclusions generally occurring in groove faces and in stringer bead area wagon tracks 	- تمیرکردن ناکافی در بین پاسها - ضعف سنگ زنی در پاس خطی - توسان نادرست الکترود - خیلی کم بودن آمپر	- هر لایه ، با برس برقی دوار تمیر شود - قبل از آنکه پاس گرم جوش داده شود، پاس ریشه سنگ زده شود - بهبود توسان الکترود - افزایش آمپر
ذوب ناقص (سرد جوشی)	Lack of fusion cold shuts	- ذوب ناکافی رویه های شیار - خیلی کم بودن آمپر - آلودگی وبااکسیدشدگی رویه‌های شیار	- آمپر متناسب با قطر الکترود و حالت جوشکاری انتخاب شود - رویه های شیار به درستی تمیر شود
ترک زیرمهره‌ای منحصراً در منطقه تاثیر حرارت سخت شده	Underbead cracks detected non-destructively in the transformed HAZ 	عملکرد مرکب هیدروژن، تنش، ساختار سخت شده	- پیش گرمایش لوله برای تسهیل در دفع هیدروژن، افزایش گرمای ورودی نیز ترجیح دارد - اجتناب از جوش شاخه لوله - چون سخت شدن قابل ملاحظه‌ای حین جوشکاری پاس ریشه انتظار میرود، نادراین پاس گرم بایستی بلافاصله پس از تکمیل پاس ریشه، جوش داده شود.
ترک ناشی از تنشهای مکانیکی معمولاً در ناحیه پاس دمی	Cracks caused by mechanical stresses usually in the stringer bead weld 	-جابجائی شاخه‌لوله‌حین جوشکاری پاس‌ریشه‌ویاقبل‌ازاعمال‌پاس گرم -نامیزانی لبه خیلی زیاد، موجب کاهش‌مقطع عرضی‌شده‌و احتمال ترک را افزایش داده است.	- از جابجائی شاخه لوله خصوصاً حین جوشکاری پاس حطی ریشه، پرهیز شود. - برای حداکثر عدم همترازی مجاز که بهر صورت باید حداقل نگهداشته شود، به استاندارد و مشخصات فنی رجوع شود.
بریدگی کناره در ناحیه پاس خطی و پاس آخر	Undercuts 	- شدت حریان خیلی زیاد - توسان نادرست دست	- انتخاب آمپر درست متناسب با قطر الکترود
گردهٔ اضافی	Excess reinforcement 	- توسان نادرست دست	- انتخاب آمپر متناسب با عرض اتصال - در نظر گرفتن جا برای پاس پوششی مطلوب، هنگام اعمال آخرین پاس پرکنی (یعنی توسیله لایه های اضافی یا سنگ زنی لایه های پرکنی که خیلی زیاد هستند)
گود افتادگی پاس ریشه	Sagging stringer bead	- شدت حریان خیلی زیاد - آماده سازی ضعیف اتصال، فاصله ریشه خیلی زیاد	- انتخاب آمپر درست متناسب با آماده سازی اتصال برای پاس ریشه
نشانه‌های قوس‌زنی	Striking marks	- قوس‌زنی طرف راست یا چپ اتصال موجب سخت شدن موضعی میگردد و احتمال ترک ناشی از سخت شدن را بالا می برد.	- قوس در داخل شیار روشن شود.

معیار پذیرش جوش با رادیوگرافی طبق API 1104

نام عیب	شرح عیب	شکل	حداکثر اندازهٔ مجاز	ملاحظات
نفوذ ناقص (IP)	نفوذ ناقص بدون بالا و پائین بودن لبه (پرنشدن کامل ریشه جوش)		طول ۲۵ میلیمتر (انفرادی) طول ۲۵ میلیمتر در ۳۰۰ میلیمتر (مجموع) ۸ درصد طول جوش (برای طول کمتر از ۳۰۰ میلیمتر)	
نفوذ ناقص (IPD)	نفوذ ناقص بخاطر بالا و پایین بودن لبه (نمایان بودن یک لبه در ریشه بخاطر عدم همترازی)		طول ۵۰ میلیمتر (انفرادی) طول ۷۵ میلیمتر (مجموع)	
نفوذ ناقص (ICP)	نفوذ ناقص در پایهٔ پخ (عیب زیرسطحی بین اولین پاس داخلی و اولین پاس بیرونی)		طول ۵۰ میلیمتر (انفرادی) طول ۵۰ میلیمتر در ۳۰۰ میلیمتر (مجموع)	
ذوب ناقص (IF)	عیب سطحی بین فلزجوش و فلز مبنای منتهی به سطح		طول ۲۵ میلیمتر (انفرادی) طول ۲۵ میلیمتر در ۳۰۰ میلیمتر (مجموع) ۸ درصد طول جوش (برای طول کمتر از ۳۰۰ میلیمتر)	
ذوب ناقص (IFD)	ذوب ناقص بخاطر سرد جوشی (عیب بین دو فلز جوش مجاور یا بین فلزی جوش وفلز مبنای غیرمنتهی به سطح)		طول ۵۰ میلیمتر (انفرادی) طول ۵۰ میلیمتر در ۳۰۰ میلیمتر (مجموع) ۸ درصد طول جوش (برای طول کمتر از ۳۰۰ میلیمتر)	
تقعر داخلی (IC)	کودشدگی وسط جوش از طرف داخل لوله			درجه سیاهی تعقر از درجه سیاهی فلز مبنا بیشتر نباشد

معیار پذیرش جوش با رادیوگرافی طبق API 1104

نام عیب	شرح عیب	شکل	حداکثر اندازهٔ مجاز	ملاحظات
سوختگی سرتاسری (BT)	قسمتی از پاس ریشه بخاطر نفوذ اضافی پاس دوم، سوخته شده و بطرف داخل لوله سوق داده شده است.		حداکثر اندازه ۶ میلیمتر و درجه سیاهی BT از درجه‌سیاهی فلزمبنابیشتر نباشد. حداکثر اندازه بیشترازضخامت لوله بازکتربباشد ودرجه سیاهی BT ازدرجه سیاهی فلزمبنا بیشتر نباشد. مجموع حداکثر اندازه های BT جداگانه از ۱۳ میلیمتر در ۳۰۰ میلیمتر یا طول کل جوش هر کدام کمتر است، بیشتر نباشد (برای لوله کوچکتر از قطر ۶۰ میلیمتر فقط یک BT به هر اندازه بیشتر نباشد)	
آخال سرباره (SI)	سرباره جامد حبس شده در فلز جوش یا بین فلز جوش و فلز مبنا			
آخال سرباره طویل شده (ESI)	خطوط سرباره پیوسته یا شکسته (معمولاً در منطقه ذوب)		طول ۵۰ میلیمتر (انفرادی) طول ۵۰ میلیمتر در ۳۰۰ میلیمتر (مجموع) عرض ۱/۶ میلیمتر	آخال سرباره طویل شده موازی اگر به اندازه پهنای پاس ریشه از هم فاصله داشته باشد، تکی محسوب میشود ولی اگر پهنای هر کدام از ۰/۸ میلیمتر بیشتر باشد، عیوب جداگانه به‌حساب می‌آیند.
آخال سرباره منفرد (ISI)	سرباره با شکل نامنظم که در هر جای جوش ممکن است وجود داشته باشد		طول ۱۳ میلیمتر در ۳۰۰ میلیمتر (مجموع) عرض ۳ میلیمتر ٤ یا عرض حداکثر ۳ میلیمتر در ۳۰۰ میلیمتر ۸ درصد طول جوش (جمع ESI و ISI)	

معیار پذیرش جوش با رادیوگرافی طبق API 1104

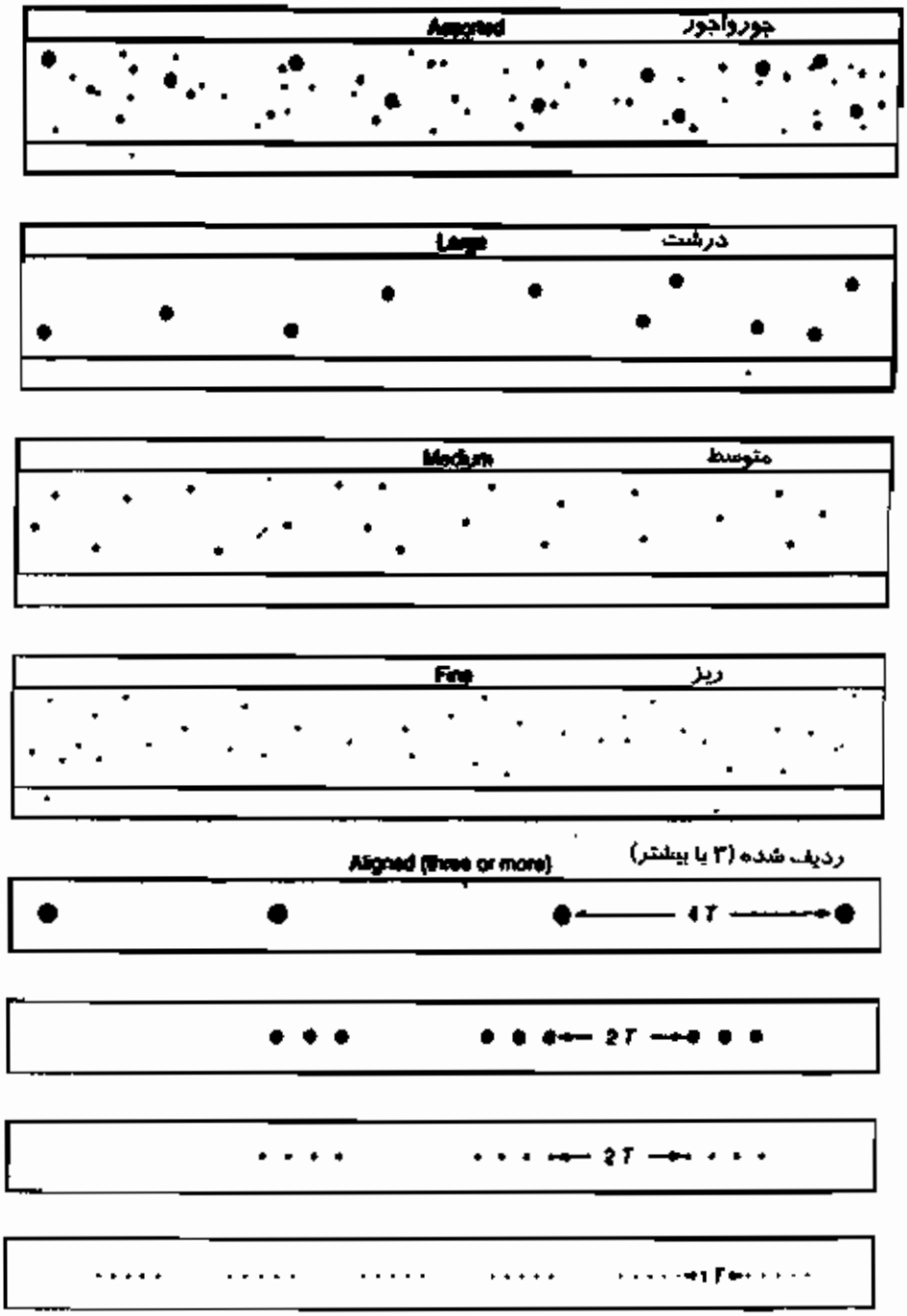
نام عیب	شرح عیب	شکل	حداکثر اندازهٔ مجاز	ملاحظات
تخلخل (P)	منفذهای گازی حبس شده در فلز جوش		اندازه ۳ میلیمتر ۰/۲۵ ضخامت قطعه نازکتر	
تخلخل پراکنده (SP)	منفذهای گازی پراکنده		بیشتر از نمودار ارائه شده نباشد	
تخلخل خوشه ای (CP)	منفذهای گازی مجتمع		تخلخل خوشه ای پاس رو: قطر خوشه ۱۳ میلیمتر طول ۱۳ میلیمتر در ۳۰۰ میلیمتر (مجموع) اندازه منفذ انفرادی در خوشه از ۱/۶ میلیمتر بیشتر نباشد	تخلخل خوشه ای پاسهای میانی همانند تخلخل پراکنده درنظر گرفته شود.
تخلخل طویل شده (HB)	تخلخل طویل شده خطی در پاس ریشه		طول ۱۳ میلیمتر (انفرادی) طول ۵۰ میلیمتر در ۳۰۰ میلیمتر (مجموع) HB های با طول بیشتر از ۶ میلیمتر به فاصله بیشتر از ۵۰ میلیمتر ۸ درصد طول جوش (مجموع)	

معیار پذیرش جوش با رادیوگرافی طبق API 1104

نام عیب	شرح عیب	شکل	حداکثر اندازهٔ مجاز	ملاحظات
ترک (C)	جدایش دو قسمت از فلز		هر اندازه یا هر حای جوش مجاز نیست	بجز ترک کم عمق یا ترک ستاره‌ای در چاله‌اسپای جوش
بریدگی کناره (E) بیرونی (I)ریشه	شیار ایجاد شده در فلز مبنای کناره جوش		طول ۵۰ میلمتر در ۳۰۰ میلمتر (مجموع EI و IU) یک ششم طول جوش (مجموع EU و IU)	در بازرسی چشمی: عمق تا ۰/۸ میلیمتر یا ۱۲/۵ درصد ضخامت، عمق بیشتر از ۰/۸ تا ۱/۴ میلیمتر یا بیشتر از ۱۲/۵ تا ۲۵ درصد ضخامت، بطول ۵۰ میلیمتر در ۳۰۰ میلیمتر طول جوش. عمق کمتر یا مساوی ۰/۴ میلیمتر یا کمتر یا مساوی ۶ درصد ضخامت با هر طول
تجمع عیوب (AI)	تجمع چند نوع عیب (بجز نعوذ ناقص بخاطر بالا و پایین و بریدگی کناره)		طول ۵۰ میلیمتر در ۳۰۰ میلمتر (مجموع) ۸ درصد طول جوش (مجموع)	

(۹)

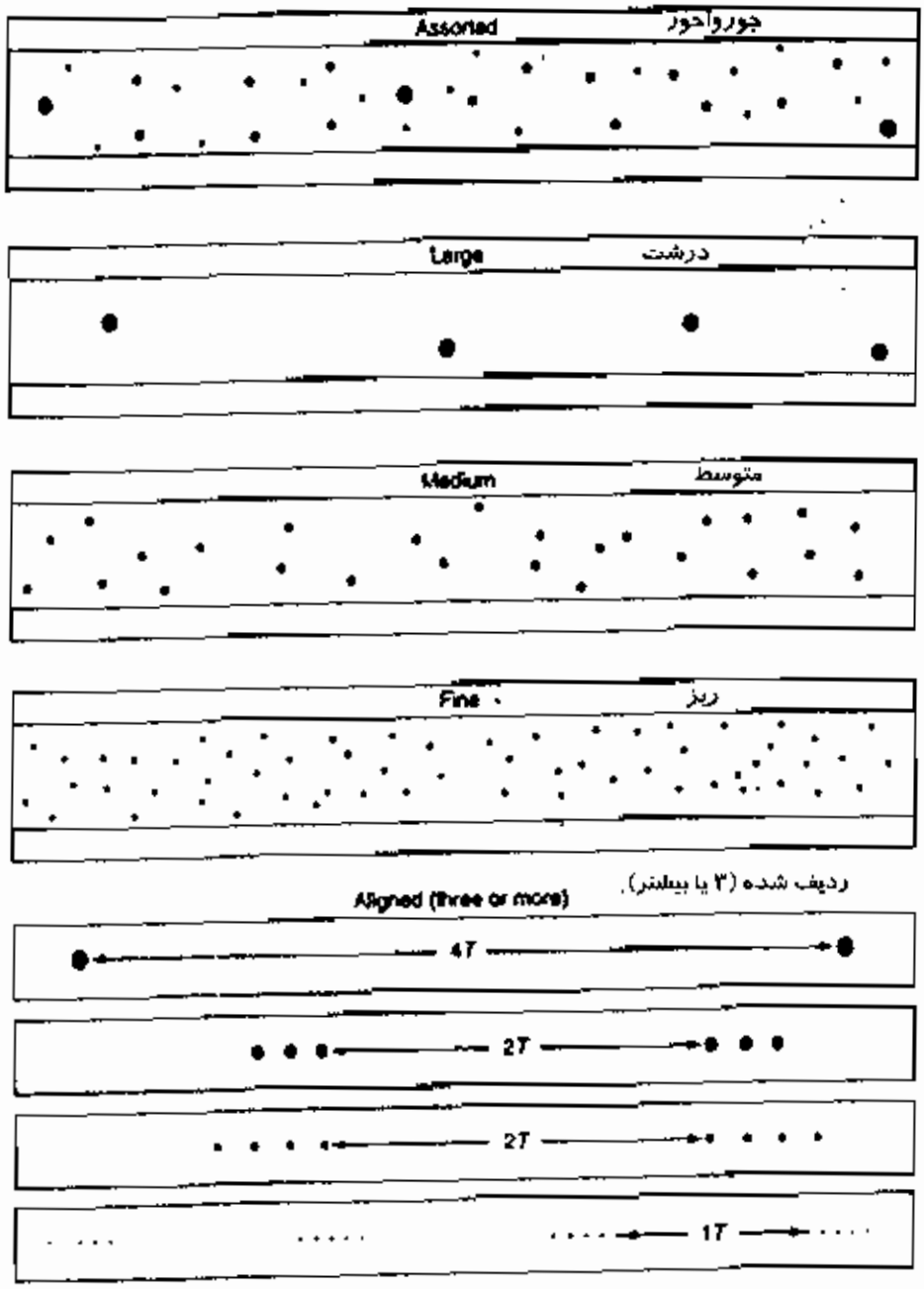
جوشکاری خط و لوله



یادآوری: اندازه‌ها، مقیاس ندارد.

حداکثر پخش حفره های گازی: ضخامت دیواره کمتر یا مساوی با ۱۲/۷ میلیمتر

1.15 cm طول

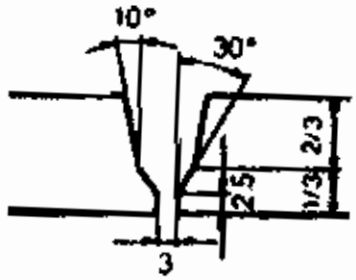


یادآوری : اندازه‌ها، مقیاس ندارد.

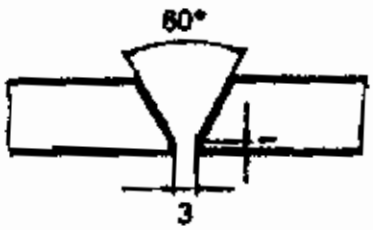
حداکثر پخش حفره های گازی : ضخامت دیواره بیشتر از ۱۲/۷ میلیمتر

بخش ۲ - دستورالعمل جوشکاری با الکترودهای سلولزی

۲ـ۱ ـ آماده سازی لبه برای جوشکاری با الکترودهای روپوش سلولزی



ضخامت دیواره بزرگتر از ۲۰ میلیمتر



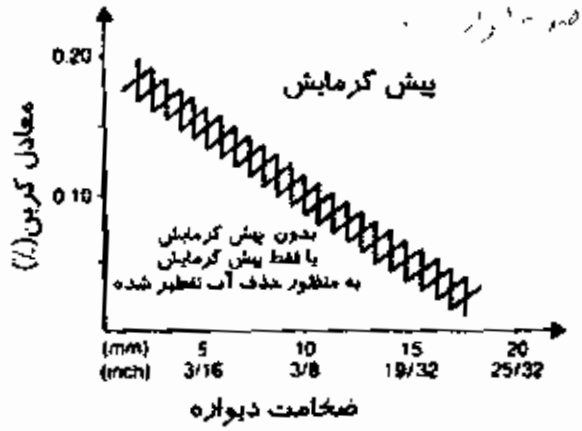
ضخامت دیواره کوچکتر یا مساوی ۲۰ میلیمتر

۲ـ۲ـ پیش گرمایش

پیش گرمایش برای دفع هیدروژن مفید است و استعداد ترک زیرمهره ای و ترک هیدروژنی در جوش را خنثی می‌کند. فایده دیگر پیش گرمایش آنستکه سخت شدن منطقه جوش و کنار جوش را (بسته به سطح درجه حرارت پیش گرمایش و ترکیب شیمیایی فولاد) به حداقل می رساند.

تجربه نشان داده است که درجه حرارت ۱۵۰ درجه سانتیگراد برای پیش گرمایش کافی است. در هر صورت برای ضخامت دیواره لوله بیشتر از ۲۰ میلیمتر، بدون توجه به سطح کربن فولاد، بایستی پیش گرمایش اعمال شود. برای فولادهای پرکربن که استعداد سخت شدن دارند، درجه حرارت پیش گرمایش به حدود ۲۰۰ درجه سانتیگراد افزایش می یابد.

برای لوله های جدار نازک که استعداد افزایش سختی آنها کم است، گرم کردن دو سر لوله به حداقل ۵۰ درجه سانتیگراد توصیه می شود.



بستگی پیش گرمایش به ضخامت دیواره و معادل کربن

۲-۳- درجه حرارت بین پاسی

درجه حرارت بین پاسی بر فرایند متالورژیکی که حین انجماد و سرد شدن جوش به وقوع می پیوندد تاثیر دارد و بنابراین تا حد معینی بر خواص مکانیکی فلز جوش اثر می‌گذارد. درجه حرارت بین پاسی بر سرعت دفع هیدروژن نیز موثر است. بنابراین عموماً توصیه می شود که درجه حرارت بین پاسی از حداقل ۸۰ درجه سانتیگراد حین جوشکاری کمتر نشود

وقتی از الکترودهای روپوش سلولزی با مقاومت بالا (نظیر مقاومت کششی ۹۰۰۰۰ پوند براینچ مربع) استفاده می شود، توصیه می شود که حداقل درجه حرارت بین پاسی از ۱۴۰ درجه سانتیگراد کمتر نسود

۲-۴- ماشین های جوشکاری

الکترودهای روپوش سلولزی فقط می توانند با جریان مستعیم کار کنند. ماشینهای جوشکاری بایستی خصوصیات افت کننده و ولتاژ مدار بازبالا داشته باشند.

در جوشکاری قوسی دستی ، فاصله بین نوک الکترود و حوضچه جوش یا طول قوس را نمی توان ثابت نگهداشت. طول قوس با ولتاژ قوس رابطه مستقیم دارد. یعنی هرچه طول قوس بیشتر باشد، ولتاژ قوس هم بیشتر است. بنابراین اگر طول قوس ثابت نباشد، ولتاژ قوس هم ثابت نخواهد بود.

استفاده از ماشینهای جوشکاری با خصوصیات افت کننده، این تغییرات را بحداقل می رساند.

ولتاژ مدار باز ماشینهای جوشکاری روپوش سلولزی بایستی از ۷۰ ولت بیشتر باشد تا بتواند انرژی زیاد یونیزاسیون را برای تجزیه مواد متشکله روپوش الکترود فراهم نماید.

ژنراتورهای مورد استفاده برای جوشکاری با الکترودهای سلولزی خطوط لوله . دارای ولتاژ مدار باز حدود ۸۰ تا ۱۰۰ ولت هستند.

الکترودهای با قطر بزرگتر، نیاز به آمپراژ بالا، همینطور ولتاژ بالا دارند، که ژانراتورها بایستی موقع جوشکاری تامین نمایند

بخش ۳ - تکنیک جوشکاری با الکترودهای روپوش سلولزی

۳-۱- پاس خطی یا پاس ریشه

پاس خطی یا پاس ریشه موقعی جوش داده می شود که با گیره های همترازی دو شاخه لوله در یک راستا نگهداشته می شوند.

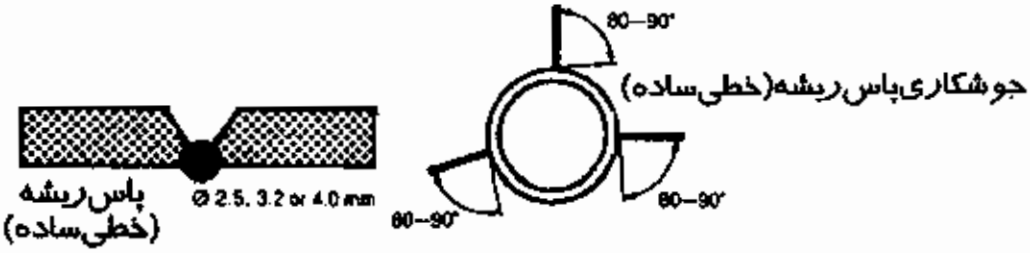
برای لوله با قطر بیشتر از ۲۰۰ میلیمتر (۸ اینچ)، عموماً از دو جوشکار بطور همزمان در طرفهای مقابل استفاده می شود. برای لوله های بزرگتر حتی سه یا چهار جوشکار ممکن است بطور همزمان لازم باشد تا پیچیدگی را کاهش دهد و بتواند فاصله دو لبه را دور تا دور لوله بطور یکنواخت نگهدارد.

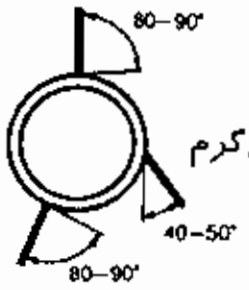
سه یا چهار جوشکار برای اجرای پاس ریشه لوله با قطر از ۷۰۰ میلیمتر (۲۸ اینچ) به بالا یا در زمینهای ناجور بکار گرفته می شود.

برای این قسمت مهم جوش که نیاز به نفوذ کامل دارد، قطر الکترود، سرعت حرکت وآمپراژ بایستی متناسب با قطر و ضخامت دیواره لوله انتخاب گردد. برای لوله با قطر تا حدود ۲۵۰ میلیمتر *(10")* و ضخامت دیواره ۸ میلیمتر ، الکترود به قطر ۳/۲ میلیمتر و برای لوله های بزرگتر، الکترود به قطر ٤ میلیمتر توصیه می شود. جوشکاری بصورت عمودی سرازیر انجام می شود، الکترود طوری نگهداشته می شود که تماس خوب با سطوح پخ زده شده داشته باشد. دستورالعمل توصیه شده، الکترود منفی است.

قطر الکترود (میلیمتر)	محدوده شدت جریان (آمپر)
۲/۵	۵۰ تا ۸۰
۳/۲	۸۰ تا ۱۰۰
٤	۱۲۰ تا ۱۵۰

گیره همترازی بایستی موقعی رها شود که پاس ریشه در سرتاسر محیط لوله کامل شده باشد و برای لوله های بزرگتر، گیره همترازی پس از تکمیل جوشکاری پاس گرم آزاد می گردد. هنگام جوشکاری پاس ریشه، لوله‌ها تکان داده نشود تا از ریسک تشکیل ترک، پرهیز شود.





جوشکاری پاس گرم

پاس گرم

۲-۳- پاس گرم

قدری سنگ زنی سطح پاس خطی با سیمهای برس برقی از آخال سرباره جانبی (که در فیلم رادیوگرافی بصورت خطوط سرباره یا *WAGGON TRACKS* نشان داده میشوند) جلوگیری می کند. برای جوشکاری پاس گرم. الکترود تقریباً عمودی نگهداشته می‌شود. آمپراژ زیاد با الکترود متصل به قطب مثبت مورد استعاده قرار می گیرد.

اندازه الکترودی که معمولاً مورد استفاده قرار می گیرد عبارتند از:

٤ میلیمتر با ۱۵۰ تا ۱۸۰ آمپر یا

۵ میلیمتر با ۱۷۰ تا ۲۱۰ آمپر

شدت جریان بالا موجب نفوذ عمیق می‌گردد که هر نوع آخال سرباره باقیمانده را به سطح شناور می‌سازد و از آنیل شدن سرتاسری پاس ریشه، اطمینان می دهد.

پاس گرم بایستی بلافاصله پس از تکمیل جوشکاری پاس خطی شروع شود و در هیچ موردی بیش از ۱۰ دقیقه وقفه نیفتد. این موضوع برای گریدهای لوله با مقاومت رباد، حائز اهمیت فراوانی است تا از ترک زیرمهره ای در فلز مبنا جلوگیری شود.

۳-۳- پاسهای پرکنی

اگر الکترود قدری حرکت دایره ای یا پله ای داشته باشد، خصوصاً در ساعت ۱۲ تا ۲ ، ۱۲ تا ۱۰ ، ٤ تا ۶ و ۸ تا ۶ ، در آن صورت جوش بقدر کافی تخت و بدون بریدگی کناره و آخال سرباره خواهد شد. بعد از جوشکاری هر پاس برای پاک کردن سرباره از برس برقی کاسه ای استفاده می شود.

انتخاب قطر الکترود به قطر و ضخامت دیواره لوله بستگی دارد.

اندازه الکترود و شدت جریان توصیه شده برای پاسهای پرکنی با الکترود متصل به قطب مثبت بشرح زیر است:

قطر ٤ میلیمتر ۱۲۰ تا ۱۵۰ آمپر
قطر ۵ میلیمتر ۱۶۰ تا ۲۱۰ آمپر
قطر ۵/۵ میلیمتر ۲۰۰ تا ۲۶۰ آمپر

جوشکاری عمودی سرازیر برای وضعیت های مختلف جوشکاری، جوشهای با ضخامت مختلف می دهد. بنابراین، قبل از جوشکاری پاس نهائی بایستی با استفاده از پاسهای نواری *(STRIPPER PASSES)* آن قسمت هائی از محیط لوله که لاغرتر هستند، تصحیح شوند.

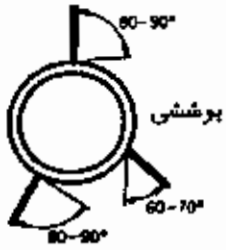
پاسهای نواری در وضعیت های ساعت ۲ تا ٤ و ساعت ۱۰ تا ۸ با سرعت نسبتاً زیاد انجام می شود.

۴-۳-پاس پوششی یا پاس آخر

پاس پوششی با قدری نوسان الکترود انجام می شود. جوش لبه های شیار را بیش از ۱/۵ میلیمتر نپوشاند. اگر پاس آخر درست انجام شود، گرده جوش یک تا دو میلیمتر خواهد شد.

برای این پاس، الکترود معمولاً به قطر ۵ میلیمتر با آمپر قدری کمتر از پاسهای پرکنی (۱۵۰ تا ۲۰۰ آمپر) خواهد بود تا از تخلخل اجتناب شود.

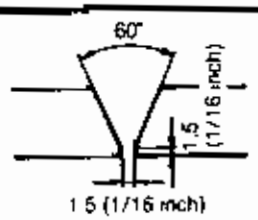
در پاس آخر، تخلخل بیشتر بخاطر زیاد گرم شدن جوش یا نوسان اضافی می‌باشد.



جوشکاری پاسهای پرکنی و پوششی

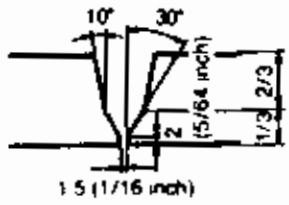
۵-۳- مصرف الکترود روپوش سلولزی

مصرف الکترود روپوش سلولزی برحسب کیلوگرم بر متر طول درز جوش، برای جوشکاری عمودی سرازیر با الکترودهای به طول ۳۵۰ میلیمتر با احتساب دور ریز ته الکترود بمیزان ۷۰ میلیمتر بشرح زیر است :



ضخامت دیواره		مصرف الکترود، کیلوگرم		
in.	mm	ø 4 mm 5/32 in.	ø 5 یا 5.5 mm 3/16 یا 7/32 in.	کل
13/16	20.63	0.45	2.60	3.05
7/8	22.22	0.45	3.05	3.50
15/16	23.81	0.45	3.55	4.00
1	25.40	0.45	4.05	4.50

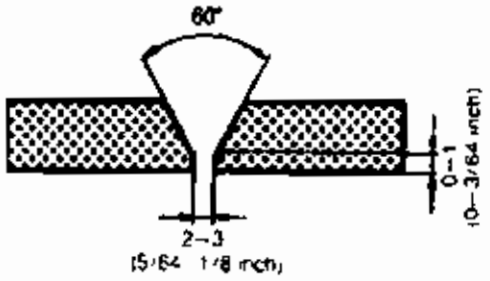
۱ کیلوگرم = ۲/۲۰۵ پوند



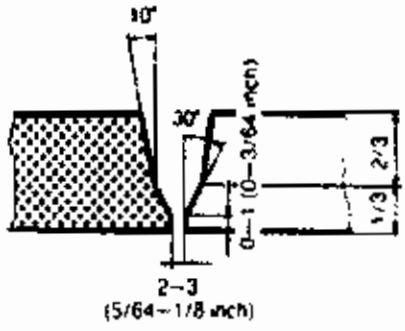
ضخامت دیواره		مصرف الکترود، کیلوگرم			
In.	mm	ø 3.2 mm 1/8 in.	ø 4 mm 5/32 in.	ø 5 یا 5.5 mm 3/16 یا 7/32 in.	کل
11/64	4.36	0.35			0.35
13/64	5.16	0.45			0.45
¼	6.35	0.25	0.37		0.62
5/16	7.93		0.45	0.50	0.95
3/8	9.52		0.45	0.80	1.25
½	12.70		0.45	1.50	1.95
5/8	15.88		0.45	2.50	2.95
11/16	17.46		0.45	3.05	3.50
¾	19.04		0.45	3.65	4.10
13/16	20.63		0.45	4.25	4.70
7/8	22.22		0.45	4.95	5.40
15/16	23.81		0.45	5.75	6.20
1	25.40		0.45	6.45	6.90

فصل ۴ - دستورالعمل جوشکاری با الکترود روپوش قلیائی بصورت عمودی سرازیر

۴-۱ - آماده سازی توصیه شده برای لبه لوله



ضخامت دیواره کوچکتر یا مساوی ۲۰ میلیمتر



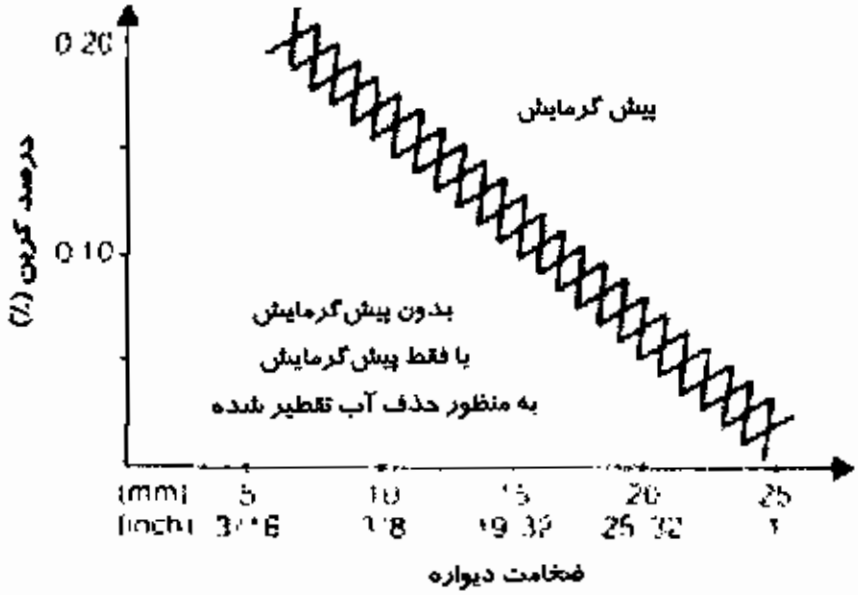
ضخامت دیواره بزرگتر از ۲۰ میلیمتر

۴-۲ - پیش گرمایش

در جوشکاری با الکترود روپوش قلیائی با محتوای هیدروژن کم خطر ترک خوردن ناشی از هیدروژن کمتر است (نسبت به الکترودهای روپوش سلولزی).

معهذا پیش گرمایش با درجه حرارت ۱۰۰ درجه سانتیگراد ، خصوصاً برای جوشکاری لوله جدار ضخیم فولادهای مستعد به سخت شدن ، توصیه می شود.

شرح مواردی که پیش گرمایش برای آنها توصیه می شود، در نمودار درج شده است.



بستگی پیش گرمایش به ضخامت دیواره و معادل کربن

۴ـ۴ ـ درجه حرارت بین پاسی

درجه حرارت بین پاسی بر فرایند متالورژیکی که حین انجماد و سرد شدن جوش به وقوع می پیوندد تاثیر دارد و بنابراین تا حد معینی برخواص مکانیکی فلز جوش اثر می گذارد.

بنابراین بطور کلی توصیه می شود که درجه حرارت بین پاسی تقریباً ۷۰ تا ۱۳۰ درجه سانتیگراد سراسر زمان جوشکاری حفظ شود.

۴ـ۴ ـ ماشین های جوشکاری

برای جوشکاری سر جوش لوله در احداث خط لوله، جوش سرازیر الکترود روپوش قلیائی فقط با جریان مستقیم و الکترود مثبت انجام میشود.

تجربه عملی نشان داده است که ماشین های جوشکاری مورد استفاده برای جوشکاری با الکترودهای روپوش سلولزی برای جوشکاری با الکترود روپوش قلیائی به روش عمودی سرازیر نیز مناسب هستند. ماشین های جوشکاری بایستی مشخصات افت کننده و ولتاژ مدار باز بالا داشته باشند.

بخش ۵ - تکنیک جوشکاری با الکترودهای روپوش سلولزی

۵ - ۱ - پاس خطی یا پاس ریشه

اگر جوشکاری پاس ریشه با الکترود روپوش سلولزی مجاز نباشد، درآنصورت می‌توان با الکترود ***E8018-G*** پاس یک تمام لوله‌های خط لوله را جوشکاری نمود.

برای کاهش پیچیدگی و حفظ فاصله دو لبه بصورت یکنواخت، لازم است دو یا چند جوشکار بطور همزمان جوشکاری نمایند.

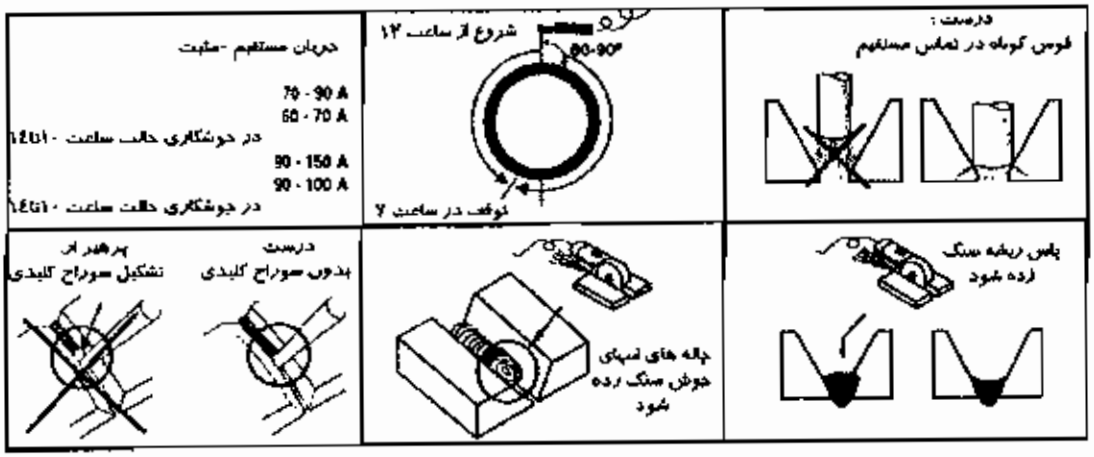
قطر الکترود توصیه شده ۲/۵ میلیمتر یا درصورت لوله‌های با قطر زیاد و ضخیم ۳/۲ میلیمتر است. تماس مستقیم با رویه های پخ حفظ شود. سنگ زنی چاله انتها ضروری است.

برای پرهیز از تغییر در ویسکوزیته سرباره و کنترل عالی سرباره، رویه های شیار بایستی بدون پلیسه و زنگ باشد.

برای جلوگیری از تخلخل بایستی از تشکیل سوراخ کلیدی حین جوشکاری پرهیز شود. شدت جریان زیاد می تواند موجب این مسئله شود.

هیچوقت پاس ریشه از هر دو طرف در وضعیت ساعت ۶ ختم نشود.

خاتمه پاس ریشه از هر دو طرف بایستی حدود وضعیت ساعت ۷ باشد. توصیه می شود طول قوس کوتاه نگهداشته شود. سرباره از روی هر پاس با سنگ زنی ، تمیز شود.



۵ - ۲ - پاسهای پرکنی

این پاس ها بسته به ضخامت قطعه با الکترودهای به قطر ۳/۲ ، ٤ و ٤/۵ میلیمتر انجام می شود. قطر ٤ میلیمتر ترجیح دارد.

قطر ۳/۲ میلیمتر	۱۱۰ تا ۱۶۰ آمپر
قطر ٤ میلیمتر	۱۸۰ تا ۲۱۰ آمپر
قطر ٤/۵ میلیمتر	۲۰۰ تا ۲٤۰ آمپر

شدت جریان بالا از نفوذ کافی و اقتصاد رضایتبخش فرایند مطمئن می‌سازد. از جوشکاری بدون نوسان دست پرهیز شود، چون ممکن است موجب حرکت حوضچه سریعتر از الکترود شود، برای زمان قابل ملاحظه‌ای قوس را اتصال کوتاه نماید و موجب چسبیدن الکترود گردد. این یک اثر منفی روی فرایند اکسیژن زدائی می گذارد و تخلخل را زیاد می کند. جوشکاران با تجربه می دانند که عرض نوسان چقدر باشد و سرعت حرکت را انتخاب می کنند ، همچنین جاری شدن سرباره را بحساب می آورند. در وضعیت سقفی ، عرض نوسان دست محدود می شود .

برای جوشکاری لوله جدار ضخیم رسوب دادن ۲ تا ۳ پاس پهلو به پهلو توصیه می‌شود، تمام سرباره ها قبل از اعمال جوش جدید برطرف گردد. اگر باقی ماندن سرباره بوسیله جوش جدید، پوشانده شود، خصوصاً در وضعیت ساعت ۳، تمام حوضچه سرباره جاری خواهد شد بجلوی قوس حتی‌المقدور کوتاه نگهداشته شود.

برای اجتناب از شکست از سختی توصیه می شود که پاس پرکن آخری بایستی با لوله همسطح باشد بطوریکه لبه‌های آماده سازی اتصال ذوب گردند. این برای اطمینان از آنکه پاس رو وقتی رسوب داده می شود، منطقه تاثیر حرارت را تمپر نماید.

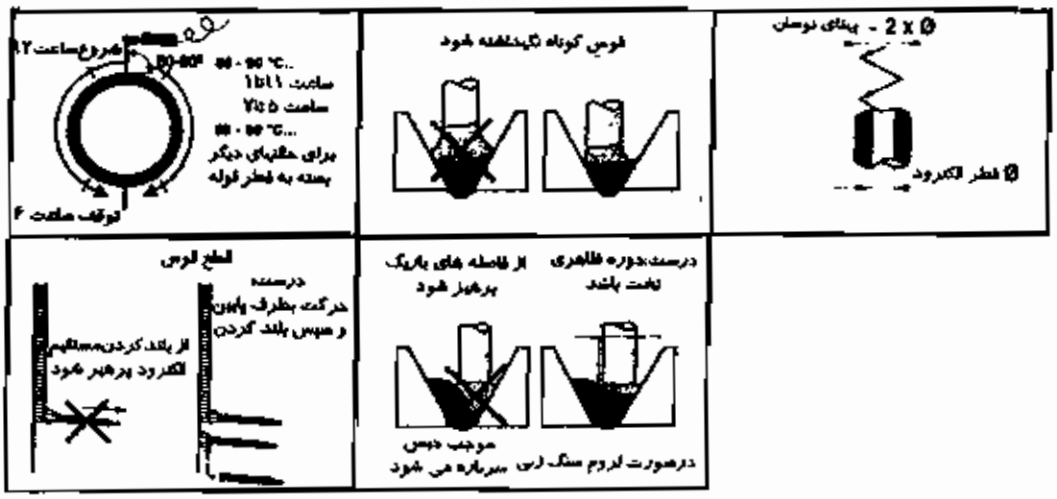
۴-۵ - پاس رو

پاس رو با قدری حرکت نوسانی جوش داده می شود، حداکثر دامنه نوسان دست دو برابر قطر الکترود درنظر گرفته می‌شود.

شدت جریان توصیه شده عبارتست از :

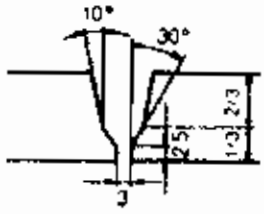
قطر ۳/۲ میلیمتر	۱۱۰ تا ۱۶۰ آمپر
قطر ٤ میلیمتر	۱۸۰ تا ۲۱۰ آمپر

جوشکاری خطوط لوله



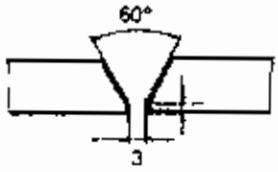
۴-۵- مصرف الکترود روپوش قلیائی

مصرف الکترود برحسب کیلوگرم برمتر طول جوش برای جوشکاری عمودی سرازیر با الکترود روپوشدار به طول ۳۵۰ میلیمتر با احتساب دور ریز ته الکترود بمیزان ۳۰ میلیمتر بشرح زیر است :



ضخامت دیواره		مصرف الکترود، کیلوگرم		
in.	mm	ø 3.2 mm 1/8 in.	4 mm ø 5/32 in.	کل
13/16	20.63	0.20	2.60	2.80
7/8	22.22	0.20	3.00	3.20
15/16	23.81	0.20	3.40	3.60
1	25.40	0.20	3.90	4.10

۱ کیلوگرم = ۲/۲۰۵ پوند

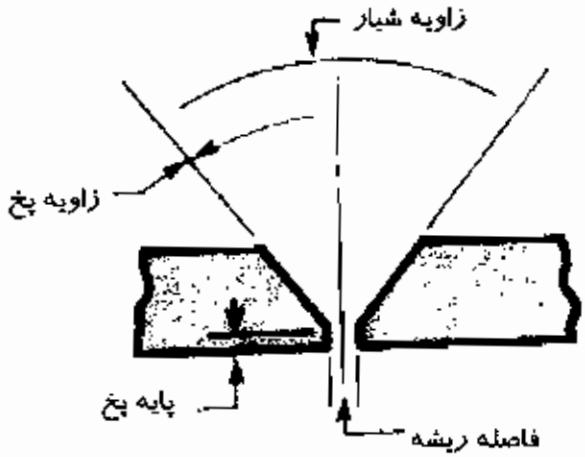


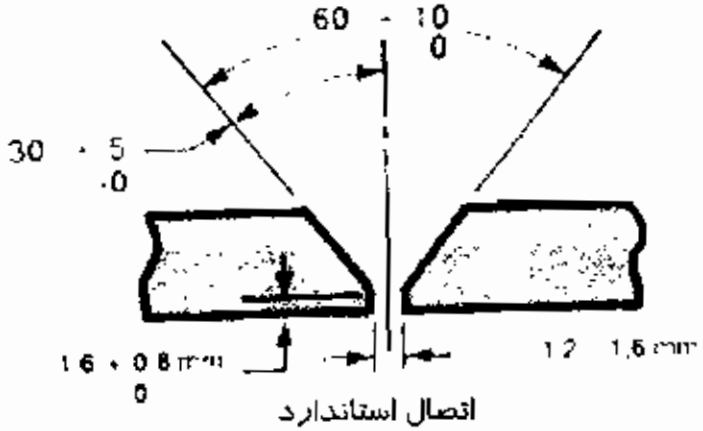
ضخامت دیواره		مصرف الکترود، کیلوگرم			
in.	mm	ø 2.5 mm 3/32 in.	ø 3.2 mm 1/8 in.	ø 4 mm 5/32 in.	کل
11/64	4.36	0.30			0.30
13/64	5.16	0.20	0.20		0.40
¼	6.35	0.20	0.35		0.55
5/16	7.93	0.20	0.65		0.85
3/8	9.52		0.20	0.90	1.10
½	12.70		0.20	1.55	1.75
5/8	15.88		0.20	2.45	2.65
11/16	17.46		0.20	2.95	3.15
¾	19.04		0.20	3.50	3.70
13/16	20.63		0.20	4.00	4.20
7/8	22.22		0.20	4.75	4.95
15/16	23.81		0.20	5.40	5.60
1	25.40		0.20	6.00	6.20

بخش ۶ - آزمون جوشکاری لوله در حالت عمودی سرازیر با الکترودهای سلولزی

۶-۱ - آماده سازی و خالجوش زنی

هدف ازاین بحث پیشنهاد دستورالعمل آماده سازی و خالجوش‌زنی برای ساخت یک اتصال استاندارد روی مقاطع لوله فولاد کربنی، بمنظور تهیه نمونه تایید دستورالعمل جوشکاری یا آموزش و آزمون جوشکار است. توجه شود که برای تایید صلاحیت دستورالعمل جوشکاری، *EN288-9* لازم دارد که آزمایشات روی تکه های کامل لوله انجام شود مگر آنکه بین طرفین قرارداد جور دیگری توافق شده باشد.





اتصال استاندارد

پلیسه ها و پره های ناشی از عملیات سنگ زنی برطرف شود.

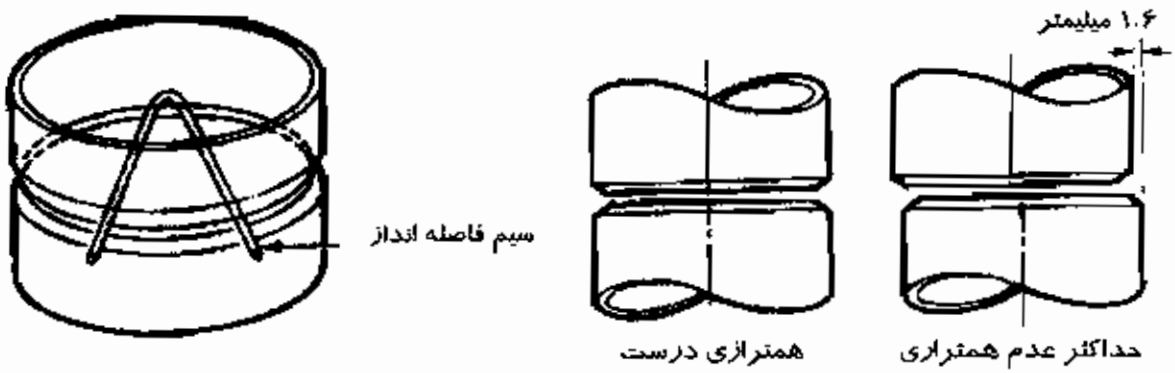
۶-۲ - پارامترهای جوشکاری برای خالجوش زنی

الکترود *E6010* بقطر ۲/۵ میلیمتر، شدت جریان ۷۰ تا ۱۰۰ آمپر

الکترود *E6010* بقطر ۳/۲ میلیمتر، شدت جریان ۱۰۰ تا ۱۲۰ آمپر

۲-۶- عملیات اجرائی

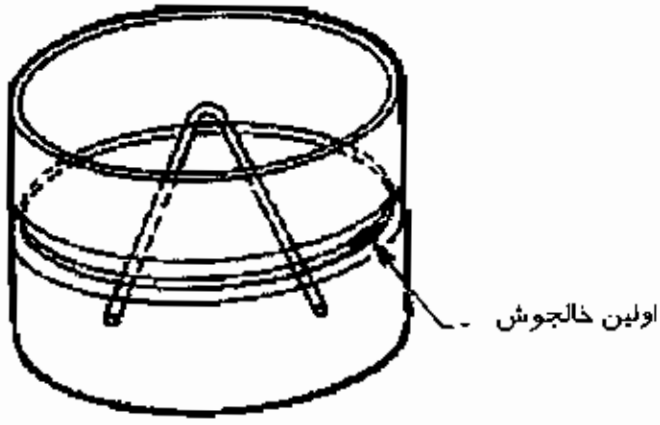
یک تکه لوله روی میز کار طوری قرار داده شود که طرف پخ زده آن بطرف بالا باشد.

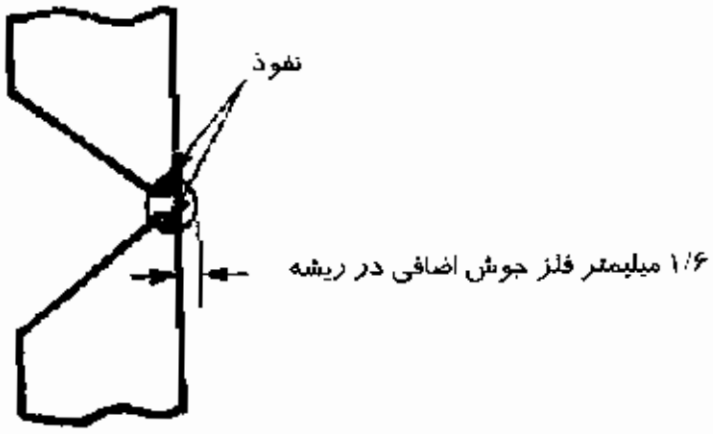


یک سیم بقطر ۱/۶ میلیمتر خم شده و بعنوان فاصله انداز روی لبه فوقانی لوله مستقر روی میزکار قرار داده شود تکه لوله دیگر که پخ خورده روی لوله قبلی طوری قرار داده شود که قسمت پخ خورده بطرف پایین باشد. دو تکه لوله در یک امتداد تنظیم گردد.

مطابق کد *API* عدم همترازی نبایستی از ۱/۶ میلیمتر بیشتر باشد.

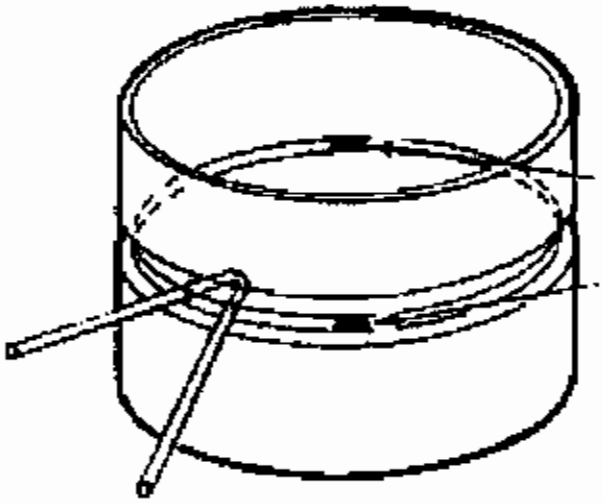
دراین نقطه عمل خالجوش‌زنی، با انجام جوش بطول ۱۲ تا ۲۲ میلیمتر شروع شود.



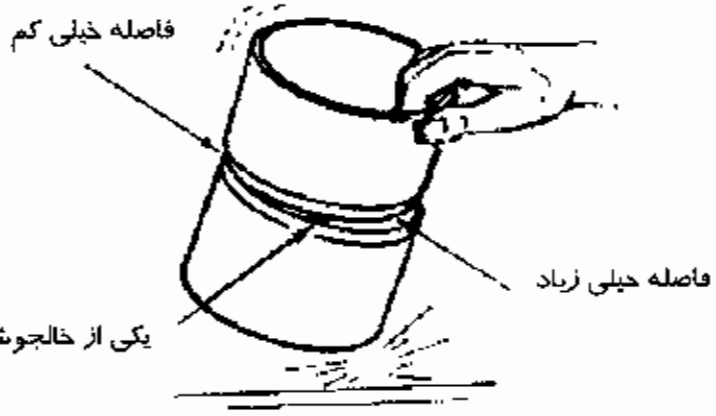


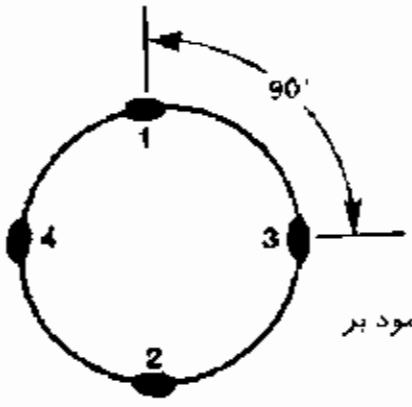
خالجوش بایستی در ریشه نفوذ کند و برجستگی داخلی ۱/۶ میلیمتری داشته باشد و هر دو لبه را ذوب کند.

سیم فاصله انداز در جای دیگر قرار داده شود و خالجوش دوم انجام گیرد.



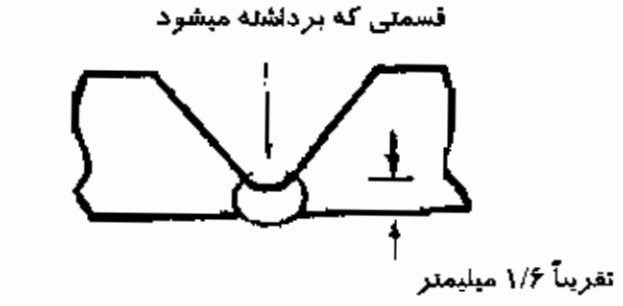
سیم فاصله انداز برداشته شود. اگر فاصله لبه ها در ریشه غیریکنواخت است، خالجوش سوم روی بیشترین فاصله زده شود، بطوری که جوش انقباض پیدا کرده لبه‌ها را نزدیک نماید. اگر فاصله بین لبه های طرف بیشترین فاصله خیلی زیاد است که نمیشود خالجوش زد، اول با فشار دادن لوله، فاصله تنظیم و سپس خالجوش زده شود.

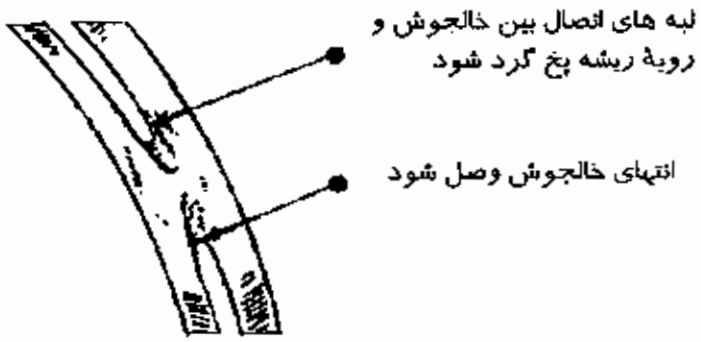




خالجوش سوم و چهارم عمود بر اولی و دومی زده شود.

سطح بیرونی خالجوش ها طوری سنگ زده شود که ضخامت آنها حدود ۱/۶ میلیمتر شود، تا شروع اولین پاس تسهیل گردد.





برای بدست آوردن جوش با کیفیت، آماده سازی درست اتصال و خالجوش‌زنی دقیق ضروری است. خالجوش زنی خطا موجب عیوب جوش نهائی خواهد شد.

اتصال *5G*

این نوع اتصال معمولاً روی لوله قطر ۸ اینچ و بزرگتر انجام می شود.

۴-۶ پارامترهای جوشکاری

الکترود ***E6010*** ، قطر ٤ میلیمتر ، جریان مستقیم ، قطب مثبت، شدت جریان ۱۲۰ تا ۱۶۰ آمپر (پاس ریشه)

الکترود ***E7010-G*** ، قطر ٤ میلیمتر، جریان مستقیم، قطب مثبت، شدت جریان ۱۵۰ تا ۱۶۰ آمپر (پاس گرم)

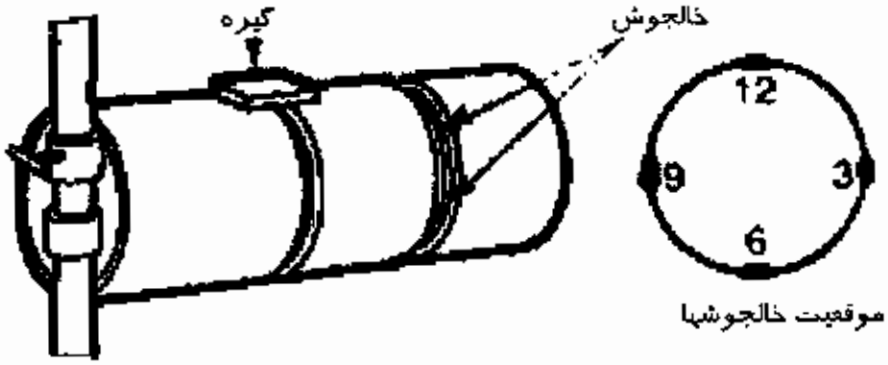
الکترود ***E7010-G*** ، قطر ۵ میلیمتر، جریان مستقیم، قطب مثبت، شدت جریان ۱۵۰ تا ۱۶۰ آمپر (پاسهای پرکنی و پاس رو)

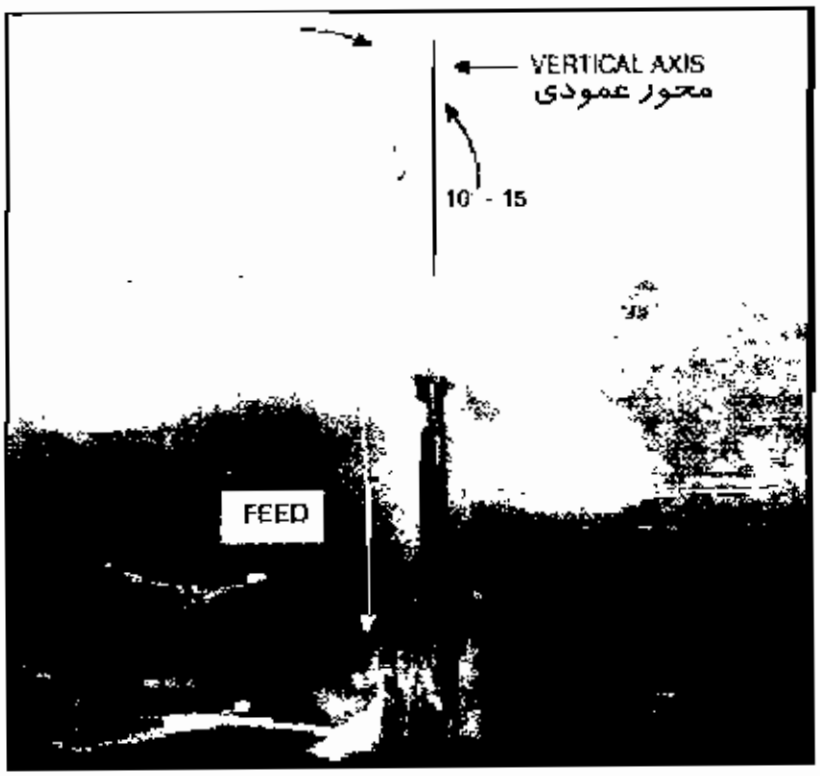
یا بطور جایگزین، مطابق نوع فولاد پایه مورد جوشکاری، ***E8010-G*** یا ***E9010-G*** استفاده شود.

مهم است که ژنراتور ، ولتاژ مدار باز ۷۰ ولت داشته باشد.

۶-۵ - عملیات اجرائی

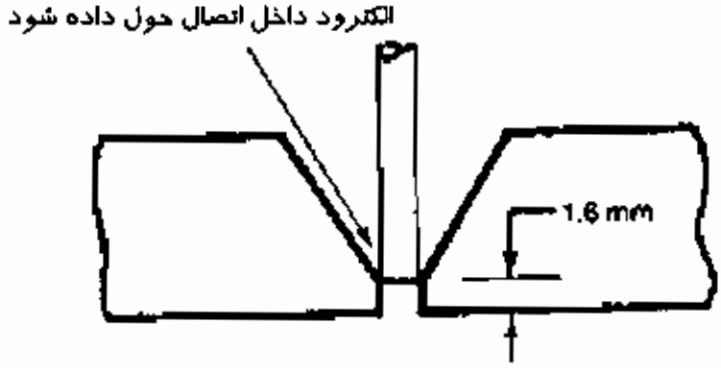
بعد از انجام آماده سازی و خالجوش زنی، با استفاده از لقمه ها یا گیره ها دو لوله در حالت افقی خوابانیده شود و در ساعتهای ۳، ۶، ۹ و ۱۲ خالجوش زده شود. خالجوش با کمترین فاصله بین دولبه در ساعت ۱۲ قرارداده شود.





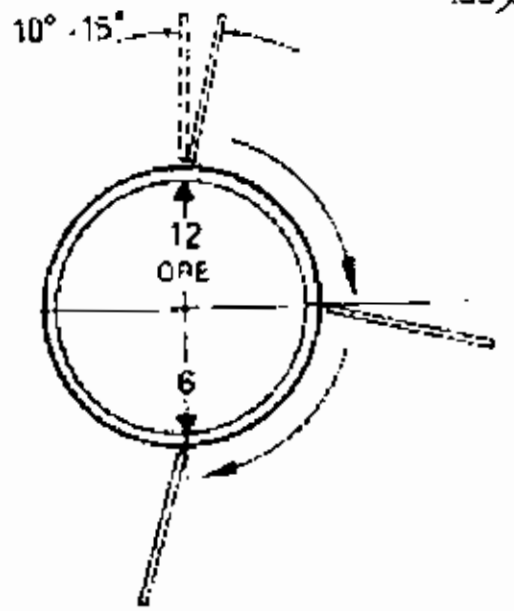
پاس خطی ریشه با الکترود بقطر ٤ میلیمتر جوش داده شود، شدت جریان ۱۲۰ تا ۱۶۰ آمپر تنظیم گردد.

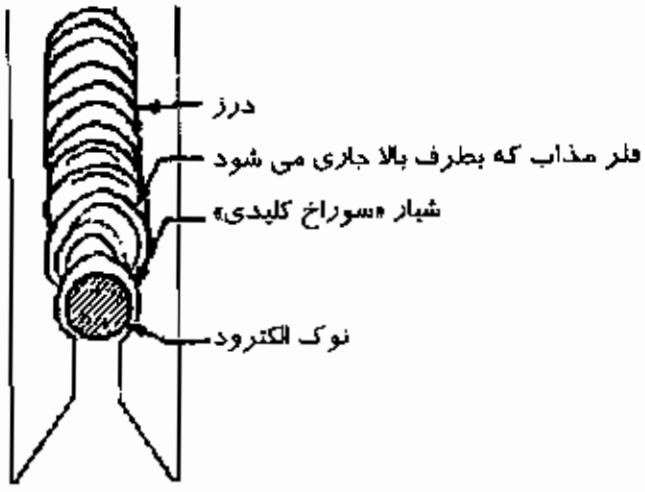
جوشکاری از ساعت ۱۲، با گرفتن الکترود بصورت نیمساز شیار ولی ۱۰ تا ۱۵ درجه خارج از وضعیت عمودی شروع شود.



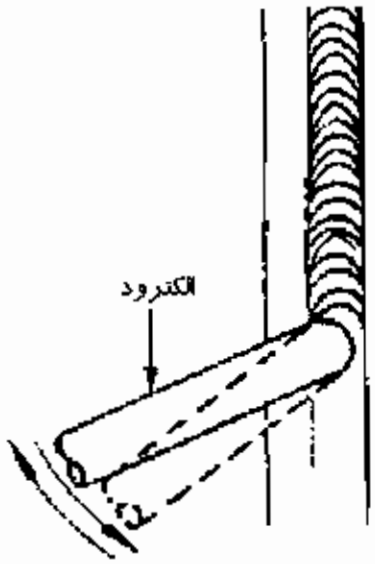
قوس در ریشه اتصال شروع شود (هرگز از لبه خالجوش بطرف سطح خارج لوله شروع نشود)، الکترود بداخل اتصال بصورت منظم فشرده شود.

برای بررسی بهتر حوضچه جوش، ممکن است زاویه از ۱۰ تا ۱۵ درجه به ۰ تا ۳۰ درجه تغییر داده شود. از روش کشیدن الکترود استفاده گردد و الکترود در تهٔ اتصال نگهداشته شود. یک شیار «سوراخ کلیدی» که نوک الکترود را در حرکتش دنبال می‌کند، تشکیل میگردد.

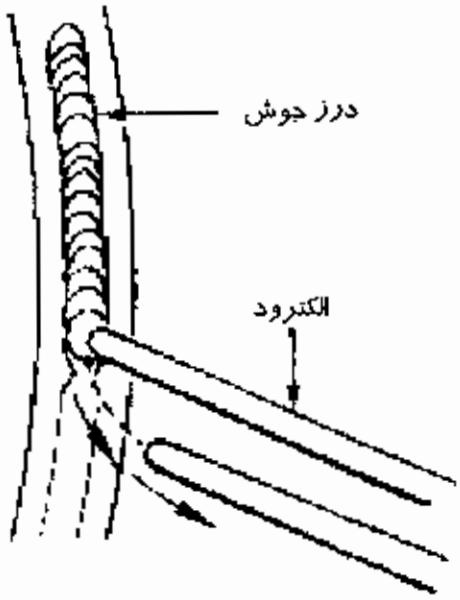




اگر مک تشکیل می شود، قدری الکترود از یکطرف به طرف دیگر مطابق شکل نوسان داده شود.

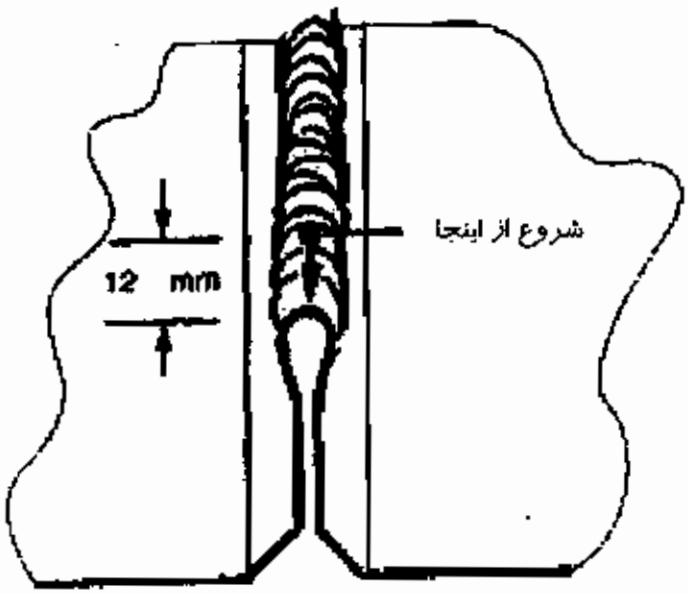


اگر قبل از خاتمه پاس، قطع قوس ضروری باشد.نوک الکترود بایستی بسرعت بطرف پایین کشیده شود.



