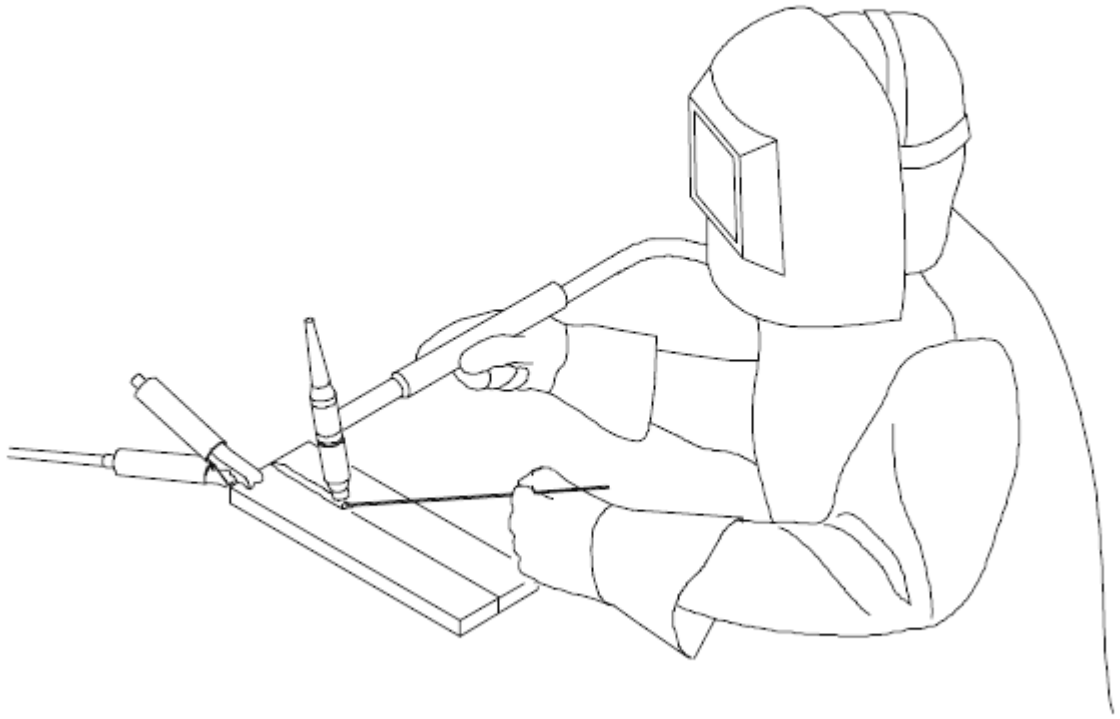
مبانی جوشکاری



فهرست ..... **صفحه**

1. پیشگفتار **4**

2. تعریف جوشکاری **4**

3. حرارت لازم برای جوشکاری **5**

4. آشنایی با فرآیندهای جوشکاری **5**

4-1- جوشکاری قوسی فلزی با الکترود روپوش دار (*SMAW*) **5**

4-1-1. قوس الکتریکی **6**

4-1-2. تجهیزات فرآیند جوشکاری الکترود دستی **7**

4-1-3. اصول جوشکاری قوسی **10**

4-1-3-1. شدت جریان **10**

4-1-3-2. طول قوس **11**

4-1-3-3. سرعت پیشروی **11**

4-1-3-4. زاویه الکترود **11**

4-1-4. حالات اصلی جوشکاری **11**

4-1-5. انواع اتصالات جوشکاری **14**

4-1-6. آماده کردن لبه‌ها **15**

4-1-7. اصطلاحات جوشکاری **16**

4-1-8. الکترود روپوش دار **17**

4-1-8-1. وظایف روپوش الکترود **17**

4-1-8-2. آنالیز استاندارد انواع الکترودهای روپوشدار **17**

4-1-8-3. نحوه نامگذاری الکترودها مطابق استاندارد *AWS* **18**

4-1-8-4. الکترودهای پر مصرف **19**

4-2- فرایند جوشکاری قوس الکترود تنگستن تحت محافظت گاز (*GTAW*) **20**

4-2-1. گاز محافظ **21**

4-2-2. الکترود تنگستن **22**

4-3- جوشکاری قوسی فلزی با محافظت گاز(میگ مگ) **24**

4-4- جوشکاری زیر پودری (*Sub-merged Arc Welding or SAW*) **25**

5. دسته بندی فولادها **26**

6. عملیات حرارتی در جوشکاری **27**

6-1- پیش گرمایش **27**

6-2- پس گرمایش(تنش زدائی) **27**

6-3- پیچیدگی **28**

7. عیوب جوش **29**

7-1- لکه قوس *(Arc Strike)* **29**

7-2- سطح جوش نا منظم با گرده زیاد (Excessive Weld Metal) 29
7-3- نفوذ زیاد (Excessive Penetration) 29
7-4- عدم ذوب دیواره (Lack Of Fusion-LOF) 29
7-5- عدم نفوذ (Lack Of Penetration- LOP) 30
7-6- بریدگی یا سوختگی کنار جوش (Under Cut) 30
7-7- حفره های گازی یا تخلخل (Porosity) 31
7-8- ترک (Crack) 31
8. کنترل کیفی جوش (بازرسی دیداری) 33
8-1- قبل از جوشکاری 33
8-2- در حین جوشکاری 33
8-3- بعد از جوشکاری 34
9. انواع آزمونهای جوشکاری 35
9-1- انواع آزمونهای غیر مخرب 35
9-1-1. بازرسی چشمی VT 35
9-1-2. تست P.T (تست مایعات نافذ) 36
9-1-3. تست M.T 37
9-1-4. تست E.T 38
9-1-5. تست U.T 39
9-1-6. تست R.T یا XRAY 40
10. پیوستها

1. پیشگفتار

امروزه در سراسر دنیا، سازه‌های فولادی بطورچشمگیری گسترش پیدا کرده است و اهمیت جوش سازه‌های فولادی بر کسی پوشیده نیست. اتصال جوش اگر درست طراحی شود و اصول فنی در اجرای آن رعایت گردد و نکات اساسی جوش، قبل از اجرا، حین اجرا و پس از اجرا بازرسی و کنترل شود، اطمینان از کیفیت اتصال جوش آنقدر بالا می‌رود که «بازده اتصال» را می‌توان **100** در نظرگرفت. یعنی عملکرد اتصال جوش را می‌توان همانند عملکرد فلز مبنای اصلی نورد شده دانست.

2. تعریف جوشکاری

روشهای اتصال فلزات به یکدیگر را بر حسب نوع فرایند و یا بنیان علمی آنها به دسته های مختلفی تقسیم‌بندی نموده‌اند:

1. روشهای مکانیکی (پیچ، پرچ، میخ، پین، کشو، خار و ...)
2. روشهای متالورژیکی (جوشکاری، لحیم کاری و ...)
3. روشهای شیمیایی (چسبهای معدنی و آلی)

و یا بر حسب نوع اتصال رده بندی کرده اند:

1. روشهای اتصال موقت (پیچ و مهره، پین، خار و ...)
2. روشهای اتصال نیمه موقت (پرچ، احتمالاً لحیم کاری نرم و بعضی چسبها)
3. روشهای اتصال دائم (فرایندهای جوشکاری و لحیم کاری سخت و اغلب چسبها)

جوشکاری از فرآیندهای اتصال دائمی قطعات (فلزی یا غیرفلزی)، به روش ذوبی یا غیرذوبی، با بکارگیری یا بدون بکارگیری فشار، با استفاده یا بدون استفاده از ماده پرکننده (فیلر *Filler*) می‌باشد. *جوش ایده‌آل* را می‌توان به محل اتصالی اطلاق نمود که نتوان آن موضع را از قسمتهای دیگر قطعات جوش داده شده تشخیص داد. از نظر عملی نمی‌توان چنین اتصالی را ایجاد نمود اما می‌توان با کنترل شرایط و فرایند جوشکاری خواص محل اتصال را چنان بالا برد که در عمل کاملاً رضایت بخش باشد.

بطور خلاصه هر روش جوشکاری با چهار عمل ضروری زیر روبرو است و معمولاً رده بندی روشها بر مبنای این چهار عامل انجام می‌شود:

1. انرژی لازم.
2. حذف و زدودن آلودگی ها از سطح جوش.
3. محافظت سطح جوش در هنگام جوشکاری.
4. خواص متالورژیکی جوش و کنترلهای لازم.

فرآیندهای جوشکاری به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

الف) فرآیندهای جوشکاری ذوبی مانند اغلب فرایندهای جوشکاری قوسی و ...

ب) فرآیندهای جوشکاری حالت جامد مانند جوشکاری اصطکاکی و جوشکاری *TLP* و ....

در جوشکاری ذوبی دو لبه یا سطح متصل شونده حرارت دیده و به نقطه ذوب می‌رسد و در صورت لزوم برای پر کردن فاصله اتصال، ماده پرکننده (فیلر *Filler*) به مذاب اضافه می‌شود. جوشکاری حالت جامد عبارت است از نزدیک کردن دو سطح فلزی تمیز در جالت جامد به قدری که یک اتصال فلزی بین آنها بوجود آید. در جوشکاری ذوبی لازم است که قسمتی از فلز تا دمای بالاتر از نقطه ذوب حرارت ببیند، در حالیکه جوشکاری حالت جامد ممکن است در درجه حرارت اتاق انجام شود.

3. حرارت لازم برای جوشکاری

همه فرآیندهای ذوبی و بیشتر فرآیندهای حالت جامد برای انجام جوشکاری به *حرارت* نیاز دارند. حرارت لازم برای جوشکاری را می‌توان بطرق مختلف بدست آورد که چند نمونه از آن عبارت است از :

1. قوس الکتریکی : مثال : انواع جوشکاری قوسی (*SMAW, GTAW, GMAW*).
2. مقاومت الکتریکی : مثال : انواع جوشکاری مقاومتی (نقطه ای، غلتکی و...).
3. احتراق : ترکیب اکسیژن با سوخت‌های گازی، مایع، جامد مثال : انواع جوشکاری گازی (اکسی استیلن و...)
4. واکنش شیمیایی : مثال : جوشکاری ترمیت
5. اصطکاک : مثال : جوشکاری اصطکاکی
6. الکترون : مثال: جوشکاری پرتوالکترونی
7. نور: مثال: جوشکاری نوری، جوشکاری لیزر

4. آشنایی با فرآیندهای جوشکاری

از میان فرآیندهای جوشکاری، چهار فرآیند جوشکاری قوسی متداول‌تر است که به شرح آنها پرداخته می‌شود:

1- جوشکاری قوسی فلزی با الکترود روپوش‌دار (*Shielded Metal Arc Welding →SMAW*).

2- جوشکاری قوسی تنگستنی با حفاظت گاز خنثی

(*Tungsten Inert Gas →TIG* یا *Gas Tungsten Arc Welding →GTAW*).

3- جوشکاری قوسی فلزی با حفاظت گاز

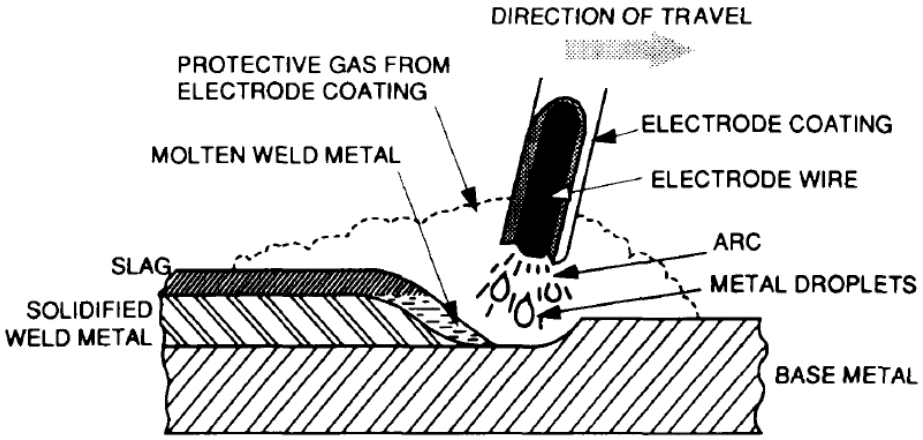
(*Metal Inert Gas/Metal Active Gas → MIG/MAG* یا *Gas Metal Arc Welding →GMAW*).

4- جوشکاری زیرپودری (*Sub-merged Arc Welding →SAW*).

4-1- جوشکاری قوسی فلزی با الکترود روپوش دار (SMAW)

یکی از متداولترین روش‌های اتصال قطعات، جوشکاری قوسی فلزی با الکترود روپوش‌دار می‌باشد. ایجاد قوس الکتریکی عبارت از جریان مداوم الکترون بین دو الکترود و یا الکترود و قطعه کار بوده که در نتیجه آن حرارت تولید می‌شود. باید توجه داشت که برای برقراری قوس الکتریکی بین دو الکترود ، وجود هوا و یا یک گاز هادی ضروری

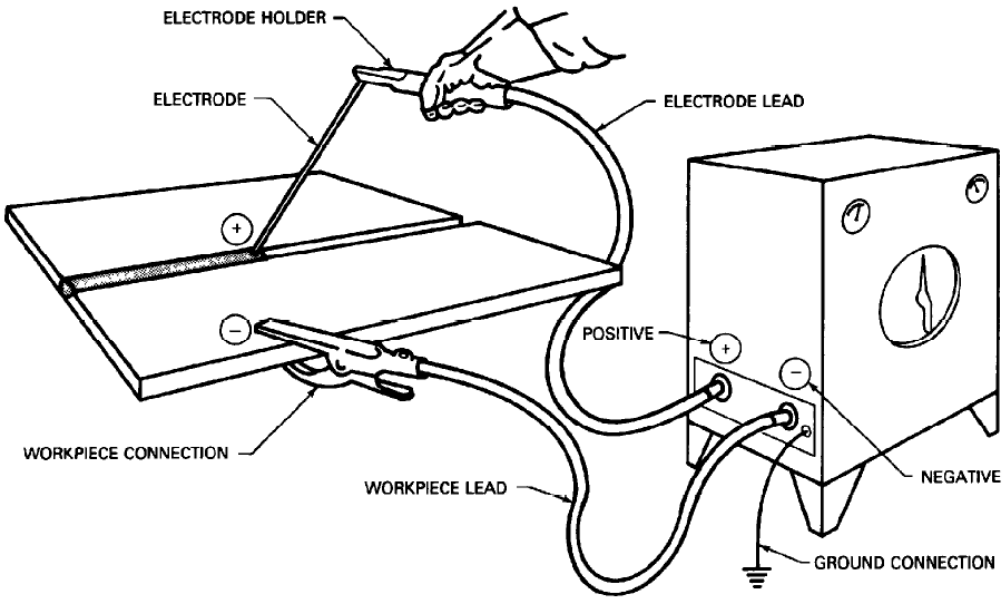
است. در این روش حوضچه مذاب ایجاد شده با استفاده از روپوش الکترود که ذوب می‌شود، محافظت می‌شود. شکل **1** بطور شماتیک فرایند *SMAW* را نشان می‌دهد.



شکل **1**- فرایند جوشکاری قوسی فلزی با الکترود روپوش دار.

4-1-1. قوس الکتریکی

اگر دو سر مثبت و منفی یک مولد برق به هم برخورد کرده و در فاصله کمی از یکدیگر قرار گیرند، در اثر اختلاف پتانسیل موجود بین آنها جرقه‌هایی زده می‌شود. این جرقه ها موجب یونیزه شدن هوای بین دو قطب شده و باعث عبور جریان برق و تکمیل مدار می‌گردند. از آنجائیکه مقاومت الکتریکی قوس زیاد است حرارت قابل ملاحظه‌ای تولید می‌شود. از حرارت فوق الذکر می‌توان برای ذوب دو قطعه فلزی و اتصال آنها به یکدیگر استفاده نمود و این اساس جوشکاری با قوس الکتریکی می‌باشد. شکل **2** مدار الکتریکی بکار رفته در فرایند *SMAW* را نشان می‌دهد.



