فصل اول . آشنایی با فرآیندهای جوشکاری

۱-۱. مبانی طبقه بندی روش‌های جوشکاری

روش های جوشکاری بر حسب نوع منبع حرارت ، نحوه حفاظت حوضچه مذاب از اتمسفر محیط و نوع الکترود از نظر مصرفی یا غیرمصرفی بودن ، تقسیم‌بندی می‌شوند

۱-۲. انواع قوس الکتریکی در جوشکاری

تخلیه بار الکتریکی در یک کانال یونیزه را قوس الکتریکی گویند.بسته به ذوب الکترود و یا عدم ذوب آن ، دو نوع قوس الکتریکی وجود دارد:

اگر الکترود از جنس کربن یا تنگستن باشد ، هنگام ایجاد قوس الکتریکی ذوب نمی شود و قوس یا الکترود را غیر مصرفی می گویند.

اگر الکترود نقطه ذوبی مشابه فلز پایه داشته باشد و الکترود ذوب شده به عنوان فلزجوش به مصرف برسد و بصورت قطرات مذاب از آن جدا شده و به حوضچه جوش منتقل شود، این قوس یا الکترود را مصرفی می گویند.

۱-۳. فرآیندهای متداول جوشکاری

انواع فرآیندهای متداول جوشکاری به شرح زیر است:

- جوشکاری قوس الکتریکی با الکترود روکشدار (SMAW)
- جوشکاری قوس الکتریکی تحت حفاظت گاز (GMAW)
- جوشکاری قوس الکتریکی زیر پودری (SAW)

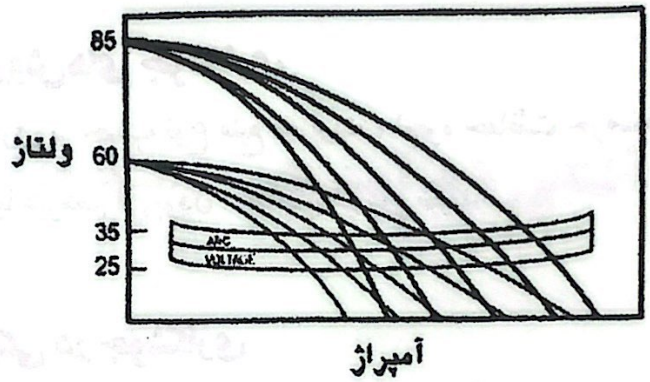
۱-٤. مشخصات قوس الکتریکی

در جوشکاری قوس الکتریکی با الکترود روکشدار ، تغییر ناخواسته طول قوس اجتناب ناپذیر است. این تغییر طول قوس سبب تغییر در شدت جریان جوشکاری می شود و نهایتاً امکان تغییر ناخواسته در حرارت ورودی وجود دارد.

بنابراین مولد جوشکاری در روش جوشکاری قوس الکتریکی با الکترود روکشدار، باید مجهز به سیستمی باشدکه با تغییرطول قوس، تغییرات کمی در شدت جریان ایجاد شود که به آن « سیستم منحنی ولتاژ- آمپر با سراشیبی تند » می گویند.

۱-٤-۱. مشخصه ولت-آمپر دستگاه های آمپراژثابت

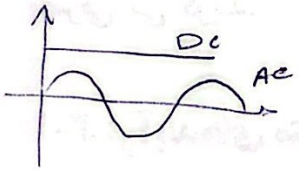
در این دستگاه ها، با تغییر ولتاژ تغییرات آمپر کم است و هر چه شیب منحنی ولتاژ-آمپراژ در این دستگاه ها تندتر باشد با توجه به اینکه در شدت جریان تغییرات کمتری ایجاد می شود، مناسب‌تر است.

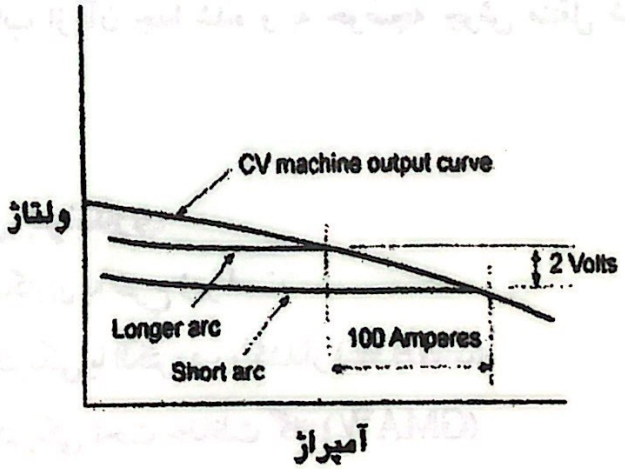


شکل ۱-۱. مشخصه ولت - آمپر در دستگاه های آمپراژ ثابت

۱-٤-۲. مشخصه ولت-آمپر دستگاه های ولتاژ ثابت

در این دستگاه ها با تغییرات اندک ولتاژ جریان به مقدار زیاد تغییر می‌کند. این نوع دستگاه ها برای جوشکاری با سرعت تغذیه الکترود ثابت نظیر روش های جوشکاری SAW , GMAW بکار می‌رود.

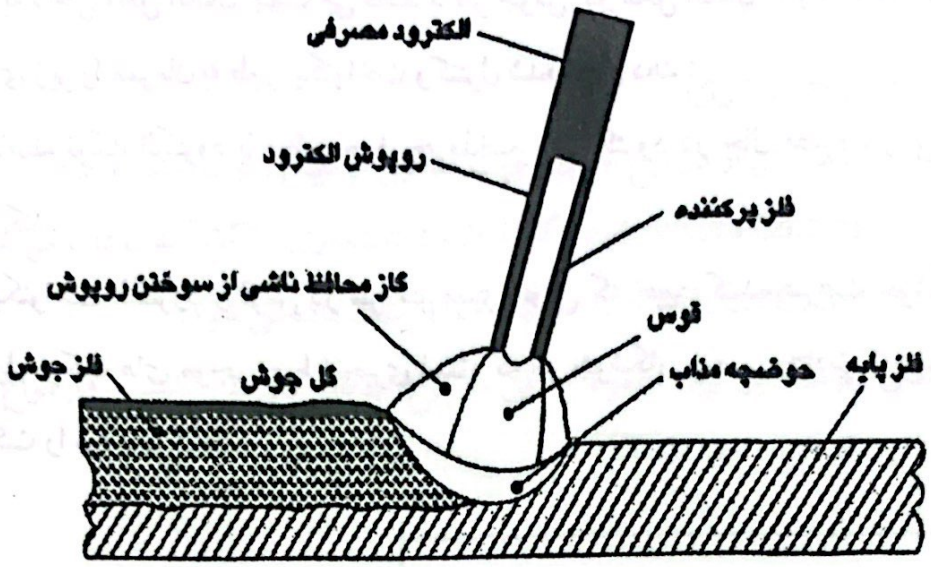




شکل ۱-۲. مشخصه ولت - آمپر در دستگاه های ولتاژ ثابت

۱-۵. جوشکاری قوس الکتریکی با الکترود روکشدار

Shielded Metal Arc Welding (SMAW)



شکل ۱-۳. جوشکاری قوس الکتریکی با الکترود روکشدار

الف. مزایای جوشکاری با الکترود روکشدار

- دارای تجهیزات نسبتاً ساده، ارزان و قابل حمل است.
- گاز محافظی که از سوختن مواد روکش الکترود حاصل می شود، نسبت به فرایندهایی که با گاز محافظ جداگانه محافظت می شوند حساسیت کمتری در مقابل وزش باد دارد.
- کاربرد گسترده ای دارد (خال جوش زنی، جوش های منقطع، جوش های پیوسته).
- در نواحی با دسترسی محدود نیز قابل استفاده است.
- برای جوشکاری بیشتر فلزات و آلیاژها مناسب است.

ب. معایب جوشکاری با الکترود روکشدار

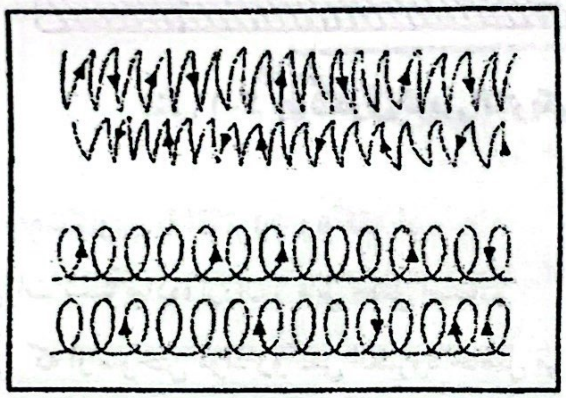
- نرخ رسوب در مقایسه با جوشکاری قوس الکتریکی تحت حفاظت گاز (GMAW) و یا جوشکاری قوس الکتریکی زیر پودری (SAW) کم است.
- بخاطر نیاز به تعویض الکترود (قطع قوس، دور ریز ته الکترود، قرار دادن الکترود جدید در انبر) پیوستگی جوشکاری مقدور نیست.
- جوش با لایه ای از سرباره پوشیده شده که می بایست بعد از تمام کردن هر پاس، سرباره از روی جوش پاک شود.
- سرعت جوشکاری زیاد نیست.
- روکش الکترود در معرض آسیب است.

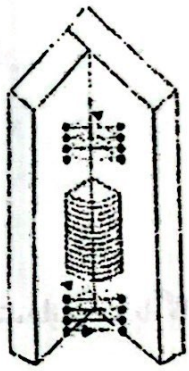
۱-۵-۱. عملیات جوشکاری

با انتخاب الکترود و تنظیم آمپر و قرار دادن کار در موقعیتی که جوشکار احساس امنیت کند، کار جوشکاری آغاز می شود. تنظیم آمپر اصولاً روی تکه قراضه ای انجام می گیرد.پس از راه اندازی قوس و تنظیم آمپر، قوس را به داخل محل اتصال جهت می دهند تا فلز جوش در محل اتصال رسوب داده شود. لذا جوشکار بایدحرکت های زیر را همزمان به طور یکنواخت وکنترل شده انجام دهد :

الف) تثبیت فاصله نوک الکترود با سطح حوضچه مذاب. بایدالکترود در حال مصرف را به سمت حوضچه مذاب هدایت کند.

ب) حرکت یکنواخت الکترود و قوس در سرتاسر مسیر جوش که تعیین کننده سرعت جوشکاری است. این حرکت توأم با حرکت های موجی و یا زنجیری است که هر جوشکار برحسب عادت و وضعیت جوشکاری یک نوع حرکت را انجام می دهد.





شکل ۱-۵. انواع حرکت الکترود

۱-۵-۲. زاویه کار

زاویه بین الکترود با قطعه کار در صفحه عرضی ، زاویه کار است.

۱-۵-۳. زاویه راهنما

زاویه الکترود با خط جوش در صفحه طولی زاویه راهنما است.

تذکر:جوشکار باید با توجه به وضعیت جوشکاری زاویه کار و زاویه الکترود را به درستی انتخاب کند.

۱-۵-٤. قطع قوس

قطع قوس که به منظور تعویض الکترود لازم است ، باید به آرامی انجام شود. باید الکترود به آهستگی به عقب کشیده شود تا چاله جوش ایجاد نشود. باید الکترود را به طرف عقب حرکت داد و همزمان فاصله قوس

را زیاد کرد تا قوس خاموش شود. در استفاده از الکترود بعدی ، در صورت نیاز می توان انتهای حوضچه را سنگ زد. در جوشکاری چند پاسه باید سرباره از روی هر پاس بطور کامل تمیز شده و سپس جوشکاری در پاس های بعدی انجام شود.در این روش، هر پاس حداقل یک سوم پاس زیری را می پوشاند.

۱-۵-۵. دستگاه های جوشکاری

در جوشکاری با قوس الکتریکی از دو نوع جریان جهت تشکیل قوس می توان استفاده کرد :

الف- جریان متناوب (Alternative Current) که با علامت اختصاری "AC" نشان داده می شود.

ب- جریان مستقیم (Direct Current) که با علامت "DC" نشان داده می شود.

دستگاه های جوشکاری برق معمولاً با این دو نوع جریان کار می کنند و در انواع ترانسفورماتور، رکتیفایر، دینام وموتور ژنراتور وجود دارند.

۱-۵-۵-۱. ترانسفورماتور

این دستگاه از برق شهر تغذیه کرده و خروجی آن جریان متناوب با همان فرکانس برق شهر است. وظیفه اصلی دستگاه تغییر اختلاف سطح (ولتاژ) و شدت جریان (آمپراژ) است. بدین منظور ، به هنگام شروع به کار ولتاژ را کاهش داده وشدت جریان را افزایش می دهد .ترانسفورماتور از یک هسته مرکزی و دو سیم پیچ تشکیل شده است. تعداد حلقه های هر سیم پیچ با ولتاژ مورد نیاز متناسب است.سیم پیچ اولیه با تعداد دور زیاد که از سیم قطر کم تهیه شده به شبکه برق شهر متصل می باشد. با عبور جریان متناوب از این سیم پیچ خطوط قوا تشکیل شده و با همان فرکانس(50HZ) برق شهر، جهت آن را تغییر می دهد. خطوط قوا بوسیله هسته آهنی جذب و بلافاصله به طرف سیم پیچ ثانویه که جریان را برای جوشکاری تنظیم می نماید می رود. این سیم پیچ می تواند با سیم به قطرهای مختلف تهیه شده و وظیفه آن تنظیم مقدارشدت جریان است .این مقدار بستگی به تعداد دور سیم پیچ ، قطرسیم و فاصله هوایی سیم پیچها دارد و می توان با تغییر میدان مغناطیسی شدت جریان مورد نظررا به دست آورد.

خاصیت جریان متناوب این است که در هر ۱/۵۰ ثانیه جهت آن معکوس می شود. این تغییر فاز مداوم جریان، باعث کاهش میدان مغناطیسی شده و در نتیجه از انحراف قوس می کاهد. انحراف قوس باعث پاشش شده و در فلز جوش ایجاد تخلخل می کند. هر چند که تشکیل قوس با جریان متناوب نسبت به حالت استفاده از جریان مستقیم تا اندازه ای مشکل است لیکن عدم وجود انحراف قوس و ولتاژ زیاد باعث تداوم و پایداری قوس می شود وامکان استفاده از الکترودهای بزرگ وجود دارد که باعث افزایش سرعت کار در جوشکاری فلزات سنگین و ضخیم می شود . سایر مزایای ماشین های متناوب ، قیمت پائین ، کاهش مصرف انرژی ، بازده زیاد و کاهش نیاز به مراقبت و نگهداری خاص است.