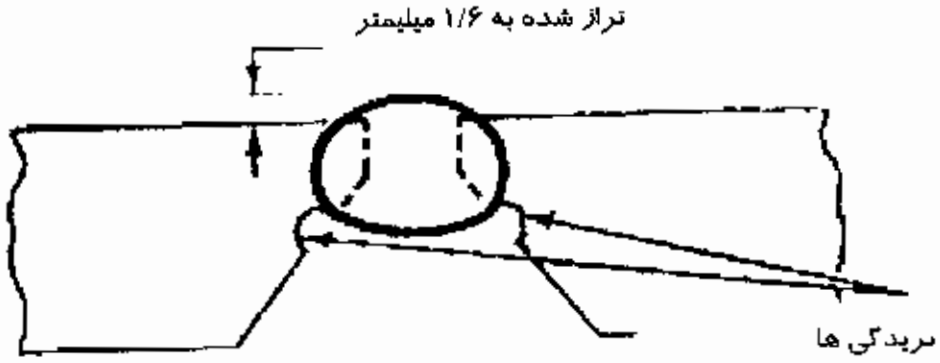
این کار از آخال سرباره در حوضچه جوش جلوگیری می کند. سرباره از چاله و از ۵۰ میلیمتر آخر جوش پاک شود. شروع مجدد بایستی از حدود ۱۲ میلیمتر قبل از چاله انجام شود و بطرف چاله با طول قوس قدری بیشتر از نرمال حرکت داده شود.

سپس الکترود بطرف تهٔ اتصال حول داده شود تا چاله پر شود و جوشکاری به روش نرمال ادامه پیدا کند.



دستورالعمل شروع مجدد

پاس تمام شده بایستی گرده جوش بضخامت ۱/۶ میلیمتر در ریشه داشته باشد.

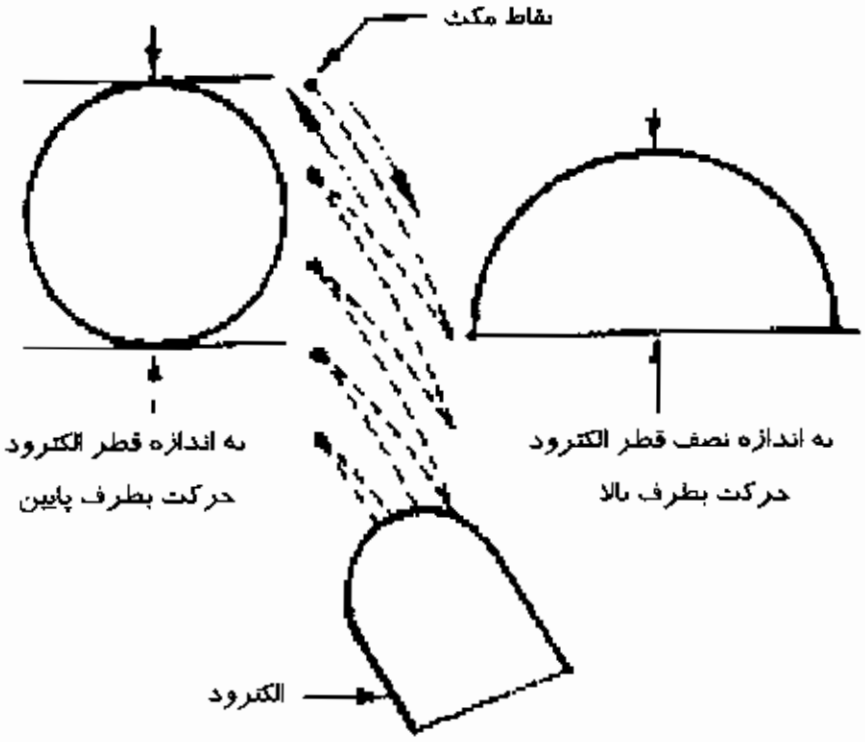


نفوذ ریشه

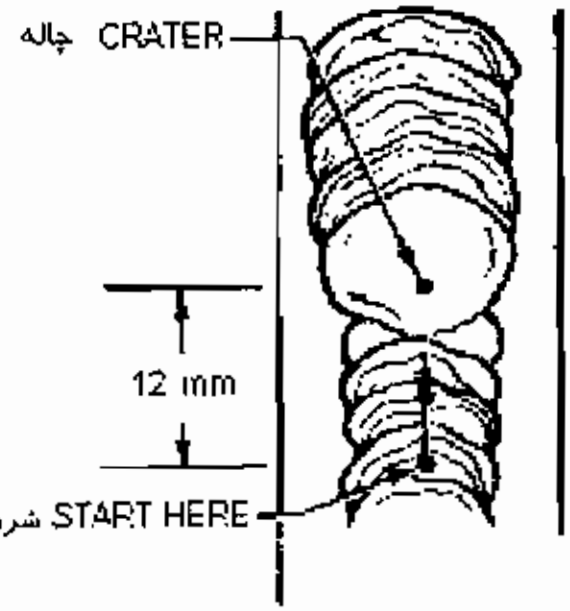
وقتی اولین نصفه پاس ته تمام شد، سرباره برداشته شود سپس فرایند روی نصفه دوم اتصال تکرار گردد.

برای پاس گرم مطابق کلاس فولاد مورد جوشکاری از الکترودهای *E7010-G* ، *E8010-G* یا *E9010-G* بقطر ٤ میلیمتر استفاده شود.

شروع از ساعت ۱۲ ، با همان زاویه که قبلاً گفته شد، بطرف ساعت ۶ . با حرکت بالا و پایین ، حوضچه جوش کنترل شود. حرکت بطرف جلو به اندازه قطر الکترود و برای برگشت به اندازه نصف قطر الکترود ترتیب داده شود. در این نقطه قدری صبر شود تا اینکه چاله قبل از حرکت به جلو پر شود.



طول قوس به اندازه قطر الکترود تنظیم شود. ضمن حرکت، طول قوس افزایش پیدا نکند. اگر قوس قبل از کامل شدن پاس قطع شد، سرباره از روی چاله پاک شود، قوس از ۱۲ میلیمتر جلوتر مجدداً از روی پاس بک شروع شود و به طرف چاله انتهای حوش حرکت نماید.



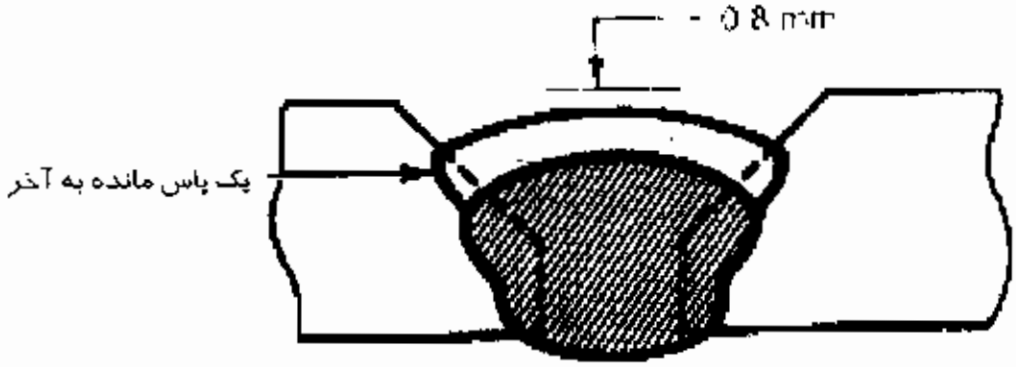
اطمینان حاصل شود که چاله پر گردیده است، سپس مطابق روال گفته شده قبلی جوشکاری ادامه یابد. جوشکاری نیمه دوم پاس نیز با همان دستورالعمل انجام گیرد.

بایستی یادآوری شود که فن «کشیدن» که با آن پاس ریشه جوش داده شد، موجب ذوب ناقص و آخال سرباره در لبه های درز می گردد.

بخاطر شدت جریان زیاد بکار رفته، پاس دوم یا «پاس گرم» فلز زیادی به اتصال انتقال نمی دهد، ولی حرارت زیاد ترش، سرباره را آزاد می‌کند و ذوب بین لبه های جوش و فلز مبنا را کامل می کند.

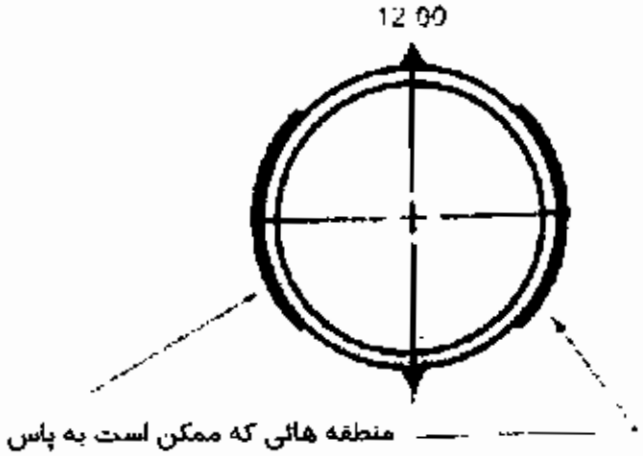
برای انجام پاس پرکنی (پاس سوم) ، وضعیت شروع و زاویه کشیدن الکترود همان است که برای پاسهای ریشه و گرم بیان شده است، ولی الکترود بقطر ۵ میلیمتر با شدت جریان ۱۵۰ تا ۱۸۰ آمپر بایستی استفاده شود. حرکت نوسانی بکار گرفته شود، طول قوس مساوی قطر الکترود حفظ گردد. با نشانه گرفتن نوک الکترود روی لبه‌های پاس قبلی مکث شود. از یک لبه بطرف لبه مقابل با پایین آمدن به اندازه نصف قطر الکترود حرکت داده شود.

اگر شروع مجدد قوس ضروری است همان دستورالعمل بیان شده برای پاس دوم رعایت گردد. بعد از جوشکاری نیمه دوم پاس، سرباره بطور کامل پاک شود.



برای پرکردن اتصال تا ۰/۸ میلیمتری سطح خارجی لوله، ممکن است رسوب پاسهای اضافی روی کل محیط ضروری باشد.

این پاسها بایستی عموماً در لایه بضخامت ۱/۶ میلیمتری انجام شود. از همان تکنیک بیان شده برای پاسهای قبلی استفاده شود. اغلب، بعد از انجام همه این لایه ها، اتصال در منطقه فوقانی و تحتانی از دو منطقه جانبی لوله ضخیم تر میشود و قبل از جوش دادن پاس رو، پر کردن یکنواخت نواحی لاغرتر را ضروری می سازد. در این مورد لایه های همتراز کنی با همان تکنیک شرح داده شده قبلی جوش داده می شود.

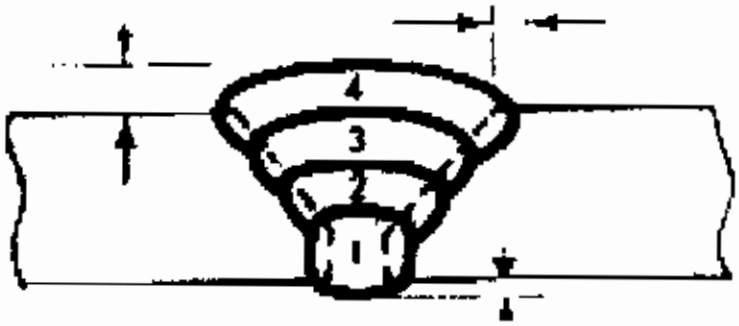


من بکار برده شده برای پاس رو همانند روش بکاربرده شده برای پاسهای قبلی است. ولی با حرکت نوسانی بیشتر. با نشانه رفتن نوک الکترود روی لبه های پاس قبلی، قدری مکث شود.

نوسان بشکل Z یا نیم هلالی با طول قوس ، سرعت حرکت و شیب الکترود کافی بکار برده شود.

سرعت حرکت طوری باشد که گرده جوش ۰/۸ تا ۱/۶ میلیمتر بدست آید و حدود ۱/۶ میلیمتر روی لبه های شیار پوشش داده شود.

۱/۶ میلیمتر همپوشانی ۱/۶ میلیمتر فلز جوش



۱/۶ میلیمتر فلز جوش ریشه

معیار پذیرش در بازرسی چشمی

طبق استاندارد *API* بایستی از نمونه جوش داده شده بازرسی چشمی بعمل آید و نمونه جوش مورد ارزیابی قرار گیرد. بعد از انجام آماده سازی و نالجوش زنی ، قطعات ابتدا با شماره شناسائی علامتگذاری می شود سپس در حالت *6G* با دستورالعمل ارائه شده جوش داده می شود. پس از اتمام جوش، تجزیه و تحلیل چشمی روی جوش انجام می شود

معیار پذیرش بازرسی چشمی بشرح زیر است:

- **ترک** : جوش نبایستی ترک داشته باشد.
- **نفوذ**: ریشه اتصال بایستی نفوذ کامل نشان دهد.
- **ذوب**: ذوب بین فلز مبنا و فلز پرکننده بایستی کامل بنظر برسد.
- **آخال سرباره** : آخال سرباره در منطقه دوب شده نبایستی بیش از ۳/۲ میلیمتر برای هر ۱۵۲ میلیمتر جوش باشد.
- **تخلخل** : تخلخل نبایستی از ۱/۶ میلیمتر بزرگتر باشد و نبایستی طول کل تخلخل از ۳/۲ میلیمتر در هر ۶/۵ سانتیمتر مربع سطح جوش بیشتر باشد.
- **بریدگی کناره**: عرض بریدگی کناره نبایستی ازعرض ۰/۸میلیمتر، عمق ۰/۸ میلیمتر بیشترباشد و طول کل بریدگی کناره نبایستی از ۵۰/۸ میلیمتر در هر ۱۵۲ میلیمتر طول جوش و یا ۵ درصد ضخامت دیواره لوله اگر جوش کوتاهتر است، بیشتر باشد.
- **گرده جوش**: گرده جوش از طرف بیرون و از طرف ریشه نبایستی از ابعاد داده شده بیشتر باشد. گرده نبایستی با سطوح فلز مبنا بطور یکنواخت جور شده باشد و لبه‌های گرده بایستی بدون بریدگی کناره باشد.

جوشکاری در حالت *6G*

برای جوشکاری در حالت *6G* میتوان از لوله ۸ یانچ با ضخامت ۸/۲ میلیمتر استفاده نمود.

پارامترهای جوشکاری

الکترود *E6010* بقطر ۲/۵ میلیمتر، شدت جریان ۷۰ تا ۱۰۰ آمپر.

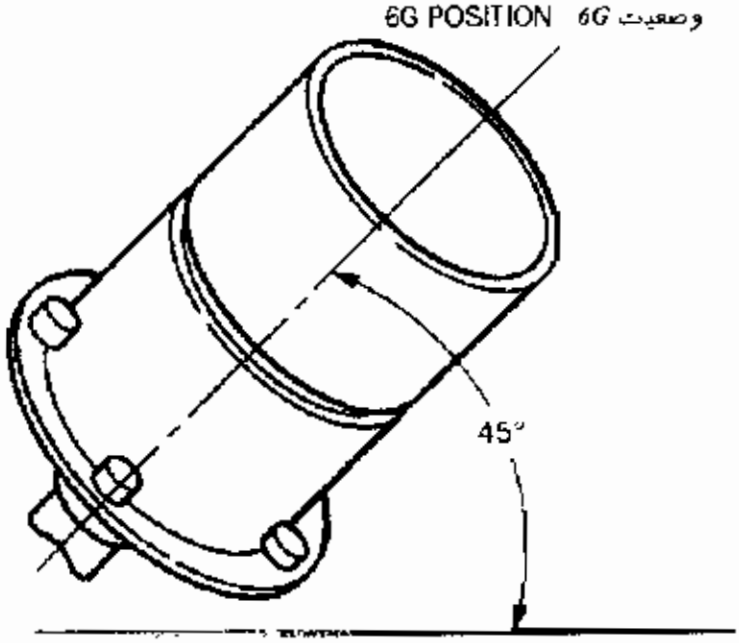
الکترود *E6010* بقطر ۳/۲۵ میلیمتر، شدت جریان ۱۰۰ تا ۱۲۰ آمپر.

ژنراتور بایستی ولتاژ مدار باز ۷۰ ولت داشته باشد.

عملیات اجرائی

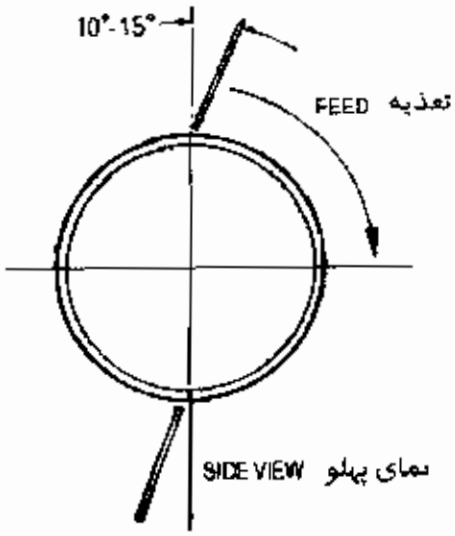
بعد از آماده سازی و خالجوش زنی، تکه لوله بصورت ٤٥ درجه نسبت به افق قرار داده شده و در ساعتهای ۳، ۶، ۹ و ۱۲ خالجوش رده شود

خالجوش مربوط به جائی که فاصله دولبه کمتر است در وضعیت ساعت ۱۲ قرار داده شود



باهمان تکنیکی که قبلاً گفته شد پاس ریشه جوش داده شود.

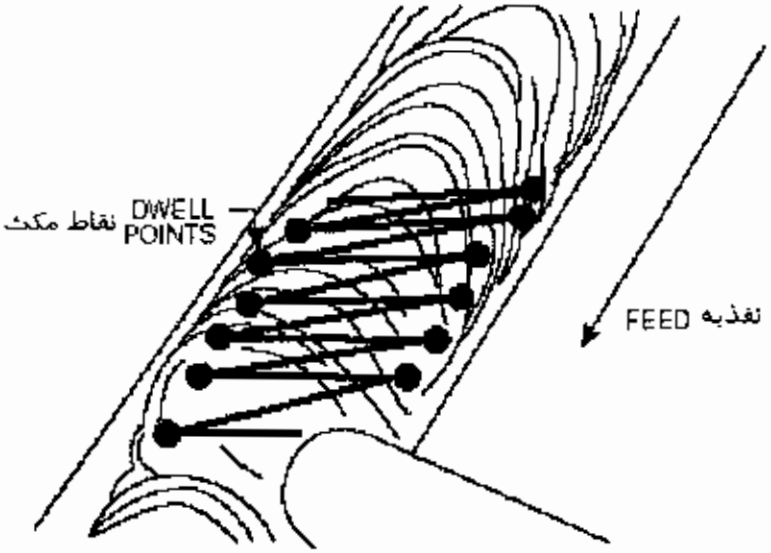
الکترود موازی با سطح اتصال و با زاویه خواب ۱۰ تا ۱۵ درجه گرفته شود. اگر روپوش الکترود بطور نامنظمی ذوب شود، نوک الکترود از یکطرف به طرف دیگر قدری چرخانده شود. هر دو نیمه اتصال با همان تکنیک جوش داده شود. تهٔ پاس نبایستی بیش از ۱/۶ میلیمتر به داخل لوله نفوذ کند.



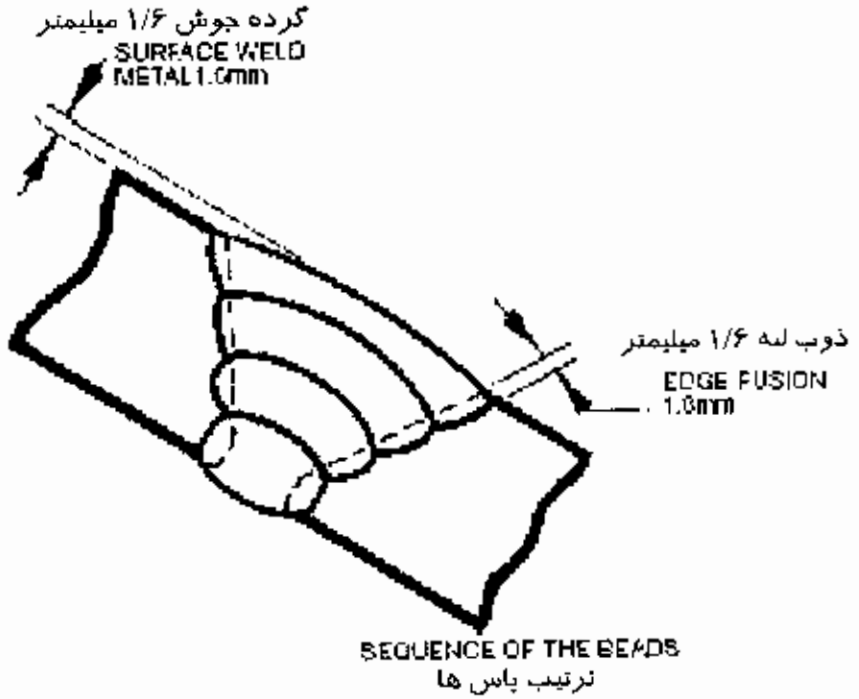
برای پاس گرم الکترود *E6010* بطقر ۳/۲۵ میلیمتر استعاده شود. جوشکاری با همان راویه الکترود مشابه پاس ریشه از ساعت ۱۲ شروع شود.

از حرکت مشابه تا پاس دوم حالت *5G* استفاده شود.

برای پاسهای پرکنی با زاویه ۸۰ تا ۹۰ درجه نسبت به محور لوله در طرفین درز جوش از ساعت ۱۲ جوشکاری شروع شود.



از ساعت ۱۲ به ساعت ۶ با حرکت نوسانی طویل شده جوشکاری انجام شود و بعد در صورت لزوم، پاسهای ترمیمی اجرا گردد.



مصرف الکترود (سوئدی)

مصرف الکترود برحسب کیلوگرم برای جوشکاری عمودی سرازیر خط لوله

Pipe diameter		Wall thickness																									
		6.3 mm (1/4")				9.5 mm (3/8")				12.5 mm (1/2")				16 mm (5/8")				19 mm (3/4")									
		Electrode bead and Ø				Electrode bead and Ø				Electrode bead and Ø				Electrode bead and Ø				Electrode bead and Ø									
Inches	mm	First 4 mm	Second 4 mm	Filling 5 mm	Kgf /Met	First 4 mm	Second 4 mm	Filling 5 mm	Kgf /Met	First 4 mm	Second 4 mm	Filling 5 mm	Kgf /Met	First 4 mm	Second 4 mm	Filling 5 mm	Kgf /Met	First 4 mm	Second 4 mm	Filling 5 mm	Kgf /Met						
6	152	0,11	0,13	—	0,24	0,11	0,08	0,29	0,48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—						
8	203	0,15	0,14		0,29	0,15	0,11	0,37	0,63	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—						
10	254	0,20	0,14	0,06	0,39	0,19	0,14	0,47	0,80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—						
12	305	0,24	0,17	0,08	0 49	0,23	0,16	0,58	0,97	0,23	0,16	1,31	1 70	—	—	—	—	—	—	—	—						
14	356	0,28	0,19	0,11	0,58	0,27	0,19	0,68	1,14	0,27	0,19	1,54	2,00	0,26	0,18	2,62	3,06	—	—	—	—						
16	406	0,32	0,22	0,12	0,66	0,31	0,22	0,77	1,30	0,31	0,22	1,75	2,28	0,31	0,21	2,99	3,51	—	—	—	—						
18	457	0,36	0,25	0,13	0,74	0,36	0,25	0,85	1,46	0,35	0,25	1,97	2,57	0,35	0,24	3,37	3,86	0,35	0,24	5,02	5,61						
20	508	0,41	0,28	0 14	0,83	0,40	0,28	0 95	1,63	0,40	0,27	2,19	2,86	0,39	0,27	3,74	4,40	0,39	0,27	5,58	6,24						
24	610	0 49	0,34	0,16	0,99	0,48	0,34	1,14	1,96	0,48	0,33	2,62	3,43	0,47	0,33	4,51	5,31	0,47	0 33	6,68	7,48						
28	711	0,57	0,40	0,18	1 15	0,57	0,39	1 32	2,28	0,56	0,39	3 06	4,01	0,56	0,38	5,19	6,13	0,56	0,38	7,79	8,73						
30	782	0,61	0,43	0,20	1,24	0,61	0 42	1,41	2,44	0,60	0,42	3,29	4,31	0,60	0,41	5,84	6,65	0,60	0 41	8,34	9,35						
32	813	—	—	—	-	0,65	0,45	1,51	2,61	0,64	0,45	3,51	4,60	0,64	0,44	6,01	7,09	0,64	0,44	8,90	9,98						
36	914		...			0,73	0,51	1 70	2,94	0,73	0,51	3,93	5 17	0,72	0,50	6,78	8,00	0,72	0,50	10 01	11,23						
40	1016					0 81	0,57	1,89	3,27	0,81	0 56	4,38	5,75	0,80	0,56	7 53	8,89	0,80	0,56	11,11	12,47						
42	1067	—	—	—	—	0,86	0,60	1,97	3,35	0,85	0,59	4 80	8,04	0 85	0,59	7,90	9,34	0,85	0,59	11,65	13,09						
48	1219	—	—	—	—	0,98	0 68	2,26	3,92	0,97	0,67	5 25	6,89	0,97	0,67	9,02	10,66	0,97	0,67	13,32	14,96						
60	1524	—	—	—	—	1,23	0 86	2,83	4,92	1,21	0,84	6 56	8 61	1 21	0,84	11,28	13,33	1,21	0,84	16 66	18,71						
Typical number of beads		3				4				7				13				16									

مصرف الکترود برحسب کیلوگرم برای جوشکاری خط لوله بصورت عمودی سربالا

Pipe diameter		Wall thickness																			
		9,5 mm (3/8")			12,5 mm (1/2")			16 mm (5/8")			19 mm (3/4")			28,4 mm (1")						
		Electrode ⌀			Electrode ⌀			Electrode ⌀			Electrode ⌀			Electrode ⌀						
inches	mm	First 3,25 mm	Filling 4 mm	Kgf /joint	First 3,25 mm	Filling 4 mm	Kgf /joint	First 3,25 mm	Filling 4 mm	Kgf /joint	First 3,25 mm	Filling 4 mm	Kgf /joint	First 3,25 mm	Filling 4 mm	Kgf /joint	First 3,25 mm	Filling 4 mm	Kgf /joint	First 3,25 mm	Filling 4 mm	Kgf /joint
6	152	0,23	0,61	0,84	0,23	1,05	1,28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	203	0,32	0,81	1,13	0,32	1,41	1,73	0,32	2,13	2,45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	305	0,45	1,22	1,67	0,45	2,13	2,58	0,45	3,22	3,67	0,45	4,50	4,95	0,45	7,57	8,02	0,45	4,50	4,95	0,45	7,57	8,02
16	406	0,63	1,63	2,26	0,63	2,77	3,40	0,63	4,44	5,07	0,63	5,94	6,57	0,63	10,02	10,65	0,63	5,94	6,57	0,63	10,02	10,65
20	508	0,77	2,04	2,81	0,77	3,48	4,26	0,77	5,31	6,08	0,77	7,44	8,21	0,77	12,52	13,29	0,77	7,44	8,21	0,77	12,52	13,29
24	610	0,90	2,45	3,35	0,90	4,22	5,12	0,90	6,44	7,34	0,90	8,98	9,88	0,90	15,16	16,05	0,90	8,98	9,88	0,90	15,16	16,05
28	711	1,09	2,81	3,90	1,09	4,90	5,99	1,09	7,48	8,57	1,09	10,43	11,52	1,09	17,80	18,88	1,09	10,43	11,52	1,09	17,80	18,88
32	813	1,22	3,27	4,49	1,22	5,62	6,84	1,22	8,62	9,84	1,22	12,07	13,24	1,22	20,18	21,40	1,22	12,07	13,24	1,22	20,18	21,40
36	914	1,41	3,63	5,04	1,41	6,30	7,71	1,41	9,80	11,21	1,41	13,43	14,84	1,41	22,63	24,04	1,41	13,43	14,84	1,41	22,63	24,04
40	1016	1,54	4,04	5,58	1,54	6,98	8,52	1,54	10,66	12,20	1,54	14,88	16,42	1,54	25,06	26,62	1,54	14,88	16,42	1,54	25,06	26,62
48	1219	1,86	4,90	6,76	1,86	8,39	10,25	1,86	12,84	14,70	1,86	17,92	19,78	1,86	30,21	32,07	1,86	17,92	19,78	1,86	30,21	32,07
60	1524			—	2,31	10,52	12,83	2,31	20,69	22,80	2,31	22,41	24,72	2,31	37,74	40,05	2,31	22,41	24,72	2,31	37,74	40,05

یادآوری : برای لوله کمتر از قطر ۶ اینچ با ضخامت دیواره تا ۶/۴ میلیمتر می‌توان از الکترود *E 6010* بقطر ۲/۵ میلیمتر برای پاس اول استفاده

وزن تقریبی الکترود :
قطر ۳/۲۵ میلیمتر تقریباً ۲۸ گرم
قطر ۴ میلیمتر تقریباً ۴۰ گرم
قطر ۵ میلیمتر تقریباً ۶۲ گرم

الکترودهای جوشکاری خط لوله (ژاپنی)

Kind of pipe	Applicable pass	High cellulose type (VD)	Low hydrogen type (VU)	Low hydrogen type (VD)	High cellulose + Low hydrogen (VD)
API 5L Gr. I A25 CL. I A25 CL. II Gr.A Gr.B X42 X46 X52	Root pass Hot pass	KOBE 6010 KOBE 7010S	LB 52U	LB 78VS	KOBE 6010 KOBE-7010S
	Filler pass and cover pass		LB 47 LB 52 LBM 52 LB-52 18		LB 78VS
API 5L X56	Root pass Hot pass	KOBE 6010 KOBE-7010S	LB 52U	LB 78VS	KOBE 6010 KOBE 7010S
	Filler pass and cover pass	KOBE-7010S	LB 52 LBM 52 LB 52-18		LB 78VS
API 5L X60	Root pass Hot pass	KOBE 6010 KOBE 7010S	LB 52U	LB 78VS LB 88vS	KOBE 6010 KOBE 7010S
	Filler pass and cover pass	KOBE 7010S KOBE 8010S	LB 52 LBM 52 LB-52-18		LB 78VS LB 88VS
API 5L X65	Root pass Hot pass	KOBE-7010S KOBE 8010S	LB 52U	LB 88VS	KOBE 7010S KOBE 8010S
	Filler pass and cover pass	KOBE 8010S	LB 62 LB 62 LB 62D		LB 88VS
API 5L X70	Root pass Hot pass	KOBE 7010S KOBE-8010S	LB-62U	LB 88VS	KOBE 7010S KOBE 8010S
	Filler pass and cover pass	KOBE-8010S	LB 62 LB62D		LB 88VS
API 5L X80	Root pass Hot pass	—	LB 62U	LB 88VS	KOBE 7010S KOBE 8010S
	Filler pass and cover pass		LB 65D		LB88VS

شناسائی جوشکاران

در موقع آزمون تایید صلاحیت جوشکار، به هر جوشکار یک شماره یا مشخصه شناسائی اختصاص داده می‌شود . بدون توجه به دستورالعمل جوشکاری، مادام که آن جوشکار برای پروژه کار میکند ، بایستی از همان مشخصه استفاده کند. اگر به هر دلیلی جوشکار، پروژه را ترک نمود، شماره مشخصه آن جوشکار نبایستی به جوشکار دیگری واگذار گردد.

هرجوشکار موظف است مشخصه شناسائی خود را روی پوشش لوله در نزدیکی اتصال جوش با « مارکر» بنویسد.

در خط لوله جوشکاران طرف کانال با جوشکاران طرف جاده اشخاص متفاوت هستند.

برای مشخص کردن هر سرجوش لوله که ممکن است چندین جوشکار در تکمیل آن نقش داشته باشند، از « علامت پاس » به شرح زیر استفاده می‌شود :

پاس ریشه	دایره
پاس گرم	لوزی
پاس پُرکنی گرم یا اولین پاس پُرکنی	مربع
پاس پُرکنی و یا پاس آخر	مثلث

هر جوشکار که طرف کانال کار می‌کند ، علامت مشخصه خود را بالای خط وسط « علامت پاس» می‌نویسد.

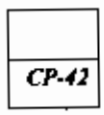
هر جوشکار که طرف جاده کار می‌کند، علامت مشخصه خود را زیر خط وسط علامت پاس» می‌نویسد.

مثال ها :

۱- *JA-06* ، پاس ریشه، طرف کانال

۲- *BJ-08* ، پاس های پرکنی و پاس آخر ، طرف کانال

۳- *CP-42* ، پاس گرم و پرکنی گرم ، طرف جاده



ردیف تراکم *(Class Location)*

طبق مفاد مقررات خطوط لوله انتقال گاز طبیعی شرکت ملی گاز ایران واحد ردیف تراکم از منطقه ای به عرض ۵۰۰ متر که محور خط لوله در وسط آن قرار گرفته باشد (یا ۲۵۰ متر از طرفین خط لوله) و بطول یک کیلومتر در امتداد خطوط لوله تشکیل میشود.

مناطق از نظر تراکم واحدهای مسکونی بشرح زیر به چهار ردیف تقسیم می‌شوند:

هر واحد ردیف تراکم در خارج از محدوده شهرها و شهرک ها که تعداد واحدهای ساختمانی بمنظور سکونت افراد در آن ۸ و یاکمتر باشد ردیف ۱ نامیده میشود.

هر واحد ردیف تراکم در خارج از محدوده شهرها و شهرک ها که تعداد واحدهای ساختمانی بمنظور سکونت افراد در آن از ۸ بیشتر یا از ۳۶ کمتر باشدردیف ۲ نامیده میشود.

هر واحد ردیف تراکم در خارج از محدوده شهرها و شهرک ها که تعداد واحدهای ساختمانی بمنظور سکونت افراد در آن از ۳۶ بیشتر باشد ردیف ۳ نامیده میشود.

مقررات بازرسی فنی تجهیزات پالایش نفت برای خطوط لوله انتقال نفت و گاز حداقل درصد رادیوگرافی را بشرح زیر بیان نموده است:

۱۰ جوشها در مناطق با ردیف تراکم ۱

۱۵٪ جوشها در مناطق با ردیف تراکم ۲

۴۰٪ جوشها در مناطق با ردیف تراکم ۳

۷۵٪ جوشها در مناطق با ردیف تراکم ٤

مطلب این صفحه برای طول یک مایل و عرض نیم مایل در *ASME-B31.8* درج گردیده است.

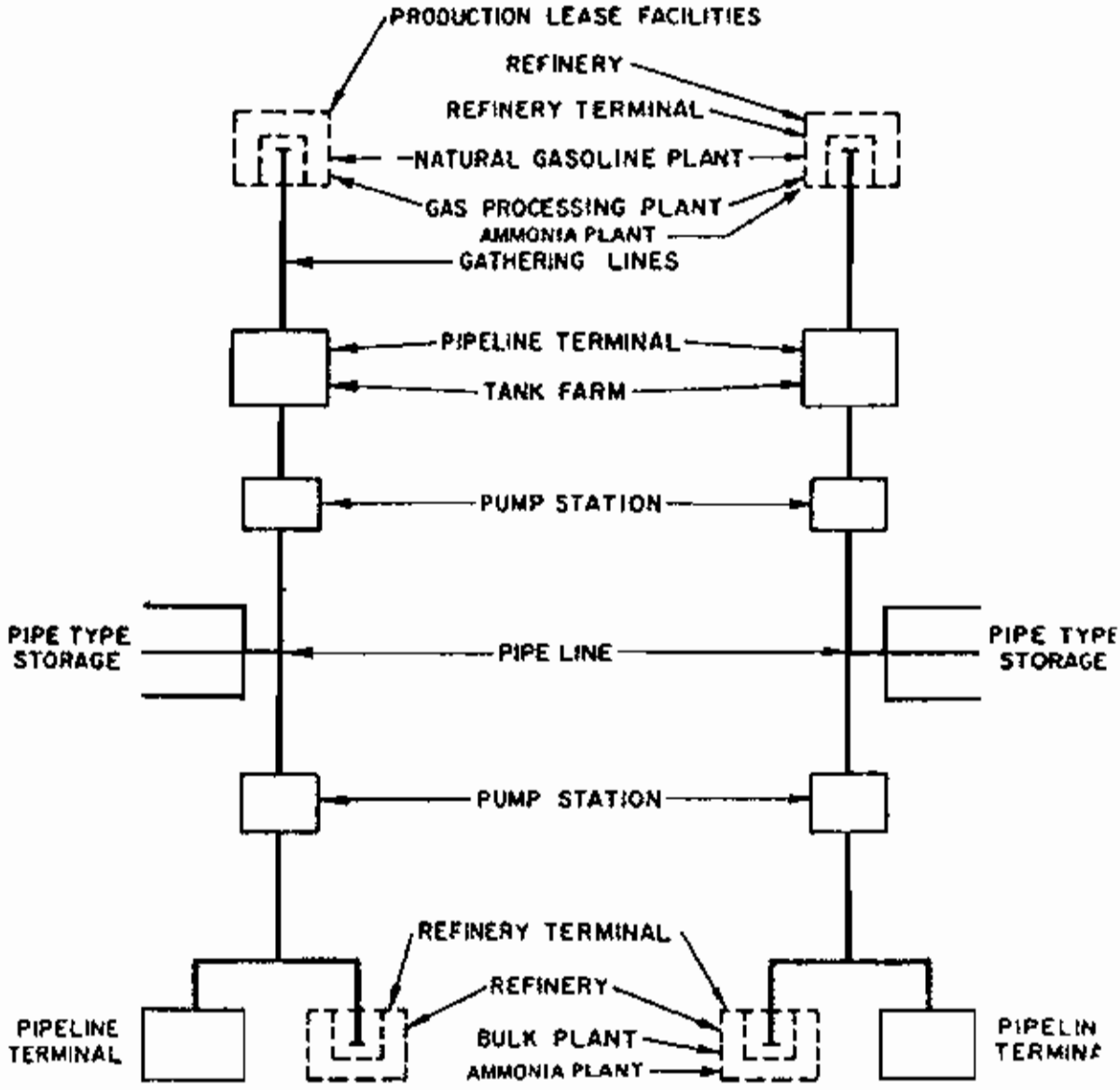
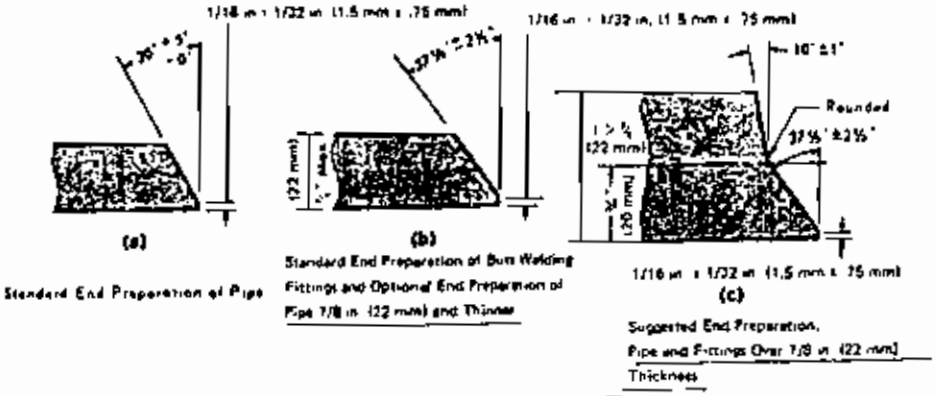


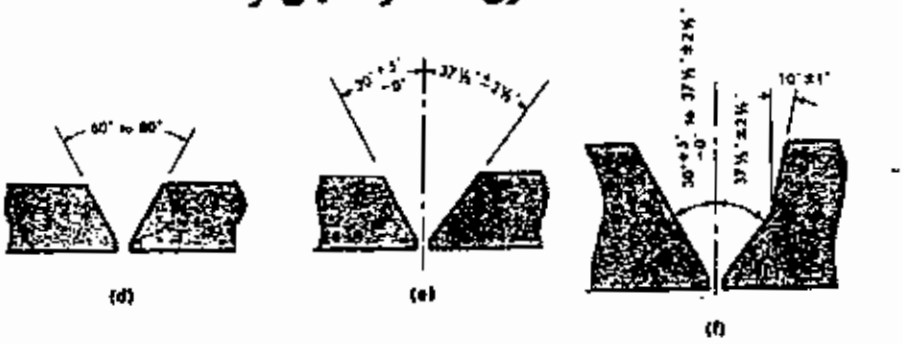
DIAGRAM SHOWING SCOPE OF CRUDE OIL, CONDENSATE, NATURAL GASOLINE, NATURAL GAS LIQUIDS AND LIQUEFIED PETROLEUM GAS TRANSPORTATION PIPING SYSTEMS

DIAGRAM SHOWING SCOPE OF LIQUID PETROLEUM PRODUCT, CONDENSATE, NATURAL GASOLINE, NATURAL GAS LIQUIDS, LIQUID ANHYDROUS AMMONIA AND LIQUEFIED PETROLEUM GAS TRANSPORTATION PIPING SYSTEMS

دامنه کاربرد ASME-B31.4

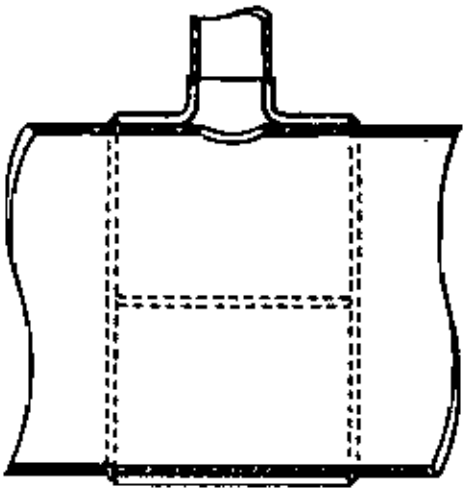


آماده سازی استاندارد انتهای لوله



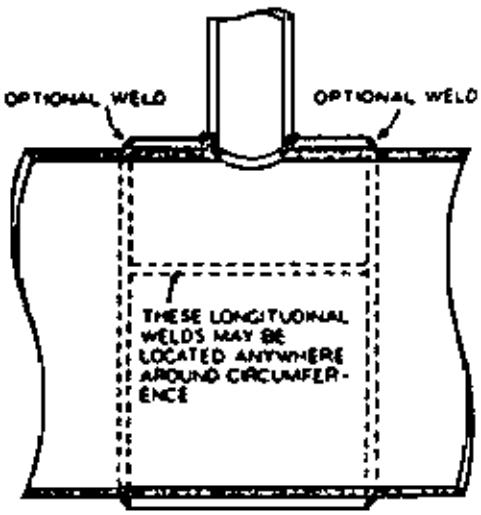
ترکیب قابل قبول آماده سازی انتهای لوله

طرح اتصال قابل قبول جوش سربسر با ضخامت دیواره مساوی



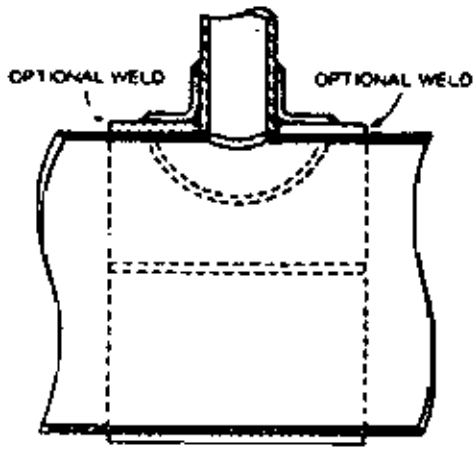
TEE TYPE

NOTE: SINCE FLUID PRESSURE IS EXERTED ON BOTH SIDES OF PIPE METAL UNDER TEE, THE PIPE METAL DOES NOT PROVIDE REINFORCEMENT

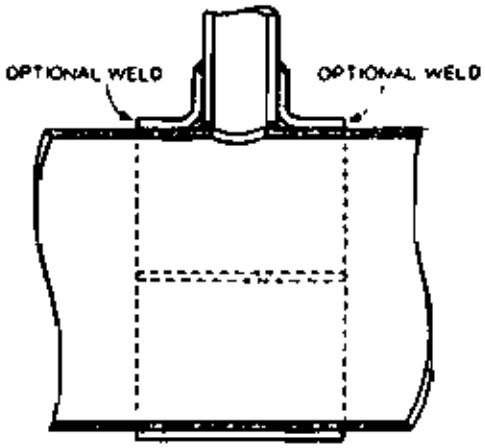


SLEEVE TYPE

NOTE: PROVIDE HOLE IN REINFORCEMENT TO REVEAL LEAKAGE IN BURIED WELDS AND TO PROVIDE VENTING DURING WELDING AND HEAT TREATMENT [SEE 404.3.1(d)(8)] NOT REQUIRED FOR TEE TYPE



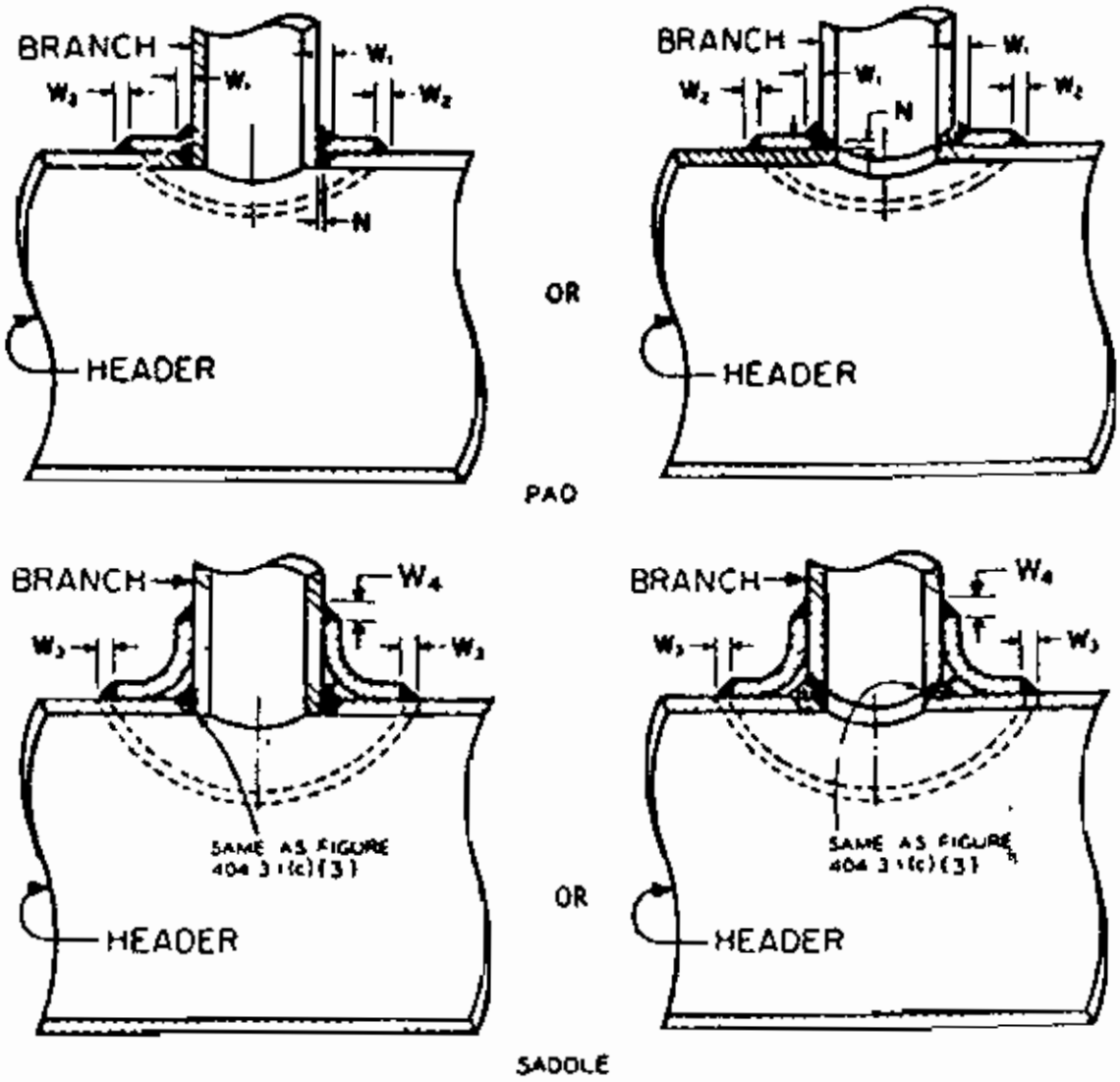
SADDLE AND SLEEVE TYPE



SADDLE TYPE

If the encircling member for tee, sleeve, or saddle type is thicker than the header and its ends are to be welded to the header, the ends shall be chamfered (at approximately 45 degrees) down to a thickness not in excess of the header thickness.

جزئیات جوشکاری برای انشعاب با تقویت دورتا دوری



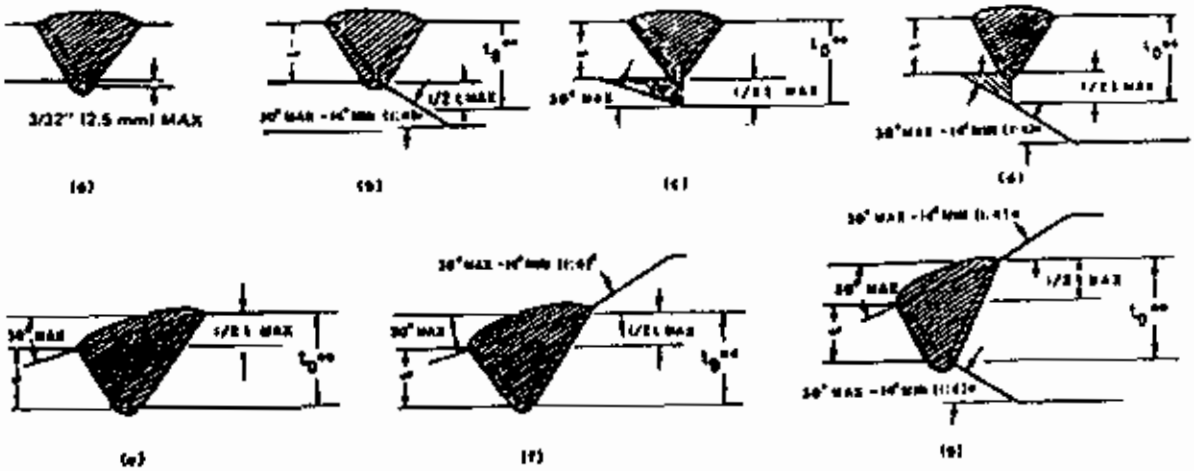
T_b = Nominal Wall Thickness of Branch T_h = Nominal Wall Thickness of Header
M = Nominal Wall Thickness of Pad Reinforcement Member
M_b = Nominal Wall Thickness of Saddle at Branch End
M_h = Nominal Wall Thickness of Saddle at Header End
W_1 (Minimum) = The Smaller of T_b, M, or 3/8 inch (10 mm)
W_2 (Minimum) = The smaller of 0.7 T_h, 0.7 M, or ½ inch (13 mm) W_2 (Maximum) = Approx. T_h
W_3 (Minimum) = The Smaller of 0.7 T_h, 0.7 M_h, or ½ inch (13 mm) W_3 (Maximum) = Approx. T_h
W_4 (Minimum) = The Smaller of T_b, M_b, or 3/8 inch (10 mm)
N = 1/16 inch (1.5 mm) (Minimum), 1/8 inch (3 mm) (Maximum) (Unless Back Welded or Backing Strip is Used)

All Welds to Have Equal Leg Dimensions and a Minimum Throat = 0.707 × Leg Dimension

If the reinforcing member is thicker at its edge than the header, the edge shall be chamfered (at approximately 45 degrees) down to a thickness so leg dimensions of the fillet weld shall be within the minimum and maximum dimensions specified above.

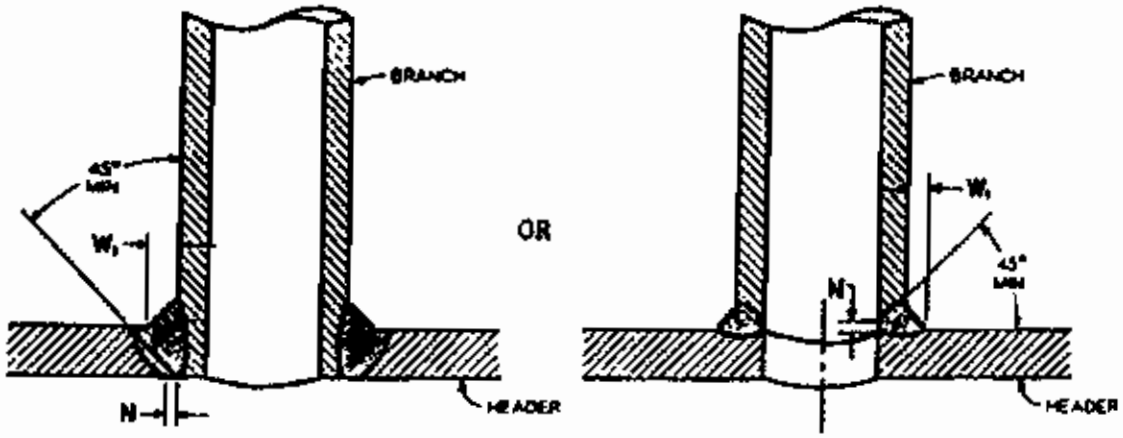
A hole shall be provided in reinforcement to reveal leakage in buried welds and to provide venting during welding and heat treatment [see 404.3.1(d)(8)].

جزئیات جوشکاری برای انشعاب یا تقویت



طرح اتصال قابل قبول جوش سربسر با ضخامت دیواره نامساوی

API -



۲۰۱۳

When a welding saddle is used it shall be inserted over this type of connection – see Fig. 404.3.1 (c) (2)

T_h = nominal wall thickness of header

T_b = nominal wall thickness of branch

W_1 (minimum) = the smaller of T_h, T_b or 3/8 inch (10 mm)

N = 1/16 inch (1.5 mm) (minimum), 1/8 inch (3 mm) (maximum) (unless back welded or backing strip is used)

جزئیات جوشکاری برای انشعاب بدون تقویتی

ردیف نهم

آزمایش الکترود

در این قسمت مطالب مربوط به بازدید و کنترل ظاهری از استاندارد روسی و مطالب مربوط به آزمایش جوش خالص و درزجوش از: «*Lloyds register of shipping*» که با استاندارد آلمان «*Deutsche industrie normen DIN 1913*» و استاندارد انگلیس «*British standard BS 639*» و ... تا حدودی استاندارد روسی، نزدیک است تهیه شده و از پاره ای نکات جالب چند استاندارد اخیر استفاده شده و به استاندارد اول افزوده شده است.

در این مطالب الکترودهای خاصی مورد نظر نبوده و اعداد مورد قبول برای آن الکترودها داده نشده تا بتوان از این مطالب برای الکترودهای گوناگون کشورهای مختلف که برای جوشکاری قوسی دستی فولادهای ساده ساختمانی تهیه و عرضه می شوند، استفاده نمود.

بازدید ظاهری روپوش

روپوش الکترود بایستی محکم، بادوام، بدون ترک و یکنواخت باشد. در بازدید ظاهری موارد ذیل مورد توجه قرار میگیرد:

الف – لخت بودن الکترود روپوشدار تا قطر ۶ میلیمتر تا نیم قطر و برای الکترود بزرگتر تا ۳ میلیمتر از سرالکترود مجاز است.

ب – برجستگی ها و سوارخهای تکی به اندازه تا یک چهارم ضخامت روپوش مجاز است.

ج – فرورفتگی ناحیه ای نبایستی تعدادشان بیش از سه و طولشان بیش از ۲ میلیمتر و عمقشان بیش از نصف ضخامت روپوش باشد.

د – منفذها نبایستی تعدادشان بیش از سه عدد در هر ۱۰۰ میلیمتر طول روپوش بوده و قطر هر منفذ بیش از ۲ میلیمتر و عمق آن از نصف ضخامت روپوش بیشتر باشد.

ه – روپوش نبایستی بیش از ۲ ترک موئی و بطول بیشتر از ۱۲ میلیمتر داشته باشد.

استحکام روپوش

طبق استاندارد روسی برای پی بردن به استحکام الکترود آزمایش زیر را انجام می دهند.

الف – الکترودهای تا قطر ۳ میلیمتر را از فاصله یک متری آزادانه و بطور افقی برروی صفحه فولادی رها می کنند.

ب – الکترودهای قطر بزرگتر از ۳ میلیمتر را از فاصلهٔ نیم متری آزادانه و بطور افقی برروی صفحه فولادی رها می کنند.

روپوش این الکترود نبایستی در این سقوط آسیب ببیند.

تبصره: جدا شدن ناحیه ای روپوش که طول آن از ۲۰ میلیمتر تجاوز نکند اشکالی ندارد.

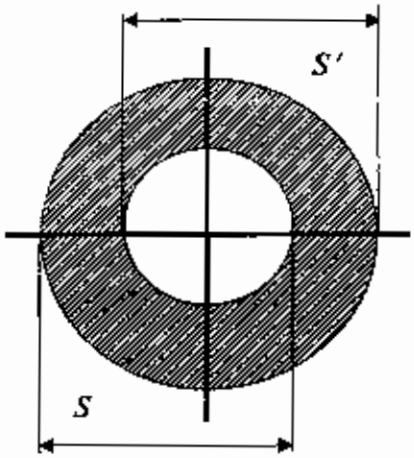
مقاومت روپوش در مقابل رطوبت

روپوش الکترود بایستی در مقابل رطوبت مقاومت کند و پس از آنکه بمدت ۲٤ ساعت در آب ۱۵ تا ۲۵ درجه سانتیگراد قرار گرفت علامت خرابی در آن پدیدار نگردد و چسبندگی خود را از دست ندهد.

تبصره: ساختن الکترود با روپوشی که در مقابل گرما مقاوم نباشد مجاز بوده و در اینصورت بایستی در پروانه الکترود ذکر شود.

هم مرکز بودن روپوش

روپوش الکترود بایستی با میلهٔ الکترود هم مرکز باشد و بطور یکنواخت میله را پوشانده باشد. اختلاف ضخامت روپوش $e= S-S'$ (شکل ذیل) نسبت به قطر میلهٔ الکترود نبایستی از مندرجات جدول تجاوز نماید.

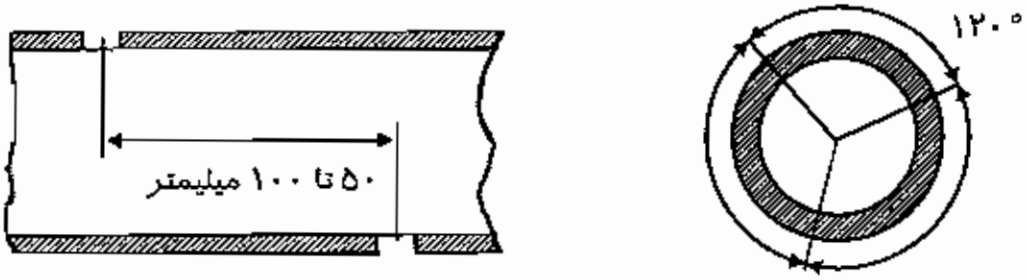


شکل – هم مرکز نبودن روپوش

جدول – اختلاف ضخامت فلز

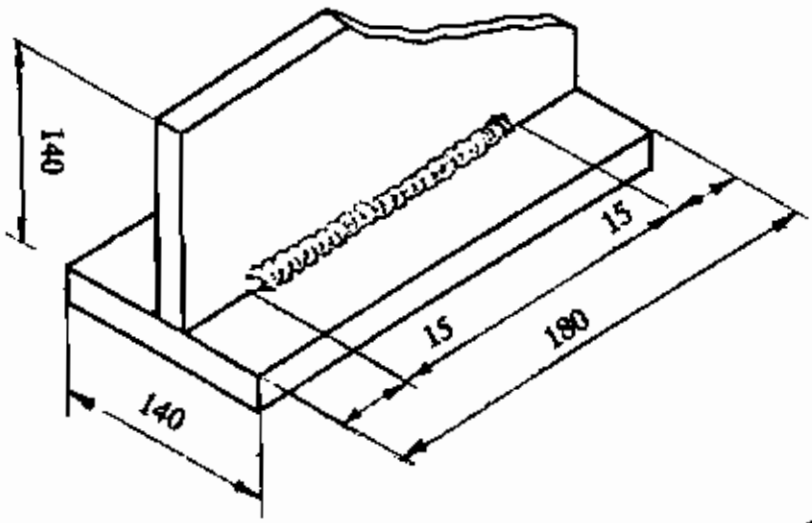
قطر میلهٔ الکترود میلیمتر	اختلاف مجاز ضخامت روپوش میلیمتر $e= S-S'$
۱/۶	۰/۰۵
۲	۰/۰۸
۲/۵	۰/۱۰
۳	۰/۱۵
٤	۰/۲۰
۵	۰/۲۵
۶	۰/۳۰

برای تعیین یکنواختی ضخامت روپوش بایستی در سه محل که نسبت بهم تحت زاویه ۱۲۰ درجه قرارداشته و بفاصله ۵۰ تا ۱۰۰ میلیمتر از هم باشند، ضخامت روپوش اندازه گیری شود.



شکل – تعیین یکنواختی روپوش

ضخامت روپوش بایستی با میکرومتر و با دقت ۰/۰۱ میلیمتر کنترل شود. کنترل هم مرکز نبودن روپوش را می توان با دستگاه های مخصوص (مغناطیسی و غیره) بدون تخریب روپوش انجام داد.



معمولاً ورقها از همان فلزی انتخاب می شود که الکترود مزبور برای جوشکاری آن فلز درنظر گرفته شده است ولی برای فولادهای کم کربن و کربن متوسط و فولادهای عادی ساختمانی (استاندارد *GOST* ۹۴۶۷ روسی) میتوان از ورقهای (*CT3* طبق استاندارد روسی- *GOST* ۳۸۰) نیز استفاده نمود.

دو ورق بطور عمود برهم قرار داده شده و تک زده می شوند. آنگاه با همان قطر الکترود مورد آزمایش در حالت تخت جوشکاری گوشه ای انجام می گیرد . از هر طرف بطول ۱/۵ سانتیمتر بدون جوشکاری رها می شود.

بعد از جوشکاری برای تسهیل در شکستن وسط درزجوش، چاک کوچکی روی جوش با تیغ اره یا قلم تیزبر ایجاد می شود.

سپس نمونه را برروی زمین قرار داده و با چکش یا پتک به بالای ورق روئی (از طرف مقابل جوش) ضربه زده می شود تا جوش شکسته شود.

با مطالعه مقطع شکسته شده جوش (ازنظر دانه بندی، وجود منفذ در جوش، وجود ترک در جوش یا فلز مبنا، نفوذ جوش و...) به خواص تکنولوژی جوش پی برده می شود.

آزمایش جوش خالص

این سری آزمایش مشتمل بر آزمایش کشش و آزمایش ضربه روی فلز حاصل از ذوب الکترودها تحت شرایط معینی می باشد. مجموعه آزمایش فلز تمام جوش مطابق شکل ذیل تهیه میشود.

جوشکاری یک بار از اول پلیت بطرف آخر و باردیگر از آخر پلیت به اول و بالعکس بطور متناوب صورت می گیرد.

ضخامت هرلایه از جوش نبایستی از ۲ میلیمتر کمتر و از ٤ میلیمتر بیشتر باشد.

کیفیت اجرای جوشکاری

جوشکاری الکترود بایستی خصوصیات ذیل را داشته باشد:

الف – قوس بایستی به آسانی روشن شده و پایدار باشد. نوع جریان برق و شدت جریان جوشکاری طبق توصیه سازنده الکترود انتخاب می شود.

ب – روپوش بایستی بطور مناسب با میلهٔ مغزه ذوب شده تا در انتهای الکترود، روپوش بصورت لوله یا شاخک باقی نماند. تا مانع ذوب مداوم الکترود نشود.

ج – روی گردهٔ جوش بایستی سرباره محافظ تشکیل شود که پس از سرد شدن به راحتی برداشته شود.

د – فلز درزجوش و فلز مبنا نبایستی ترک داشته باشد.

نمونه برداری

الکترودهائی که دارای نوع و قطر یکسان بوده و روش ساخت واحدی داشته و یکجا عرضه می شوند «پارتی» نام دارند.

برای الکترودهای جوشکاری فولادهای ساختمانی و مقاوم حرارت حداکثر وزن پارتی ۲۰ تن و برای الکترودهای جوشکاری فولادهای عالی حداکثر وزن هر پارتی ۵ تن می باشد.

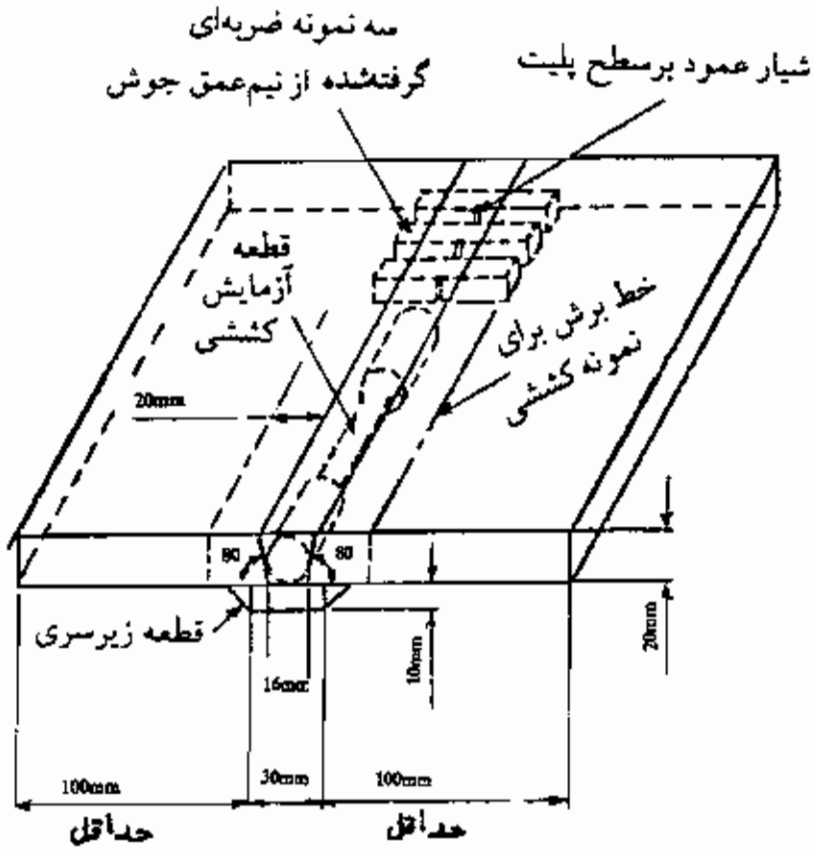
بازدید ظاهری و اندازه گیری بایستی با برداشتن تا ۰/۵ درصد الکترودها از محلهای مختلف هر پارتی (که از ۱۰ عدد الکترود کمتر نباشد) و بررسی آنها صورت پذیرد.

بازدید ظاهری الکترودها بدون استفاده از وسایل بزرگ نما انجام می شود. از هر تن الکترود حداقل ۳ الکترود برای هر یک از موارد کنترل ظاهری (استحکام روپوش – وضعیت ظاهری، مقاومت در مقابل رطوبت و هم مرکز نبودن) انتخاب می شود.

برای کنترل کیفیت جوشکاری و آزمایشات مکانیکی و غیره به تعداد لازم نسبت به قطر الکترود و حجم آزمایش نمونه گیری انجام می شود.

آزمایش تکنولوژی

خواص الکترود را از نظر تکنولوژی جوش می توان با جوشکاری گوشه ای دو قطعه ورق روشن نمود(مطابق شکل).



شکل – مجموعه آزمایش جنس جوش خالص

در فاصلهٔ بین جوشکاری دو لایه نمونه در هوای آرام رها میشود تا به درجهٔ حرارت ۲۵۰ درجه سانتیگراد خنک شود. درجه حرارت روی سطح وسط درزجوش بوسیله پیرومتر یا وسایل مناسب دیگر کنترل می شود.

بعد از اتمام جوشکاری مجموعه آزمایش هیچگونه عملیات حرارتی لازم ندارد و بایستی در هوای آرام خنک شود

درجهٔ حرارت پلیت مبنا و تسمه زیر سری هنگام شروع جوشکاری لایه اول ۱۰ تا ۳۰ درجه می باشد.

جنس پلیت ها و تسمه زیرسری بکاررفته از نوع فولاد ساده ساختمانی (فولاد کم کربن و بدون آلیاژ) می باشد.

اگر الکترود مورد آزمایش در طولهای مختلف عرضه می شود، برای آزمایش بایستی از بزرگترین طول متداول استفاده شود.

الکترودی که برای جوشکاری با هر دو جریان متناوب و مستقیم توصیه شده موقع آزمایش از جریان متناوب استفاده می شود.

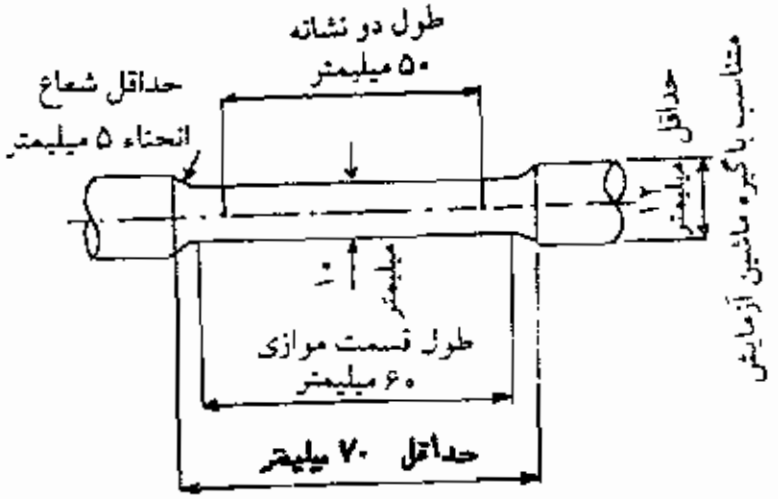
این مجموعه با الکترودهای بقطر ۳/۲۵ میلیمتر به بالا جوشکاری می گردد.

آزمایش کششی

از هر مجموعه آزمایش یک نمونه آزمایش کشش مطابق شکل ذیل تراشیده می شود. بایستی دقت لازم بعمل آید تا محور طولی این نمونه با خط مرکزی جوش و نیم ضخامت پلیت مطابقت داشته باشد.