شکل **2**- مدار الکتریکی در جوشکاری برق.

قوس الکتریکی به عوامل مختلفی نظیر جنس الکترود، طول قوس، نوع گاز موجود در فاصله بین الکترودها و نوع جریان الکتریکی بستگی دارد.

برای روشن شدن قوس الکتریکی ولتاژ بیشتری لازم است تا نگهداری آن، چون مقداری از ولتاژ صرف یونیزه کردن فاصله هوایی بین الکترود و قطعه کار می‌شود.

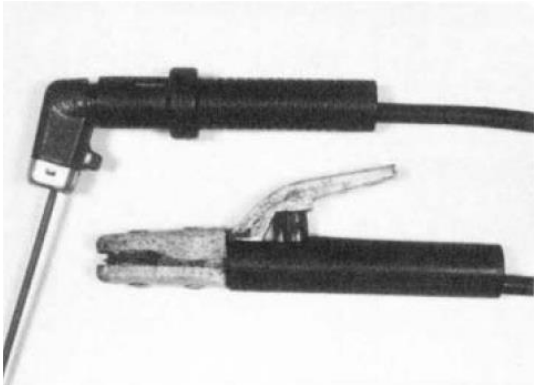
در قوس الکتریکی گرما و انرژی نورانی در مکان‌های مختلف یکسان نبوده بطوریکه تقریباً **43**٪ از حرارت در آند و تقریباً **36**٪ در کاتد و **21**٪ بقیه به صورت قوس ظاهر می‌شود. دمای حاصل از قوس به الکترودهای آن نیز وابسته است. دمای حاصله در آند و کاتد برای الکترودهای فلزی حدوداً **2400** $^{\circ}C$ تا **2600** $^{\circ}C$ تخمین زده شده است.

طول قوس بین **0/6** تا **0/7** قطر الکترود می‌باشد و تقریباً **90**٪ از قطرات مذاب جدا شده از الکترود به حوضچه مذاب وارد می‌گردد و **10**٪ به اطراف پراکنده می‌گردد.

4-1-2. تجهیزات فرآیند جوشکاری الکترود دستی

1- دستگاه جوش **2**- الکترود **3**- وسایل جانبی

شکل **3** تصویر یک نگهدارنده الکترود را نشان می‌دهد.



شکل **3**- تصویر نگهدارنده الکترود در جوشکاری برق.

دستگاه جوش: آمپر مورد استفاده بین A **350-50** می‌باشد، در این فرآیند تغییرات روی ولتاژ متمرکز بوده و جریان ثابت است. در جوشکاری با قوس الکتریکی از دو نوع جریان جهت تشکیل قوس می‌توان استفاده کرد:

الف – جریان مستقیم (DC) ب- جریان متناوب (AC)

جریان مستقیم DC

در این جریان جهت حرکت الکترون‌ها در مدار همیشه در یک جهت منفی به مثبت می‌باشد. بنابراین جای قطب مثبت و منفی عوض نمی‌شود.

مزایای جریان DC :

1. خطر برق گرفتگی کمتر است
2. امکان تغییر قطبیت وجود دارد.
3. انواع الکترودها با آن به راحتی قابل جوشکاری است
4. امکان جوشکاری با آمپرهای پایین وجود دارد.
5. برقراری قوس و پایداری آن راحتر و بیشتر است.

معایب :

1. انحراف قوس وجود دارد.
2. دستگاه‌های آن نسبت به AC گران‌تر است.
3. ضریب بهره الکتریکی آن نسبت به AC کمتر است.

در جوشکاری با برق مستقیم دو نوع اتصال بکار می رود:

الف- اتصال با قطبیت مستقیم (یا قطب منفی) DCEN و یا DCSP :

چنانچه الکترود به قطب منفی و قطعه کار را به قطب مثبت وصل نمائیم به آن جوشکاری با قطب مستقیم گویند. در این حالت حرکت الکترونها از الکترود به قطعه کار است و تقسیم حرارت یک سوم در الکترود و دو سوم در قطعه کار می‌باشد.

ب-اتصال با قطبیت معکوس (یا قطب مثبت) DCEP و یا DCRP :

درست بر عکس قطبیت مستقیم می‌باشد یعنی دو سوم حرارت قوس در الکترود و یک سوم در قطعه کار متمرکز می شود.

در اتصال مستقیم فلز مبنا حرارت بیشتری دیده و ذوب می‌شود ولی در اتصال معکوس الکترود حرارت زیادتری دیده و سریعتر ذوب می گردد. انتخاب قطبیت الکترود در جوشکاری به عوامل مختلف از قبیل جنس فلز جوش شونده، نوع جوش و همچنین جنس الکترود بستگی دارد. بطور کلی از قطب معکوس (مثبت) در مواردی استفاده می‌شود که حرارت زیادی روی قطعه کار لازم نباشد. مثلاً در جوشکاری ورقهای نازک فلزاتی که نقطه ذوبشان پایین است.

جریان متناوب AC

علاوه بر جریان مستقیم از جریان متناوب نیز در جوشکاری استفاده می‌شود. در جوشکاری با جریان متناوب با توجه به اینکه جهت جریان به تناوب عوض می‌شود اتصال با قطب مستقیم یا معکوس مفهومی ندارد و در نتیجه نیمی از حرارت حاصل از قوس الکتریکی در الکترود و نیمی دیگر در قطعه کار آزاد می‌شود.

مزایای جریان AC :

1. وزش قوس الکتریکی وجود ندارد.
2. دستگاه‌های آن ارزان‌تر و قابل حمل و نقل می‌باشند.
3. ضریب بهره الکتریکی آن بالاست.

معایب :

1. امکان تغییر قطبیت وجود ندارد.
2. برقراری قوس مشکل‌تر می‌باشد.
3. همه نوع الکترود را نمی‌توان جوشکاری نمود(قلیایی *E7015* و سلولزی *E6010*)
4. با آمپرهای پایین، جوشکاری مشکل می‌باشد.

انواع موج در جریان AC :

1. موج سینوسی : همیشه باید *HF* روشن باشد که تولید پارازیت می کند.
2. موج مربعی : که دارای سر و صدای زیادی می‌باشد.

3. موج ترکیبی : (شرکت فرینوس برای رفع مشکلات موج‌های تولیدی بالا این دستگاه را جدیداً اختراع کرده است).

فرکانس :

در جریان متناوب تغییرات ولتاژ یا شدت جریان در جهت مثبت، از صفر شروع شده و به ماکزیمم مقدار رسیده وسپس به صفر می‌رسد. دوباره در جهت منفی از صفر شروع شده وبه ماکزیمم وبعد به صفر می‌رسد. به یک نیم سیکل مثبت و منفی یک سیکل کامل می‌گویند. به تعداد سیکلها در هر ثانیه هرتز (*Hz*) گفته می‌شود. هر چه مقدار سیکل‌ها در ثانیه بیشتر باشد، فرکانس آن بیشتر است.

محل اتصال الکترود با انبر در صورتی‌که کثیف باشد و یا فلز شل باشد ولتاژ در محل اتصال برقرار نشده و هر چه ولتاژ کمتر باشد، شروع قوس مشکل‌تر و پایداری قوس کمتر است. شیشه ماسک با توجه به میزان آمپر فرآیند جوشکاری فرق می‌کند و اگر روی شیشه خراشیده شده باشد، برای چشم مشکل ایجاد می‌کند. اشعه ماوراء بنفش و مادون قرمز پخش شده در قوس به هنگام جوشکاری می‌تواند صدمات جبران ناپذیری به چشم و حتی پوست بدن وارد کند. هنگام تمیز کاری سطح جوش از ذرات سرباره و یا گل جوش که غالباً به کمک چکش و یا برس فولادی انجام می‌گیرد باید متوجه بود که این ذرات شیشه‌ای شکل به چشم و پوست و صورت و بدن آسیب نرساند.

هوای محیط کار عملیات جوشکاری باید توسط دستگاه تهویه تمیز نگه داشته شود، که دودها و گازهای بوجود آمده برای دستگاه تنفسی مضر هستند.

4-1-3. اصول جوشکاری قوسی

در جوشکاری قوسی (جوش برق) چهار عامل مهم وجود دارد که تاثیر زیادی روی کیفیت جوش دارند و برای اینکه جوش خوبی بدست آید لازم است هر یک از آنها با نوع کار و وسایل مورد استفاده هماهنگ شوند. این چهار عامل متغیر عبارتند از:

1- شدت جریان.
2- طول قوس یا ولتاژ قوس.
3- سرعت پیشروی.
4- زاویه الکترود.

4-1-3-1. شدت جریان

وقتی که قوس برقرار شد و جوشکاری آغاز گردید مقدار آمپری که از مدار جوشکاری عبور می‌کند به شدت جریان جوشکاری موسوم است. جریان برق متناسب با قطر الکترود مصرفی روی ماشین جوشکاری میزان می‌شود. هر چه قطر الکترود بیشتر باشد جریان مصرفی بیشتر است. همیشه باید به میزان آمپری که سازنده الکترود توصیه کرده است، توجه گردد. ولی اگر در دسترس نباشد می‌توان طبق قاعده کلی زیر عمل نمود:

«در جوشکاری با الکترودهای روپوش دار استاندارد عدد آمپر با عدد قطر بر حسب هزارم اینچ تقریباً برابر است.»

بنابراین الکترود به قطر **3/25** میلی متر یا **0/125** اینچ ، با **125** آمپر خوب کار می‌کند. وقتی صحبت از قطر الکترود می‌شود منظور قطر مغزه آن است نه قطر روپوش الکترود.

4-1-3-2. طول قوس

طول قوس عبارت است از فاصله بین سر الکترود تا سطح قطعه مورد جوشکاری به هنگام برقراری قوس. طول قوس در نتیجه جوشکاری تاثیر بسیاری می‌گذارد. طول قوس با ولتاژ دو سر قوس رابطه مستقیم دارد، یعنی برای اینکه طول قوس سه برابر شود نیاز به ولتاژ سه برابر خواهد داشت.

به عنوان یک قاعده کلی طول قوس بایستی قدری کمتر از قطر الکترود مورد استفاده باشد. عملاً برای جوشکار اندازه‌گیری دقیق طول قوس هنگام جوشکاری مقدور نیست ولی جوشکار می‌تواند با گوش دادن به صدای قوس و یا تمرین و تجربه طول قوس مناسب را برقرار سازد.

4-1-3-3. سرعت پیشروی

سرعت پیشروی قوس با ضخامت فلز مورد جوشکاری، مقدار جریان و اندازه، شکل یا گرده دلخواه تغییر خواهد کرد. برای بدست آوردن سرعت پیشروی مناسب بهتر است جوشکاری تک پاسه ساده (غیر نوسانی) جوش داده شده و با طول قوس ثابت، سرعتی در نظر گرفته شود که حوضچه مذاب تشکیل شده، دو برابر قطر الکترود باشد.

4-1-3-4. زاویه الکترود

در جوشکاری ورق حالت مسطح(حالت تخت)، الکترود بایستی عمود بر ورق باشد و در حالتهای دیگر بهتر است الکترود زاویه مورد جوشکاری را نصف نماید.

در تمرینهای جوشکاری معمولاً انحراف تا **15** درجه از آنچه گفته شد اشکالی ندارد و تاثیر زیان آوری روی ظاهر کیفیت جوش نخواهد داشت.

4-1-4. حالات اصلی جوشکاری

وضعیت مکانی نسبی جوش و جوشکار در فضا را حالت جوشکاری می‌گویند. اگر یک قطعه ورق فولادی در نظر بگیریم و روی آن یک خط بعنوان درز جوش مشخص کنیم، چهار حالت اصلی می‌توان در نظر گرفت :

الف- اگر ورق در سطح افق و خط جوش روی آن قرار گیرد و جوشکاری از بالا صورت گیرد، این حالت را مسطح (*Flat*) می‌گویند.

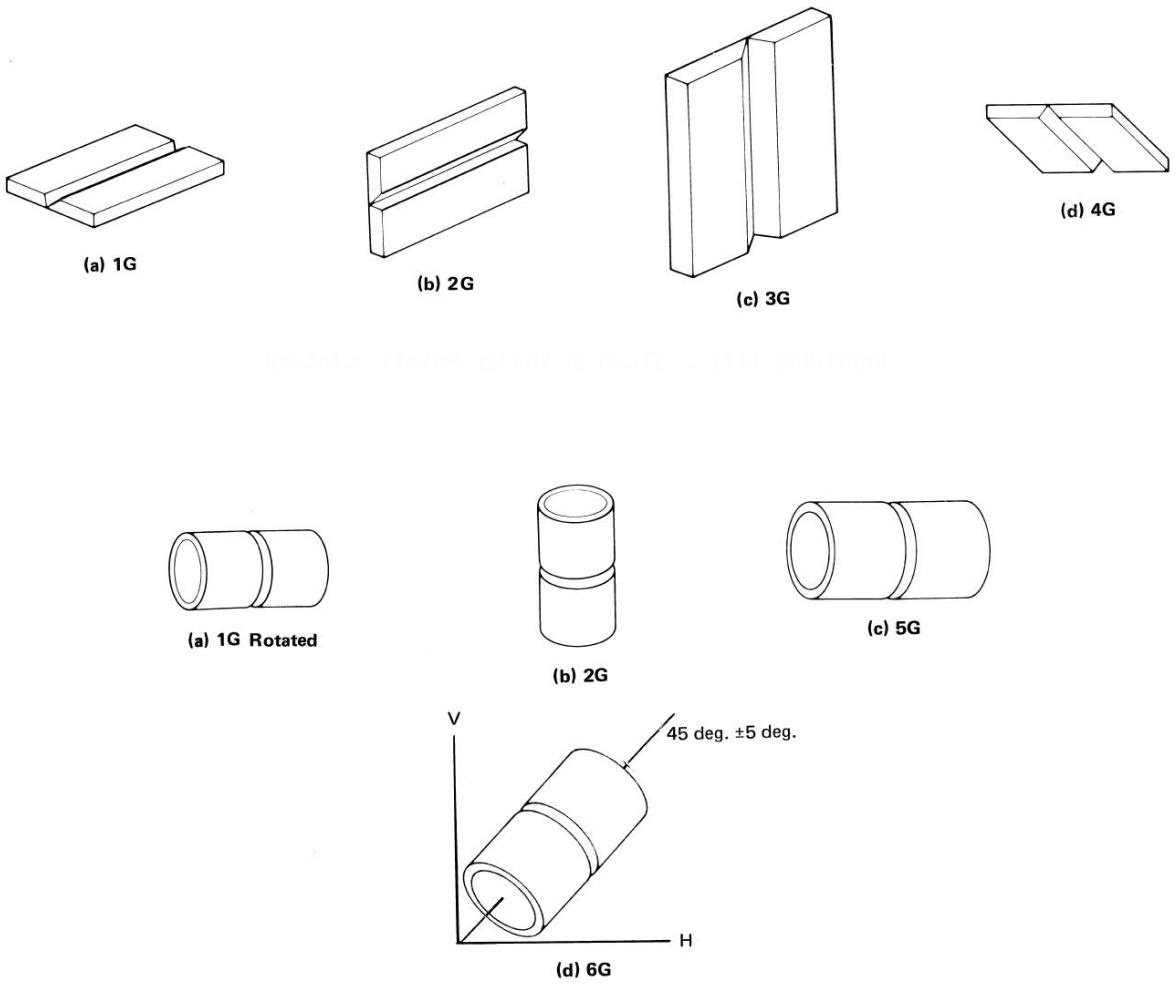
ب- اگر مانند وضیعت الف ورق در سطح افق و خط جوش زیر آن قرار گیرد و جوشکاری از زیر صورت گیرد، این حالت را سقفی (*Over Head*) می نامند.