۱-۵-۵-۲. رکتیفایر (یکسو کننده)

رکتیفایردستگاهی است برای تبدیل جریان متناوب به مستقیم ، دستگاه های یکسو کننده دارای طرح های متعدد برای مقاصد مختلف است. انعطاف پذیری یکی از دلایل پذیرش گسترده این دستگاه در صنعت جوشکاری است. این دستگاه قادر به تولید جریان با قطبیت مستقیم یا معکوس بوده و نیز قابل استفاده در روش های جوشکاری با الکترود روکشدار ، جوشکاری تحت حفاظت گاز و جوشکاری زیرپودری است و امکان سرویس دهی چندین کاربر را دارا است.

این ماشین ها دارای دو قسمت اصلی اند :

۱- مبدل (ترانسفورماتور) جهت تنظیم جریان متناوب ورودی به ماشین

۲- یکسو کننده که جریان متناوب را به جریان مستقیم تبدیل می کند.

این دستگاه ها دارای یک الکتروموتور دمنده است که باعث خنک کردن یکسو کننده در حین کار و در نتیجه بالا رفتن بازدهی دستگاه می شود.

۱-۵-۵-۳. دینام

اگر فرکانس یا تناوب برق را از بین ببریم ، یک جریان مستقیم حاصل خواهد شد. به این منظور از دستگاه دینام استفاده می شود که بطور کلی از دو بخش محرک و متحرک تشکیل شده است . بخش متحرک باید انرژی لازم را جهت تولید الکتریسیته تأمین نماید. دستگاه دینام دارای ویژگی های زیر است :

الف) دارای قوس نفوذی و قوی است.

ب) دارای دوام و عمر طولانی است.

ج) تنوع کاربرد زیادی داشته و می تواند برای انواع فلزات قابل جوشکاری با قوس الکتریکی بکار رود.

۱-۵-۵-٤. موتور ژنراتور

موتورژنراتور با دو نوع سوخت می تواند تولید برق کند :

الف- موتور ژنراتور با موتور دیزلی (موتور جوش دیزلی)

ب- موتورژنراتور با موتور بنزینی (موتور جوش بنزینی)

در موتورژنراتورها انرژی شیمیائی به انرژی حرارتی ، انرژی حرارتی به انرژی مکانیکی و انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی تبدیل می شود و از نظر بازدهی انرژی نسبت به سایر مولد های جوشکاری کمترین بازدهی را دارد. بوسیله موتور جوش می توان جریان متناوب یا مستقیم تولید کرد.

۱-۵-۶. عوامل مؤثر در انتخاب دستگاه جوشکاری

در انتخاب دستگاه جوشکاری موارد زیر باید مد نظر قرار گیرد:

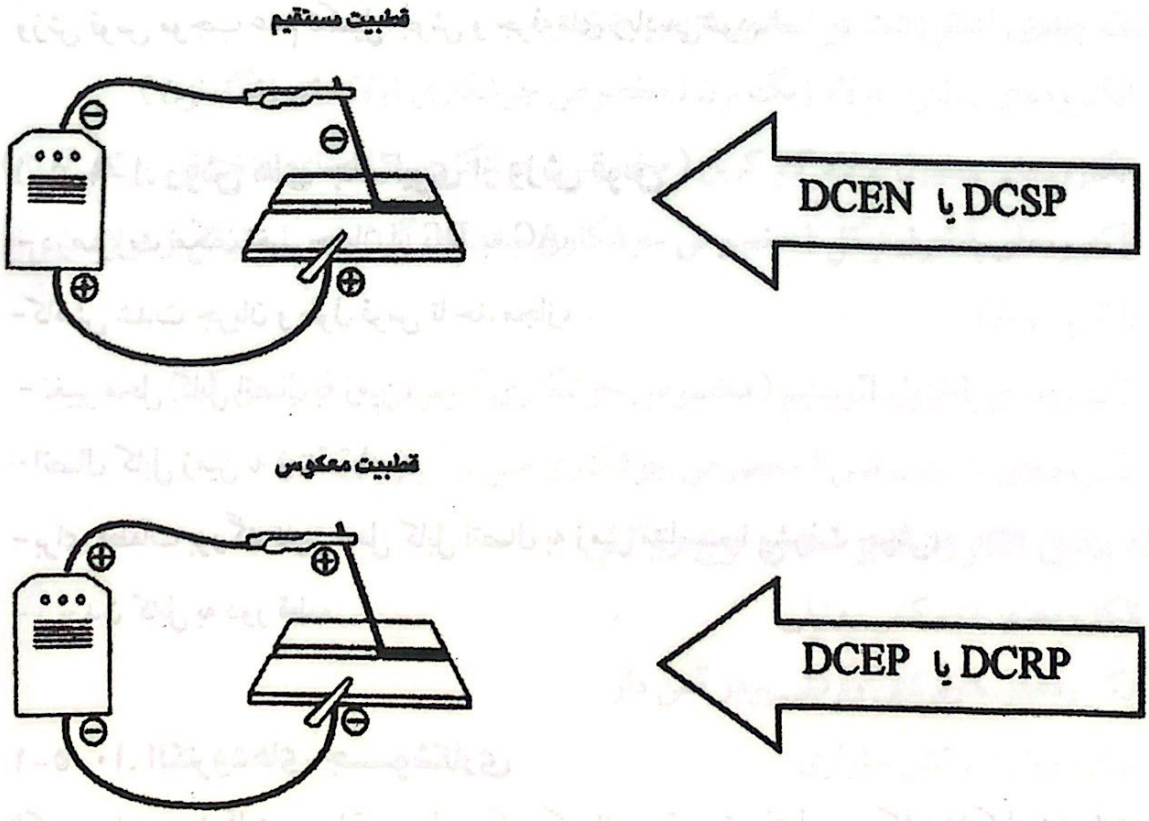
- روش جوشکاری
- تعمیر و نگهداری
- معیارهای اقتصادی
- قابلیت حمل
- محیط کار
- مهارت‌های موجود
- ایمنی
- سرویس‌دهی سازنده دستگاه
- برآوردن الزامات آیین نامه ها و استانداردها

۱-۵-۷. قطبیت در جوشکاری

در جوشکاری با جریان مستقیم (DC) دو نوع قطبیت وجود دارد:

الف. قطبیت مستقیم DCSP یا DCEN یا جریان مستقیم و اتصال الکترود به قطب منفی

ب. قطبیت معکوس DCRP یا DCEP یا جریان مستقیم و اتصال الکترود به قطب مثبت



شکل ۱-۶. انواع قطبیت در روش جوشکاری قوس الکتریکی با الکترود روکشدار

۱-۵-۸. انتخاب نوع جریان جوشکاری

استفاده از جریان مستقیم DC مزایایی نسبت به جریان متناوب AC به شرح زیر دارد:

- انتقال فلز از الکترود به حوضچه جوش دراین حالت، یکنواخت‌تر است.
- در روش DC می‌توان از شدت جریان‌های کم استفاده کرد.
- همه نوع الکترود را در روش جوشکاری دستی می‌توان بکار برد.
- شروع قوس راحت‌تر است.
- نگهداری قوس با طول کوتاه آسانتر است.
- در وضعیت‌های غیر از تخت ، نظیر افقی ، عمودی و بالاسری عملیات جوشکاری آسانتر است.
- جوشکاری ورق‌های نازک با روش DC بهتر انجام می شود.

۱-۵-۹. وزش قوس (انحراف قوس) Arc Blow

در جوشکاری مواد فرومغناطیس نظیر فولادهای ساختمانی با جریان DC به علت بوجود آمدن میدان‌های مغناطیسی در اطراف الکترود، قطعه کار و کابل، وضعیتی بوجود می‌آید که به آن وزش قوس می گویند.

- وزش قوس در ابتدا و انتهای قطعه بوجود آمده وستون قوس از حالت مورد نظر منحرف می‌شود.
- وزش قوس بیشتر در جریان مستقیم بوجود می‌آید و در جریان متناوب کمتر اتفاق افتاده یا اثر آن ناچیز است.
- در فولادهای فرومغناطیس (فولادهای ساختمانی) و آلیاژهای پایه نیکل و کبالت به وجود می‌آید.
- در ورق‌های ضخیم بیشتر از ورق‌های نازک به وجود می‌آید.

وزش قوس موجب عدم تکمیل جوش و جرقه‌های زیاد می‌شود.

۱-۵-۹-۱. روش های جلوگیری از وزش قوس

- درصورت امکان تغییر جریان از DC به AC،
- کاهش شدت جریان و طول قوس تا حد مجاز،
- تغییر محل کابل اتصال به زمین،
- اتصال کابل زمین به چند نقطه،
- برای قطعات بزرگ تغییر محل کابل اتصال به زمین متناسب با پیشرفت جوش،
- پیچیدن کابل به دور قطعه.

۱-۵-۱۰. الکترودهای جـــوشکاری

الکترودهای جوشکاری بـــا قوس الـــکتریکی از دو قسمت مفتول و روکش تشکیل شده اند.

۱-۵-۱۰-۱. وظایف مفتول

۱- هدایت جریان الکتریکی

۲- تامین فلزپرکننده درزجوش

۱-۵-۱۰-۲. وظایف روکش الکترود

۱- پایدارکننده قوس

۲- ایجاد اتمسفر گازی وسرباره محافظ و جلوگیری از نفوذ گازهای مزاحم نظیر N_2 , O_2 به حوضچه مذاب

۳-انجام واکنش‌های سرباره، فلز مذاب و گاز، عمل تصفیه یا اضافه کردن عناصر آلیاژی به حوضچه جوش

۴- تأمین شکل گردهٔ جوش بصورت برآمده و صافی مورد نظر با استفاده از خاصیت ویسکوزیته و کشش سطحی سرباره

۵- کاهش سرعت سرد شدن حوضچه جوش

۶- پایین آوردن نقطه ذوب و خارج کردن ناخالصی‌ها از حوضچه جوش

۱-۵-۱۰-۳. تقسیم بندی الکترودها

الکترودها بر اساس نوع روکش ، جنس مفتول و ضخامت روکش طبقه بندی می شوند.

الف. طبقه بندی الکترودها بر اساس جنس مفتول

- الکترودهای بامفتول فولاد زنگ نزن (مخصوص جوشکاری فولادهای زنگ نزن)
- الکترودهای بامفتول فولاد کم کربن (مخصوص جوشکاری فولادهای ساختمانی و کم آلیاژ)
- الکترودهای بامفتول نیکل (مخصوص جوشکاری چدن ها، آلیاژهای پایه نیکل و فولادهایی با کربن زیاد)
- الکترودها ی بامفتول آلومینیم (مخصوص جوشکاری آلومینیوم و آلیاژهای آن)
- الکترودهای با مفتول مس (مخصوص جوشکاری مس و آلیاژهای آن)

ب. طبقه بندی الکترودها بر اساس نوع روکش

- الکترودهای با روکش روتیلی
- الکترودهای با روکش روتیلی پودر آهن دار
- الکترودها با روکش سلولزی
- الکترودهای با روکش قلیایی

ج. طبقه بندی الکترودها بر اساس ضخامت روکش

- الکترودهای با روکش نازک
- الکترودهای با روکش متوسط
- الکترودهای با روکش ضخیم
- الکترودهای با روکش خیلی ضخیم

۱-۵-۱۰-٤. شناسایی الکترودها

الکترودها به دو طریق شناسایی می شوند :

الف. سیستم رنگ در ته مفتول با استفاده از مشخصات سازندگان الکترود

ب. استفاده از روش نام گذاری یک آیین نامه شامل چند عدد و حرف که با توجه به نوع استاندارد مورد نظر، روش شناسایی متفاوت است.

۱-۵-۱۰-۵. روش شناسایی الکترودها در آیین نامه AWS A5.1

الف. حرف E قبل از یک عدد چهار یا پنج رقمی EXXXXX منظور الکترود است که در روش جوشکاری با قوس الکتریکی مورد استفاده قرار می گیرد.

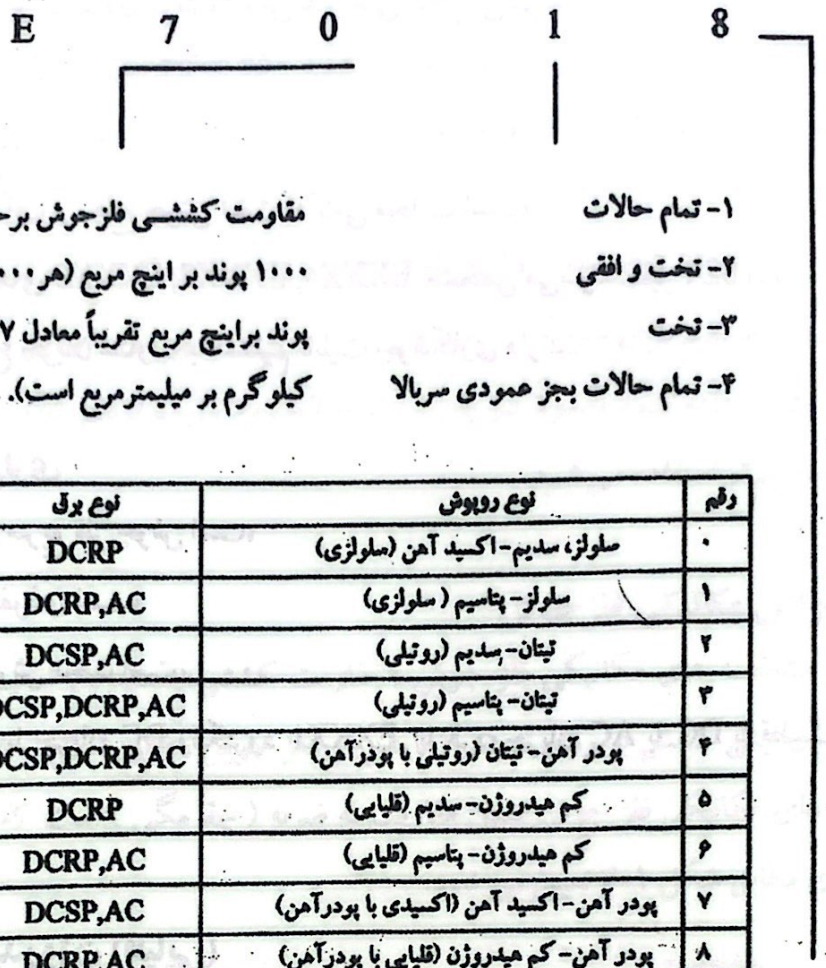
ب.عدد دو یا سه رقمی بعد از حرف E مشخص کننده حداقل استحکام کششی فلزجوش برحسب کیلو پوند بر اینچ مربع است.