برای خارج کردن هیدروژن قطعه آزمایش کشش بمدت ۶ تا ۱۶ ساعت در درجه حرارت ۲۵۰ درجه سانتیگراد نگهداری میشود

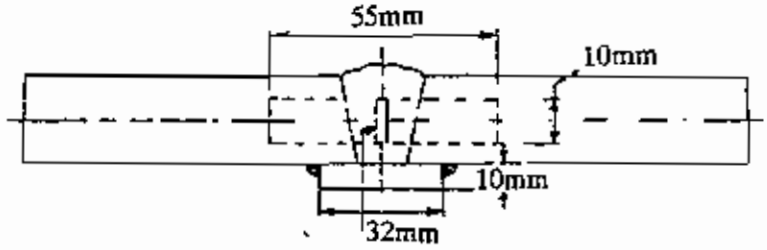
حد نهائی مقاومت کششی و تنش تسلیمی و افزایش طول نسبی نمونه نبایستی کمتر از حداقل پیش بینی شده در استاندارد الکترود باشد.



شکل – نمونه آزمایش کشش

آزمایش ضربه

سه قطعه آزمایش با شیار ۷ از هر مجموعه جوش خالص تهیه می شود. قطعه آزمایش با مقطع مربع ۱۰ میلیمتری و بطول ۵۵ میلیمتر بوده و در وسط طول یک طرف آن شیار ۷ شکل بطور عمودی با شیب ٤٥ درجه، بعمق ۲ میلیمتر و شعاع ریشهٔ ۰/۲۵ میلیمتر آماده می گردد. ابعاد مزبور بایستی دقیقاً مراعات گردد.



شکل – وضعیت نمونه آزمایش ضربه

قطعات آزمایش طوری بریده می شوند که محورهای طولی آنها عمود برجوش بوده و سطح بالای آن ۵ میلیمتر از سطح بالای پلیت فاصله داشته باشد.

شیار بایستی در مرکز جوش قرار گرفته و در سطح قطعه آزمایش عمود بر سطح پلیت درآورده شود. آزمایش ضربه با ماشین ضربه ای استاندارد انجام می شود.

درجه حرارت آزمایش در مقدار مقاومت بضربه تاثیر بسزائی دارد.

میانگین مقاومت ضربه ای بدست آمده برای سه نمونه (کیلوگرم متر بر سانتیمتر مربع) بایستی جوابگوی خواسته های مقاومت ضربه ای استاندارد در درجه حرارت مربوط ۲۰+، ۰، ۲۰- و غیره باشد.

اگر میانگین سه مقاومت بضربه اول بیشتر از ۱۵ درصد از مقدار لازم کمتر باشد، سه نمونه آزمایش اضافی بایستی تهیه شود و نتایج بدست آمده به قبلی ها اضافه شود تا میانگن جدیدی بدست آید که بایستی جوابگوی مقاومت ضربه ای لازم باشد.

اگر میانگین سه مقاومت بضربه دوم نیزنیستر از ۱۵ درصد از مقدار لازم کمتر باشد،آنوقت شش نمونه آزمایش ضربه بایستی آماده شده و میانگین این شش نمونه آزمایش جدید بایستی خواسته ها را برآورده سازد.

آزمایش درزجوش

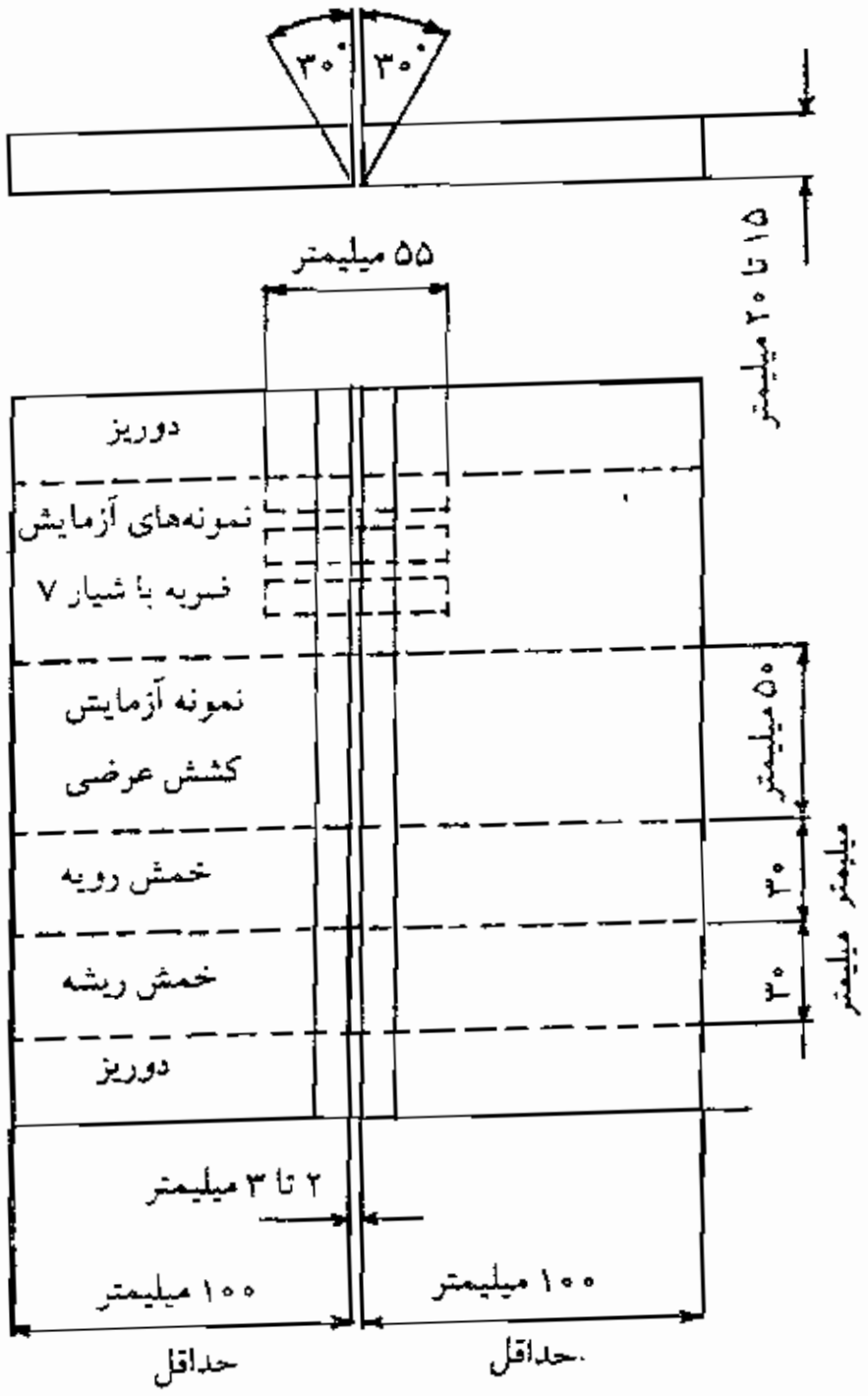
اتصال جوش لب بلب برای هر حالت جوشکاری (تخت، عمودی و سقفی) که الکترود برای جوشکاری در آن حالت توصیه شده مطابق شکل بعد انجام میشود.

این مجموعه آزمایش با جوش دادن دو قطعه ورق بضخامت ۱۵ تا ۲۰ میلیمتر و پهنای حداقل ۱۰۰ میلیمتر تهیه می شود. طول ورقها بایستی بقدری باشد که بتوان نمونه های لازم را از آن درآورد. لبه ورقها با زاویه ۳۰درجه پخ زده می شوند بطوری که اتصال با زاویه ۶۰ درجه و با فاصله ریشه ۲ تا ۳ میلیمتر را تشکیل دهند.

جوشکاری اتصال لب بلب به روش عادی صورت گرفته و بین دولایه مجموعه در هوای آرام رها شده تا به درجه حرارت ۲۵۰ درجه سانتیگراد خنک شود (درجه حرارت در وسط جوش روی سطح درزاندازه گیری می شود).

این مجموعه احتیاج به هیچگونه عملیات حرارتی ندارد ولی توصیه می شود که برای عیب یابی تحت عمل رادیوگرافی (با اشعه ایکس یا گاما) قرار گیرد.

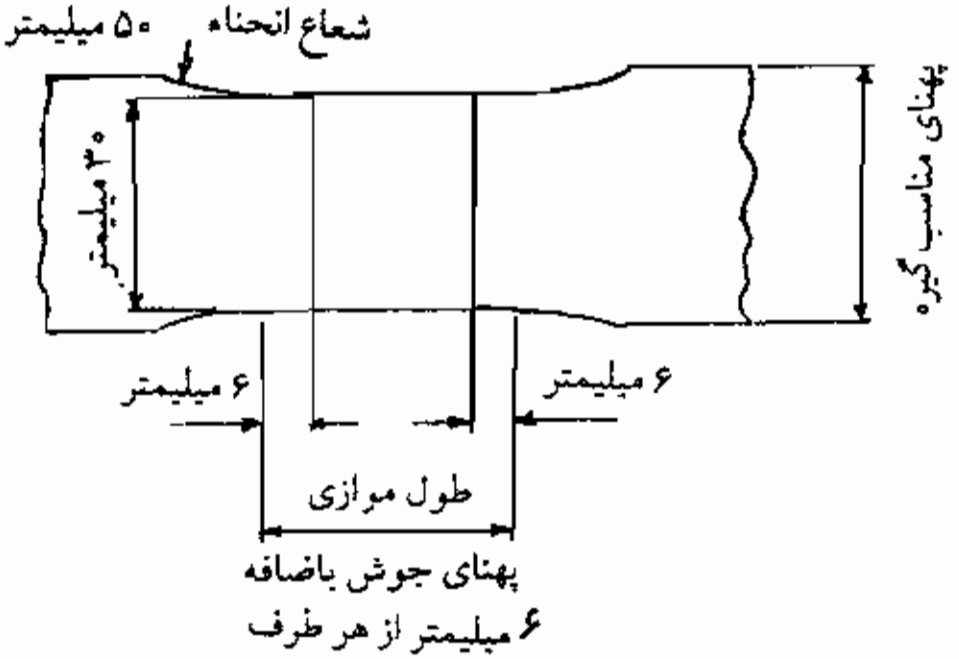
سرانجام از هر مجموعه یک نمونه کششی، دو نمونه خمشی (یکی خمش رویه دیگری خمش ریشه) و سه نمونه ضربه مطابق شکل بریده و آماده شود.



شکل – مجموعه آزمایش درزجوش (اتصال لب بلب)

آزمایش کشش

نمونه آزمایش کشش درزجوش مطابق شکل زیر فرم داده میشود. سطوح بالا و پایین جوش با سوهانکاری – سنگ زدن یا صفحه تراشی هم سطح پلیت می گردند. حدنهائی مقاومت کششی نمونه نبایستی کمتر از مقاومت لازم باشد.



شکل – نمونه کشش عرضی درزجوش

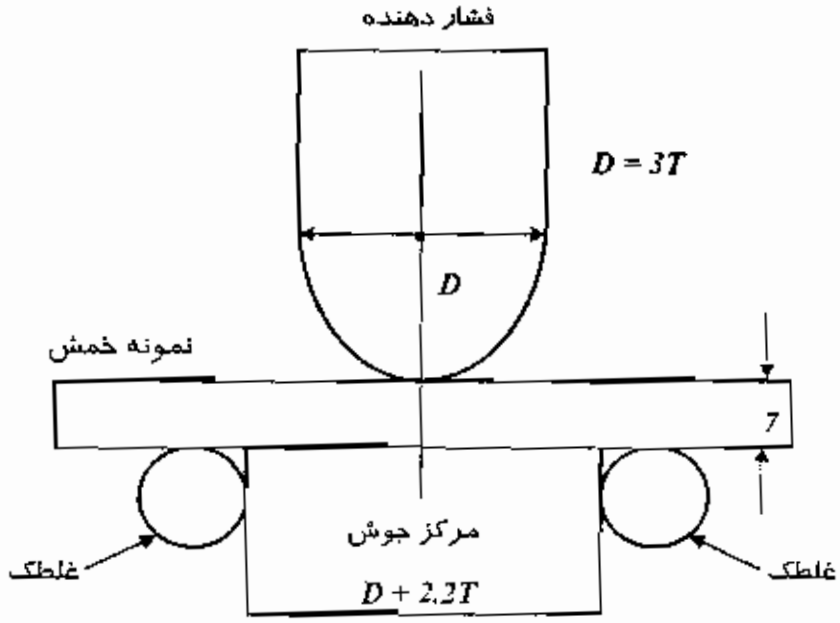
آزمایش خمش

عرض نمونه های خمشی ۳۰ میلیمتر می باشد. سطح دو طرف جوش بایستی با سوهان، سنگ سنباده یا ماشین هم سطح پلیت اصلی شده و گوشه های تیزگرد شوند (حداکثر شعاع گرد کردن گوشه ها ۲ میلیمتر است).

نمونه ها با غلتکی که قطر آن سه برابر ضخامت نمونه است تا ۱۲۰ درجه خم می شوند.

در یکی از نمونه های هر مجموعه بایستی رویهٔ جوش تحت کشش و دیگری ریشه جوش تحت کشش قرار گیرد.

نمونه وقتی از آزمایش قبول می شود که در تکمیل خمش هیچگونه ترک یا عیب غیرمجازی در سطح خارجی نمونه پدیدار نگردد.



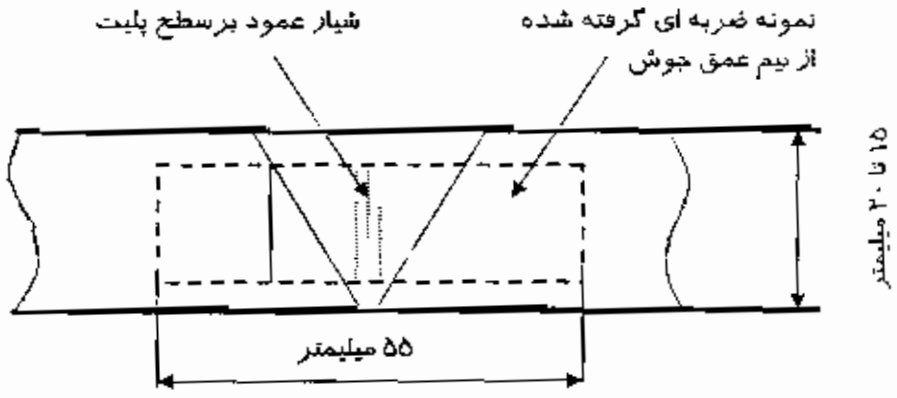
شکل – آزمایش خمشی درزجوش

آزمایش ضربه

از هر مجموعه سه نمونه آزمایش ضربه با شیار V تراشیده می شود. نمونه ها مطابق شکل با همان اندازه های نمونه های ضربه ای جوش خالص تهیه می گردند.

نمونه های آزمایش ضربه از وسط ضخامت پلیت با شیاری عمود بر سطح پلیت گرفته میشوند.

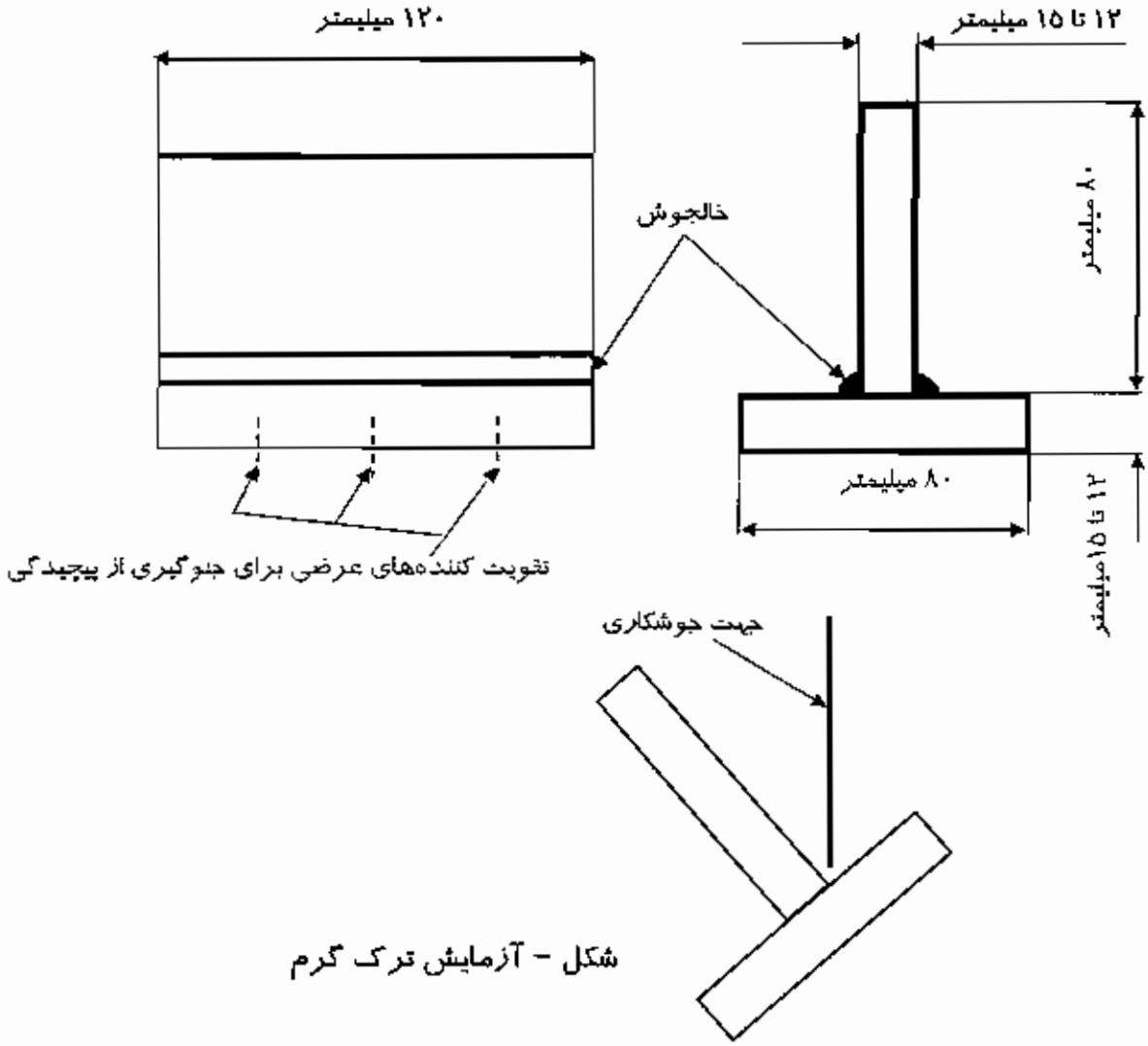
مقدار میانگین نتایج ضربه ای بدست آمده بایستی همانند نمونه های ضربه ای جوش خالص جوابگوی خواسته های استاندارد باشد.



شکل – نمونه آزمایش ضربه ار درزجوش

آزمایش ترک گرم

دو پلیت به ضخامت ۱۲ تا ۱۵ میلیمتر به ابعاد ۱۲۰ × ۸۰ میلیمتر به همدیگر بشکل اتصال سپری *(T)* مربعی مطابق شکل جوش داده می شوند.



شکل – آزمایش ترک گرم

سطح زیرین پلیت عمودی بایستی مستقیم بوده و به سطح فوقانی پلیت زیرین بچسبد. هرگونه ناهمواری سطح پلیت بایستی قبل از جوشکاری برداشته شود. خالجوش ها جهت سوار کردن دو قطعه در دو انتهای سطح تماس پلیت ها انجام می شود. برای جلوگیری از پیچیدگی پلیت زیری با سه تقویت کننده عرضی محکم می شود.

جوش گوشه ای فقط در یک لایه انجام می شود. جوشکاری در حالت مسطح و با حداکثر شدت جریان توصیه شده (بوسیله سازنده) صورت می پذیرد.

دومین جوش گوشه ای بایستی بلافاصله بعد از تکمیل اولین جوش گوشه ای و از آن انتهای نمونه که در آن اولین جوش گوشه ای تمام شده شروع شود.

هر دو جوش گوشه ای بایستی با سرعت ثابت و بدون نوسان دست (بدون حرکت موجی) انجام شود.

برای جوشکاری تمام طول هرگوشه ۱۲۰ میلیمتری طولهای ذیل از الکترودها ذوب می‌شوند:

جدول - طول ذوب هر الکترود برای آزمایش ترک گرم

قطر الکترود (میلیمتر)	طول الکترود ذوب شده (میلیمتر)	
	اولین گوشه	دومین گوشه
٤	۲۰۰	۱۵۰
۵	۱۵۰	۱۰۰
۶	۱۰۰	۷۵

بعد از جوشکاری سرباره از روی جوش پاک شده و پس از سرد شدن کامل به کمک ذره بین یا بوسیله مایعات نافذ . نمونه مورد بررسی قرار می گیرد تا ترکها در صورت بودن کشف گردند. سپس اولین جوش گوشه ای (طرف اول) با تراشیدن یا سنگ زدن برداشته شده و جوش دوم با نزدیک کردن دو پلیت به یکدیگر و تحت کشش قرار دادن ریشه جوش (با پتک زدن یا فشردن درگیره) شکسته می شود. پس از شکستن جوش بایستی به دقت وجود ترک گرم مورد بررسی قرار گیرد. نبایستی ترکی در جوشهای گوشه ای اعم از ظاهری یا داخلی (بجز ترکهای چالهٔ جوش) وجود داشته باشد.

آزمایش هیدروژن

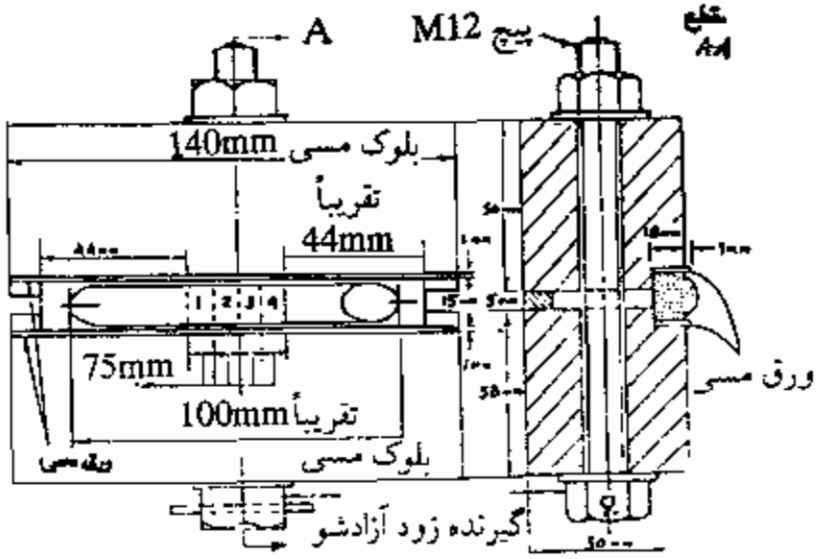
الکترودهائی که هیدروژن کمتری در جوش عرضه می کنند و حرف *H* را در طبقه بندی خود دارند می توانند تحت آزمایش هیدروژن قرار گیرند.

چهار قطعه ورق به ابعاد ۱۲ × ۲۵ × ۱۲۵ میلیمتر آماده می شود. نمونه ها با دقت ۰/۱ گرم توزین می شوند. روی هریک از این ورقها نوار منفردی به پهنای ۲۵ میلیمتر و طول حدود ۱۰۰ میلیمتر با الکترود ٤ میلیمتری و شدت جریان حدود ۱۵۰ آمپر جوش داده می شود. حدود ۱۵۰ میلیمتر از طول الکترود برای جوشکاری مصرف میشود.

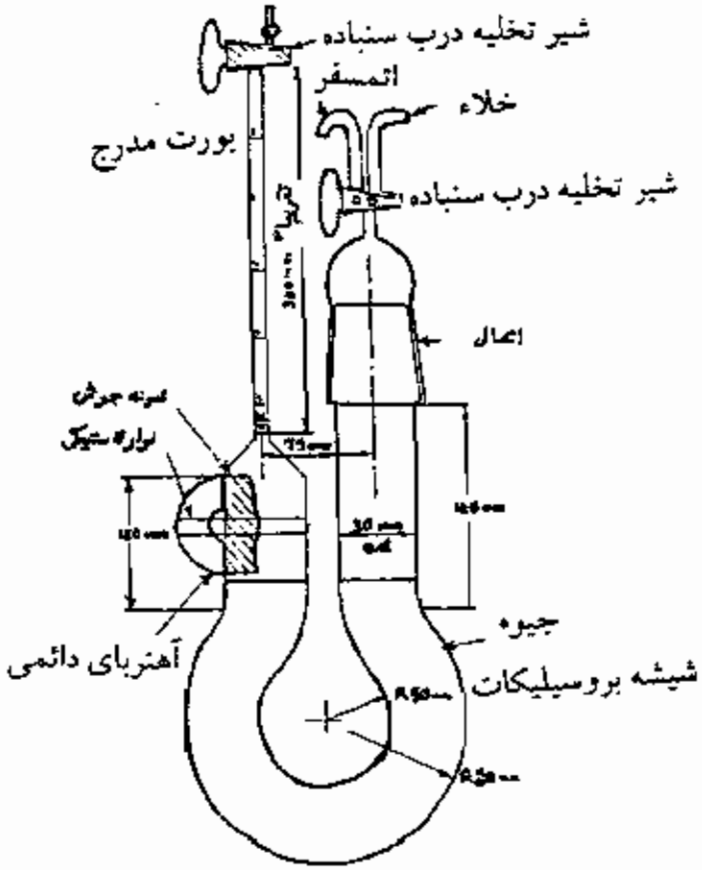
قبل از جوشکاری الکترودها را بایستی طبق توصیه سازنده خشک کرد یا اگر توصیه ای از طرف کارخانه سازنده صورت نگرفته باشد بمدت ۲ ساعت الکترودها را تحت درجه حرارت ۲۵۰ درجه سانتیگراد قرار داد.

در فاصلهٔ ۳۰ ثانیه از جوشکاری هر نمونه سرباره پاک شده و نمونه در آب حدود ۲۰ درجه سانتیگراد خنک شود. پس از ۳۰ ثانیه دیگر نمونه ها بایستی پاک شده و در دستگاه مناسب مخصوصی جهت جمع آوری هیدروژن بکمک گلیسیرین قرار داده شود.

گلیسیرین حین آزمایش در درجه حرارت ٤٥ درجه سانتیگراد نگهداری می شود.



شکل -نمونه آزمایش هیدروژن



شکل - اندازه گیری هیدروژن

هر چهار نمونه بایستی ظرف مدت ۳۰ دقیقه جوشکاری شده و بترتیب مذکور در دستگاه جمع آوری هیدروژن قرارداده شود. نمونه ها بمدت ٤٨ ساعت در گلیسیرین غوطه ور نگهداشته شده و پس از خروج با آب و الکل پاک شده و خشک گردند و آنگاه با دقت ۰/۱ گرم توزین شوند. مقدار گاز خارج شده با دقت ۰/۰۵ سانتیمتر مکعب اندازه گیری شده و به شرایط درجه حرارت ۲۰ درجه سانتیگراد و فشار ۷۶۰ میلیمتر جیوه تبدیل می شود.

درصد هیدروژن فلز جوش بوسیله دستگاه مخصوصی اندازه گیری می شود.

مقدار هیدروژن برحسب سانتیمتر مکعب به ازاء هرگرم فلز جوش گزارش می شود.

اگر میانگین هیدروژن در چهارآزمایش از ۰/۱ سانتیمتر مکعب برگرم تجاوز کند الکترود مزبور با هیدروژن کنترل شده بحساب نمی آید.

الکترودهای پرنفوذ

اگر الکترودی از صرف سازنده بعنوان الکترود پرنفوذ معرفی شود علامت *D.P.* یا علامت دیگری در طبقه بندی الکترود ذکر می شود.

برای الکترود پرنفوذ آزمایش ویژه ای در نظر گرفته شده که در آن توصیه های سازنده در مورد روش جوشکاری و شدت جریان جوشکاری بایستی مراعات گردد.

آزمایشات جوش لب بلب دوطرفه

دو پلیت به ضخامت دوبرابر قطر سیم الکترود به اضافه ۲ میلیمتر بطور لب بلب با یک لایه از هر طرف در حالت مسطح جوش داده می شوند.

حداقل عرض دو ورق ۱۰۰ میلیمتر بوده و طول آنها بایستی اجازهٔ درآوردن قطعات آزمایش لازم را بدهد. لبه های دو ورق صاف و بدون پخ بوده و پس از تک زدن نبایستی بیشتر از ۰/۲۵ میلیمتر از هم فاصله داشته باشند.

قطعه آزمایش با بزرگترین اندازهٔ الکترود (از ۸ میلیمتر بیشتر نباشد) جوشکاری می شود.

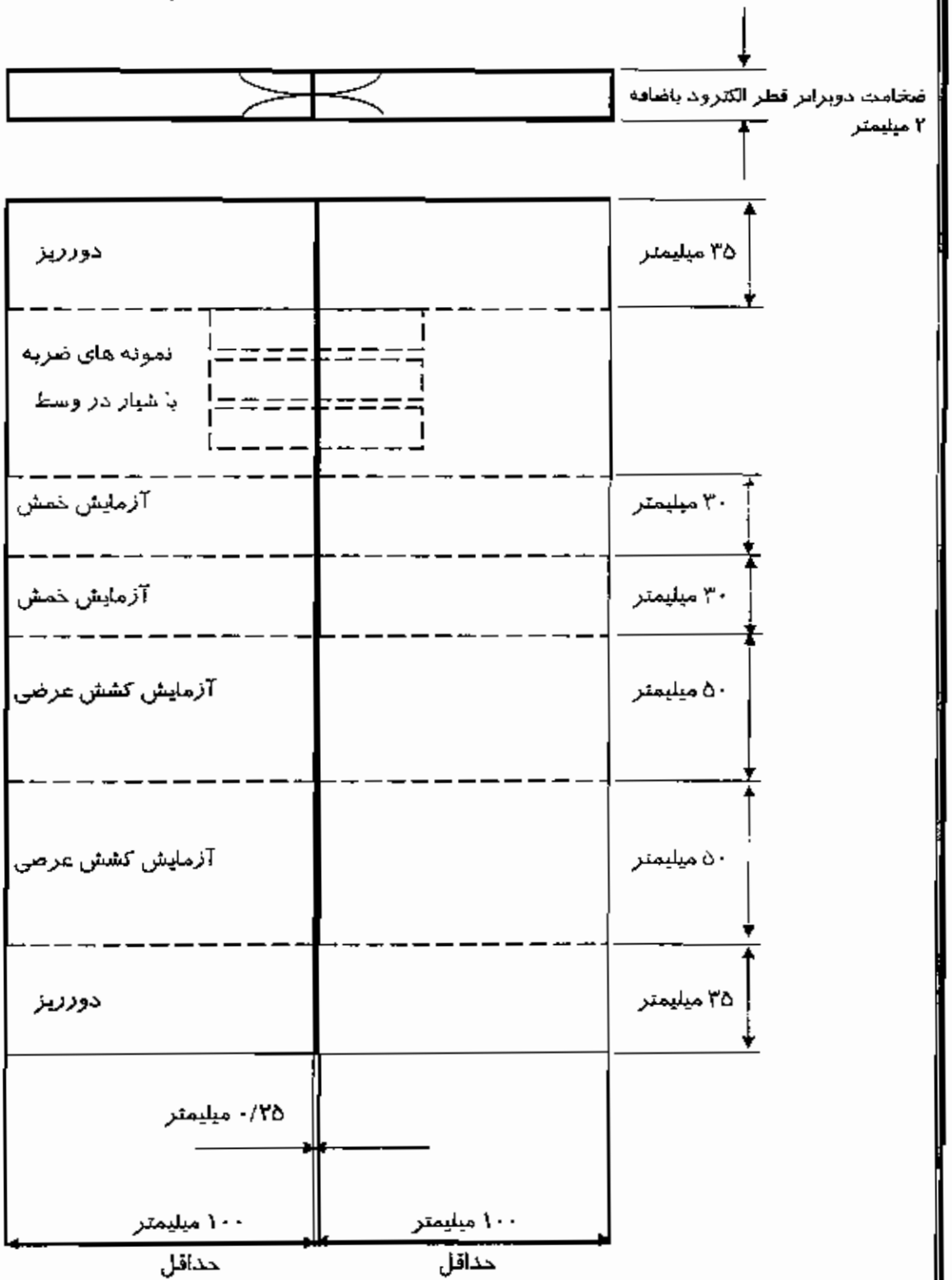
از این مجموعه جوشکاری شده دو نمونه کششی عرضی، دو نمونه خمشی و سه نمونه ضربه ای با شیار V بریده میشود. دو انتهای مجموعه دور ریز بحساب می آیند که نبایستی بیشتر از ۳۵ میلیمتر عرض داشته باشند. مقطع این دورریزها هم صیقلی شده و اچ کاری میشوند تا ذوب کامل و نفوذ داخلی جوش را نشان دهند.

در برش تمام نمونه ها چگونگی ذوب بررسی می شود.

آزمایش کشش عرضی

دو نمونه کششی عرضی مطابق شکل آماده می شوند. سطوح بالا و پایین جوش سوهان ، سنگ زده شده یا ماشین کاری می شود تا به سطح پلیت اصلی برسند.

حد نهائی مقاومت کششی نمونه آزمایش نبایستی کمتر از مقدار لازم باشد.



شکل - مجموعه آزمایش جوش لب بلب دوطرفه الکترود پرنفوذ

آزمایش خمش

دو نمونه آزمایش خمش به پهنای ۳۰ میلیمتر تهیه شده و برجستگی جوش تراشیده میشود و گوشه های تیز گرد می شود (با شعاع حداکثر ۳ میلیمتر). این نمونه ها بایستی خمش ۱۲۰ درجه را حول فشاردهنده ای با قطر سه برابر ضخامت نمونه بدون ظهور عیب غیرمجاز تحمل نمایند. در یک نمونه رویه و در نمونه دیگر ریشه تحت کنترل قرار می گیرد.

آزمایش ضربه

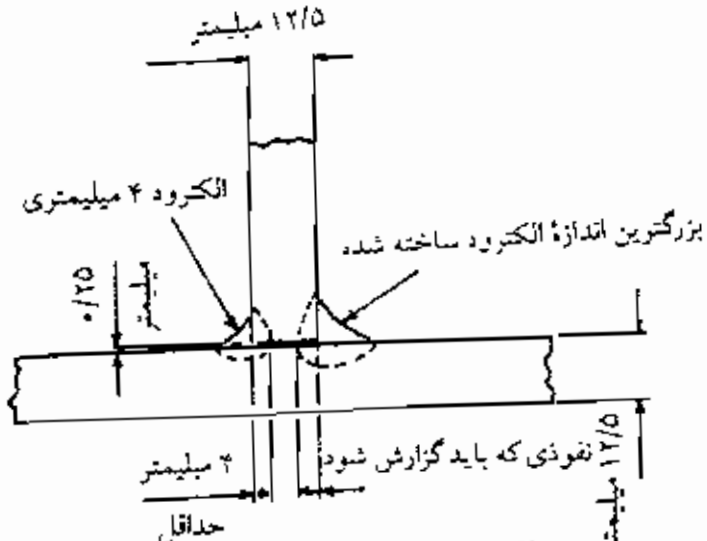
سه نمونه ضربه ای با شیار V مطابق آنچه که قبلاً در آزمایش جوش لب بلب الکترودها گفته شد تهیه و مورد آزمایش قرار می گیرد.

آزمایش جوش گوشه

با ورقهای بضخامت حدود ۱۲.۵ میلیمتر یک مجموعه جوش گوشه ای مطابق شکل آماده میگردد. جوشکاری با یک لایه برای هر گوشه در سطح افقی انجام میگیرد. طول گوشه ۱۶۰ میلیمتر بوده و فاصله بین ورقها نبایستی از ۰.۲۵ میلیمتر بیشتر باشد.

جوش گوشه ای یک طرف با الکترود ٤ میلیمتری و طرف دیگر با بزرگترین الکترود انجام میشود. شدت جریان در فاصله حدود توصیه شده بوسیله سازنده الکترود بوده و جوشکاری به روش عادی صورت می گیرد.

در فاصله ۳۵ میلیمتری از دو انتها با اره یا ماشین کاری جوشهای گوشه ای را بریده و مقطع آنها پرداخت شده و «اچ کاری» می شوند. گوشه ساخته شده با الکترود ٤ میلیمتری بایستی نفوذ ٤ میلیمتر را نشان دهد. نفوذ مربوط به گوشهٔ دیگر در گزارش درج می شود.



شکل – آزمایش جوش گوشه ای الکترود پرنفوذ

تعیین راندمان الکترود

برای تعیین راندمان الکترود یک قطعه ورق فولادی معمولی (کربن تا ۰/۲۵ درصد) بضخامت ۱۲ میلیمتر و عرض ۷۵ میلیمتر و طول ۳۰۰ میلیمتر انتخاب می شود.

سطح ورق بوسیله سنباده نرم و یا وسایل مناسب دیگر از پوسته، گرد، رنگ، زنگ و روغن پاک می گردد. وزن دقیق این قطعه ورق یادداشت می شود.

سپس پنج عدد از الکترود مورد آزمایش انتخاب شده و با حداکثر شدت جریان توصیه شده (بوسیله سازنده) روی پلیت ها جوش داده میشود.

جوشکاری در حالت تخت انجام شده و توصیهٔ سازنده الکترود در مورد نوع جریان برق و نوع اتصال قطبی رعایت شود. الکترودهای مزبور تا رسیدن به ته الکترودی بطول حدود ۵۰ میلیمتر بطور مداوم جوش داده میشوند.

سربارهٔ روی جوش و ذرات پاشیده شده روی ورق پس از خاتمه هر پاس (هر لایه) پاک می شوند.

با چهار بار وزن کردن از فرمول زیر راندمان الکترود محاسبه می شود:

$$R = \frac{m_2 - m_1}{m_3 - m_4} \times 100$$

که در آن:

m_1 = وزن قطعه مورد جوشکاری قبل از جوشکاری،

m_2 = وزن قطعه ورق بعد از جوشکاری (وزن ورق به اضافه وزن جوش جایگزین شده روی آن)،

m_3 = وزن سیم مغزه پنج الکترود کامل (قبل از جوشکاری)،

m_4 = وزن سیم مغزه پنج ته الکترود باقی مانده،

(وزنهای مورد اشاره معمولاً با دقت ۱ ± گرم اندازه گیری می شود).

R = راندمان الکترود است.

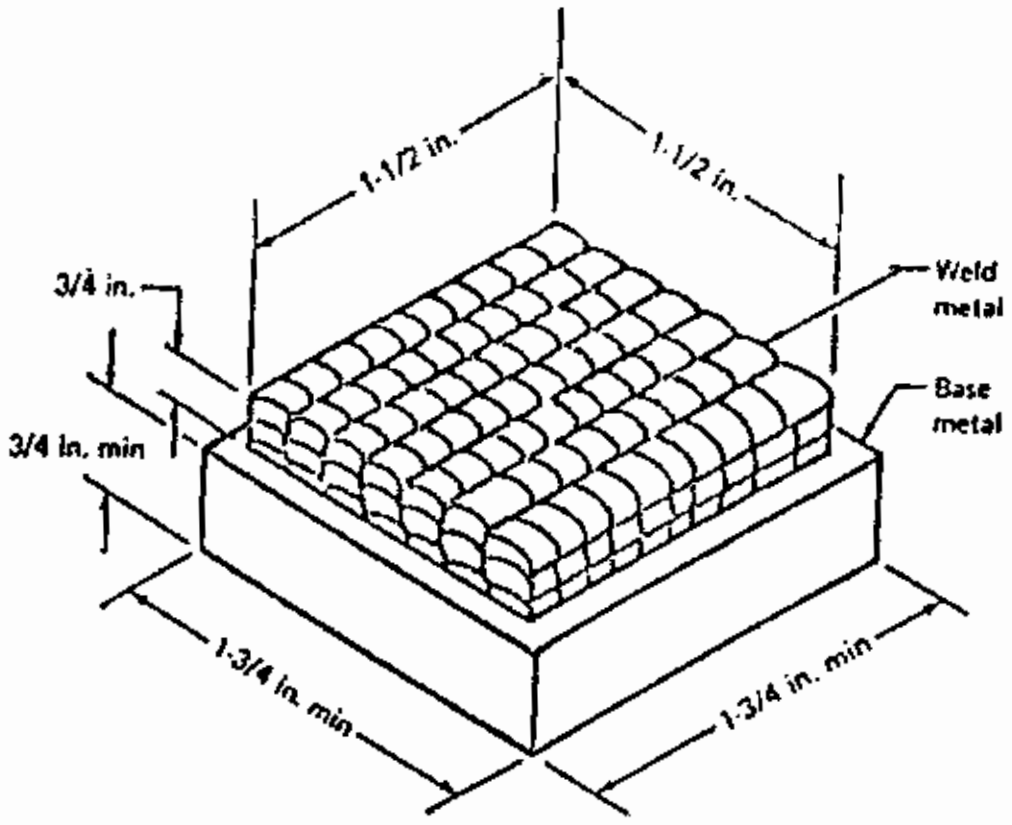
تجزیه شیمیایی

برای تجزیه شیمیایی جنس جوش روی سطح یک قطعه ورق فولادی با الکترود مزبور در حالت تخت جوش روکشی انجام شده و سپس برروی آن چند لایهٔ دیگر ذوب می شود.

برای دسترسی به جنس جوش با درجهٔ خلوص بیشتر حداقل چهار لایه جوشکاری لازم است و برادهٔ فلزی مطابق روش متداول مورد تجزیه شیمیائی قرار می گیرد.

گاهی بهنگام تهیه نمونه برای آزمایش مکانیکی جنش جوش خالص برادهٔ لازم جهت تجزیه شیمایی از جوش خالص گرفته میشود.

PART C – SPECPHCATIONS FOR WELDING RODS.
ELECTRODES AND SFA – 5.21



SI Equivalents

in.	mm
3/4	19
1-1/2	38
1-3/4	44

Chemical Analysis Test Pad
بالشتک آزمایش تجزیه شیمیایی

آزمایش کیفیت الکترود با پرتونگاری

AWS الکترودها را از نظر پرتونگاری به سه دسته : درجه ۱ ، درجه ۲ و بدون درجه تقسیم کرده که جزئیات آن در جدول نیازمندیهای پرتونگاری ملاحظه می شود.

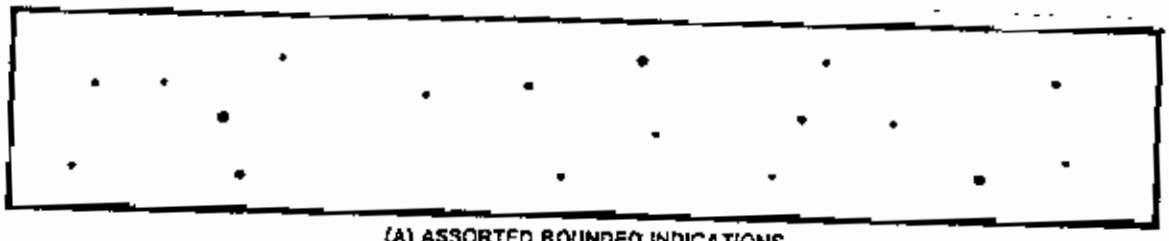
برای آزمایش کیفیت الکترودها از نظر پرتونگاری ، آزمایش سلامت ***(Soundness Test)*** پیشنهاد گردیده است.

برای آزمایش سلامت دو قطعه ورق یا لوله بصورت شیاری لب بلب با آن نوع الکترود توسط جوشکار مجاز جوش داده می شود.

فیلم حاصل از پرتونگاری نمونه با الگوهای استاندارد مقایسه می شود. چنانچه عیوب مدور فیلم از عیوب مدور نشان داده شده در الگو درشت تر یا با تراکم بیشتر باشد، الکترود قابل قبول نیست. در غیر اینصورت کیفیت الکترود ازنظر پرتونگاری قبول است.

نیازمندیهای پرتونگاری

طبقه بندی *AWS A5.5*	استاندارد پرتونگاری
EXX15-X *EXX16-X* *EXX18-X* *EXX20-X*	درجه *I*
EXX10-X *EXX11-X* *EXX13-X* *E7027-X*	درجه *II*
E6012 *E6022*	بدون درجه

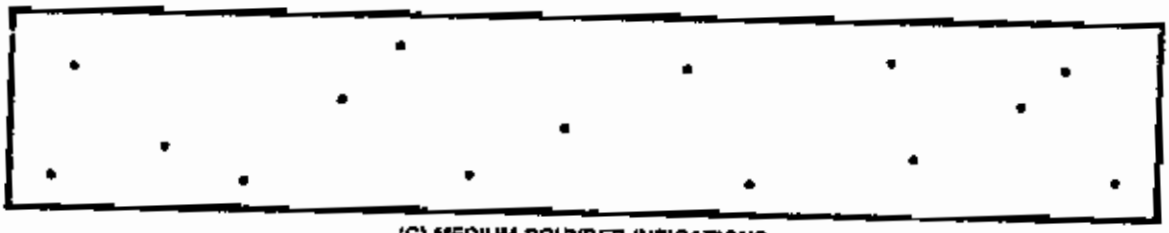


(A) ASSORTED ROUNDED INDICATIONS

SIZE 1/64 in. (0.4 mm) TO 1/16 in. (1.6 mm) IN DIAMETER OR IN LENGTH. MAXIMUM NUMBER OF INDICATIONS IN ANY 6 in. (150 mm) OF WELD = 18, WITH THE FOLLOWING RESTRICTIONS:
MAXIMUM NUMBER OF LARGE 3/64 in. (1.2 mm) TO 1/16 in. (1.6 mm) IN DIAMETER OR IN LENGTH INDICATIONS = 3.
MAXIMUM NUMBER OF MEDIUM 1/32 in. (0.8 mm) TO 3/64 in. (1.2 mm) IN DIAMETER OR IN LENGTH INDICATIONS = 5.
MAXIMUM NUMBER OF SMALL 1/64 in. (0.4 mm) TO 1/32 in. (0.8 mm) IN DIAMETER OR IN LENGTH INDICATIONS = 10.

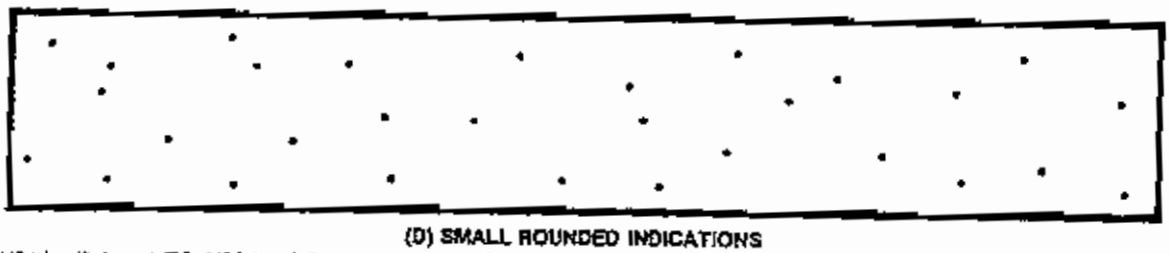
(B) LARGE ROUNDED INDICATIONS

SIZE 3/64 in. (1.2 mm) TO 1/16 in. (1.6 mm) IN DIAMETER OR IN LENGTH.
MAXIMUM NUMBER OF INDICATIONS IN ANY 6 in. (150 mm) OF WELD = 8.



(C) MEDIUM ROUNDED INDICATIONS

SIZE 1/32 in. (0.8 mm) TO 3/64 in. (1.2 mm) IN DIAMETER OR IN LENGTH.
MAXIMUM NUMBER OF INDICATIONS IN ANY 6 in. (150 mm) OF WELD = 15.



(D) SMALL ROUNDED INDICATIONS

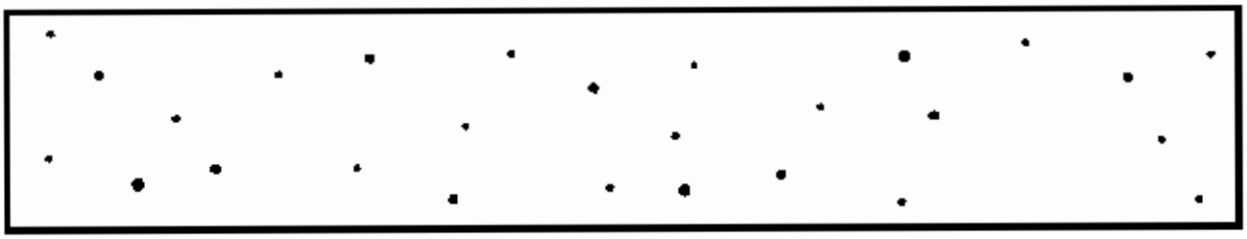
SIZE 1/64 in. (0.4 mm) TO 1/32 in. (0.8 mm) IN DIAMETER OR IN LENGTH.
MAXIMUM NUMBER OF INDICATIONS IN ANY 6 in. (150 mm) OF WELD = 30.

Notes:

1. In using these standards, the chart which is most representative of the size of the rounded indications present in the test specimen radiograph shall be used for determining conformance to these radiographic standards.
2. Since these are test welds specifically made in the laboratory for classification purposes, the radiographic requirements for these test welds are more rigid than those which may be required for general fabrication.
3. Indications whose largest dimension does not exceed 1/64 in. (0.4 mm) shall be disregarded.

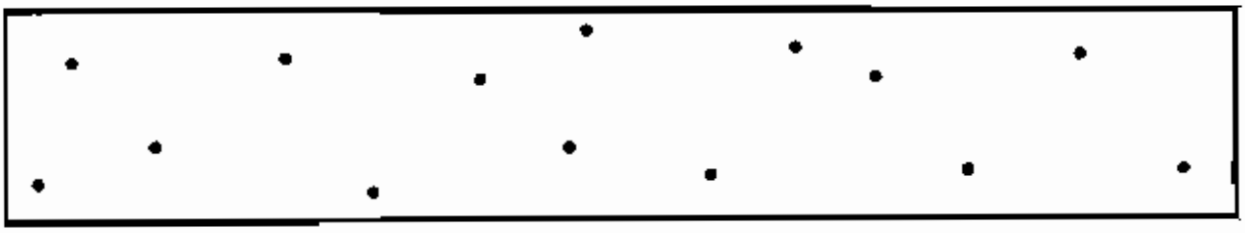
FIG. 6 RADIOGRAPHIC ACCEPTANCE STANDARDS FOR ROUNDED INDICATIONS (GRADE 1)

PART C — SPECIFICATIONS FOR WELDING RODS, ELECTRODES, AND FILLER METALS SFA-5.5



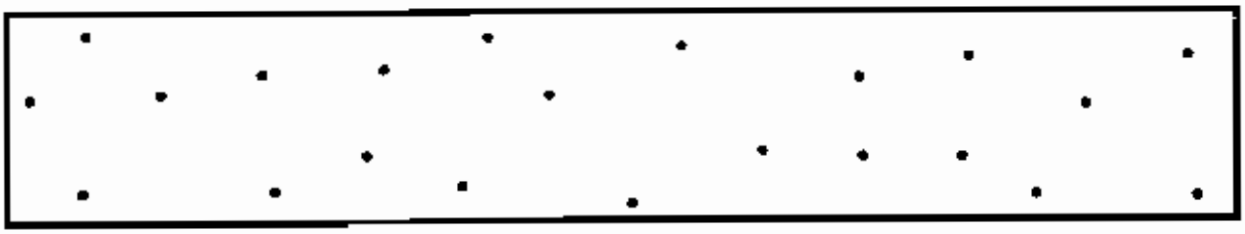
(E) ASSORTED ROUNDED INDICATIONS

SIZE 1/64 in. (0.4 mm) TO 5/64 in. (2.0 mm) IN DIAMETER OR IN LENGTH.
MAXIMUM NUMBER OF INDICATIONS IN ANY 6 in. (150 mm) OF WELD = 27, WITH THE FOLLOWING RESTRICTIONS:
MAXIMUM NUMBER OF LARGE 1/16 in. (1.6 mm) TO 5/64 in. (2.0 mm) IN DIAMETER OR IN LENGTH INDICATIONS = 3.
MAXIMUM NUMBER OF MEDIUM 3/64 in. (1.2 mm) TO 1/16 in. (1.6 mm) IN DIAMETER OR IN LENGTH INDICATIONS = 8.
MAXIMUM NUMBER OF SMALL 1/64 in. (0.4 mm) TO 3/64 in. (1.2 mm) IN DIAMETER OR IN LENGTH INDICATIONS = 16.



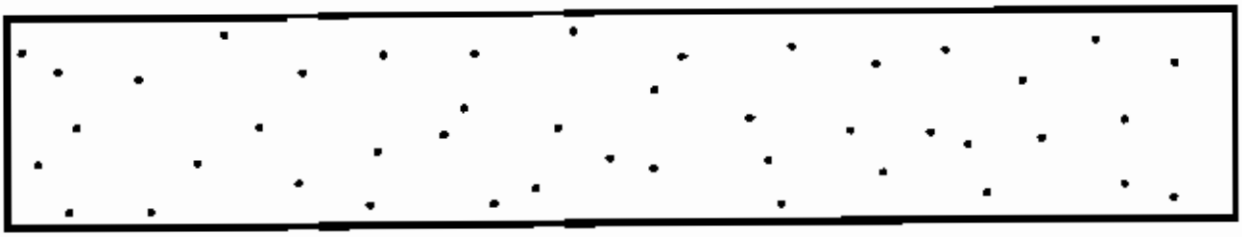
(F) LARGE ROUNDED INDICATIONS

SIZE 1/16 in. (1.6 mm) TO 5/64 in. (2.0 mm) IN DIAMETER OR IN LENGTH
MAXIMUM NUMBER OF INDICATIONS IN ANY 6 in. (150 mm) OF WELD = 14.



(G) MEDIUM ROUNDED INDICATIONS

SIZE 3/64 in. (1.2 mm) TO 1/16 in. (1.6 mm) IN DIAMETER OR IN LENGTH.
MAXIMUM NUMBER OF INDICATIONS IN ANY 6 in. (150 mm) OF WELD = 22



(H) SMALL ROUNDED INDICATIONS

SIZE 1/64 in. (0.4 mm) TO 3/64 in. (1.2 mm) IN DIAMETER OR IN LENGTH.
MAXIMUM NUMBER OF INDICATIONS IN ANY 6 in. (150 mm) OF WELD = 44.

Notes:
1. In using these standards, the chart which is most representative of the size of the rounded indications present in the test specimen radiograph shall be used for determining conformance to these radiographic standards.
2. Since these are test welds specifically made in the laboratory for classification purposes, the radiographic requirements for these test welds are more rigid than those which may be required for general fabrication.
3. Indications whose largest dimension does not exceed 1/64 in. (0.4 mm) shall be disregarded.

FIG. 6 RADIOGRAPHIC ACCEPTANCE STANDARDS FOR ROUNDED INDICATIONS (GRADE 2) (CONT'D)

مواظبت و نگهداری الکترودها

کلیات

الکترود یکی از مصالح ضروری و ارزشمند می باشد . موفقیت جوشکاری قوسی دستی تا حدود زیادی به کیفیت روپوش الکترود بستگی دارد . بعلت اینکه روپوش الکترود نقش مهمی در جوش بازی می کند ، نبایستی با الکترود هایی که تمام یا قسمتی از روپوششان ریخته شده است ، جوشکاری شود . اگر روپوش الکترود خیس شود یا رطوبت ببیند ، بازدهی الکترود پایین می آید .

رطوبت باعث ایجاد بخار آب ضمن جوشکاری شده ، هم پاشیدگی و اتلاف الکترود زیاد میشود و هم در جوش تخلخل بوجود می آید . از نظر اثرات بدی که هیدروژن در جوشکاری میتواند داشته باشد و با تشخیص اینکه منبع هیدروژن ، رطوبت روپوش الکترود است ، انبار کردن و عملیات صحیح بر روی الکترود برای بدست آوردن نتایج بهینه ضروری است .

روپوش الکترود هم در مقابل رطوبت و عوامل جوی و هم از نظر مکانیکی آسیب پذیر است و کمی بی دقتی یا سهل انگاری در نگهداری و حمل و نقل الکترود ها موجب پایین آمدن کیفیت اتصالات می گردد .

برای انبار کردن ، خشک کردن ، مواظبت از الکترود در کارگاه موارد زیر توصیه می شود .

انبار کردن الکترود ها

الکترود ها در اطاقک یا انبار مناسبی نگهداری شوند که حد اقل درجه حرارت آن ۱۵ + درجه سانتیگراد و حداکثر رطوبت نسبی ۵۰ ٪ باشد .

الکترود ها بایستی در قفسه های جداگانه برحسب نوع قطر و محموله چیده شوند .

آب پاشی بین ردیف قفسه ها ممنوع است .

در چیدن یا برداشتن کارتن ها و بسته ها دقت بعمل آید که الکترودها در اثر سقوط یا برخورد به قطعات مجاور آسیب نبیند . به پرسنل حمل ونقل الکترود بایستی آموزش لازم داده شوند .

الکترود نبایستی بیشتر از مقدار لازم برای مصرف حدود دو روز از انبار اصلی خارج شود .

خشک کردن الکترود

خشک کردن الکترود بایستی در خشک کن مناسب مطابق نوع روپوش الکترود و با رعایت نکات زیر انجام شود .

- الکترود مصرفی طبق استاندارد ***AWS*** اگر از نوع ***E7018*** باشد ، این الکترود روپوش قلیائی با هیدروژن کنترل شده کاملا قبل از مصرف خشک شود . خشک شدن بمدت ۲ ساعت در
- درجه حرارت ۳۵۰ درجه سانتیگراد انجام گیرد و آنگاه درجه حرارت برای مصرف به حدود ۱۰۰ تا ۱۲۰ درجه سانتیگراد تقلیل یابد .

در مرحله مصرف برای جلوگیری از جذب رطوبت یا آلودگی های دیگر ، الکترود در

- گرمکن سیار قرار داده می شود . الکترودی که در گرمکن نگهداری شود بایستی ظرف مدت یک
- شیفت به مصرف برسد . الکترودهائی که در گرمکن بمدت بیشتر از یک شیفت روزانه باقی بمانند بایستی دوباره در درجه حرارت ۳۵۰ درجه سانتیگراد خشک شوند . هر الکترود نبایستی بیش از دو
- بار خشک شود .

الکترود ها بایستی طوری در خشک کن چیده شوند که قبل ازطی سیکل کامل خشک شدن .

- اشتباها بمصرف نرسد .

توصیه های کلی

وقتی که الکترود از انبار خارج شد یا وقتی الکترود از خشک کن خارج شد ، جوشکار مسئول مواظبت از آن است .

تا کردن و خم کردن الکترود و برداشتن روپوش الکترود مجاز نیست .

در مواردی که به الکترودهای نا مرغوب برخورد می شود مراتب به بازرسی فنی یا کنترل کیفیت اطلاع داده شود . جوشکاری با الکترودهای آب دیده و زنگ زده ممنوع است .

الکترود در بسته بندی های خلاء

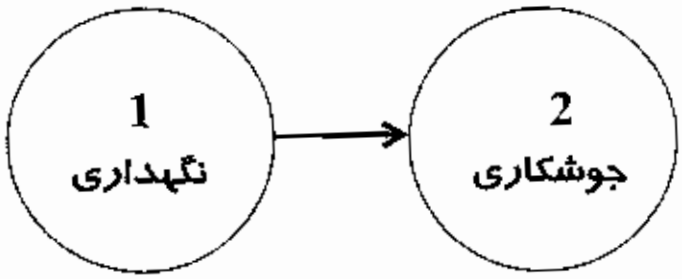
بعضی از سازندگان الکترودهای روپوش قلیائی کم هیدروژن ، آنها را در بسته بندی های خلاء موسوم به *Vac Pac* ارائه می کنند.

Vac Pac مشتمل بر فویل آلومینیومی چند لایه است. جعبه که خودش پلاستیکی است، الکترود را از ضربه و سایش محافظت می کند.

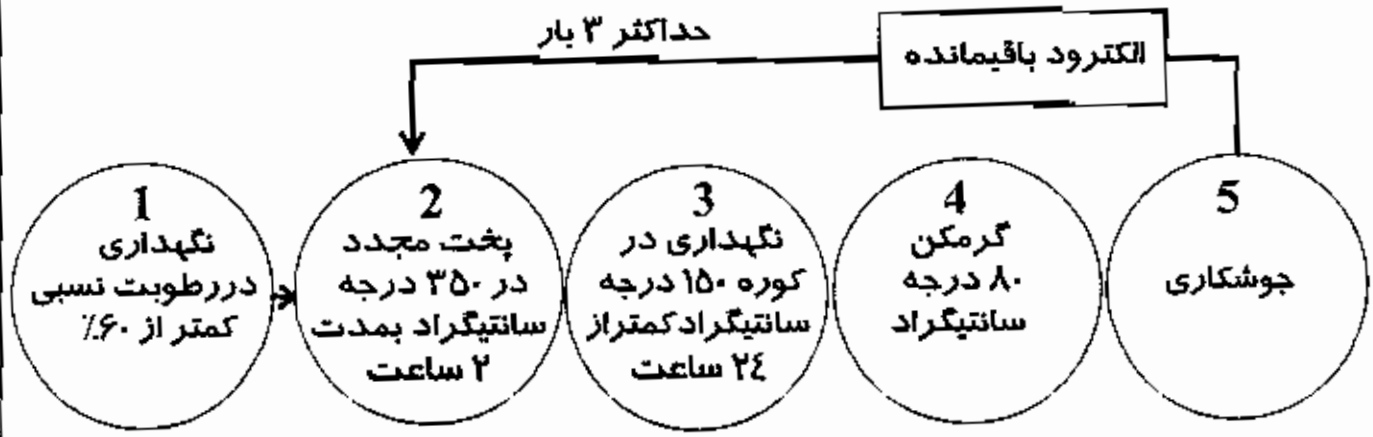
الکترودها بلافاصله پس از تولید، در بسته بندی *Vac Pac* قرارداده می شوند و هوای جعبه تخلیه می شود و آب بندی می گردد. این بسته بندی همیشه شرایط خوب نگهداری الکترود را تضمین می کند. اطلاعات کامل محصول روی بسته بندی چاپ می شود.

سازنده متعقد است که الکترودها داخل بسته بندی خلاء خشک باقی می مانند و بدون لزوم خشک کردن، آماده به مصرف هستند. این بسته بندی ها اگر پاره و خراب نشوند، تا سه سال می توانند نگهداری شوند.

دستورالعمل *Vac Pac*



دستورالعمل خشک کردن مجدد غیر *Vac Pac*



الکترودهای ارتشی با پسوند *M* بایستی الزامات:

- چقرمگی بیشتر
- درصد رطوبت کمتر
- کمتر بودن محدوده های اجباری هیدروژن قابل نفوذ برای فلز جوش را برآورده نمایند.

پسوند (۱-) بمعنی آنستکه :

- الکترودهای *E7016-1* و *E7018-1* دارای مقاومت به ضربه بیشتر یا چقرمگی بهبود یافته هستند.
- الکترود *E7024-1* دارای قابلیت نرمی بیشتری است.
- درجه حرارت تبدیل آنها پایین تر است.

EXXXX-1HzR

Hz بمعنی آنستکه مقدار میانگین هیدروژن قابل نفوذ در جوش کمتر از *Z* میلی لیتر *H2* بر ۱۰۰ گرم فلز جوش است.

Z می تواند ٤، ۸ یا ۱۶ باشد.

R بمعنی آنستکه الکترود الزامات آزمون رطوبت جذب شده را برآورده می کند.

بعضی از سازندگان الکترود مقاوم حرارت تولید می کنند که دارای علامت ***MR (Moisture Resist)*** می باشد. این الکترودها بشرط آنکه روپوش ویژه آنها، خراش نداشته و صدمه ندیده باشند، نیازی به پخت ندارند و مستقیماً مورد استفاده قرار می گیرند.

نیازمندیهای درصد رطوبت در روپوش

طبقه بندی *AWS A5.5*	حداکثر رطوبت (درصد وزنی)
E7015, E7016-X , E7018-X	۰/٤
E8015-X, E8016-X, E8018-X	۰/۲
E9015-X , E9016-X , E9018-X , E10015-X , E10016-X , E10018-X, E11015-X , E11016-X , E11018-X , E12015-X , E12016-X, E12018-X . E12015-X . E12016-X , E12018-X	۰/۱۵
E12018-M	۰/۱۰

کلیات انتخاب الکترود

ضرورت کاری همیشه مبنای انتخاب الکترود است . مطالعه چک لیست انتخاب الکترود ، کارانتخاب را آسان می سازد . اگر عوامل موثر در کار الکترود بدقت مورد بررسی قرار گیرد ، آنگاه در انتخاب الکترودی که پایداری قوس ، هموازی جوش ، سهولت تمیز کردن سرباره و حداقل پاشیدگی راداشته باشد یا جوش مرغوبی بدهد، مشکلی وجود نخواهد داشت. برای اطمینان از در نظر گرفتن تمام انتخابهای ممکن خصوصیات ویژه سایر الکترودها در گروه های مختلف نیز بایستی مورد بررسی قرار گیرند .اگر برای کار معینی بیش از یک الکترود با شرایط مساوی ، مناسب بنظر برسد ، برتری آنها نسبت به یکدیگر بایستی با انجام جوشکاری آشکار شود .

بسیاری از الکترودها ی جوشکاری قوسی برسیله مشخصات کمیته مشترک *AWS* و *ASTM* طبقه بندی می شوند . ذیلا نمونه هایی از این مشخصات ارائه می گردد .

*مشخصات الکترودهای جوشکاری قوسی فولاد ساده کربن

ASTM-A233 *AWS-A5.1*

* مشخصات الکترودهای جوشکاری قوسی فولاد کم آلیاژ :

ASTM-A316 *AWS-A5.5*

* مشخصات الکترودهای جوشکاری فولاد مقاوم خوردگی کرم دار و کرم نیکل :

ASTM-A298 *AWS-A5.4*

* مشخصات الکترودهای جوشکاری آلومینیوم و آلیاژهای آلومینیوم :

ASTM-B104 *AWS-A5.3*

* مشخصات الکترودهای جوشکاری مس و آلیاژهای مس :

ASTM-A226 *AWS-A5.6*

انتخاب الکترود

انتخاب درست الکترود برای کار جوشکاری معمولی یکی از مهمترین تصمیماتی است که بایستی گرفته شود . طبیعت فلز جوش و مناسب بودنش بعنوان ماده اتصال دهنده برای قطعات جوش شونده به انتخاب درست نوع الکترود بستگی دارد .

امروزه پیشرفت خیلی زیاد فرایند جوشکاری قوسی فلزی محافظت شده تا حدود زیادی مرهون کیفیت بالای الکترودهای موجود است .

الکترودها را می توان طبق موارد ذیل طبقه بندی نمود :

۱- خصوصیات کاری

۲- نوع روپوش

۳- خصوصیات جوش

ـ مد نظر قرار دادن اندازه الکترود نیز حائز اهمیت است. بایستی خاطر نشان شود که الکترودهای زیادی دارای سیم مغزه یکسان هستند ولی خصوصیات کاری و طبیعت فیزیکی و شیمیایی فلز جوش آنها با هم فرق دارد و این تفاوت از روپوش آنها ناشی می شود .

مطالعه دقیق خصوصیات اساسی الکترودهای جوشکاری نه تنها به کسب دانش فنی برای انتخاب درست الکترود کمک می نماید بلکه در تسلط برفنون استادانه جوشکاری مفید خواهد بود .

اندازه الکترود

انتخاب درست اندازه الکترود برای استفاده در کار مشخصی به اندازه انتخاب درست طبقه‌بندی الکترود اهمیت دارد .

نکات ذیل بایستی در مورد اندازه الکترود مورد توجه قرار گیرد :

طراحی اتصال

یک جوش گوشه ای را میتوان نسبت به یک جوش لب‌بلب بازباالکترود بزرگتری جوش داد.

ضخامت قطعه

بدیهی است هر چه ضخامت قطعه بیشتر باشد از الکترود بزرگتری می توان استفاده نمود .

ضخامت لا یه های جوش

ضخامت قطعه جوش شونده و حالت جوشکاری در انتخاب اندازه الکترود موثر است . در حالتهای تخت و افقی نسبت به حالتهای عمودی و سقفی ، فلز جوش بیشتری میتوان رسوب داد .

حالت جوشکاری

در حالتهای تخت و افقی نسبت به حالتهای عمودی و سقفی الکترود بزرگتری را میتوان مورد استفاده قرار داد .

مقدار شدت جریان

هرچه شدت جریان بیشتری برای جوشکاری درنظر گرفته شود، اندازه الکترود بزرگتر است.

مهارت جوشکار

بعضی از جوشکاران بقدری مهارت دارند که قادرند الکترودهای با اندازه بزرگ را در حالتهای عمودی و سقفی اداره نمایند. تمام الکترودهای روپوشدار برای جوشکاری چند پاسه طراحی شده اند . اندازه الکترود با نوع اتصال و حالت جوشکاری تغییر می کند .

اولین پاس برای جوشکاری لوله و سایر اتصالات لب بلب با لبه پخ زده با الکترود ۲/۵ یا ۳/۲ میلیمتری جوش داده می شود .

انتخاب قطر الکترود برای پاس اول بایستی طوری باشد که ذوب خوب در ریشه بدست آید و از سوختگی لبه پرهیز شود .

پاسهای باقیمانده را میتوان با الکترودهای ٤ میلیمتری یا ۵ میلیمتری در تمام حالتها و ۵ میلیمتری یا بزرگتر در حالت تخت جوشکاری نمود .

برای جوشکاری اتصالات لب بلب با لبه پخ زده که دارای تسمه پشت بند هستند ، برای اولین پاس از الکترود ٤ و برای بقیه پاسها از الکترود ۵ و ۶ میلیمتری میتوان استفاده نمود .

برای جوشهای گوشه‌ای در حالت تخت الکترودهای ٤ ، ۵ یا ۶ میلیمتری می تواند مورد استفاده قرار گیرد . ورقهای خیلی ضخیم را می توان با الکترودهای بزرگتر جوشکاری نمود .