ج- اگر ورق در سطح قائم قرار داده شود و خط جوش نیز به صورت قائم قرار گیرد در آن صورت حالت قائم یا حالت عمودی (*Vertical*) گفته می‌شود.

حالت عمودی نیز دو نوع است یعنی اگر جوش از پائین به بالا انجام شود به آن سربالا و چنانچه جوش از بالا به پائین انجام شود جوش سرازیر نامیده می‌شود.

د- اگر در سطح قائم قرار داده شود ولی خط جوش به صورت افقی قرار گیرد، به آن جوش حالت افقی **(***Horizontal***)** می گویند.

البته در عمل حالات دیگری غیر از چهار حالت اصلی پیش می آید که به هر یک از آنها، حالت ویژه (*Special*) می گویند. شکل **4** انواع حالتهای جوشکاری را نشان می‌دهد.



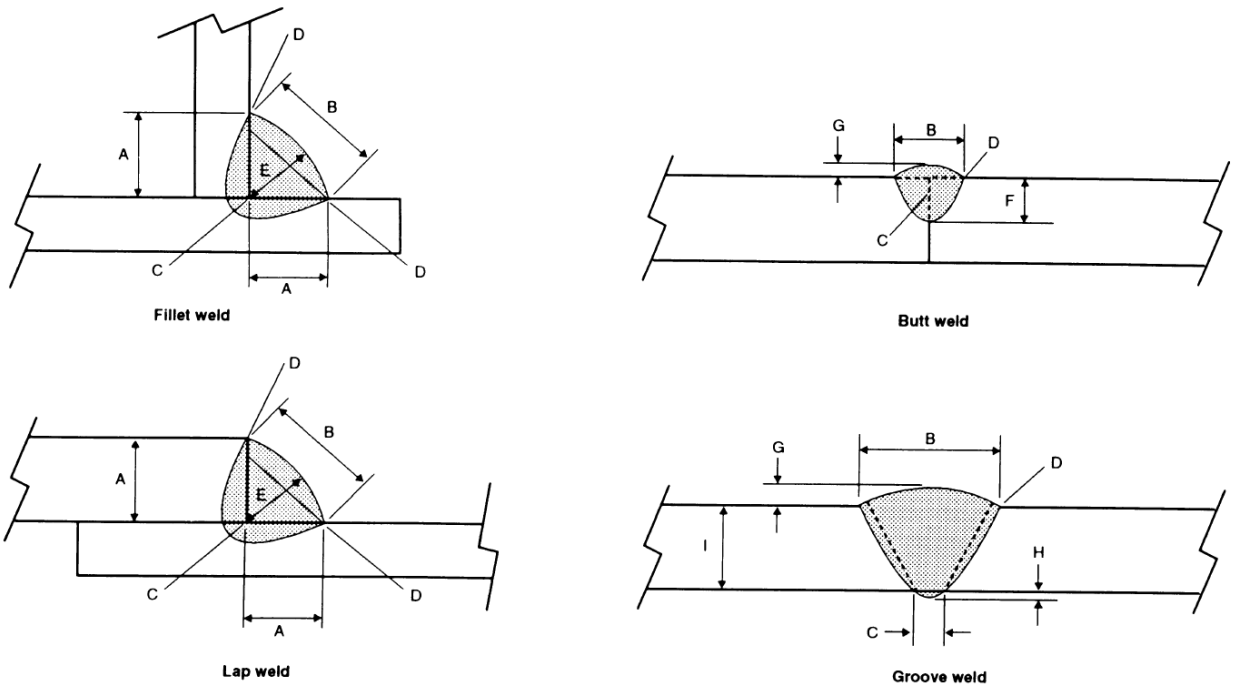
شکل **4**- انواع حالات جوشکاری.

4-1-5. انواع اتصالات جوشکاری

دو قطعه جوش شونده نسبت به همدیگرحالتهای مختلفی گرفته و انواع اتصال را به وجود می‌آورند، که عبارت است از:

1. اتصال لب به لب (*Butt joint*)
2. اتصال روی هم (*Lap joint*)
3. اتصال سپری (*Tee joint*)
4. اتصال گوشه ای (*Corner joint*)
5. اتصال لبه ای (*Edge joint*)

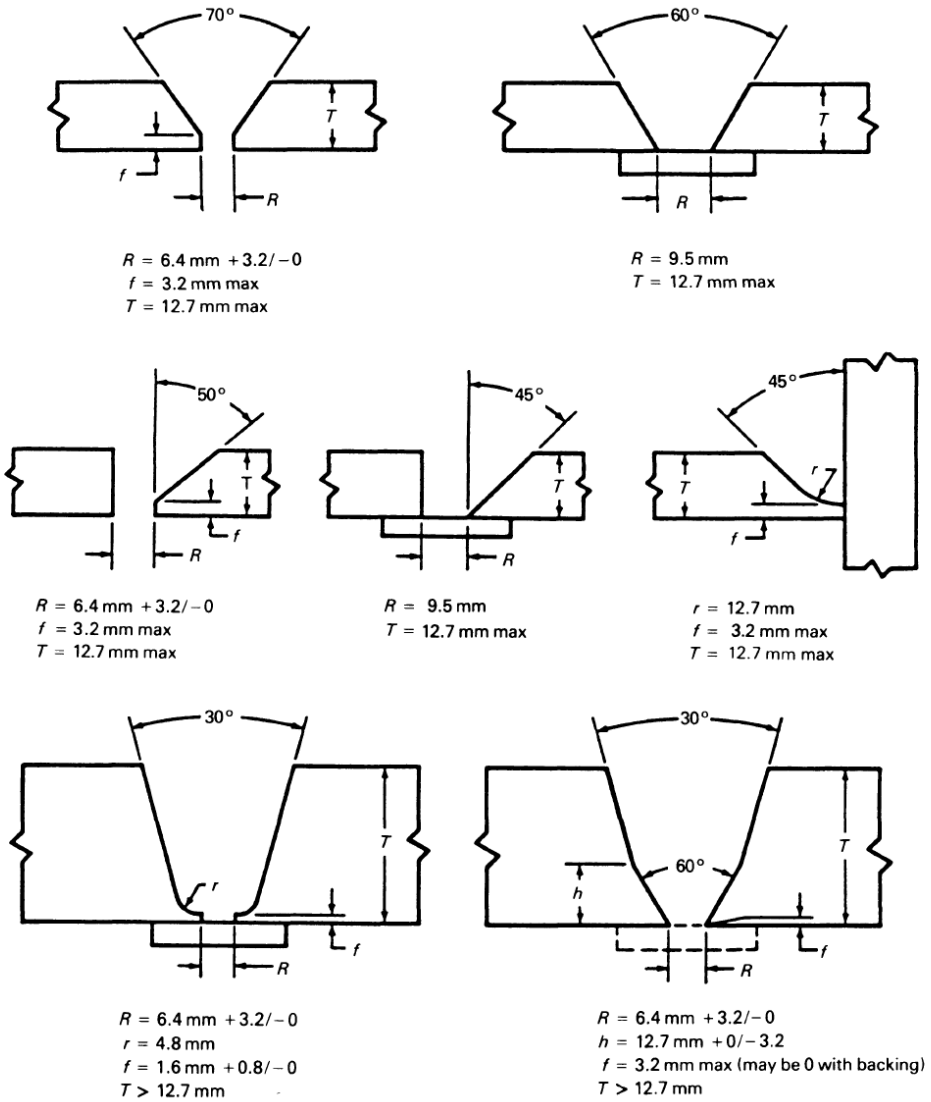
در اتصال لب به لب قطعات جوش شونده با پخ یا بدون پخ (با فاصله یا بدون فاصله) کنار هم قرار گرفته و از یک لب به هم جوش می‌شوند (شکل**5**). در اتصال روی هم هر قطعه از یک لبه روی دیگری قرار گرفته واز همان لبه جوش می‌شود. در اتصال سپری و اتصال گوشه‌ای که به آنها اتصال گونیایی یا جوش گوشه‌ای نیز گفته می‌شود . یکی از قطعات عمود بر دیگری قرار گرفته و زاویه تشکیل شده بین آنها از یک طرف یا از دو طرف جوش داده می‌شود . در اتصال لبه‌ای یا اتصال پیشانی، دو قطعه روی هم قرار گرفته و از یک لبه انتهایی به هم جوش می‌شوند.



شکل**5**- انواع اتصالات جوشکاری و اصطلاحات بکار رفته: A ساق جوش، $\acute{A}$ ساق جوش کوچکتر (برابر با اندازه جوش)، B رویه، C ریشه، D پنجه، E گلویی، F نفوذ (برابر با اندازه جوش)، G گرده رویه، H گرده ریشه، I اندازه جوش.

6-1-4. آماده کردن لبه‌ها

دو قطعه جوش شونده ممکن است بصورت ساده کنار هم قرار گیرند ویا اینکه لبه‌های جوش شونده تحت زوایایی تراشیده شوند (پخ زده شوند). تراش وفرم دهی لبه ها را آماده کردن لبه‌ها می‌گویند وبا توجه به نحوه آمادگی، جوشهای مختلفی بدست می‌آید که عبارتنداز ساده، جناغی و نیم جناقی، لاله‌ای و نیم لاله‌ای، گوشه‌ای ساده یا گلویی که هر یک از آنها می‌تواند بطور یک طرفه ویا دو طرفه انجام شود. در شکل **6** انواع روشهای لبه سازی در جوشکاری آورده شده است.

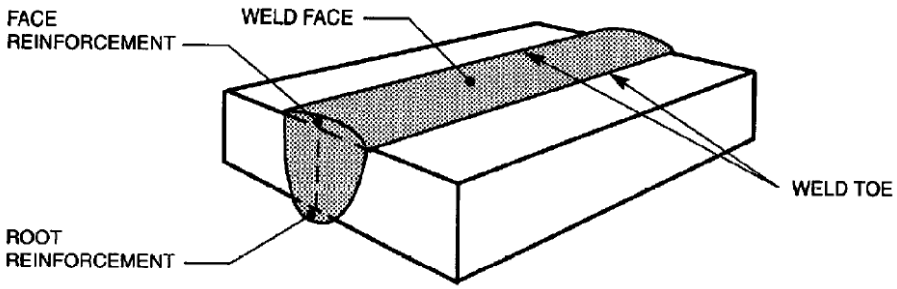


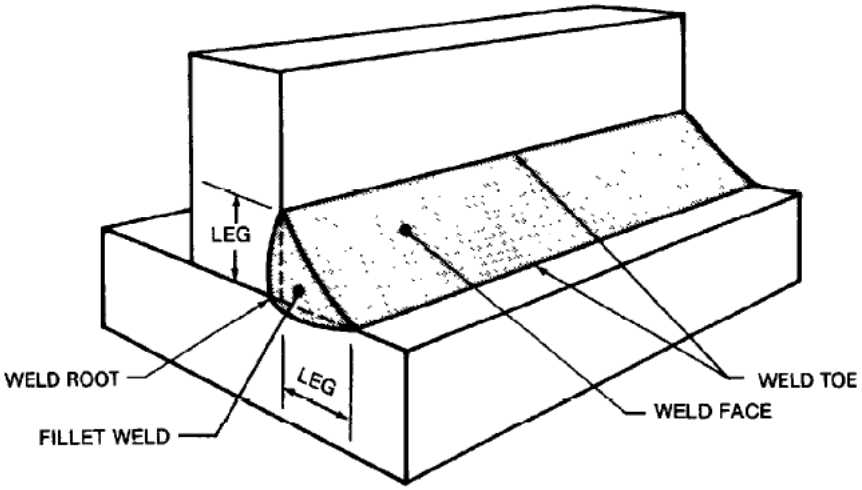
شکل**6**- انواع لبه سازی در جوشکاری.

4-1-7. اصطلاحات جوشکاری

هر خط جوش را یک پاس می‌نامند. هر چند پاس که کنار هم جوش داده شده وقشری از مقطع جوش را تشکیل دهد، لایه جوش می‌نامند . به لایه اول جوش ریشه و به لایه آخر گرده جوش می گویند . عمقی از فلز اصلی که جوش با فلز اصلی در هم آمیخته، نفوذ جوش است .

در جوش گوشه‌ای اگر مثلث محاط در جوش مثلث متساوی الساقین باشد بهتر است ودر جوش گوشه‌ای دو ضلع متساوی مثلث را ساق جوش وارتفاع مثلث را گلویی جوش می گویند.گلویی جوش تقریباً **0/7** ساق جوش است. زاویه لبه هر قطعه را زاویه پخ و زاویه بین دو قطعه که کنار هم قرار دارند را زاویه شیار می گویند. درشکل **7** انواع اصطلاحات مورد استفاده در جوشکاری نشان داده شده است.





شکل7- انواع نامگذاری ها در جوشکاری.

4-1-8. الکترود روپوش دار

الکترود روپوش دار از دو قسمت هسته و پوشش تشکیل شده است. اکثراً مقطع هسته‌های الکترود گرد می‌باشد. جنس هسته الکترودها آهنی یا غیرآهنی (مثل مس، نیکل، کبالت و ...) می‌باشد. هسته‌های آهنی **80**٪ هسته‌ها را تشکیل می-دهند و عبارتند از :

1- فولادهای آلیاژی **2**- فولادهای زنگ‌نزن **3**- فولادهای ساده کم کربن

مواد بکار برده شده در پوشش الکترود :

1. *ترکیبات سلولزی* : این ترکیبات گاززا هستند و ضمن استفاده می‌سوزند و تولید CO و ... می‌کنند که بر مذاب اثری ندارند ضمناً خاصیت احیاء کنندگی هم دارند و خاصیت خمیری به پوشش الکترود می‌دهند.
2. *ترکیبات سرباره‌ساز* : مواد معدنی، اکسیدها و ... اضافه می‌شوند و به آنها روپوش روتیلی نیز می‌گویند.
3. *ترکیبات اکسیژن‌زدا* : این ترکیبات کار فسفرزدایی و سولفورزدایی را هم انجام می‌دهند.
4. چسب : عمدتاً سیلیکات سدیم و پتاسیم استفاده می‌شود و در پایداری قوس هم نقش دارند و خیلی زود یونیزه می‌شوند و به پوشش الکترود هم استحکام می‌دهند.
5. *پودر آهن* : سختی را زیادتر می‌کند و روی شرایط انجماد و ساختار جوش اثر می‌گذارد و از طریق ضخیم بودن جوش می‌فهمیم که پوشش پودر آهن داشته است.

4-1-8-1. وظایف روپوش الکترود

1. ایجاد سرباره : محافظت در برابر سرد شدن سریع فلز جوش و محافظت در مقابل تأثیرات منفی هوا.
2. پایداری قوس: موادی در پوشش الکترود هستند که به راحتی یونیزه شده و باعث پایداری قوس می‌شوند.
3. تصفیه مذاب و جذب ناخالصی‌ها مثل اکسیژن، گوگرد و ...
4. کنترل ترکیب شیمیایی جوش : معمولاً مواد آلیاژی به پوشش الکترود اضافه می شود که وارد فلز جوش شده و به صورت مختلف روی خواص جوش تأثیر می‌گذارند.