ج. دومین عدد از سمت راست مشخص کننده وضعیت مجاز جوشکاری است که الکترود برای آن وضعیت طراحی شده است. بطور مثال الکترود کد EXX1X برای تمام وضعیت های جوشکاری قابل استفاده است.

منظور از عدد 1	الکترود در همه وضعیت ها قابل استفاده است.	EXX1X
منظور از عدد 2	الکترود فقط در وضعیت های تخت و افقی قابل استفاده است.	EXX2X
منظور از عدد 3	الکترود فقط در وضعیت تخت قابل استفاده است.	EXX3X
منظور از عدد 4	الکترود در همه وضعیت ها به جز عمودی سر بالا قابل استفاده است.	EXX4X

د. عدد آخر سمت راست مشخص کننده چندین عامل نظیر نوع جریان و قطبیت مورد استفاده (AC-DCSP-DCRP) وهمچنین نوع ترکیبات روکش الکترود است.

طبقه بندی الکترودها مطابق آیین نامه AWS A5.1



رقم	نوع روپوش	نوع برق
۰	سلولز، سدیم-اکسید آهن (سلولزی)	DCRP
۱	سلولز- پتاسیم (سلولزی)	DCRP,AC
۲	تیتان- سدیم (روتیلی)	DCSP,AC
۳	تیتان- پتاسیم (روتیلی)	DCSP,DCRP,AC
۴	پودر آهن- تیتان (روتیلی با پودرآهن)	DCSP,DCRP,AC
۵	کم هیدروژن- سدیم (قلیایی)	DCRP
۶	کم هیدروژن- پتاسیم (قلیایی)	DCRP,AC
۷	پودر آهن- اکسید آهن (اکسیدی با پودرآهن)	DCSP,AC
۸	پودر آهن- کم هیدروژن (قلیایی با پودرآهن)	DCRP,AC

الکترود روکشدار برای جوشکاری قوس الکتریکی دستی

۱-۵-۱۰-۶. مشخصات انواع الکترودها

الف. الکترودهای روتیلی معمولی

- قوس ملایم، قدرت نفوذ متوسط، شدت جریان و حرارت ورودی کم، مشکلات سوختگی و سوراخ شدن کمتر است.

- برای مصارف عمومی، برای جوشکاری ورق های نازک فولادی با کدهای EXXX2, EXXX3 به کار می روند.نظیر E6013

- این الکترودها با انواع جریان متناوب یا مستقیم قابلیت جوشکاری دارند.

ب.الکترودهای روتیلی پودر آهن دار

- دارای روکش ضخیم محتوی پودر آهن است،

- کاربرد در جوشکاری گوشه و پاس های پر کننده درجوش شیاری ورق های ضخیم است،

- با طول قوس کوتاه به راحتی کار می کند،
- میزان رسوب زیاد و پاک کردن سرباره جوش به راحتی انجام می‌شود،
- بریدگی کنار جوش کم است،
- عمق نفوذ زیاد نیست،
- ظاهر جوش بسیار صاف و سطح جوش تخت تا کمی محدب است،
- این الکترودها با کدهای EXXX4, EXXX7, EXXX8 مشخص می‌شوند.نظیر E7024
- این الکترودها با انواع جریان متناوب یا مستقیم قابلیت جوشکاری دارند.

ج.الکترودهای سلولزی

- دارای قابلیت انجماد سریع فلز جوش است،
- دارای قوس قوی و نفوذی است،
- سرباره کم و خط جوش تخت است،
- الکترود EXXX0 با جریان DC والکترود EXXX1 با هردوجریان AC یا DC با قطبیت معکوس بکار می‌رود.

د.الکترودهای کم هیدروژن (قلیایی)

- الکترودهای کم هیدروژن حداقل هیدروژن را در فلز جوش باقی می گذارد.
- با کدهای 5 یا 6 یا EXXX8 مشخص می شوند،
- الزامات خاص نگهداری و استفاده در مجاورت هوای آزاد می بایست رعایت شود.
- کاربرد این نوع الکترودها برای فولادهای پر کربن، فولاد کم آلیاژ و فولاد سختی پذیر است. درصورت وجود بار دینامیکی و ضخامت بیش از ۲۵ میلیمتراستفاده از این نوع الکترود، توصیه می شود.

- **راههای ورود هیدروژن به جوش :**

۱- رطوبت جذب شده در روکش الکترود،
۲- آب موجود در مواد چسبنده تشکیل دهنده روکش،
۳- تجزیه ترکیبات اورگانیکی که همراه با آب یا هیدروژن در ترکیباتی نظیر سلولز وجود دارد،
۴- آب تبلور همراه کریستال ها.
۵- سطح قطعه مرطوب یا آلوده به چربی یا رنگ باشد.

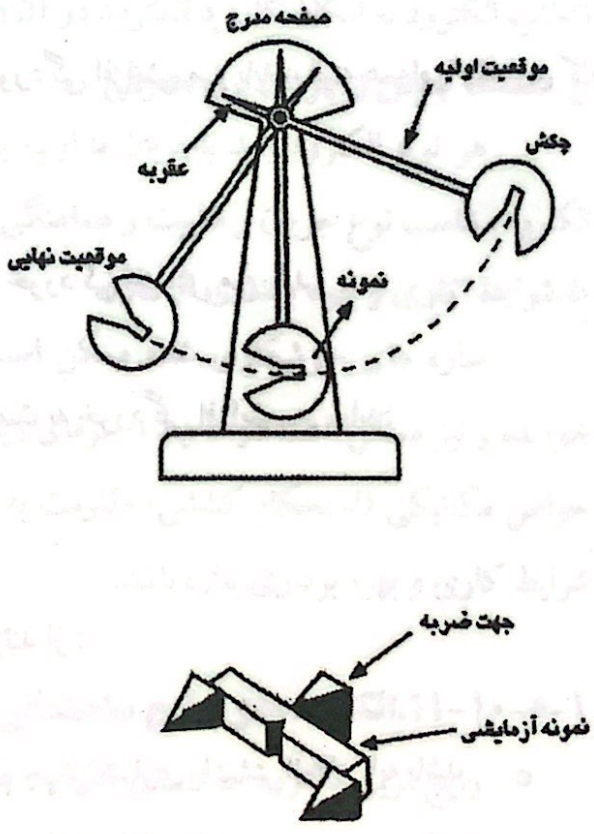
۱-۵-۱۰-۷.طول و قطر الکترود

الکترودها در قطرهای محدودی تولید می شوند. ۲/۵ ، ۳/۲۵ ، ۴ و ۵ میلیمتر. تا قطر ۲/۵ میلیمتر، طول الکترود ۳۰۰ تا۳۵۰ میلیمترو در قطرهای بیشتر، طول الکترود ۳۵۰ تا۴۵۰ میلیمتراست. قطر الکترود بر حسب ضخامت قطعه و فاصله ریشه اتصال بین دو قطعه، وضعیت جوشکاری، اندازه جوش و مهارت جوشکار انتخاب می‌شود .

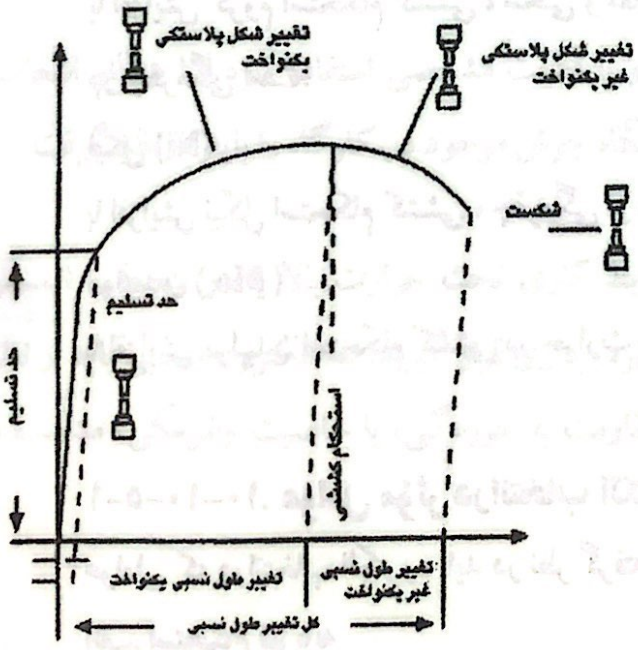
تذکر: از الکترودی که قطر آن از ضخامت قطعه زیادتر باشد ، نباید استفاده کرد. در وضعیت عمودی و بالاسری استفاده از الکترودهای ضخیم برای جوشکاری مناسب نیست و توصیه می شود در این وضعیت ها از الکترود با قطر بیش از ۴ میلیمتر استفاده نشود.معمولاً در پاس ریشه از الکترود نازک (قطر ۲/۵ یا ۳/۲۵) و درپاس های بعدی از الکترود ضخیم تر استفاده می شود .

۱-۵-۱۰-۸. خواص مکانیکی فلزجوش

مهمترین مشخصه های مکانیکی فلز جوش ، مقاومت کششی، استحکام تسلیم و درصد ازدیاد طول است که با انجام آزمایش کشش بر روی نمونه آزمایشی از مغز جوش مطابق شکل۱-۸ قابل تعیین است. یکی دیگر از مشخصه های مکانیکی فلز جوش تعیین مقاومت به ضربه (چقرمگی) است که با انجام آزمایش تعیین طاقت ضربه شیاری مطابق شکل ۱-۷ تعیین می شود.



شکل۱-۷ . شکل شماتیک دستگاه آزمایش ضربه روش شارپی



شکل ۱-۸. نمودار تنش- کرنش

۱-۵-۱۰-۹. ترکیبات شیمیایی فلز جوش

بخشی از اطلاعاتی که سازندگان الکترود در اختیار می گذارند ، آنالیز شیمیائی فلز جوش است . با دانستن اثر هر نوع عنصر در خواص فلز جوش می توان خواص یک الکترود را با الکترود دیگر مقایسه کرد.خواص عناصر اصلی در فولادهای کم کربن به شرح زیر است :

کربن (C)

با افزایش کربن مقدار استحکام کششی و سختی افزایش اما مقدار چقرمگی کاهش می یابد.

گوگرد (S)

گوگرد یک ناخالصی طبیعی است و تا آنجائی که ممکن است باید مقدار آن کم باشد.افزایش گوگرد می تواند باعث شکنندگی گرم شود.

فسفر (P)

فسفر یک ناخالصی طبیعی است تا آنجائی که ممکن است باید مقدار آن کم باشد ، با افزایش مقدار فسفر تردی جوش افزایش ، مقاومت به شوک کاهش ومیل به ترک بالا می رود.

منگنز (Mn)

با افزایش منگنز استحکام کششی ، سختی ، مقاومت به سایش افزایش و میل به شکنندگی گرم کاهش می یابد.

سیلیسیم (Si)

با افزایش سیلیسیم ، استحکام کششی افزایش می یابد ولی ممکن است میل به ترک خوردن هم افزایش یابد.

کروم (Cr)

با افزایش کروم استحکام کششی ، سختی و مقاومت به خوردگی افزایش می یابد ، البته همراه با مقداری کاهش در چقرمگی است.

نیکل (Ni)

با افزایش نیکل استحکام کششی ، چقرمگی و مقاومت به خوردگی افزایش می یابد.

مولیبدن (Mo)

با افزایش مولیبدن استحکام کششی در حرارت بالا و مقاومت به خوردگی افزایش می یابد.

۱-۵-۱۰-۱۰. عوامل مؤثر درانتخاب الکترود

عواملی که درانتخاب الکترود باید در نظر گرفته شود عبارتند از :

الف. استحکام فلزپایه

در اتصالات جوشی ، الکترود انتخابی باید دارای استحکام جوش مساوی یا بیشتر از فلز پایه باشد.

ب.ترکیب شیمیایی فلزپایه

هماهنگی ترکیب شیمیایی فلز جوش با فلز پایه نیز باید درنظر گرفته شود. در فولادهای با مقادیر زیاد کربن، به منظور پیشگیری از ایجاد ترک، استفاده از الکترودهای کم هیدروژن با روکش قلیایی نظیر E7018 توصیه می شود.

ج.سرعت جوشکاری

جهت بالا بردن سرعت جوشکاری، کاهش زمان ساخت و افزایش بازدهی می توان از الکترودهایی که در روکش آنها پودر آهن وجود دارد استفاده کرد. نظیر الکترود E7024.

د.ضخامت ورق

درجوشکاری ورق های ضخیم (معمولاً بیش از ۲۵ میلیمتر) در سازه های تحت بار دینامیکی، توصیه می شود از الکترودهای قلیایی استفاده شود.

ه. پیشگرمایش

در شرایط محیطی معمولی ، عملیات پیشگرمایش برای ورقهای با ضخامت بیش از ۲۰ میلیمتر در سازه های فولادی، ضروری است و در صورت عدم وجود امکانات پیشگرمایش می توان با الکترود قلیایی نظیرالکترود E7018 تا ضخامت ۴۰ میلیمتر را بدون نیاز به پیشگرمایش جوشکاری کرد.

و.طرح اتصال

نوع اتصال در انتخاب الکترود می تواند مؤثر باشد. به عنوان مثال در جوش های شیاری با نفوذ کامل در اتصالات بدون پشت بند و نیز بدون امکان جوشکاری از پشت شیار، جهت دستیابی به نفوذ کامل می توان از الکترودهای سلولزی نظیر E6010 استفاده کرد.

ز.وضعیت جوشکاری

از آنجا که از تمام الکترودها در تمام وضعیت های جوشکاری نمی توان استفاده کرد.لذا باید در انتخاب الکترود به امکان کاربرد الکترود در آن وضعیت خاص جوشکاری توجه کرد.

ح. دستگاه جوش و جریان برق مصرفی

هر نوع الکترود باید باجریان متناوب یا مستقیم و یا قطبیت مشخصی استفاده شود.لذا هنگام انتخاب الکترود، تناسب نوع جریان و قطبیت و هماهنگی آن با دستگاه جوش موجود در کارگاه را باید درنظر گرفت.