جوشکاری گوشه‌ای ولب بلب در حالت غیر عادی با الکترودهای بقطر ٤ میلیمتر انجام میشود. برای بعضی ازاین جوشکاری ها الکترودهای ۵ میلیمتری می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

اندازه معمولی الکترودهای کم‌هیدروژن برای‌جوشکاری‌درحالت‌عمودی وسقفی۳/۲ میلیمتر و ٤ میلیمتر میباشد . این الکترودها برای جوشکاری در حالتهای تخت و افقی می توانند ٤ میلیمتر ، ۵ میلیمتر یا بزرگتر باشند .

شرایط کاری

شرایط کاری مبنای انتخاب درست الکترود میباشد . بازبینی همه جانبه کار برای تعیین آنچه که از الکترود انتظار میرود ، حائز اهمیت است . در جدول عوامل موثر در انتخاب الکترود ارائه گردیده است .

انتخاب الکترود روپوشدار فولادی نرم و امتیاز بندی اجرائی

مشخصات طبقه‌بندی الکترود طبق AWS A5.1 بترتیب شماره مشخصه روپوش الکترود

(درجه‌بندی بر مبنای الکترود هم قطر می‌باشد. ۱۰ = بالاترین امتیاز، ۱ = پایین‌ترین امتیاز)

کاربرد	E6010	E6011	E6012	E6013	E7014	E7016	E7018	E6020	E7024	E7027	E7028
جوشهای لب بلب شیاری، در حالت تخت کمتر از ۶/۳۵ میلیمتر	۴	۵	۳	۸	۹	۷	۹	۱۰	۹	۱۰	۱۰
جوشهای لب بلب شیاری، در تمام حالت‌ها، کمتر از ۶/۳۵ میلیمتر	۱۰	۹	۵	۸	۶	۷	۶	توصیه‌نمیشود	توصیه‌نمیشود	توصیه‌نمیشود	توصیه‌نمیشود
جوشهای گلوئی، تخت یا افقی، تولید زیاد	۲	۳	۸	۷	۹	۵	۹	۱۰	۱۰	۹	۹
جوشهای گلوئی، در تمام حالتها، همه منظوره	۱۰	۹	۶	۷	۷	۸	۶	توصیه‌نمیشود	توصیه‌نمیشود	توصیه‌نمیشود	توصیه‌نمیشود
جریان جوشکاری، اتصال قطبی، AC ، DCSP یا DCRP	DCRP	AC DCRP	AC DCSP	AC DC	AC DC	AC DCRP	AC DCRP	AC DC	AC DC	AC DC	AC DCRP
مصالح نازک، مسائل پیچیدگی از حرارت اضافی	۵	۷	۸	۹	۸	۲	۲	توصیه‌نمیشود	۷	توصیه‌نمیشود	توصیه‌نمیشود
ورق ضخیم، اتصالات با ممانعت زیاد	۸	۸	۶	۸	۸	۱۰	۹	۸	۷	۸	۹
فولاد پرکوکرد یا فولاد یا آنالیز پوت	توصیه‌نمیشود	توصیه‌نمیشود	۵	۳	۳	۱۰	۹	۸	۵	توصیه‌نمیشود	۹
نرخ رسوب (بیشتر بهتر است)	۴	۴	۵	۵	۶	۴	۶	۶	۱۰	۱۰	۸
عمق نفوذ در فلز مبنا	۱۰	۹	۶	۵	۶	۷	۷	۸	۴	۸	۷
ظاهر جوش، مهره‌های خوش نما، با حداقل پریدگی کناره	۶	۹	۶	۵	۶	۷	۷	۸	۹	۸	۷
سهولت کنترل سلامت فلز جوش	۶	۶	۳	۵	۷	۱۰	۹	۹	۸	۹	۹
قابلیت نرمی (بیشتر بهتر است)	۶	۷	۴	۵	۶	۱۰	۱۰	۱۰	۵	۱۰	۱۰
مقاومت ضربه‌ای در درجه حرارت پایین (بیشتر بهتر است)	۸	۸	۴	۵	۸	۱۰	۱۰	۸	۹	۹	۱۰
افت پاشیدگی کم (احتمال کمتر برای مسائل نمیزکاری)	۱	۲	۶	۷	۹	۶	۸	۹	۱۰	۱۰	۹
مسائل جفت و جوری ضعیف هنگام عدم همترازی مقاطع	۶	۷	۱۰	۸	۹	۴	۴	توصیه‌نمیشود	۸	توصیه‌نمیشود	۴
جوشکار پسندی، خصوصیات کاری خوب	۷	۶	۸	۹	۱۰	۶	۸	۹	۱۰	۱۰	۹
خود پاک شوندگی یا آسان پاک شوندگی سرباره	۹	۸	۶	۸	۸	۴	۷	۹	۹	۹	۸

تبصره ۱ – این جدول برای انتخاب عمومی، خوب است. این جدول بر مبنای الکترودهای هم قطر ترتیب داده شده است. البته اگر از الکترود کوچکتر و شدت جریان کمتر استفاده شود، امتیاز بندی بهتری بدست می‌آید. در این جدول بعضی از الکترودهای ویژه که ممکن است دارای خواص بهتری نسبت به دیگر الکترودهای هم طبقه خود باشند، در نظر گرفته نشده است.

AC = جریان متناوب، DCRP = جریان مستقیم، قطب معکوس (الکترود مثبت)، DCSP = جریان مستقیم، قطب مستقیم (الکترود منفی).

الف– نمره گذاری (برای الکترودهای هم اندازه) بر مبنای مقایسه ای برای الکترودهای نامبرده در جدول می باشد. بالاترین نمره ۱۰ در نظر گرفته شده است . وقتی اندازه الکترود تغییر کند ، نمره ممکن است تغییر نماید .

ب– توصیه نمی شود .

ذیلا چند شرط برای بررسی شرایط کاری ارائه می شود .

* مهارت جوشکار
* خواسته های کد (در صورت لزوم)
* خواص فلز مبنا
* حالت اتصال
* نوع و آماده سازی اتصال
* خواسته های عملیات حرارتی
* شرایط محیطی کار
* مسایل انبساط و انقباض
* مقدار جوش لازم
* ضخامت و شکل فلز مبنا
* چگونگی حفت و جوری
* نوع برق مورد
*مشخصات و شرایط بهره برداری
* در خواست تولید و ملاحظات هزینه

خصوصیات کاری الکترودها

مواد تشکیل دهنده روپوش الکترود نه تنها خواص فیزیکی و شیمیایی جوش را تعیین میکنند بلکه خصوصیات کاری الکترود را نیز روشن می سازند .

استفاده از الکترودهای مختلف نیاز به فنون مختلفی دارد بنا براین این الکترودها را میتوان مطابق خصوصیات کاری و شرایط اتصالات جوش شونده بعنوان پر کن سریع ، پی گیر و شکل گیر سریع طبقه بندی نمود .

الکترود پر کن سریع *(Fast-Fill Electrode)*

الکترود پر کن سریع سرعت جوشکاری بالایی دارد و نقطه مقابل الکترود شکل گیر سریع (الکترود با انجماد سریع) می باشد .

گروه الکترود پرکن سریع شامل الکترودهای روپوشدا ر ضخیم ، پودر آهنی می باشند که بطور گسترده ای برای جوش های گوشه‌ای و شیاری عمیق مورد استفاده قرار می گیرند .

الکترود پر کن سریع بطور ویژه ای برای جوشکاری سریع در حالت تخت طراحی شده است . سرعت جوشکاری آن زیاد و پاک کردن سرباره آن آسان است . بریدگی کناره کمی دارد . قوس آن نرم و نفوذ آن کم است یعنی بمقدار کمی فلز مبنا و فلز جوش را مخلوط می نماید . ظاهر جوش خیلی صاف است . رویه تخت تا قدری محدب دارد و پاشیدگی آن کم است .

بعضی از این الکترودها برای جوشکاری حالت غیر عادی تدارک شده اند که خصوصیات منجمد شوندگی آنها سریع تر است مثل الکترود ***EXX14*** الکترودهای ***EXX24*** و ***EXX27*** عموما برای جوشکاری گوشه ای های تخت و شیاری بکار برده می شوند .

الکترود پی گیر سریع *(Fast- Follow Electrode)*

این گروه از الکترودها بعنوان الکترودهای پر کن – زودگیر نیز معروف هستند .آنها خصوصیات ترکیبی پرکنی سریع و شکل گیری سریع را دارا می باشند . در انجام جوشهای لب رو لب یا جوشهای ورق نازک فلزی برای تشکیل جوش ، فلز اضافی کمی لازم است . اقتصادی ترین راه جوشکاری این نوع اتصال حرکت سریع می باشد . به علت آن که بدنبال حرکت قوس ، لازم است هر چه سریعتر چاله تشکیل شود ، این نوع الکترود به الکترود پی گیر سریع معروف است . این الکترود قوس نسبتا قوی و نفوذ متوسط دارد .

این الکترود همراه با شدت جریان کمتر و ورودی حرارت کمتر ، مساله سوختگی درونی را کاهش می دهد . عموماً الکترودهای پی گیر سریع بعنوان الکترودهای قطبیت مستقیم معروف هستند ولی میتوانند باجریان متناوب نیز کار کنند . این الکترود ها سرباره کاملی دارند و مهره‌های جوش فلسهای صاف دارد . این الکترود در کار گاه های تولیدی مصارف عمومی داشته و برای کار تعمیر نیز بطور گسترده استفاده می شوند .

در کارگاه هائی که با ورق نازک سر و کار دارند از الکترود پی گیر سریع برای جوشکاری عمومی بصورت سرازیر استفاده می کنند . مثال این الکترودها برای جوشکاری با جریان مستقیم ***EXX12*** و برای جوشکاری با جریان متناوب ***EXX13*** میباشد .

الکترود انجماد سریع *(Fast – Freeze Electrode)*

الکترود های شکل گیر سریع یا الکترود با انجماد سریع جوشی تولید می کند که بسرعت منحمد میشود و شکل میگیرد (***E6010*** و ***E6011***) . این موضوع برای جوشکاری در حالتهای عمودی و سقفی حائز اهمیت است و از ریزش فلز مذاب جلوگیری می شود .

الکترودهای شکل گیر سریع قوس قوی و نفوذ عمیق دارند و به الکترودهای با قطبیت معکوس معروفند گر چه بعضی از آنها با جریان متناوب هم کار می کنند .

سرباره این الکترودها کم است و مهر ه های تخت تولید می کنند.

با چند استثنا این الکترودها جوشکاری عکسی (کنترل کیفیت جوش با پر تونگاری) تولید می‌کنند و در کارهای کدی لوله و مخزن تحت فشار مورد استفاده قرار می گیرند .

این الکترودها در ساخت و تعمیر و برای جوشکاری در همه حالتها بطور گسترده ای بکار برده می شوند

الکترود مرکب

بعضی از اتصالات خصوصیات الکترودهای پرکن سریع و شکل گیرسریع را یکجا لازم دارند . بهترین الکترودهای شکل گیر سریع یا الکترودهای با انجماد سریع ، الکترودهای ***EXX10*** ، ***EXX11*** هستند . الکترود پودر آهنی و مناسب برای همه حالتها که خصوصیات پر کنی سریع و انجماد سریع را با هم دارد ، الکترود ***EXX14*** میباشد .

الکترود ***EXX14*** نه به اندازه ***EXX24*** پر کنی سریع دارد و نه به اندازه ***EXX10*** انجماد سریع دارد بلکه ترکیبی بین این دو می باشد و از اینرو به الکترود ***EXX14*** الکترود مرکب گفته می شود .

الکترود کم هیدروژن

روپوش این الکترودها کم هیدروژن یا عملا بی هیدروژن هستند. الکترودهای کم هیدروژن جوشهای بدون ترک ریز و زیر مهره ای تولید می کنند و قابلیت نرمی استثنائی دارند .

در جوشکاری فولادهای گوگرد دار تخلخل ایجاد ننموده و جوشها از نظر پرتونگاری دارای کیفیت مطلوبی هستند .

بدلیل آنکه استفاده از الکترود کم هیدروژن نیاز به پیش‌گرمایش را کاهش میدهد، مصرف عمده آن در جوشکاری فولادهای سخت جوش و فولادهای آلیاژی با مقاومت کششی بالا میباشد.

بعنوان مثال این الکترودها عبارتند از ***EXX18*** و ***EXX28***

الکترود پودر آهنی

پودر آهن در روپوش بسیاری از الکترودها اضافه می شود . پودر آهن در حرارت شدید قوس تبدیل به مذاب شده و به فلز جوش اضافه می شود . وقتی پودر آهن در مقادیر نسبتا زیاد (۳۰ درصد یا بیشتر) به روپوش اضافه می شود ، سرعت جوشکاری بطور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد و پاک کردن سرباره آسان تر می گردد . ظاهر جوش خیلی صاف است .

بعنوان مثال برای الکترودهای پودر آهنی میتوان الکترودهای ***EXX24*** و ***EXX27*** را نام برد .

نوع فلز مبنا

ماهیت فلز جوش شونده از اهمیت عمده ای برخوردار است . اگر فلز جوش حاصله همان کیفیت فیزیکی و شیمیایی جسم جوش شونده را نداشته باشد ، جوش مزبور رضایتبخش نمیباشد .

اگر مشخصات فلز معلوم نباشد می توان با آزمایشهای ساده ای نظیر آزمایش جرقه ، آزمایش شعله ، آزمایش تراش ، آزمایش مغناطیسی ، آزمایش رنگ ، آزمایش شکست و آزمایش سلامت پاره ای از خصوصیات فلز جوش شونده را معلوم نمود .

اطلاعات مربوطه برای تشخیص فلزات مختلف مطابق خصوصیات آن فلزات ، مفید است . با این اطلاعات فقط شناسائی گروهی حاصل می شود ومثلا تشخیص داده می شود که قطعه ای فولاد است یا چدن . ولی در بسیاری موارد دانستن ترکیب شیمیایی فولادلازم است . مثلا اگر فولاد دارای گوگرد یا کربن زیاد باشد یا بعضی از عناصر آلیاژی داشته باشد ، توصیه می شود از الکترودهای***E7018, E7015 , E7016*** و ***E7028*** استفاده شود . این الکترودها تمایل به ترک زیرمهره ای که از خصوصیات چنین فولادهائی است را کاهش می دهد . این الکترودها بدون تنش زدائی جوشهای با مقاومت کششی و قابلیت نرمی بالائی بدست می دهند و نیاز به پیش گرمایش را کم کرده یا حذف می نماید .

ماهیت جریان جوشکاری

ماشینهای جوشکاری دو نوع جریان جوشکاری متناوب و مستقیم تولید می کنند . در جوشکاری با جریان مستقیم دو نوع اتصال قطبی (مستقیم و معکوس) امکان دارد یعنی میتوان الکترود را به مثبت و قطعه کار را به منفی وصل نمود یا الکترود ممکن است منفی و قطعه کار مثبت باشد .

ماهیت جریان برق در انتخاب الکترود موثر است . برای مثال اگر فقط ماشینهای جوشکاری جریان متناوب (ترانسفورماتور) در دسترس باشد استفاده از الکترود ***E6010*** و ***E7015*** مقدور نیست زیرا این الکترودها فقط برای کار کردن با جریان مستقیم طراحی شده اند .

اگر فقط ماشینهای جوشکاری جریان مستقیم در دسترس باشد ، نوع جریان برق عامل محدود کننده نمی باشد با آنکه الکترودهای ***E7018; E7014;E7016;E6013;E6011*** و ***E7028*** اصولا برای کار با جریان متناوب طراحی شده اند با جریان مستقیم هم بقدر کافی قابل استفاده هستند .

ضخامت و شکل فلز جوش شونده

ضخیم بودن یا نازک بودن تا حدودی اندازه الکترود را تعیین می کند . بعنوان یک قاعده کلی هرگز از الکترود دارای قطر بیشتر از ضخامت فلز جوش شونده استفاده نشود .

برای جوشکاری ورق نازک فلزی بضخامت ۲/۵ میلیمتر یا کمتر الکترود ***E6013*** انتخاب خوبی است ، گرچه از الکترود ***E6012*** هم میتوان استفاده نمود . الکترود ***E6013*** برای این قبیل کارها طراحی شده و در سری الکترودهای ***E60XX*** کم نفوذ ترین الکترودها است .

طراحی اتصال و جفت و جوری

اتصال جوشکاری انواع زیادی دارد که هر نوع از آن شرایط ویژه ای برای جوشکاری نیاز دارد . جوشهای گوشه‌ای تفاوت زیادی با جوشهای لب بلب دارند . اتصال لب بلب ممکن است ساده یا شیاری باشد . فاصله دو لبه ممکن است زیاد باشد یا دو لبه ممکن است بهم چسبیده باشد .

در مواردی که جفت و جوری لبه ها ضعیف است ، الکترود ***E6012*** برای جریان مستقیم و الکترود ***E6013*** برای جریان متناوب بکار برده می شود .

هر دوی این الکترودها بخاطر انتقال قطره ای فلز در جریان قوس قادر به پل زنی حیلی خوب بین دو لبه هستند .

حالت جوشکاری

حالت جوشکاری از عوامل مهم برای انتخاب الکترود است . بعضی از الکترودها فقط میتوانند در حالت تخت خوب جوش دهند . بعضی از الکترودهای دیگر در همه حالتها می توانند با شرایط مساوی جوش دهند . حالت جوشکاری روی هزینه جوش نیز تاثیردارد. اقتصادی ترین حالت برای جوشکاری حالت تخت است و پس از آن به ترتیب افقی و عمودی قراردارند . حالت سقفی کم صرفه ترین حالت جوشکاری است . جوشکار ماهر ، محدودیتهای جوشکاری در حالتهای عمودی و سقفی را برای انتخاب الکترود درک میکند .

حالت جوشکاری تاثیر زیادی روی انتخاب اندازه الکترود دارد .

اتصال لب بلب جناغی در حالتهای عمودی و سقفی بمنظور حصول نفوذ کامل در ریشه جوش با الکترود قطر کوچکتر جوش داده می شوند . در جوشکاری چند لایه ای ، پاسهای دیگر را می توان با الکترودهای بزرگ جوش داد جوشکاری در حالتهای عمودی و سقفی با استفاده از الکترود با قطر بزرگتر از ۵ میلیمتر مطلوب نیست .

برای کار تولیدی بایستی از بزرگترین الکترود مجاز استفاده نمود تا با شدت جریان بیشتر بتوان سرعت جوشکاری را بالا برد .

هر چه قطر الکترود بزرگتر باشد مقدار جوش رسوب داده شده در واحد زمان بزرگتر است . هزینه مستقیم جوشکار نیز بدلیل توقف های کمتر لازم برای تعویض الکترود کاهش پیدا میکند . اگر قراراست جوشکاری در حالتهای سقفی ، عمودی یا افقی انجام شود ، نمیتوان از الکترودهای با طبقه بندی ***EXX28;EXX24;EXX20*** استفاده نمود .

الکترودهای ***EXX16;EXX15*** و ***EXX18*** گرچه برای همه حالتها طبقه بندی شده اند ولی جوشکاری با آنها در حالتهای عمودی و سقفی مشکل است .

بطور کلی می توان گفت که الکترودهای ***EXX27;EXX20;EXX13;EXX12*** و ***EXX28*** راحتترین الکترود برای حالتهای افقی و تخت هستند . الکترودهای ***EXX12*** و ***EXX11*** راحتترین الکترود برای جوشکاری در حالتهای عمودی و سقفی هستند ولی در جوشکاری عمودی سرازیر ***EXX12*** و ***EXX13*** الکترودهای راحتتر هستند .

شرایط استفاده

شرایط بهره برداری حائز اهمیت فراوانی است . نوع سازه و تنش مورد اعمال به قطعه جوش شونده بایستی مورد توجه قرار گیرد . مقاومت کششی ، قابلیت نرمی و مقاومت خستگی از خصوصیات مهمی هستند که به انتخاب الکترود کمک می کند . به خواص فلز جوش حاصله از الکترودهای مختلف در جدول مربوطه توجه شود .

مشخصات فنی

تمام خواسته‌های کد و مشخصات فنی بایستی دقیقاً درتعیین الکترود مورد توجه قرار گیرد.

بازده تولید

تعدادی از الکترودها دارای نرخ جایگزینی زیاد هستند . نرخ جایگزینی الکترود در جدول مربوطه با یکدیگر مقایسه شده است . بدلیل ماهیت جسم، نوع اتصال و حالت کار همیشه نمیتوان از الکترودهای با نرخ جایگزینی زیاد استفاده نمود همانگونه که در جدول ملاحظه میشود، الکترودهای با نرخ جایگزینی زیاد فقط برای جوشهای گوشه ای تخت و افقی می باشند .

عامل اصلی در هزینه جوشکاری سرعت جوشکاری است . هزینه الکترود در مقایسه با عوامل دیگر کم است . الکترودهای ***E6027*** و ***E7024*** بالاترین نرخ جایگزینی را دارند و ***E6011;E6013;E6012;E6020*** و ***E6010*** به ترتیب بعد از آنها قرار گرفته اند .

نوع فولاد (نه سرعت جوشکاری) بایستی حاکم بر انتخاب ***E7015*** یا ***E7018*** باشد . ***E7028*** مشابه ***E7018*** است ولی روپوش خیلی ضخیم تر دارد . یعنی پودر آهن بیشتری در روپوش دارد بنابراین نرخ جایگزینی ***E7028*** خیلی بالاتر است .

بوسیله استفاده از الکترودهای با قطر بزرگ خصوصا برای جوشکاری در حالت تخت و افقی، سرعت جوشکاری افزایش می یابد .

با بزرگتر شدن قطر الکترود ***E7027;E6020;E7024*** به ترتیب بالاترین افزایش را در سرعت بدست می آورند .

شرایط کار

تمیزی قطعه ، گرد و خاکی بودن ، زنگ خوردگی یا آغشتگی به گریس و روغن در انتخاب الکترود موثر است .

نوع عملیات سطحی لازم برای قطعه جوش داده شده و اینکه آیا قطعه پس از جوشکاری مورد تنش زدائی یا عملیات حرارتی قرار می گیرد ، بر انتخاب الکترود تاثیر می گذارد .

میزان اهمیت ظاهر جوش نیز در انتخاب الکترود بی تاثیر نیست . در هر صورت مشخصات فنی ارائه شده از طرف سازنده الکترود حائز اهمیت است .

جمع بندی عوامل موثر در انتخاب الکترود

انتخاب درست اندازه و نوع الکترود برای کار معلومی به اطلاعات جامع و شم فنی نیاز دارد. مطالعه دقیق خصوصیات فیزیکی ، شیمیایی و کاری الکترودها و نحوه استفاده از الکترودها کار انتخاب شایسته الکترود را آسان می سازد .

* نوع اتصال و حالت جوشکاری
* نوع جریان جوشکاری
* خواص فلز مبنا
* ضخامت فلز مبنا
* عمق مطلوب برای نفوذ جوش
* ظاهر مطلوب جوش
* لزوم یا عدم لزوم رعایت مفاد کد
* مقاومت کششی ، قابلیت نرمی و مقاومت ضربه ای لازم برای جوش
* طراحی و جعت و جوری اتصال جوش شونده
* چگونگی پاک کردن سرباره

الکترودهای پر مصرف

برای آشنائی با چند الکترود که در کاربردهای ساختمانی و صنعتی بعنوان الکترودهای پرمصرف قلمداد میشوند، جزئیات بیشتری از الکترود ***E6010*** (روپوش سلولزی) ، الکترود ***E6013*** (روپوش روتیلی) و الکترود ***E7018*** (روپوش قلیایی) ارائه می گردد

E6010

الکترودهای ***E6010*** برای جوشکاری جریان مستقیم قطب معکوس (الکترود مثبت) بکار برده می شوند . این الکترودها برای جوشهای عمودی و سقفی و همچنین برای بعضی کاربردهای ورقهای نازک فلزی در هر حالت مناسب ترین هستند .

فلز جوش مذاب از طریق قوس جوشکاری شبیه پیستوله رنگ پاش افشانده می شود . این انتقال افشانکی (اسپری) به جوشکاری در حالتهای عمودی و سقفی کمک می نماید . احتمال سقوط گوبچه های فلز جوش کم است ، درحالی که فلزجوش به داخل اتصالات افشانده میشود. این نوع انتقال فلز تمایل به نقب زدن یا فرو رفتن در فلز مبنا دارد . در نتیجه الکترود ***E6010*** جوش با نفوذ عمیق میدهد، بدان معنی که بایستی در استفاده از الکترود مزبور بمنظور بحد اقل رسانیدن پاشش دقت شود .

الکترودهای ***E6010*** تمایل به ایجاد بریدگی کناره جوش دارند که در صورت وقوع این پدیده ، بایستی شدت جریان جوشکاری یا آمپر کاهش داده شود .

نیمرخ جوشهای گوشه‌ای تولید شده با الکترود ***E6010*** نسبتا تخت است . فلس جوش حاصل از این الکترودها قدری زبر و با فاصله های سطحی عیر یکنواخت می باشد .

جائی که کیفیت سطح رسوب جوش حائز اهمیت است ، خصوصا در اتصالات جوش چندپاسه در حالتهای عمودی و سقفی و جائی که نیازمندیهای پرتونگاری ضرورت دارند ، این الکترودها بطور زیادی توصیه می شوند .

بیشتر الکترودهای ***E6010*** امروزه برای فولاد نرم مصرف می شوند . گرچه می توانند روی ورقهای گالوانیزه نیز جوش زیبا بدهند . الکترود ***E6010*** بدلیل قابلیت نرمی خوب فلز جوش و نفوذ عمیق برای خالجوش زنی موقت اتصالات جوش شونده ، عالی است .

وقتی بطور صحیح بکار برده شود ، خواص مکانیکی عالی دارد ، جوشهای تولید شده با الکترودهای ***E6010*** الزامات بعضی از استانداردهای خیلی سفت بازرسی را برآورده می نماید .

ضخامت روپوش الکترود ***E6010*** حداقل در نظر گرفته می شود تا جوش دادن در حالتهای عمودی وسقفی آسان باشد، ولی روپوش برای حصول جوش با کیفیت بالا ، حفاظت کافی ارائه میدهد . الکترود ***E6010*** از نوع روپوش پر سلولز است و معمولا بیش از ۳۰ درصد وزنی سلولز دارد . سایر مواد روپوش عموما از اکسید تیتانیوم ***(TiO2)*** یا روتیل ، سیلیکاتهای متعدد منیزیوم و آلومینیوم ، اکسیژن گیر های فلزی مثل فرومنگنز و سیلیکات سدیم مایع تشکیل شده است . در بعضی ازروپوش الکترودهای ***E6010*** مقدار کمی (کمتراز ۱۰ درصدوزنی) پودرآهن اضافه می‌شود تا خصوصیات قوس بهبود پیدا کند . باتوجه به ترکیب مواد روپوش ، الکترود ***E6010*** عموما بعنوان الکترود پر سلولز نوع سدیم طبقه بندی می شود . حد اکثر شدت جریانی که با قطرهای بزرگتر الکترودهای ***E6010*** میتواند بکار برده شود . در مقایسه با سایر طبقات الکترود ، بخاطر افت پاشیدگی زیادی که با شدت جریان زیاد پیش می آید ، قدری محدودیت دارد .

در جدول شدت جریانهای جوشکاری ، ولتاژهای تنظیمی و خواص مکانیکی بطور نمونه برای الکترود ***E6010*** با قطرهای مختلف ارائه شده است .

جدول – تنظیم عوامل جوشکاری برای الکترود ***E6010***

قطر الکترود (میلیمتر)	شدت جریان (آمپر)	ولتاژ قوس (ولت)
۲/٤	٤۰ – ۸۰	۲۳ – ۲۵
۳/۲۵	۱۲۵ – ۷۵	۲٤ - ۲۶
٤	۱۱۰ -۱۷۰	۲٤ - ۲۶
۵	۱٤۰ – ۲۱۵	۲۶ - ۳۰
۶	۱۷۰ – ۲۵۰	۲۶ - ۳۰
۷	۲۱۰ – ۳۲۰	۲۸ - ۳٤
۸	۲۷۵ – ٤۲۵	۲۸ - ۳٤
مشخصات مکانیکی	بصورت جوشکاری شده	تنش زدائی شده
مقاومت کششی (پوند بر اینچ مربع)	۶۲۰۰۰ – ۷۰۰۰۰	۶۰۰۰۰ – ۶۷۰۰۰
مقاومت تسلیمی (پوند بر اینچ مربع)	۵۲۰۰۰ - ۵۸۰۰۰	٤۷۰۰۰ - ۵٤۰۰۰
ازدیاد طول در دو اینچ (٪)	۲۲ - ۳۰	۲۸ - ۳۵
ضربه شیاری چیاقی شارپی	۲۰ فوت پوند در منهای ۲۹ درجه سانتیگراد	

E6013

الکترودهای ***E6013*** خیلی شبیه الکترودهای ***E6012*** هستند ولی چند فرق مهم دارند . الکترودهای ***E6013*** برای جوشکاری در تمام حالات با جریان متناوب یا جریان مستقیم اتصال مستقیم یا معکوس طراحی شده‌اند. الکترودهای ***E6013*** حد اقل پاشیدگی را ایجاد کرده و کمترین بریدگی کناره را بوجود می آورند . جوش دارای چین ریز بوده و پرداخت سطحی عالی است .

پاک شوندگی سرباره قدری بهتر بوده و قوس خیلی آسانتر از قوس الکترودهای ***E6012*** روشن میشود و نگهداشته میشود ، خصوصا وقتی که از الکترودهای کوچکتر با قطر ۱/۶ ، ۲ و ۲/۵ میلیمتری استفاده گردد . الکترودهای ***E6013*** برای کار کردن با آمپر کم تر خیلی خوب هستند . هر چه آمپر کمتر باشد ورودی حرارت کمتر است و فلز مبنا پیچیدگی کمتری پیدا می کند . از اینرو الکترودهای ***E6013*** برای جوشکاری فلزات نازک برازنده هستند .

خواص مکانیکی جوش الکترود ***E6013*** قدری از خواص مکانیکی جوش الکترود ***E6012*** بهتر است و شانس قبولی جوش در پرتونگاری نیز بیشتر است

با آنکه الکترودهای ***E6013*** اساسا برای فلز کاری ظریف طراحی شده اند ، قطر های بزرگتر آن برای بیشتر کارها جانشین الکترودهای ***E6012*** گردیده اند .

در حالی که کار الکترود ***E6013*** کاملا مشابه با الکترود ***E6012*** است ، قوس آن آرامتر ، جوش صاف تر و چین جوش ریز تر است . گاهی سازنده الکترود ***E6013*** که عوض می شود ، نحوه انتقال فلز مذاب از طریق قوس نیز عوض می شود که می تواند تاثیر بسزائی برمقدار پاشش بگذارد و حتی امکان استفاده یا عدم امکان استفاده از الکترود در حالتهای غیر استاندارد را دگرگون نماید .

بعضی از سازندگان الکترود ***E6013*** را طوری می سازند که فلز جوش از طریق قوس بصورت افشانکی ریز انتقال پیدا می کند . بعضی از سازندگان دیگر ترکیب روپوش الکترود ***E6013*** را طوری تعیین می کنند که فلز جوش بصورت گلوله ای از طریق قوس انتقال می یابد انتقال افشانکی برای جوشکاریهای عمودی یا سقفی بهتر است و انتقال گلوله ای برای جوشکاری در حالت تخت مناسب است . بین الکترود ***E6013*** با نام تجارتی مختلف فرقهای دیگری هم وجود دارد . بعضی از الکترودهای ***E6013*** که برای فلز کاری ظریف توصیه شده اند ، در حالت عمودی از بالا به پایین (عمودی سرازیر) خوب جوش می دهند در حالی که سرباره الکترودهای دیگر ***E6013*** سیال تر بوده و برای جوشهای گوشه‌ای در حالت افقی و جوشکاریهای عمومی بکار می روند .

الکترودهای *E6013* مشابه الکترودهای *E6020* جوش گوشه‌ای تخت ایجاد می کنند . این الکترودها بدلیل معفر و گود بودن جوش و پاک شوندگی آسان سرباره به راحتی برای جوشهای شیاری استفاده می شوند .

بعلاوه فلز جوش الکترود *E6013* درمقایسه با فلز جوش الکترود *E6012* قطعا آخال سرباره و آخال اکسید کمتری دارد و احتمال قبولی جوش در پر تونگاری بیشتر است . در حقیقت الکترودهای *E6013* در مواقعی که جوش فولاد کربنی با کیفیت بالا مورد نظر است و جوش با پرتونگاری بازرسی می گردد ، مورد استفاده قرار می گیرند . روپوش الکترود *E6013* خیلی به روپوش الکترود *E6012* شبیه است . روپوش الکترود *E6013* دارای : روتیل ، سیلیکات ها ، سلولز ، اکسیژن گیرهای فرو منگنز و چسب سیلیکات مایع می باشد .

در روپوش الکترود *E6013* از مواد آسان یونیزه شونده استفاده می شود بطوری که روشن کردن و نگهداری قوس در شدت جریانهای کم و ولتاژ مدار باز کم نیز مقدور است .

بعضی از سازندگان همچنین مقادیر کمی پودر آهن در روپوش *E6013* وارد می کنند تا کنترل قوس بهتر شود و نرخ رسوب فلز جوش قدری بالاتر رود. حد اکثر شدت جریان الکترود *E6013* از حد اکثر شدت جریان الکترودهای *E6012* کمتر است. درجوشکاری عمودی وسقفی، شدت جریان و ولتاژ برای دو نوع الکترود خیلی مشابه هستند. جدول محدوده های شدت جریان ، تنظیم ولتاژ و خواص مکانیکی الکترودهای *E6013* با قطر های مختلف را نشان میدهد .

جدول – تنظیم عوامل جوشکاری برای الکترود *E6013*

قطر الکترود (میلیمتر)	شدت جریان (آمپر)	ولتاژ قوس (ولت)
۱/۶	۲۰ – ۴۰	۱۷ – ۲۰
۲	۲۵ – ۶۰	۱۷ – ۲۱
۲/۴	۴۵ – ۹۰	۱۷ – ۲۱
۳/۲۵	۸۰ – ۱۲۰	۱۸ - ۲۲
۴	۱۰۵ – ۱۸۰	۱۸ - ۲۲
۵	۱۵۰ – ۲۳۰	۲۰ - ۲۴
۶	۲۱۰ – ۳۰۰	۲۱ - ۲۵
۷	۲۵۰ – ۳۵۰	۲۲ – ۲۶
۸	۳۲۰ – ۴۳۰	۲۳ - ۲۷
مشخصات مکانیکی	بصورت جوشکاری شده	تنش ردائی شده
مقاومت کششی (پوند بر اینچ مربع)	۶۷۰۰۰ - ۷۲۰۰۰	۶۵۰۰۰ ۷۱۰۰۰
مقاومت تسلیمی (پوند بر اینچ مربع)	۵۵۰۰۰ - ۶۰۰۰۰	۵۰۰۰۰ ، ۵۶۰۰۰
ازدیاد طول در دو اینچ (٪)	۱۷ - ۲۰	۲۵ - ۳۰
ضربه شیاری جناغی شارپی	لازم نیست	

E7018

آنچه که الکترود ***E6010*** برای جوشکاری فولادهای کربنی فراهم می نماید ، الکترود پودر آهنی کم هیدروژن ***E7018*** برای جوشکاری فولادهای کم آلیاژ فراهم می سازد . الکترود ***E7018*** پر مصرف ترین الکترود کم هیدروژن است . الکترود ***E7018*** از نوع کم هیدروژن بوده ، برای جوشکاری در همه حالتها با جریان متناوب یا جریان مستقیم قطب معکوس مناسب است و ۲۵ تا ۴۰ درصد پودر آهن در روپوش دارد .

تمام ویژگیهای مطلوب الکترود کم هیدروژن منجمله تولید جوشهای سالم روی فولادهای «سخت جوش» پر کوگرد و پر کربن را دارد . کاربرد اصلی این الکترود برای جوشکاری فولادهای کم آلیاژ با مقاومت زیاد (با همان محدوده مقاومتی) می باشد . اگر قرار باشد فقط دونوع الکترود فولادی انتخاب شود ، شاید بتوان گفت یکی ***E6010*** و دیگری ***E7018*** است .

کار کردن با الکترود ***E7018*** به آسانی کار کردن با الکترود ***E6010*** نیست . برای الکترود ***E7018*** قوس کوتاه لازم است که برای جوشکاران غیر ماهر کوتاه نگهداشتن قوس آسان نیست .

نیمرخ جوشهای گوشه‌ای با الکترود ***E7018*** (در حالت افقی یا حالت تخت) قدری محدب است. سطح مهره جوش صاف بوده و چین های ریزدارد . ویژگی الکترودهای ***E7018*** جوش صاف، قوس آرام ، نفوذ کم (بداخل فلز مبنا) ، پاشش خیلی کم و سرعت جوشکاری زیاد است .

روپوش الکترود ***E7018*** از فلوئور کلسیم . کربنات کلسیم ، سیلیکات منیزیوم – آلومینیوم ، فرو آلیاژهای متعدد و چسب سیلیکات سدیم و پتاسیم تشکیل شده است .

الکترودهای ***E7018*** چون از ترکیبات آهکی (کلسیم) عموما در روپوش استفاده می کنند ، الکترودهای آهکی – فریتی نیز نامیده می شوند .

چون روپوش الکترودهای ***E7018*** ضخیم تر از نرمال است ، برای جوشکاری در حالت عمودی و سقفی محدودیت قطر دارد و از قطرهای کوچکتر آنها استفاده می شود .

شدت جریان جوشکاری الکترودهای ***E7018*** قدری بالاتر از شدت جریان جوشکاری الکترودهای ***E6010*** با همان اندازه است . در الکترودهای کم هیدروژن توسعه های بسیار اختصاصی حاصل شده است . یکی از مهمترین توسعه ها مربوط به روپوش مقاوم رطوبت است که با الکترود ***E7018*** شروع گردید و اکنون به سایر الکترودهای کم هیدروژن حتی الکترودهای با مقاومت بالاتر تعمیم داده شد . روپوش های مقاوم رطوبت نسبت به الکترودهای کم هیدروژن معمولی مدت زمان خیلی طولانی‌تری خشک باقی می مانند .

روپوش بیشتر الکترودها وقتی در معرض هوا قرار گرفتند ، پس از چند ساعت رطوبت جذب می کنند و این رطوبت می تواند مستقیما به شکنندگی هیدروژنی فلز مبنای فولادی کم آلیاژ منتهی شود .

معمولاً تمام الکترودهای کم هیدروژن در قوطی های آلومینیومی یا فولادی ضد رطوبت بطور محکم بسته بندی می شوند . در عوض الکترودهای ***E6010*** اغلب در جعبه های مقوائی بسته بندی می شوند .

وقتی قوطی باز شد ، الکترودها از هوای محیط رطوبت جمع می کنند . بعد از مدت معینی معمولا چهار ساعت یا کمتر بسته به رطوبت نسبی محل کار در حالی که هنوز از الکترود استفاده نشده است ناچاراً الکترودها برای پخت به کوره پخت الکترود برگردانده می شوند تا بمدت یکساعت یا بیشتر دوباره خشک شوند .

الکترودهای مقاوم رطوبت کم هیدروژن نیز از هوا (نظیر محیط مرطوب ساحل دریا) رطوبت جذب میکنند ولی باسرعت چندین برابر کمتر از الکترودهای کم هیدروژن عادی . جوشکار غالبا الکترودهای مقاوم رطوبت را فقط موقع نهار یا حتی در پایان روز پخت مجدد میدهد.

امروزه بوسیله بعضی از سازندگان الکترودهای بسیار مقاوم رطوبت ***(SUPER MR)*** تولید می شود که قادر است چندین روز رطوبت جذب شونده را زیر محدوده رطوبت مجاز برای روپوش نگهدارد .

انجمن جوشکاری آمریکا برای مقداررطوبت مجاز الکترودکم هیدروژن قبل از نیاز به پخت مجدد محدوده های سخت و دقیقی قائل شده است . رطوبت مجاز الکترودهای ***E7018 - X*** فقط تا ۰/٤ در صد است .

حتی الکترودهای قوی تر ***E9018-X ; E10018-X*** و ***E11018-X*** اگر رطوبت موجود در روپوششان به ۰/۲ برسد بایستی برای پخت مجدد برگردانده شوند .

کد دیگ بخار و مخزن تحت فشار ***ASME*** نیز در زمینه چگونگی الکترود کم هیدروژن محدوده های خیلی سخت و دقیقی دارد

مشخصات نظامی در مورد رطوبت مجاز در روپوش الکترودهای کم هیدروژن از بقیه سخت گیر تر است . طبق مشخصات نظامی ***MIL - E - 0022200/ID*** وقتی رطوبت موجود در روپوش الکترودهای ***E9018- M*** و ***E11018-M*** به ۰/۱۵ در صد برسد بایستی الکترودها برای

پخت محدد برگردانده شوند. بعضی از این درجات نظامی نظیر ***E12018-M*** و حتی الکترودهای جوشکاری با مقاومت بالاتر برای جوشکاری بدنه زیر دریائی مورد استفاده قرار می گیرند .

پیدا شدن مقدار کمی ترک زیر مهره ای در جوش کوچک بدنه مخزن تحت فشار بزرگ می تواند سبب از دست دادن همه حدمه قابق شود . بنابراین دلیل پرتونگاری صد در صد جوشهای بحرانی تا حدودی روشن می گردد .

خواص کششی (منجمله مقاومت ضربه ای در درجات حرارت زیر صفر) الکترودهای کم هیدروژن از خواص کششی الکترودهای ***E6010*** و الکترودهای دارای جوش با ترکیب مشابه عالیتر است . مصرف الکترود کم هیدروژن غالبا نیاز به پیش گرم کردن و پس گرم کردن را کاهش میدهد . با وجود بر این هر جا که پیش گرم کردن و پس گرم کردن توصیه شده باشد بایستی انجام گیرد. خواص نمونه ای و اطلاعات کاری الکترودهای ***E7018*** در جدول درج شده است .

جدول – تنظیم عوامل جوشکاری برای الکترود ***E7018***

قطر الکترود (میلیمتر)	شدت جریان (آمپر)	ولتاژ قوس (ولت)
۲/٤	۷۰ – ۱۰۰	۱۷-۲۱
۳/۲۵	۱۱۵ – ۱۶۵	۱۸-۲۲
٤	۱۵۰ – ۲۲۰	۲۰-۲٤
۵	۲۰۰ – ۲۷۵	۲۱-۲۵
۶	۲۶۰ – ۳٤۰	۲۲-۲۶
۷	۳۱۵ – ٤۰۰	۲۳-۲۷
۸	۳۷۵ – ٤۷۰	۲۳-۲۸
مشخصات مکانیکی	بصورت جوشکاری شده	تنش زدائی شده
مقاومت کششی (پوند بر اینچ مربع)	۷۲۰۰۰ – ۷۸۰۰۰	۶۸۰۰۰ – ۷٤۰۰۰
مقاومت تسلیمی (پوند بر اینچ مربع)	۶۰۰۰۰ - ۶۶۰۰۰	۵۵۰۰۰ - ۶۱۰۰۰
ازدیاد طول در دو اینچ (٪)	۲۲ - ۲۸	۲۸ - ۳۳
ضربه شیاری جاغی شارپی	۲۰ فوت پوند در منهای ۲۹ درجه سانتیگراد	

الکترود جوشکاری فولاد زنگ نزن

بدلیل زیادی انواع فولادهای زنگ‌نزن و درجه متعدد آن و تغییر شدت حرارت، واسطه خورنده و غیره که قطعه جوش شده تحت آن شرایط قرار خواهد گرفت، در بیشتر موارد، انتخاب الکترود مناسب برای جوشکاری فولاد زنگ نزن از انتخاب الکترود مناسب برای جوشکاری فولاد ساده بحرانی‌تر است.

انتخاب درست الکترود برای حصول بیشترین نتایج رضایت بخش به تجزیه و تحلیل تمام شرایط مورد اعمال به قطعه بخصوص بستگی دارد. فلز جوش فولاد زنگ‌نزن نه تنها بایستی دارای مقاومت کششی و قابلیت نرمی کافی باشد بلکه بایستی دارای مقاومت خوردگی معادل با زوج فلز باشد. از ایرو الکترود بایستی ترکیب شیمیائی قابل قیاس با فلز مبنا داشته باشد از آنجائیکه درصد قابل توجهی از جوشکاری فولاد زنگ نزن مربوط به ورقهای نازک است بنابراین الکترود بایستی ضمن آنکه در سرناسر اتصال نفوذ کافی داشته باشد، موجب سوختگی لبه‌های اتصال نگردد. الکترود فولاد زنگ‌نزن بایستی جوش هموار تولید کند بطوریکه نیاز به سنگ زنی به حداقل برسد. رنگ فلز جوش پس از پرداخت بایستی بطور کامل با رنگ زمینه فلز مبنا هم‌خوانی داشته باشد.

شماره های شناسائی ***AWS*** برای طبقه بندی الکترودهای جوشکاری فولاد زنگ‌نزن با شماره‌های شناسائی ***AWS*** برای طبقه بندی الکترودهای جوشکاری فولاد کربنی فرق دارد.

رقمهای اولیه (سمت چپ) بجای مقاومت کششی مربوط به شماره طبقه بندی فولاد زنگ‌نزن طبق روش ***AISI*** میباشد. مثلاً الکترودهای سری ***E309-XX*** و ***E308-XX*** برای جوشکا ری فولاد زنگ نزن اوستنیتی مناسبند.

دورقم آخر (دو رقم سمت راست) در شماره طبقه بندی ***AWS*** به حالت جوشکاری، نوع برق و خصوصیات کاری الکترود مربوط است. دو نوع روپوش اصلی برای الکترودهای جوشکاری فولاد زنگ نزن متداول است :

الف- روپوش آهکی

ب- روپوش روتیلی

روپوش آهکی

الکترود با با روپوش آهکی به الکترود نوع ۱۵ معروف است ***(E3XX-15)*** و فقط برای جوشکاری با جریان مستقیم و قطب معکوس (الکترود مثبت) بکار برده میشود.

مواد معدنی عمده تشکیل دهنده روپوش آهکی، سنگ آهک و فلداسپات میباشد. این نوع روپوش مقدار کمی اکسید تیتانیوم (تا ۸ درصد) دارد.

الکترود با روپوش آهکی در تمام حالتها خصوصیات کاری خوبی ارائه میدهد. این نوع الکترود جوشهای محدب تولید نموده و کافی بودن سطح مقطع جوش در پاس ریشه از ترک خوردن جلوگیری میکند.

انجماد سریع فلز جوش بوسیله این نوع روپوش کار جوشکاری در حالتهای عمودی و سقفی را آسان می‌نماید. سرباره تشکیل شده بطور کامل جوش را می‌پوشاند. عمل ترکردن آن سریع بوده و جوش حداقل پاشیدگی را دارد

روپوش الکترود عمل روانسازی را بخوبی انجام داده و ناخالصی‌ها را از جوش خارج می‌نماید و بدینوسیله جوش عاری از نخلخل و با خواص مکانیکی و مقاومت به خوردگی مورد نظر ایجاد می‌کند.

الکترود به قطر ۳/۲ میلیمتر یا کوچکتر برای جوشکاری عمودی سرازیر خوب عمل میکند.

روپوش روتیلی

الکترود با روپوش روتیلی به الکترود نوع ۱۶ معروف است ***(E3XX-16)*** و برای جوشکاری با جریان متناوب یا جریان مستقیم قطب معکوس مورد استفاده قرار میگیرد.

الکترود روپوش روتیلی دارای بیش از ۲۰ درصد اکسید تیتانیوم میباشد. الکترود روپوش روتیلی در همه حالتها جوشهای مرغوب تولید می‌کند. این الکترود بدلیل یکنواختی عمل قوس، ظرافت ظاهر جوش و خیلی آسان بودن پاک کردن سرباره، جوشکار پسند است و به روپوش نوع آهکی ترجیح داده می‌شود.

این عوامل و هموارتر بودن جوشها و تفعر کم موجب می‌شود که زمان کمتری برای تمیز کردن، سنگ زنی و پرداخت، نسبت به زمان لازم برای جوشهای حاصل از الکترود فولاد زنگ نزن نوع آهکی، لازم باشد. الکترود روپوش روتیلی عموماً برای کارگاه‌هائی که فقط یک نوع روپوش انتخاب می‌کنند، ترجیح دارد.

روپوش آهکی – روتیلی

روپوش نوع آهکی – روتیلی دارای ۸ تا ۲۰ درصد اکسید تیتانیوم میباشد. این نوع الکترود هم با جریان مستقیم و هم با جریان متناوب قابل استفاده است. روپوش آهکی – روتیلی الکترود همه حالته است و برای جوشکاری فولاد زنگ‌نزن فقط کرم دار (فریتی) و فولاد زنگ نزن کرم مولیبدن و تا حدودی برای فولاد زنگ‌نزن کرم نیکل (اوستنیتی) بکار برده میشود.

نکات کلی

در روپوش الکترودهای فولاد معمولی برای حذف هیدروژن در الکترودهای کم هیدروژن که موجب بروز ترک زیر مهره‌ای می‌گردد. از ترکیبات کربنی نظیر کربناتهای قلیائی خاکی استفاده میشود چون این ترکیبات کربن دارند و کرم هنگام جوشکاری میل ترکیبی شدیدی با کربن دارد و می‌تواند کاربید کرم تشکیل دهد. از اینرو برای روپوش الکترودهای فولاد زنگ نزن از آهک استفاده می‌شود.

منگنز وسیلیسیم بمنظور کاهش اکسیداسیون در روپوش بکاربرده میشود. وجود تیتانیوم در روپوش الکترود، پایداری قوس را بالا میبرد و ایجاد سرباره ای می‌کند که براحتی از روی جوش پاک می‌گردد و از ته نشینی کربن و ایجاد کاربید کرم جلوگیری میکند. کلمبیوم هم از تشکیل کاربید کرم جلوگیری می نماید.

انتخاب شایسته اندازه الکترود و شدت جریان جوشکاری برای جوشکاری آلیاژهای کرم نیکل بخاطر بالا بودن ضریب انبساط آنها، خیلی مهم است.

عموماً استفاده از الکترود با قطر کوچکتر و شدت جریان کمتر نسبت به اندازه الکترود و شدت جریان جوشکاری ورق‌ها با پروفیل‌های فولادی ساده، به کاهش پیچیدگی کمک خواهد نمود. پیروی از توصیه‌های کارخانه سازنده الکترود همواره بایستی مدنظر واقع شود. جوشکاری فولاد زنگ‌نزن نسبت به جوشکاری فولاد ساده بحرانی‌تر است و بخاطر گرانی قیمت فولاد زنگ نزن هر اشتباهی دراین مورد گران تمام میشود.

حدول – شناسائی الکترودهای فولاد زنگ نزن

نوع اوستنیتی یا کرم – نیکلی سری های *AISI 300*		
مشخصه *AISI*	نام تجارتی معروف	الکترود *AWS* توصیه شده
302 303 304 308	18/8 یا 19/9	E308-15 , E308-16
309	25/12	E309-15, E309-16, E309Cb-15
310	25/20	E310-15 , E310-16, E310Cb-15, E310Cb-16, E310Mo-15, E310Mo-16
312	29/9	E312-15, E312-16
316	18/12 Mo	E316-15, E316-16, E316Cb-15, E316Cb-16
317	18/12 Mo	E317-15, E317-16
318	18/12 Mo Cb	
330	15/35	E330-15 , E330-16
347	18/8 Cb	E347-15, E347-16
انواع فقط کرم سری های *AISI 400*		
410	کرم 12	E410-15
430	کرم 16	E430-15
442	کرم 18	E442-15
446	کرم 28	E446-15
سری های *AISI 500*		
502	کرم 5	E502-15, 502-16, 505-18
505	کرم 9	E502-16, 505-18

EXTRA LOW CARBON

ULTRA LOW CARBON

308

308L

ER 308L

308

ER 308L

NB = 10

[illegible]

حداکثر امکان ساده
جوش داده شود

۲٫۵ | [illegible]

(Q & T)

[illegible]

حداقل درجه حرارت پیش گرمایش	نوع فولاد	حداکثر درجه حرارت بین پاسی
طبق جدول [illegible] 100 °C	معمولی	250 °C
	[illegible]	150 °C

16

انواع فولاد زنگ نزن

فولاد زنگ نزن بر سه نوع است:

فولاد رنگ نزن فریتی مثل فولادهای ٤٠٥ ، ٤٣٠، ٤٤٢ و ٤٦٦

فولاد زنگ نزن مارتنزیتی مثل فولادهای ٤٠٣ ، ٤١٠ ، ٤١٤ ، ٤١٦ ، ٤٢٠ ، ٤٣١ و ٤٤٠

فولاد رنگ نزن آستنیتی مثل فولادهای ٢٠١ ، ٢٠٢ ، ٣٠١ ، ٣٠٢ ، ٣٠٣ ، ٣٠٤ ، ٣٠٥ ، ٣٠٨ ، ٣٠٩ ، ٣١٠ ، ٣١٤ ، ٣١٦ ، ٣١٧ ، ٣٢١ ، ٣٤٧ و ٣٤٨ فولادهای رنگ نزن فریتی و مارتنزیتی خاصیت آهنربائی دارند.

پیش گرمایش و تنش زدائی لازم دارند (طبق جدول های مربوطه). پیش گرم کردن فولادهای زنگ نزن فریتی و مارتنزیتی ، خطر ترک خوردن را کاهش می دهد.

فولاد زنگ نزن آستنیتی خاصیت آهنربائی ندارد و به پیش گرمایش و تنش زدائی نیاز ندارد. پیش گرمایش فولاد زنگ نزن آستنیتی ، احتمال ته نشینی کاربیدی در مرزدانه و تشکیل فاز زیگما را زیاد می کند.

معمولاً درجه حرارت بین پاسی فولاد زنگ نزن آستنیتی را حداکثر ۱۵۰ درجه سانتیگراد درنظر می گیرند.

دستورالعمل اجرایی جوشکاری فولادهای زنگ نزن آستنیتی

برای جوشکاری لوله های فولاد زنگ نزن آستنیتی بایستی نکات مشروحه زیر مورد توجه قرار گیرد:

۱- تهویه

دودهای حاصل از جوشکاری و ذرات معلق همراه آنها بایستی به نحو مناسبی از محیط خارج شود.

۲- تکیه گاه

مونتاژ قطعات لوله و فیتینگ مربوط به ساخت اسپول بایستی روی تکیه گاه مناسب مونتاژ و آماده جوشکاری گردند. تکیه گاه مربور بایستی طوری باشد که ضمن جوشکاری احتمال جرقه زدن بین فولادها کربنی ***(Carbon Steel)*** و فولاد زنگ نزن ***(Stainless Steel)*** به هیچ وجه وجود نداشته باشد. تکیه گاه نبایستی نیز باشد که بتواند روی لوله یا فیتینگ خراش ایجاد نماید.

۳- گیره اتصال

گیره اتصال که کابل را به قطعه متصل می کند بایستی از جنس فولاد زنگ نزن باشد و یا با واسطه ورق نازک از جنس فولاد زنگ نزن به قطعه متصل شود تا امکان جرقه زدن و وارد کردن عناصر ناخواسته به سطح فولاد زنگ نزن نداشته باشد.

٤- تمیزی سطوح جوش شونده

سطوح جوش شونده بایستی از نظر تمیزی به دقت بازرسی شود. هرگونه آلاینده خصوصاً مواد دارای یون کلراید، روی، سرب، چربی و هرگونه مواد کربن زا و غیره نبایستی در محل جوش یا نزدیک آن باقی بماند. در علامتگذاری با مارکر و مارکرهای دیگر بایستی توجه کافی مبذول گردد

۵- برس تمیزکاری

برس مورد استفاده بایستی از جنس فولاد زنگ نزن باشد (استفاده از برس های گالوانیزه ممنوع است).

۶- سنگ زنی

برای تمیزکاری فولاد زنگ نزن ترجیحاً بایستی از صفحه سنگهای مخصوص فولاد زنگ نزن استفاده شود. در صورت در دسترس نبودن صفحه سنگ مخصوص فولاد زنگ نزن، فقط می توان از صفحه سنگ تازه (که قبلاً برای فولاد کربنی استعاده نشده باشد) استفاده نمود. هیچگاه فولاد کربنی در جوار فولاد زنگ نزن، سنگ زده نشود تا جرقه های آن برروی فولاد زنگ نزن ننشیند و آنرا خراب نکند.

۷- نوسان دست

جوشکاری ساده برای فولاد زنگ نزن ترجیح داده می شود. جوشکاری نوسانی نیز برای فولاد زنگ نزن بلامانع است، بشرطی که حداکثر دامنه نوسان دست از ۲/۵ برابر قطر الکترود بیشتر نگردد.

۸- تغییر رنگ

جوش و کناره های جوش نبایستی پس از جوشکاری تغییر رنگ دهد.

color mach تطبیق رنگ

۹- کنترل درجه حرارت

برای فولاد زنگ نزن آستنیتی پیش گرمایش لازم نیست و درجه حرارت بین پاسی نبایستی از ۱۵۰ درجه سانتیگراد بیشتر شود. کنترل درجه حرارت ضمن جوشکاری با استفاده از گچهای حرارتی ***(Tempil Stick)*** یا دماسنج های مادون قرمز (غیرتماسی) انجام می شود.

۱۰- خشک بودن

سطوح جوش شونده و سطح نزدیک به محل جوش بایستی خشک باشد تا مشکلات ترکهای هیدروژنی پیش نیاید.

۱۱- وزش باد و کوران

قوس جوشکاری بایستی از وزش باد و کوران هوا محافظت شود.

۱۲- حفاظت جوش از داخل لوله

حفاظت جوش از داخل لوله با گاز محافظ ***(Purge)*** بصورت مناسب انجام شود.

۱۳- شماره شناسایی

کلیه درز جوشها و اسپولهای ساخته شده بایستی شماره شناسایی داشته باشند. شماره شناسایی درزجوش یا اسپول با مارکر مناسب روی سطح بیرونی لوله درج می شود

۱٤- حمل و نقل

جابجایی و چیدمان اسپول ها بایستی طوری باشد که به قطعات لوله یا فیتینگ آسیب نرساند.

۱۵- روشنایی

روشنایی کارگاه بایستی برای انجام جفت و جوی ، جوشکاری، تمیزکاری و بازرسی جوشها و قطعات مناسب باشد.

جدول - چارت انتخاب فلز پرکننده برای جوشکاری فولاد زنگ نزن

Base Metal Alloy	201, 202 301, 302 302B,303 304,305 308	304L	309 309S	314	310 310S 316	316L	317	317L	321 347 348	330	430,405 410, 412 414,420	430,430F 431,440A 440B,440C	446	501 502	505	Carbon Steels	Low Alloy Chromium Molybdenum Steels
210, 202, 301, 302																	
302B, 303, 304, 305	E308	E308	E308	E308	E308	E308	E308	E308	E309	E309	E309	E309	E310	E309	E309	E309	E309
308																	
304L		E308L	E308	E308	E308	E308	E308	E308	E309	E309	E309	E309	E309	E309	E309	E309	E309
309, 310S, 314			E309	E309	E309	E309	E309	E309	E309	E309	E309	E309	E309	E309	E309	E309	E309
310, 310S, 314				E310	E316	E317	E308	E310	E309	E309	E309	E309	E309	E309	E309	E309	E309
316					E316	E316	E316	E316	E308	E309Mo	E309	E309	E309	E309	E309	E309	E309
316I						E316L	E316	E316L	E316L	E309Mo	E309	E309	E309	E309	E309	E309	E309
317							E317	E317	E308	E309Mo	E309	E309	E309	E309	E309	E309	E309
317L								E317L	E308L	E309Mo	E309	E309	E309	E309	E309	E309	E309
321, 347, 348									E347	E309	E309	E309	E309	E309	E309	E309	E309
330										E410	E309	E309	E309	E312	E312	E312	E312
403, 405, 410, 414											E410	E430	E410	E502	E410	E410	E410
416, 420																	
430, 430F, 431												E430	E430	E502	E505	E430	E430
440A, 440B 440C																	
446													E446	E502	E502	E430	E430
501, 502														E502	E502	E502	E502
505															E505	E505	E505

الکترود تنگستن

الکترودهای تنگستن مصرف شدنی نیست، فلز پرکننده محسوب نمی گردد و در اتصال جوش شرکت نمی کند. وظیفه الکترود تنگستن ، ایجاد قوس و تامین حرارت لازم برای جوشکاری است. الکترودهای تنگستن در سه گروه مختلف تقسیم بندی می گردند:

تنگستن خالص، تنگستن توریوم دار و تنگستن زیرکونیوم دار.

انتخاب نوع الکترود، اندازه الکترود و شدت جریان جوشکاری به نوع و ضخامت فلز مبنا بستگی دارد. ظرفیت انتقال شدت جریان الکترود تنگستن به عوامل متعددی مثل نوع جریان برق و اتصال قطب، گاز محافظ مورد استفاده ، نوع تجهیزات بکار برده شده (سرد شونده با هوا یا سرد شونده با آب)، بیرون زدگی الکترود از غلاف نگهدارنده و حالت جوشکاری بستگی دارد.

الکترود با اندازه معلوم با برق جریان مستقیم ، الکترود منفی (قطب مستقیم) بیشترین ظرفیت انتقال شدت جریان را خواهد داشت و ظرفیت انتقال شدت جریان با برق جریان متناوب از آن کمتر است و حتی با برق جریان مستقیم، الکترود مثبت (قطب معکوس) ظرفیت انتقال شدت جریان از جریان متناوب نیز کمتر می شود.

تنگستن دارای قابلیت هدایت الکتریکی خیلی کم است و بنابراین هنگام عبور جریان الکتریکی از آن گرم می شود. موقع جوشکاری با الکترود تنگستنی فقط بایستی قسمت نوک قوس رننده داغ شود و بقیه الکترود بایستی حتی المقدور خنک نگهداشته شود.

یک راه جلوگیری از گرم شدن اضافی الکترود، کوتاه نگهداشتن قسمت بیرون زده الکترود از غلاف نگهدارنده آن است. اگر بیرون زدگی الکترود از غلاف زیاد باشد، حتی با شدت جریان کم نیز می تواند آسیب ببیند. برعکس اگر چگالی شدت جریان خیلی کم باشد، قوس جابجا شونده و ناپایدار می گردد.

طبقه بندی الکترود تنگستن

طبق مشخصات *AWS* طبقه بندی الکترود تنگستن ، مشابه طبقه بندی فلز پرکننده است که در آن *E* بمعنی الکترود است (مثل *EWP*) *W* معرف اصلی بودن تنگستن، *P*، *Th* و *Zr* بترتیب نشانه تنگستن خالص، تنگستن توریوم دار ، تنگستن زیرکونیوم دار می باشد. شماره انتهای بعضی از طبقه‌بندی ها بیان کننده ترکیب شیمیایی همان گروه است.

الکترود *EWP*

الکترودهای ***EWP*** الکترودهای تنگستن خالص (۹۹/۵ درصد) هستند ظرفیت انتقال شدت جریان الکترود تنگستن خالص از الکترودهای دیگر کمتر است. این الکترودها در جوشکاری با جریان متناوب یا موجی موازنه ای یا پیوسته با فرکانس بالا پایداری خوبی دارند. الکترودهای تنگستن خالص را می توان با جریان مستقیم و با گاز محافظ آرگون یا هلیوم و یا مخلوط آرگون و هلیوم مورد استفاده قرار داد. این الکترودها نسبت به آلوده شدن، مقاومت نسبتاً خوبی دارند و بصورت سرکروی باقی می مانند و برای جوشکاری آلومینیوم و منیزیم ترجیح داده می شوند.

الکترودهای تنگستن خالص بجز جوشکاری آلومینیوم و منیزیم، عموماً برای کاربردهای غیربحرانی مورد استفاده قرار می گیرند.

الکترودهای ارزانتر ***EWP*** را می توان برای موارد استعمال ارزان که در آن آلودگی جوش با تنگستن تا حدودی قابل قبول است، بکاربرد.

الکترود *EWTh*

EWTh-1 ، ***EWTh-2*** و ***EWTh-3*** الکترودهای تنگستن دارای اکسید توریوم هستند. (توریوم عنصر است ولی توریا به اکسید توریوم ***ThO2*** اتلاق می شود. مقادیر داده شده در جدول به توریا مربوط می شود) تنها فرق بین ***EWTh-1*** و ***EWTh-2*** درصد اکسید توریوم است که در سرتاسر الکترود پراکنده شده است. ***EWTh-3*** الکترودی است که نوار تنگستن ۲ درصد توریوم دار بنحوی در میله تنگستن خالص بصورت طولی جا سازی شده است.

اکسید توریوم در این الکترودها مسئول افزایش طول عمر آنها در مقایسه با الکترودهای تنگستن خالص بخاطر صدور بیشتر الکترون، شروع به قوس و پایداری بهتر قوس، ظرفیت حمل جریان بالاتر، بطور کلی عمر طولانی تر و مقاومت بیشتر به آلودگی تنگستن است.

الکترودهای ***EWTh-1*** و ***EWTh-2*** برای جریان مستقیم طراحی شده اند. آنها حین جوشکاری بصورت نوک تیز باقی می مانند که برای جوشکاری فولاد مطلوب است. الکترودهای توریوم دار می توانند با جریان متناوب هم بکار برده شوند ولی گلوله ای نگهداشتن نوک الکترود که برای جوشکاری فلزات غیرآهنی مطلوب است، دشوار می باشد.

الکترود ***EWTh-3*** اساساً برای جوشکاری با جریان متناوب طراحی شده است ولی با برق جریان مستقیم هم خوب کار می کند.

الکترود *EWZr*

الکترود *EWZr* تنگستن زیرکونیا دار است. (زیرکونیوم عنصر است ولی زیرکونیا همان اکسید زیرکونیوم *ZrO2* است و مقدار عددی داده شده در جدول به درصد اکسید زیرکونیوم مربوط است). این الکترودها در کاربردهایی که بایستی آلودگی تنگستن بحداقل برسد، ترجیح داده می شوند. این الکترودها وقتی با جریان متناوب استفاده می شوند، عملکرد خوبی دارند زیرا حین جوشکاری نوک کروی باقی می مانند و مقاومت زیادی به آلودگی دارند.

توصیه های کلی

رعایت این توصیه ها به مرغوبیت جوش و صرفه اقتصادی کمک می کند. نوع برق و مقدار شدت جریان بایستی مناسب با اندازه الکترود انتخاب شود. *شدت جریان خیلی کم سبب بمباران کاند و فرسودگی شده و به ناپایداری قوس منجر خواهد شد.

الکترود بایستی درست شکسته شود یا مطابق دستورالعمل پیشنهادی سازنده سنگ زده شود. شکستن نادرست می تواند موجب دندانه ای شدن نوک الکترود یا خم شدن الکترود گردد که معمولاً به ضعف شکل قوس و گرم شدن اضافی الکترود منجر می شود.

الکترودهای بایستی با دقت جابجا شده و حتی المقدور تمیز نگهداشته شود.

برای دستیابی به تمیزی بیشتر بایستی تا موقع مصرف، الکترودها در بسته بندی اصلی خود باشند.

جریان گاز محافظ نه تنها بایستی هنگام جوشکاری برقرار باشد، بلکه بعد از قطع قوس نیز تا زمان خنک شدن الکترود بایستی گاز محافظ جریان داشته باشد.

وقتی الکترود درست خنک شود ، انتهای آن ظاهر براق و صاف دارد ولی وقتی بطور نادرست خنک شود ، ممکن است اکسیده شده و قشر نازک رنگی روی الکترود نمایان گردد. این قشر نازک اکسیدی اگر برطرف نشود ممکن است در کیفیت جوشهای بعدی اثر نامطلوب بگذارد. اتصالات مربوط به گاز محافظ و آب خنک کننده نبایستی نشتی داشته باشد.

بیرون زدگی الکترود از نگهدارنده بایستی در حداقل نگهداشته شود تا بتواند بوسیله گاز محافظ حتی در سرعتهای کمتر عبور گاز ، محافظت شود.

---

*- شدت جریان خیلی زیاد موجب دوب اضافی، چکیدن و یا فرار مواد الکترود می گردد.

از آلودگی الکترود بایستی پرهیز شود. تماس الکترود داغ با فلز مبنا یا سیم جوش و همچنین کافی نبودن میزان گاز محافظ علتهای آلودگی هستند. تجهیزات و خصوصاً نازل گاز محافظ بایستی تمیز و عاری از جرقه جوش نگهداشته شود. نازل کثیف نمی تواند نقش حفاظتی خود را خوب انجام دهد. کثیفی نازل موجب نادرستی عبور گاز و سرگردانی قوس می گردد و جوش را نامرغوب و مصرف الکترود را زیاد می کند.

جدول - تجزیه شیمیایی الکترودهای تنگستن

طبقه بندی AWS	حداقل تنگستن ٪	درصد اکسید توریم	درصد اکسید زیرکونیوم	حداکثر کل عناصر دیگر ٪
EWP	۹۹/۵	-	-	۰/۵
EWTh-1	۹۸/۵	۰/۸ تا ۱/۲	-	۰/۵
EWTh-2	۹۷/۵	۱/۷ تا ۲/۲	-	۰/۵
EWTh-3	۹۸/۹۵	۰/۳۵ تا ۰/۵۵	-	۰/۵
EWZr	۹۹/۲	-	۰/۱۵ تا ۰/۴۰	۰/۵

جدول - رنگ شناسایی الکترودهای تنگستن

طبقه بندی AWS	رنگ شناسائی
EWP	سبز
EWTh-1	زرد
EWTh-2	قرمز
EWTh-3	آبی
EWZr	قهوه ای

INCL INCLUSIVE شامل

THRU = لغایت

TO تا

$d = 12''$ ← عدد مورد نظر

$d = 12'' - 48''$ ← دو نفر در یک ردیف

$d = 48''$ ← ۲ یا ۳ نفر

$d = 56''$ ← ۴ نفر

48" ←

min 70 ضخامت شیر را در خط لوله باید برگرد

GTAW

PURE

EW Th

EW Th_2

EWZr

PURE

LAKE lAK

LIKE lIK

سفارش الکترود

با توجه به عوامل موثر در انتخاب نوع الکترود و نوع کار جوشکاری ، الکترود مناسب انتخاب شده و آنگاه بایستی الکترودهای مورد نظر از بازار خریداری شده و یا به کارخانه سازنده یا شرکتهای فروش الکترود سفارش داده شود برای اینکار بایستی نکات زیر در سفارش قید شده و مورد توجه قرار گیرد:

۱- جنس فلز مورد جوشکاری (مشخصات شیمیایی و مکانیکی یا یکی از آنها)

۲- شکل فلز مورد جوشکاری (نوع پروفیل و ورق یا لوله)

۳- قطرهای مورد نظر

٤- طول الکترود (یکی از طولهای متداول و یا در صورتیکه طول غیر استاندارد دیگری مورد نظر است ذکر گردد.)