4-1-8-2. آنالیز استاندارد انواع الکترودهای روپوش‌دار

الف) الکترودهای سلولزی : در این نوع الکترودها قوس بسیار نافذ (عمق نفوذ جوش خوب) و پاشیدگی نسبتاً زیاد، سطح جوش خشن و ناهموار می‌باشد. بدلیل اینکه پوشش الکترودها عمدتاً از مواد سوختنی و کربنی تشکیل شده است، دارای سرباره نازک هستند. ترجیحاً در این نوع الکترودها از جریان DC استفاده می‌شود. برای جوشکاری در تمام حالات مناسب هستند.

ب) الکترود روتیلی: جوشکار مبتدی به راحتی می‌تواند با این نوع الکترودها جوشکاری کند. سرباره به راحتی جدا میشود. نفوذ و خواص مکانیکی جوش حاصل از آن متوسط است. بیشتر در کارهای غیر مهندسی (صنایع در و پنجره سازی) استفاده می‌شود.

ج) الکترود قلیایی: مهمترین نوع الکترود از نظر متالورژیکی هستند. بدلیل رطوبت کم در پوشش الکترود به الکترودهای کم هیدروژنی نیز معروف هستند و برای جوشکاری فولادهای کم آلیاژی که در مقابل ترک برداشتن منطقه مجاور جوش حساس هستند بسیار مناسب می باشند. ترجیحاً از جریان *DC* استفاده می‌شود، سرباره به راحتی جدا نمی‌شود ولی از نظر خواص مکانیکی به ویژه مقاومت به ضربه خیلی خوب است. بیشتر در سازه‌های مهندسی استفاده می‌شوند و در تمام وضعیت‌ها و جریان *AC/DCEP* استفاده می‌شوند و از این نوع الکترود برای جوش با کیفیت بالا استفاده می‌شود. در اثر استفاده از این نوع الکترودها، عیب بریدگی در کنار جوش کمتر مشاهده می‌شود.

د) الکترود اسیدی: پوشش این نوع الکترود بیشتر سیلیکات آهن و منگنز است. سرباره ضخیم و سنگین است و جوشکاری ساده است، و از جریان *AC* و *DC* می‌توان استفاده کرد. نفوذ آن کم است و بدلیل میزان ناخالصی و عیوب نسبتاً بالا کمترین خواص مکانیکی را دارد. این نوع الکترود بیشتر برای رفع عیوب قطعات ناشی از ریخته‌گری استفاده می‌شود. الکترود با پوشش اسیدی، جوش بسیار هموار و براق تولید می‌کند و سرباره به راحتی از روی جوش جدا می‌شود و به همین دلیل جوشکاران تمایل زیادی برای کار با آن دارند. ضمناً برای جوشکاری در تمامی حالات جوشکاری مناسب می‌باشد.

ه) الکترود اکسیدی: همانند الکترود اسیدی است فقط اکسید آهن آن بیشتر است. استحکام کمتری نسبت به جوش حاصل از الکترودهای دیگر دارد. مقدار نفوذ جوش آن کم است.

4-1-8-3. نحوه نامگذاری الکترودها مطابق استاندارد AWS

- در این سیستم برای شناسایی الکترودها از یک حرف *E* به معنای الکترود و یک عدد **4** رقمی یا **5** رقمی استفاده می‌شود.
- دو رقم اول از سمت چپ *EXXXX* در الکترود های **4** رقمی و سه رقم اول از سمت چپ *EXXXXX* در الکترود های **5** رقمی نشان دهنده استحکام کششی جوش بر حسب واحد پوند بر اینچ مربع *psi* ضربدر عدد **1000** می‌باشد.
- رقم دوم از سمت راست نشان دهنده حالت جوشکاری می‌باشد.

عدد **1** تمام حالات، عدد **2** حالت تخت و افقی، عدد **3** حالت تخت، عدد **4** تمام حالات بجز عمودی سربالا

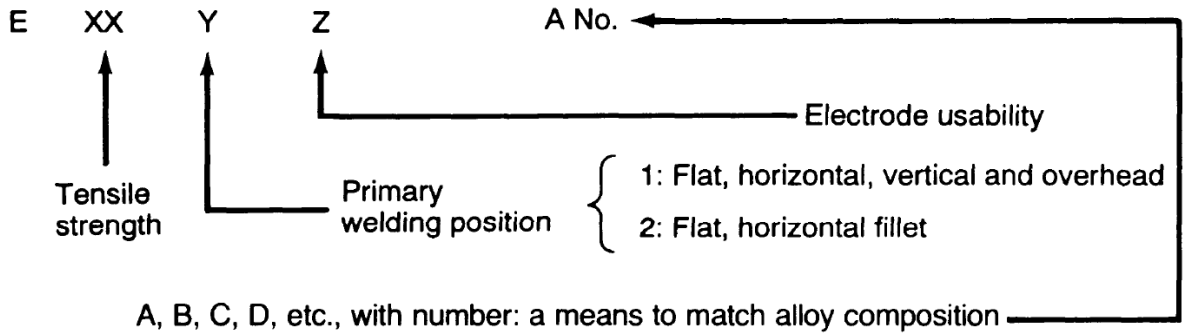
- رقم اول از سمت راست *EXXXX* نشان دهنده جنس روپوش و نوع جریان مصرفی می‌باشد.

جدول **1** تقسیم بندی انواع الکترودهای روپوش دار و نیز نوع جریان جوشکاری هر یک را نشان می‌دهد.

جدول **1**- تقسیم بندی انواع الکترودهای روپوش دار و نحوه نامگذاری آنها.

رقم	نوع روپوش	جریان *AC*	جریان *DCEN*	جریان *DCEP*
0	سلولزی سدیم دار	−	−	+
1	سلولزی پتاسیم دار	+	−	+
2	روتیلی سدیم دار	+	+	−

3	روتیلی پتاسیم دار	+	+	+
4	روتیلی پودر آهن دار	+	+	+
5	قلیایی سدیم دار	–	–	+
6	قلیایی پتاسیم دار	+	–	+
7	اکسیدی (اکسید آهن + پودر آهن)	+	+	–
8	قلیایی پودر آهن دار	+	–	+



4-1-8-4. الکترودهای پر مصرف

برای آشنایی با چند الکترود که در کاربردهای ساختمانی و صنعتی به عنوان الکترود پر مصرف قلمداد می‌شوند، ارائه می‌گردد.

1) E6010 (روپوش سلولزی): برای جوشکاری *DCEP* (جریان مستقیم قطب معکوس) بکار برده می‌شود. این الکترود برای جوشهای عمودی و سقفی و در ورق‌های نازک فلزی در هر حالت مناسب است. این نوع الکترود جوش با نفوذ عمیق دارد و تمایل به ایجاد بریدگی کناره جوش دارد که در صورت وقوع این پدیده می‌بایست آمپر یا شدت جریان جوشکاری را کاهش داد.

جائی که کیفیت سطح رسوب جوش حائز اهمیت است، بخصوص پاس ریشه در جوشکاری‌های چند پاسه و جائی که نیاز به پرتونگاری است، این الکترود توصیه می‌شود.

ضخامت پوشش الکترود *E6010* حداقل در نظر گرفته می‌شود تا جوش دادن در حالت عمودی و سقفی آسان باشد.

2) E6013 (روپوش روتیلی) : این الکترود برای جوشکاری در تمام حالات با جریان متناوب یا جریان مستقیم، اتصال مستقیم یا معکوس (*AC/DCEN/DCEP*) طراحی شده‌اند. الکترود *E6013* حداقل پاشیدگی ایجاد می‌کند و کمترین بریدگی کناره را بوجود می‌آورند. این نوع الکترودها برای جوشکاری فلزات نازک مناسب هستند و در مواقعی که جوش فولاد کربنی با کیفیت بالا مورد نظر است و جوش با پرتونگاری مورد بازرسی قرار می‌گیرد، استفاده می‌شود.

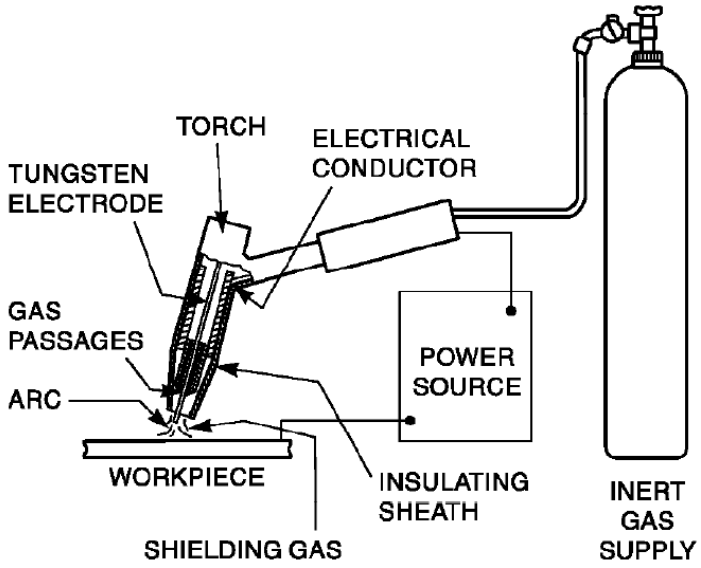
همچنین این الکترودها بدلیل مقعر و گرد بودن جوش و پاک شوندگی آسان سرباره به راحتی برای جوش‌های شیاری استفاده می‌شوند.

3) E7018 (روپوش قلیایی) : پر مصرف‌ترین الکترود کم هیدروژن است و برای جوشکاری در همه حالت‌ها با جریان متناوب یا جریان مستقیم قطب معکوس (*AC/DCEP*) مناسب است و **25** تا **45** درصد پودر آهن در روپوش دارد. کاربرد اصلی این الکترود برای فولادهای سخت جوش پرگوگرد و پر کربن و فولادهای کم آلیاژ با مقاومت زیاد می‌باشد.

برای جوشکاری با الکترود *E7018* قوس کوتاه لازم است که برای جوشکاران غیر ماهر آسان نیست. از ویژگی‌های این الکترود می‌توان به جوش صاف، قوس آرام، نفوذ کم (به داخل فلز مبنا)، پاشش خیلی کم و سرعت جوشکاری زیاد اشاره کرد.

4-2- فرایند جوشکاری قوس الکترود تنگستن تحت محافظت گاز (GTAW)

جوشکاری قوس الکترود تنگستن تحت محافظت گاز یک فرایند جوشکاری قوسی است که قوس را بین الکترود تنگستن (مصرف نشدنی) و حوضچه مذاب بکار می‌برد. این فرایند تحت محافظت گاز و بدون اعمال فشار صورت می‌گیرد. جوشکاری قوس الکترود تنگستن را می‌توان با اضافه کردن فلز یا مفتول (پرکننده) و یا بدون آن بکار برد. شکل **8** به طور شماتیک تجهیزات بکار رفته در فرایند *GTAW* را نشان می‌دهد.



شکل **8**- تجهیزات فرایند جوشکاری *GTAW*.

در این فرایند از الکترود مصرف نشدنی تنگستن (یا آلیاژهای آن) استفاده می‌شود که در داخل مشعل نگهداری می‌شود. گاز حفاظتی از درون مشعل برای حفاظت الکترود، حوضچه مذاب و جوش در حال انجماد از آلودگی‌های

جوی، تغذیه می‌شود. قوس الکتریکی با عبور جریان از داخل گاز رسانشی و یونیزه حفاظتی تولید می‌شود. قوس بین نوک الکترود و قطعه کار پایدار می‌شود و حرارت تولیدی توسط قوس، فلز پایه را ذوب می‌کند. وقتی قوس و حوضچه جوش پایدار شدند مشعل در امتداد اتصال و قوس حرکت داده شده و مرتباً سطوح تماس را ذوب می‌کند. در صورت لزوم مفتول پرکننده معمولاً به پیش لبهٔ حوضچهٔ جوش، برای پرشدن درز اضافه می‌شود.

4-2-1. گاز محافظ

در فرایند جوشکاری *GTAW* از گازهای تک اتمی هلیوم و آرگون و یا مخلوطی از آنها به عنوان محافظت کننده حوضچه مذاب استفاده می‌شود. گاز محافظ علاوه بر اینکه حوضچه جوش را محافظت می‌کند باید نوک الکترود را هم از اکسیده شدن حفظ کند، چون در درجه حرارتهای بالا احتمال اکسید شدن الکترود (تنگستن) نیز وجود دارد. هدف از استفاده از گاز محافظ حفاظت از منطقه جوش و الکترود تنگستنی از آلودگی جوی است. اندازه نازل، سرعت جریان گاز و نوع گاز بکار رفته مهمترین عواملی هستند که این فرایند را کنترل می‌کنند.

گاز هلیم به علت گرمای ویژه بیشتر، حرارت بیشتری صرف گرم شدن می‌کند در نتیجه حرارت موثر کمتری به جوش می‌رسد که از یک طرف باعث ریزتر شدن ساختار میکروسکوپی جوش شده و از سوی دیگر احتمال پیچیدگی را کاهش می‌دهد. اما از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست. چون هلیم سبک تر از آرگون است مقدار بیشتری برای محافظت جوش لازم است و قیمت آن نیز گرانتر است. در مقابل، گاز آرگون دارای ولتاژ یونیزاسیون پایین‌تری است و در نتیجه در جریان متناوب برای روشن کردن مجدد قوس در هر نیم سیکل مناسب تر است. با توجه به نکات مذکور در این روش بهتر است از گاز آرگون یا مخلوطی از آن با هلیم استفاده شود. آرگون بکار رفته در این فرایند عمدتاً تا خلوص **99/995** درصد قابل تهیه است.

پس از پایان یافتن جوشکاری باید تا مدتی جریان گاز روی محل جوش ادامه داشته باشد. در صورتی که زمان اعمال گاز پس از جوشکاری بسیار کم باشد، باز هم احتمال آلودگی وجود دارد. جریان گاز باید تا زمانی ادامه یابد که دمای الکترود تنگستن تا کمتر از دمای اکسیداسیون آن کاهش یابد.

علاوه بر محافظت درز جوش، هنگام جوشکاری پاس ریشه نیز لازم است که اتمسفر اکسید کننده داخلی حذف شود. گاز پاک کننده[1] می‌تواند سطح ریشه جوش و فلز پایه اطراف جوش را از اکسیداسیون محافظت کند. بدلیل خاصیت محافظت کنندگی از اکسیداسیون و در نتیجه اثر آن روی کشش سطحی و خواص حوضچه جوش، گاز پاک کننده به کسب ذوب کامل در درز ریشه و یک سطح یکنواخت کمک می‌کند. همچنین تمایل به ترک در پاس ریشه را کاهش می‌دهد. یکی از دلایل عمده ایجاد پاس ریشه نامطلوب پاکسازی نامناسب قبل از آغاز جوشکاری است. حضور مقادیر بسیار کم اکسیژن (کمتر از **1** درصد) موجب ایجاد عیوب زیر می‌شود:

الف- اکسیداسیون سطحی.

ب- نفوذ ناقص.

---

[1] *Purge Gas*

ج- الگوی نامنظم پاس جوش.

د- ذوب ناقص لایی مصرف شدنی.

4-2-2. الکترود تنگستن

انواع الکترود تنگستن در فرایند *GTAW* به کار می‌رود. نقطه ذوب تنگستن *3390˚C* و نقطه جوش آن *5900˚C* است و در نتیجه عملاً امکان تبخیر تنگستن حین جوشکاری وجود ندارد. هر الکترود دارای یک ظرفیت تحمل جریان است که وابسته به نوع و قطر الکترود و نوع گاز محافظ است. الکترودهای تنگستن می‌توانند به صورت خالص بوده و یا با زیرکونیا و توریا آلیاژی شده باشند. در جدول**2** انواع الکترود تنگستن(طبق طبقه بندی *AWS*) آورده شده است.