ط.شرایط کاری و بهره برداری از سازه

سازه های جوشکاری شده ممکن است در شرایط کاری تحت حرارت بالا یا در محیط با اتمسفر خورنده و نیز ممکن است در محیط با سرمای زیاد مورد بهره برداری قرار گیرند. لذا الکترود انتخابی باید از نظر خواص مکانیکی (استحکام کششی، مقاومت به خزش، مقاومت به خوردگی، یا خاصیت چقرمگی) متناسب با شرایط کاری و بهره برداری سازه باشد.

۱-۵-۱۰-۱۱.الکترودهای رایج ساختمانی

- رایج ترین الکترود ساختمانی الکترود E6013است.
- از الکترودهای E6010 ، E7024 ، و الکترود E7018نیز در سازه های خاص استفاده می شود.

خواص و کاربرد الکترودهای رایج در جوشکاری سازه های فولادی

E 7024	E 7018	E 6010	E 6013
روتیلی پودر آهن دار	قلیایی (کم هیدروژن)	سلولزی	روتیلی
استحکام خوب تافنس معمولی	استحکام خوب تافنس عالی	استحکام معمولی تافنس خوب	استحکام معمولی تافنس معمولی
دارای درصد پرکنندگی بالا و جوشکاری با سرعت بالا	فولاد با استحکام بالاتر قطعه ضخیم تر	در مواردی که نفوذ مطرح است (پاس ریشه)	کاربردهای معمولی ST 37
جوشکاری در حالت فقط افقی و تخت DCEP ، DCEN و AC	جوشکاری درهمه حالات DCEP	جوشکاری درهمه حالات DCEP	جوشکاری درهمه حالات DCEP ، DCEN و AC

۱-۵-۱۱. عوامل مؤثر در جوشکاری

در جوشکاری قوس الکتریکی با الکترود روکشدار، چهار عامل مهم وجود دارد که تاثیر زیادی در کیفیت جوش دارند و برای اینکه جوش خوبی بدست آید، لازم است هریک از آنها با نوع کار و وسایل مورد استفاده هماهنگ شوند.

این چهار عامل متغیر عبارتند از :

۱. شدت جریان

۲. طول قوس

۳. سرعت پیشروی

۴. زاویه الکترود

۱-۵-۱۱-۱. شدت جریان

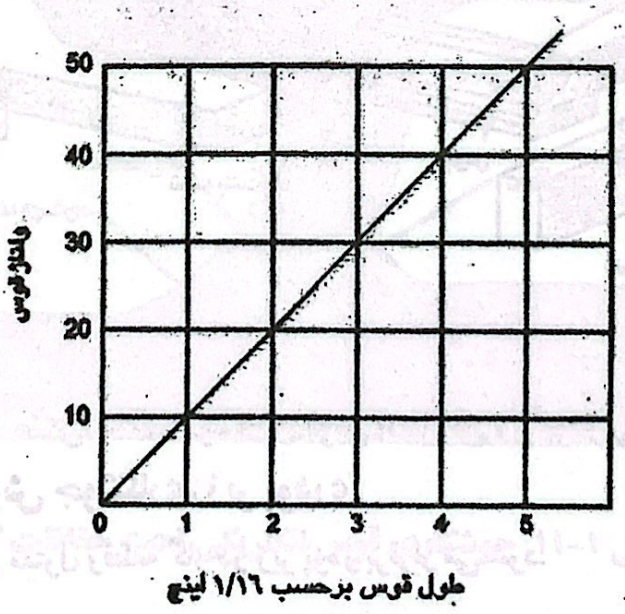
شدت جریان جوشکاری متناسب با قطر الکترود مصرفی و وضعیت جوشکاری تنظیم می شود. هرچه قطر الکترود بیشتر باشد، شدت جریان مصرفی بیشتر است. در جوشکاری وضعیت های عمودی و بالاسری از مقادیر کمتر شدت جریان استفاده می شود. همواره می بایست محدوده حداقل و حداکثر آمپری که سازنده الکترود توصیه کرده، مورد توجه قرار گیرد.

تذکر: به عنوان یک روش اجرایی ، در جوشکاری با الکترودهای روکشدار ، عدد آمپر با عدد قطر برحسب هزارم اینچ تقریباً برابر است. به عنوان مثال الکترود به قطر ۳/۲۵ میلیمتر یا ۱/۸ اینچ که برابر ۰/۱۲۵ اینچ است با ۱۲۵ آمپر خوب کار می کند.

۱-۵-۱۱-۲. طول قوس

طول قوس عبارت است از فاصله بین سر الکترود تا سطح قطعه مورد جوشکاری. به هنگام برقراری قوس، طول قوس در کیفیت جوشکاری تاثیر بسیاری می گذارد. طول قوس با ولتاژ دو سر قوس رابطه مستقیم دارد یعنی برای اینکه طول قوس سه برابر شود، نیاز به ولتاژ سه برابر خواهد بود. در نمودار زیر رابطه طول قوس و ولتاژ قوس ملاحظه می شود. با توجه به نمودار می توان گفت به ازاء هر ۱/۱۶ اینچ طول قوس ۱۰ ولت بین دوسر قوس لازم است، به عبارت دیگر می توان گفت به ازاء هر یک میلیمتر طول قوس، تقریباً ۶/۳ ولت لازم است.

تذکر: یک قاعده کلی بیان می کند که : «طول قوس باید قدری کمتر از قطر الکترود مورد استفاده باشد» به عنوان مثال با الکترود به قطر ۴ میلیمتر، طول قوس بین ۳ تا ۴ میلیمتر و ولتاژ ۲۰ تا ۲۲ ولت مناسب است.درعمل اندازه گیری دقیق طول قوس هنگام جوشکاری مقدور نیست ولی جوشکار می تواند با گوش دادن به صدای قوس و تمرین و تجربه طول قوس مناسب را برقرار سازد.



شکل ۱-۹. نمودار طول قوس- ولتاژ

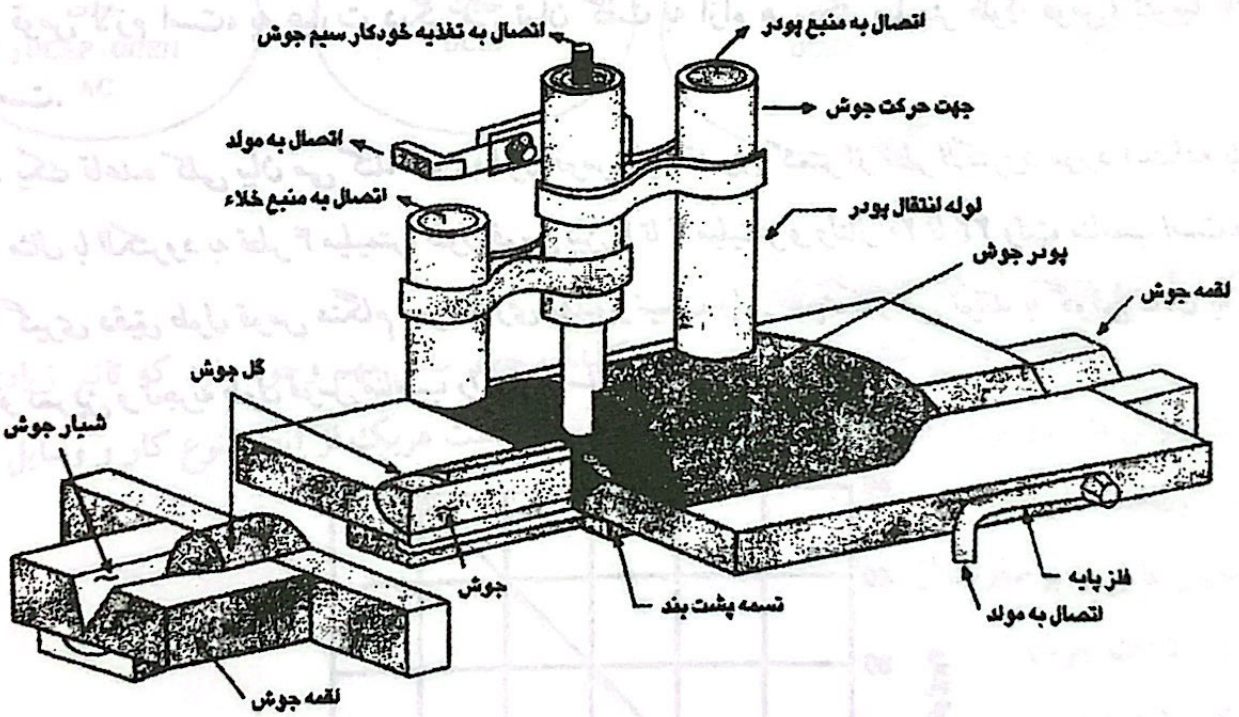
۱-۵-۱۱-۳. سرعت پیشروی

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

۱-۵-۱۱-٤. زاویه الکترود

در جوشکاری اتصالات لب به لب زاویه کار می بایست ۹۰ درجه و در اتصالات گوشه زاویه ۴۵ درجه مناسبترین زاویه کار است. زاویه راهنما در کلیه اتصالات لب به لب یا گوشه می بایست ۱۰ ± ۷۰ درجه باشد. انتخاب مناسب زاویه الکترود در کیفیت ظاهر جوش و نیز پیشگیری از بروز بعضی عیوب نظیر عدم ذوب ، نفوذ ناقص و بریدگی کنار جوش بسیارمؤثر است.

۱-٦. جوشکاری قوس الکتریکی زیر پودری Submerged Arc Welding (SAW)



شکل ۱-۱۰. جوشکاری قوس الکتریکی زیر پودری

۱-٦-۱. ویژگی های روش جوشکاری زیر پودری

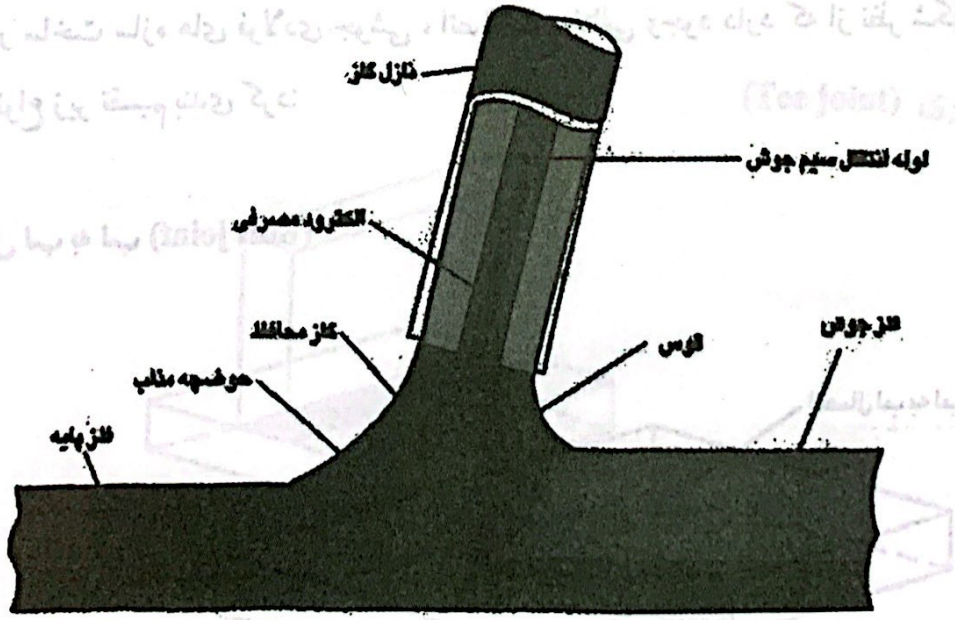
- قوس الکتریکی بین مفتول وقطعه کار در زیر پودر برقرار می شود.
- نفوذ جوش در این روش از سایر روش ها بیشتر است.

- جوش از کیفیت یکنواخت تر و بالاتری برخوردار است .
- جوشکاری بصورت ممتد قابل انجام است ، لذا بازدهی جوشکاری بالا است .
- چون جوشکاری بصورت اتوماتیک انجام می شود لذا کیفیت جوش بالاتر خواهد بود.
- ظاهر سطح جوش بهتر است .
- دود جوشکاری کم است.
- اشعه قوس رویت نمی شود.
- پاشش وجود ندارد.

۱-۶-۲.معایب روش جوشکاری زیر پودری

- برای ورق های نازک مناسب نیست.
- جوشکاری جوش شیاری فقط در وضعیت تخت و جوش گوشه در وضعیت های تخت و افقی قابل انجام است .
- هزینه تجهیزات بالاتر است .
- محل درز اتصال در حین جوشکاری قابل کنترل نیست.

۱-۷.جوشکاری قوس الکتریکی تحت حفاظت گاز (Gas Metal Arc Welding (GMAW



شکل ۱-۱۱. جوشکاری قوس الکتریکی تحت حفاظت گاز

۱-۷-۱.ویژگی های روش جوشکاری تحت حفاظت گاز(GMAW)

- قوس الکتریکی بین مفتول فلزی با قطعه کار تحت حفاظت گاز محافظ نظیر آرگون و یا دی اکسید کربن انجام می شود.
- جوشکاری بصورت نیمه اتوماتیک واتوماتیک قابل انجام است .
- به علت عدم وجود گل جوش ، عیب حبس سرباره را نخواهیم داشت .
- برای جوشکاری ورقهای نازک مناسب است .
- جوشکاری میتواند بصورت ممتد صورت گیرد ، لذا کیفیت جوش بالاتر خواهد بود و بازدهی جوشکاری نیز افزایش می یابد.
- جوشکاری در وضعیت های مختلف تخت ، افقی ، عمودی و سقفی امکان پذیر است.
- مولد جوشکاری مورد استفاده از نوع رکتیفایر با سیستم ولتاژ ثابت و نوع قطبیت DCEP است.

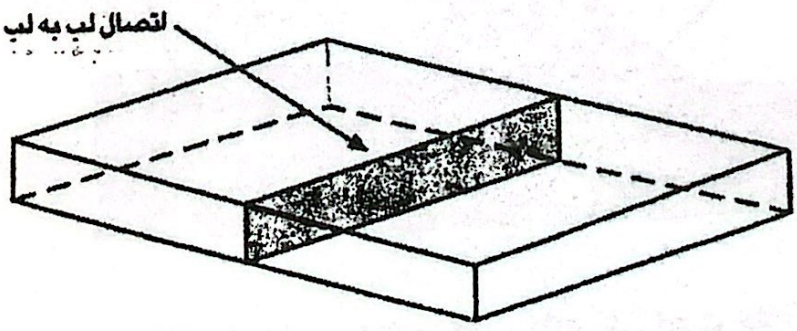
۱-۷-۲. معایب روش جوشکاری تحت حفاظت گاز (GMAW)

- جوشکاری اغلب در محیط های بسته قابل انجام است .
- امکان جوشکاری در فواصل دور از دستگاه جوش وجود ندارد .
- هزینه تجهیزات بالاتر است .
- برای جوشکاری ورق های خیلی ضخیم مناسب نیست.