۵- مقدار الکترود مورد نیاز از هر اندازه ذکر شود.

۶- گواهی آزمایش

چنانچه آخرین نتایج آزمایش کنترلی یا آزمایش اضافی برای آن الکترود لازم است در سفارش ذکر شود.

۷- بجای بندهای ۱ و ۲ میتوان شماره استاندارد و طبقه الکترود مورد نیاز را ذکر نمود.

مندرجات پاکت الکترود

روی پاکت الکترود بایستی اطلاعات زیر بطور خوانا درج شده باشد:

۱- نام شرکت یا کارخانه سازنده

۲- نام، شماره و یا علامت تجارتی آن الکترود

۳- طبقه بندی الکترود با یکی از استانداردها

٤- قطر و وزن الکترود

۵- شدت جریان توصیه شده برای جوشکاری

۶- نوع برق و اتصال قطبی توصیه شده

۷- شرایط خشک کردن و انبار کردن و یا هرگونه محدودیت مصرف و هر اطلاعات مهم دیگری که ضروری باشد.

PPM = PART PER MILION

گازهای محافظ جوشکاری AWS A5.32 SHIELDING GASES

نوع گاز، درجه خلوص و الزامات نقطه شبنم برای اجزاء گاز محافظ					
گاز	طبقه بندی AWS	حالت محصول	حداقل خلوص (درصد)	حداکثر رطوبت (قسمت در میلیون) PPM	نقطه شبنم حداکثر رطوبت
آرگون	SG-A	گاز	۹۹/۹۹۷	۱۰/۵	-۶۰
		مایع	۹۹/۹۹۷	۱۰/۵	-۶۰
دی‌اکسید کربن	SG-C	گاز	۹۹/۸	۳۲	-۵۱
		مایع	۹۹/۸	۳۲	-۵۱
هلیوم	SG-He	گاز	۹۹/۹۹۵	۱۵	-۵۷
		مایع	۹۹/۹۹۵	۱۵	-۵۷
هیدروژن	SG-H	گاز	۹۹/۹۵	۳۲	-۵۱
		مایع	۹۹/۹۹۵	۳۲	-۵۱
نیتروژن	SG-N	گاز	۹۹/۹	۳۲	-۵۱
		مایع	۹۹/۹۹۸	٤	-۶۸
اکسیژن	SG-O	گاز	۹۹/۵	۵۰	-٤۸
		مایع	۹۹/۵	۶/۶	-۶۳

طبقه بندی AWS برای نمونه مخلوط گازها

طبقه بندی AWS	نمونه مخلوط گازها (٪)	گاز
SG-AC-25	۲۵ – ۷۵	دی اکسید کربن + آرگون
SG-AO-2	۲ – ۹۸	اکسیژن + آرگون
SG-AHe-10	۱۰ – ۹۰	هلیوم + آرگون
SG-AH-5	۵ – ۹۵	هیدروژن + آرگون
SG-HeA-25	۲۵ – ۷۵	آرگون + هلیوم
SG-HeAC-7.5/2.5	۲/۵ – ۷/۵ – ۹۰	دی اکسید کربن + آرگون + هلیوم
SG-ACO-8/2	۲ – ۸ – ۹۰	اکسیژن + دی اکسید کربن + آرگون
SG-A-G	ویژه	مخلوط + آرگون

پیش گرمایش

برای اجتناب از ترک خوردن نقاط سخت شده در منطقه تاثیر حرارت در فولادهای فریتی، قبل از جوشکاری از پیش گرمایش استفاده می شود. پیش گرمایش عبارتست از گرم کردن قطعات مورد جوشکاری قبل از شروع جوشکاری.

پیش گرمایش دارای فواید زیر است :

۱- در جوشکاری قطعات با شکل پیچیده ، پیش گرمایش میتواند از ترک خوردن قطعه بر اثر تجمع تنش های حرارتی جلوگیری کند.

۲- برای جوشکاری فولاد کربنی ضخیم (لوله های با ضخامت بیشتر از ۱۹ میلیمتر) پیش گرمایش لازم است و هدایت حرارتی زیاد فولاد را جبران میکند، پیش گرمایش از افت حرارتی ناحیه جوش جلوگیری میکند.

۳- پیش گرمایش سرعت پراکنده سازی هیدروژن را افزایش میدهد و دور کردن هیدروژن از اتصال را تسهیل می‌نماید.

٤- پیش گرمایش تشکیل ساختارهای متالورژیکی نامطلوب با سختی بالا را بتعویق انداخته و همچنین استعداد ترک خوردن را کم می نماید.

۵- پیش گرمایش رطوبتی را که حضورش در هنگام جوشکاری مضر است، برطرف میسازد.

قوس الکتریکی آب را به هیدروژن و اکسیژن تجزیه میکند که این گازها برای جوش زیان آورند. هیدروژن اتمی ناشی از رطوبت قوس به داخل جوش نفوذ کرده و در حفره های ساختاری استقرار می‌یابد.

اگر فلز جوش بسرعت سرد شود بعضی از گازهای منطقه تاثیر حرارت در فلز مبنا تشکیل محفظه گاز میدهند و برخی دیگر تشکیل ناخالصیهای نامطلوب می دهند.

درجه حرارت پیش‌گرمایش به نوع اتصال، ضخامت فلز، جنس و ورودی حرارت هر پاس جوش بستگی دارد. اگر درجه حرارت فلز مبنا کمتر از ۱۵ درجه سانتیگراد باشد، پیش گرمایش ضروری است. منظور از درجه حرارت فلز مبنا درجه حرارت فلز تا فاصله ۱۵۰ میلیمتری اتصال است. اگر لبه دو فلز متصل شونده بهردلیل مرطوب باشد، جوشکاری نبایستی انجام شود و دو لبه مورد اتصال بایستی حداقل تا ۸۰ درجه سانتیگراد پیش گرمایش ببینند.

پهنای نواری که پیش گرم میشود حدود ۸۰ میلیمتر از هر طرف جوش است. پیش گرمایش با استفاده از مشعل یا با مقاومت الکتریکی انجام میشود.

درجه حرارت پیش گرمایش با دماسنج، ترموکوپل، پیرومتر تماسی یا با گچهای حرارتی مخصوص کنترل میگردد.

پیش گرمایش بایستی طبق مشخصات روش جوشکاری یا *WPS* انجام شود . درجه حرارت پیش گرمایش بایستی کنترل شود.

وقتی که پیش‌گرمایش لازم است جوشکاری بایستی بدون وقفه ادامه یابد، اگر در جوشکاری وقفه بیفتد، در آن صورت یا درجه حرارت پیش گرمایش حفظ میشود و یا اتصال به آرامی خنک میشود و قبل از آغاز مجدد جوشکاری ، پیش گرمایش دوباره اعمال می‌شود.

هرجا که پیش گرمایش توصیه شده بایستی قبل از خالجوش زدن، پیش‌گرمایش انجام شود و برای تمام خالجوش‌ها ادامه یابد. بعضی از مزایای پیش گرمایش بشرح زیر است:

۱- کاهش سرعت سرد شدن .

۲- کاهش انقباض و در نتیجه کاهش تنشهای انقباضی،

۳- افزایش قابلیت نرمی در منطقه تاثیر حرارت ،

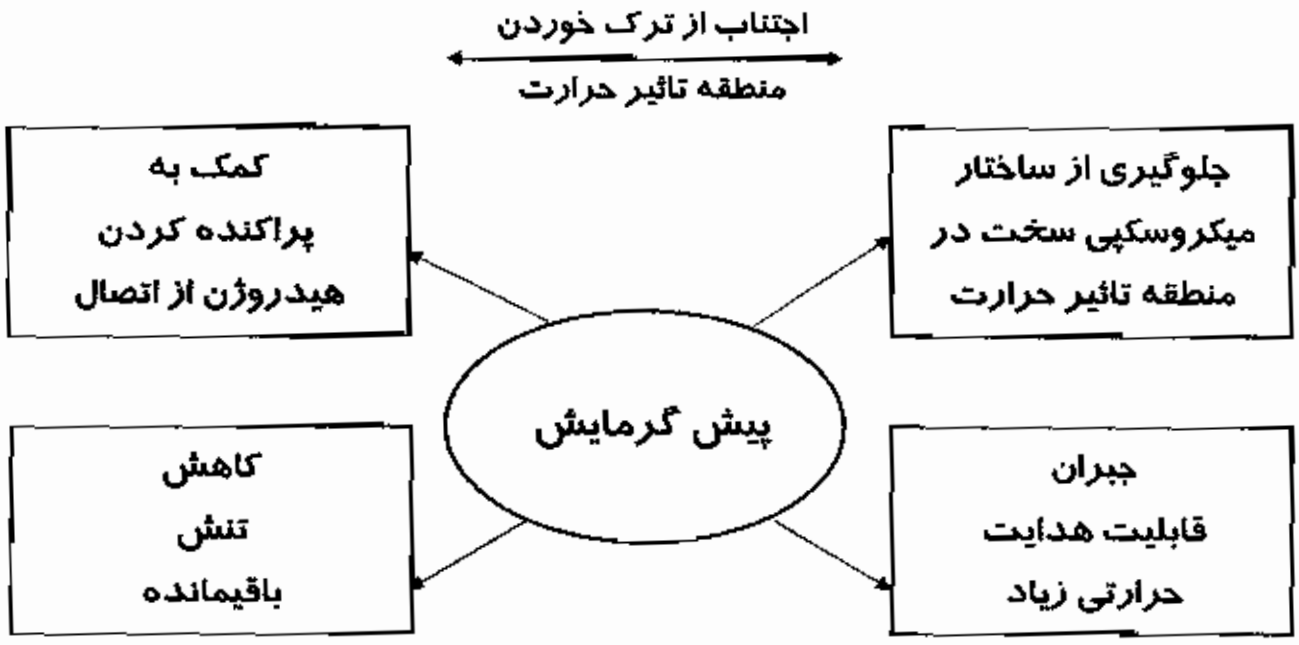
٤- کاهش سختی جوش قبل از تنش ردائی (خصوصاً در فولادهای با آلیاژ متوسط و پر آلیاژ)،

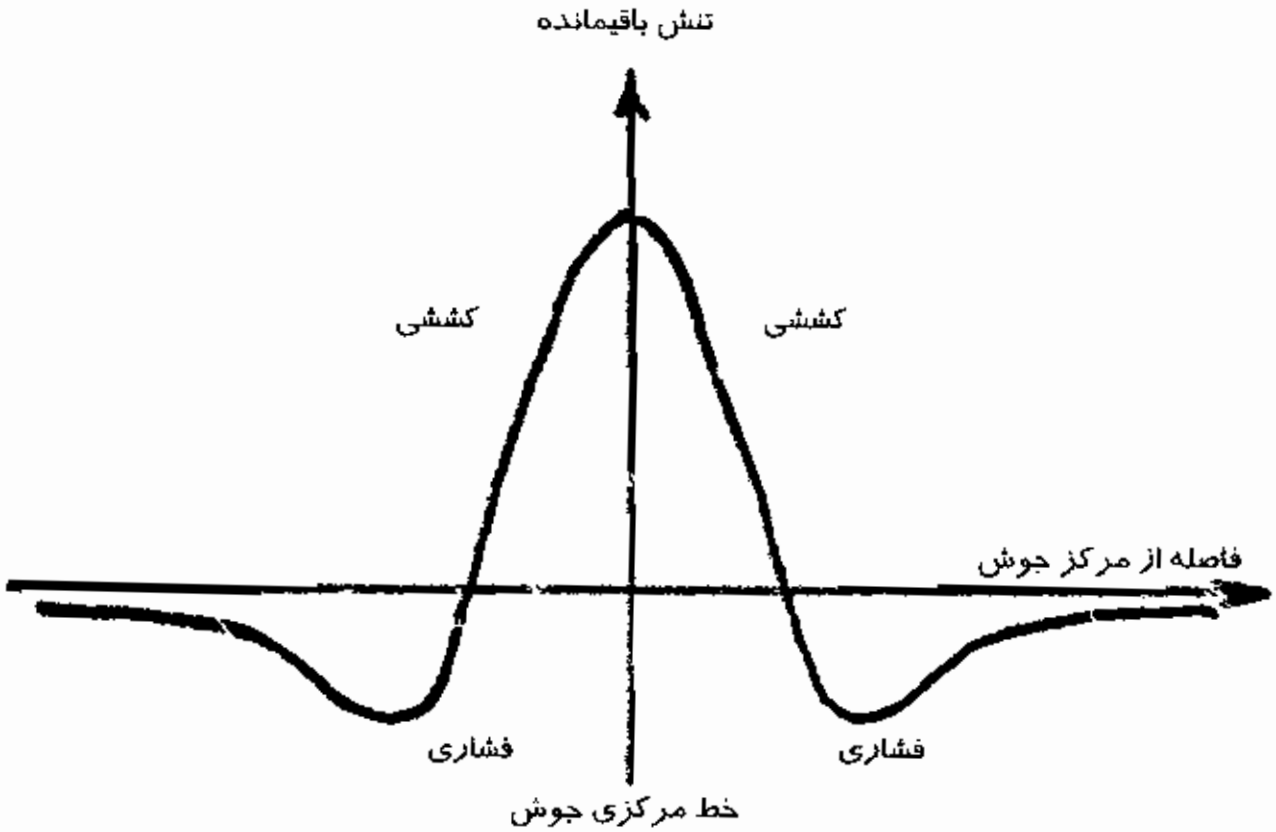
۵- افزایش فرار گاز هیدروژن از فلز جوش

۶- آسانتر شدن جوش بعلت سیلان بهترجوش مذاب و کم شدن حبس سرباره در داخل جوش

پیش گرمایش خصوصاً برای پاس ریشه حائز اهمیت است، بطوری که هیچ جوشی نبایستی شروع شود مگر آنکه شیار جوش به حداقل درجه حرارت پیش گرمایش مقرره رسیده باشد.

برای جوشکاری تعمیری، پیش گرمایش بایستی مشابه آنچه که در روش جوشکاری برای جوش اصلی درنظر گرفته شده است، باشد.





تنش ناشی از جوشکاری در جوش و فلز مبنا

تنش زدائی

در قطعات جوش شده بعلت ممانعت فلز مبنا حین انجماد حوش ، تنشهای باقیمانده زیادی بوجود می آید. حوضچه مذاب بسرعت منجمد می شود و منقبض می گردد فلز مبنا با این انقباض مقابله می کند و در نتیجه هم در جوش و هم در فلز مبنا تنش بوجود می آید .

این تنش ممکن است به اندازه تنش تسلیمی خود جنس فلز اصلی برسد و وقتی که با تنشهای ناشی از بار گذاری عادی ترکیب شود، تنش منتجه از تنش مجاز یاتنش طراحی تجاوز کند .

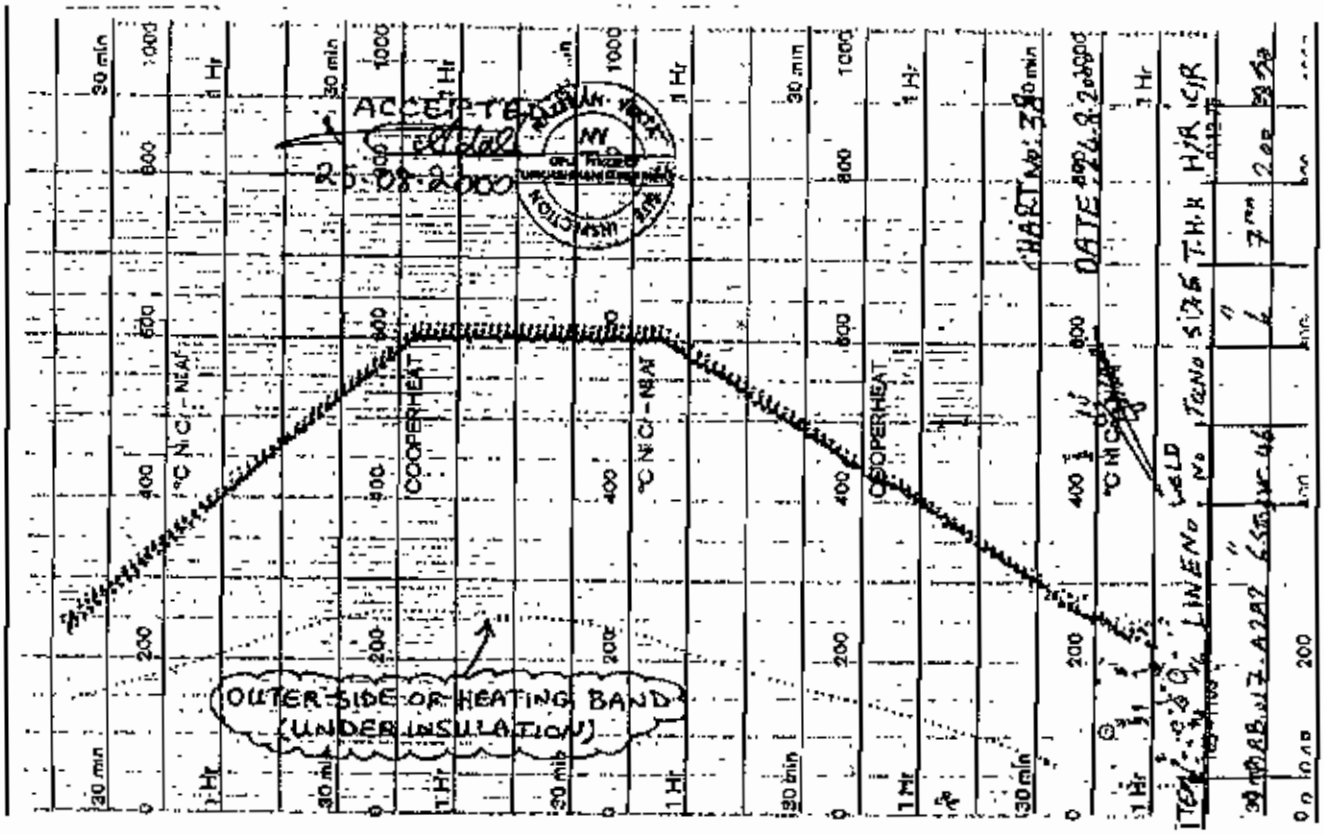
متداولترین روش تنش‌زدائی، عملیات حرارتی پس ازجوشکاری است. بهترین راه تنش‌زدائی قطعات کوچک یا حتی ظروف تحت فشار ساخته شده در کارخانه ساخت ، استفاده از کوره های تنش زدائی است یعنی در خاتمه عملیات جوشکاری قطعه یا ظرف در کوره قرار گرفته و با حرارت یکنواخت و درجه حرارت کنترل شده تنش زدائی می گردد . روش حرارت دادن نبایستی برای فلز مورد نظر زیان آور باشد . قطعه کار بایستی طوری بر تکیه گاه بنشیند که از پیچیدگی موضعی جوش جلوگیری شود .

افزایش درجه حرارت بایستی تدریجی بوده و سرعت گرم شدن در تمام قسمتهای جوش بایستی یکسان باشد . فولادهای ساده ساختمانی معمولا ۲۰ ± ۶۰۰ درجه سانتیگراد گرم می شوند . فولادهای دیگر بسته به خصوصیات تسلیمی فلز مربوطه به درجه حرارت بالاتری نیاز دارند . وقتی که قطعه به درجه حرارت حد اکثر می رسد ، مدتی در آن درجه حرارت نگهداشته می شود . مدت نگهداری در حد اکثر درجه حرارت به ضخامت قطعه و حالت خمیری شدن فولاد بستگی دارد . این مدت معمولا یک ساعت بازاء هر یک اینچ ضخامت فلز است .

جوش قطعه ضخیم بایستی مدت کافی در درجه حرارت مورد نظر نگهداشته شود تا از آزاد شدن تنش اطمینان حاصل گردد .

کاهش درجه حرارت نیز بایستی تدریجی بوده و با سرعتی باشد که از یکنواختی درجه حرارت سر تاسر قطعه اطمینان حاصل شود . در محل نصب ، همیشه حرارت دادن کل قطعه مثلا شبکه لوله کشی مقدور نمی باشد در چنین حالتی تنش زدائی با حرارت دادن قسمتی از لوله بصورت استوانه ای شامل جوش و منطقه تاثیر حرارت و قسمتی از فلز مبنای طرفین جوش عمل تنش زدائی انجام می شود .

در موقع تنش زدائی بایستی قطعه آزادی انبساط و انقباض داشته باشد ، در غیر اینصورت تنش های اضافی که به قطعه وارد می شود ممکن است از تنشهای اولیه مورد نظر بیشتر باشد .



PIPE DIA. = 6" WELD WIDTH = 15 mm
INSULATION BAND = 620 mm WALL THICKNESS = 7mm
INSULATION THK. = 25 mm

شکل - در عملیات تنش زدائی ، برای جلوگیری از گرادیان حرارتی شدید بین نقاط بیرون و داخل عایق بایستی پهنای نوار عایق بقدر کافی باشد که دمای نقطه کناری فلز زیر عایق از نصف دمای تنش زدائی بیشتر نشود .
در اینجا ۳۰۰ = ۲ – ۶۰۰ نمودار رسم شده از ترموکوپل کناری زیر عایق نشان می دهد که درجه حرارت آن حد اکثر به ۲۶۰ درجه رسیده است ، بنا براین پهنای عایق کافی است .

روشهای متعددی برای کاهش مقدار تنش های باقیمانده در اتصالات جوش داده شده بکار برده میشود . عملیات حرارتی ، بار گذاری اضافی و عملیات ارتعاشی از جمله روشهای تنش‌زدائی هستند. ولی متداولترین آنها دوره گرم کردن و سرد کردن کنترل شده یعنی تنش زدائی حرارتی میباشد . در این تکنیک از این واقعیت استفاده می شود که تنش تسلیم فلز با افزایش درجه حرارت کاهش می یابد .

اگر اتصال جوش داده شده مثلا تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد گرم شود ، تنش کششی باقیمانده که معادل با تنش تسلیمی قبلی فلز در درجه حرارت محیط بود ، از تنش تسلیمی فعلی فلز در درجه حرارت ۶۰۰ درجه سانتیگراد بیشتر می شود ، لذا تغییر شکلهای خمیری موضعی بوجود می‌آید و تنشهای کششی کاهش می یابد . بطور همزمان تنشهای فشاری نیز برای حفظ تعادل با تنشهای کششی کم می شود .

در عملیات تنش زدائی ، درجه حرارت تا جائی بالا برده می شود که تنش تسلیم به مقداری پایین بیاید که نتواند تنشهای باقیمانده را نگهدارد . بدیهی است که این درجه حرارت به جنس فلز مورد عملیات حرارتی بستگی دارد . از آنجائی که رابطه بین تنش تسلیم و درجه حرارت بحرانی بوسیله درصد عناصر آلیاژی فلز تاثیر می پذیرد ، از اینرو درجه حرارت تنش زدائی مخازن تحت فشار با جوش ذوبی در ***BS 5500*** منعکس گردیده است (جدول) .

جدول ۱۲- درجه حرارت تنش زدائی مخازن تحت فشار با جوش ذوبی

نوع فولاد	درجه حرارت تنش زدائی (درجه سانتیگراد)
کم کربن	۵۸۰ – ۶۲۰
کربن – منگنز	۵۸۰ – ۶۲۰
کربن - $\frac{1}{2}$ ٪ مولیبدن	۶۳۰ – ۶۷۰
۱٪ کرم- $\frac{1}{2}$ ٪ مولیبدن	۶۳۰ – ۶۷۰
$\frac{1}{4}$ ۲٪کرم – ۱٪ مولیبدن	۶۸۰ – ۷۲۰
۵٪ کرم- $\frac{1}{2}$ ٪ مولیبدن	۷۱۰ – ۷۵۰
$\frac{1}{2}$ ۳٪ نیکل	۵۸۰ – ۶۲۰

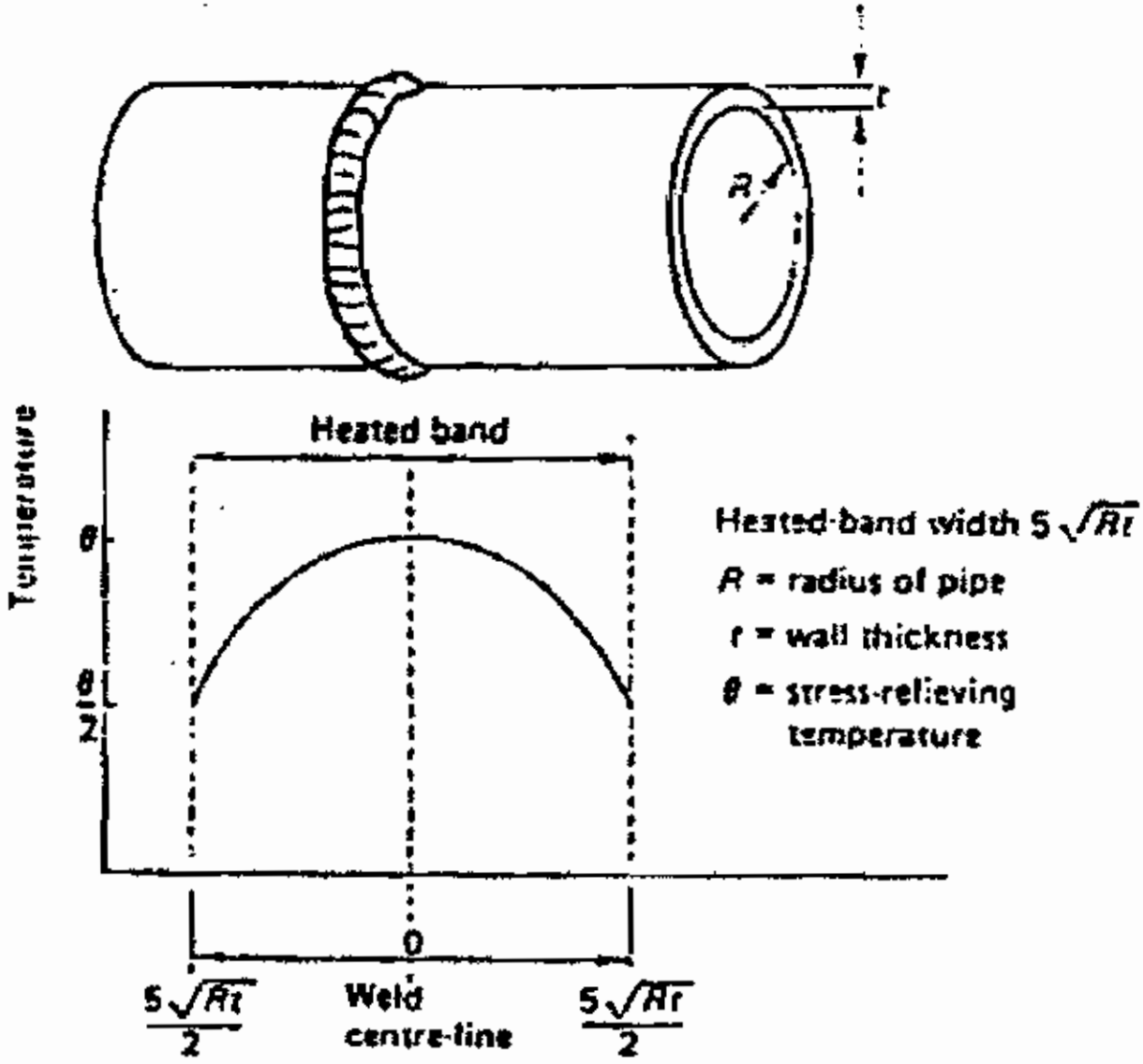
اگر قرار است عملیات حرارتی تنش باقیمانده را بطور مطلوبی کاهش دهد ، عدم وجود انبساط و انقباض اختلافی حائز اهمیت است چه در غیر اینصورت در اثر اختلاف در انبساط و انقباض تنشهای باقیمانده جدیدی پدید می آید . گرم کردن و سرد کردن بایستی بدقت کنترل شود بطوری که درجه حرارت سر تا سر قطعه یکنواخت باشد و برای این منظور کوره های ویژه ای دارای سیستم کنترل درجه حرارت طراحی شده باشد .

در این کوره ها که کل قطعه یا سازه حرارت داده می شود مسئله اجتناب از شیب حرارتی را آسان می نماید . **حرارت دادن موضعی برای تنش زدائی خصوصا برای اتصالات جوشی ورقهای تخت توصیه نمی شود زیرا همیشه خطر ایجاد تنشهای بیشتر وجود دارد .**

در این ارتباط تنش زدائی جوش لوله مسائل دیگری دارد . تنش زدائی بایستی اغلب برای کاهش مسائل خوردگی مطلوب باشد ، ولی عملیات حرارتی کل تاسیسات لوله کشی بطور یکجا مقدور نمی باشد .

بنابراین تنش زدائی موضعی اتصالات لوله (بصورت استوانه ای) در جای اصلی خودش از طرف بعضی اولیای امور مجاز است بشرط آنکه توزیع درجه حرارت کنترل شود .

این کنترل با تعیین حد اقل درجه حرارت در مرکز اتصال و درجه حرارت در نقطه ای با فاصله معینی از جوش (بطور مثال مطابق شکل) اعمال شود .



شکل- مشخصات نمونه برای توزیع درجه حرارت حین تنش زدائی موضعی اتصالات جوش لب بلب در لوله

چهار روش اصلی برای عملیات حرارتی بعد از جوشکاری وجود دارد :

الف – حرارت دادن با مشعل گازی .

ب- حرارت دادن القائی .

ج- حرارت دادن مقاومتی .

د- حرارت دادن با واکنشهای گرما زا .

هر سیکل حرارتی پنج مرحله جداگانه دارد :

الف- گرم کردن سریع اولیه .

ب- گرم کردن با سرعت کنترل شده .

ج- زمان نگهداشتن در درجه حرارت مطلوب .

د- سرد کردن با سرعت کنترل شده .

ه- سرد کردن نهائی (تا درجه حرارت محیط) .

طبق استاندارد ***ASME*** بخش ***VIII*** برای تنش زدائی نرخ گرم کردن و نرخ سرد کردن در دمای بالای ٤٢٧ درجه سانتیگراد بایستی با فرمولهای زیر مطابقت داشته باشد :

$$\text{حد اکثر نرخ گرم کردن} = \frac{۲۲۲}{t} \text{ (درجه سانتیگراد در ساعت)}$$

$$\text{حد اکثر نرخ سرد کردن} = \frac{۲۷۸}{t} \text{ (درجه سانتیگراد در ساعت)}$$

t = ضخامت فلز بر حسب اینچ

ضخامت لوله

ضخامت لوله ممکن است به چهار صورت ارائه شود :

الف – میلیمتر

ب – اینچ

ج- *Sch No = Schedule No*

د- *Wall designation*

الف و ب – هر اینچ برابر ٤/ ۲۵ میلیمتر است و به راحتی می توان اینچ را به میلیمتر یا میلیمتر را به اینچ تبدیل نمود .

ج- در مورد *Sch* تقسیم بندی بشرح زیر ارائه شده است :

5,10,20,30,40,60,80,100,120,140,160

د- *Wall designation* تقسیم بندی های زیر را دارد :

STD = 40S *EH = XS = 80S* *DBLE EH = XXS*

STD مخفف *STANDARD* و *EH* مخفف *Extra Heavy* ،

DBLE EH مخفف *Double Extra Heavy* ،

XS مخفف *Extra Strong* ،

XXS مخفف *Double Extra Strong* می باشد.

رابطه بین *Sch* و *Wall designation*

STD (40s) و *Sch 40* برای لوله های تا قطر اسمی ۱۰ اینچ با یکدیگر مساوی هستند و از آن به بعد فرق دار ند .

XS (80S یا *EH)* و*sch 80* برای لوله های تا قطر اسمی ۸ اینچ با یکدیگر مساوی هستند و از آن به بعد تفاوت دارند . *XXS (DBLE EH)* از *Sch 160* ضخیم تر است .

جدول پیوست نمونه ای از این تقسیم بندی ها را نشان می دهد .

تبصره : اعداد فوقانی معرف ضخامت دیواره بر حسب میلیمتر و اعداد تحتانی معرف وزن هر متر لوله بر حسب کیلو گرم می باشد .

SI – UNITS (METRIC)
ANSI Pipe Schedule

OD = mm
Wall Thickness = mm
Weight = kg /m
Vol/m = m^3

Nominal pipe size Inches	OD mm	10	20	30	STD	40	60	XS	80	100	120	140	160	XXS	5S	10S	40S	80S	Vol/m m^3
1/8	10.30				1.73	1.73		2.41	2.41							1.24	1.73	2.41	0.0001
1/4	13.70				2.24	2.24		3.02	3.02							1.65	2.24	3.02	0.0001
3/8	17.10				2.31	2.31		3.20	3.20							1.65	2.31	3.20	0.0003
1/2	21.30				2.77	2.77		3.73	3.73				4.78	7.47	1.65	2.11	2.77	3.73	0.0004
3/4	26.70				2.87	2.87		3.91	3.91				5.56	7.92	1.65	2.11	2.87	3.91	0.0007
1	33.40				3.38	3.38		4.55	4.55				6.35	9.09	1.65	2.77	3.38	4.55	0.0011
11/4	42.20				3.56	3.56		4.85	4.85				6.35	9.70	1.65	2.77	3.56	4.85	0.0018
11/2	48.30				3.68	3.68		5.08	5.08				7.14	10.15	1.65	2.77	3.68	5.08	0.0023
2	60.30				3.91	3.91		5.54	5.54				8.74	11.07	1.65	2.77	3.91	5.54	0.0036
21/2	73.00				5.16	5.16		7.01	7.01				9.53	14.02	2.11	3.05	5.16	7.01	0.0055
3	88.90				5.49	5.49		7.62	7.62				11.13	15.24	2.11	3.05	5.49	7.62	0.0079
31/2	101.60				5.74	5.74		8.08	8.08				-	-	2.11	3.05	5.74	8.08	0.0103
4	114.30				6.02	6.02		8.56	8.56		11.13		13.49	17.12	2.11	3.05	6.02	8.56	0.0130
5	141.30				6.55	6.55		9.53	9.53		12.70		15.88	19.05	2.77	3.40	6.55	9.53	0.0199
6	168.30				7.11	7.11		10.97	10.97		14.27		18.26	21.95	2.77	3.40	7.11	10.97	0.029
8	219.10		6.35	7.04	8.18	8.18	10.31	12.70	12.70	15.09	18.26	20.62	23.01	22.23	2.77	3.76	8.18	12.70	0.046
10	273.10		6.35	7.80	9.27	9.27	12.70	12.70	15.09	18.26	21.44	25.40	28.58	25.40	3.40	4.19	9.27	12.70	0.074
12	323.90		6.35	8.38	9.53	10.31	14.27	12.70	17.48	21.44	25.40	28.58	33.32	25.40	3.96	4.57	9.52	12.70	0.104
14	355.60	6.35	7.92	9.53	9.53	11.13	15.09	12.70	19.05	23.83	27.79	31.76	35.71		3.96	4.78			0.126
16	406.40	6.35	7.92	9.53	9.53	12.70	16.68	12.70	21.44	26.19	30.96	36.53	40.49		4.19	4.78			0.165
18	457.00	6.35	7.92	11.13	9.53	14.27	19.05	12.70	23.88	29.36	34.93	39.67	45.24		4.18	7.76			0.208
20	508.00	6.35	9.53	12.70	9.53	15.09	20.62	12.70	26.19	32.54	38.10	44.45	50.01		4.78	5.54			0.258
22	559.00	6.35	9.53	12.70	9.53	-	22.23	12.70	28.58	34.93	41.28	47.63	53.98		4.78	5.54			0.312
24	610.00	6.35	9.53	14.27	9.53	17.46	24.61	12.70	30.96	38.89	46.02	52.37	59.54		5.54	6.35			0.372
26	660.00	7.92	12.70	-	9.53	-		12.70											0.435
28	711.00	7.92	12.70	15.88	9.53			12.70											0.506
30	762.00	7.92	12.70	15.88	9.53	-		12.70							6.35	7.92			0.580
32	813.00	7.92	12.70	15.88	9.53	17.46		12.70											0.660
34	864.00	7.92	12.70	15.88	9.53	17.46		12.70											0.748
36	914.00	7.92	12.70	15.88	9.53	19.05		12.70											0.835
38	965.00				9.53			12.70											0.931
40	1016.00				9.53			12.70											1.032
42	1067.00				9.53			12.70											1.138
44	1118.00				9.53			12.70											1.249
46	1168.00				9.53			12.70											1.364
48	1219.00				9.53			12.70											1.485

جوشکاری فلزات غیر همجنس

- فلز جوش در اتصال غیر همجنس نبایستی فاز شکننده ایجاد کند . از اینرو در بعضی موارد از لایه‌های واسطه استفاده می شود .
- مقاومت به خوردگی فلز جوش در اتصال غیر همجنس از مقاومت به خوردگی طرف ضعیف تر بیشتر نخواهد شد . غالبا در توصیه های جوشکاری فلزات غیر همجنس به مقاومت مکانیکی اتصال توجه می شود . بنا براین جنبه های مقاومت به خوردگی بایستی قبلا مورد توجه قرار گیرد .
- برای اجتناب از بروز ترکهای هیدروژنی در طرف فولاد بیشتر از الکترودهای روپوش قلیائی استفاده می شود .
- در جوشکاری فلزات غیر همجنس بایستی هر فلز فرا خور حال خود پیشگرم شود .

جوش پذیری فولاد با افزایش قابلیت سخت شوندگی کاهش می یابد بنابراین ارزیابی دقیق این موضوع حائز اهمیت فراوانی است .

متداولترین راه بررسی جوش پذیری فولاد ، محاسبه (معادل کربن) است .

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

برای جوشکاری فولادهای با معادل کربن مختلف ، پارامترهای جوشکاری برای فولاد با بیشترین معادل کربن و الکترود برای فولادبا کمترین معادل کربن در نظر گرفته می شود . اجتناب از بکار گیری الکترود با معادل کربن خیلی بالا که خطر ترک خوردن را افزایش می دهد حائز اهمیت است .

با انتخاب درست الکترود و پارامترهای جوشکاری می توان به قابلیت سخت شوندگی و خواص مکانیکی بینابین دست یافت .

معادل کربن بر درجه حرارت لازم برای پیش گرمایش تاثیر می گذارد .

برای جوشکاری فولادهائی که دارای معادل کربن متفاوت هستند ، میزان پیش گرمایش بایستی برمبنای فولاد با بیشترین کربن معادل تنظیم شود .

معادل کربن	درجه حرارت توصیه شده برای پیش گرمایش (درجه سانتیگراد)
کمتر از ۰/٤	کمتر از ۱۰۰
۰/٤تا ۰/۶	۱۵۰ تا ۲۰۰
بیشتر از ۰/۶	۲۵۰ تا ۳۰۰
فولاد ابزار، فولادفنر، فولاد با ترکیب نامعلوم	تا حدود ۳۰۰

اتصال فولاد زنگ نزن به فولاد نرم

مخلوط این دو جنس موجب تشکیل ساختارهای شکننده می گردد . تشکیل ساختارهای شکننده به ترکیب شیمیائی فلز جوش بستگی دارد . ساختار شکننده مارتنزیت است که بطور کلی برای اجتناب از تشکیل ناحیه مارتنزیتی بایستی فلز جوش به سمت ناحیه کم خطر تر سوق داده شود . اینکار با استفاده از فلز پر کننده با جنس متفاوت با هر دو جنس متصل شونده انجام میشود . اگر از فلز پر کننده فولاد نرم استفاده شود در طرف فولاد زنگ نزن ، ساختار میکروسکوپی مارتنزیتی بر آلیاژ تشکیل می گردد

چنانچه از فلز پر کننده هم ترکیب فولاد زنگ نزن استفاده شود ، ساختار میکروسکوپی مارتنزیتی در طرف فولاد نرم تشکیل می گردد. ساختا میکروسکوپی مارتنزیتی بطور زیادی موجب ترک خوردن میشود که غالبا مشاهده این ترکها خیلی مشکل است .

در عوض فلز پر کننده صحیح بایستی از نوع فولاد زنگ نزن پر آلیاژ تر یا از نوع آلیاژهای پایه نیکل باشد تا فلز جوش قابلیت نرمی داشته باشد .

فولاد زنگ نزن اوستنیتی نبایستی پیش گرم شود زیرا پیش گرم کردن فولاد زنگ نزن اوستنیتی احتمال ته نشینی کاربیدی در مرزدانه و تشکیل فاز زیگما را زیاد می کند .

فاز زیگما ، فاز شکننده و سخت است که شدیدا خطر ترک خوردن را افزایش می دهد . فولاد فریتی یا فریتی – مارتنزیتی ۱۳ درصد کرم و فولاد فریتی ۱۷ تا ۲۵ درصد کرم از این قاعده مستثنی هستند و پیش گرمایش ۱۵۰ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد برای این فولادها خطر ترک خوردن را کاهش می دهد .

اتصال چدن به فولاد

محدودیت جوش پذیری چدن تعیین کننده فلز پرکننده و پارامترهای جوشکاری است اگر مقاومت فلز جوش مورد نظر است می توان از فلز پرکننده پایه نیکل استفاده نمود .

فرایندهای جوشکاری که دارای ورودی حرارت بالا و حوضچه بزرگ جوش هستند ، برای اتصال چدن مناسب نیستند .

بعضی از چدنها مثل چدن سفید غنی از کاربید بعلت تمایل به ترک خوردن اصولا جوش پذیر نیستند . در بیشتر موارد جوشکاری مستقیم چدن به فولاد با استفاده از فلز پر کننده پایه نیکل مقدور است . در مواردی که قابلیت جوش کافی نمی باشد ، می توان از روش لایه واسطه با فلز پر کننده پایه نیکل استفاده کرد .

جوشکاری چدن می تواند بدون پیش گرمایش انجام شود ولی در صورت امکان درجه حرارت کاری حدود ۳۰۰ درجه سانتیگراد ارجح است . قطعات کوچک را می توان تماما گرم نمود در حالی که قطعات بزرگ بطور موضعی در اطراف ناحیه جوش حرارت داده می شوند .

چون چدن قابلیت نرمی پایین و انبساط حرارتی کم دارد ، کاهش تنشهای انقباضی در فلز جوش ضروری است . این عمل بوسیله نواختن مستقیم فلز جوش با چکش سرگرد به بهترین نحو اجرا میشود . همچنین استفاده از الکترودهای با قطر کوچکتر و جوشکاری بصورت خطی ساده و کوتاه (۳ تا ۵ سانتیمتر) موجب کاهش تنشهای انقباضی در فلز جوش می گردد . در حین جوشکاری هدایت قوس بطرف فلز جوش قبلی (نه بطرف فلز مبنا) ضرورت دارد

بطور کلی جوشکاری چدن به فولاد به روش قوسی فلزی دستی انجام می شود ولی برای قطعات بزرگتر روش جوشکاری قوسی دستی نیز مورد استفاده قرار می گیرد .

TABLE : 2

FILLER METAL FOR WELDING DISSIMILAR MATERIAL

Base Material Number	Nominal Analysis of Base Materials	Base Material Number																						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	Carbon steel		A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	D	C
2	Carbon-Molybdenum Steel	A		E	C	E	E	E	E	E	E	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	D	C
3	2.25% Nickel & 3.5% Nickel steel	A	E		C										B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C
4	9% Nickel Steel	A	E	C											C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
5	1% Cr - 0.5% Mo steel	A	E				F	F	F	F	F				B	B	B	B	B	B	B	B	C	D	C
6	1.25% Cr - 0.5% Mo steel	A	E			F		F	F	F	F				B	B	B	B	B	B	B	B	C	D	C
7	2.25% Cr - 1% Mo Steel	A	E			F	F		F	G	G				B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C
8	5% Cr - 1/2% Mo Steel	A	E			F	F	H		H	H				B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C
9	7% Cr - 1/2% Mo Steel	A	E			F	F	G	H		I				B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C
10	9% Cr - 1% Mo Steel	A	E			F	F	G	H	I			J	J	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C
11	Type 405 Stainless steel	B	B										K		X	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C
12	Type 410S Stainless steel	B	B								J	K		K	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C
13	Type 410 Stainless steel	B	B								J	K	X		B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C
14	Type 304 Stainless steel	B	B	B	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B		L	L	P	L	L	O	O	C	C	C
15	Type 304L Stainless steel	B	B	B	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	L		M	M	L	M	O	O	C	C	C
16	Type 321 Stainless steel	B	B	B	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	L	M		N	L	M	O	O	C	C	C
17	Type 347 Stainless steel	B	B	B	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	P	M	N		P	M	P	P	C	C	C
18	Type 316 Stainless steel	B	B	B	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	L	L	L	P		Q	O	O	C	C	C
19	Type 316L Stainless steel	B	B	B	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	L	M	M	M	Q		O	O	C	C	C
20	Type 309 Stainless steel	B	B	B	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	O	O	O	P	O	O		R	C	C	C
21	Type 310 Stainless steel	B	B	B	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	O	O	O	P	O	O	R		C	C	C
22	Alloy 800 (Incolloy 800)	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C		C	C
23	Monel 400	D	D	C	C	D	D	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C		C
24	Inconel 625	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	

NOMENCLATURES:

A - AWS A5.1 classification EXX15, EXX16, EXX18.

B - AWS A5.4 and A5.11, classification E309-xx (only for service temperature up to 350°C), ENiCrFe-3 (Inconel 182), or ENiCrFe-2

C - AWS A5.11 classification ENiCrFe-3 (Inconel 182) or ENiCrFe-2 (Inco-Weld A).

D - AWS A5.11, classification ENiCrFe-3 (Inconel 182), ENiCrFe-2 (Inco-Weld A), or ENiCr-7 (Monel 190).

E - AWS A5.5, classification E7015-A1, E7016-A1, or E7018-A1.

F - AWS A5.5, classification E8016-B2, or E8015-B2L, E8018-B2L

G - AWS A5.5, classification E9015-B3, E9016-B3, E9018-B3 or E9015-B3L, E9018-B3L

H - AWS A5.4, classification E502-XX.

I - AWS A5.4, classification E7Cr-XX.

J - AWS A5.4, classification E505-XX.

K - AWS A5.4 and A5.11, classification E410-XX, E410 Cb-XX, E309-XX, ENiCrFe-3 (Inconel 182), or ENiCrFe-2 (Inco-Weld A).

L - AWS A5.4, classification E308-XX.

M - AWS A5.4, classification E308L-XX.

N - AWS A5.4, classification E347-XX.

O - AWS A5.4, classification E309-XX or E308-XX.

P - AWS A5.4, classification E308-XX or E347-XX.

Q - AWS A5.4, classification E316-XX or E316L-XX.

R - AWS A5.4, classification E309-XX

NOTE:

1. Blank spaces in Table 1 indicate combination that are considered unlikely or unsuitable

2. Table 1 refers to coated electrodes. For bare wire welding (SAW, GMAW, GTAW), use equivalent electrode classifications (AWS A5.9, A5.14, A5.17, A5.18, A5.20, A5.23, and A5.28)

WELDING OF PRESSURE CONTAINING PIPING AND EQUIPMENT

TABEL – Filler metal joining dissimilar materials

Base Material Number	Base Material Type	Base Material Number															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Carbon Steel	A	D	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
2	Carbon–molybdenum Steel		D	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
3	3 1/ 2 % Nickel Steel			E	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
4	9% Nickel Steel				B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
5	AISI Type 410 S					B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
6	AISI Type 410						B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
7	AISI Type 304							G	G	H	H	H	H	H	H	H	H
8	AISI Type 304 L								K	H	H	H	H	H	H	H	H
9	AISI Type 321									H	H	H	H	H	H	H	H
10	AISI Type 347										H	H	H	H	H	H	H
11	AISI Type 316											L	L	C	N	B	B
12	AISI Type 316 L												M	C	N	B	B
13	AISI Type 309S													C	N	B	B
14	AISI Type 310														N	B	B
15	Incoloy 825															B	B
16	Incoloy 625																B

Filler Material AWS Classification :

A- E-XX16 or E-XX18

B- Inco-Weld A. Inconel 82 or Inconel 182

C - E309 – 15 or E309 – 16

D- E7018 – A1

E- E80XX-C1 Alternatively one of following classifications of the AWS A.5.11 : E Ni Cr Fe – 3 or E Ni Cr Mo – 3 Subject to approval by ... May also be used.

G- E308 – 15 or E308 – 16

H- E347 – 15 or E 347 – 16

J- Use filler materials complying with one of the following calssifications of the AWS A 5.11 : E Ni Cr Fe – 3 or E Ni Cr Mo – 3

K- E308L – 15 or E308l – 16

L- E316 – 15 or E316-16

M- E316L – 15 or E316L-16

N- E310 – 15 or E310-16

انتخاب الکترودهای درست ok برای اتصال فلزات غیرهمجنس

Choose the right OK Electrodes for Joining – Dissimilar Materials

1. OK 67.70 , OK 67.75 — 1 = E309 Mo – 16 , E309 - 15
2. OK 67.15 , OK 67.45 , OK 68.81 — 2= E310 - 15
3. OK 63.35 , OK 63.30 — 3 = E316-15 , E316L-15

فولاد نرم و فولاد کربن - منگنز Mild Steel and Carbon-Manganese Steel	تمام انواع فولادهای زنگ نزن All Type of Stainless Steel

1. OK 92.26 — 1 =
2. OK 67.70 , OK 67.75 , OK 67.45 — 2= E309 Mo – 16 , E309 - 15
3. OK 63.30 , OK 63.35 — 3 = E316L-16 , E316-15

فولاد کم آلیاژ برای بهره برداری در درجه حرارت بالا Low-Alloye Steel for Elevated Temperature Service	تمام انواع فولاد زنگ نزن All Types of Stainless Steel

Never Use unalloyed electrodes for these Joints.

OK Selectrode 92.18 — E Ni - Cl
OK Selectrode 92.58 — E Ni Fe - Cl

ALL Types of Steel تمام انواع فولاد	Cast Iron چدن	Cast Iron چدن	Nodular چدن Cast Iron با گرافیت کروی

OK Selectrode 92.58 — E Ni Fe - Cl
OK Selectrode 92.18 — E Ni - Cl

All Types of Steel تمام انواع فولاد	Nodular Cast Iron چدن باگرافیت کروی	Nodular Cast Iron چدن باگرافیت کروی	Malibel Cast Iron چدن مالیبل

OK Selectrode 94.25

All Types of Steel تمام انواع فولاد	Copper and Copper Alloy مس و آلیاژهای مس	All Types of Cast Iron تمام انواع چدن

۱- انتخاب دست اول First Hand Choice
۲- انتخاب دست دوم Second Hand Choice
۳- انتخاب دست سوم Third Hand Choice

تاثیر خواص منطقه تاثیر حرارت بر کیفیت و مقاومت جوش

انتقال حرارت از حوضچه جوش به فلز مبنا، از بخشهای اساسی فرایند انجماد می باشد . تاثیر ثانوی انتقال حرارت ، بالا بردن درجه حرارت فلز مبنای مرز ذوب است که در این ناحیه چند واکنش متالورژی بوقوع می پیوندد .

این واکنشهای متالورژی بر خواص مکانیکی اتصال جوش تاثیر می گذارند یعنی مقاومت کششی و مقاومت ضر به ای را کم می کنند و سختی را زیاد می کنند و یا ترک تشکیل می دهند .

ساختار فلز مبنا در ناحیه تاثیر حرارت بستگی به ترکیب شیمیائی آن و چگونگی گرم کردن و سرد کردن دارد .

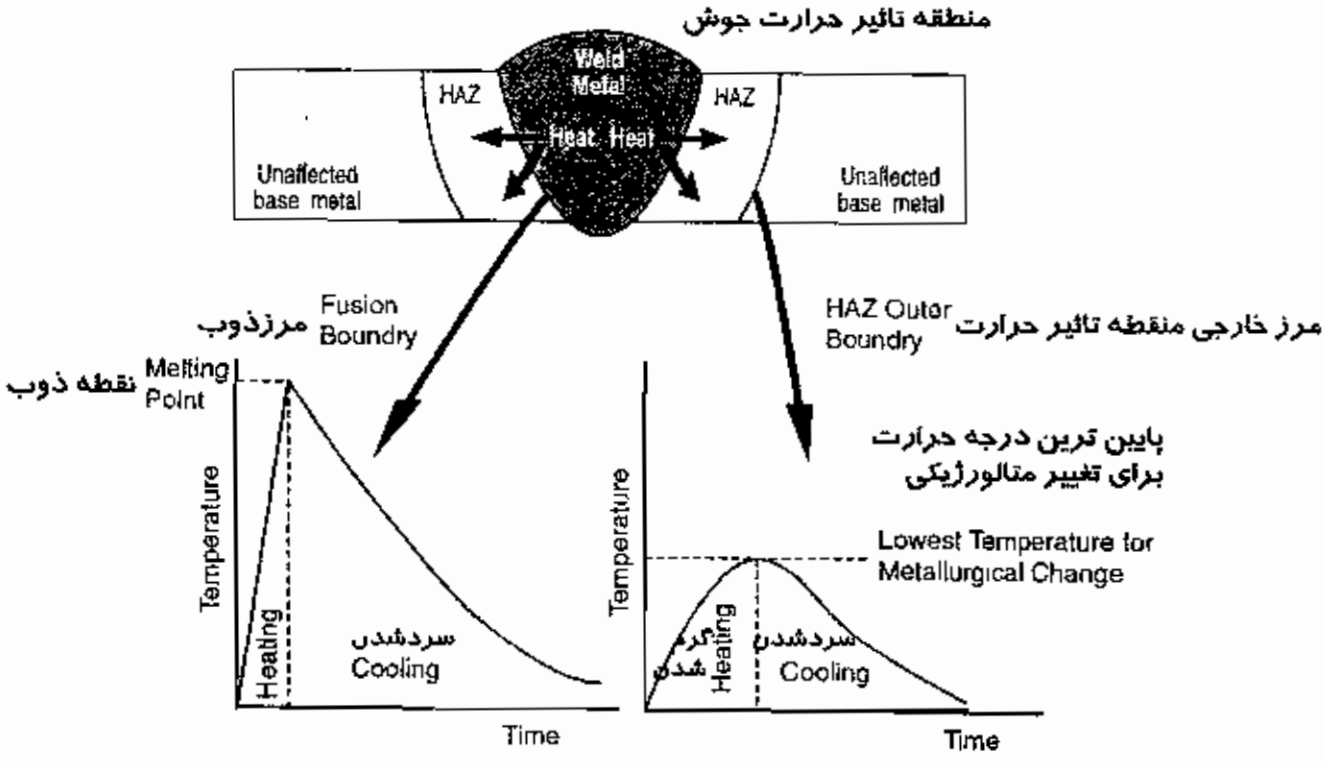


Figure Thermal cycles in weld zones

شکل – مرزهای منطقه تاثیر حرارت

مرز منطقه تاثیر حرارت بوسیله کمترین درجه حرارتی که در آن تغییرات متالورژی بوقوع می پیوندد ، مشخص می شود .

فولادهای ساختمانی در منطقه تاثیر حرارت تمایل به سخت شدن دارند ، زیرا سرعت سرد شدن اتصالات جوش داده شده طوری است که حالتی شبیه به عملیات حرارتی آب دادن پیش می‌آورد.

میزان سخت شدن در درجه اول به ترکیب شیمیائی فولاد بستگی دارد . فولادهای ساختمانی تعدادی عناصر آلیاژی دارند . برای سهولت بحث پیرامون مسائل جوشکاری از شاخص مشهور معادل کربن استفاده می شود .

در معادل کربن هر عنصر آلیاژی به تناسب نقشی که در سخت کردن بازی می کند، ضریبی دارد. مثلا منگنز ضریب یک ششم دارد ، چون تخمین زده اند که افزودن ۰/۶ در صد کربن در فولاد همان نقشی را در سخت شدن بازی می کند که ۰/۱ در صد کربن بازی می کند .

فرمولهای متعددی برای معادل کربن تدوین کرده اند که فرمول معادل کربن طبق استاندارد انگلیس عبارتست از :

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

که در آن :

C = کربن ، Mn = منگنز ، Cr = کرم ، Mo = مولیبدن ، V = وانادیوم ، Ni= نیکل ، Cu = مس میباشد .

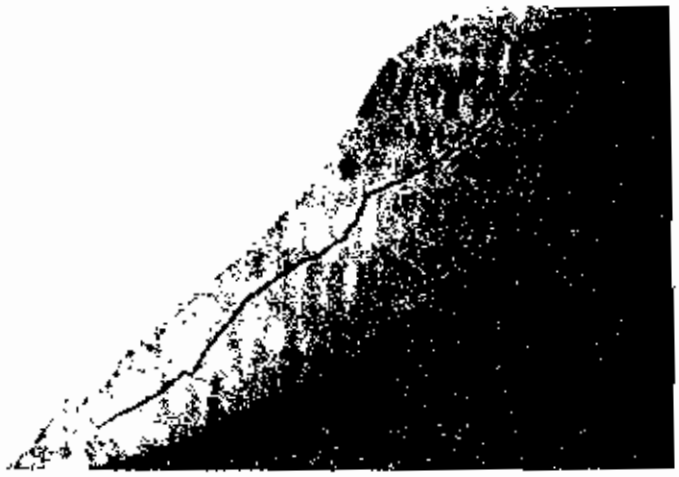
بطور کلی ، فولادهای با معادل کربن کمتر از ۰/۳۸ درصد در منطقه تاثیر حرارت سخت نمی شوند ، در حالیکه فولادهای با معادل کربن ۰/ ۵۰ در صد ممکن است سختی هم تراز با سختی فولاد ابزار عملیات حرارتی شده بدست آورند .

یعنی اگر فولاد کم کربن بطور نرمال سختی ۱۹۰ ویکرز داشته باشد ، سختی منطقه تاثیر حرارت ممکن است تا ٤۰۰ ویکرز برسد .

گرچه گاهی گفته می شود که سخت شدن منطقه تاثیر حرارت بر مقاومت قطعه یا مناسب بودن آن برای بهره وری اثر ندارد ولی موارد ویژه ای نظیر حمله خوردگی تنشی ایجاب می نماید که سختی از حد معینی تجاوز ننماید و به این منظور گاهی عملیات حرارتی پس از جوشکاری ضروری می گردد .

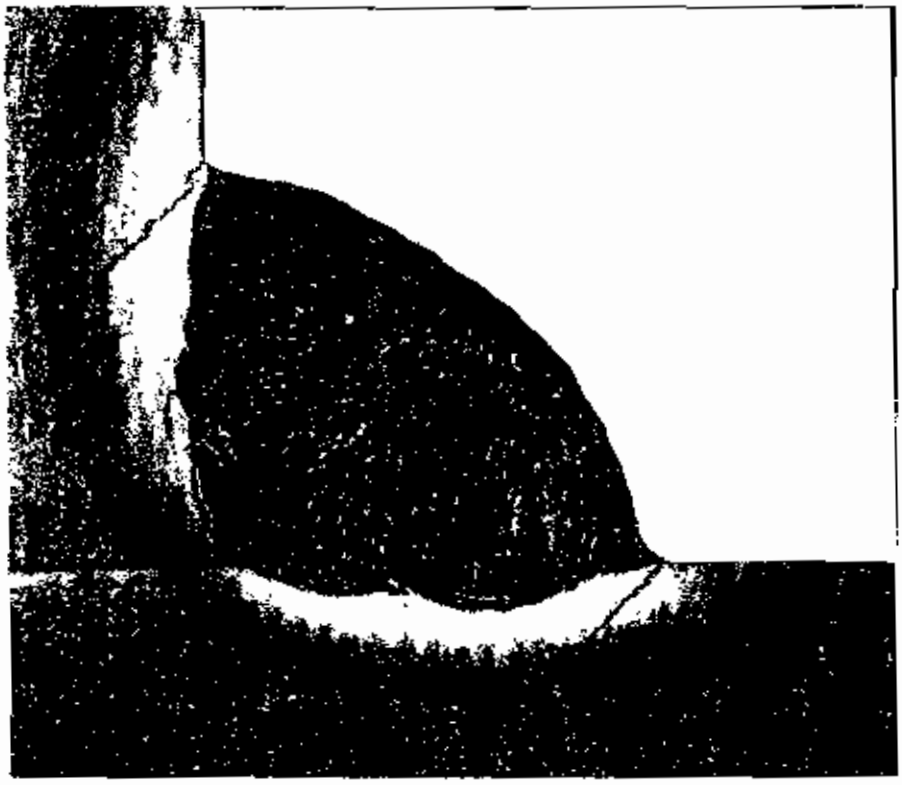
نگرانی عمده از سخت شدن منطقه تاثیر حرارت ، تشکیل ترک است که بطور موثری مقاومت اتصال را کاهش می دهد .

اگر هیدروژن نیز بصورت محلول در فولاد در طول مرز ذوب حضور داشته باشد ، وقتی سختی از حدود ۳۰۰ ویکرز تجاوز کند ، خطر تشکیل ترک زیاد است.



Underbead crack in a low-alloy steel HAZ (magnification 8×)

ترک زیر مهره ای در منطقه تاثیر حرارت فولاد کم آلیاژ (بزرگنمائی ۸ برابر)



Hydrogen cracking in a fillet weld of 1040 steel (magnification 4.5×).

ترک هیدروژنی در جوش گوشه ای فولاد ۱۰۴۰

این میزان سختی با تغییرات متالورژی در منطقه تاثیر حرارت پیش می آید و با ترکیب شیمیائی و سرعت سرد کردن قابل کنترل است . چون فولادهای با مقاومت بالا تقریبا همواره نسبت به فولادهای کم کربن ، معادل کربن بالاتری دارند ، افزایش سختی مشکل عمده ای در جوشکاری پدید می آورد .

برای جوشکاری فولادهای با معادل کربن بالاتر از ۰/٤۰ در صد ، دستور العمل‌هائی لازم است که نه تنها سرعت سرد کردن را پایین بیاورد بلکه همچنین درصد هیدروژن را به حد اقل ممکن برساند .

هیدروژن از راه‌های زیادی نظیر روپوش الکترود ، رطوبت موجود در گاز محافظ و چرب بودن سیم جوش و فلز مبنا وارد حوضچه جوش می گردد .

هیدروژن وارد شده در فلز مذاب حل شده و به داخل فلز مبنا هدایت گردیده و در منطقه تاثیر حرارت متمرکز می شود . مقدار هیدروژن حوضچه های جوش اندازه گیری و نسبت به سختی معینی مقادیر بحرانی بدست آمده است

این مقدار برحسب میلی لیتر هیدروژن بر ۱۰۰ گرم فلز جوش بیان می شود و معمولاً محدوده آن ۵ تا ٤۰ میلی لیتر بر ۱۰۰ گرم فلز جوش است . توزیع واقعی هیدروژن در اتصال جوش داده شده تا حدود زیادی به درجه حرارت فلز مبنا بستگی دارد .

هیدروژن در فلز داغ بسرعت نفوذ می‌کند ولی حرکت آن در درجه حرارت اطاق بسیار کند است ،

بنابراین حین جوشکاری به‌راحتی در منطقه تاثیر حرارت جاری می شود ولی از نوار حرارت دیده خارج نمی شود .

پیش گرم کردن فلز مبنا هیدروژن را در ناحیه وسیعی پراکنده و تمرکز آن را در ناحیه سخت شده کم می کند . علاوه بر آن ، پیش گرم کردن سرعت سرد شدن را کند کرده و حد اکثر سختی را تقلیل می دهد .

به این دلیل هنگام جوشکاری فولادهای ساختمانی با مقاومت بالا از پیش گرم کردن (۷۵ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد) استفاده می شود .

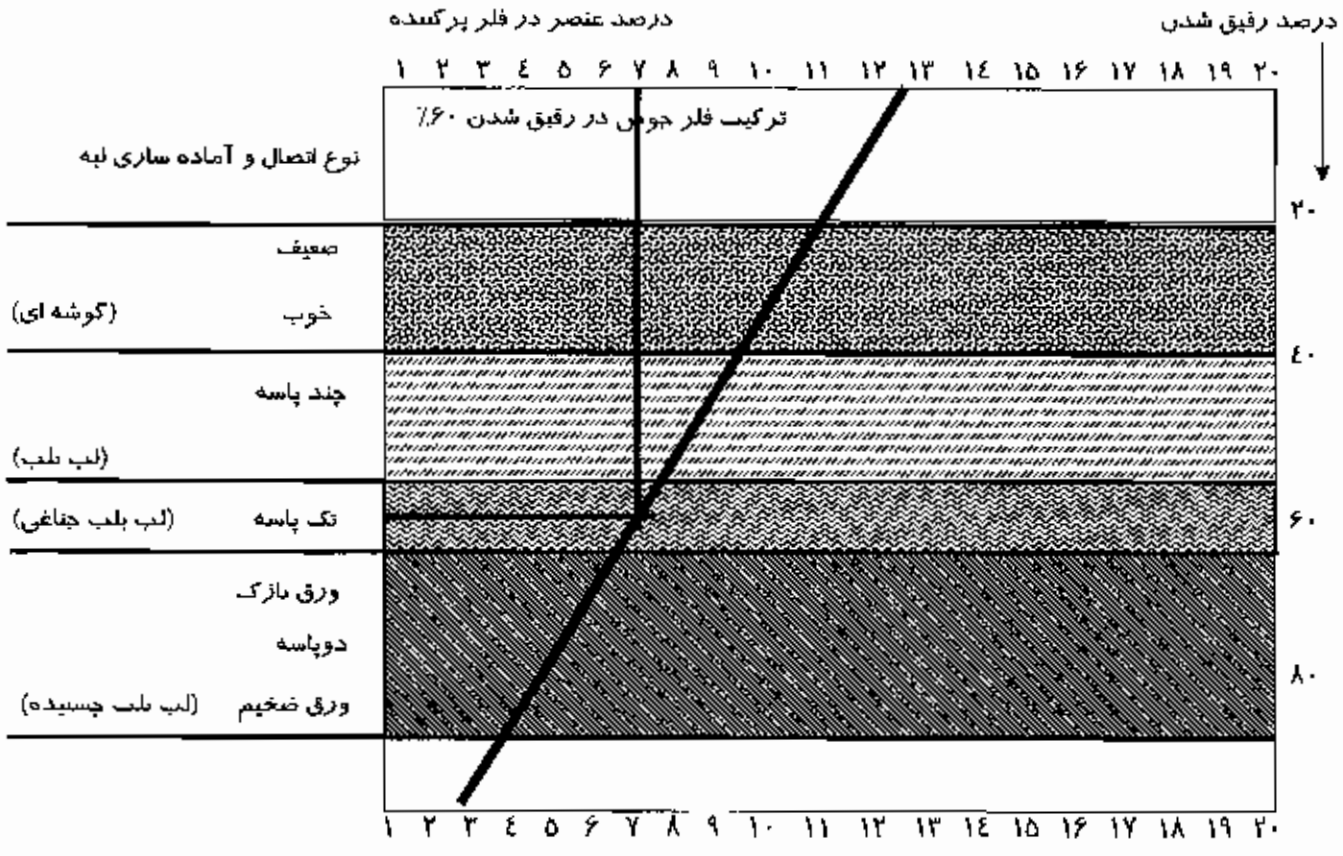
رقیق شدن و یکنواختی جوش

عالبا در جوشکاری ذوبی از فلز پر کننده استفاده می شود و بنابراین فلز جوش مخلوطی از فلز مبنا و فلز پر کننده است . وقتی فلز مبنا و فلز پر کننده دارای ترکیب شیمیایی یکسان هستند ، ترکیب فلز جوش مشکلی ندارد ولی زمانی که ترکیب فلز مبنا و فلز پر کننده متفاوت هستند برای اطمینان از حصول ترکیب مطلوب برای جوش بایستی تمهیداتی بکار گرفته شود .

درجه رقیق شدن به نوع اتصال ، نحوه آماده سازی لبه و فرایند جوشکاری بستگی دارد رقیق شدن (برحسب در صد) با فرمول زیر بیان می شود :

$$D = \frac{\text{وزن فلز مبنای ذوب شده}}{\text{وزن کل فلز ذوب شده}}$$

بیشترین رقیق شدن برای جوشهای تک پاسه قطعات نازک که بدون پخ به یکدیگر جوش داده شوند پیش می آید و کمترین رقیق شدن در جوشهای گوشه‌ای یا در جوشهای چند پاسه با آماده سازی نرمال لبه صورت می پذیرد.



شکل – نمو گرام رقیق شدن

رقیق شدن برای اتصال فلزات غیر همجنس و برای جوشکاری قطعه روکش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است . در چنین مواردی با استفاده از لایه آستری (جوش با ترکیب مشخص روی لبه ها قبل از جوشکاری دو لبه به یکدیگر) می توان رقیق شدن را به حد اقل رسانید .

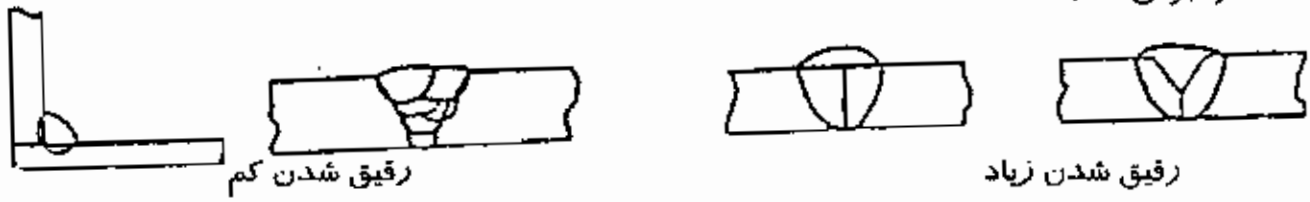
عموماً مخلوط شدن فلز در حوضچه جوش خوب است و در منطقه ذوب ، فلز جوش یکنواخت بدست می آید. اگر ترکیب شیمیائی فلز پر کننده و فلز مبنا خصوصا در جوشکاری قوسی تنگستنی با گاز خنثی تفاوت زیادی داشته باشد ، یکنواختی فلز جوش کمتر خواهد بود .

در روشهای جوشکاری که جوشکاری بصورت انتقال فلز صورت می گیرد ، یکنواختی فلز جوش بیشتر است . از طرفی در جوشهای فولاد آلیاژی با الکترودهای روپوشدار ، جوش ممکن است از روپوش الکترود بدست آید (پودر فرو آلیاژ یا پودر عنصر آلیاژی با مواد متشکله روپوش الکترود مخلوط می شود) .