جدول**2**- انواع الکترودهای تنگستن.

جنس	علامت اختصاری	رنگ	جریان	کاربرد
خالص	*EWP*	سبز	*AC*	جوشکاری آلومینیم
توریم دار ٪**1**	*EWTH 10*	زرد	*DC*	برای‌اکثرکارهاوآلیاژها
توریم دار ٪**2**	*EWTH 20*	قرمز	*DC*	برای‌اکثرکارهاوآلیاژها
سریوم دار٪**2**	*EWCE20*	نارنجی	*AC-DC*	برای‌اکثرکارهاوآلیاژها
زیر کونیم دار ٪**4**	*EWZR 4*	سفید	*AC*	حوضچه مذاب‌راکمترآلوده‌می‌کندودرجوشکاری‌راکتوربه‌کارمی‌رود.

جریان جوشکاری زیاد، آلودگی فلزی و آلودگی‌های جوی عواملی هستند که از عمر الکترود تنگستن می‌کاهند. لذا سطح آلوده الکترود باید زدوده شود و حتی الامکان سعی شود که نوک الکترود با فیلر یا حوضچه مذاب تماس برقرار نکند. هنگامی‌که نوک الکترود تنگستن با فلز آلوده می‌شود، قوس بیشتر نفوذ می‌کند و از این طریق می‌توان به آلودگی الکترود پی برد.

آلودگی‌های جوی الکترود می‌تواند ناشی از جریان گاز کم، بیرون زدگی بیش از حد الکترود و یا کم بودن زمان جریان گاز بعد از جوشکاری، باشد.

به عنوان یک قانون سر انگشتی میزان بیرون زدگی الکترود باید حداکثر برابر با قطر نازل باشد. به عنوان مثال هنگامی‌که از نازل شماره **4** (با قطر *9.5mm*) استفاده می‌شود، الکترود نباید بیش از *9.5mm* از نازل بیرون زده باشد. پس از اتمام جوشکاری، جریان گاز باید تا مدتی روی محل جوش ادامه داشته باشد. جریان گاز باید تا زمانی ادامه یابد که دمای الکترود تنگستن به کمتر از دمای اکسیداسیون آن برسد.

آلودگی الکترود تنگستن با هوا را می‌توان از روی تغییر رنگ الکترود تشخیص داد. رنگ الکترود ممکن است از آبی روشن یا صورتی به سیاه تغییر کرده باشد. اگر رنگ الکترود آبی تیره شده باشد قسمت اکسید شده الکترود را باید حذف کرد و دلیل آلودگی را قبل از جوشکاری مجدد، تعیین و برطرف نمود. هنگامی‌که نوک الکترود با سنگ زنی اصلاح می‌شود، سنگ زنی باید با استفاده یک چرخ ساینده ریز دانه انجام شود. از این سنگ فقط باید برای سنگ زنی الکترود استفاده شود.

هشدار:

> *هنگام سنگ زنی الکترودهای توریم دار باید دقت شود که اینکار در زیر هواکش و با استفاده از ماسک مناسب صورت گیرد زیرا ذرات توریم سرطان زا بوده و ایجاد ناراحتی کبدی می‌کنند.*

روش دیگر آماده سازی نوک الکترود این است که یک قوس روی یک صفحه مسی که با آب سرد می‌شود ایجاد شود. پس از برقراری قوس، رنگ نوک الکترود ابتدا به رنگ نارنجی روشن در می‌آید. با افزایش جریان، رنگ نوک الکترود به سفید درخشان تبدیل می‌شود و شروع به ذوب شدن می‌کند و یک گلوله (ساچمه) در انتهای الکترود

تشکیل می‌شود. در این نقطه با قطع جریان می‌توان یک گلوله در انتهای الکترود ایجاد کرد. این نوع نوک الکترود در جوشکاری آلومینیوم و آلیاژهای آن بکار می‌رود.

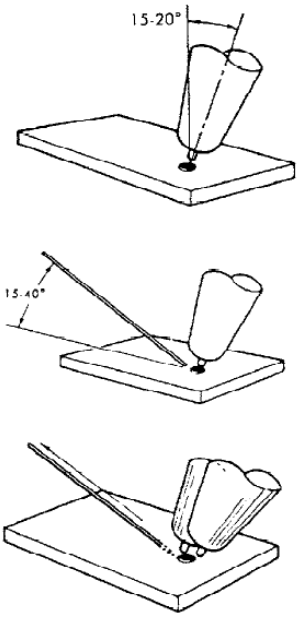
صرفنظر از نوع الکترود باید شکل نوک الکترود متناسب با شرایط جوشکاری باشد. زیرا هندسه نوک الکترود تاثیر زیادی بر شکل و اندازه گرده جوش و نیز عمق نفوذ دارد.

پس از ایجاد قوس و پایداری آن حوضچه جوش شکل می‌گیرد. بهتر است از روش به چپ (از راست به چپ) با زاویه مشعل **80** درجه (شکل **9**) استفاده شود تا حوضچه جوش قابل رویت باشد و در ضمن وزن آرگون جلوی باند جوش را فرا گیرد.

عمل اضافه کردن فیلر به حوضچه باید به نحوی باشد که:

- مانع از محافظت حوضچه جوش توسط جریان گاز نشود.
- نوک مفتول نیز تحت حفاظت جریان گاز قرار گرفته و اکسید نشود.

حتی المکان باید سعی شود که از روش جوشکاری مسطح استفاده شود ودر جوشکاری عمودی، روش جوشکاری باید به صورت سر بالا باشد. نوک مفتول نباید از محافظت گاز محافظ خارج شود. در صورت آلوده شدن نوک مفتول باید آن را برید و سپس استفاده کرد.



شکل**9**- نحوه صحیح گرفتن الکترود در جوشکاری *TIG*.

4-3- جوشکاری قوسی فلزی با محافظت گاز(میگ مگ)

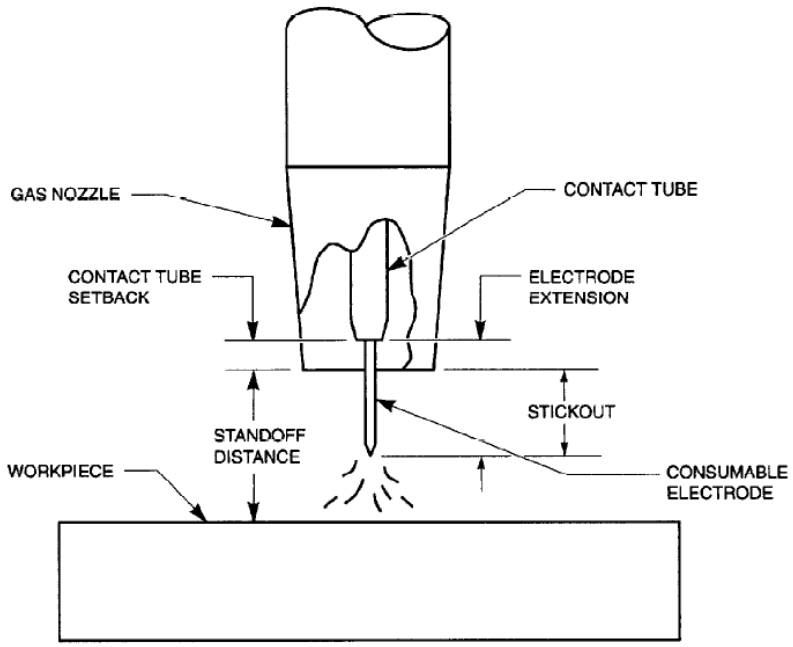
یکی از فرآیندهای جوشکاری ذوبی بوده که حرارت مورد نیاز برای ذوب از طریق تشکیل قوس الکتریکی بین یک سیم ممتد مصرف شدنی و سطح کار تأمین می‌گردد. عمل محافظت از حوضچه جوش توسط یک یا مخلوطی از گازهای محافظ ($Ar+Co_2$, $Ar+He$, He , Ar , Co_2) انجام می‌شود (شکل**10**). در این روش، امکان جوشکاری ورق‌های

نازک تا **0/5** میلی‌متر وجود دارد و برای فولادهای حساس به ترک هیدروژنی مناسب است و نسبت به روش‌های دیگر نرخ رسوب مذاب آن بیشتر است (حدود **8** تا **10** کیلوگرم در ساعت).

دستگاههای این فرآیند از نوع ولتاژ ثابت (*C.V* (*Constant Voltage* می‌باشند. مشعل‌های این فرآیند در دو نوع :

1- هوا خنک تا **150** آمپر به صورت غیر مداوم **2**- آب خنک برای آمپرهای بالا و کار مداوم می‌باشند.

بر خلاف *TIG* در این روش معمولاً از جریان *DC* و الکترود مثبت استفاده می‌شود و نتیجتاً عمل تمیز کردن قوس انجام می‌شود.



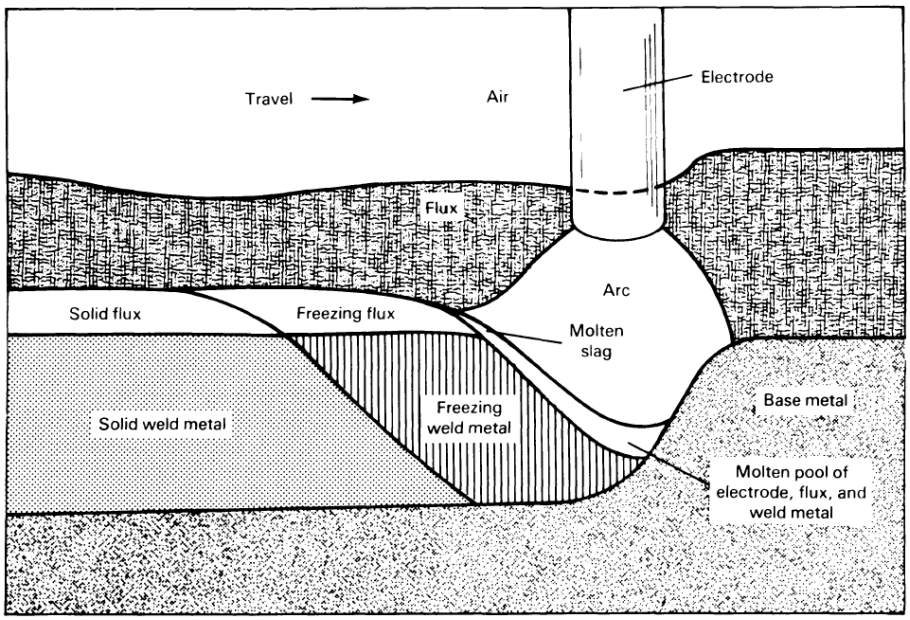
شکل **10**- فرایند جوشکاری میگ-مگ.

4-4- جوشکاری زیر پودری (Sub-merged Arc Welding or SAW)

در جوشکاری به طریق زیر پودری، قوس الکتریکی بین الکترود بی پوشش وقطعه کار در زیر پودر مخصوص جوش تشکیل شده وحوضچه جوش را به وجود می‌آورد. قطرات مذاب الکترود وحوضچه جوش توسط پودر جوش از اتمسفر محیط محافظت می‌کند. الکترود مصرفی به طور خودکار ومداوم از یک سیستم مکانیکی به محل ذوب تغذیه شده وپس از ذوب در سرتاسر محل اتصال رسوب داده می‌شود . در حین جوشکاری ، بخشی از پودر ذوب شده وبه صورت سرباره بر روی جوش باقی می‌ماند که پس از انجماد از روی جوش جدا می‌شود (شکل **11**).

جوشکاری زیر پودری معمولاً با آمپر نسبتاً بالا صورت می‌گیرد که منجر به نرخ رسوبی بالاتر وعمق نفوذی بیشتر در مقایسه با سایر روشهای جوش کاری می‌شود. در فرایند جوشکاری زیر پودری حوضچه جوش نسبتاً حجیم بوده و فلز

مذاب در آن می‌باشد، در نتیجه در مواردی که عمق نفوذ کامل است برای جلوگیری از جاری شدن مذاب به پشت درز جوش لازم است از تکیه گاه یا جوش پشتی (*weld backing*) استفاده شود .



شکل **11**- فرایند جوشکاری زیر پودری.

5. دسته بندی فولادها

1- فولادهای ساده کربنی: فولادهای کربنی به گروه گسترده‌ای ازفولادها اطلاق می‌شود که میزان کربن آنها ماکزیمم **1/7** درصد و مقدار منگنز **1/56** درصد و همچنین حاوی سیسیلیم **0/6** درصد باشد. دراین فولادها عناصر آلیاژی نظیر کروم، نیکل، مولیبدن و..... وجود نداشته یا مقدار آنها ناچیز است. ازنظر دسته بندی فولادهای ساده کربنی را به چهار دسته تقسیم می کنند.

الف) فولادهای کم کربن (*low carbon steel*) با حداکثر **0/15** درصد کربن

ب) فولادهایی با کربن جزیی(نرم) (*mild carbon steel*) با ماکزیمم **0/29-0/15** درصد کربن

ج) فولادهای میان کربن (*medium carbon steel*) با **0/59-0/30** درصد کربن

د) فولادهای پر کربن (*high carbon steel*) که مقدار کربن آنها **1/7 – 0/6** درصد است.

فولادهای کم کربن بصورت اکسیژن زدایی نشده (ناآرام- *rimmed*)یا کم اکسیژن زدایی شده (نیمه آرام *semi-killed*) ویا کاملاً اکسیژن زدایی شده (آرام- *killed*) تهیه می‌شوند .

2-فولادهای آلیاژی

الف)فولادهای کم آلیاژ ب) فولادهای با آلیاژ متوسط ج) فولادهای پر آلیاژ

این فولادها علاوه بر سایر عناصر آلیاژی حدود **3** تا**30** درصد کرم دارند وفولادهای مقاوم به حرارت و زنگ نزن را شامل می‌شوند . نمونه این فولادها عبارتند از :

- فولاد کرم دار مقاوم به حرارت **3** تا **9** درصد کرم.
- فولاد زنگ نزن **10** تا **17** درصد کرم (**410**) .
- فولاد زنگ نزن فریتی **17** تا **27** درصد (**430-405**).
- فولاد زنگ نزن کرم نیکل آوستینی **16-30** درصد کرم(**304-316**).

6. عملیات حرارتی در جوشکاری

6-1- پیش گرمایش

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

پیش گرمایش دارای فواید زیر است:

1. جلوگیری از ساختار میکروسکوپی سخت در منطقه تاثیر حرارت.
2. کمک به پراکنده کردن هیدروژن از اتصال.
3. جبران قابلیت حرارتی زیاد.
4. کاهش تنش باقیمانده.

6-2- پس گرمایش(تنش زدائی)

در قطعات جوش شده بعلت ممانعت فلز مبنا حین انجماد جوش، تنشهای باقیمانده زیادی بوجود می‌آید وحوضچه مذاب بسرعت منجمد می‌شود و منقبض می‌گردد. فلز مبنا با این انقباض مقابله می‌کند و در نتیجه هم در جوش وهم در فلز مبنا تنش بوجود می‌آید. این تنش ممکن است به اندازه تنش تسلیمی خود جنس فلز اصلی برسد و وقتی که با تنشهای ناشی از بارگذاری عادی ترکیب شود، تنش منتجه از تنش مجاز یا تنش طراحی تجاوز کند.

متداولترین روش تنش زدایی، عملیات حرارتی پس از جوشکاری است. در این نوع عملیات حرارتی بایستی افزایش و کاهش درجه حرارت تدریجی بوده وبا سرعتی باشد که از یکنواختی درجه حرارت سرتاسر قطعه اطمینان حاصل شود. در موقع تنش زدائی بایستی قطعه آزادی انبساط و انقباض داشته باشد در غیر این صورت تنش های اضافی که به قطعه وارد می‌شود، ممکن است از تنشهای اولیه مورد نظر بیشتر باشد.