۱-۸. انواع اتصال

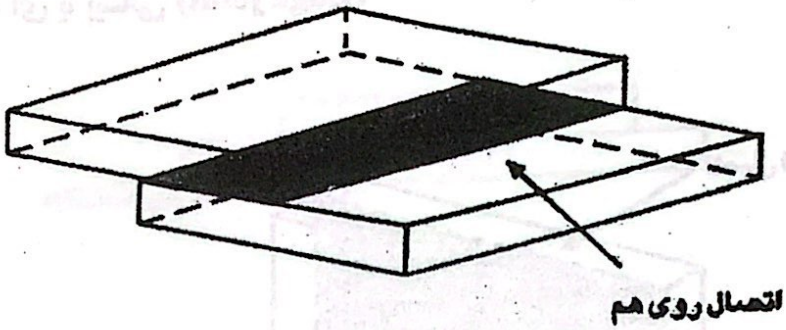
در ساخت سازه های فولادی جوشی ، اتصالات مختلفی وجود دارد که از نظر شکل اتصال می توان آنها را به انواع زیر تقسیم بندی کرد:

الف. اتصال لب به لب (Butt joint)



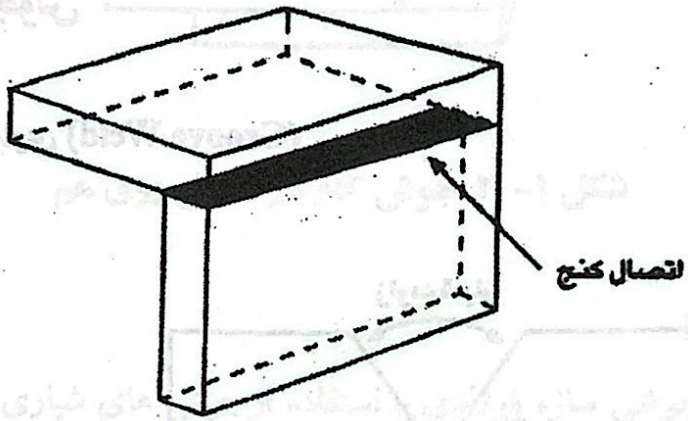
شکل ۱-۱۲. اتصال لب به لب

ب. اتصال روی هم (Lap joint)



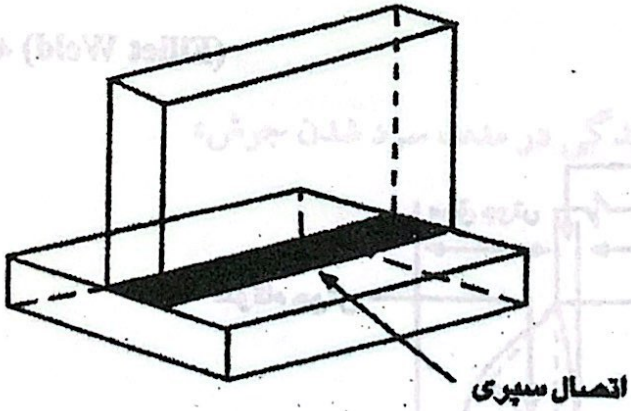
شکل ۱-۱۳. اتصال روی هم

ج. اتصال کنج (Corner joint)



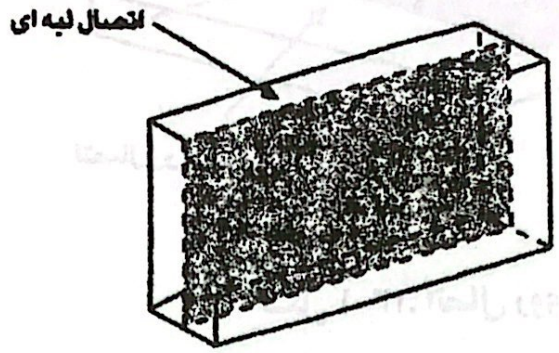
شکل ۱-۱٤. اتصال کنج

د. اتصال سپری (Tee joint)



شکل ۱-۱۵. اتصال سپری

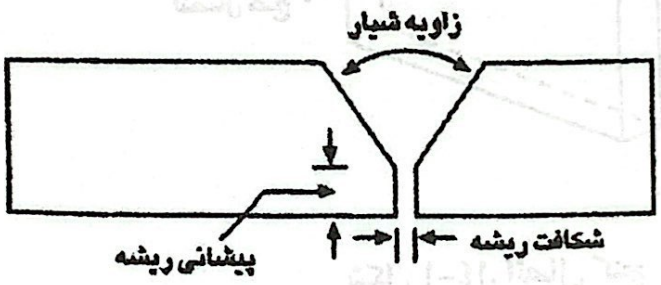
ه. اتصال لبه ای یا پیشانی (Edge joint)



شکل ۱-۱۶. اتصال لبه ای

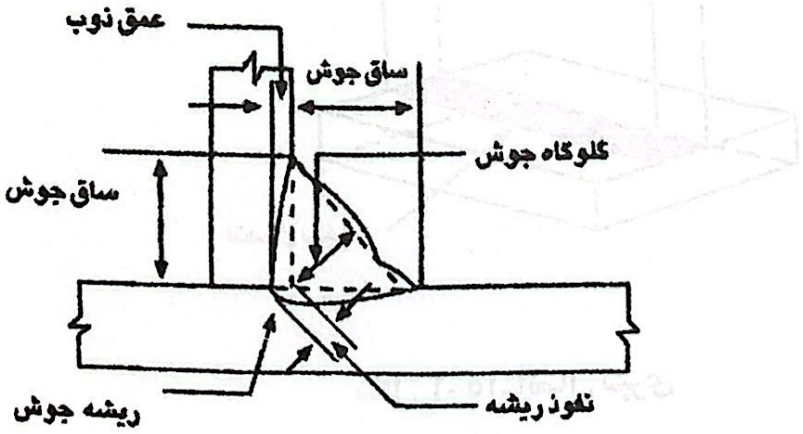
۱-۹. انواع جوش

الف. جوش شیاری (Groove Weld)



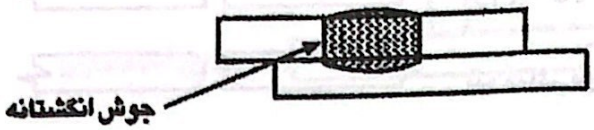
شکل ۱-۱۷. ساختار جوش شیاری در اتصال لب به لب

ب. جوش گوشه (Fillet Weld)



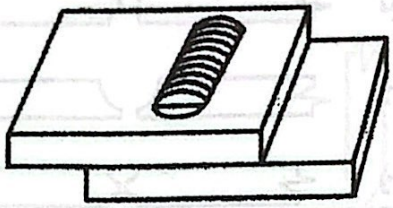
شکل ۱-۱۸. ساختار جوش گوشه در اتصال سپری

ج.جوش انگشتانه (Plug Weld)



شکل ۱-۱۹. جوش انگشتانه در اتصال روی هم

د. جوش کام (Slot Weld)

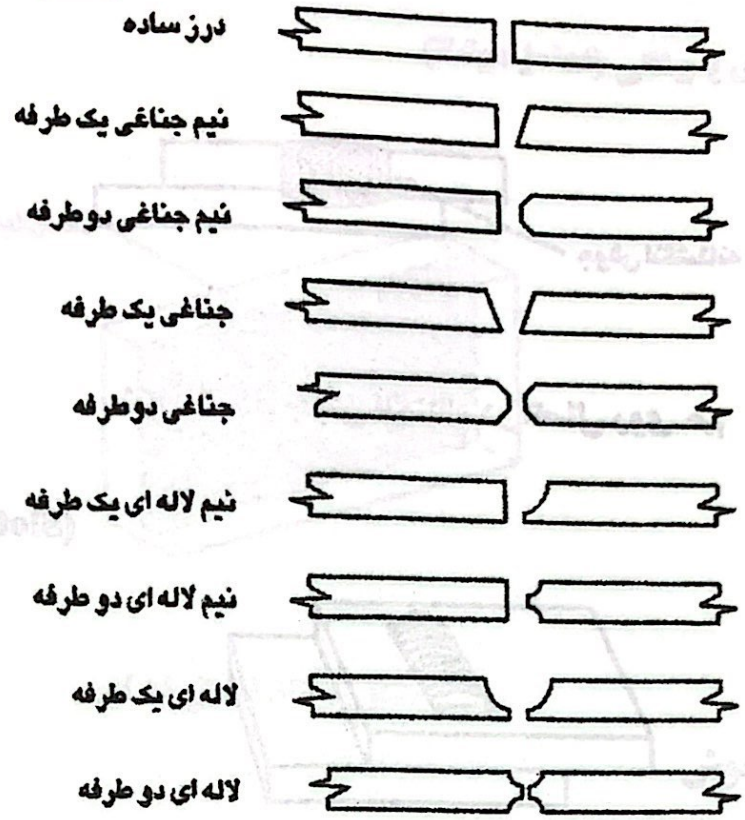


شکل ۱-۲۰. جوش کام در اتصال روی هم

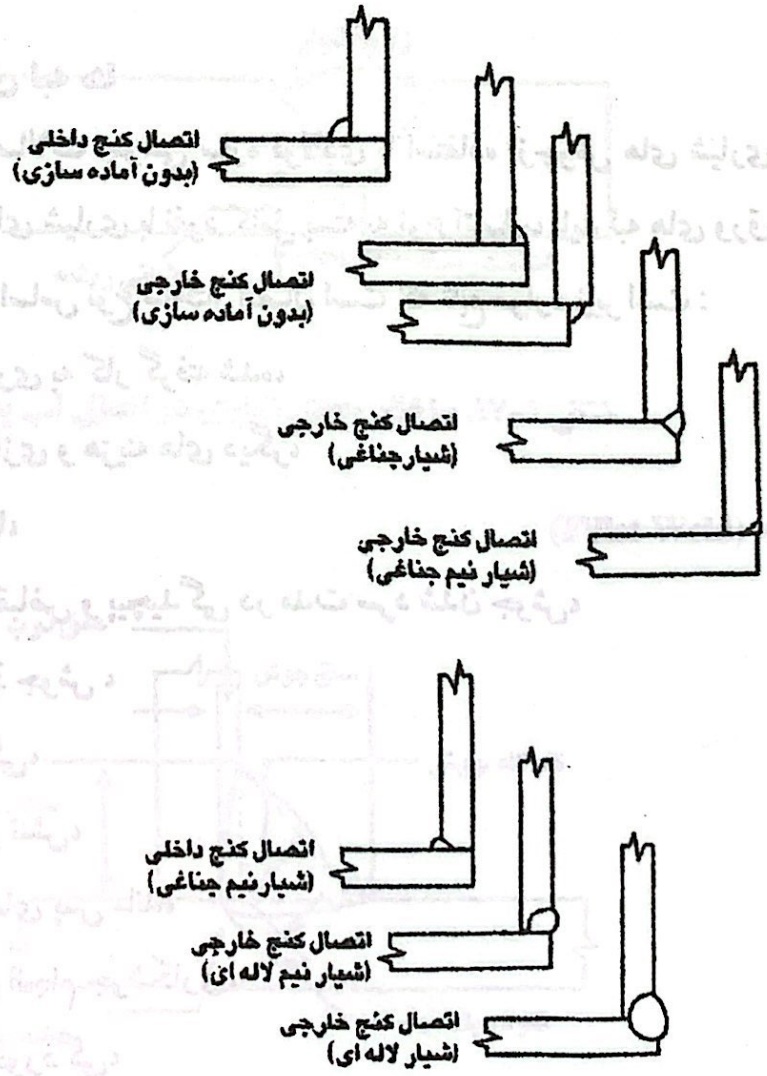
۱-۱۰. آماده سازی لبه ها

بخشی از اتصالات جوشی سازه فولادی با استفاده ازجوش های شیاری با نفوذ کامل انجام می شود. جهت تامین جوش های شیاری با نفوذ کامل بسته به نوع اتصال، باید لبه های ورق های اتصال آماده سازی شود. آماده سازی لبه ها بر اساس نوع ساختار اتصال است که تابع موارد زیر است :

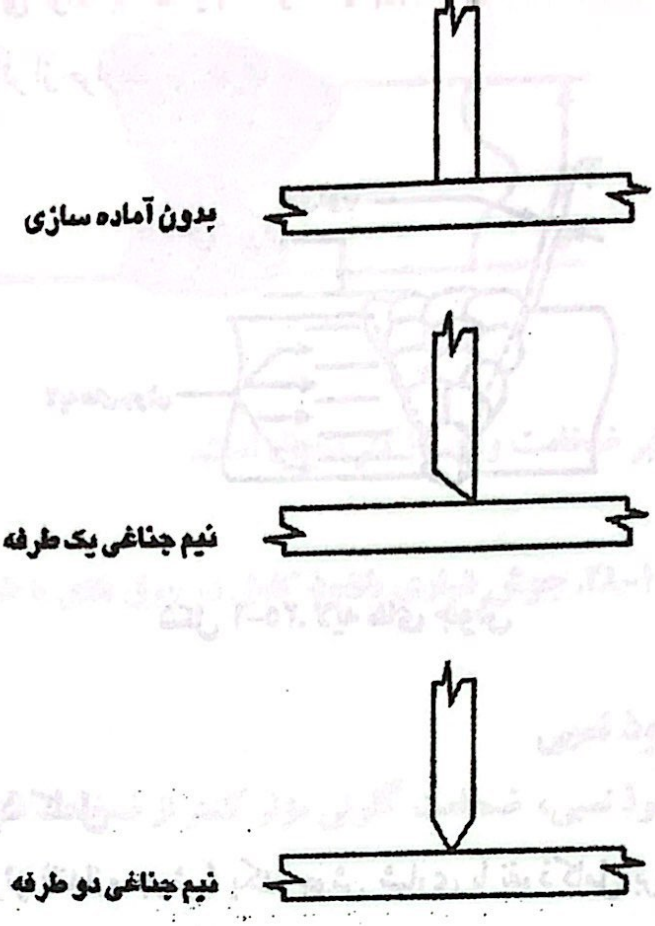
۱. فرایند جوشکاری به کار گرفته شده،
۲. هزینه آماده سازی و هزینه های دیگر،
۳. خواص فلز مبنا،
۴. مقادیر مجاز انقباض و پیچیدگی در مدت سرد شدن جوش،
۵. عمق لازم نفوذ جوش ،
۶. الزامات خستگی،
۷. کاهش تمرکز تنش،
۸. کاهش تنش های پس ماند،
۹. دسترسی برای انجام جوشکاری،
۱۰. حساسیت به خوردگی،
۱۱. نوع بارگذاری .