در بیشتر فلزات و آلیاژها مرز بین منطقه دوب و منطقه ذوب نشده اتصال جوش کاملاً تمیز است. در مرز ذوب ترکیب فلز مرزی از ترکیب فلز مبنا تا ترکیب کم و بیش یکنواخت جوش، تغییر می کند . برای جوش دستی با الکترودهای روپوش دار ضخامت منطقه مرزی بین ۵۰ تا ۱۰۰ میکرون است . در آلیاژهای دارای محدوده انجماد طویل ، ذوب ناقص ممکن است در قسمتی از منطقه تاثیر حرارت جسبیده به منطقه ذوب پیش آید و بطور فیزیکی به فلز جوش بپیوندد . هیدروژن ممکن است از منطقه تاثیر حرارت نفوذ نماید ولی عناصر دیگر از فلز جوش به فلز ذوب نشده یا بالعکس چندان نفوذ نمی کنند .

در صد عنصر در فلز مبنا

برای پیدا کردن ترکیب جوش با رقیق شدن معلوم ، عدد ترکیب فلز پر کننده و فلز مبنا در دو مقیاس بالا و پایین بایک خط راست بهم وصل شود ، از نقطه برخورد خط مزبور با خط افقی مربوط به رقیق شدن معلوم ، اگر خط قائمی رسم شود محل برخورد این خط قائم با هر یک از مقیاسهای بالا و پایین ، عدد ترکیب جوش بدست می آید در این مثال با رقیق شدن ۶۰ ٪ ترکیب فلز جوش ۷٪ بدست آمده است .



شکل - رقیق شدن جوش

پدیده های متالورژی در جوشکاری

مراحل ذوب و انجماد فلز که با تغییر ساختمان کریستالی و ترکیب شیمیائی فلز انجام میگیرد ، پدیده های متالورژی نامیده می شود .

جوشکاری هم یک پدیده متالورژی است با این تفاوت که در جوشکاری حرارت دادن تا درجه حرارت زیاد و با سرعت زیاد برای ناحیه کوچکی از فلز صورت گرفته و باعث ذوب فلز میگردد . چون در بیشتر کاربردهای صنعتی ، فولاد مورد استفاده قرار می گیرد از این جهت خصوصیات متالورژیکی جوشکاری فولاد مورد نظر است .

پدیده های متالورژیکی جوشکاری قوسی با پدیده متالورژیکی فرایندهای مختلف فولادسازی فرق دارد .

در جوشکاری قوسی ، فلز مذاب طی مدت چند ثانیه انجماد حاصل می کند . مقدار فلز مذاب در جوشکاری قوسی دستی به ندرت از هشت سانتیمتر مکعب تجاوز می نماید . درجه حرارت و حوضچه مذاب بطور محسوسی از درجه حرارت کوره های فولادسازی بیشتر است .

در جوشکاری فولاد یکی از مسائل اصلی ایجاد فلز مذاب و جلوگیری از ترکیب آن با اکسیژن و ازت می باشد . نظر به اینکه حوضچه جوش بسرعت سرد می شود ، واکنش های شیمیائی آغاز شده در فلز مذاب و سر باره فرصت تکامل ندارند .

درجه حرارت بالای قوس بعضی از مولکولهای اکسیژن و ازت را شکسته ، آنها را به اکسیژن و ازت اتمی تبدیل می نماید . گازهای اتمی از حالت مولکولی آنها مهاجم تر هستند .

اکسیژن یکی از عوامل مضر برای جوشکاری فولاد است زیرا در درجه حرارت زیاد جوشکاری ، میل ترکیبی اکسیژن با آهن خیلی زیاد بوده و تشکیل اکسید آهن می دهد .اکسید آهن در طول خط مرزی دانه های فلز قرار گرفته و مانع چسبندگی بین دانه ها می شود و بدینوسیله بر خواص مکانیکی فلز جوش تاثیر بد می گذارد و تردی و شکنندگی آنرا افزایش می دهد .

در جوشکاری با الکترود بدون روپوش وقتی که درجه حرارت به حدود ۱۵۵۰ تا ۱۷۵۰ درجه سانتیگراد برسد ، اکسیژن موجود در فولاد بصورت اکسید ممکن است بمقدار ۰/۲ در صد تا ۰/۵ درصد برسد . در حالیکه در فولاد سازی (اوپن هرتس) این رقم در حدود ۰/۰۱ تا ۰/۰۲ درصد می باشد .

در صد اکسیژن در فلز جوش به طول قوس ، شدت جریان جوشکاری و نوع حفاظت بکار رفته (روپوش الکترود ، روانسازها یا پودرهای جوشکاری ، گازهای محافظ) بستگی دارد .

اگر طول قوس زیاد باشد ، فلز مذاب در حال عبور از الکترود به قطعه کار تماس بیشتری با اتمسفر داشته و ممکن است اکسیژن بیشتری جذب نماید . اگر شدت جریان جوشکاری خیلی زیاد باشد ، گلوله ها یا قطرات بیشتری از الکترود به داخل حوضچه جوش سرازیر شده و مساحت سطح خارجی فلز الکترود مذاب در تماس با هوا را افزایش می دهد .

وقتی که از الکترود روپوش دار استفاده می شود ، روپوش الکترود حفاظ گازی و سرباره‌ای اطراف فلز مذاب تشکیل می دهد و فلز جوش را از تماس با هوا حفظ می کند . در جوشکاری قوسی خودکار و نیمه خودکار عمل حفاظت فلز جوش از هوا بعهده روانسازها و گازهای محافظ می باشد .

در جوشکاری قوسی با الکترود بدون روپوش ، فلز جوش ممکن است بمقدار ۰/۱۲ تا ۰/۱۸ درصد ازت داشته باشد در حالیکه این رقم برای فولاد سازی (اوپن هرتس) معمولا بین ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۸ در صد می باشد . افزایش درصد ازت مقاومت و سختی فلز جوش را بهبود بخشیده ولی بر مقاومت ضربه ای فلز جوش تاثیر بدی می گذارد

انتقال عناصر از فلز پرکننده به حوضچه جوش

در جوشکاری اکسی استیلن یا جوشکاری قوسی تنگستنی با حفاظت گاز خنثی نسبت عناصر آلیاژی از دست رفته بوسیله اکسیداسیون حتی با وجود افزودنیهای رآکتیو نظیر تیتانیوم کم است.

وقتی که فلز از الکترود لخت یا روپوشدار در جوشکاری قوسی انتقال پیدا میکند، مقدار عنصر آلیاژی هم بوسیله واکنشهای گاز – فلز و هم بوسیله واکنشهای سرباره – فلز تغییر می کند. انتقال کربن تا حدود زیادی به واکنش زیر بستگی دارد.

$$FeO + C \rightleftharpoons Fe + CO$$

فقط نسبت کمی از کربن الکترودهائی که بقدر کافی اکسیژن گیری شده اند، سوخته میشود ولی الکترودهای روپوشدار اکسید آهنی اکسیژن گیری نشده کربن خیلی کمی بجای میگذارند و بعلت بسط تدریجی در حوضچه جوش حاصل از این نوع الکترودها متخلخل است.

جدول – انتقال عنصر در جوشکاری ذوبی فولاد

فرایند جوشکاری	درصد انتقال از الکترود یا سیم پرکننده به فلز جوش									
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu	Nb	Al	Ti
بالکترودهای روپوشدار	۳۰-۷۵	۵۰-۷۵	۶۰-۱۰۰	۵۰-۵۹	٤۵-۸۵	۹۰-۱۰۰		٤۰-۵۰	۵-۲۰	۵-۲۰
قوسی زیرپودری	۷۰-۱۰۰	۱۰۰-۲۰۰	۱۰۰-۳۰۰	۱۰۰	۷۵-۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۷۵-۱۰۰		
گاز کربنیک (CO_2)	۵۰-۲۰۰	۵۰-۶۰	۶۰-۷۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۶۰	۲۰	۲۰
قوسی تنگستنی گازخنثی	۷۰-۱۰۰	برای بقیه ۱۰۰ — ۹۰								

در جوشکاری گاز کربنیک احتمال جمع آوری کربن از گاز محافظ وجود دارد:

$$2CO_2 \rightleftharpoons 2CO + O_2 \qquad (۲)$$

$$2CO \rightleftharpoons O_2 + C \qquad (۳)$$

واکنش دوم در سطح فلز سرعت پیدا میکند. در جوشکاری با گاز کربنیک که از سیم جوش کم کربن استفاده می شود ممکن است واکنش فوق منجر به افزایش کربن در نوک سیم جوش گردد. در حقیقت در جوشکاری گاز کربنیک بدون توجه به درصد کربن در سیم جوش، در صد کربن جلس جوش به حدود ۰/۱۲ در صد میل می کند. در جوشکاری قوسی اگر اطراف جوش با اتمسفر خنثی محافظت نشود بیشتر عناصر آلیاژی خصوصاً تیتانیوم و آلومینیوم اکسیده می شوند. سیلیسیم و منگنز نیز ممکن است به اکسید اسیون تن در دهند ولی درصد این عناصر در فلز جوش بمقدار زیادی به ترکیب سرباره بستگی دارد.

خواص مکانیکی فلز جوش

خواص مکانیکی فلز جوش حاصل از روشهای گوناگون ، در مقایسه با فلز خام و ریخته ای با ترکیب مشابه در جدول زیر درج شده است . از نظر مقاومت کششی روشهای جوشکاری به دو گروه تقسیم بندی می شوند : گروهی که نقطه تسلیم جوش آنها بمقدار قابل ملاحظه ای بالاتر از فلز مبنا بوده و گروهی که مقاومت تسلیمی و نهائی جوش آنها مشابه فلز مبنا می باشد .

گروه اول که روشهای جوشکاری با سرد شدن سریع نامیده می شوند عبارتند از : جوشکاری با الکترودهای روپوشدار و جوشکاری با محافظت گاز .

گروه دوم که روشهای جوشکاری با سرد شدن آهسته نامیده می شوند عبارتند از : جوشکاری قوسی زیر پودری ، جوشکاری الکتریکی سرباره ای و جوشکاری گاز .

جدول – نمونه ای از خواص جوشها، ورق و ریخته ایهای فولاد کربنی

جنس	تنش تسلیمی ۱۰۰۰ پوند مرابیع مربع	تنش نهائی ۱۰۰۰ پوند مرابیع مربع	افزایش طول ٪ در یک اینچ	مقاومت ضربه‌ای با شیار V در ۲۰درجه سانتیگراد فوت پوند	مقاومت خستگی محوری در ۲×۱۰^{۶} سیکل - ۱۰۰ پوندبر اینچ مربع	
					ماشینکاری شده	بهمان صورت جوش داده شده
فلز جوش (تک پاسه) الکترودهای روپوشدار :						
روتیلی	۲۸	۳۳	۳۰	۶۵	۱۶	۶/۵ – ۱۱/۵
فلیائی	۳۰	۳۵	۳۶	۹۰	۱۶	۶/۵ – ۱۱/۵
اکسی – استیلن	۱۷/۵	۲۵	۲۷		۱۶	۶/۵ – ۱۱/۵
قوسی زیرپودری	۲۲	۳۲	۳۵		۱۶	۶/۵ – ۱۱/۵
گاز کربنیک (CO_2)	۳۰	۲۸	۲۷	۶۵	۱۶	۶/۵ – ۱۱/۵
الکتریکی سرباره ای بهمان حالت جوش داده شده	۲۰	۲۹	۳۰	متغیر ۵۰-۵	۱۶	۶/۵ – ۱۱/۵
نرمالیزه یا یکنواخت شده	۲۰	۲۸	٤۰	۵۵	۱۶	۶/۵ – ۱۱/۵
ورق با تکمیل کاری داغ با ۰/۲ ٪ کربن *	۱۸	۳۰	۳۰		۱۶	
فولاد ریخته ای						
B.S. 595 Gr 28/35	حداقل ۱٤	۲۸-۳۵	حداقل ۲۰		۱۶	
B.S. 592 Gr 35/40	حداقل ۱۷/۵	۳۵-٤۰	حداقل ۱۵		۱۶	

*Hot Finished**

بالا بودن نقطه تسلیم فلز جوش کم کربن حاصل از جوشکاری با الکترودهای روپوشدار قسمتی بخاطر ریز بودن دانه ها بوده و قسمتی بخاطر چگالی بالای جابجا شدگی ها می باشد . چنین جوشی مشتمل است بردانه های ریز فریت (غالبا کشیده شده) با کاربید و مرز دانه اوستنیتی . عموما نقطه تسلیم فولاد تابعی از عکس جذر قطر دانه است و این قاعده برای فلز جوش نیز صادق است .

حبه قابل توجه دیگر فلز جوش فولاد کربنی حاصل از الکترودهای روپوشدار آنست که وقتی زیر درجه حرارت بحرانی حرارت داده شود هیچ نشانه ای از تبلور مجدد یا نرم شدن ندارد (احتمالا بعلت شبکه کاربیدی اطراف دانه های فریت) .

نقطه تسلیم بالا و مقاومت به نرم شدن جنبه های مطلوب هستند و نشانه آن است که فلز جوش قوی تر از زوج فلز است و این مزیت با تنش زدائی اتصال از دست نمی رود .

در جوشکاری الکتریکی سرباره ای و تا حد کمتری در جوشکاری قوسی زیرپودری دانه فلز جوش نسبتا درشت بوده و مطابق با آن نقطه تسلیم جوش کمتر است .

در جوشکاری چند پاسه هر پاس جوش قسمتی از فلز جوش پاسهای قبلی را تحت عملیات حرارتی قرار می دهد و در نتیجه بعنوان یک مجموعه ، خواص جوش یکنواخت نمی باشد .

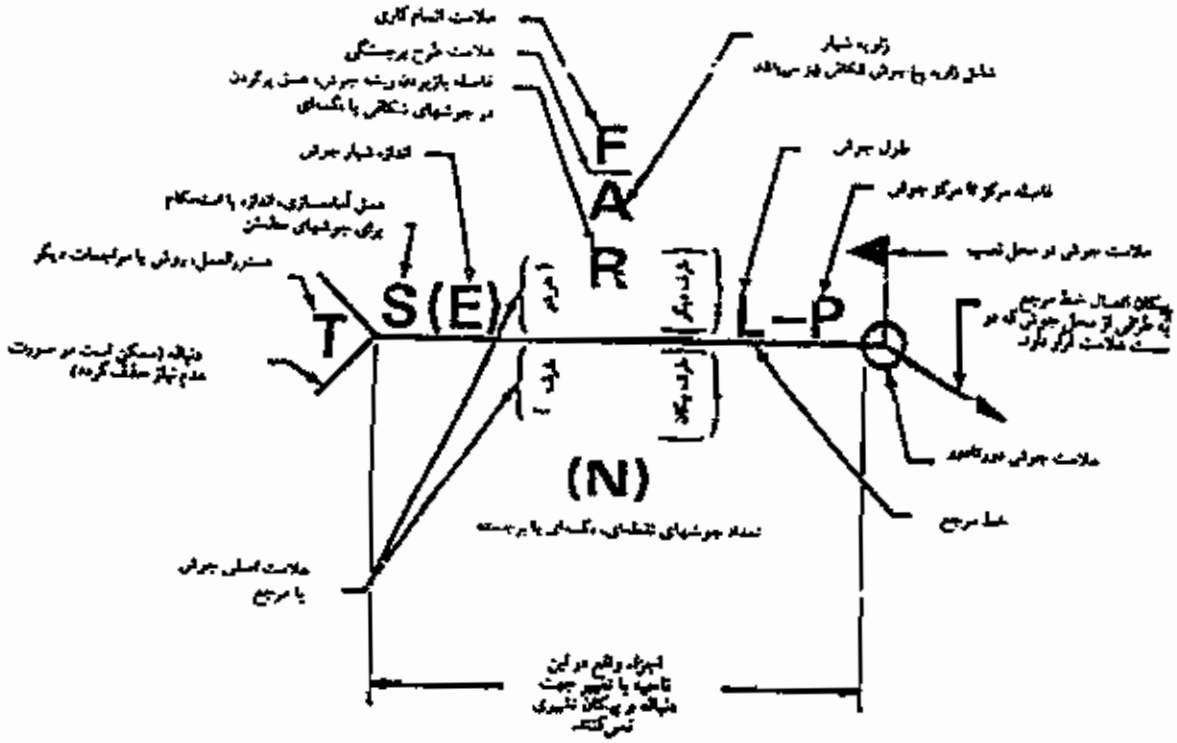
جوش حاصل از جوشکاری چند پاسه فولاد کربنی رویهم رفته دارای مقاومت تسلیمی کمتر از جوشهای تک پاسه بوده ولی خواص ضربه ای بهتری دارد .

مقاومت به خستگی نمونه آزمایش تمام جوش با مقاومت به خستگی خود ورق فرق اساسی ندارد. مقاومت به خستگی اتصالات جوش داده شده به عوامل متعددی از جمله نیمرخ اتصال ، اندازه، نوع و مقدار عیوبی که می تواند حضور داشته باشد ، مقدار هیدروژن در فلز جوش و عملیات حرارتی پس از جوشکاری بستگی دارد .

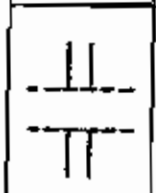
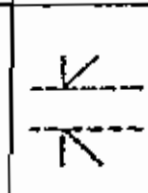
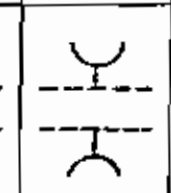
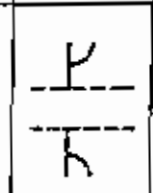
مساعد ترین نیمرخ آنست که جوش تراشیده شده و تخت و هم سطح ورق گردد و برعکس نامساعد ترین نیمرخ وجود زاویه تیز بین ورق و گرده جوش می باشد .

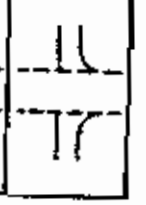
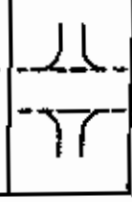
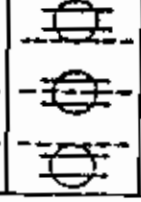
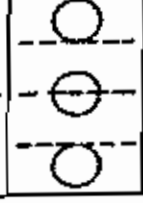
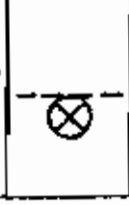
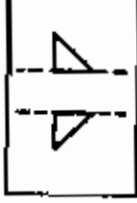
وقتی که عیب در جوش موجود باشد ، مقاومت استاتیک آن نیز کاهش می یابد ولی اگر فلز جوش از نظر مقاومت قوی تر از فلز مبنا باشد تا اندازه معینی از عیب می تواند در جوش موجود باشد بدون آنکه مقاومت اتصال نسبت به فلز مبنا کم شود مثلا اگر تحلخل تا جمعا ۵ الی ۱۰ درصد مساحت مقطع عرضی در جوشهای با الکترود های روپوشدار یا جوشهای حاصل از روپوش جوشکاری قوسی زیرپودری حضورداشته باشد در مقاومت اتصال کاهشی ایجاد نمینماید .

علائم قراردادی جوش AWS D1.1

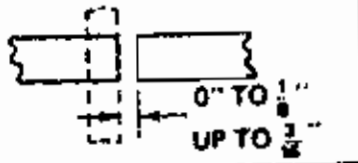
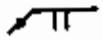
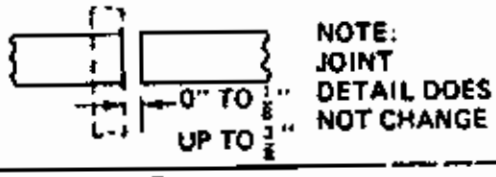
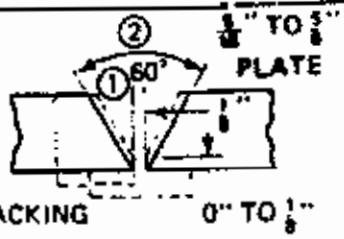
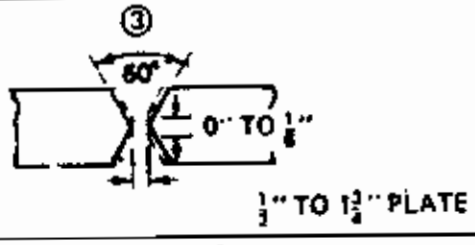
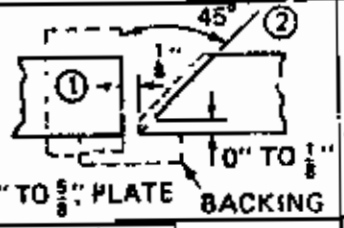
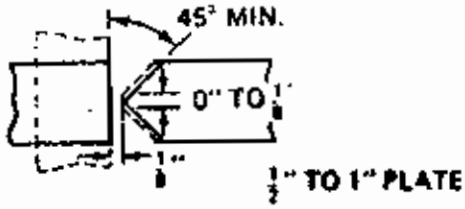
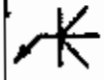
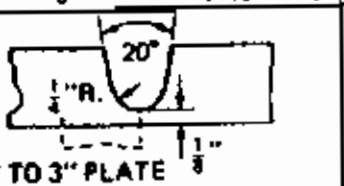
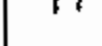
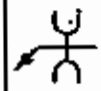
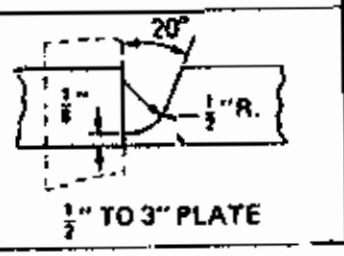
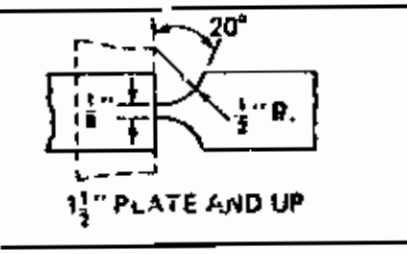
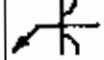
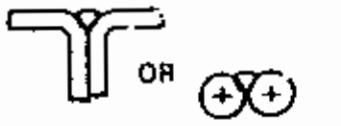
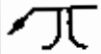
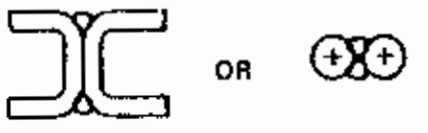
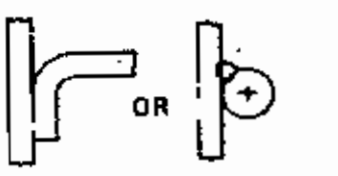
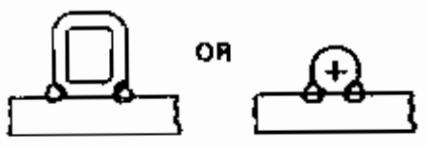


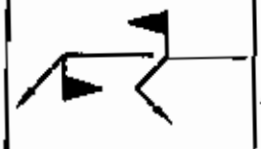
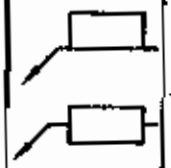
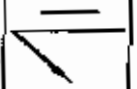
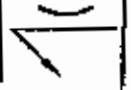
موقعیت استاندارد اجزای یک علامت جوشکاری

Groove							
ساده	لبه	جناغی	نیم جناغی	لاله‌ای	نیم لاله‌ای	جناغی گرد	نیم جناغی گرد
							

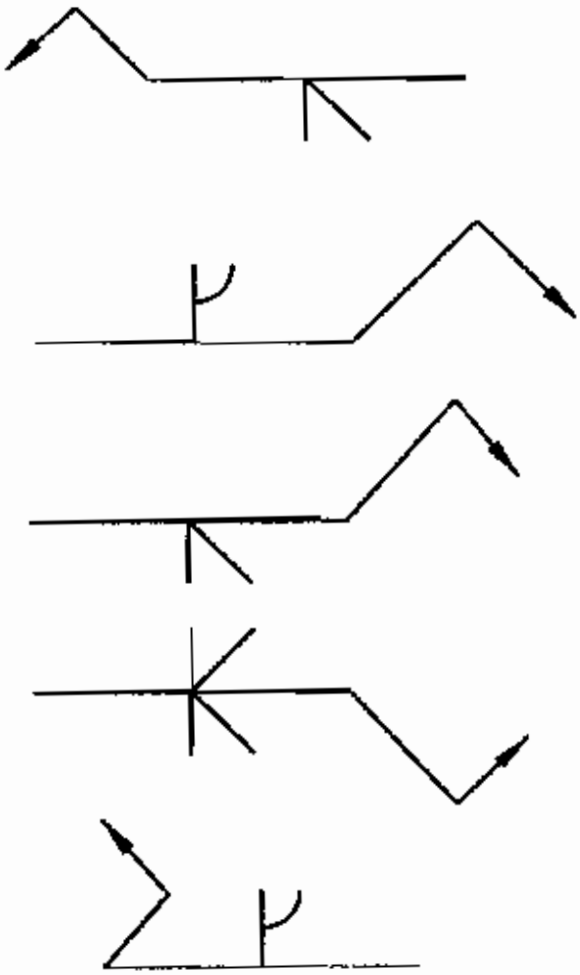
فلانجی		روکشی	پشت یا پشت جوش	درزی	نقطه جوش یا برجسته	میله‌ای	کام یا انگشتانه	گوشه‌ای
گوشه‌ای	لبه‌ای							
								

شکل ۹- نشانه‌های اصلی جوش. اینها قسمتی از نشانه جوشکاری کامل هستند. (From ANSI/AWS A2.4-

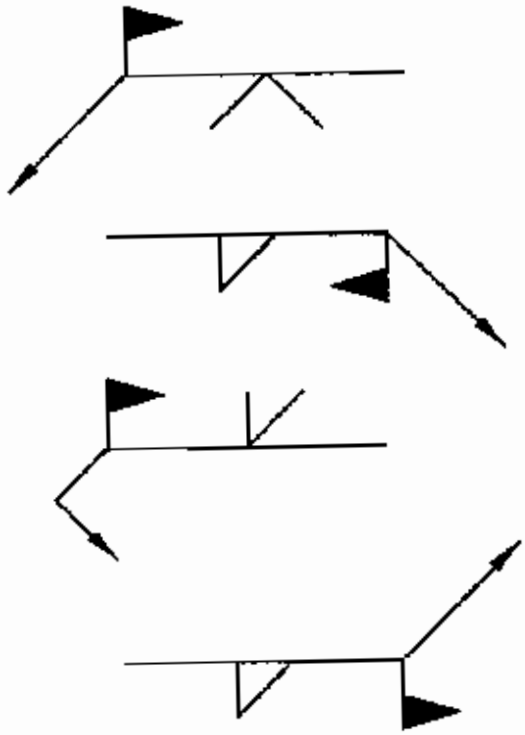
WELD GROOVE TYPES	GROOVE WELDS SINGLE	SYMBOL	DOUBLE	SYMBOL
SQUARE				
V				
BEVEL				
U				
J				
FLARE V				
FLARE BEVEL				

جوش دورتا دور	جوش در محل نصب	جوش بیرون زده از طرف اول	لایی مصرفی (مربعی)	پشت بند یا فاصله انداز (چهارگوش)	دوره ظاهری		
					هم سطح یا تخت	محدب	مقعر
WELD ALL AROUND	FIELD WELD	MELT THROUGH	CONSUMABLE INSERT (SQUARE)	BACKING OR SPACER (RECTANGLE)	CONTOUR		
					FLUSH OR FLAT	CONVEX	CONCAVE
							

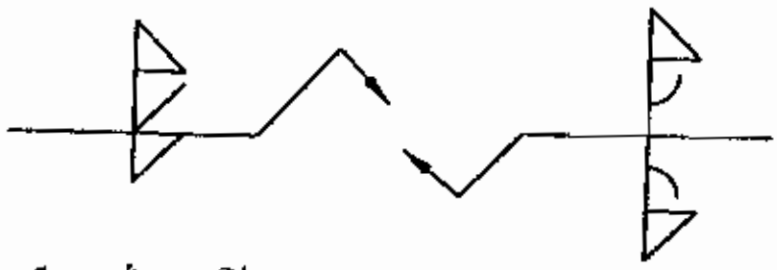
علائم تکمیلی **Supplementary Symbols**



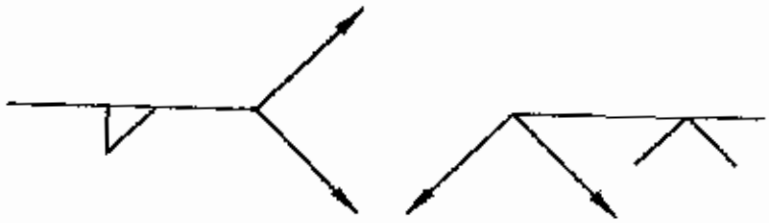
علائم جوش در محل نصب

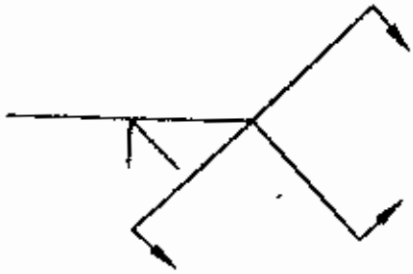


پیکان شکسته نشان می دهد
که کدام عضو بایستی
پخ بخورد یا فرم داده شود.

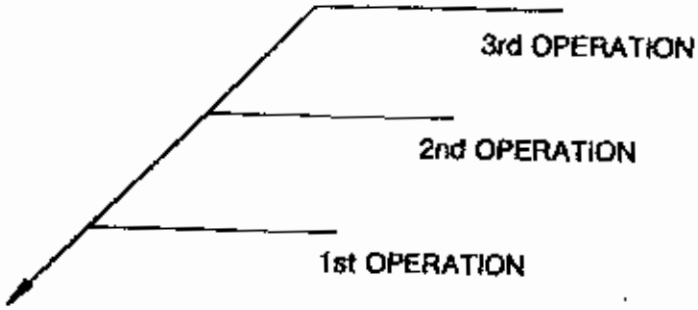


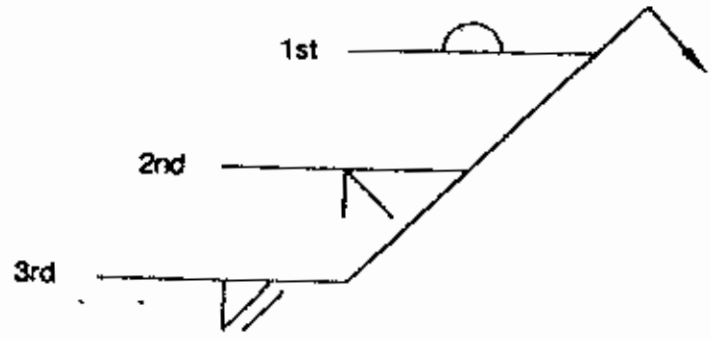
علائم جوش مرکب





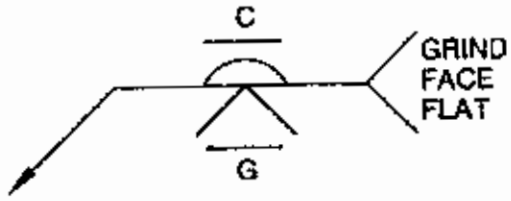
علائم چند پیکانه

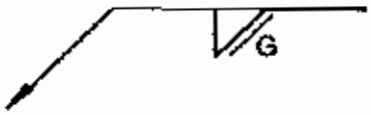


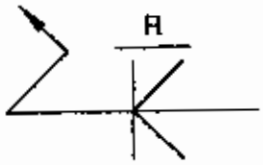


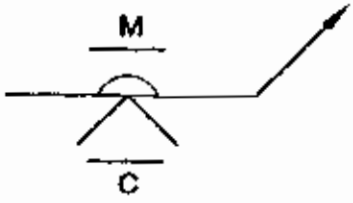
علائم نشان دهنده ترتیب عملیات

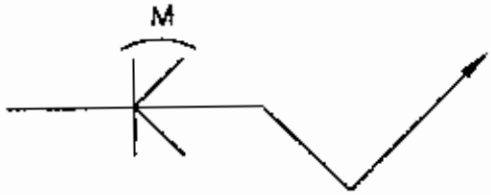
C – CHIPPING براده برداري
G – GRINDING سنگ زني
H – HAMMERING چكش زني
M – MACHINING تراشكاري
R – ROLLING نورد

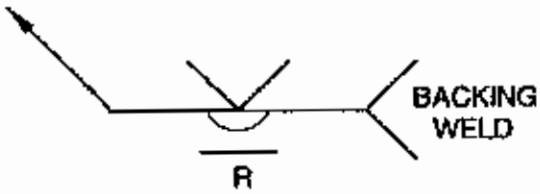


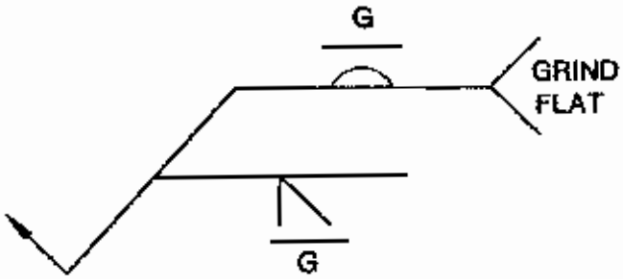




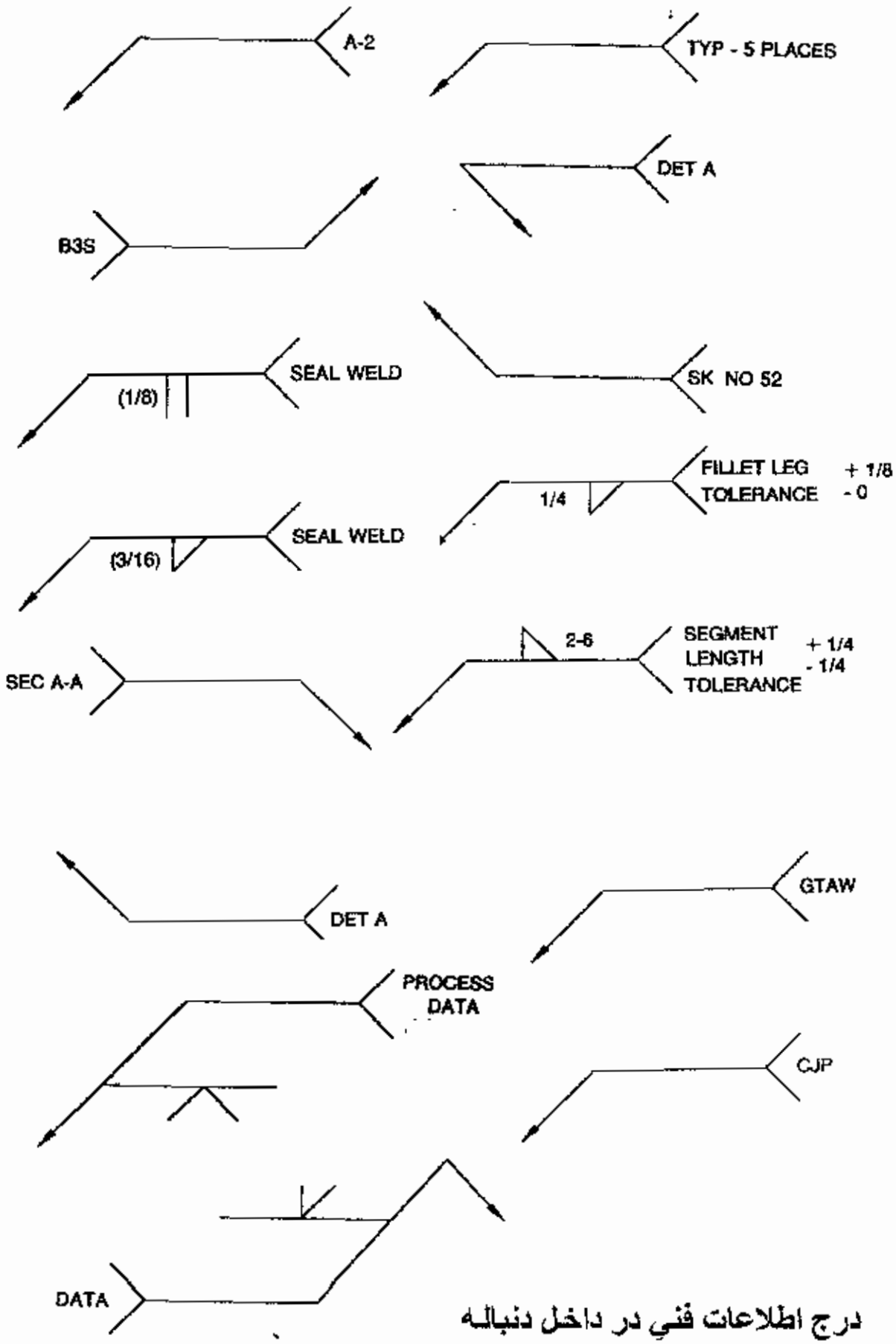




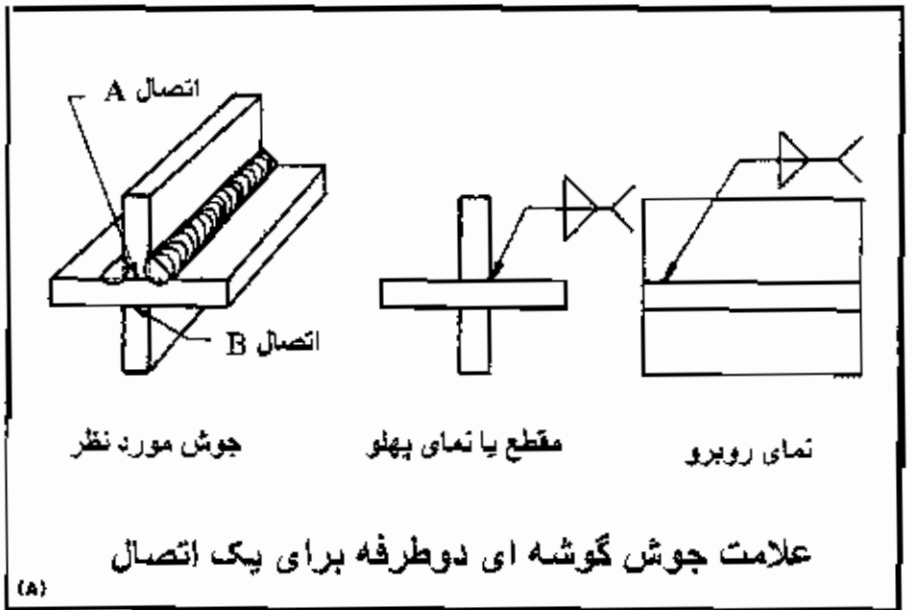




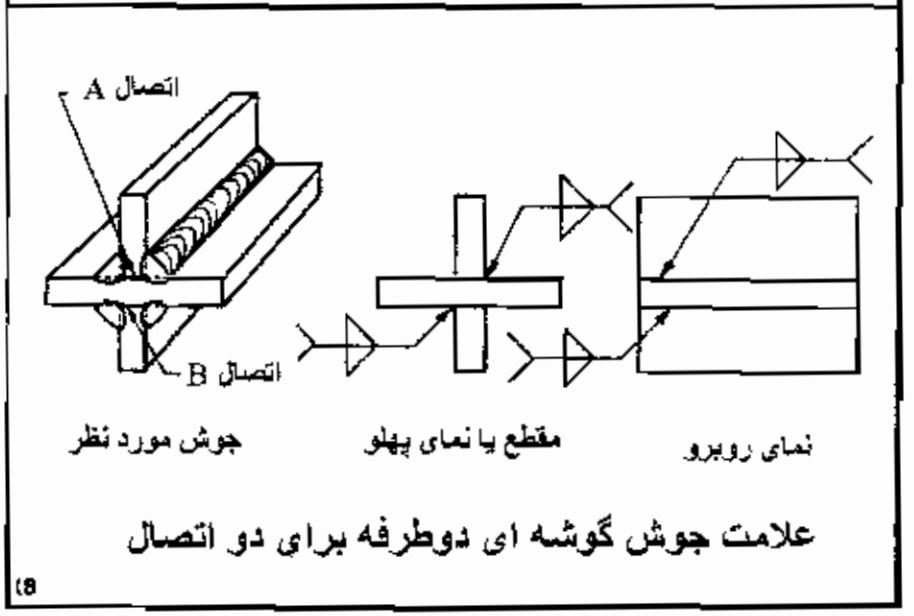
روشهاي پرداخت سطح جوش



درج اطلاعات فني در داخل دنباله

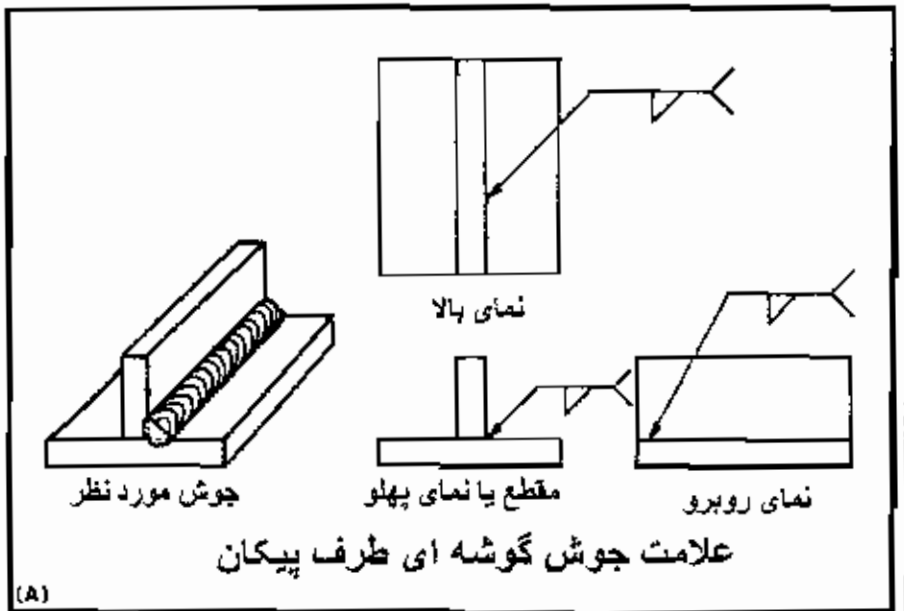


علامت جوش گوشه ای دوطرفه برای یک اتصال

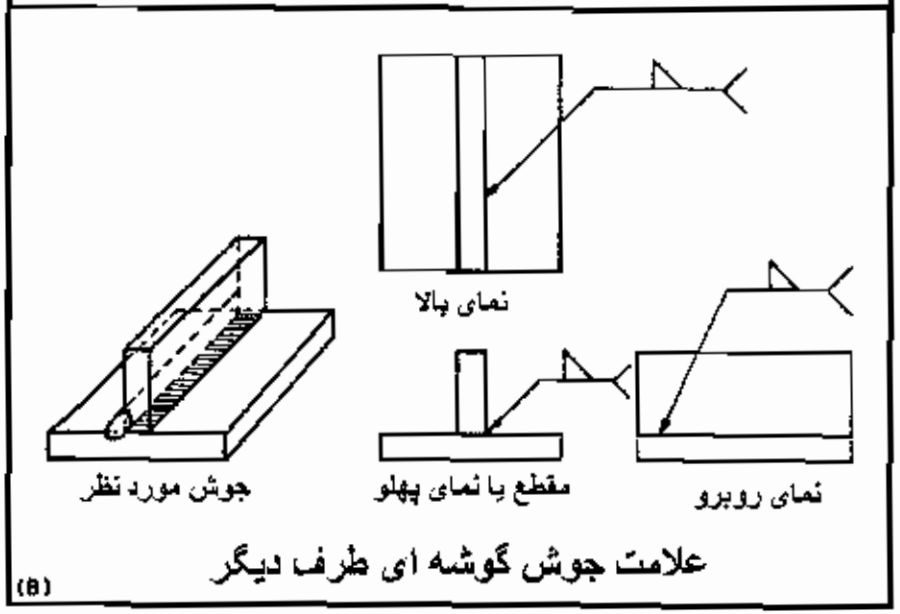


علامت جوش گوشه ای دوطرفه برای دو اتصال

۲- کاربرد علامت جوش گوشه ای

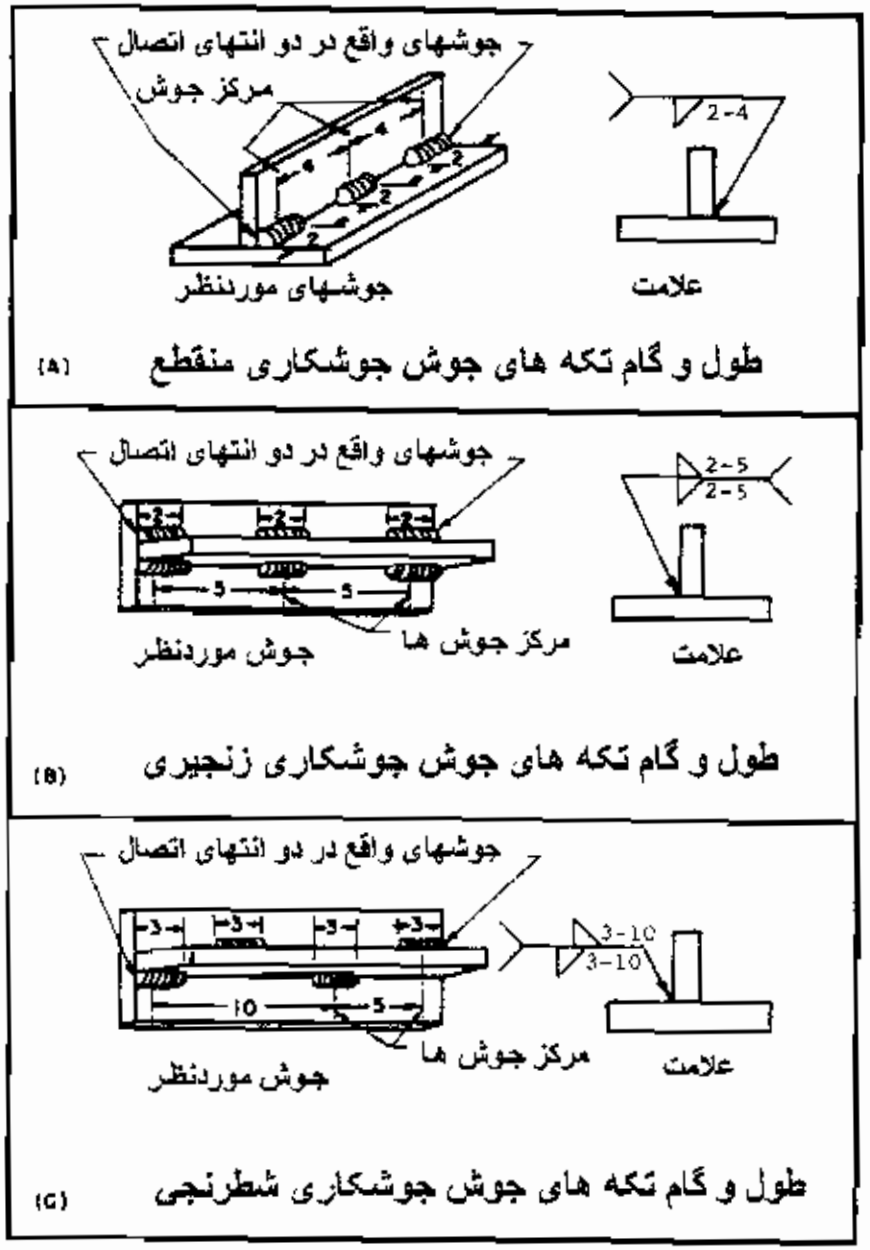


علامت جوش گوشه ای طرف پیکان

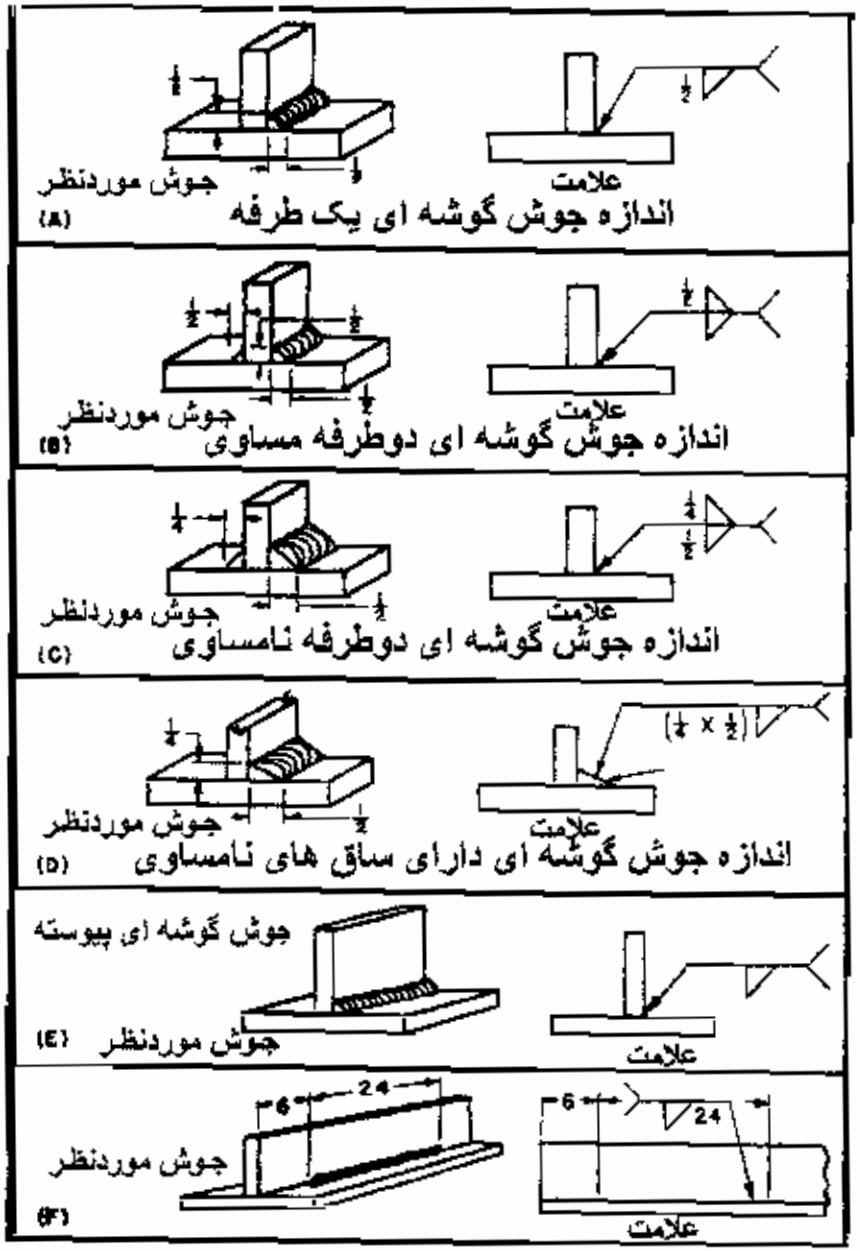


علامت جوش گوشه ای طرف دیگر

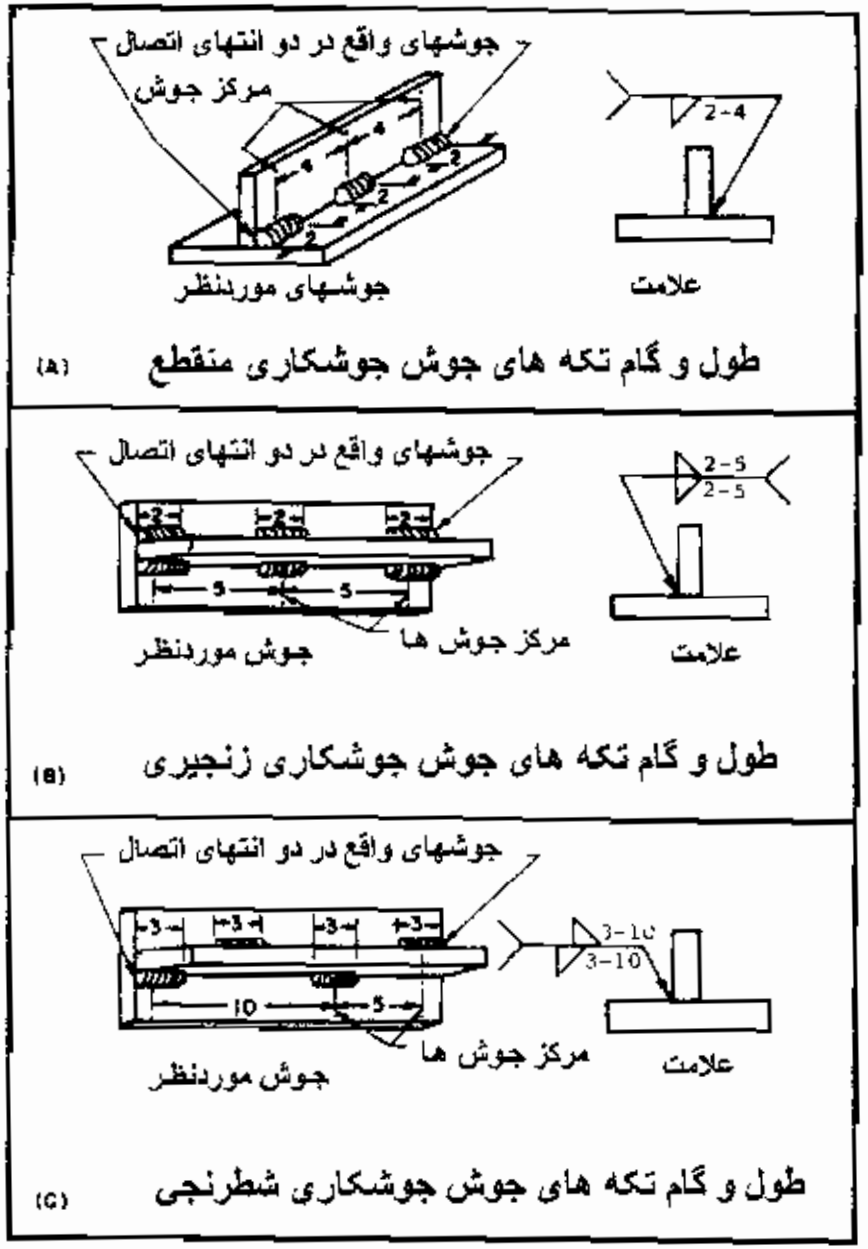
۱- کاربرد علامت جوش گوشه ای



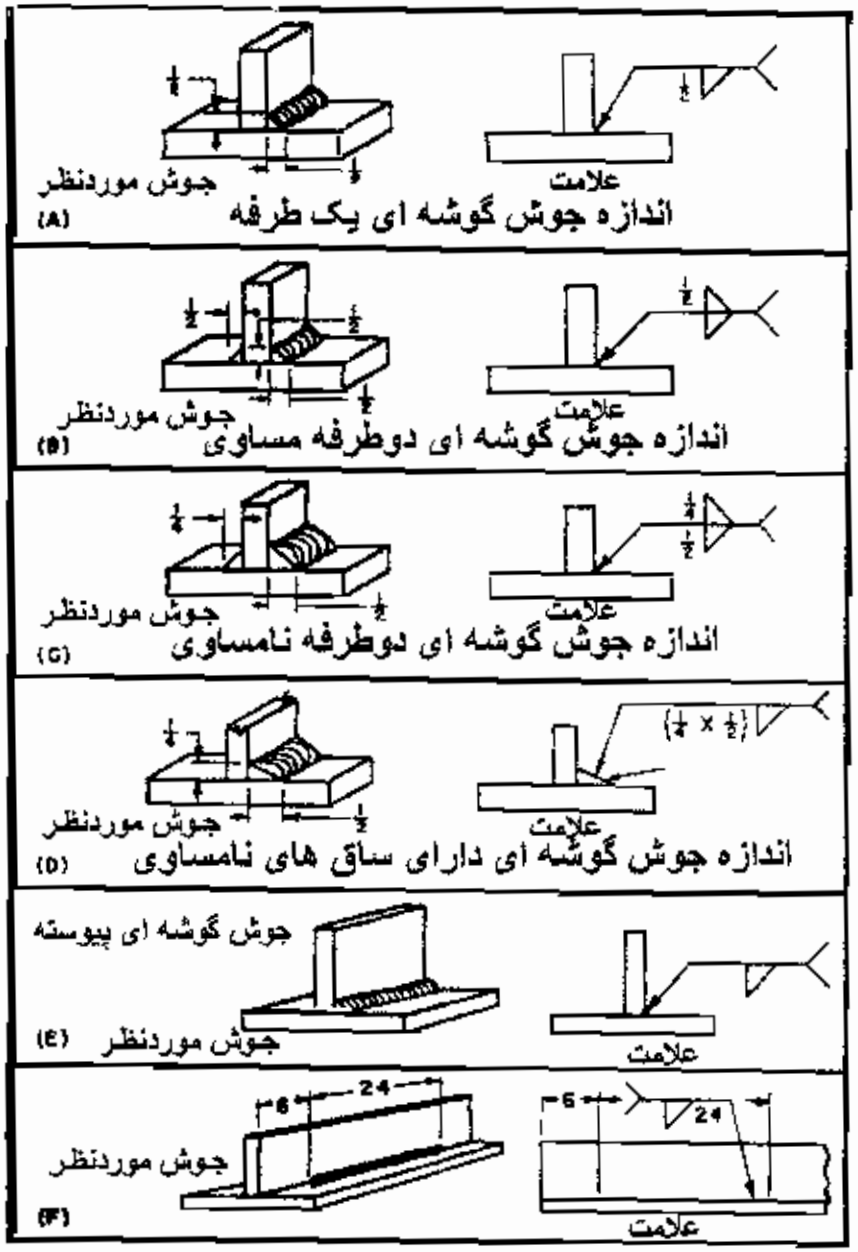
4- کاربرد اندازه گذاری علائم جوش گوشه ای



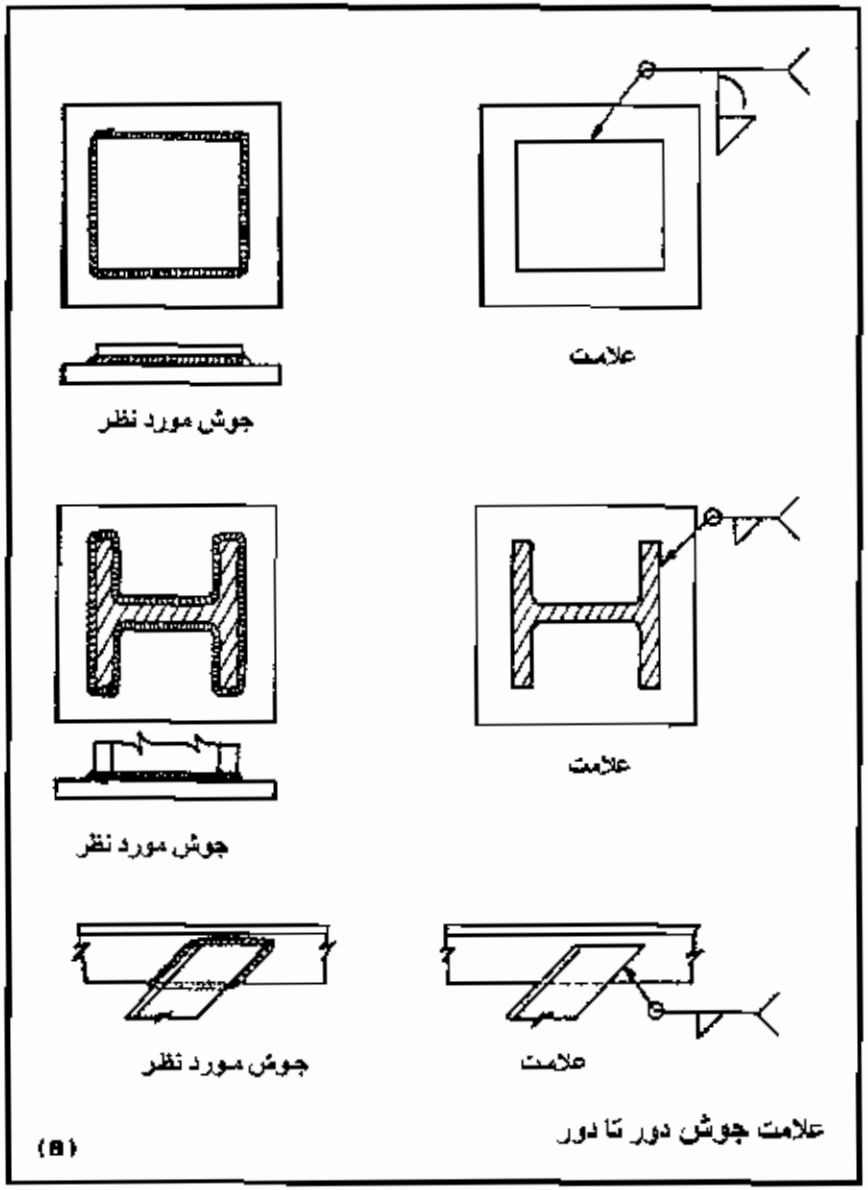
3- کاربرد اندازه گذاری علائم جوش گوشه ای

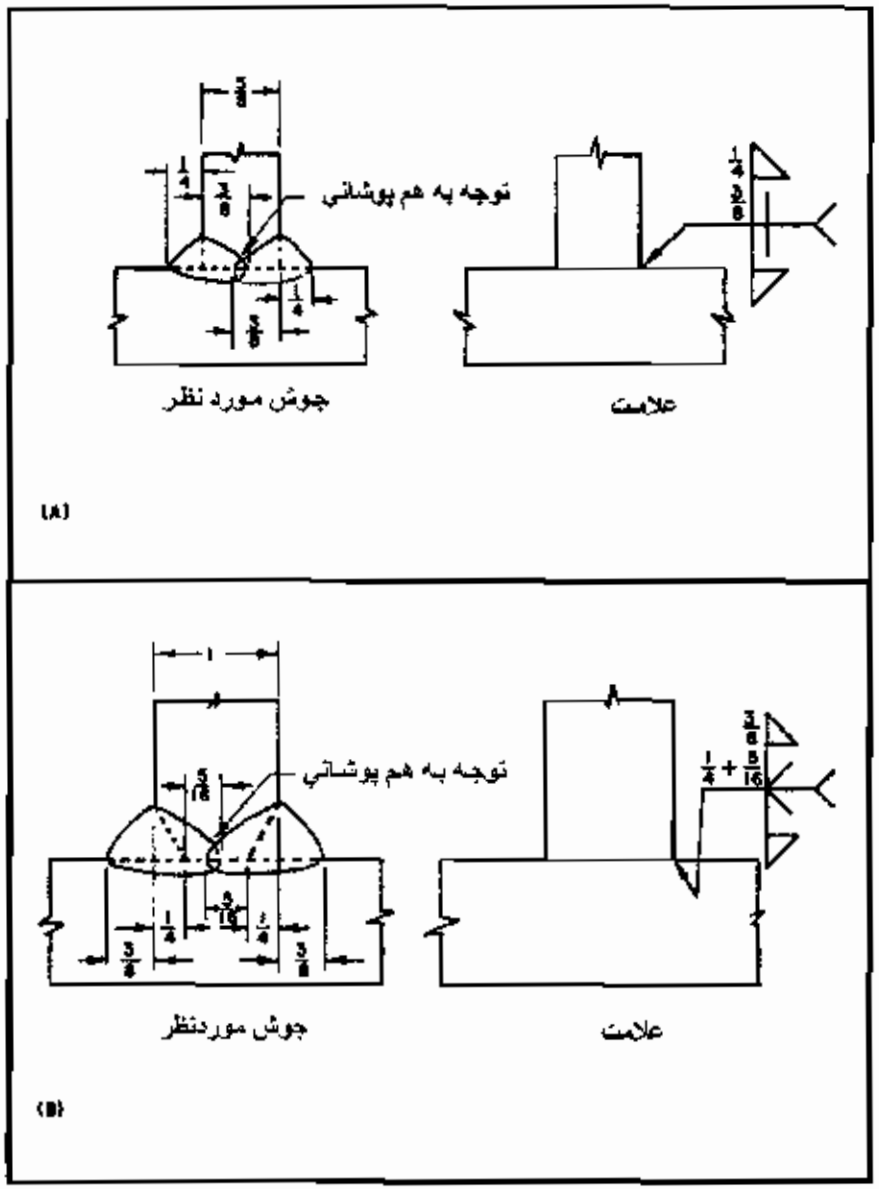


4- کاربرد اندازه گذاری علائم جوش گوشه ای



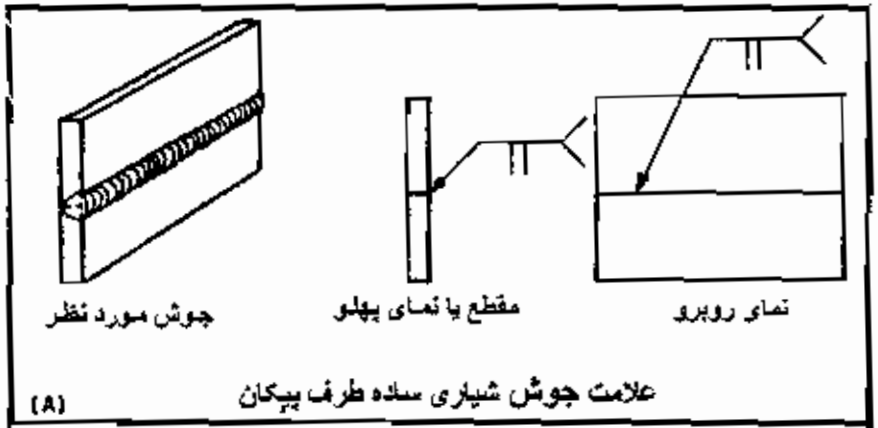
3- کاربرد اندازه گذاری علائم جوش گوشه ای



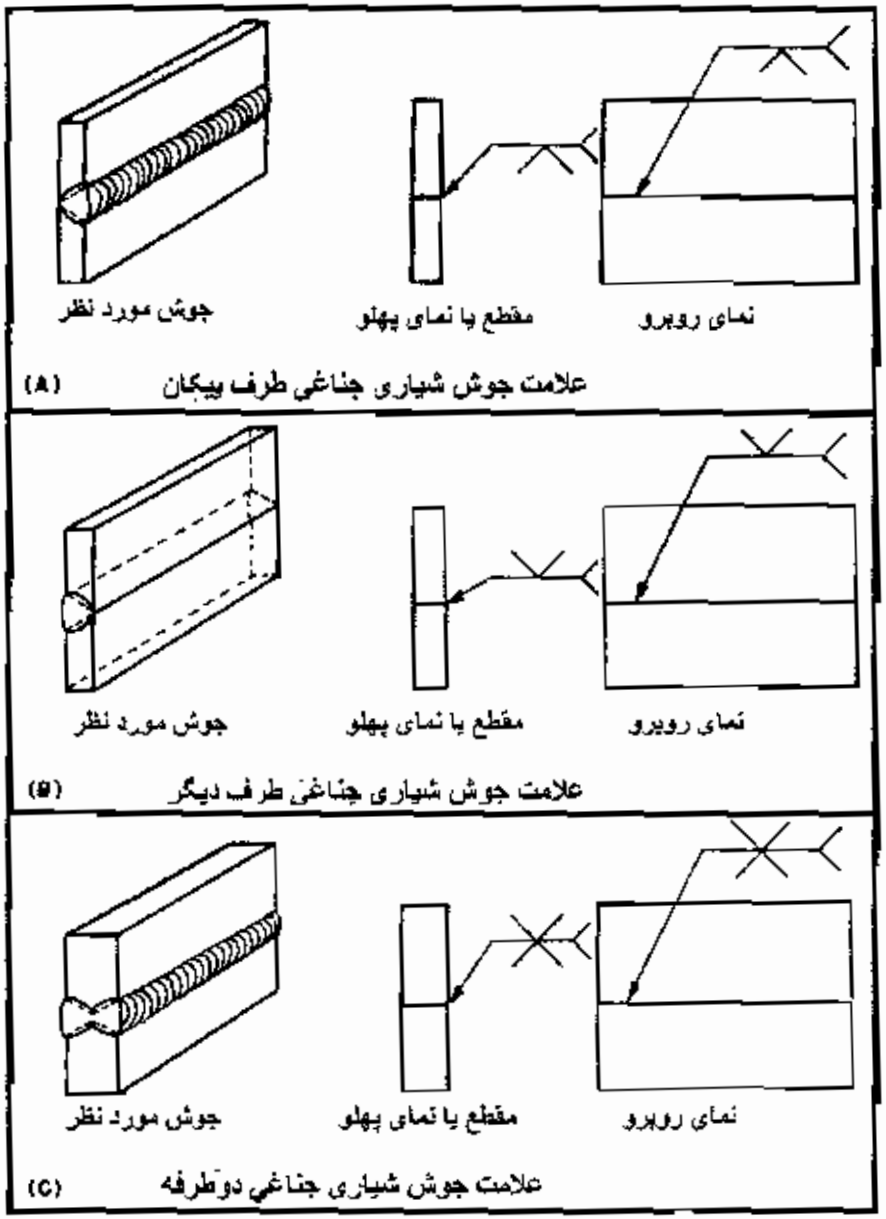


7- علامت مشخصه میزان پیشرفت جوش

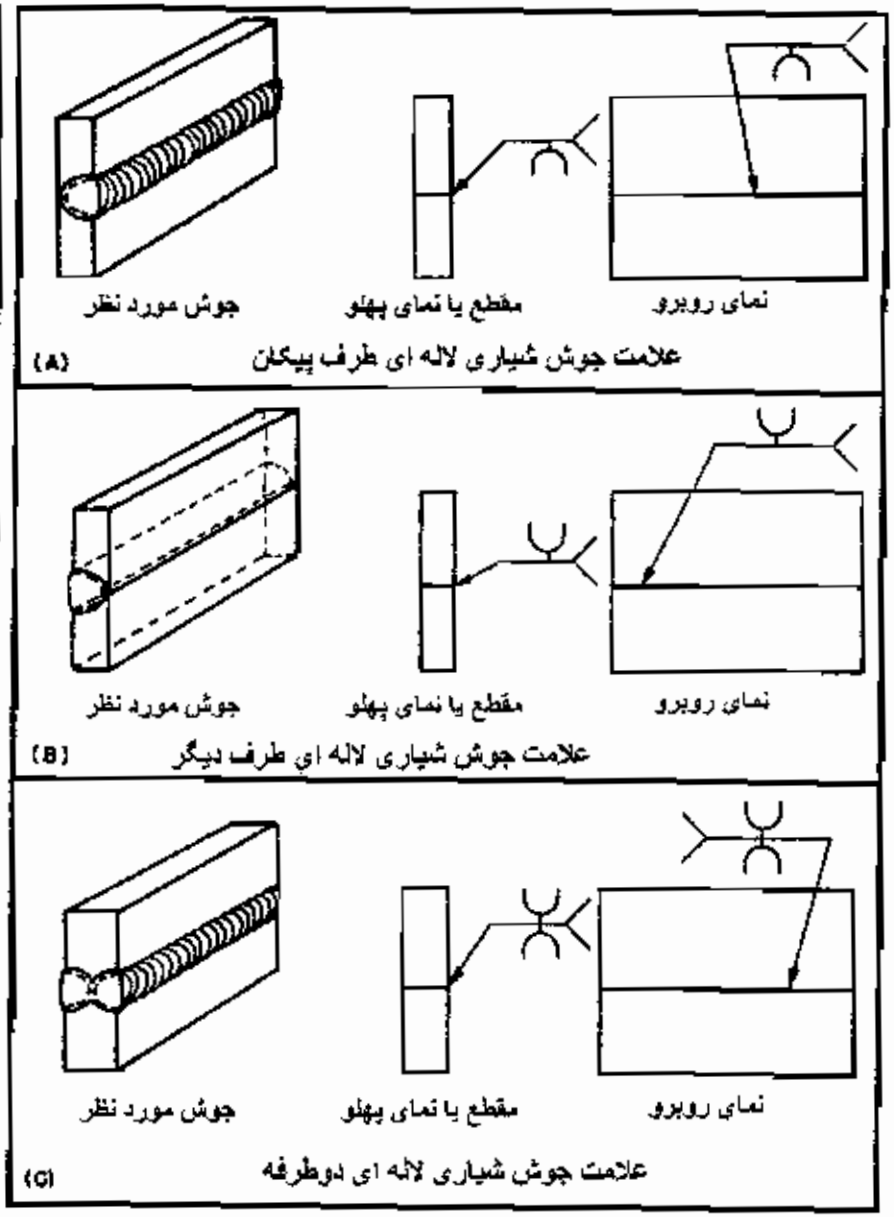
8- علامت مشخصه اندازه جوشهاي مركب با نفوذ ريشه مشخص شده