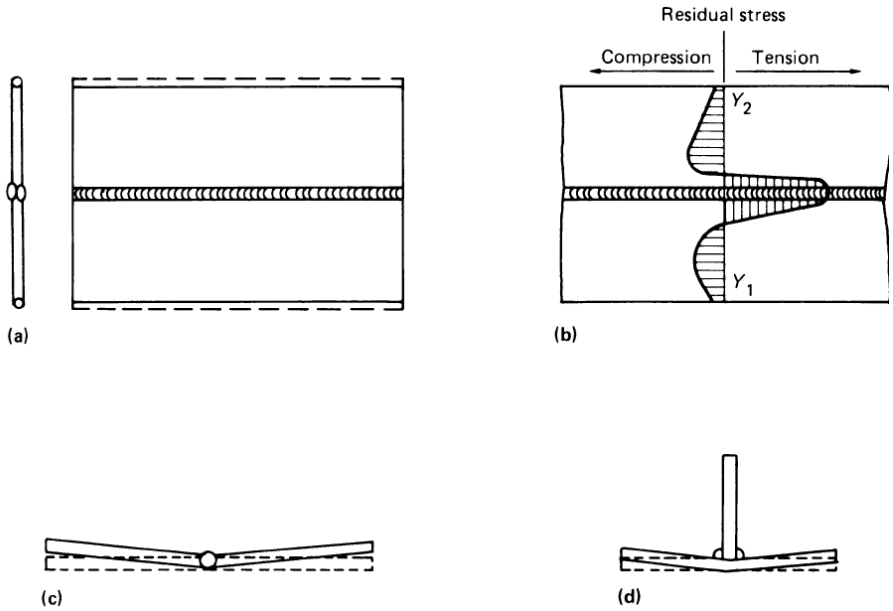
3-6- پیچیدگی

تنش های بوجود آمده در یک قطعه فولادی ضمن نورد در کارخانه سازنده، بوسیله برشکاری ، فرم و شکل دادن قبل از جوشکاری و بوسیله سیکل حرارتی فرآیند جوشکاری بسیار زیاد و متغیر می‌باشد (شکل**12**). این تنشها و تابیدگی هارا می‌توان به دو طبقه تقسیم نمود:

الف-تنشها و تابیدگی‌های موجود در قطعه حین انجام عملیات جوشکاری که این تنشها و تابیدگی‌هاگذرا یا موقت هستند.

ب- تنشها و تابیدگی‌هائی که بعد از آنکه قطعات جوش داده شده سرد گردیده و به درجه حرارت عادی می‌رسند باقی می‌مانند.

این دو طبقه در مقدار و جهت، قدری متفاوتند ولی هر دو طبقه به هنگام تدوین یا مطالعه دستور العمل جوشکاری بایستی مورد توجه قرار گیرند .



شکل**12** – تنشها و پیچیدگیهای ناشی از جوشکاری.

چند نکته در مورد پیچیدگی حاصل از جوشکاری:

- در جوشهای چند پاسه، هر چه تعداد پاسها بیشتر باشد، تابیدگی بیشتر خواهد بود.
- در جوشکاری برگشت به عقب تنشها قفل شده و تابیدگی را کاهش خواهد داد.
- همیشه جوشکاری بایستی از طرف نقطه محدود شده بطرف نقطه با حداکثر آزادی باشد.
- با مساوی بودن سایر شرایط،افزایش سرعت (بالاتر از مقدار معینی) قدری مقدار تابیدگی را زیاد می کند.
- با بارگذاری مکانیکی می‌توان تنش زدایی نمود.
- یکی از راههای کاهش پیچیدگی، پیش گرم کردن است.

7. عیوب جوش

در جوشکاری رعایت نکردن بعضی ازاصول منجر به پیدایش یکسری عیوب می‌شود و به هر عاملی که باعث کاهش استحکام قطعه گردد، عیب اطلاق می‌شود.

7-1- لکه قوس (Arc Strike)

به محل اثر برقراری قوس خارج از محیط درز اتصال گفته می‌شود.

علت:

- برخورد نوک الکترود به سطح کار
- قرار دادن انبر معیوب روی سطح کار
- شل بودن انبر اتصال

7-2- سطح جوش نا منظم با گرده زیاد (Excessive Weld Metal)

علت

- جوشکاری با سرعت پیشروی کم در پاسِ نما
- کم و زیاد کردن عرض جوش

گرده جوش با ارتفاع زیاد باعث تمرکز تنش شده و خطر شکست را افزایش می‌دهد.

7-3- نفوذ زیاد (Excessive Penetration)

علت

- سرعت جوشکاری کم در پاس ریشه
- آمپر زیاد.
- تغذیه سیم جوش زیاد در جوشکاری *TIG*.

7-4- عدم ذوب دیواره (Lack Of Fusion-LOF)

علت

- استفاده از آمپر کم
- سرعت جوشکاری زیاد
- ضخیم بودن قطعات
- زاویه غلط الکترود

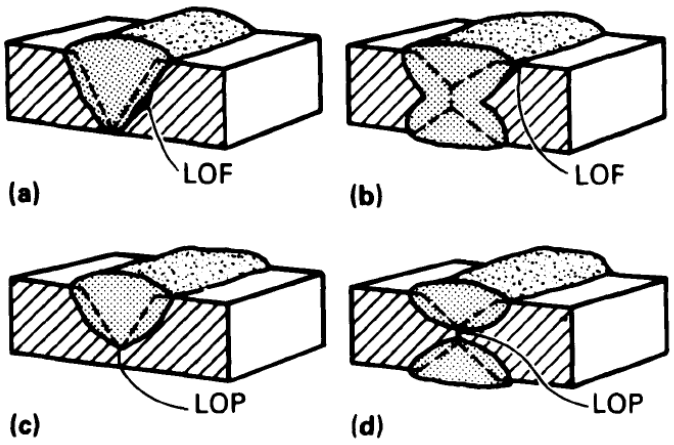
- حرکت نامناسب در عرض جوش
- یک طرفه سوختن الکترود (شکل **13**).

7-5- عدم نفوذ (Lack Of Penetration- LOP)

علت:

- کم بودن زاویه کار (پخ اتصال)
- زیاد بودن پاشنه کار (ریشه کار)
- کم بودن فاصله بین دو قطعه کار
- کم بودن آمپر
- حرکت سریع و عدم مکث مناسب

شکل **13** عیوب *LOF* و *LOP* را نشان می دهد.

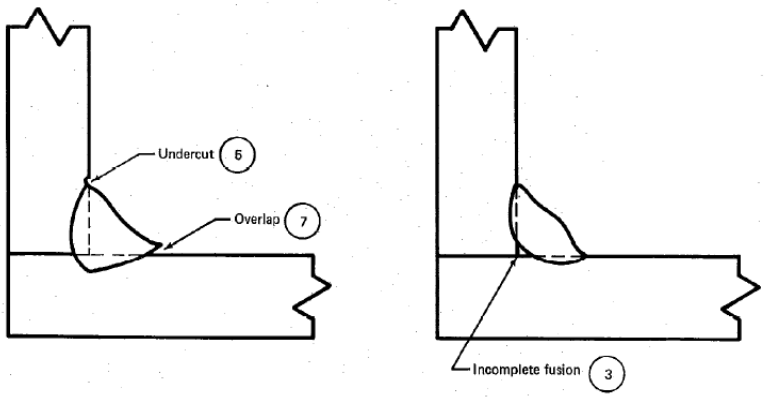


شکل **13**-عیوب *LOF* و *LOP*.

7-6- بریدگی یا سوختگی کنار جوش (Under Cut)

علت:

- آمپر بالا
- طول قوس بلند
- عدم مکث در کناره های درز اتصال
- استفاده از الکترود نا متناسب(شکل **14**).



شکل **14**- عیوب سوختگی کناره جوش و روی هم افتادگی و ذوب ناقص.

7-7- حفره های گازی یا تخلخل (Porosity)

گازهای حاصل از سوختن روپوش الکترود، وارد فلز مذاب شده و چنانچه مذاب سریع سرد شود، گازها فرصت خروج پیدا ننموده و در فلز جوش باعث ایجاد حفره های گازی یا تخلخل می‌شود.

علت

- جوشکاری در وزش باد
- طول قوس بلند
- الکترود مرطوب
- آمپر کم
- کثیف بودن سطح کار
- کثیف بودن سطح روپوش الکترود بوسیله چربی، رنگ و رطوبت
- ناخالصی گاز آرگون در جوشکاری *TIG*.

7-8- ترک (Crack)

ترک ها از خطر ناک ترین عیوب جوشکاری می‌باشد که در اثر اعمال نیرو، ترک ها رشد نموده و باعث انهدام سازه می‌شود. ترک ها در دو نوع سرد و گرم می‌باشند. شکل **15** انواع ترک در جوشکاری سر به سر و گوشه ای را نشان می دهد. بطورکلی ترکها را به دو دسته کلی تقسیم می کنند:

1- ترک گرم: در اثر وجود ناخالصی هایی نظیر *P،S،Zn،Cu،Bi* در فلز جوش و نیز تنش‌های پسماند بوجود می‌آید.

2- ترک سرد: به ترک سرد، ترک هیدروژنی یا ترک تاخیری هم گفته می‌شود چون بعد از **24** تا **48** ساعت خود را نشان می‌دهد. این ترک‌ها بیشتر در ریشه یا کناره گرده جوش بوجود می‌آیند.

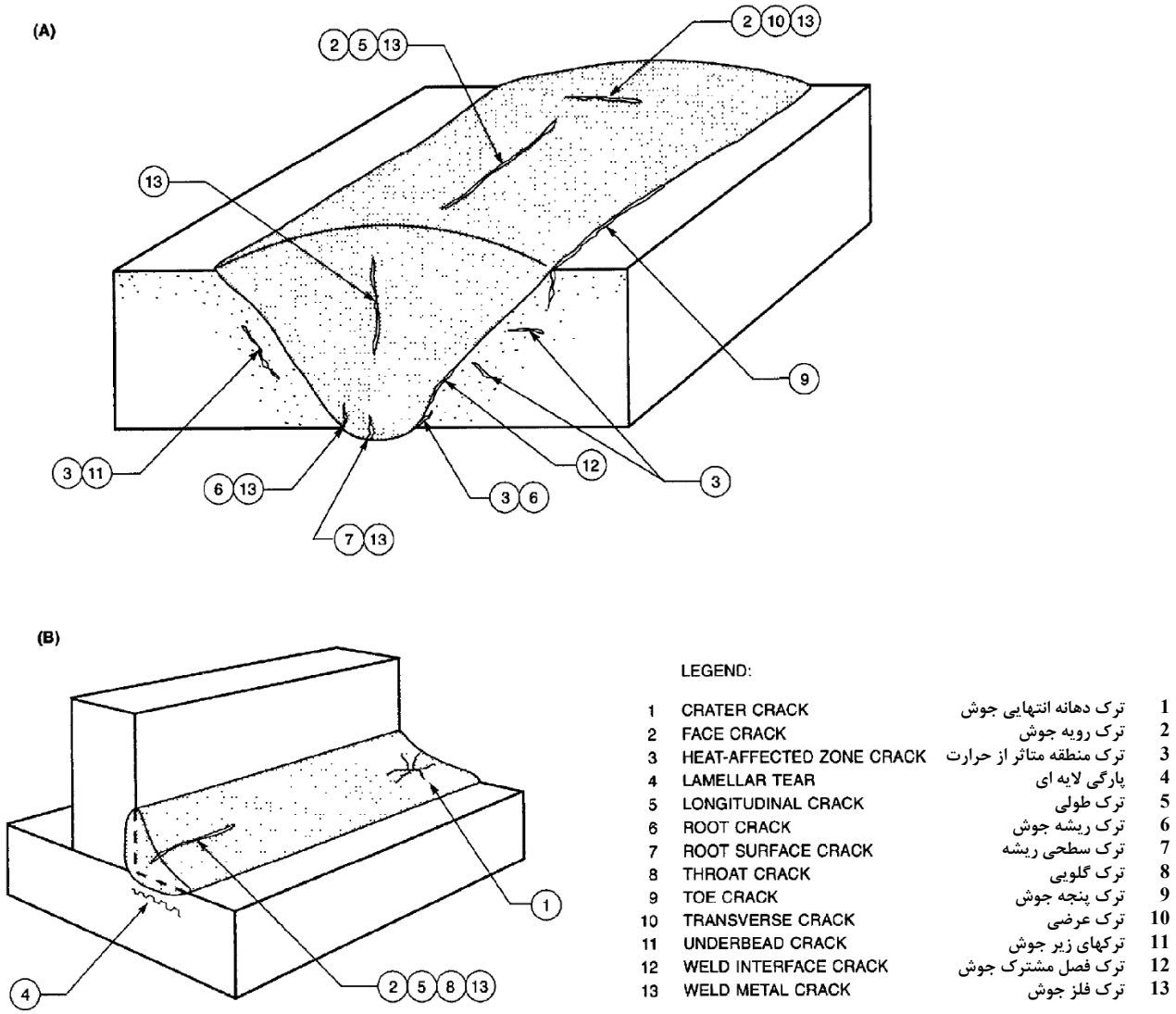
دلایل ایجاد ترک سرد:

- وجود هیدروژن زیاد

- تنش های پسماند
- انبساط و انقباض زیاد

منابع ورود هیدروژن: رطوبت هوا، خیس یا مرطوب بودن پوشش الکترود یا فلاکس مصرفی، مواد روغنی در اطراف محل جوشکاری.

چون که مذاب جوش آمادگی زیادی به حل نمودن هیدروژن را در خود دارد، هیدروژن به جوش نفوذ نموده و به اطراف جوش مهاجرت می‌کند. در اثر سرد شدن پیوسته جوش و اطراف آن، خروج هیدروژن کاهش می یابد و در آن مناطق به حد اشباع می رسد و پس از مدتی ترک ایجاد می‌شود.



شکل **15**- انواع ترک در جوشکاری: *A*) سر به سر *B*) گوشه‌ای.

8. کنترل کیفی جوش (بازرسی دیداری)

بازدید چشمی یکی از مهمترین ومتداولترین روش بازرسی است . بازرسی چشمی ساده و ارزان است وبه وسایل ودستگاه‌های گرانقیمت احتیاج ندارد. در این بازرسی شخص بازرس یا شخص کنترل کننده، لازم است دارای کلیه اطلاعات مرتبط با موضوع بازرسی بوده و زبان فنی تعریف موضوع بازرسی را بداند .بطور کلی بازرسی جوش بسته به روش جوشکاری و پارامترهای دیگر در تولید آن دارای سه مرحله است. انجام دقیق و مناسب این بازرسی ها می تواند به کسب یک جوش سالم با ویژگی های مورد نظر بیانجامد.

8-1- قبل از جوشکاری

1- فرایند جوشکاری
2- مدارک جوشکاری (*PQR-WPS*)
3- مدارک جوشکاران
4- شرایط جوشکاری
5- مواد خام اتصالی
6- مواد مصرفی (فیلر و .....)
7- شرایط سرویس دهی محصول
8- شرایط بار گذاری محصول
9- استاندارد طراحی محصول جوشکاری
10- معیار پذیرش محصول و.....