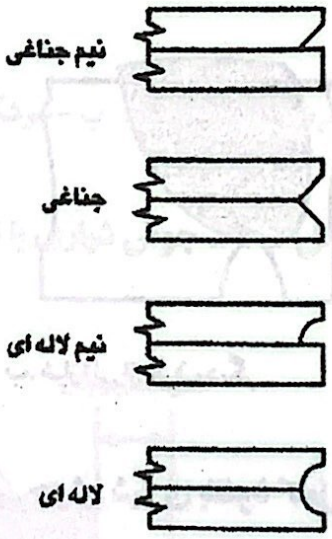
شکل ۱-۲۱. انواع آماده سازی لبه ها در اتصال لب به لب



شکل ۱-۲۲. انواع آماده سازی لبه ها در اتصال کنج



شکل ۱-۲۳. انواع آماده سازی لبه ها در اتصال سپری

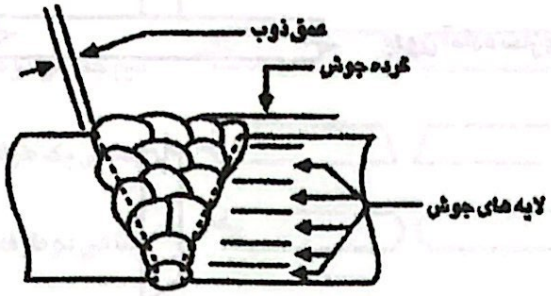


شکل ۱-۲٤. انواع آماده سازی لبه ها در اتصال لبه ای

۱-۱۱.ساختار جوش

بیشتر قسمتهای مختلف یک اتصال جوشی درشکل ۱-۲۵ مشخص شده است. هریک از خط های جوش، برابر یک پاس از فلز جوش است. پاس های جوش در یک ردیف، یک لایه جوش را تشکیل می دهند و لایه های جوش روی هم قرار گرفته و نهایتاً کل ضخامت جوش را کامل می کنند. توالی و اندازه هرکدام از

این پاس ها مهم است زیرا می تواند باعث ایجاد ترک یا پیچیدگی در قطعه جوش شود زیرا هر پاس زیری به تعداد پاس های روی آن، متاثر ازحرارت می شود.

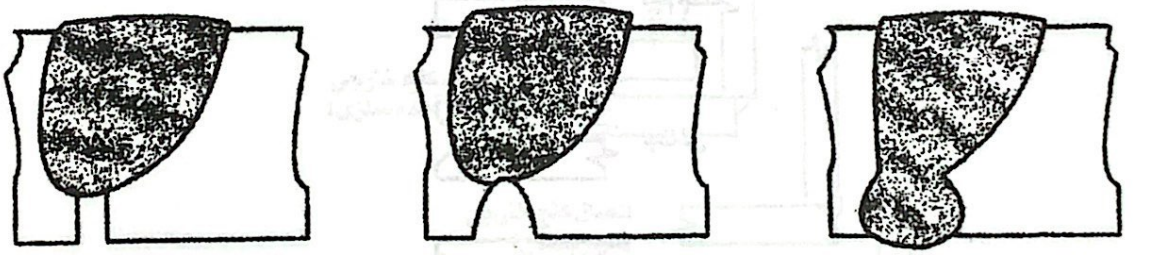


شکل ۱-۲۵. لایه های جوش

۱-۱۲.جوش شیاری

الف.جوش شیاری با نفوذ کامل

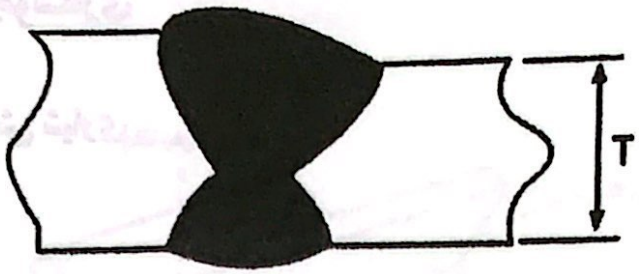
ضخامت گلوئی مؤثر (اندازه جوش) یک جوش شیاری با نفوذکامل برابر با ضخامت فلز پایه است. در اتصال دو ورق با ضخامت مختلف، ضخامت جوش برابر با ضخامت ورق نازکتر است.مطابق الزامات پیش پذیرفته آیین نامه جوش ، به منظور دستیابی به نفوذ کامل یا باید پشت درز جوش را توسط شیارزنی، آماده نموده و سپس توسط یک پاس جوش از پشت ، جوش اتصال کامل شود و یا به جای شیار زنی پشت از ورق پشت بند استفاده کرد.



الف.جوشکاری از طرفی که آماده سازی شده — ب. شیارزنی از طرف دیگر — ج. انجام جوشکاری از پشت شیار

شکل ۱-۲۶. مراحل اجرایی جوش شیاری بانفوذ کامل با استفاده از شیارزنی پشت

شکل ۱-۲۷. تامین جوش شیاری بانفوذ کامل با استفاده از ورق پشت بند

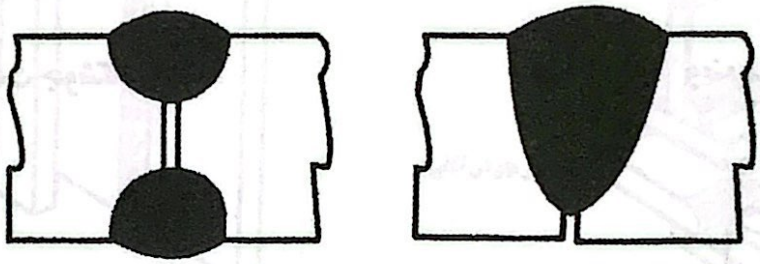


اندازه محاسباتی جوش برابر ضخامت ورق نازکتر اتصال است.

شکل ۱-۲۸. جوش شیاری بانفوذ کامل در ورق های با ضخامت مختلف

ب.جوش شیاری با نفوذ نسبی

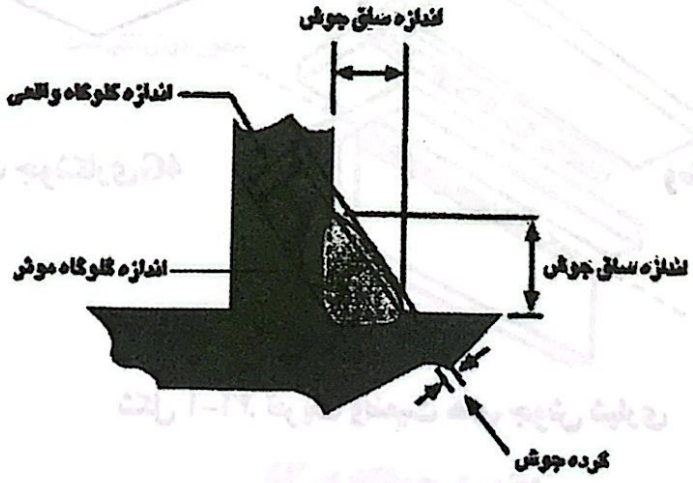
دریک جوش شیاری با نفوذ نسبی، ضخامت گلوئی مؤثر کمتر از ضخامت فلز پایه است.



الف - جوشکاری به صورت نفوذ نسبی از یک طرف انجام شده است. ب - جوشکاری به صورت نفوذ نسبی از دوطرف انجام شده است.

شکل ۱-۲۹. جوش شیاری با نفوذ نسبی

۱-۱۳. جوش گوشه



شکل ۱-۳۰. جوش گوشه

فصل دوم . عیوب جوش و پیچیدگی اعضای جوشی

۲-۱.عوامل مؤثر بر کیفیت جوش

به منظور دستیابی به یک جوش با کیفیت ، متغیرهای جوشکاری باید به درستی انتخاب شده و بکار گرفته شود . برخی از این متغیرها شامل نوع الکترود متناسب با فلز پایه از نظر نوع روکش و فلز پرکننده ، تکنیک جوشکاری ، وضعیت جوشکاری ، ساختار اتصال و مشخصه های الکتریکی شامل قطبیت ، آمپراژ و ولتاژ است.

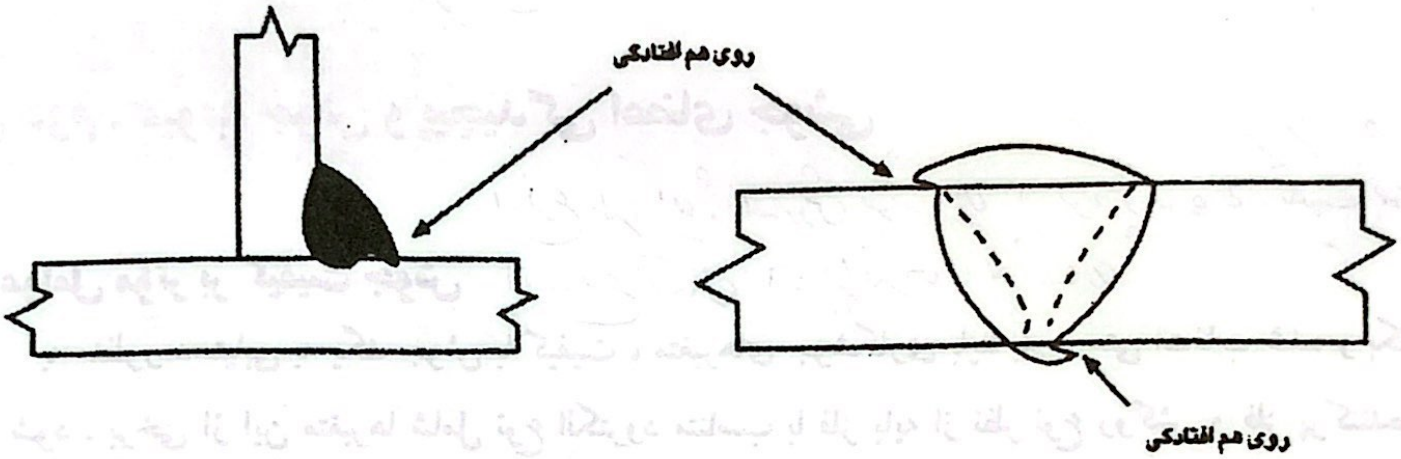
۲-۲.عیوب اصلی جوش

۱- روی هم افتادگی	Overlap
۲- بریدگی کناره جوش	Undercut
۳- آخال های سرباره	Slag inclusion
٤- ذوب ناقص	Lack of fusion (L.O.F)
٥- تخلخل	Porosity
٦- نفوذ ناقص	Lack of penetration (L.O.P)
۷- ترک درجوش	Crack
۸- پاشش یا جرقه زیاد	Spatter
۹- چاله جوش	Crater

۲-۲-۱.روی هم افتادگی (Overlap)

الف. تعریف

نقصی در کنار یا ریشه جوش که به علت جاری شدن فلز بر روی سطح فلز پایه و یا پاس جوش قبلی ایجاد می شود بدون اینکه ذوب و اتصال مناسب با آن ایجاد شود. این عیب می تواند اثری مانند بریدگی کناره جوش داشته باشد و یک منطقه تمرکزتنش ناشی از عدم یکنواختی در جوش ایجاد شود .



شکل ۲-۱. روی هم افتادگی

ب. علت

۱. سرعت حرکت کم جوشکاری

۲. زاویه نادرست الکترود

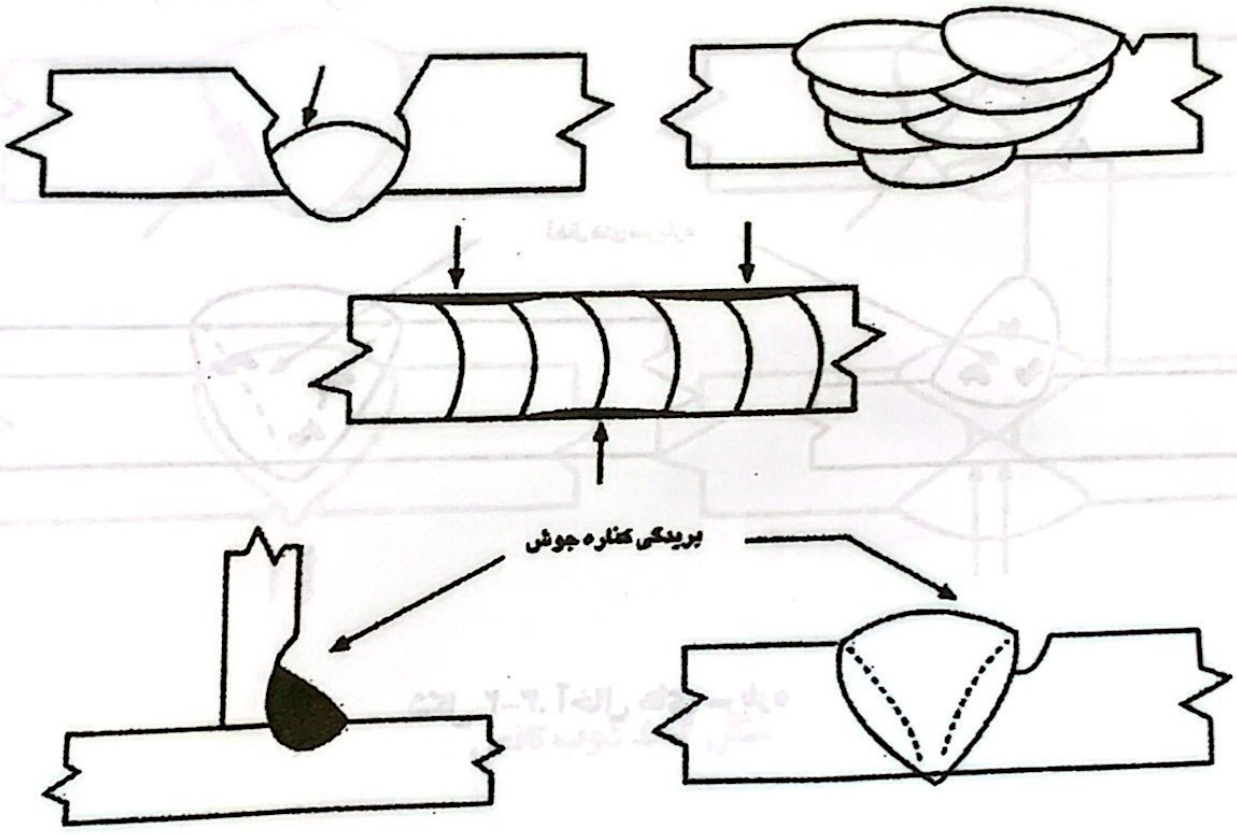
۳. استفاده از الکترود با قطر بالا

۴.آمپراژ خیلی کم

۲-۲-۲. بریدگی کناره جوش (Undercut)

الف.تعریف

شیاری است غیر یکنواخت بصورت کنگره ای در کنار یا ریشه جوش و یا لبه فلز پایه که ضمن کاهش سطح مقطع فلز پایه می تواند موجب ایجاد تمرکز تنش و یک منطقه مستعد برای ترک شود.