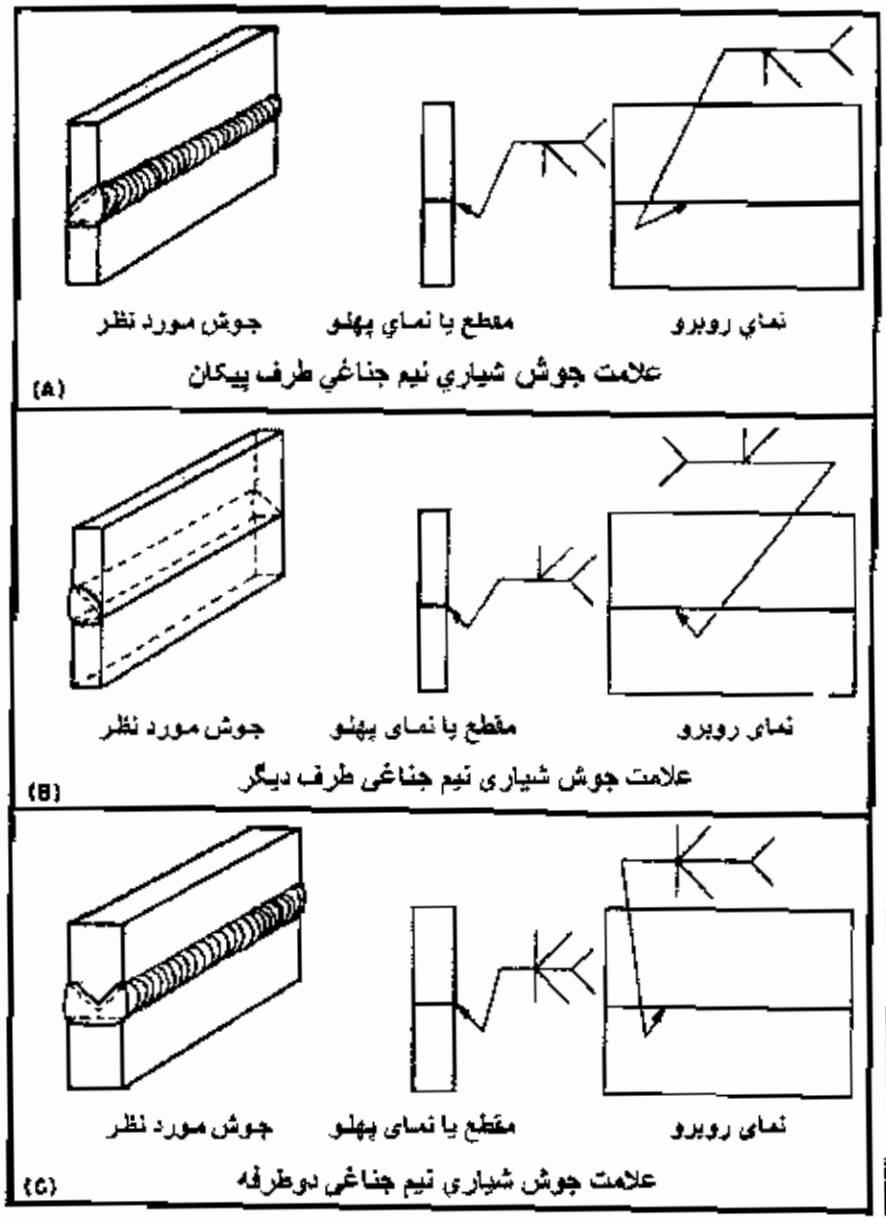
9- کاربرد علامت جوش شیاری ساده



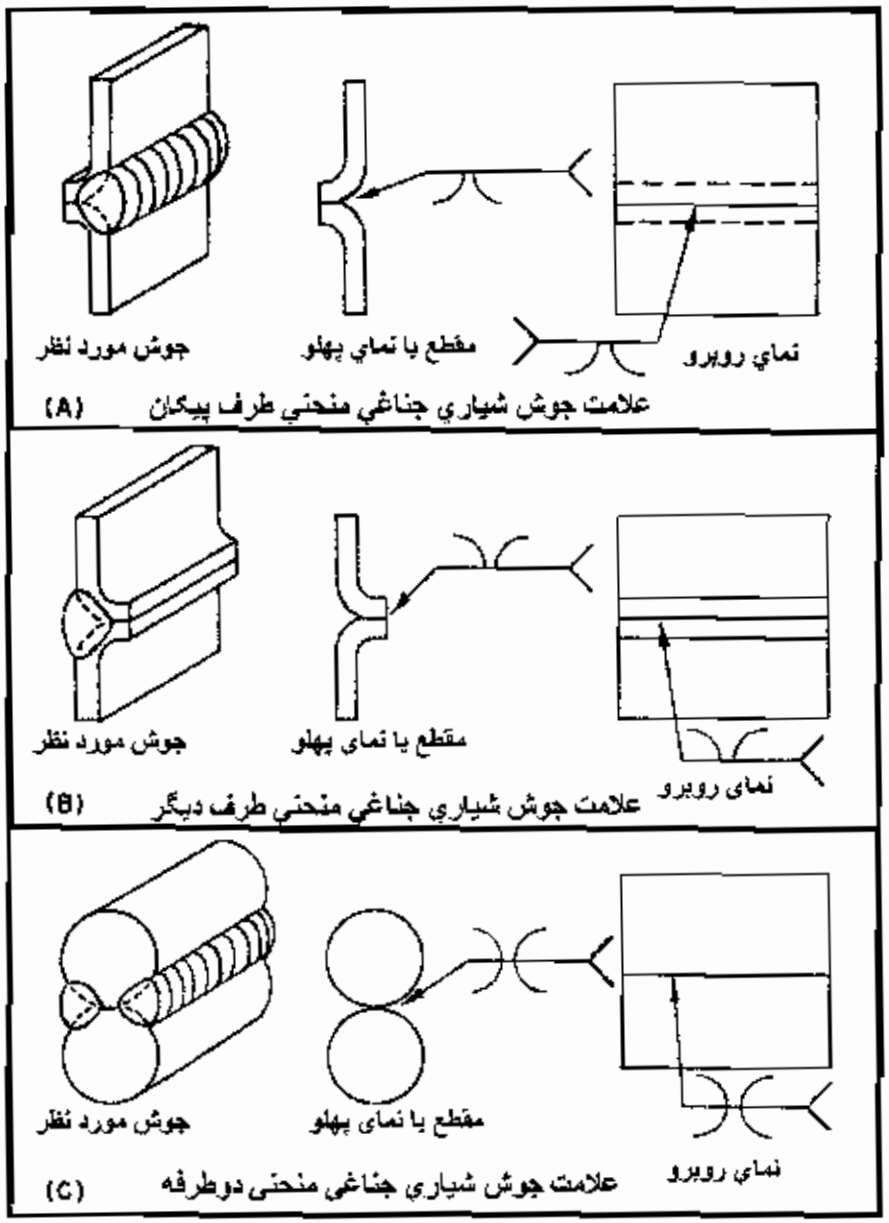
10- کاربرد علامت جوش شیاری جناغی



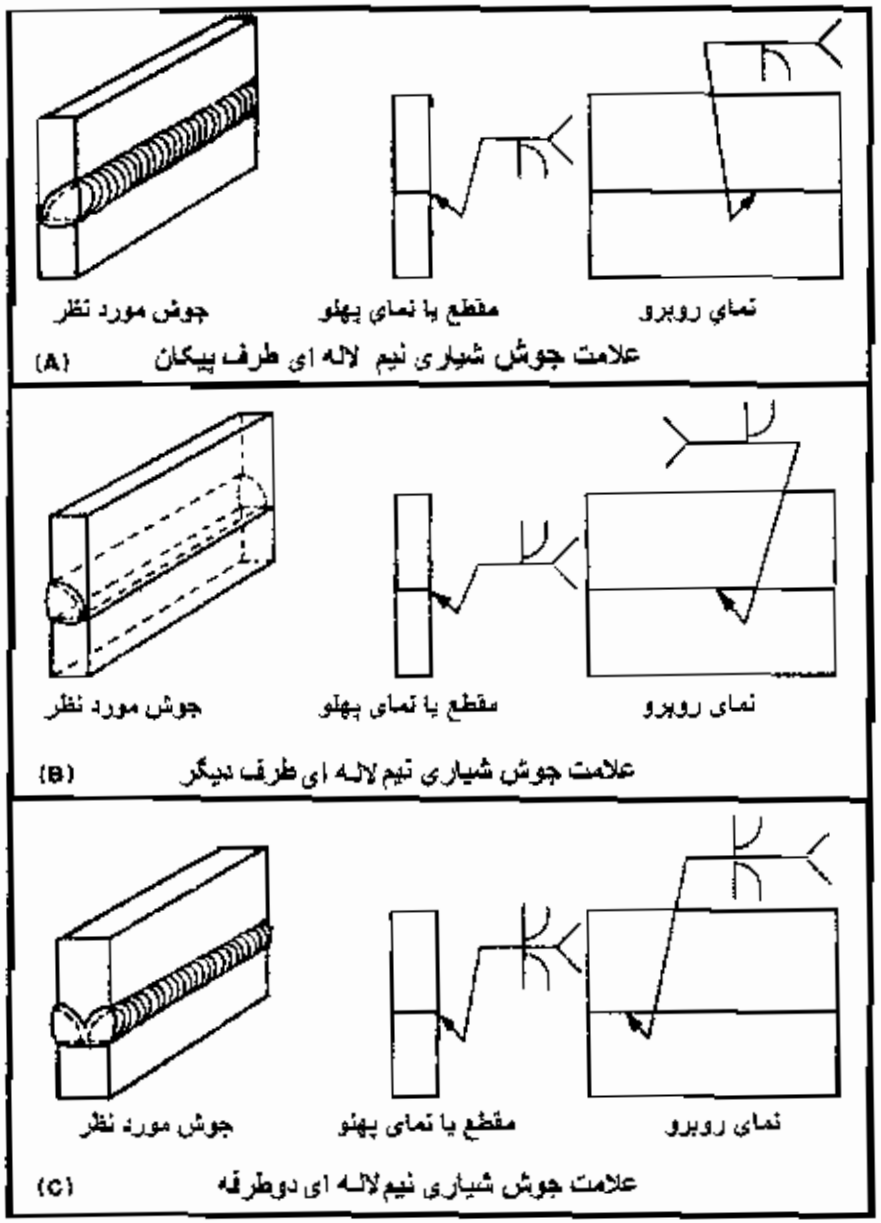
12- کاربرد علامت جوش شیاری لاله ای



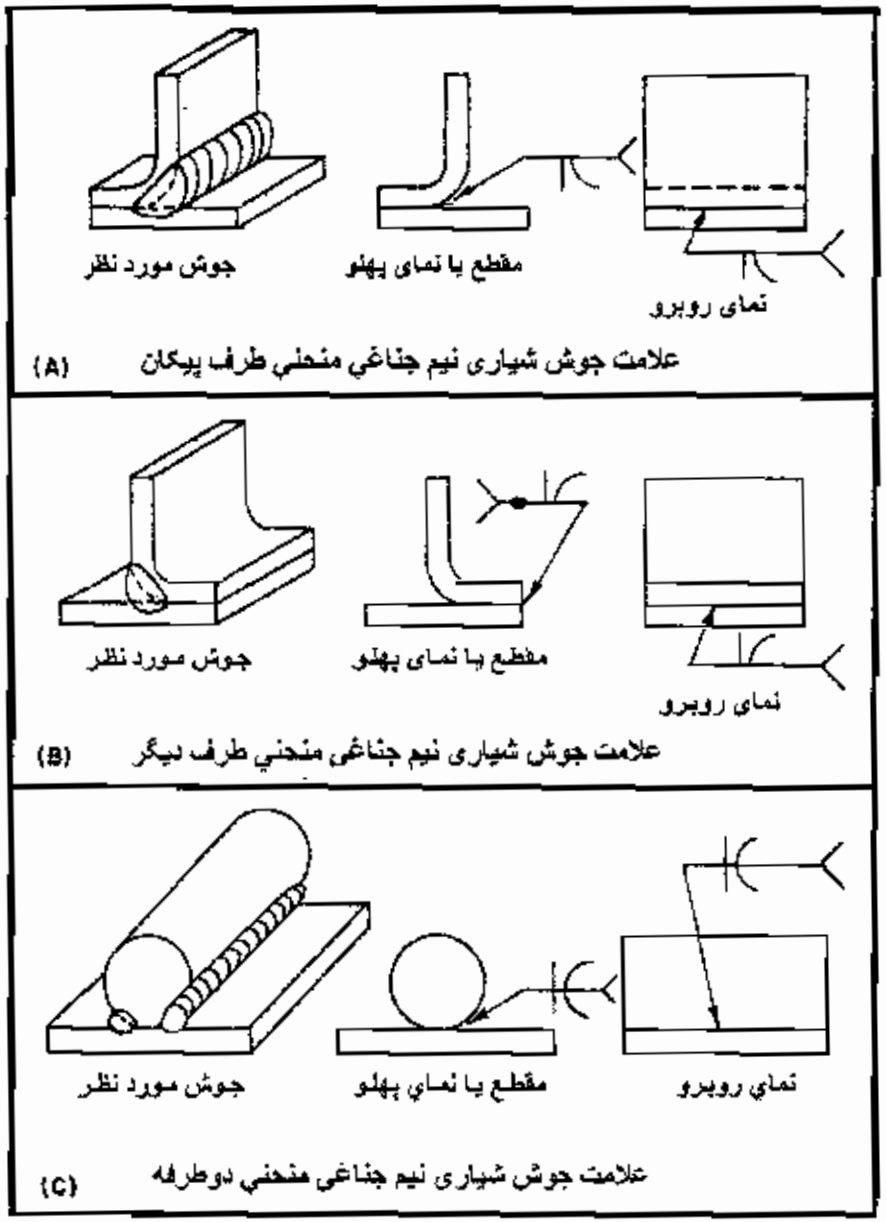
11- کاربرد علامت جوش شیاري نیم جناغی



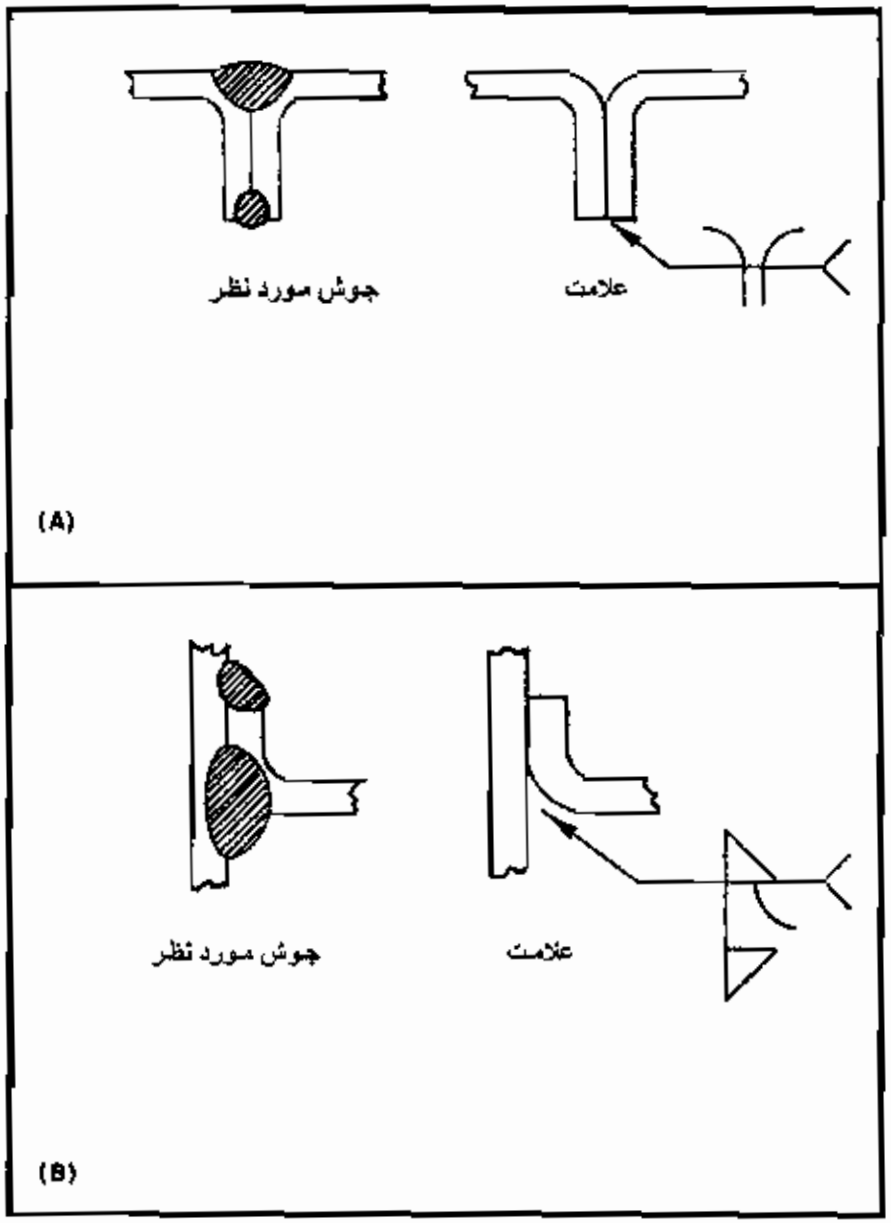
14- کاربرد علامت جوش شیاري جناغي منحني



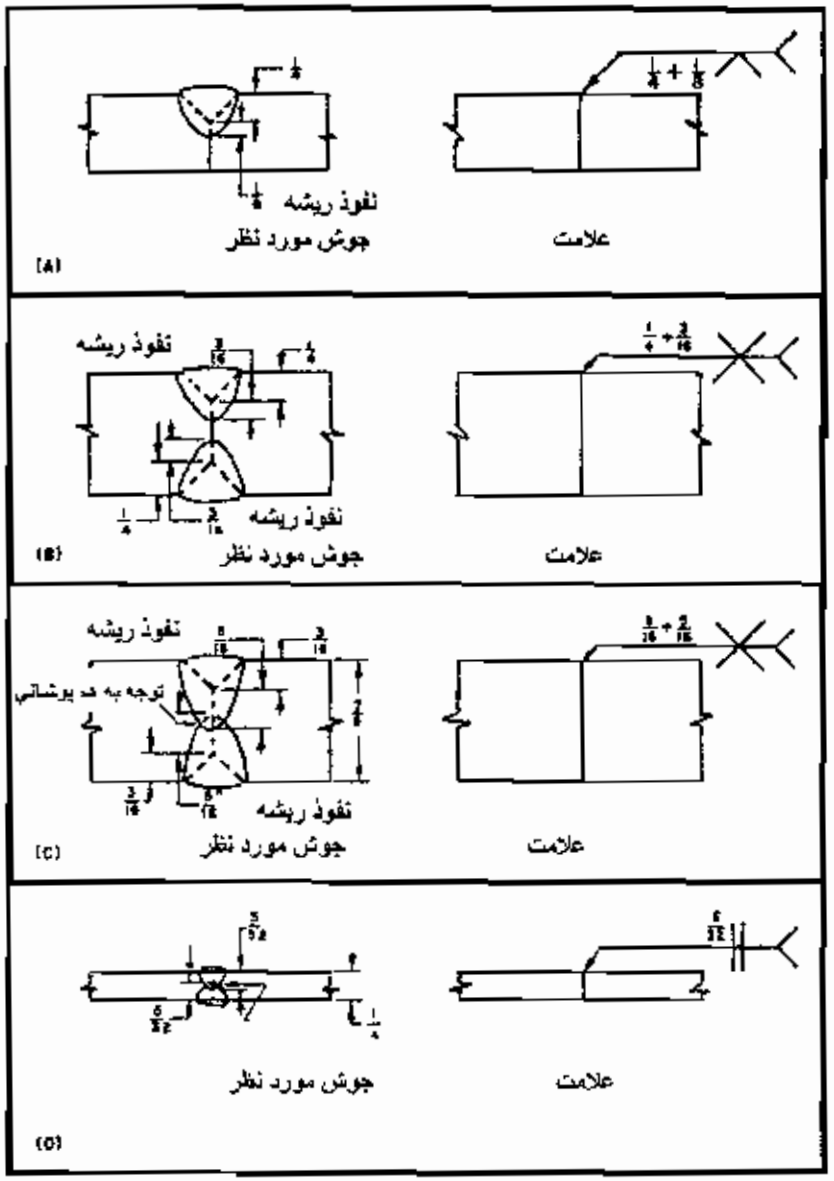
13- کاربرد علامت جوش شیاري نیم لاله ای



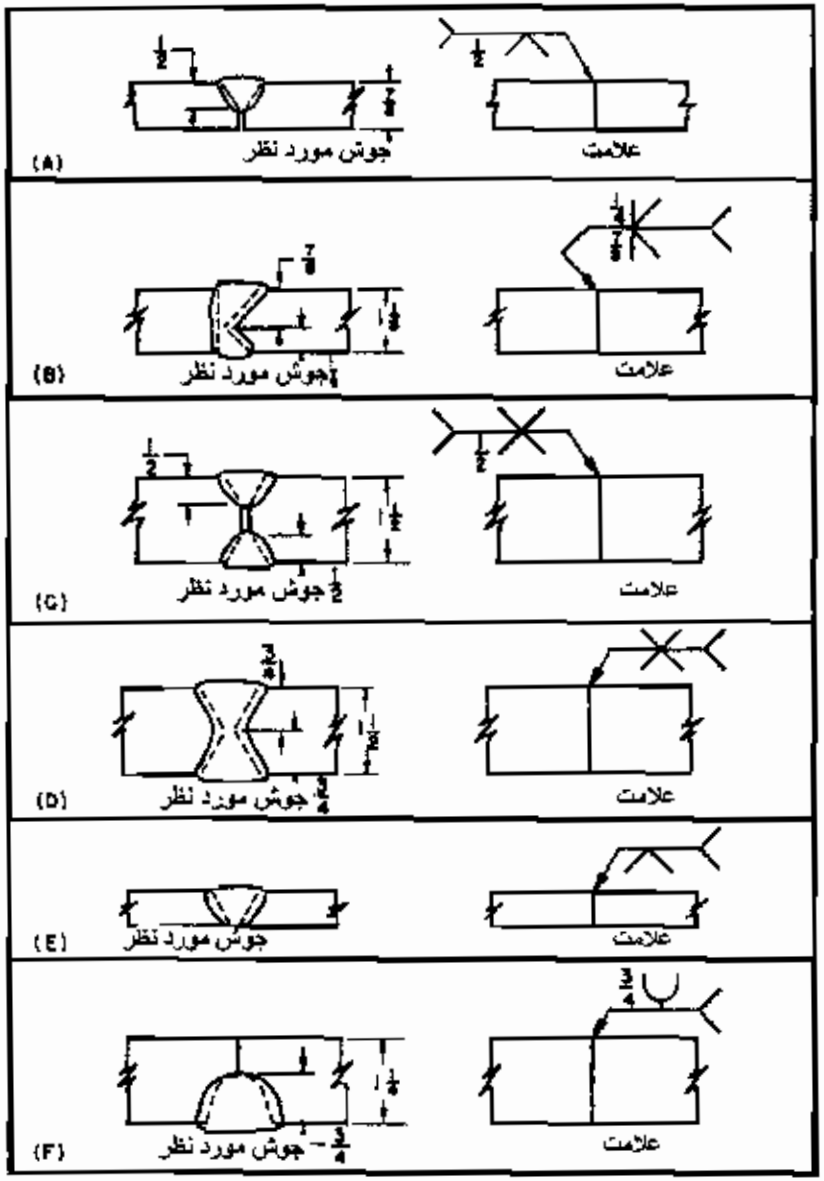
15- کاربرد علامت جوش شیاری نیم جناغی منحنی



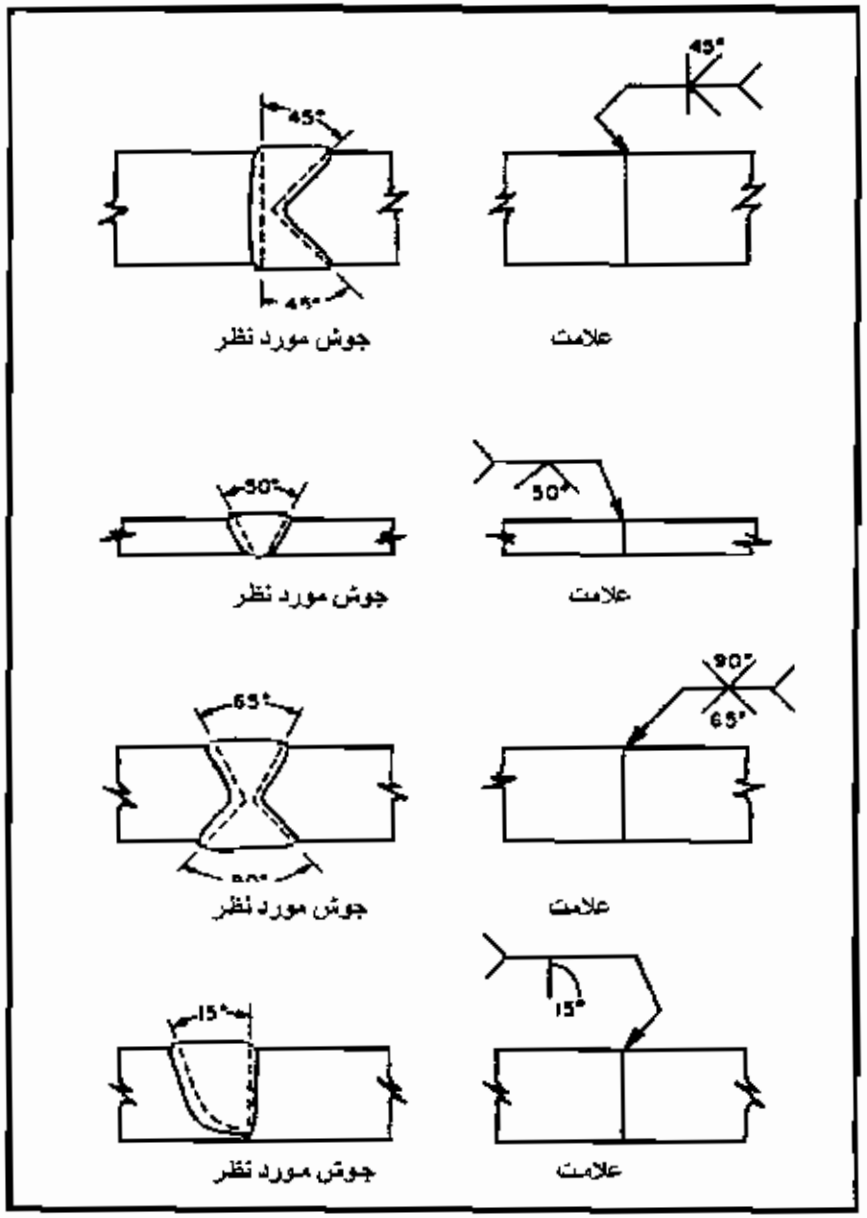
16- کاربرد علامت جوش شیاري جناغي منحني و نیم جناغي منحني



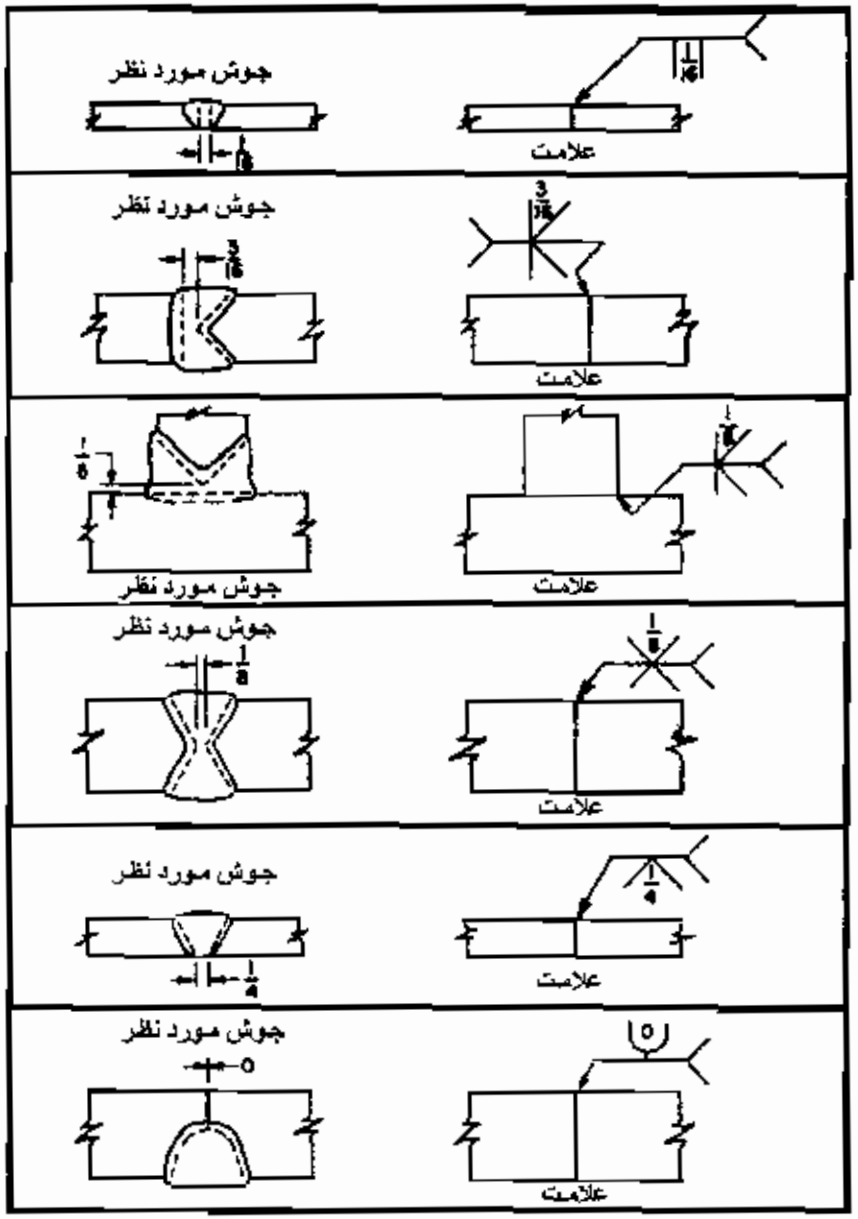
18- علامت مشخصه اندازه جوشهای شیاری
با نفوذ ریشه مشخص



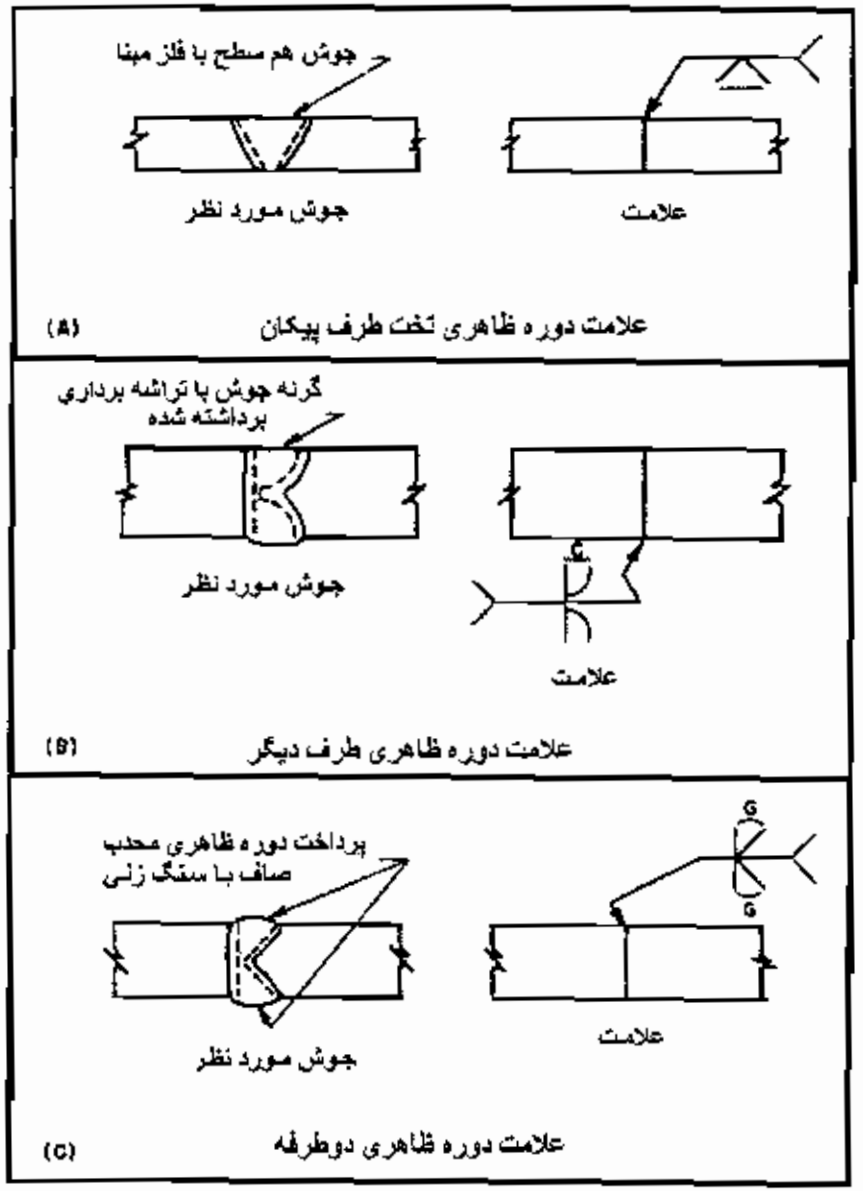
17- علامت مشخصه اندازه جوشهای شیاری
با نفوذ ریشه نامشخص



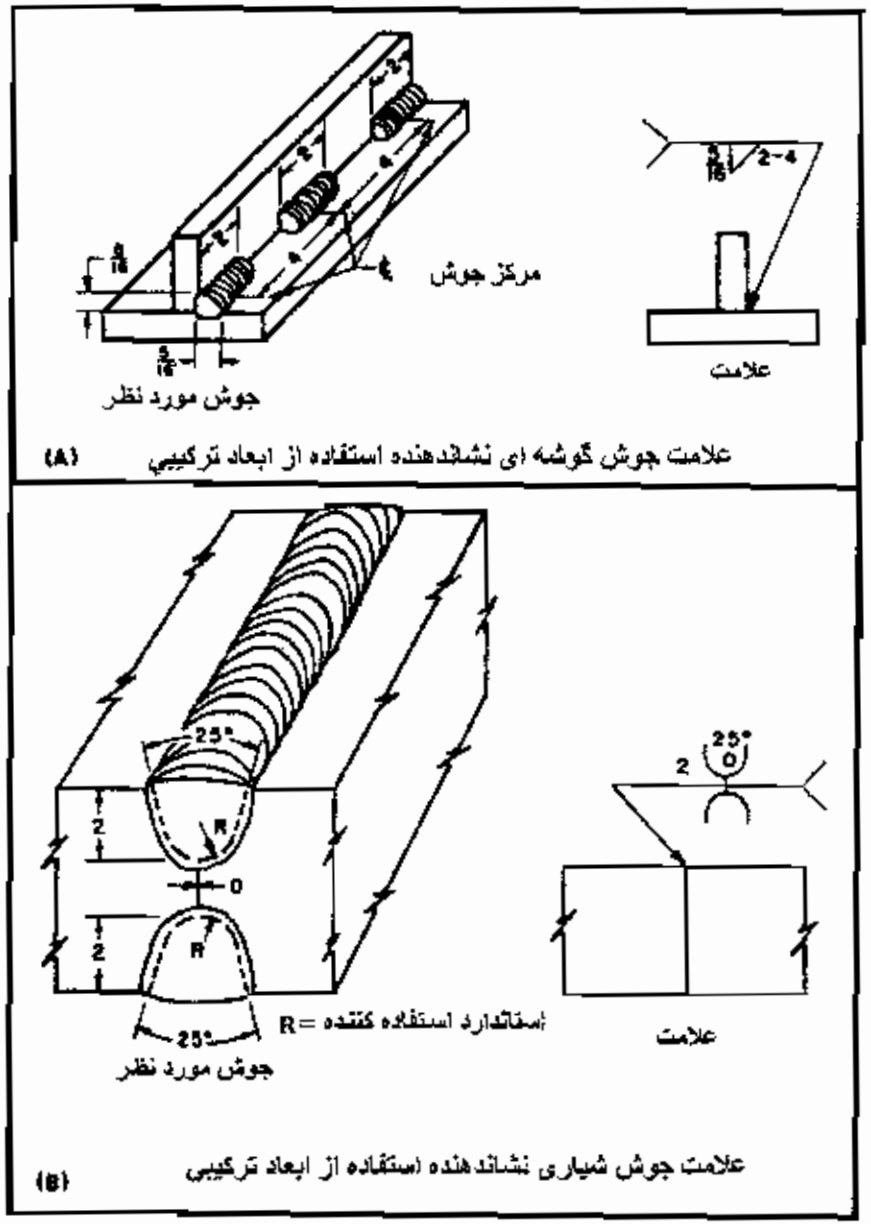
20- علامت مشخصه زاویه شیار جوشهای شیاری



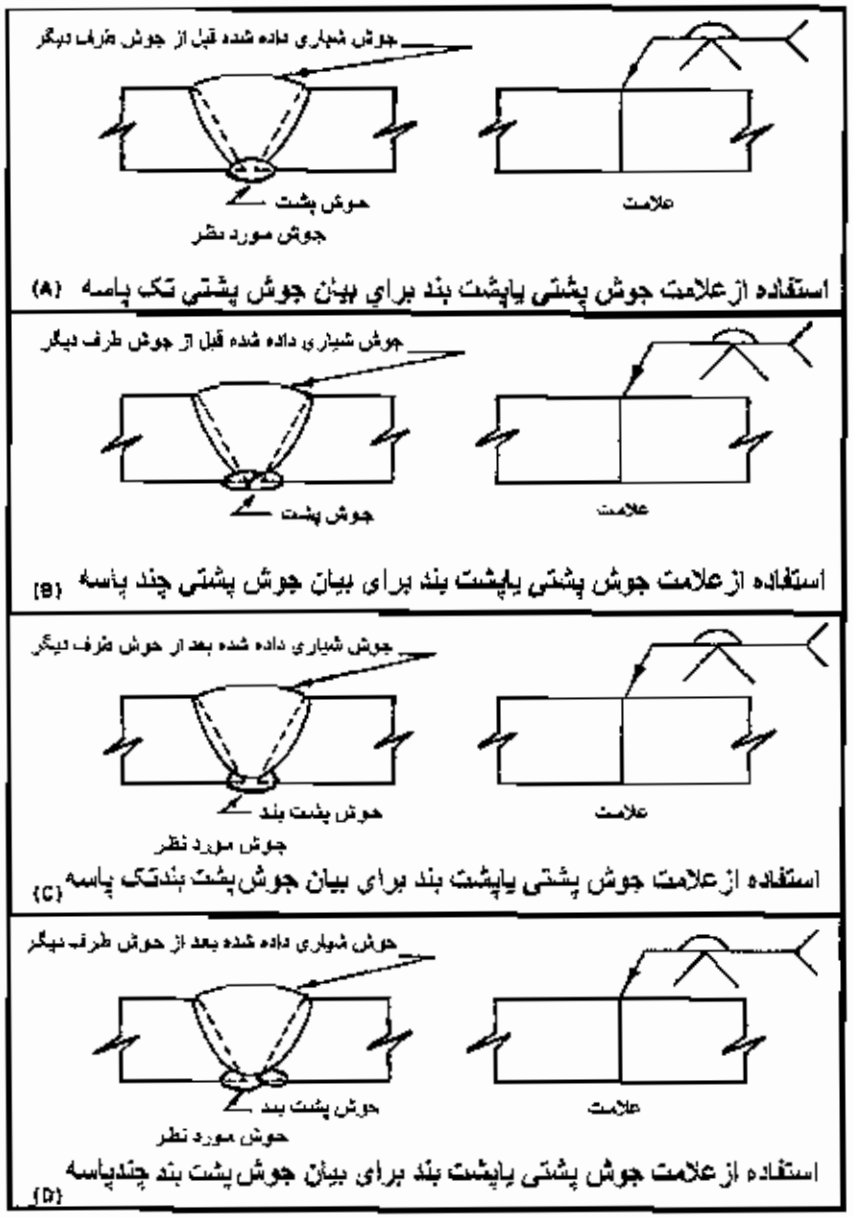
19- علامت مشخصه فاصله ریشه جوشهای شیاری



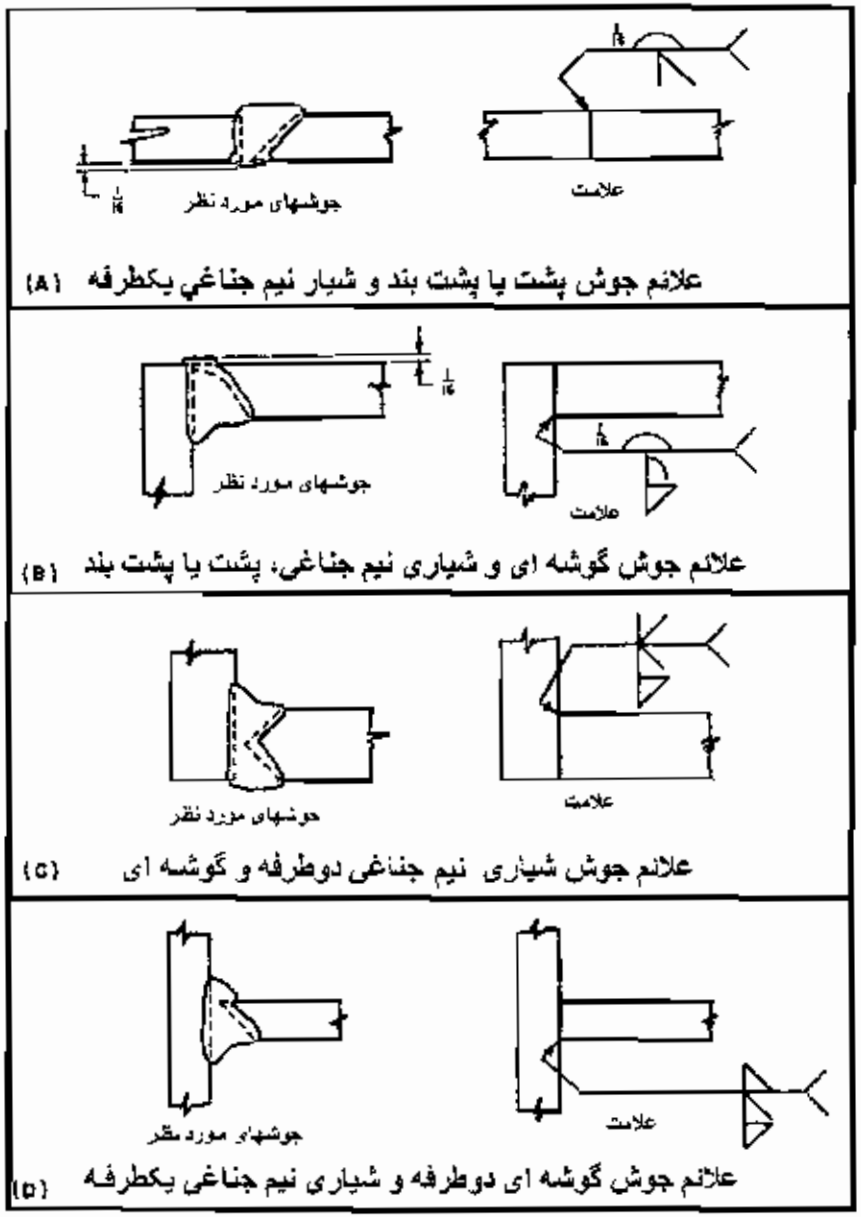
21- کاربرد علائم دوره ظاهری همسطح و محدب
براي علائم جوش شیاری



22- کاربرد ابعاد علائم جوش گوشه ای وشیاری



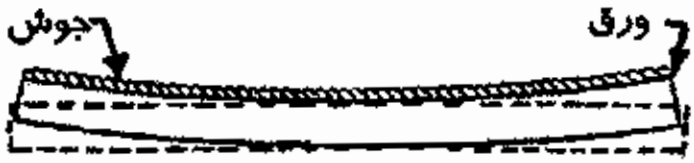
23- کاربرد علامت جوش پشت یا پشت بند



24- ترکیب علائم جوش

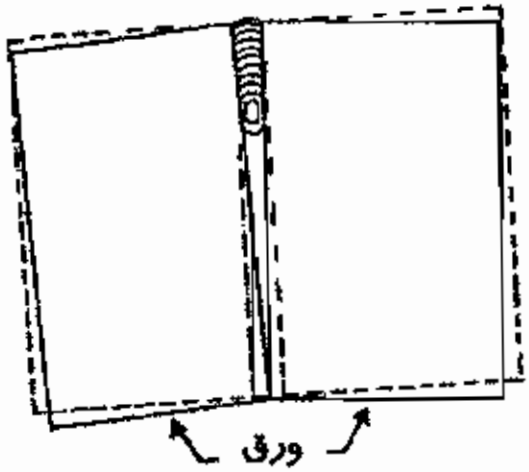
انواع پیچیدگی در جوشکاری

پیچیدگی طولی



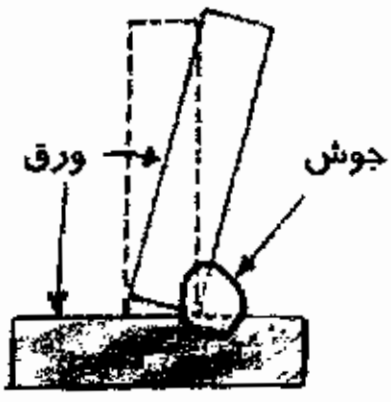
خط چین = قبل از جوشکاری

خـــط پر = بعد از جوشکاری

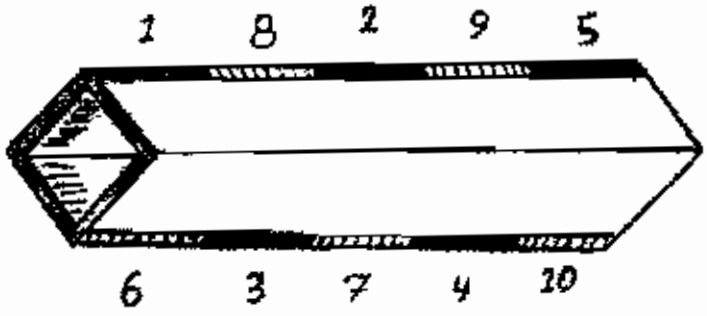


پیچیدگی عرضی

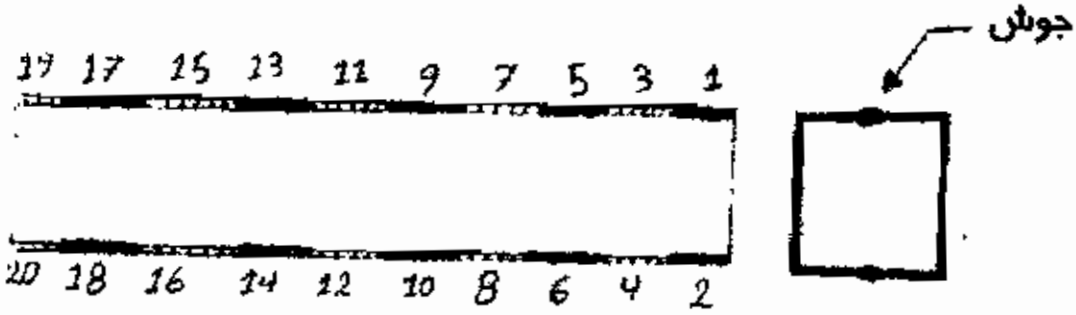
پیچیدگی زاویه ای



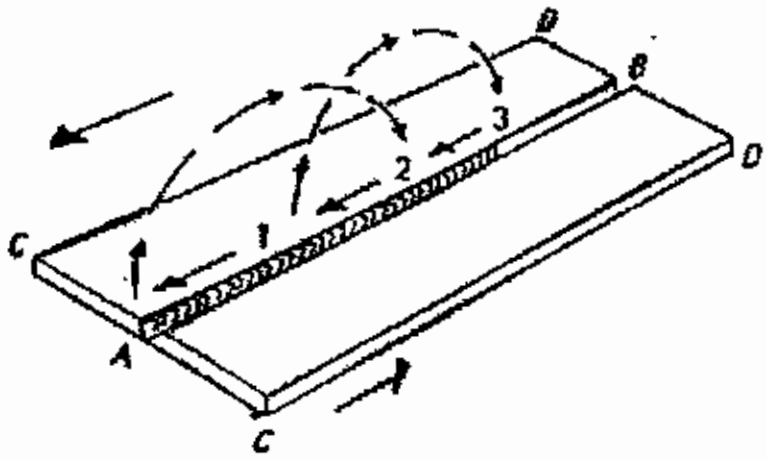
کنترل پیچیدگی



۱- ترتیب و توالی جوشکاری ساخت قوطی از نبشی
(برگشت به عقب پرشی)



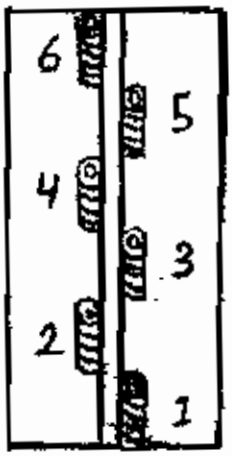
۲- ترتیب و توالی جوشکاری ساخت قوطی از ناودانی



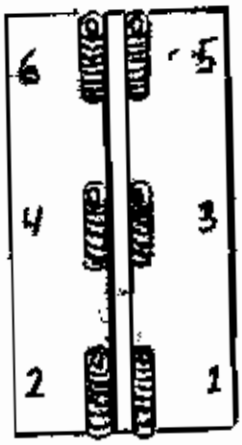
۳- ترتیب و توالی جوشکاری برگشت به عقب، برای کنترل پیچیدگی طولی

در هر سه مورد بالا، طول جوش به قسمت های ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلیمتری (در جوش با الکترود دستی) و ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلیمتر (در جوش با سیم جوش قرقره‌ای) تقسیم می شود و به نوبت مطابق شماره‌ها توسط یک نفر جوشکار یا دو نفر جوشکار (بطور همزمان) جوشکاری می‌گردد.

کنترل پیچیدگی در جوش گوشه ای دو طرفه



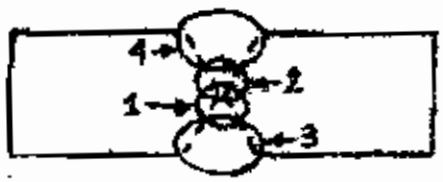
روش شطرنجی



روش زنجیری

در هر دو مورد بالا، طول جوش به قسمت های ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلیمتری (در جوش با الکترود دستی) و ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلیمتری (در جوش با سیم جوش قرقره‌ای) یا دو نفر جوشکار (بطور همزمان) جوشکاری می گردد.

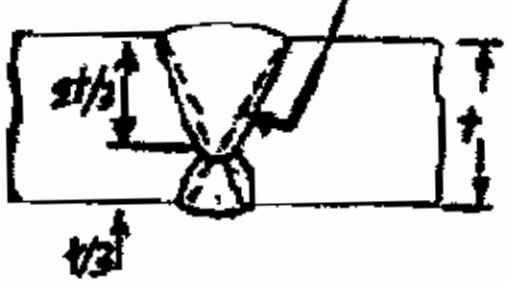
کنترل پیچیدگی جوشهای لب بلب



ترتیب و توالی
جوشکاری دوطرفه

آماده سازی اصلی

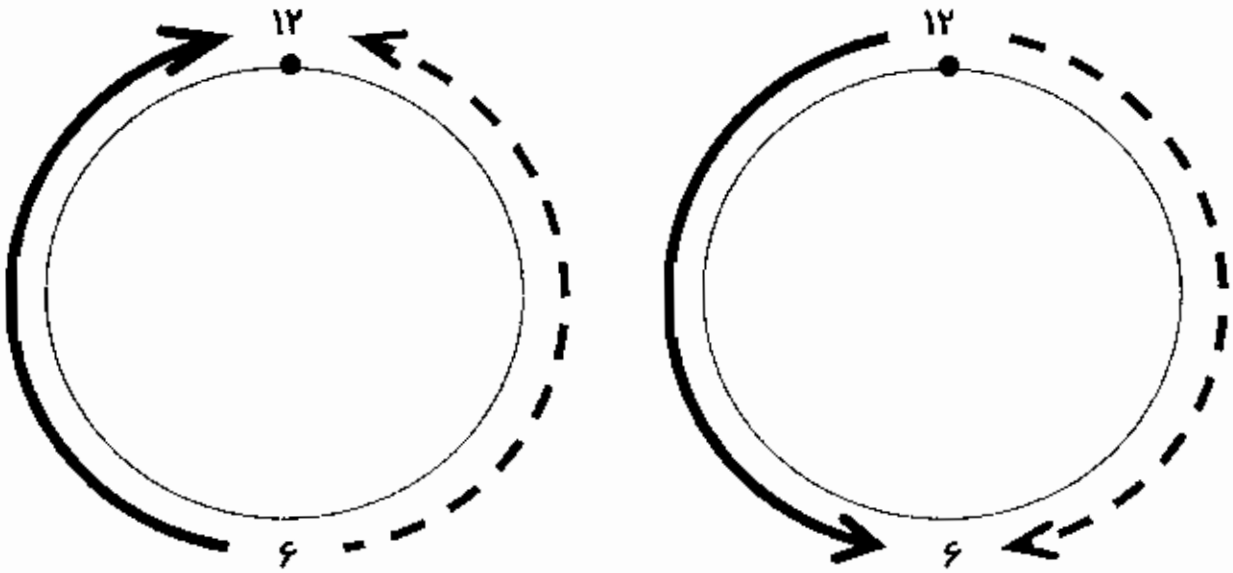
آماده سازی اصلی



جناغ های مساوی

جناغ های نامساوی (یک سوم و دو سوم ضخامت)

جوشکاری لوله



برای کنترل و حفظ دایره مقطع جوش به نکات زیر توجه شود :

برای خط لوله، جوشکار طرف کانال، فقط طرف کانال را جوش دهد. جوشکار طرف جاده، فقط طرف جاده را جوش می دهد.

جوشکار طرف کانال و طرف جاده نسبت به جوشکاری هر سرجوش لوله بطور همزمان کار کنند.

برای لوله کشی داخل سایت ، جوشکاری لوله تا قطر ۱۲ اینچ را یکنفر جوشکار می تواند بصورت دو نیم حلقه جوش دهد.

برای جوشکاری لوله با قطر بیشتر از ۱۲ اینچ لازم است دو نفر جوشکار بطور همزمان (هرکدام نیم حلقه را) جوشکاری نمایند.

جوشکاری لوله با قطر ۴۸ اینچ را میتوان بطور همزمان با دونفر جوشکار یا با چهار نفر جوشکار انجام داد ولی لوله با قطر ۵۶ اینچ یا بزرگتر بایستی توسط چهار نفر جوشکار بطور همزمان انجام شود.

ناپیوستگی ها *Discontinuities*

ناپیوستگی هائی غیرقابل قبول به شمار می آیند که بعضی از خصوصیات از جمله: نوع، اندازه، پراکندگی یا موضع را بیش از حد مجاز استانداردها دارا باشند.

در آئین نامه جوشکاری سازه های فلزی *(AWS D1.1)* ، ناپیوستگی نوع ذوبی به آخال سرباره و ذوب ناقص و نفوذ ناقص اتلاق می شود .

در بسیاری از آئین نامه ها و مقررات ناپیوستگی نوع ذوبی کمتر از ترک مورد توجه قرار می دهند ولی در برخی از استانداردها نه تنها ترک بلکه ذوب ناقص یا نفوذ ناقص را نیز ممنوع می دانند (مثل *BS 5500*)

ناپیوستگی های کروی در هر جای از جوش امکان ظاهر شدن دارند . ناپیوستگی دراز شده در هر جهتی قابل پیش بینی هستند .

تخلخل *(POROSITY)*

تخلخل در نتیجه حبس گاز به هنگام سرد شدن جوش بوجود می آید . تخلخل معمولا کروی است ولی احتمال تخلخل طولی نیز وجود دارد . حفره های گاری در قطعات چدنی شاید به شکل لایه به لایه هم پیدا شود . تخلخل هر چقدر هم زیاد باشد ، خطرش به اندازه ناپیوستگی های تیز که موجب تمرکز تنش می شوند ، نیست .

تخلخل زیادی نشانه آنست که عوامل جوشکاری ، مواد مصرفی یا طرح اتصال بدرستی کنترل نشده اند یا فلز مبنا کثیف و آلوده بوده یا فلز مبنا با فلز جوش ناسازگار است .

تخلخل منحصرا ناشی از هیدروژن نیست ولی وجود تخلخل بیانگر وجود هیدروژن در جوش و ناحیه حرارت دیده است که در فلزات آهنی احتمال ترک خوردن قطعه را زیادتر میکند.

تخلخل با پخش یکنواخت (UNIFORMLY SCATTERED POROSITY)

تخلخلی است که در فلز جوش بطور یکنواخت پخش شده است . اگر این تخلخل در جوش بیش از حد وجود داشته باشد بیشتر به علت عیب تکنیک جوشکاری یا نقص در مواد است روش آماده سازی اتصال یا مواد مصرفی می توانند در مواردی موجب بروز تخلخل شوند . اگر جوشی آهسته تر از حد لازم سرد شود ، حجم زیادی از گازها در حین انجماد خارج می شوند و در نتیجه حفره های کمی در جوش باقی خواهد ماند .

تخلخل خوشه ای (CLUSTER POROSITY)

حفره هایی هستند که در یک محل مجتمع شده اند و اکثرا ناشی از برقراری نادرست قوس و قطع نادرست قوس می باشند .

تخلخل خطی (LINEAR POROSITY)

یکسری حفره های باریک می باشند که بیشتر در طول سطوح میانی جوش ، گرده جوش یا نزدیک ریشه جوش بوجود می آیند .

بهنگام جوشکاری نعلب آلوده بودن محل ، گازهای حاصله به وضعیتهای فوق الذکر رانده می شوند .

تخلخل لوله ای (PIPING POROSITY)

حفره ای گازی و طویل است . تخلخل لوله ای در جوشهای گوشه ای از ریشه به طرف سطح جوش امتداد دارد . وقتی که یک یا دو حفره در سطح جوش مشاهده شوند سنگ زنی دقیق میتواند تخلخل تحت السطحی را آشکار سازد . قسمت اعظم تخلخل های لوله ای کاملا تا سطح جوش امتداد پیدا نمی کنند .

این تخلخل در روش جوشکاری سرباره الکتریکی **(ELECTROSLAG WELDING)** امکان دارد به طول ۲۰ اینچ (۵۰۸ میلیمتر) هم برسد . این تخلخل تقریبا استوانه ای شکل میباشد .

آخالها (INCLUSIONS)

آخال سرباره (SLAG INCLUSION)

مواد غیر فلز ی جامدی می باشند که در فلز جوش یا بین فلز جوش و بدنه حبس شده اند و بیشتر در جوشهایی که با فرایندهای قوسی جوشکاری شده اند یافت می شوند . در کل، آخالهای سرباره بر اثر عیوب تکنیک جوشکاری ، طراحی نامناسب طرح اتصال یا عدم تمیز کاری سطح جوش در بین دو پاس پدید می آیند . معمولا سرباره مذاب به سمت سطح جوش حرکت می کند.

شیارهای تیز در سطوح میانی جوش یا بین پاسها سبب حبس سرباره در زیر فلز مذاب جوش می شوند .

آخال های تنگستنی *(TUGSTEN INCLUSION)*

درات تنگستنی محبوس در فلز جوش تنگستنی برای برقراری قوس بین الکترود و جوش می باشد و مشخصه بارز فرایند جوشکاری با قوس تنگستنی است .

در این فرایند از الکترودی تنگسنی برای برقراری قوس بین الکترود و جوش یا فلز مبنا استفاده می شود . اگر الکترود تنگستنی در مداب فرو برود یا اینکه جریان آنقدر بالا رود که تنگستن ذوب شده و قطره قطره در حوضچه جوش فرود آید آخالهای تنگستنی حاصل خواهند شد. آخالهای تنگستنی روی عکسهای رادیو گرافی بصورت علائم و نقاط روشن دیده می شوند زیرا چگالی تنگستن بیشتر از فولاد یا آلومینیوم است در نتیجه اشعه را بیشتر حذب می کند . تقریبا مابقی ناپیوستگی ها و عیوب در آزمایش رادیو گرافی به شکل نقاط تیره و تار مشاهده می شوند .

ذوب ناقص *(INCOMPLETE FUSION)*

نتیجه تکنیک نادرست جوشکاری ، آماده سازی غلط فلز مبنا یا طرح اتصال نامناسب است . علل ذوب ناقص (عدم ادغام کامل) عبارتند از کمی حرارت حوشکاری یا فقدان راهیابی به همه سطوح ادغام یا هر دو . چسبندگی شدید اکسیدها حتی اگر مسیر مناسبی جهت دستیابی به سطوح فراهم شود و حرارت کافی تامین گردد باز هم مانع ادغام کامل خواهد شد .

نفوذ ناقص در اتصال *(INCOMPLETE JOINT PENETRATION)*

زمانی اتفاق می افتد که فلز جوش نتواند در اتصال نفوذ نماید . نقطه ای که عدم نفوذ و ادغام در آن روی داده با ناپیوستگی بنام نفوذ ناقص معرفی میشوند. حرارت ناکافی ، طرح اتصال نامطلوب یا هدایت جانبی قوس جوشکاری به شکلی نادرست ، از جمله عواملی هستند که موجب نفوذ ناقص می شوند . بعضی فرایندها نسبت به بعضی دیگر قادرند نفوذ بیشتری ایجاد کنند. اتصالاتی که باید از هر دو طرف جوشکاری شوند بعد از جوشکاری یک طرف و قبل از جوشکاری طرف دیگر، برای اطمینان از عدم نفوذ ناقص آن را می توان شیار زنی ***(Back Gouging)*** نمود . جوشهای لوله ، خصوصا ، در معرض چنین ناپیوستگی ها هستند چون اکثر اوقات دسترسی به داخل لوله مقدور نیست . در چنین مواردی طراحان اکثرا برای کمک به جوشکاران تسمه یا پشت بندهای مصرفی را پیشنهاد می کنند . جوشهایی را که باید نفوذ کافی داشته باشند بوسیله بعضی بازرسیهای غیرمخرب آزمایش می کنند . این مسئله در مورد پلها ، خطوط لوله ، ظروف تحت فشار و کاربردهای هسته ای صدق می کند .

بریدگی کنار جوش *(UNDERCUT)*

معمولا براثر تکنیک غلط جوشکاری یا بعلت زیادی شدت جریان جوشکاری یا هر دو اتفاق می افتد. بریدگی کنار جوش ، شیاری است درون فلز مبنا که کنار پنجه یا ریشه جوش ذوب گردیده و با فلز جوش پر نشده است . این بریدگی شیاری مکانیکی ایجاد می کند که متمرکز کننده تنشها میشود اگر عوامل موثر در تشکیل بریدگی کنار جوش کنترل شوند و شیار عمیق و تیز بوجود نیاید این عیب برای بار گذاری استاتیک نگران کننده نخواهد بود .

پُر نشدگی *(UNDERFILL)*

عبارت است از فرو رفتگی سطح جوش که تا پایین تر از لبه قطعه کار امتداد داشته باشد . این عیب در اثر عدم دقت جوشکار در پر کردن کامل طرح اتصال (شیار) بوجود می آید .

رویهم افتادگی *(OVERLAP)*

به حالتی گفته می شود که لبه کناری جوش بیش از حد متعارف بر روی سطح قطعه کار و لبه اتصال پیشروی نماید و براثر عواملی همچون عدم کنترل فرایند جوشکاری (مثل جریان وولتاژ)، انتخاب نادرست مواد جوشکاری یا آماده سازی نا مناسب فلز بدنه روی می دهد . اگر هم اکسیدها محکم به فلز بدنه چسبیده باشند بطوری که از ادغام جلوگیری کنند این حالت قابل پیش بینی است .

سررفتن جوش ، انفصالی سطحی است که شیار مکانیکی ***(MECHANICAL NOTCH)*** تشکیل می دهد و تقریبا همیشه از نظر بازرسین غیر قابل قبول است .

تورق *(LAMINATION)*

ناپیوستگی طولی است که در بین لایه های مبانی ورق بصورت تخت ظاهر می شود و سبب جدایی لایه ها از یکدیگر می گردد. تورق شاید به کلی داخلی باشد و فقط بوسیله آلتراسونیک ردیابی شودوشاید هم تا لبه ورق و سطح قابل رویت امتداد یافته باشد که در این صورت می‌توان آنها را به روش مایع نافذ یا ذرات مغناطیسی کشف نمود. با ماشین کاری یا برش کاری نیز می‌توان تورق داخلی را جستجو نمود .

تورق زمانی تشکیل می شود که شمشی ، دارای حفره های گازی ، حفره های ناشی از انقباض یا آخالهای غیر فلزی است بوسیله نورد تخت شود و عموما موازی سطح محصولات نورد شده می باشد و بیشتر در پروفیلها و ورقها دیده می شود .

برخی تورقها با استفاده از دمای بالا و نیروی نورد زیاد رفع می شوند . به فلزاتی که تورق دارند نمی توان اعتماد داشت که از سر تا سر ضخامت خود در برابر تنشهای کششی سود ببرند .

دولایگی *(DELAMINATION)*

جدایی و انفصال یک تورق تحت تنش وارده را گویند (چه تنشهای شدید ناشی از جوشکاری باشند یا اینکه تنشها ، از خارج اعمال شوند)

جدایی و دو لایگی در لبه های قطعات را می توان به روش باررسی چشمی پیدا کرد یا اینکه به روش آلتراسونیک توسط ارسال موج مستقیم بصورت عمود بر سطح آنرا یافت .

در جایی که دو لایگی وجود دارد مثل تورق نمی توان بارهای کششی بصورت عمود بر سطح ناپیوستگی وارد کرد .

درز مویی و چین *(SEAM AND LAP)*

ناپیوستگی های طولی فلز مبنا هستند که بیشتر در شمشها یافت می شوند . وقتی امتداد ناپیوستگی موازی با تنش اعمالی باشد عیب جدی به حساب نمی‌آید ولی اگر درزهای مویی و چینها عمود بر امتداد تنشهایی که وارد شده اند و یا در فلز باقیمانده اند باشند اکثرا برابعادشان همانند ابعاد یک ترک افزوده می شود .

درز مویی و چین ناپیوستگی هایی هستند که بیشتر در سطح طاهر می شوند از ایرو با استفاده ار روشهای بازسازی ، سطح قطعات را بعد از تولید ، تعمیر می نمایند . جوشکاری روی درزهای مویی و چینها موجب ترک می شود .

پارگی سراسری *(LAMELLAR TEAR)*

شکستگی است که در فلز بدنه کاملا موازی با سطح ورق می باشد و بر اثر اعمال تنش بیش از حد ناشی از عملیات جوشکاری بر ورق بوجود می آید .

پارگی در فواصل طولانی امتداد می یابد و از ناحیه ای از فلز مبنا که دارای انتشار زیاد رگه مانند ***(STRINGER - LIKE)*** و آخالهای غیر فلزی است و یا در قسمتهایی از فلز بدنه که در معرض تنشهای فراوان جوشکاری می باشد و یا تلفیقی از این دو توام با هم شروع می‌شود. بوسیله نیروهای برشی که تقریبا عمود بر سطح نورد شده هستند ، شکست از یک پارگی به نقاط دیگر منتشر می شود .