8-2- در حین جوشکاری

1. برسی کیفیت جوش پاس ریشه.
2. آماده سازی ریشه اتصال ، قبل از جوشکاری سمت دوم
3. درجه حرارت پیش گرمایی و بین پاسی
4. ترتیب اجرایی پاسهای جوش
5. بررسی کیفیت لایه‌های جوش بعدی
6. تمیز کاری بین پاسی
7. اجرای صحیح موارد مندرج در *WPS* شامل ولتاژ، آمپراژ، سرعت حرکت و....

در میان پارامترهای جوشکاری، پاس ریشه جوش، درجه حرارت پیش گرمایی وبین پاسی و بازدید بین پاسها، بیشترین اهمیت را در کیفیت نهایی جوش دارند .

WPS (Welding Procedure Specification):

WPS دستورالعمل کلی جوشکاری می باشد و شامل نام و کد جوشکار، کد سازنده یا خط، نوع فرایند جوشکاری، تمامی لوازم و وسایل مورد استفاده، چند پاسه بودن کار، نوع الکترود، گاز محافظ و ترکیب و فلوی آن، نوع آلیاژ و .... جوشکار *WPS* را اجرا می کند و بازرس باید بر اجرای دقیق آن نظارت کند. یک *WPS* زمانی قطعیت پیدا می کند و قابل اجرا است که آزمونهای *PQR* در روی سازه آزمایشی انجام شده و نتیجه مثبت را ارائه دهد.

PQR (Procedure Qualification Record):

PQR یعنی دستورالعمل کلی آزمونهای مورد نیاز بر روی جوش سازه اعم از آزمونهای مخرب و غیر مخرب. بدون انجام *PQR* بر روی *WPS*، هیچ *WPS* قابل اجرا نیست. نمونه ای از فرمهای *WPS* و *PQR* در پیوست **1** آورده شده است. شکل کلی این فرمها اختیاری بوده و توسط شرکت استفاده کننده تهیه می شود، اما بایستی نکات لازم در آن آورده شده باشد.

8-3- بعد از جوشکاری

برخی پارامترهایی که در این مرحله لزوم توجه بیشتری را ایجاب می کند عبارتند از :

1. ظاهر جوش تمام شده
2. اندازه جوش تمام شده
3. طول جوش
4. دقت ابعادی
5. اندازه پیچیدگی ایجاد شده
6. عملیات پس گرمایی
7. آزمونهای *NDT*.

در صورت انجام صحیح وبه موقع مراحل بازرسی اعلام شده، *VT* صورت پذیرفته و در مرحله بعد از اتمام جوشکاری اطمینان بیشتری خواهد بود .

با یادآوری نوع عیوب مطرح شده در مبحث عیوب جوش یاد آور می‌شویم در جوش، ونا پیوستگی های نظیر موارد زیر بروز می‌یابند . از قبیل :

1- تخلخل **2**- ذوب ناقص **3**- نفوذ ناقص **4**- بریدگی کنار جوش
5- سر رفتگی **6**- ترک **7**- نا خالصیهای سر باره **8**- گرده اضافی

امکان دارد الزامات استاندارد یا مشخصات فنی مورد استفاده مقادیر معمولی از این نا پیوستگی‌ها را مجاز بدانند ولیکن ناپیوستگی‌ها، از نوع ترک وذوب ناقص تقریباً در اغلب کدها و استانداردها غیر مجاز می‌باشد (در واقع عیب محسوب می‌شوند). برای سازه‌های تحت بارگذاری‌های سیکلی یا بارگذاری‌های دینامیکی، که میزان حساسیت بحرانی بودن ناپیوستگی‌های سطحی به شدت افزایش می‌یابد ، اهمیت بازرسی دیداری بسیار بالا بوده وشاید مهمترین قسمت از فرایند تولید، بازرسی باشد. حضور بریدگی کنار جوش، سر رفتگی، وضعیت نامناسب جوش به طور غیر مستقیم باعث افزایش تنش در اتصال میشود .

بارگذاری سیکلی، میتواند موجب شکست زود هنگام چنین اتصالاتی باشد. از اینرو، وضعیت ظاهری سطح جوش می‌تواند بسیار بااهمیت‌تر ازاندازه جوش باشد. بطوریکه جوش با اندازه کوچکتر از اندازه نقشه، ولیکن عاری از بی‌نظمی های ناگهانی رضایت بخش‌تر از یک جوش با اندازه دقیق وکاملاً مطابق انداره نقشه ، ولی همراه با ظاهری نامناسب می‌باشد.

9. انواع آزمونهای جوشکاری

آرمونهایی که در جوشکاری مورد استفاده قرار می گیرند بر دو نوع هستند:

الف) آزمونهای مخرب DT:

این آزمونها به دلیل اینکه میزان استحکام و مقاومت جوش را می سنجند، جوش حاصله را از بین می برند.

انواع آزمونهای مخرب :

تست کشش : بررسی خواص استحکامی فلز جوش را بر عهده دارد.

تست ضربه: بررسی خواص مقاومت به ضربه و چقرمگی جوش را انجام می‌دهد.

تست خمش: بررسی خواص فرم پذیری را بر عهده دارد.

تست سختی : بررسی مقاومت فلز جوش در مقابل فرو رفتگی جسم خارجی را انجام می‌دهد.

تست شکست : بررسی شکست قطعه و عیوب در جوش را انجام می‌دهد. (به طریقه شکست از دو سمت یا ضربه از بالا)

ب)آزمونهای غیر مخرب NDT:

همانگونه که از نام آنها معلوم است در این روشها صدمه ای به موضع اتصال وارد نمی‌شود و نیازی به تهیه نمونه وجود ندارد.

9-1- انواع آزمونهای غیر مخرب

9-1-1. بازرسی چشمی VT

مشاهده پارامترهای ویژه جوشکاری به کمک دیدن (تشخیص سلامت یا عیوب جوش به وسیله انعکاس نور از جسم به چشم) را بازرسی چشمی گویند.

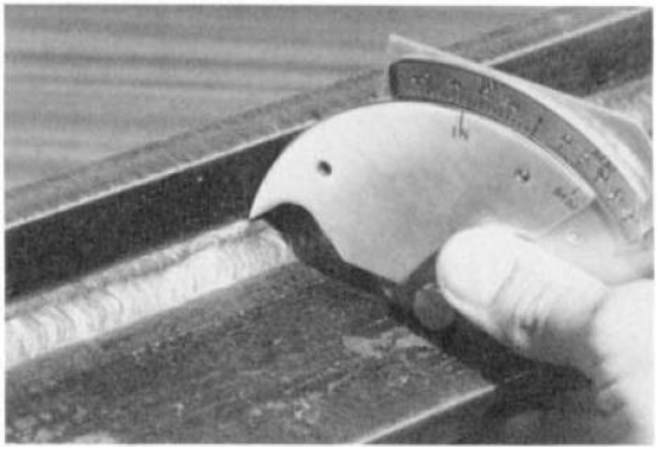
انجام این آزمون ممکن است بوسیله ابزاری چون گیج گرده سنج، ذره بین یا چراغ قوه باشد، یا بدون ابزار فقط با دیدن کامل صورت گیرد. شکل **16** نمونه هایی از گیج های مورد استفاده در بازرسی چشمی را نشان می دهد.

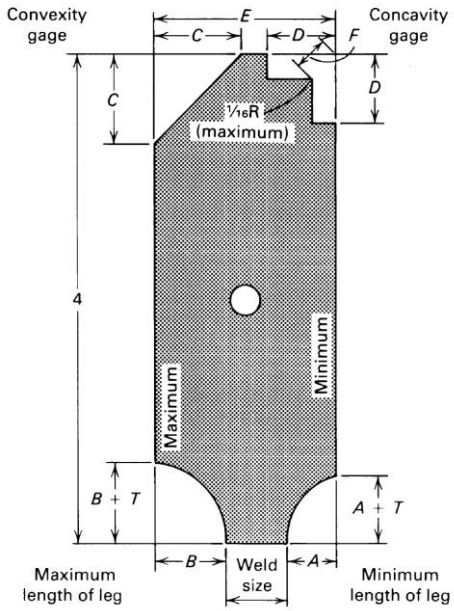
شرایط محیط بازرسی:

- نور کافی
- تمیزی قطعه و محیط

- دسترسی به قطعه و موضع جوش
- شرایط دفاعی
- امنیت

در بازرسی چشمی عیوبی که در سطح قطعه و در معرض دید قرار دارند تست یا *V.T* می‌شوند واگر به حد استاندارد قبولی یعنی *ACCEPT* برسند قبول و اگر به حد قبولی نرسند *REJECT* یعنی مردود می‌شوند . این تست سریع ترین راه و حدود **90**٪-**80**٪ کم هزینه تر از همه موارد تست می‌باشد.





شکل**16**-نمونه هایی از گیج های بازرسی چشمی.

9-1-2. تست *P.T* (تست مایعات نافذ)

در این تست ازمایعات نافذ رنگی یا مایعات نافذ فلورسنت استفاده می کنند.

این مایعات نافذ در سه نوع هستند:

- تمیز کننده *CLEANER* که بی رنگ است و سطح قطعه کار را تمیز می کند.
- نفوذ کننده *PENETERANT* که به رنگ قرمز یا فلورسنت می‌باشد.
- آشکار کننده *DEVELOPER* که سفید رنگ می‌باشد.

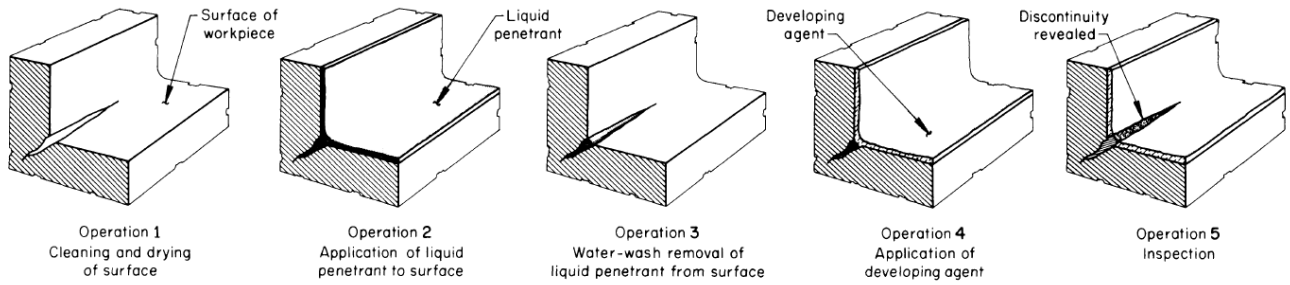
زمان لازم برای مایع نفوذ کننده **30**-**5** دقیقه می‌باشد. پس از این مدت زمان ، مایع آشکار کننده پاشیده می‌شود و بعد از یک دقیقه عیوب ظاهر می‌شود. شکل **17** مراحل اساسی این روش را نشان می دهد.

در این نوع تست فقط عیوب سطحی و عیوبی که به سطح کار راه دارند قابل رویت و شناسایی می‌باشند.

محاسن تست *P.T* :

- لوازم آن ارزان است .

- احتیاج به مهارت و تخصص بالایی ندارد.
- تست سریع جواب می‌دهد.
- قابلیت استفاده در تمامی شرایط و جاها را دارد.
- در بین پاسها می‌توان استفاده نمود و از هر پاسی مطمئن شد.



شکل **17**- مراحل اساسی در تست *PT*.

9-1-3. تست M.T

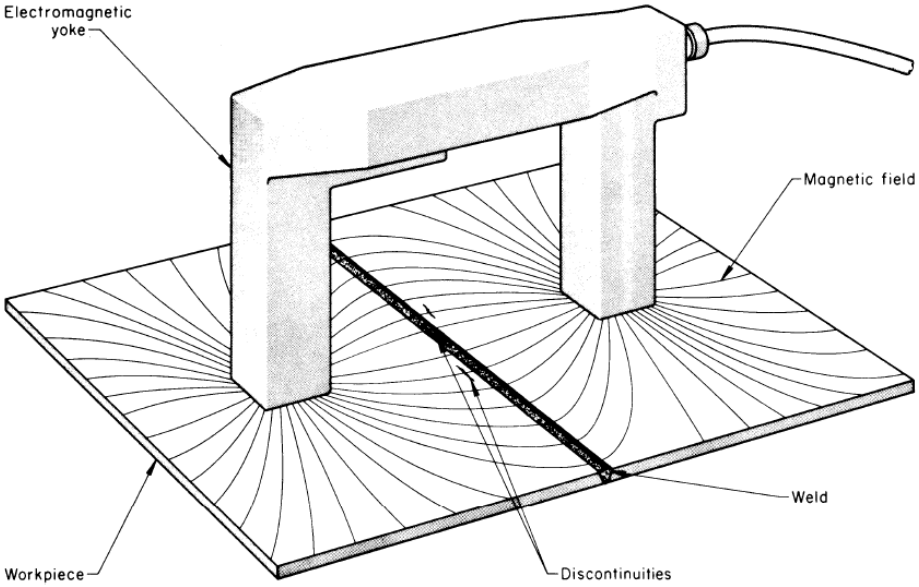
اساس کار این تست مغناطیس کردن و آهن ربایی کردن قطعات است، بدین صورت که پس از برقراری جریان بر روی قطعه، روی محل مورد نظر پودر مخصوص پوشیده می‌شود. این پودر ممکن است به صورت تر باشد که از مواد نفتی و نفت تشکیل شده اند و یا بصورت خشک و به رنگ سیاه ،قرمز و زرد بیشتر استفاده می‌شوند. هرگاه که خطوط میدان مغاطیس تحت زاویه با عیب برخورد نماید، عیب قابل تشخیص است و اگر این زاویه **90** درجه باشد قابلیت شناسایی عیب بیشتر است . شکل **18** نحوه انجام این تست را نشان می دهد.

مزایای تست *M.T*:

- قابلیت تشخیص عیوب سطحی و نزدیک به سطح را دارد(**5-3** میلیمتر)
- تجهیزات آن نسبتاً ساده و ارزان هستند.
- نیاز به آموزش پیچیده ندارد.
- طول عیب را مشخص می نماید.

محدودیت های تست *M.T*:

- فقط برای قطعات فرو مغناطیس کاربرد دارد(آهن و فولاد)
- عیوب عمقی را نمی‌تواند مشخص کند.
- نوع و عمق عیب قابل تشخیص نیست.



شکل **18**- نحوه انجام تست *MT*

4-1-9. تست E.T

در این نوع تست از میدان های مغناطیس ثانویه حاصل از مغناطیس اولیه از جریان اولیه (جریان های گردابی) استفاده می‌شود.

کاربرد :

- تعیین جنس قطعه کار.
- تعیین ضخامت لایه پوشش دهی (عایق و...).
- اندازه گیری هدایت الکتریکی.
- اندازه گیری ضخامت کل قطعه.

مزایا :

- دقت اندازه گیری لایه پوشش داده شده (در صورتی که اپراتور ماهر باشد).
- دقت اندازه گیری رسانایی الکتریکی قطعه.
- دقت اندازه گیری ضخامت کل قطعه.
- قدرت تشخیص جنس فلزات از یکدیگر.

9-1-5. تست U.T

اساس کار انتشار امواج مافوق صوت در مواد می‌باشد. در این تست بیشتر از جریان *AC* استفاده می‌شود. به دلیل اینکه امواج مافوق صوت در موقع ورود به قطعه شکسته شده و به صورت زاویه دار وارد قطعه می‌شوند، قطعه را باید بصورت زاویه دار داخل دستگاه قرار داد.

برای تست *U.T* بیشتر و اکثراً از امواج عرضی استفاده می‌شود، چون از نظر زاویه های امواج ورودی به قطعه بیشتر در قطعه کار حضور دارند و عیوب را نشان می‌دهند.

نکته: سرعت انتشار امواج مافوق صوت در فولاد **5930** متر بر ثانیه می‌باشد.