شکل ۲-۲. بریدگی کناره جوش

ب.علت

۱) آمپراژ زیاد

۲) طول قوس بلند

۳) حرکت موجی زیاد الکترود

۴) سرعت حرکت بسیار زیاد جوشکاری

۵) زاویه الکترود خیلی به سطح اتصال متمایل بوده است

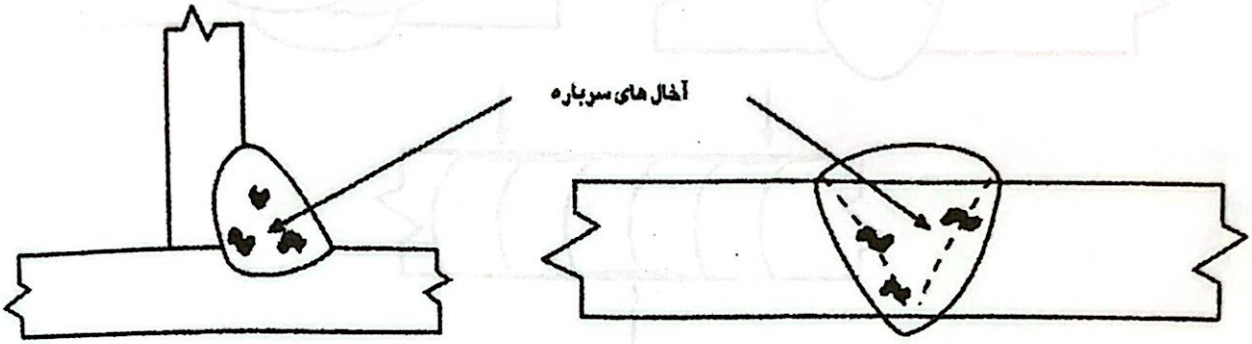
۶) سرباره با ویسکوزیته زیاد

۲-۲-۳.آخال های سرباره (Slag Inclusion)

الف.تعریف

به هر ماده غیر فلزی که در یک اتصال جوش باقی بماند ، آخال های سرباره می گویند. این آخال ها می توانند در مقطع جوش نقاط ضعیفی ایجادکنند. آخال های سرباره استحکام سطح مقطع جوش را کاهش داده و یک منطقه مستعد ترک ایجاد می کنند .

+ناخالصی های جامد شده



شکل ۲-۳. آخال های سرباره

ب.علت

۱) پاک نشدن مناسب سرباره از پاس های قبلی

۲) آمپراژ ناکافی

۳) زاویه یا اندازه نادرست الکترود

۴) آماده سازی نادرست

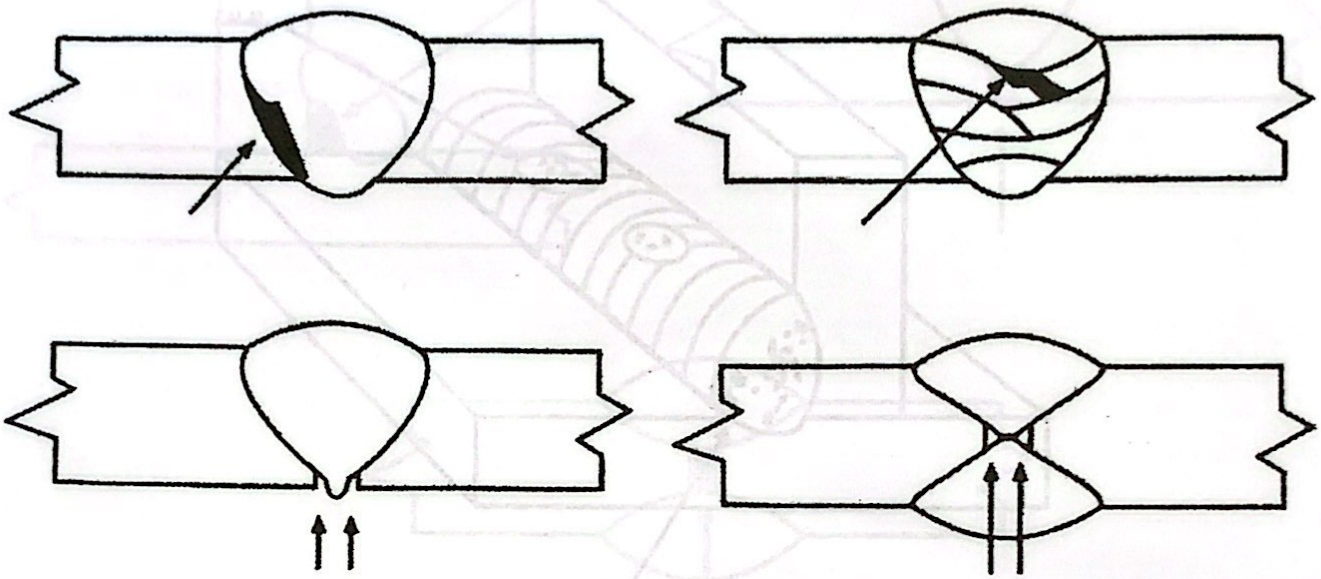
۵) طول قوس زیاد

LOF

۲-۲-٤. ذوب ناقص (Lack of Fusion)

الف.تعریف

عدم اتصال بین فلز جوش و فلز پایه یا بین لایه های جوش که اتصال جوش را ضعیف کرده و یک منطقه مستعد ایجاد ترک خستگی ایجاد می شود .



شکل ۲-٤. ذوب ناقص

ب.علت

۱) استفاده از الکترودهای کوچک برای فولاد ضخیم و سرد

۲) آمپراژ ناکافی ← آمپر پایین یا بالا

۳) زاویه الکترود نامناسب

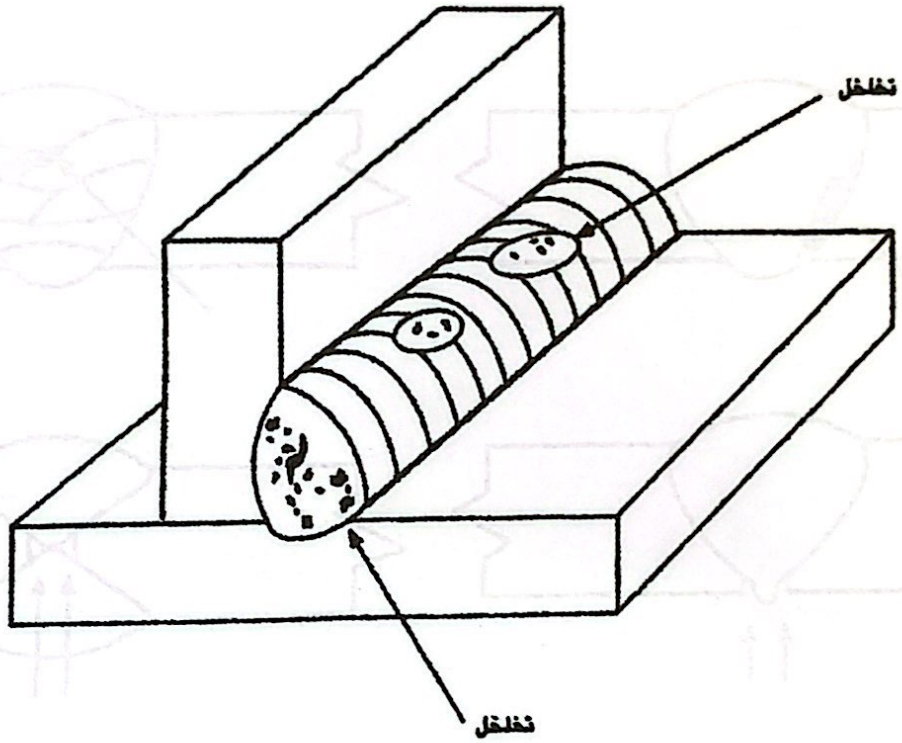
۴) سرعت حرکت بسیار زیاد جوشکاری

۵) سطح آلوده (پوسته نورد ، لکه ، روغن و ...)

۲-۲-۵. تخلخل (Porosity)

الف.تعریف

تخلخل سوراخ یا حفره ای است که به صورت داخلی یا خارجی در جوش دیده می شود که به نام های (مک لوله ای) ، (مک سطحی) یا (سوراخ های کرمی) نیز شناخته می شود که موجب کاهش استحکام اتصال جوشی می شود. تخلخل سطحی به اتمسفر خورنده اجازه می دهد که فلز جوش را مورد حمله قرار دهد و موجب خوردگی آن شود.



شکل ۲-۵. تخلخل

ب.علت

۱.سطح فلز پایه مرطوب و یا آلوده مثل آلودگی های روغن ، غبار ، لکه یا زنگار

۲.مرطوب بودن و یا شکستگی روپوش الکترود

۳.محافظت گازی ناکافی از قوس الکتریکی و حوضچه مذاب

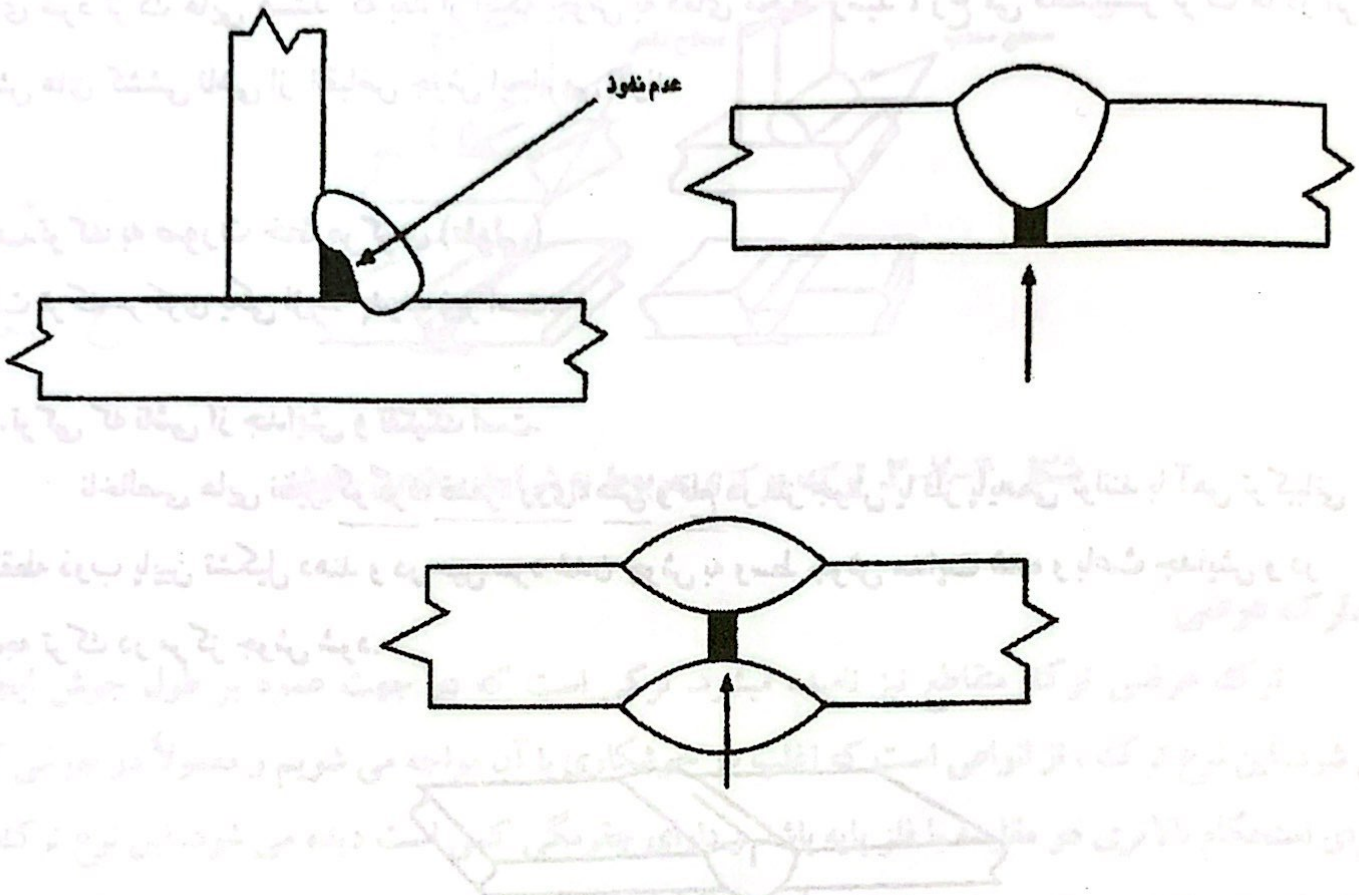
۴.وجود مقادیر بالای گوگرد و فسفر در فلزات پایه

LOP

۲-۲-٦. عدم نفوذ (Lack Of Penetration)

الف.تعریف

عدم نفوذ کامل فلز جوش.در ریشه اتصال که موجب ضعف اتصال جوشی و ایجاد یک منطقه مستعد ترک خستگی می شود.



شکل ۲-٦. عدم نفوذ

ب.علت

۱) آمپراژ بسیار پائین

۲) فاصله ریشه ناکافی

۳) استفاده از الکترود با قطر بالادرپاس ریشه

۴) سرعت حرکت زیاد جوشکاری

ترانس : AC ← AC

یکسوساز : DC ← AC

+ عدم نفوذ با آمپراژ پایین تصحیح دارد.