ترکها *(CRACKS)*

جوش و فلز بدنه زمانی ترک می خورند که تنش های موضعی از مقاومت تسلیم فلز بیشتر شوند . ترک خوردگی همواره با افزایش تنش در نزدیکی ناپیوستگی های جوش و فلز بدنه یا نزدیک شیارهای مکانیکی که در طرح اتصال پیش بینی شده اند همراه است . پس ماند تنشها و هیدروژن شکننده از عللی هستند که اکثرا بعنوان علل ترک خوردن ذکر شده اند .

ترکهای ناشی از جوشکاری که ذاتا شکننده هستند در مرزهای ترک ، تغییر شکل دائمی کمی نشان می دهند .

ترکها به دو دسته گرم و سرد تقسیم می شوند . ترک گرم در خلال انجماد مذاب شکل می‌گیرد و ترک سرد بعد از اینکه انجماد کامل شد شروع می شود .

ترکهای سرد که بعضا به ترکهای تاخیری معروفند با هیدروژن شکننده ارتباط خاصی دارند. ترکهای گرم در مرز دانه ها منتشر می شوند ولی ترکهای سرد هم در مرزدانه ها و هم از میان آنها گذشته و گسترش می یابند .

محل استقرار ترکها (CRACK ORIENTATION)

ترکها بسته به امتدادشان طولی یا متقاطع خوانده می شوند . وقتی ترک موازی محور جوش باشد ، صرفنظر از اینکه آیا ترک مرکزی در جوش است یا پنجه ***(TOE CRACK)*** در ناحیه حرارت دیده ، ترک طولی است . ترکهای عرضی عمود بر محور جوش هستند . ابعاد این ترکها محدود می باشد و کاملا در فلز جوش جای می گیرند و یا اینکه از فلز جوش به درون ناحیه‌ای از فلز مبنا که به شدت حرارت دیده و احیانا خود فلز مبنا رسوخ می نماید .

ترک طولی (LONGITUDINAL CRACK)

در فرایندهای جوشکاری زیر پودری که معمولا همراه با سرعت زیاد می باشند به چشم می خورند و گاهی تخلخل که در ظاهر جوش قابل رویت نیست در آنها روی می دهد .

ترکهای طولی در جوشهای کوچک و کم حجم بین قسمتهای حجیم و بزرگ ناشی از نرخ سرد شدن زیاد و مهار کردن قطعات است .

ترک عرضی (TRANSVERS CRACK)

بیشتر ناشی از اعمال تنشهای فشاری عمود بر جوشی که زیاد داکتیل نیست ، می باشند .

ترک چاله جوش (CRATER CRACK)

زمانی اتفاق می افتد که جوشکاری بدرستی و خوب به پایان نرسد . اگر چه شاید آنها شکل دیگری داشته باشند ولی به نام ترکهای ستاره ای معروفند . در ترکهای چاله جوش که سطحی هستند ترکهای گرم سوراخی مشبک شبیه ستاره درست می کنند .

ترک گلوئی (THROAT CRACK)

ترکهای طولی هم جهت با محور جوش در روی سطح آن هستند . آنها نه همیشه ولی اکثرا جزو ترکهای گرم به حساب می آیند .

ترک پنجه (TOE CRACK)

جزو ترکهای سردند . آنها از دامنه جوش جایی که تنشهای فشاری متمرکزند ، شروع شده و گسترش می یابند . آنها نه همیشه ولی اکثرا جزو ترکهای گرم به حساب می آیند .

ترک ریشه (ROOT CRACK)

ترکهای طولی در ریشه جوش یا در زیر سطح جوش می باشند . آنها هم بصورت سرد و هم گرم تشکیل می شوند .

ترک منطقه تاثیرحرارت وزیرمهره‌ای *(UNDER BEAD AND HEAT AFFECTED ZONE CRACK)*

ترکهای سردی هستند که در منطقه تاثیر حرارت بوجود می آیند . کوتاه هستند ولی میتوانند بهم متصل شده و ترک متوالی تشکیل دهند . ترکهای زیر مهره ای وقتی خطر جدی بحساب می آیند که سه عامل :

۱- هیدروژن

۲- ریز ساختاری که انعطاف پذیری کمی دارد

۳- پس ماند زیاده از حد تنش در محیط وجود داشته باشد .

این ترکها هم بصورت طولی و هم عرضی یافت می شوند . آنها به فواصل معین در زیر جوش و همچنین در روی مرزدانه ها در منطقه تاثیر حرارت جایی که پس ماند تنش ها حداکثر است دیده می شوند .

گلوئی ناکافی *(INSUFFICIENT THROAT)*

فرو رفتگی روی سطح جوش گوشه ای است که باعث شده ابعاد گلوئی جوش کمتر از حد لازم برای جوش گوشه ای گردد . جوشکار جهت اطلاع و بدست آوردن میزان ادغام در فلز مبنا یا نرخ مناسب رسوب فلز پر کننده در ناحیه گلوئی حتما باید جوش را بشکند .

تحدب گرده جوش *(CONVEXITY AND WELD REINFORCEMENT)*

تحدب ، شکل ظاهری جوشهای گوشه ای است که اینگونه تعریف شده است : حد اکثر فاصله عمودی بین کمان گرده جوش گوشه ای تا خطی که شیبهای دو طرف را به هم وصل میکند . در جوشهای شیاری ***(GROOVE WELD)*** گرده جوش ، فلز جدیدی است که به مقدار لازم افزوده می شود تا شیار پر گردد .

ساق ناکافی *(INSUFFICIENT LEG)*

به ساق جوش گوشه ای که کمتر از اندازه لازم است گفته می شود .

عیوب جوش

۱- عیوب جوش در جوشکاری قوسی فلزی گازی *(GMAW)*

لایی سرد

وقتی قوس نتواند فلز مبنا را خوب دوب کند، لایی سرد بوجود می آید و حوضچه مذاب بطرف فلز مبنای جوش نخورده جاری میگردد.

برای ذوب صحیح بایستی قوس در لبهٔ حوضچه جوش نگه داشته شود. اندازه حوضچه را میتوان با افزایش سرعت حرکت یا کاهش سرعت تغذیه سیم، کاهش داد.

تخلخل سطحی

عموماً تخلخل سطحی مستقیماً از آلودگی جوی ناشی میشود و علت آن تنظیم خیلی کم یا خیلی زیاد گاز محافظ است. اگر گاز محافظ خیلی کم تنظیم شود، قادر به جابجائی یا پس زدن هوا در ناحیه قوس نیست. اگر گاز محافظ خیلی زیاد تنظیم شود، اغتشاش هوا ایجاد شده و از محافظت کامل فلز مذاب جلوگیری میکردد.

گاهی اوقات جوشکاری تحت وزش باد موجب تخلخل میشود. اگر از چادر یا بادگیر استفاده نشود، باد میتواند گاز محافظ را به یک طرف براند و در نتیجه حوضچه مذاب در معرض آلودگی هوا واقع شود.

تخلخل یا ترک در چاله جوش

علت عمده پیدایش عیوب در چاله جوش دور کردن طبانچه جوشکاری و گاز محافظ قبل از انجماد حوضچه می باشد. علل دیگر احتمالی برای تخلخل یا ترک در چاله جوش عبارتند از: مرطوب بودن گاز محافظ، کثیفی، روغن، زنگ یا رنگ روی فلز مبنا، زیاد بودن فاصله نوک سیم جوش تا قطعه کار

نفوذ ناکافی

عدم نفوذ بعلت کم بودن ورودی حرارت در ناحیه جوش یا نگهداری نادرست قوس روی لبه مقدم حوضچه پیدا میشود. اگر ورودی حرارت کم باشد، با افزودن سرعت تغذیه سیم و در نتیجه بالا بردن آمپر جبران میشود.

نفوذ زیاد

نفوذ زیاد یا سوختگی از زیادی حرارت در منطقه جوش ناشی میشود. باکم شدن سرعت تغذیه سیم، آمپر پایین آورده شده و حرارت کمتر خواهد شد. با افزایش سرعت حرکت نیز از نفوذ جلوگیری میشود. اگر فاصله دو لبه در ریشه اتصال خیلی زیاد باشد احتمال سوختگی بیشتر است. معمولاً اگر طرح اتصال نادرست باشد با افزودن مقدار سیم بیرون از طپانچه و یا نوسان دادن طپانچه جوشکاری مینواند اصلاح شود.

ویسکرز

ویسکرز به تکه های سیم جوش چسبیده به اتصال جوش اتلاق میشود. ویسکرز از پیشروی سیم جوش از لبه مقدم حوضچه ناشی میشود. مقطع کوچک سیم جوش وقتی که وارد اتصال میگردد به فلز جوش، جوش میخورد. بهترین راه اصلاح ویسکرز عبارتست از : کاهش دادن سرعت حرکت، تا حدودی افزایش فاصله نوک سیم تا قطعه کار، یا کاهش سرعت تغذیه سیم جوش.

۲- عیوب جوش جوشکاری قوسی تنگستنی گازی (GTAW)

آخال تنگستن

درفرایند جوشکاری قوسی تنگستنی گازی، تماس کهگاهی الکترود تنگستنی باقطعه‌کاریا با فلز جوش مذاب، خصوصاً در جوشکاری دستی، ممکن است ذرات تنگستن را بداخل جوش انتقال دهد.

قشرهای اکسیدی

در جوشکاری قوسی تنگستنی گازی، جوشهای آلومینیوم و منیزیم ممکن است قشرهای اکسیدی داشته باشند.

۳- عیوب جوش جوشکاری قوسی فلزی محافظت شده *(SMAW)*

نفوذ ناقص

علت :

۱- نقش طراحی اتصال،

۲- سرعت خیلی زیاد جوشکاری،

۳- کافی نبودن شدت جریان جوشکاری،

٤- اندازه خیلی بزرگ الکترود

چاره :

۱- بررسی فاصله لبه ها در ریشه، اندازه رویه ریشه، زاویه شیار

۲- کم کردن سرعت جوشکاری

۳- زیاد کردن شدت جریان جوشکاری

٤- کاهش اندازه الکترود

ضعف ظاهر

علت :

۱- خیلی زیاد یا خیلی کم بودن شدت جریان جوشکاری،

۲- استعاده نادرست الکترود،

۳- الکترود معیوب،

چاره

۱- تنظیم مقدار شدت جریان

۲- بررسی روش جوشکاری

۳- خشک کردن الکترود برای برطرف کردن رطوبت، تعویض الکترود

بریدگی کناره

علت:

۱- خیلی زیاد بودن شدت جریان جوشکاری،

۲- خیلی بلند بودن طول قوس،

۳- نوسان نادرست الکترود،

٤- خیلی تند بودن سرعت جوشکاری

چاره :

۱- استفاده از شدت جریان مناسب

۲- کوتاه کردن طول قوس

۳- تغییر زاویه نگهداری الکترود بطوری که از نیروی قوس برای پرکردن بریدگی کناره استفاده میشود.

٤- آهسته کردن سرعت جوشکاری

پاشیدگی زیاد

علت :

۱- خیلی زیاد بودن شدت جریان جوشکاری،

۲- خیلی بلند بودن طول قوس

۳- زیادی انحراف قوس

٤- الکترود معیوب

چاره :

۱- استفاده از شدت جریان مناسب

۲- کوتاه کردن طول قوس

۳- اصلاح انحراف قوس

٤- تعویض الکترود

انحراف قوس

علت :

۱- میدان مغناطیسی، ایجاد شده هنگام استفاده از جریان مستقیم، سبب انحراف قوس میشود.

چاره :

۱- استفاده از ماشین جریان متناوب

۲- بی اثر کردن انحراف با زاویه الکترود

۳- جابجا کردن با دو شاخه کردن گیره اتصال زمین

٤- تعویض میز کار مغناطیسی

۵- استفاده از میله پشت بند برنجی یا مسی

جوشهای شکننده

علت:

۱- الکترود نادرست

۲- عملیات حرارتی نادرست

۳- جوشهای سخت شونده در هوا

٤- جمع شدن فلز مبنا

چاره :

۱- استفاده از الکترود کم هیدروژن یا اوستنیتی

۲- استفاده از دوره های درست پیش گرمایش و پس گرمایش

۳- استفاده از الکترودهای اوستنیتی

٤- نفوذ کم عمق بوسیله هدایت قوس به حوضچه جوش

ترک گازی

علت :

۱- جسم خارجی در اتصال

چاره :

۱- برطرف کردن زنگ، پوسته و سایر اجسام خارجی از لبه (قبل از شروع جوشکاری)

آخال سرباره

علت:

۱- طرح اتصال، تورفتگی تیز V شکل

۲- زیاد بودن ویسکوزیته فلز مذاب. سرد شدن سریع، خیلی کم بودن درجه حرارت جوش

چاره :

۱- آماده سازی درست شیار قبل از جوشکاری هر پاس، اجتناب از شیارهائی که نفوذ با قوس مشکل است.

۲- استفاده از پیش گرمایش و استفاده از ورودی حرارت بیشتر

جوشهای متخلخل

علت:

۱- خیلی تند بودن سرعت جوشکاری

۲- خیلی کم بودن شدت جریان

۳- زیاد بودن گوگرد یا سایر ناخالصیها

٤- الکترود های معیوب

چاره :

۱- آهسته کردن سرعت جوشکاری

۲- افزایش مقدار شدت جریان

۳- استفاده از الکترودهای کم هیدروژن

٤- خشک کردن الکترود برای برطرف کردن رطوبت، تعویض الکترودها

جوشهای ترک دار

علت:

۱- الکترود معیوب

۲- صلب بودن اتصال، تنش دار بودن جوش

۳- شکل مهره جوش

٤- چاله ها

۵- تند بودن سرعت جوشکاری

چاره :

۱- استفاده از الکترودهای کم هیدروژن

۲- طراحی مجدد اتصال، استفاده از پیش گرمایش و پس گرمایش ، استفاده از جوش نوسانی

۳- استفاده از حرکت آهسته تر یا الکترود زود منجمد شونده تر برای حصول مهرهٔ محدب تر

٤- برگشت به عقب برای پرکردن چاله ها

۵- پیش گرم کردن و یا پس گرم کردن

پیچیدگی و تاب برداشتن

علت:

۱- نادرستی طراحی جوش

۲- حرارت دیدن زیاد

۳- خیلی کند بودن سرعت جوشکاری

٤- نادرستی ترتیب و توالی جوشکاری

۵- گیره بندی ناقص

چاره :

۱- طراحی مجدد برای آزادی نیروهای انبساط و انقباض

۲- استفاده از شدت جریان کمتر و میله های خنک کن با کارآئی بیشتر

۳- افزایش سرعت قوس

٤- بهبود ترتیب و توالی جوشکاری

۵- گیره بندی درست به میله خنک کن

ذوب ضعیف (Poor Fusion)

ذوب ضعیف گاهی با نفوذ ناقص همراه است و احتمالاً عیب ساختاری می باشد. برای جوشهای با مقاومت کافی، ذوب صحیح لازم است. جوشکار و بازرس فنی هر دو بایستی از بکار بردن دستورالعمل های صحیح بمنظور اکتساب ذوب لازم اطمینان حاصل نمایند.

علت:

۱- تنظیم نبودن شدت جریان

۲- نادرستی فن جوشکاری

۳- درست نبودن آماده سازی اتصال

٤- غلط بودن اندازه الکترود مصرفی

چاره :

۱- برای جوشکاری با الکترود معینی، ورقهای ضخیم نسبت به ورقهای نازک، احتیاج به شدت جریان بیشتری دارند. از این رو برای اطمینان از رسوب صحیح فلز جوش همراه با نفوذ خوب در فلز مبنا، بایستی شدت جریان، کافی باشد.

۲- در ارتباط با فن جوشکاری، به ذوب سراسری طرفین اتصال توجه شود.

۳- در آماده سازی اتصال، از تمیزی و عاری بودن از آلودگی رویهٔ شیار اطمینان حاصل شود. جوشکاری طوری انجام شود که دوب خوب بین قطعات بدست آید.

٤- اندازه الکترود طوری باشد که دسترسی الکترود به تهٔ شیار مقدور باشد.

ترک (Crack)

انواع مختلف ترک در جوش ممکن است پدیدار شوند که بعضی از آنها از انواع دیگر جدی‌ترند. تمام انواع ترک بایستی برای تعیین راه های برطرف کردن مورد آزمایش قرار گیرند.

متداولترین ترکها در جوش و محدوده اتصال عبارتند از: ترکهای چاله جوش، ترکهای زیرمهره ای و ترکهای طولی.

ترکهای فلز مبنا در امتداد لبه جوش به ترکهای پنجه جوش معروفند . ترکهای مویین در عرض جوش و ترکهای میکروسکپی از انواع دیگر ترکها می باشند.

با وجود آنکه ترکهای متعددی در قسمتهای مختلف جوش و در اثر علتهای مختلفی ظاهر می شوند، بطور کلی اگر خطای اصلی که موجب بروز چنین عیوب ساختاری شده است، حذف شود در آن صورت جوش مسلماً عاری از ترک می گردد.

علت :

۱- فلز مبنا جوش پذیر نمی باشد.

۲- آماده سازی نادرست است.

۳- روش جوشکاری غلط بکار برده شده است.

٤- اتصال جوش خیلی صلب است.

۵- جوش کوچک است یا شکل غلطی دارد.

چاره :

۱- از جوشکاری فولاد پُر کوگرد و پُر فسفر پرهیز شود. در صورت ضرورت جوشکاری این نوع فولاد، از الکترود کم هیدروژن استفاده شود. برای جوشکاری فولادهای پُر آلیاژ یا پُر کربن بایستی از پیش گرم کردن استفاده شود.

۲- در آماده سازی اتصالات برای جوشکاری ترتیبی داده شود که فاصله بین لبه ها یکنواخت باشد.

۳- روشی برای جوشکاری مورد استفاده قرار گیرد که جوشهای سالم همراه با ذوب خوب ارائه نماید. ترتیب و توالی جوشکاری بایستی طوری باشد که اجازه حرکت سرهای آزاد قطعه را تا حد ممکن بدهد.

اگر مشکل ترک خوردن وجود دارد از جوشکاری بصورت خطی ساده پرهیز شود و جوشکاری تا اندازه کامل بصورت نوسانی انجام گیرد. جوشکاری در بخشهای ۲۰ تا ۲۵ سانتیمتری انجام شود.

ترکهای چاله جوش با کمی دقت در پُر کردن چاله جوش در انتهای هر مرحله از جوش حذف میشود. برای اینکار از روش گام برگشتی استفاده میشود یعنی پس از رسیدن به انتها جهت جوش عکس شده و با کمی برگشت و رسیدن به لبه بالای چاله و روی مهره جوش

قوس قطع میشود. استفاده از الکترود با نفوذ کمتر بهتر است. برای افزایش مقطع جوش در جوش سربالا، روی پاس اول با شیب ٤ درجه جوش داده شود. شدت جریان و سرعت پیشروی کاهش داده شده و از الکترود کم هیدروژن استفاده شود.

٤- از درستی طراحی قطعه برای جوشکاری اطمینان حاصل شود و برای عدم صلابت اتصال روش مناسب جوشکاری پیش بینی گردد.

۵- همیشه ازکافی بودن مقاومت مهره‌جوش دربرابر تنشهای احتمالی روبه‌رشددحین جوشکاری اطمینان حاصل شود. قطعات ضخیم با مهرهٔ جوش خیلی کوچک بهم متصل نگردد. در تمام اتصالات بایستی ازجوشهای بااندازه کافی استفاده شود. مهرهٔ جوش قدری محدب تر گردد.

تخلخل (Porosity)

تخلخل از نقطه نظر مقاومت مسئله خیلی حادی در جوش بوجود نمی‌آورد مگرآنکه جوش فوق العاده متخلخل باشد. از نقطه نظر ظاهر سوراخهای سطحی در مهره جوش مطلوب نمیباشند. تخلخل غیر از سوراخهای سطحی میتواند به شکل: مُک گازی، حفره گازی و آخال سرباره باشد.

علت :

۱- یکی از علل عمده تخلخل ضعف فلز مبنا است.

۲- نادرست بودن روش جوشکاری نیز منتج به تخلخل در فلز جوش میگردد.

۳- تخلخل میتواند عیب ذاتی الکترود جوشکاری مورد استفاده باشد.

چاره :

۱- از جوش پذیری بدون تخلخل فلز مبنا اطمینان حاصل شود. فولاد با کوگرد، فسفر یا سیلیسیم بالا غالباً ترکیبات گازی ایجاد می نمایند که میل به تشکیل مُک گازی و حفره های گازی دارند. فلزات غیرآهنی با اکسیژن بالا نیز جوشهای متخلخل می سازند. تجمع ناخالصیها در فلز نیز تخلخل ایجاد می کند.

۲- روش جوشکاری عوض شود. شدت جریان اضافی بکاربرده نشود و قبل از جوشکاری لایه بعدی از تمیز کردن سرباره و روانساز روی لایه قبلی اطمینان حاصل شود.

حوضچه جوش ایجاد گردد و حتی المقدور فلز جوش مدت زیادتری بحالت مذاب نگهداشته شود تا گازهای محبوس شده از چاله جوش فرار کنند. شدت جریان کاهش یافته و از قوس کوتاه استفاده شود.

۳- اغلب الکترودهای کم هیدروژن در حذف تخلخل مفید واقع می شوند.

٤- عیوب جوش در جوشکاری زیرپودری (SAW)

راهنمای رفع اشکال در جوشکاری زیر پودری

اتصال	اشکال	اقدام اصلاحی – بترتیب اهمیت	
		تمام خودکار، نیمه خودکار، تک سیمه، دو سیمه	
هر نوع	نفوذ کم	۱- شدت جریان جوشکاری زیاد شود. ۲- سیم جوش به قطب مثبت وصل گردد ۳- در اتصالات گوشه ای و جناغی ولتاژ کم شود.	٤- طول بیرون آمده سیم جوش کوتاه شود. ۵- سرعت قوس کمتر گردد ۶- زاویه پخ در اتصالات جناغی بیشتر شود.
گوشه ای	ترک	۱- از سیم جوش EM12K استفاده شود. ۲- سیم جوش به قطب منفی وصل گردد. ۳- ولتاژ پایین آورده شود.	٤- سرعت جوشکاری کمتر گردد. ۵- اتصال پیش گرم شود. ۶- قطرسیم جوش زیادشودو ولتاژکمترگردد.
پاس ریشه در شیار	ترک	۱- شدت جریان و ولتاژ کم شود. ۲- سیم جوش به قطب منفی وصل شود. ۳- فاصله دو لبه درریشه یازاویه شیاراضافه‌گردد.	٤- اتصال پیش گرم شود. ۵- اصمینان حاصل شود که شیارزنی طرف پشت باریک و عمیق نباشد.
جوشهای چند پاسه	ترک عرضی	۱- درجه حرارت بین پاسی اضافه شود . ۲- سرعت جوشکاری کم گردد.	۳- ولتاژ کم شود. ٤- شدت جریان و ولتاژ کم گردد.
جوشهای لب‌بلب ساده	ترک	۱- ثابت کننده (فیکسچر) برای جابجائی ورق بررسی شود. ۲- سرعت جوشکاری کم گردد.	۳- از نظر جمع‌آوری مس از پشت بند بررسی شود.
گوشه ای رویهم و لب بلب ساده	آبله‌گونی یاچسبیدن سرباره	۱-سیم جوش EM12K استفاده شود. ۲-ولتاژ زیاد گردد. ۳- شدت جریان کم شود. ٤- سرعت کم گردد.	۵- اگر مقدور است، جوش گوشه‌ای در وضعیت ثابت انجام شود. ۶- ورق ضخیم‌تر از نرمال موجب آبله گونی خواهد شد. ۷- تمام بلیسه‌های نوردی، زنگ وروغن ازورق پاک گردد.
چال یا شیار عمیق	چسبیدن سرباره	۱- ولتاژ کم شود. ۲- شدت جریان و ولتاژ کم گردد.	
چال	رویهم قرار نگرفتن	۱-ولتاژ کم شود. ۲- شدت جریان و ولتاژ کم گردد.	
هر نوع	بریدگی کناره	۱-سیم جوش به قطب منفی وصل شود. ۲- ولتاژ کم گردد. ۳- شدت جریان کم شود.	٤- قطر سیم جوش زیاد گردد و ولتاژ کم شود. ۵- سرعت کم گردد.
هر نوع	تخلخل ناشی از زنگ	۱- سیم جوش EM12K یا EM13K استفاده شود.	۵- از مشعل در جلوی قوس استفاده شود.
هر نوع	تخلخل ناشی از مواد آلی	۱-سیم جوش EL12 استفاده شود. ۲-سیم جوش به قطب مثبت وصل گردد.	۳- سرعت کم شود. ٤- اتصال چربی‌زدائی گردد و تکلی خشک شود.
هر نوع	تخلخل ناشی از انحراف قوس	۱-سیم جوش EL12 استفاده شود. ۲- سیم جوش به قطب مثبت وصل گردد. ۳-ولتاژ کم شود.	٤- شدت جریان و ولتاژ پایین آورده شود. ۵- قطر سیم جوش زیاد شود و ولتاژ کم گردد.

راهنمای رفع اشکال در جوشکاری زیر پودری (ادامه)

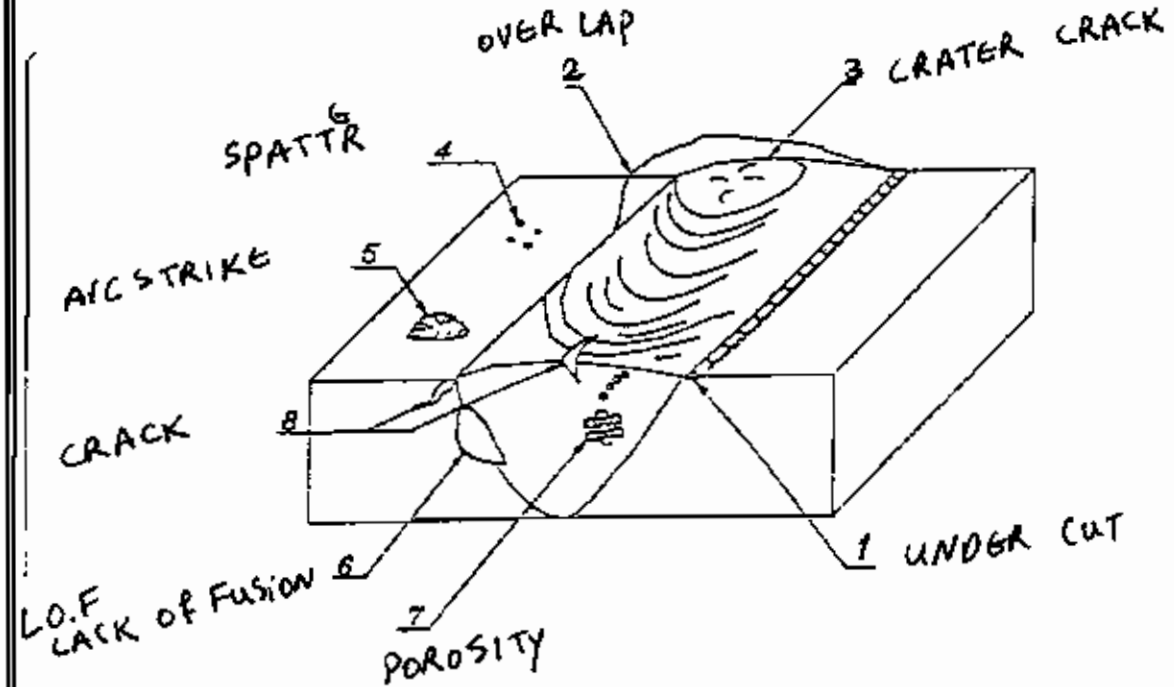
اتصال	تمام خودکار، نیمه خودکار، تک سیمه، دو سیمه	
	اشکال	اقدام اصلاحی -- بترتیب اهمیت
هر نوع	تخلخل طرف پاس دوم	۱-معمولاً از اتصال *(Tie-in)* نادرست دوقطعه ناشی میشود. ۲- شدت جریان جوشکاری برای اتصال *(Tie-in)* زیاد شود. ۳- سرعت جوشکاری برای اتصال *(Tie-in)* کم شود. ٤- اگر ۱۰۰٪ اتصال لازم نیست، نفوذ کم گردد
هر نوع	لکه های فلزی	۱-ولتاژ پایین آورده شود. ۲- سیم جوش به قطب منفی وصل گردد. ۳- شدت جریان و ولتاژ کم شود. ٤- سرعت قوس اضافه گردد.
خارج از وضعیت	شره کردن فلز	۱- در مسیر دایره‌ای شکل، خارج از مرکزی بیشتر خلاف جهت حرکت داده شود. ۲- ولتاژ کم گردد. ۳- شدت جریان و ولتاژ پایین آورده شود. ٤- در اتصالات گوشه ای افقی، سرعت زیاد شود. ۵- در مسیر دایره ای، سرعت زیاد شود، شدت جریان و ولتاژ کم شود.
هر نوع	شکل مهره جوش	۱-برای بدست آوردن مهره پهن تر و تخت تر، ولتاژ زیاد شود. ۲- برای بدست آوردن مهره تخت تر شدت جریان کم شود. ۳- برای بدست‌آوردن مهره تخت‌تر درجوشهای گوشه ای، سرعت کم شود. ٤- از قطر سیم جوش که مناسب برای آن شدت جریان جوشکاری است استفاده شود. ۵- برای جوشهای لب به لب ساده و جوشهای گوشه ای کوچکتر از ۶ میلیمتر سیم جوش به قطب مثبت وصل گردد.

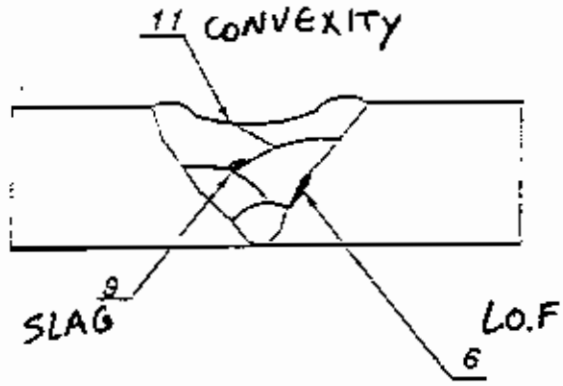
۵- عیوب جوش در جوشکاری فولادی روکشکاری شده

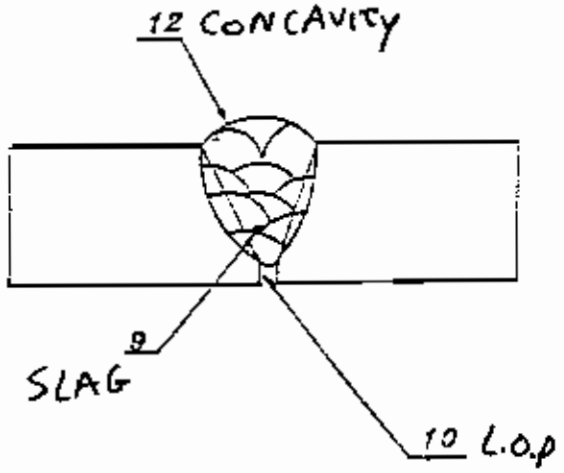
از آنجائی که فولادهای روکشکاری شده غالباً برای بوجود آوردن سطح مقاوم خوردگی بکار برده میشوند چنانچه مقاومت به خوردگی روکش حفظ نشود یا خواص مکانیکی فلز پایه محفوظ نماند، جوش معیوب خواهد بود.

عیوبی که در جوش فولاد معمولی اهمیت کمی دارد ممکن است در جوش روکشهای مقاوم خوردگی حائز اهمیت فراوانی باشد. انحراف از دستورالعملهای صحیح می تواند به جوشهائی منجر شود که از هر دو نظر خواص مکانیکی و شیمیائی ضعیف باشد.

بفرض آنکه الکترود درست انتخاب شود و از دستورالعمل صحیحی پیروی گردد، بریدگی کنار جوش منبع اصلی دردسر است. یک بریدگی کوچک کنار جوش می تواند بطور قابل ملاحظه‌ای مقاومت روکش را در آن نقطه کم کرده و بطور موثری عمر خدمتی محصول را کاهش دهد. در یک محیط خورنده حتی یک ناحیه کوچک که حفاظت یا بی حفاظت موجب خرابی کل محصول میگردد. بریدگی کنار جوش مقاومت در مقابل خستگی تناوبی را نیز کاهش می دهد. وقتی که بریدگی کنارجوش پیدا شد. بایستی با فلز جوش پر شود. نفوذ ناقص و عدم ذوب فلز جوش میتواند مبدا ترک در ناحیهٔ ذوب نشده باشد. تخلخل در سطح جوش می تواند نقطهٔ کانونی خوردگی گردد. تخلخل خوشه ای در جوش ممکن است از زیادی شدت جریان، ناپایداری قوس، برطرف کردن ناکافی سرباره، مرطوب بودن الکترود، نادرستی شیار، نادرستی نوسان الکترود ناشی شود.







۱- بریدگی کنار جوش — UNDER CUT

۲- سر رفتن — OVER LAP

۳-ترک در چاله جوش — CRATER CRACK

۴- پاشش جرقه — SPATTER

۵- نکه قوس — ARCSTRIKE

۶- ذوب ناقص — LACK OF FUSION

۷- کرم خوردگی ، مک — POROSITY

۸- ترک ها — CRACKS
(طولی،عرضی،گوشه‌ای،ریشه‌ای، ...)

۹- جدی سرباره — SLAG

۱۰- عدم نفوذ ریشه — LACK OF PENETRATION

۱۱- تحدب گرده — CONCAVITY

۱۲- تقعر گرده — CONVEXITY

بازرسی چشمی

بازدید یا بازرسی چشمی یکی از مهمترین و متداولترین روش بازرسی است. بازرسی چشمی ساده و ارزان است و به وسایل و دستگاه های گرانقیمت احتیاج ندارد.

تمام عیوب ظاهری اعم از عیوب سطحی، ترکهای سطحی، نادرستی شکل، انحرافات در اندازه و غیره را میتوان با بازرسی چشمی پیدا کرد.

در بازرسی چشمی میتوان از ذره بین با بزرگنمایی کمتر از ۱۰، وسایل اندازه گیری، الگو یا شابلن مخصوص، چراغ سیار یا چراغ قوه، بورسکوپ *(BORESCOPE)* یا دستگاه اپتیکی دیگر کمک گرفت. استفاده از میکروسکوپ برای بازرسی چشمی صحیح نیست.

بازرسی چشمی را اینطور نیز تعریف کرده اند :

(بازرسی چشمی عبارت است از : کنترل روز به روز وضعیت قطعات مورد ساخت و رسیدگی از نظر پذیرش آنها طبق مشخصات)

از شرایط سطحی قطعه و ارزیابی دقیق ظاهر آن خیلی چیزها روشن میشود. بعضی از شرایط ظاهری میتواند مبین پذیرش یا عدم پذیرش قطعه شود، مخصوصاً وقتی که اطلاعات بدست آمده از بازرسی چشمی با استفاده از روشهای دیگر بازرسی، تکمیل گردد.

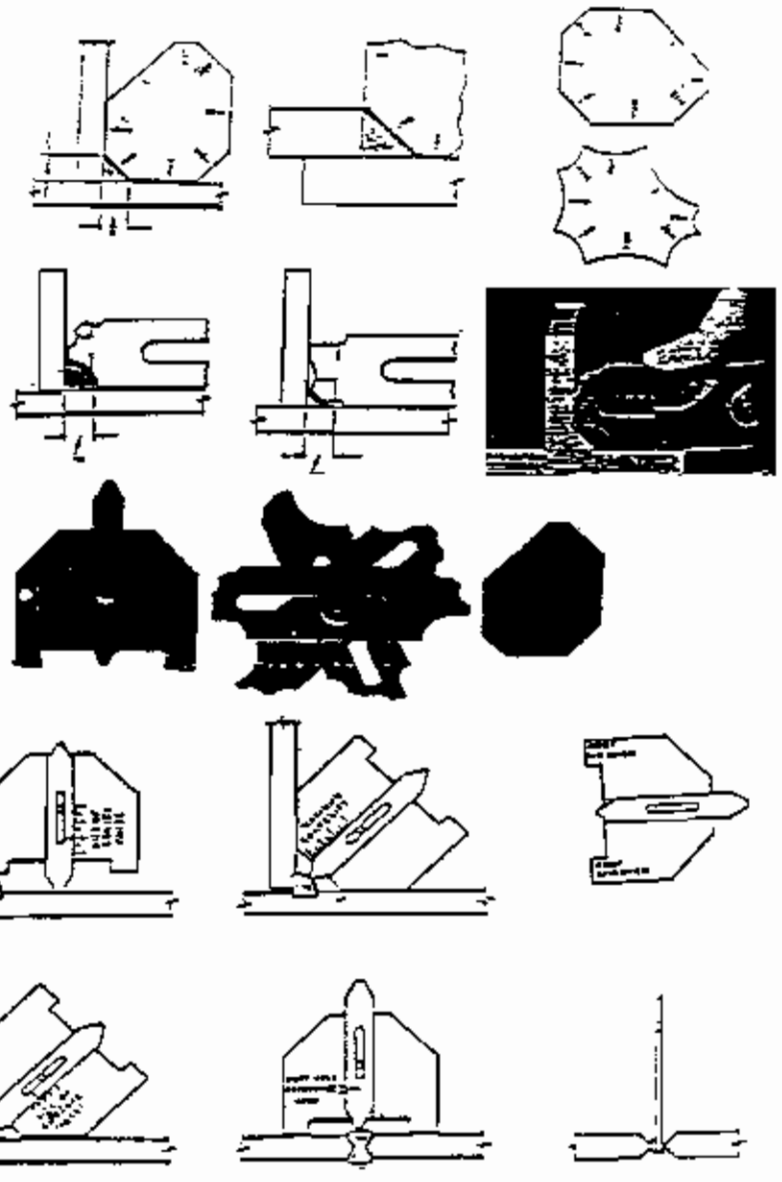
بازرس خوب بایستی ویژگیهای آزمایشهای غیرمخرب رابشناسدوچشم تیزبین و عقل سلیم داشتهباشد. امارمزموفقیت دربازرسی چشمی، داشتن آگاهی ازمشخصات فنیوتوانائی تصمیم گیری در مورد پذیرش یا عدم پذیرش محصول است. بازرسی چشمی در هیچ زمانی نبایستی کم اهمیت تلقی شود. بررسی نقشه های سفارش، قبل از ساخت نیز از اشتباهات اجتناب پذیر پرده برمیدارد. پی بردن بهاشتباه ورفع نواقص طرح قبل ازساخت، ازدوباره کاری و اتلاف سرمایه جلوگیری میکند.

بازرسی چشمی صحیح قطعات و بررسی شکل ظاهری آنها چه با چشم غیرمسلح، چه با ذره بین یا اندوسکوپ انجام شود، در تشخیص عیوب متالورژیکی حائز اهمیت است و می تواند مبنای برنامه ریزی برای بازرسی های بعدی باشد. بعلاوه باررسی چشمی اطلاعات مفیدی بدست می دهد که گاهی اوقات این اطلاعات برای حل مسئله کفایت می کند.

برای بازرسی چشمی نور خیلی اهمیت دارد، چون بعضی از عیوب سطحی فقط تحت تابش نور صحیح (تابش نور تحت زاویه مناسب) آشکار می شوند.

چراغهای بازرسی متعدد و متنوعی به بازار عرضه شده است که از جمله میتوان چراغهای سوار شده روی تکیه گاه قابل تنظیم، چراغهای کانونه شونده، چراغهای انعکاسی، چراغهای فیبر نوری و غیره را نام برد. تمام این چراغها دارای رئوستا (مقامت قابل تغییر) هستند تا بتوانند شدت نور را بمنظور ایجاد بهترین کنتراست (سایه – روشن) جهت بازرسی چشمی موفقیت آمیز تنظیم نمایند. بازرسی چشمی بعنوان یک روش بازرسی غیرمخرب. برای مواد خام و محصولات نیمه تمام یا تمام شده ضروری است با بازرسی چشمی از روی رنگ، شفافیت و علائم مشخصه دیگر میتوان فلزات را تشخیص داد. با بازرسی چشمی حین تولید، همینطور حین بررسی نهائی، میتوان در مورد شکل هندسی، ابعاد و خصوصیات سطحی محصول داوری نمود.

بازرسی چشمی فقط عیوب ماکروسکوپی سطحی را کشف می نماید و آمادگی سطحی قطعه را برای آزمایشهای غیرمخرب بعدی نشان می دهد.



آزمایش با مایع نافذ

روش آزمایش با مایع نافذ از قدیمی ترین، اقتصادی ترین و ساده ترین روش کشف عیوب سطحی غیرقابل تشخیص با چشم غیرمسلح، می باشد. اصل این روش آزمایش، برقابلیت نفوذ بعضی از مایعات با استفاده از خاصیت موئینگی به داخل حفره ها و ترکهای خیلی نازک استوار است.

این مایعات کشش سطحی کم و قابلیت ترکنندگی خوب نسبت به ماده آزمایش شونده دارند و قادرند روی سطح این مواد قشر نازکی تشکیل دهند.

مایعات دیگر مثل آب، دارای کشش سطحی زیاد و قابلیت ترکنندگی کم هستند و تشکیل قطره می دهند و نمی توانند به داخل ترکها نفوذ نمایند.

سطح بازرسی شونده ، خوب پاک می گردد. سپس ماده نافذ رنگی اعمال می شود (معمولاً روی سطح افشانده یا پاشیده می شود) درجه حرارت ۱۵ تا ۳۰ درجه سانتیگراد هم برای مایع نافذ و هم برای سطح قطعه خوب است. زمان برای نفوذ بستگی به شرایط دارد و معمولاً ۱۰ تا ۱۵ دقیقه خوب است. بعد از اعمال نافذودادن فرصت نفوذ. مواد نافذ رنگی از روی سطح پاک میشود.

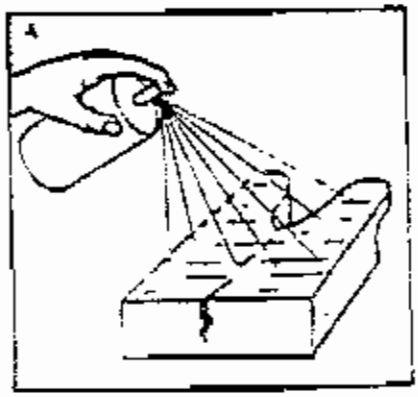
یکی از متداولترین و ساده ترین روش پاک کردن سطح، شستن سطح با آب تازه، سرد و بدون فشار است. در شستن رنگ اضافی با آب، بدلیل خصوصیات غیرموئینگی، آب نمی تواند مایع نفوذ کرده به داخل عیوب را برطرف نماید. سطح قطعه با استفاده از کهنه تمیز، دوباره خشک می‌گردد. آنگاه با پاشیدن ظاهر کننده مناسب روی سطح، قشرنازکی از پودر سفید تشکیل میشود. ماده نافذ رنگی با خاصیت موئینگی جذب ظاهرکننده شده و روی زمینه سفید، علائم رنگی (معمولاً قرمز) به همان شکل عیب ولی عریض تر نمودار می سازد. برای بازرسی با چشم غیرمسلح از ماده قرمز و برای بازرسی با استفاده از نور ماوراء بنفش از ماده فلوئورسنت استفاده میشود. مراحل آزمایش با مایع نافذ در شکل نشان داده شده است. مایع نافذ به روشهای متعددی اعمال میشود که دو روش ساده تر عبارتند از: روش عوطه وری و روش پاششی. هر دو روش مزایا و معایب خود را دارند.شایسته ترین و اقتصادی ترین روش آزمایش با مایع نافذ بستگی به ابعاد و تعداد قطعات دارد. بایستی بخاطر داشت که این روش آزمایش غیرمخرب:

- عیوبی را که سطحی نیستند (یا به سطح راه ندارند) یا در حالتی غیرمرئی (چه با چشم غیرمسلح، چه با اندوسکوپ) واقع شده اند. آشکار نمی کند.
- عیوبی را که نمیتوان بوسیله ظاهر کننده دسترسی یافت ، کشف نمی نماید.

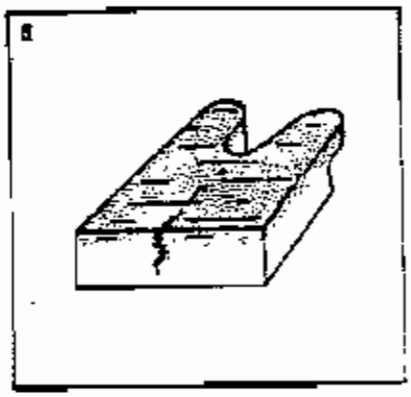
- عیوب خیلی بزرگ را که آب می تواند بداخل آن نفوذ کند و ماده رنگی را بشوید، نمی یابد.
- عیوب خیلی کوچک را که ماده رنگی به داخل آن نفوذ نمی کند یا بقدر کافی نفوذ نمی کند، پیدا نمی کند.

آزمایش با مایع نافذ برای بررسی سلامت سطح در موارد زیر مناسب نیست:

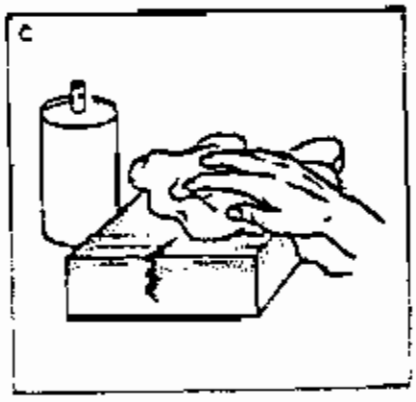
قطعات متخلخل، ریخته ای های چدن خام، بعضی از ریخته ایهای دقیق فولادی، قطعات با شکل هندسی خیلی پیچیده یا کلوخه ای یا دارای سطوح زبر . چنین قطعاتی بخاطر خصوصیات سطحی خود اگر با مایع نافذ آزمایش شوند، علائم کاذب نشان میدهند.



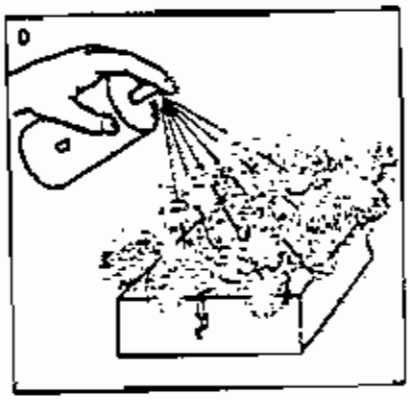
الف- مایع نافذ به سطح اعمال می گردد.



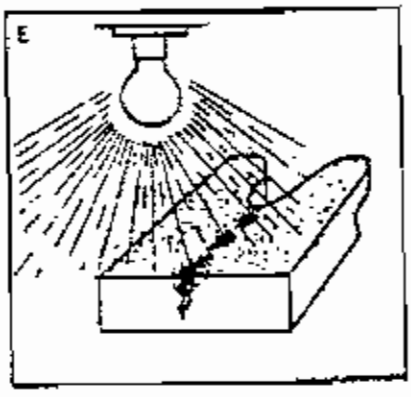
ب- به مایع نافذ فرصت نفوذ به داخل دهانه باز داده می شود.



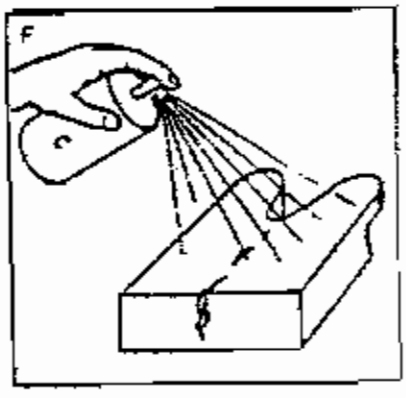
ج- مایع نافذ از روی سطح پاک می شود.



د- مایع ظاهر کننده برای بیرون کشیدن مایع نافذ از دهانه اعمال می گردد .



ه- نمونه بطور چشمی امتحان می شود.



و- تمیزکاری نهائی انجام می شود.

بازرسی مغناطیسی

مقدمه

موادی که بوسیله نیروی مغناطیس دفع میشوند، دیامغناطیس نامیده می شوند. آنها کمی استعداد مغناطیس شدن بصورت منفی دارند. آن موادی که بوسیله نیروی مغناطیس کمی جذب می شوند پارامغناطیس نامیده میشوند، آنها کمی استعداد مغناطیس شدن بصورت مثبت دارند.

فرومغناطیس ها موادی هستند که به شدت جذب میدان مغناطیسی می گردند. آنها را میتوان تبدیل به مغناطیس نمودو آزمایش پودر مغناطیسی برروی آنها انجام داد.

خطوط قوا قوانین زیر را دارد:

۱- جهت قراردادی شارمغناطیسی از شمال به جنوب در خارج مواد و از جنوب به شمال در داخل مواد است.

۲- خطوط نیرو همدیگر را قطع نمی کنند.

۳- بطور جانبی همدیگر را دفع می کنند.

٤- دریک وضعیت کششی هستند.

۵- جائی که شدت میدان مغناطیسی بزرگتر است خطوط نیروی بیشتری موجود است.

اصول بازرسی با ذره مغناطیسی

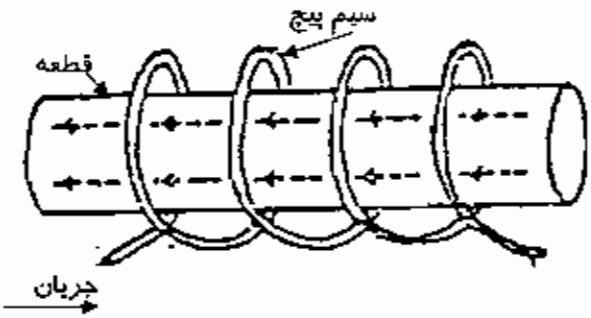
اگر قطعه مورد آزمایش از جنس مغناطیس شونده باشد و از آن مغناطیس عبور داده شود. خطوط قوای مغناطیسی دربرخوردبا ناپیوستگی‌ها تغییر مسیر میدهند. حال چنانچه ذرات ریزموادمغناطیس شونده‌بصورت خشک یا معلق در مایع برروی سطح قطعه پاشیده شود، درمحل وجودعیب، تجمع نموده ووجودعیب رانشان میدهند.

برای آزمایش مغناطیسی، سطح قطعه بایستی نسبتا" صاف باشد. چه در غیر اینصورت در اثر ناصافی‌و شیارهای سطحی، ذرات پل میزنند و احتمالا" ترک در زیر پوشش آنها مخفی میماند.

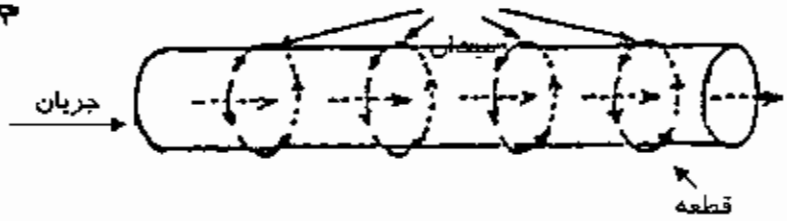
گاهی از رنگ سفید زود خشک شونده زمینه سفیدی بوجود آورده میشود تا براده سیاه در متن‌سفید بخوبی مشاهده گردد. گاهی هم براده‌ها را به رنگ قرمز در می‌آورند تا پیدا باشد.

اگر براده با رنگ فلوئورسنت آغشته گردند در زیر تابش نور ماوراء بنفش بوضوح دیده میشوند.

میدان مغناطیسی یا بطور طولی یا بصورت دایره‌ای از نمونه عبور داده میشود و یا با دو الکترودبقسمتی از قطعه وارد میشود. چرخ دنده‌ها، محورها و قطعات مشابه را پس از آزمایش مغناطیس زدائی‌میکنند تا ضمن کار و یا تراش براده‌ها و ذرات را جذب ننمایند.

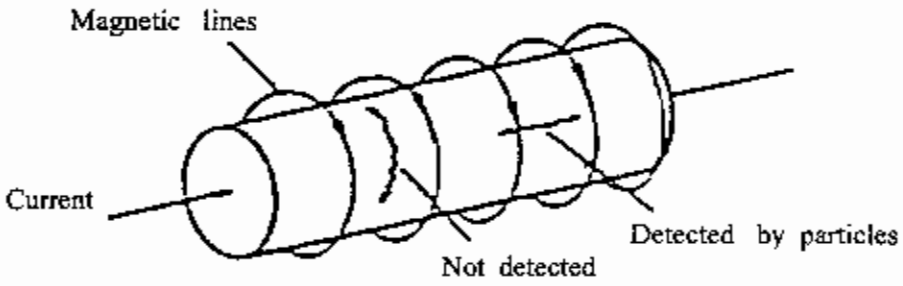


مغناطیس طولی حاصل از جریان گذرنده
از سیم پیچ دور نمونه

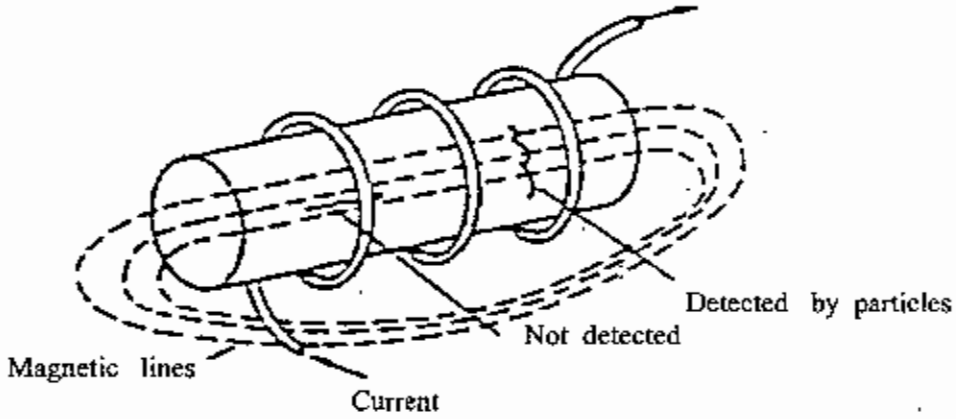


میدان مغناطیسی مدور (محیطی) ناشی از عبور جریان بطور مستقیم

بازرسی ذرات مغناطیسی

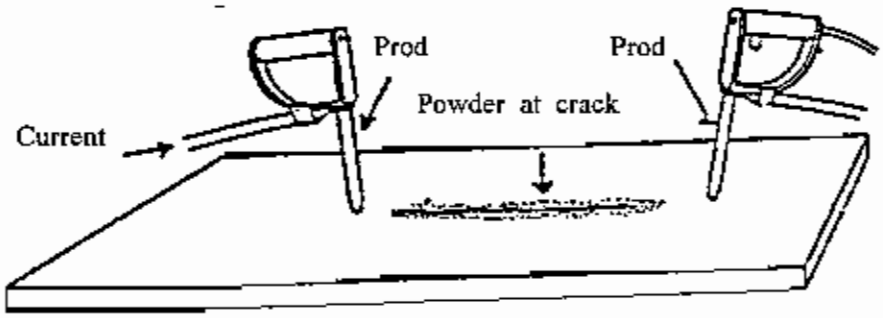


(a) Circumferential magnetic field current flaw method



(b) Langitudinal magnetic field, coil method

Fig. MAGNETIC PARTICLE FLAW DETECTION.



MAGNAFLUX INDICATION OF CRACK IN WELD OR CASTING WALL

بازرسی با امواج مافوق صوت

کلمه اولتراسونیک از نظر لغوی بمعنی مافوق صوت یا ماوراء صوت میباشد. و اصطلاحابه‌فرکانسهای بیشتر از فرکانسهای صوتی اطلاق میشود.

فرکانسهای صوتی به فرکانسهائی گفته میشود که بوسیله گوش انسان قابل درک میباشد (فرکانسهای‌تا ۲۰۰۰۰ سیکل در ثانیه یا ۲۰ کیلو هرتز).

بنابراین امواج اولتراسونیک دارای فرکانسهای بیشتر از ۲۰۰۰۰ سیکل در ثانیه میباشد. در تمام‌دستگاههای اولتراسونیک دو قسمت اساسی لازم است:

۱- مولد یا منبع قدرت که انرژی الکتریکی در فرکانسهای مورد لزوم را تولید میکند.

۲- تبدیل کننده که ضربان الکتریکی را به نوسانات مکانیکی تبدیل می‌نماید.

مبدل یا تبدیل کننده که انرژی الکتریکی دریافتی از مولد را به انرژی نوسانی مکانیکی با همان‌فرکانس تبدیل میکند ممکن است از نوع پیزوالکتریک و یا از نوع ماگنتواستریکتیو باشد. مبدل پیزو الکتریک‌متداول‌تر است و آن از کریستال طبیعی کوارتز یا سرامیک پلی کریستالین مثل رسوب زیرکونیت تیتانیت(موسوم به *PZT*) تشکیل شده است. اگر جسم مزبور در معرض تغییر سریع ولتاژ قرار گیرد بطور آنی ابعاد آن‌تغییر میکند و بالعکس وقتی که نیروهای مکانیکی به سطوح مختلف عنصر پیزوالکتریک اثر کند، تغییرات‌الکتریکی تولید میشود بطوری که عنصر مزبور قادر است نوسانات مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل‌نماید.

مبدلهای ماگنتواستریکتیو دارای ماده‌ای هستند که تحت تاثیر میدان مغناطیسی بمقدار کمی تغییرشکل میدهند.

ساده‌ترین آن از یک قطعه با فرم مناسبی از ماده مورد بحث (معمولا" نیکل یا آلیاژهای آن)تشکیل شده که در داخل سیم پیچ بصورت مغزه یا هسته قرار دارد. از سیم پیچ مزبور جریان پلاریزه یک‌جهته عبور نموده و با جریان متناوب دیگری ایجاد میدان مغناطیسی می‌نماید.

میدان مغناطیسی متغییر ایجاد شده مغزه یا هسته نیکلی را به رزنانس درآورده و باعث تغییر طول‌آن می‌گردد.

ضربانهای مافوق صوتی بصورت عمودی یا تحت زاویه‌ای وارد جسم مورد آزمایش شده ودرقطعه سالم به طرف دیگر رسیده و منعکس میگردد و یا در قطعه معیوب پس از برخورد به عیب انعکاس‌می‌یابد. ضربانهای منعکس شده یا با گیرنده جداگانه یا اغلب با همان فرستنده گرفته میشود و تبدیل به علائم‌شده و برروی صفحه لوله اشعه کاتدی ظاهر میگردد و از روی آن علائم موقعیت عیب مشخص میشود.(شکل) حدود فرکانس معمولا" از ۰/۲۵ تا ۱۰ مگا هرتز است. در فولاد هر مگاهرتز به طول موج‌حدود ۶ میلیمتر مربوط میشود.

فرکانسهای کم برای فلزات‌ریخته‌ای دانه‌درشت بکارمیرود.

دراین روش بازرسی ترکها، عدم ذوب، منافذ، عدم نفوذ، حبس سرباره را میتوان تعیین و ارزیابی‌نمود.

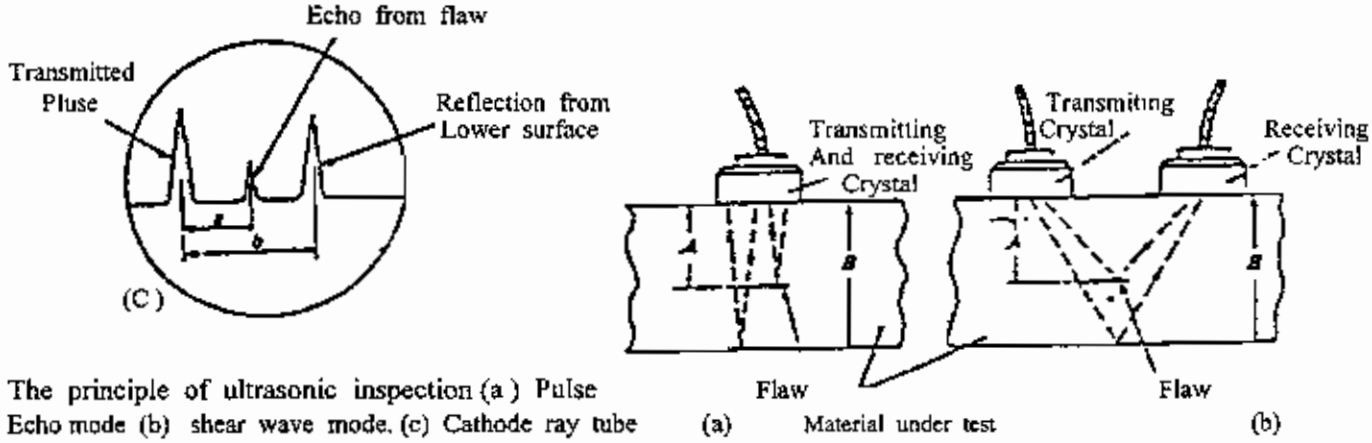
برای بازرسی درز جوشهای خطوط لوله، پلها، مخازن تحت فشار، اسکلتهای فلزی و سایر اتصالات‌از دستگاه‌های مافوق صوتی قابل حمل استفاده میشود.

مزیتی که بر رادیوگرافی دارد، نیاز به دسترسی فقط از یک طرف میباشد. در مقایسه با پرتونگاری‌از نظر ضخامت، امواج مافوق صوت حساسیت کمتری دارد.

لایه به لایه بودن را در صورتی که در جهت عمود بر موج باشد خوب آشکار میسازد. ولی‌پرتونگاری فقط با تابش اشعه در جهت موازی با لایه‌ها عیب را ظاهر میکند. با وجود بر این تفسیر نتایج هم به‌مهارت و هم مراجعه به بلوکهای استاندارد دارای عیوب معلوم بستگی دارد.

در سیستم عیب یابی با امواج ماوراء صوت بازرس بدنبال ناهماهنگیهائی میگردد که امواج رابرگشت داده و یا حالت سایه مانندی برای آنها ایجاد می‌کنند.

بهرحال بعضی از عیوب مثل دانه بندی‌های درشت و نابجائی‌ها و عیوبی نظیر وجود ناخالصی‌ها وذرات خارجی منظم در یک قطعه اگر اندازه آنها نسبت به طول موج فرستاده شده کوچک باشد، ممکن است‌تولید انعکاسات منظمی را ننمایند. کوتاه کردن طول موج بوسیله اضافه کردن فرکانس باعث جذب بیشتر امواج‌خواهد شد. در نتیجه، جزئی‌ترین عیوب درساختمان یک قطعه، بوسیله اندازه‌گیری جذب امواج فرستاده شده‌در آن قطعه می‌توانند مورد شناسائی و بررسی قرار گیرد.

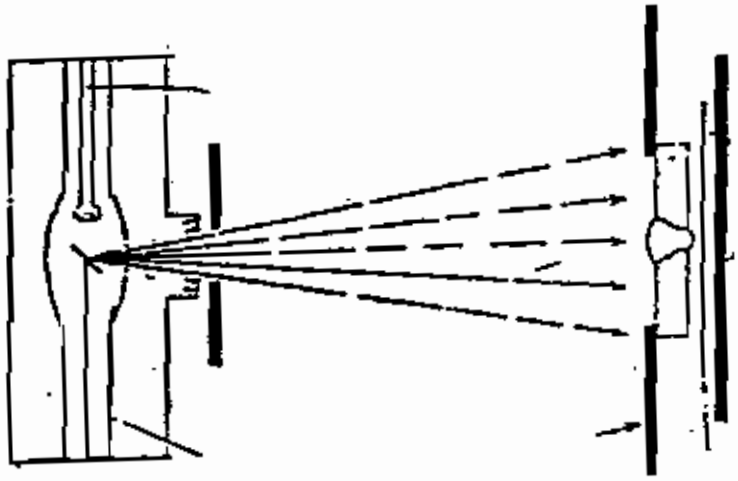


The principle of ultrasonic inspection (a) Pulse Echo mode (b) shear wave mode. (c) Cathode ray tube Display with a linear time base (a : b : A : B)

شکل – بازرسی مافوق صوت (التراسونیک)

رادیوگرافی

برای رادیوگرافی جوشها اشعه ایکس یا گاما را به یک طرف درز جوش تابانیده و در طرف دیگر جوش مطابق شکل فیلم قرارداده میشود.



شکل - رادیوگرافی جوش با اشعه ایکس

فیلم داخل اکران قرار گرفته مجموعاً در کاستی گذاشته میشود تا اشعه نورانی روی آن موثر واقع نشود. این اشعه از ضخامت فلز گذشته و روی فیلم اثر میگذارد و عکس درز جوش را روی فیلم ثبت مینماید.

عیوب موجود در جوش روی فیلم به آسانی مشاهده میشود. برای تعیین کیفیت پرتونگاری از یک قطعه موسوم به شاخص کیفیت تصویر یا *IQI* کمک گرفته میشود.

این قطعه کمکی می‌تواند یک قطعه فلز با شیارهای بعمق های معین (پله ای) یا سوراخهای بعمق‌های معین و یک سری سیم هائی معین و یا نوع دیگر باشد.

IQI در گوشه‌ای از فیلم قرارداده میشود و تصویر آن بهمراه درز جوش روی فیلم منعکس می‌گردد. مقایسه تاری یا روشنی عیب با تاری یا روشنی *IQI* میتوان به کیفیت پرتونگاری پی برد، ولی برای آنکه معلوم شود عیب در چه عمقی از سطح جوش قرار دارد باید از دو یا چند جهت و با زوایای مختلف پرتونگاری نمود. بوسیله ورقه های سربی میتوان اشعه را متمرکز نموده و از تابش این اشعه بقسمتهای غیرضروری جلوگیری کرد.

همچنین برای اینکه اشعه پس از عبور از جوش از قسمتهای دیگر که بعد از فیلم قرار دارند نگذرد و انعکاس آنها روی فیلم ثبت نگردد پشت فیلم نیز ورقه نازک سربی قرار داده می‌شود.

همانطورکه میدانید رادیوگرافی یکی از روشهای آزمایش غیرمخرب است که حضور و طبیعت عیوب ماکروسکوپی یا سایر ناپیوستگی را در داخل جوش نشان میدهد.

در این روش از قابلیت نفوذ تشعشعات ایکس و گاما در اجسام (که نسبت به نور معمولی حاجب هستند) استفاده میگردد.

بطور کلی هرچه طول موج کوتاهتر باشد قدرت نفوذ بیشتر است. تمام تشعشع در جوش نفوذ نمی‌کند بلکه قسمتی از آن جذب میشود . مقدار جذب تابعی از چگالی و ضخامت جوش است .

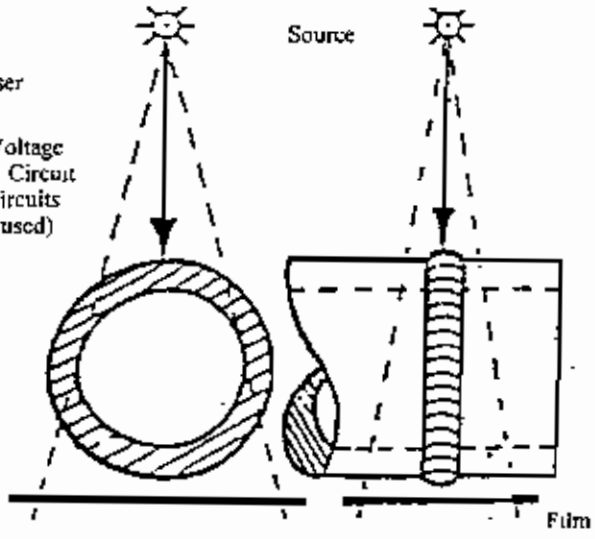
مثلاً اگر حفره‌ای در جوش وجود داشته باشد، پرتو اشعه از فلز کمتری عبور میکند تا از یک جوش سالم و در نتیجه اشعه جذب شده در ناحیه معیوب تغییر خواهد نمود و این تغییرات روی فیلم حساس به تشعشع، ثبت شده و حضور عیب نمودار میگردد. این تصویر را رادیوگراف می‌نامند.

رادیوگرافهای حاصل از تشعشع اشعه ایکس معمولاً «ایکسوگراف» و رادیوگرافهای حاصل از تابش اشعه گاما «گاماگراف» نامیده می‌شود.

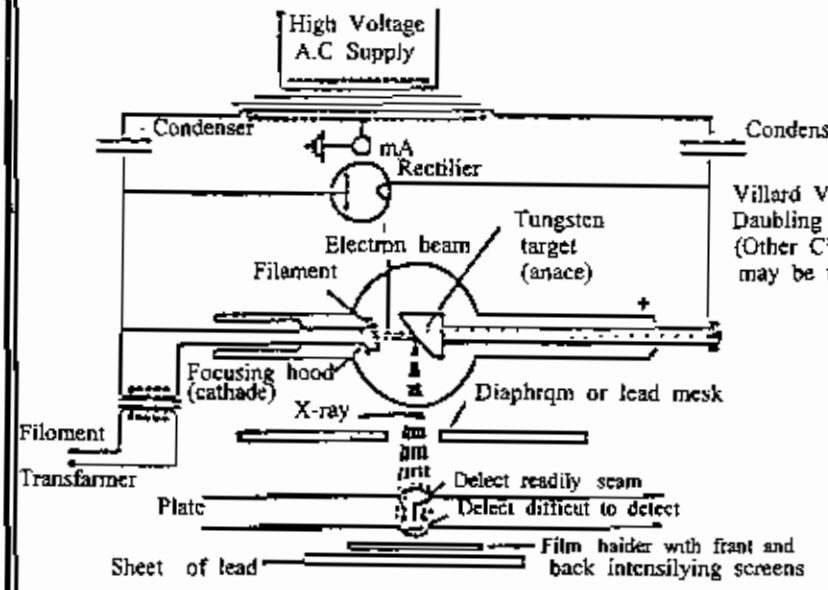
رادیوگراف مناسب و شایسته آنست که حضور و یا عدم حضور عیب را نشان دهد و در صورت وجود عیب، شکل و موقعیت آنرا بوضوح بنمایاند.

رادیوگرافی مثل بیشتر امور فنی، محدودیتهائی دارد و بکارگیری و فهم درست و تفسیرش نیاز به دانش فن و تصور صحیح عیب و رابطه آن با مشخصه علمی دارد.

آگاهی از جنس و ضخامت فلز مورد پرتونگاری و مطابقت آن با قدرت نفوذ چشمه رادیواکتیو مورد استفاده حائز اهمیت فراوانی است.



شکل – بازرسی رادیوگرافی با استفاده از اشعه گاما



X-Ray examination of a weld.
Defects in line with the plane of the X-rays are readily seea. Those

شکل – بازرسی رادیوگرافی با استفاده از اشعه ایکس