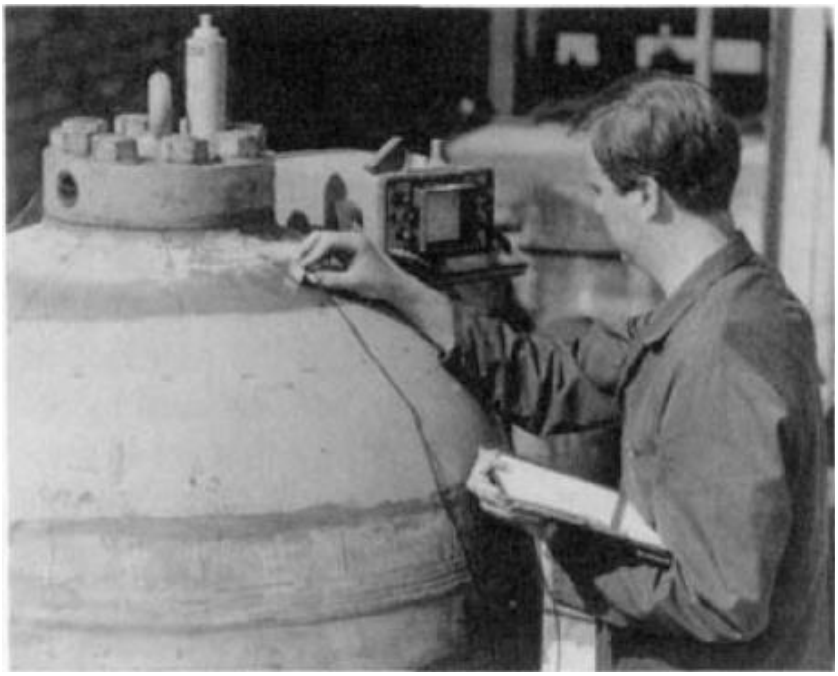
مزایا:

- ضخامت قطعه دقیقاً مشخص می‌شود.
- طول عیب تا حدودی قابل تشخیص است.
- عمق عیب دقیقاً مشخص می‌شود.
- می‌توان در حال کار و سرویس دهی، تست را انجام داد.
- محدودیت شرایط آب و هوایی محیط کار را ندارد.

محدودیت ها :

- تجهیزات آن نسبتاً گران است.
- اپراتور احتیاج به آموزش زیاد و تجربه فراوان دارد.
- عیوب سطحی نزدیک به پروب (وسیله انجام تست) را نمی‌توان به خوبی تشخیص داد.
- تشخیص نوع عیب مشکل است و احتیاج به تجربه دارد.

شکل **19** نحوه انجام آزمون *UT* روی نازل یک مخزن را نشان می دهد.



شکل **19**- آزمون *UT* روی نازل یک مخزن.

9-1-6. تست R.T یا XRAY

تست *R.T* تنها روشی است که تمام عیوب موجود در جوش را به ما نشان داده و نوع و عمق یا عرضی یا طولی بودن عیب را نشان می‌دهد. شکل **20** بطور شماتیک نحوه انجام این آزمون را نشان می دهد.

ملزومات تست *R.T*:

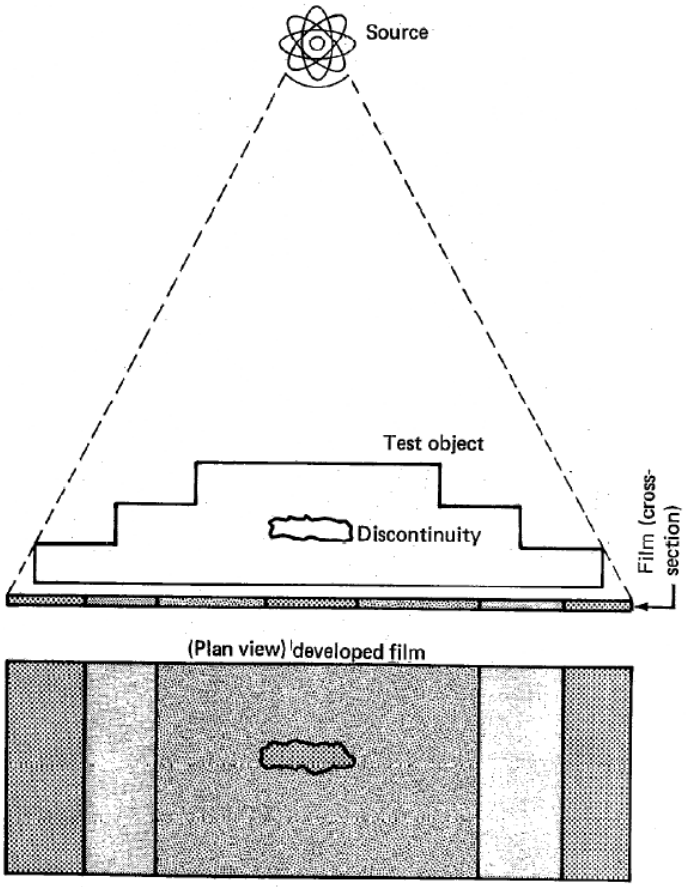
- منبع تولید اشعه *X* یا گاما.
- قطعه کار .
- فیلم مخصوص.

اشعه ایکس و گاما

تشعشاتی که با طول موج کم انتشار می یابند اشعه ایکس و اشعه گاما نامیده می‌شوند. تنها این دسته از امواج الکترومغناطیسی می‌توانند به داخل جامدات و اجسام نفوذ کنند. از مقدار اشعه ورودی به جسم، مقداری توسط جسم جذب می‌شود. اشعه ایکس وگاما غیر قابل تشخیص از یکدیگرند و تفاوت موجود در چگونگی ایجاد آنهاست.

اشعه ایکس از بمباران یک هدف فلزی (اکثراً تنگستن) با جریان مداومی از الکترون های خیلی سریع در داخل لوله اشعه ایکس ایجاد می‌شود ولی اشعه گاما در نتیجه تشعشعات یک ماده رادیواکتیویته در حال متلاشی شدن است.

پوشش لوله اشعه ایکس از جنس شیشه، یک ماده سرامیکی مانند آلومینا، یک فلز یا ترکیبی از این مواد باشد. امروزه از لوله هایی با جنس سرامیک و فلز استفاده می‌شود. این لوله باید سوراخی برای خروج اشعه تولیدی شده باشد.



شکل **20** – روش تهیه عکس رادیوگرافی.

فیلم رادیوگرافی

از سه قسمت فیلم، صفحات تشدید کننده و صفحه سربی تشکیل شده است. صفحه سربی زیر فیلم به دلیل آنست که از اشعه های پراکنده اطراف جلوگیری کرده و به وضوح فیلم کمک نماید.

مزایای روش $R.T$:

- عیوب سطحی و عمقی به خوبی مشخص می‌شوند.
- نوع عیب تا حدود زیادی قابل تشخیص است.
- طول و عرض عیب به خوبی مشخص می‌باشد.
- اسناد عیب قابل نگهداری است.

معایب روش $R.T$:

- کار با اشعه خطرناک است.
- عمق عیب به خوبی مشخص نمی‌شود.
- در حال کار و سرویس دهی انجام نمی‌شود.
- نسبت به بعضی از روش ها زمان بر می‌باشد.
- دستگاه های آن گران تر می‌باشد.

مقایسه منبع اشعه ایکس و گاما :

اشعه ایکس :

- قابل کنترل است
- حفاظت بهتری انجام می گیرد
- کیفیت تصویر بهتر است
- گرانتر است
- هر جا و مکانی نمی‌توان استفاده نمود.

اشعه گاما درست بر عکس مزایا و معایب اشعه ایکس را دارا است.

10. پیوستها

پیوست 1: نمونه‌ای از فرمهای *WPS* و *PQR*.

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS) Yes ☐
PREQUALIFIED ____ **QUALIFIED BY TESTING** ____
or PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS (PQR) Yes ☐

Company Name _____
Welding Process(es) _____
Supporting PQR No.(s) _____

Identification # _____
Revision _____ Date _____ By _____
Authorized by _____ Date _____
Type—Manual ☐ Semi-Automatic ☐
Machine ☐ Automatic ☐

JOINT DESIGN USED
Type:
Single ☐ Double Weld ☐
Backing: Yes ☐ No ☐
Backing Material:
Root Opening _____ Root Face Dimension _____
Groove Angle: _____ Radius (J–U) _____
Back Gouging: Yes ☐ No ☐ Method _____

POSITION
Position of Groove: _____ Fillet: _____
Vertical Progression: Up ☐ Down ☐

ELECTRICAL CHARACTERISTICS
Transfer Mode (GMAW) Short-Circuiting ☐
Globular ☐ Spray ☐
Current: AC ☐ DCEP ☐ DCEN ☐ Pulsed ☐
Other _____
Tungsten Electrode (GTAW)
Size: _____
Type: _____

BASE METALS
Material Spec. _____
Type or Grade _____
Thickness: Groove _____ Fillet _____
Diameter (Pipe) _____

FILLER METALS
AWS Specification _____
AWS Classification _____

TECHNIQUE
Stringer or Weave Bead: _____
Multi-pass or Single Pass (per side) _____
Number of Electrodes _____
Electrode Spacing Longitudinal _____
Lateral _____
Angle _____

SHIELDING
Flux _____ Gas _____
Composition _____
Electrode-Flux (Class) _____ Flow Rate _____
_____ Gas Cup Size _____

Contact Tube to Work Distance _____
Peening _____
Interpass Cleaning: _____

PREHEAT
Preheat Temp., Min _____
Interpass Temp., Min _____ Max _____

POSTWELD HEAT TREATMENT
Temp. _____
Time _____

WELDING PROCEDURE

Pass or Weld Layer(s)	Process	Filler Metals		Current		Volts	Travel Speed	Joint Details
		Class	Diam.	Type & Polarity	Amps or Wire Feed Speed			

Form E-1 (Front)

www.IranPiping.ir آموزشگاه مجازی ایران پایپینگ

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS) Yes [X]
PREQUALIFIED [ ] **QUALIFIED BY TESTING** [X]
or PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS (PQR) Yes [ ]

Identification # PQR 231
Revision 1 Date 12-1-87 By W. Lye
Authorized by J. Jones Date 1-18-88
Type—Manual [ ] Semi-Automatic [X]
Machine [ ] Automatic [ ]

Company Name RED Inc.
Welding Process(es) FCAW
Supporting PQR No.(s) PQR 231

JOINT DESIGN USED
Type: Butt
Single [X] Double Weld [ ]
Backing: Yes [X] No [ ]
Backing Material: ASTM A 131A
Root Opening 1/4" Root Face Dimension —
Groove Angle: 52-1/2° Radius (J–U) —
Back Gouging: Yes [ ] No [X] Method —

POSITION
Position of Groove: O.H. Fillet: —
Vertical Progression: Up [ ] Down [ ]

ELECTRICAL CHARACTERISTICS
Transfer Mode (GMAW) Short-Circuiting [ ]
Globular [X] Spray [ ]
Current: AC [ ] DCEP [X] DCEN [ ] Pulsed [ ]
Other
Tungsten Electrode (GTAW)
Size:
Type:

BASE METALS
Material Spec. ASTM A 131
Type or (Grade) A
Thickness: Groove 3/4–1 1/2" Fillet —
Diameter (Pipe) —

FILLER METALS
AWS Specification A5.20
AWS Classification E71T-1

TECHNIQUE
Stringer or Weave Bead: Stringer
Multi-pass or Single Pass (per side) Multipass
Number of Electrodes 1
Electrode Spacing Longitudinal —
Lateral —
Angle —

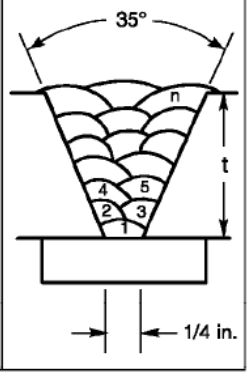
SHIELDING
Flux —
Electro-Flux (Class)
Gas CO_2
Composition 100% CO_2
Flow Rate 45-55CFH
Gas Cup Size #4

Contact Tube to Work Distance 1/2-1"
Peening None
Interpass Cleaning: Wire Brush

PREHEAT
Preheat Temp., Min 60°
Interpass Temp., Min 60° Max 350°F

POSTWELD HEAT TREATMENT
Temp. N.A.
Time N.A.

WELDING PROCEDURE

Pass or Weld Layer(s)	Process	Filler Metals		Current		Volts	Travel Speed	Joint Details
		Class	Diam.	Type & Polarity	(Amps) or Wire Feed Speed			
All	FCAW	E71T-1	.045"	DC+	180-220A	25-26V	8-12 ipm	

Form E-1 (Front)

Procedure Qualification Record (PQR) # _____
Test Results

TENSILE TEST

Specimen No.	Width	Thickness	Area	Ultimate Tensile Load, lb	Ultimate Unit Stress, psi	Character of Failure and Location

GUIDED BEND TEST

Specimen No.	Type of Bend	Result	Remarks

VISUAL INSPECTION
Appearance_____
Undercut _____
Piping porosity _____
Convexity_____
Test date _____
Witnessed by_____

Radiographic-ultrasonic examination
RT report no.: _____ Result_____
UT report no.: _____ Result_____

FILLET WELD TEST RESULTS

Minimum size multiple pass Macroetch		Maximum size single pass Macroetch	
1. _____	3. _____	1. _____	3. _____
2. _____		2. _____	

Other Tests

All-weld-metal tension test
Tensile strength, psi _____
Yield point/strength, psi _____
Elongation in 2 in., % _____
Laboratory test no. _____

Welder's name _____ Clock no. _____ Stamp no._____

Tests conducted by _____ Laboratory

Test number _____

Per _____

We, the undersigned, certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in conformance with the requirements of Section 4 of AWS D1.1/D1.1M, (_____) Structural Welding Code—Steel.
(year)

Signed _____
Manufacturer or Contractor
By _____
Title _____
Date _____

Form E-1 (Back)

Procedure Qualification Record (PQR) # 231
Test Results

TENSILE TEST

Specimen No.	Width	Thickness	Area	Ultimate Tensile Load, lb	Ultimate Unit Stress, psi	Character of Failure and Location
231-1	.75"	1.00"	.75"	52 500	70 000	Ductile
231-3	.75"	1.00"	.75"	52 275	69 700	Ductile

GUIDED BEND TEST

Specimen No.	Type of Bend	Result	Remarks
231-2	Side	Pass	
231-4	Side	Pass	Small (< 1/16") opening acceptable
231-6	Side	Pass	
231-5	Side	Pass	

VISUAL INSPECTION
Appearance acceptable
Undercut acceptable
Piping porosity none
Convexity none
Test date 12-3-2002
Witnessed by D. Davis

Radiographic-ultrasonic examination
RT report no.: D231 Result passed
UT report no.: Result

FILLET WELD TEST RESULTS

Minimum size multiple pass		Maximum size single pass	
Macroetch		Macroetch	
1.	3.	1.	3.
2.		2.	

Other Tests

All-weld-metal tension test
Tensile strength, psi 83,100
Yield point/strength, psi 72,600
Elongation in 2 in., % 28
Laboratory test no. PW 231

Welder's name W. T. Williams Clock no. 261 Stamp no.
Tests conducted by RED Inc. & ABC Testing Laboratory

Test number PQR 231
Per D. Miller

We, the undersigned, certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in conformance with the requirements of Section 4 of AWS D1.1/D1.1M, 2002 (year) Structural Welding Code—Steel.

Signed RED Inc.
Manufacturer or Contractor
By R. M. Boncrack
Title Q.C. Mgr.
Date 12-15-2002