۲-۲-۷.ترک در جوش (Crack)

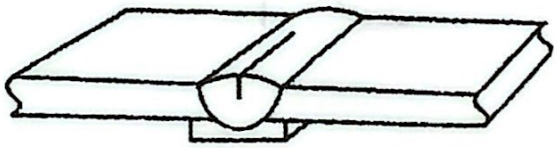
منظور از ترک ، پدیده ای است که در اثر عواملی مانند انجماد سریع (ترد شدن منطقه جوش) و تنش های داخلی ناشی از انقباض جوش ، ایجاد می شود. ترک ها از نظر زمان ایجاد به دو نوع ترک گرم و ترک سرد تقسیم بندی می شوند. ترک های گرم ، ترک هایی هستند که در دماهای بالا رخ می دهند و ترک های سرد ترک هایی هستند که بعد از اینکه جوش به دمای محیط رسید ، رخ می دهد.بیشتر ترک ها در اثر تنش های کششی ناشی از انقباض جوش ایجاد می شوند.

الف.ترک به صورت خط مرکزی (طولی)

علت ترک مرکزی یکی از سه پدیده زیر است:

۱.ترکی که ناشی از جدایش و تفکیک است.

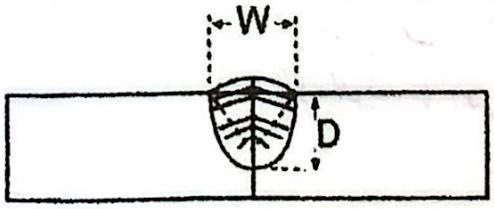
ناخالصی هایی نظیر گوگرد، فسفر، روی، مس و قلع در فلز جوش یا فلز پایه می توانند با آهن ترکیباتی با نقطه ذوب پایین تشکیل دهند و در حین سرد شدن جوش به وسط جوش هدایت شده و باعث جدایش و در نتیجه ترک در مرکز جوش شود.



شکل ۲-۷-۱. ترک مرکزی ناشی از جدایش و تفکیک

۲.ترکی که مربوط به شکل گرده جوش است.

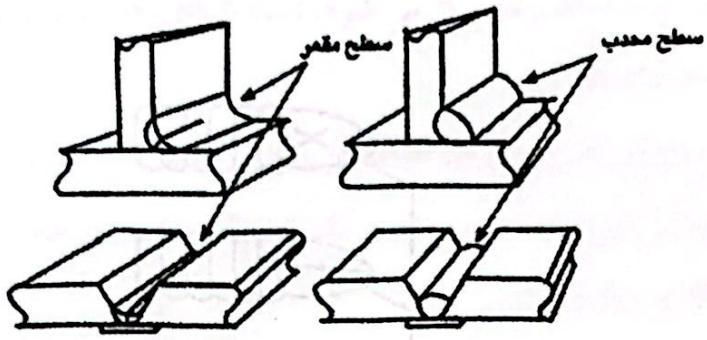
این نوع ترک بیشتر در جوش های تک پاسه اتفاق می افتد. اگر یک پاس جوش دارای عمق بیشتری نسبت به عرض آن باشد و یا اینکه پهنای جوش زیاد ولی عمق نفوذ خیلی کم باشد،این نوع ترک اتفاق می افتد. توصیه می شود که نسبت پهنای جوش به عمق آن ۱ به ۱ یا ۱/۴ به ۱ باشد تا از ایجاد این ترک جلوگیری شود.



شکل ۲-۷-۲. ترک مرکزی مربوط به شکل گرده جوش

۳. ترکی که مربوط به شرایط سطحی جوش است.

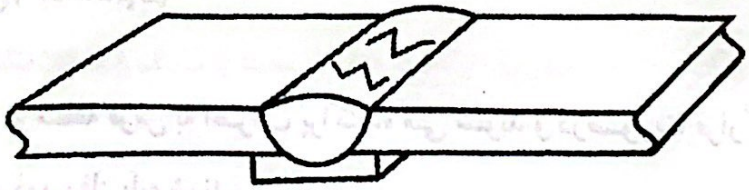
اگر جوش هایی با سطح مقعر اجرا شود، تنش های ناشی از انقباض های داخلی می شود که سطح جوش تحت کشش قرار گرفته و موجب ایجاد ترک در خط مرکزی جوش شود.



شکل ۲-۷-۳. ترک مرکزی مربوط به شرایط سطحی جوش

ب.ترک عرضی

ترک عرضی ترک متقاطع نیز نامیده میشود. ترکی است که در جهت عمود بر طول جوش ایجاد می شود. این نوع ترک ، از انواعی است که اغلب در جوشکاری با آن مواجه می شویم و معمولاً در جوشی که دارای استحکام بالاتری در مقایسه با فلز پایه باشد و دارای چقرمگی کمی است دیده می شود. این نوع ترک با نفوذ زیاد هیدروژن به منطقه جوش و افزایش تنش های پسماند و سرد شدن سریع جوش ، تشدید می شود.



شکل ۲-۸ ترک عرضی

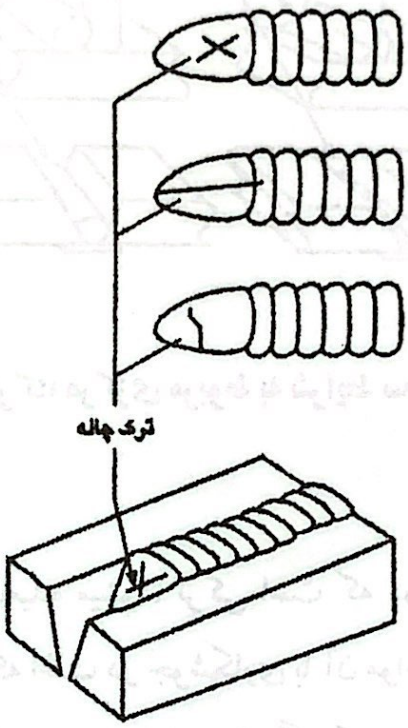
ج.ترک منطقه متاثر از حرارت جوش

این نوع ترک به صورت طولی در کنار نوار جوش روی فلز پایه اتفاق می افتد و زمانی رخ می دهد که سه شرط زیر در محل اتصال برقرار باشد:

- نفوذ هیدروژن زیاد در منطقه جوش
- افزایش تنش های پسماند
- ترد شدن منطقه جوش (دراثر سرد شدن سریع جوش ، وجود کربن زیاد در فلز پایه)

۲-۲-۸. چاله جوش (Crater)

چاله جوش ، حوضچه هایی است که در انتهای جوش اتفاق می افتد و با ترک هایی از مرکز حوضچه به اطراف همراه است که گاهی به این ترک، ترک ستاره ای نیز گفته می شود. ترک چاله جوش، ترک انقباضی بوده و معمولاً از قطع ناگهانی قوس ناشی می شود. ترک چاله جوش معمولاً به سه صورت طولی ، عرضی و ستاره ای دیده می شود.



شکل ۲-۹. چاله جوش

۲-۲-۹. پاشش یا ترشح(Spatter)

الف.تعریف

قطرات مذاب که از منطقه قوس به اطراف پراکنده می شوند و درصورت قرارگرفتن در محل درز جوش می تواند باعث عدم ذوب فلز پایه شوند.

ب.علت

۱- آمپراژ زیاد

۲-طول قوس بلند

۳-استفاده از الکترود مرطوب

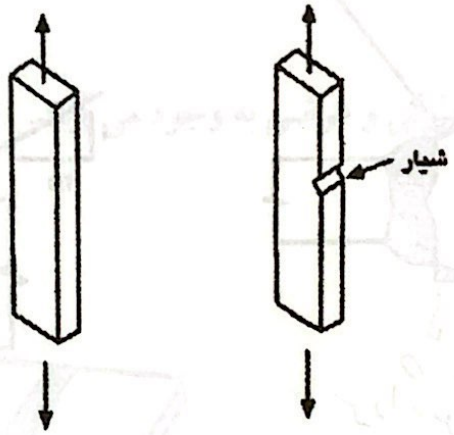
۴-وزش قوس

۲-۳.تمرکز تنش

محل تمرکز تنش ناحیه ای از قطعه است که در آن تنش ها بیشتر از سراسر باقیمانده مساحت مقطع عرضی متمرکز می شوند. این تمرکز تنش برای سازه، یک نقطه شکست زودرس می باشد.

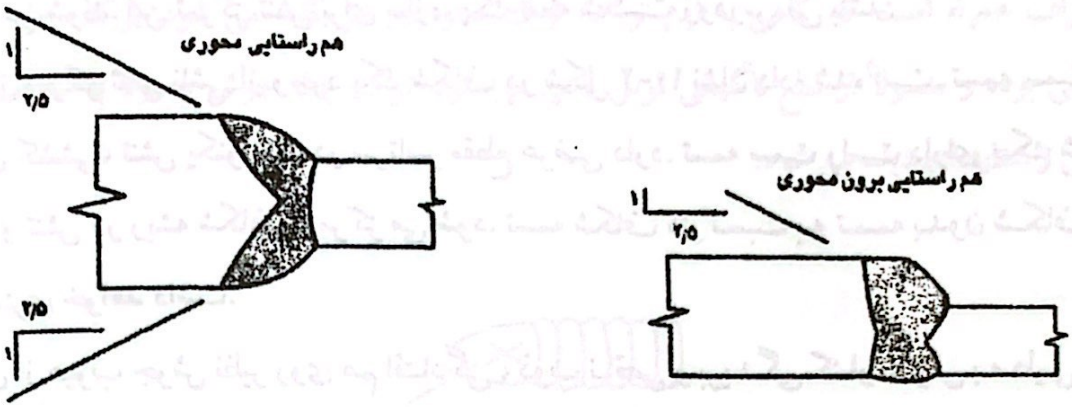
نمونه ساده ای از تمرکز تنش ناشی از وجود یک شکاف در شکل ۲-۱۰ نشان داده شده است. تسمه سمت چپ تحت بارگذاری کششی، تنش یکنواخت در سرتاسر مقطع عرضی دارد. تسمه سمت راست دارای یک شکاف تیز در لبه است و تنش در ریشه شکاف متمرکز می شود. تسمه شکاف دار نسبت به تسمه بدون شکاف عمر بهره برداری کمتری خواهد داشت.

بسیاری از عیوب جوش نظیر روی هم افتادگی ، ذوب ناقص و بریدگی کنار جوش به دلیل ایجاد تمرکز تنش در اتصال غیرقابل قبول شناخته می شوند که می توانند تحت بار بهره برداری عملکردی شبیه به شکاف در نمونه آزمایشگاهی داشته باشند.

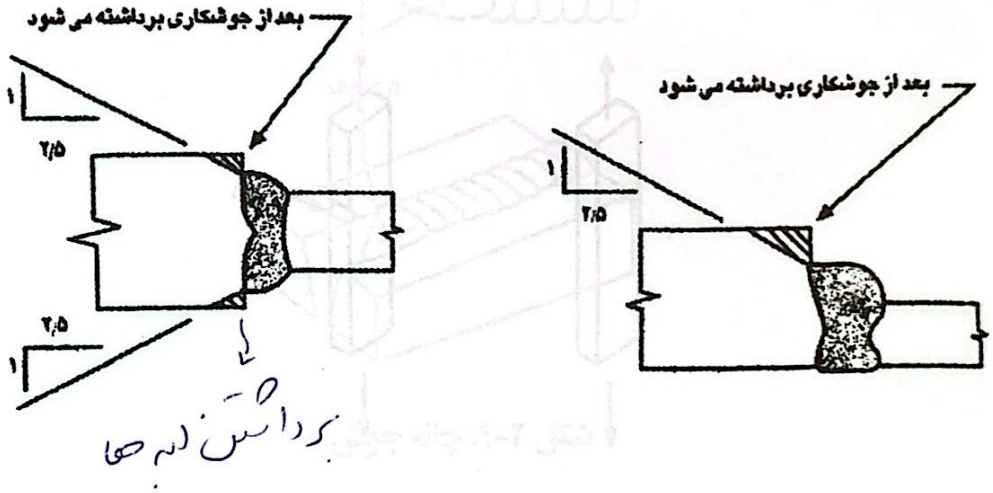


شکل ۲-۱۰. مقایسه ظرفیت باربری تسمه با شکاف و بدون شکاف

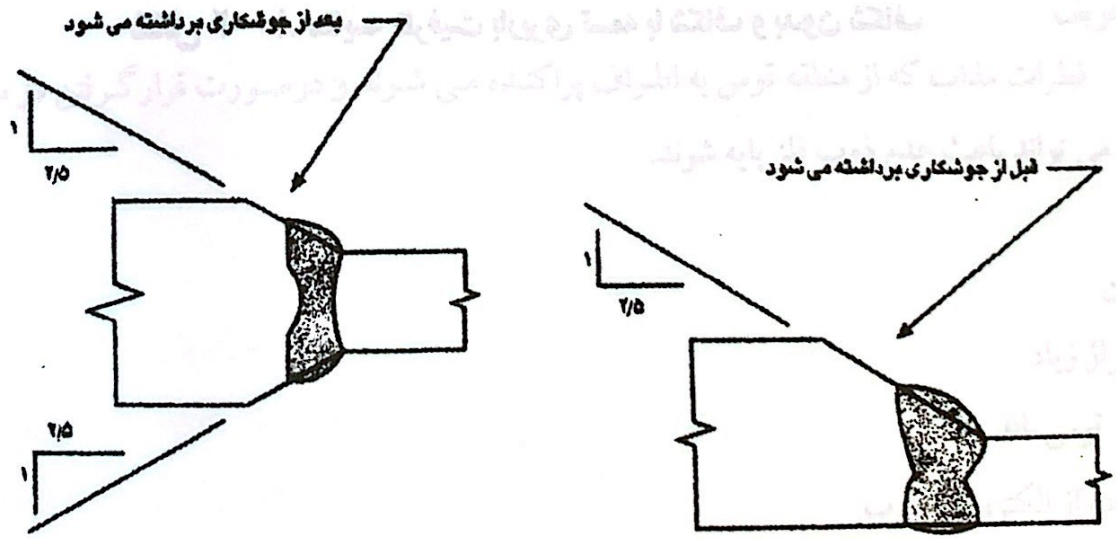
۲-۳-۱. انتقال در اتصالات لب به لب ورق با ضخامت های نامساوی



انتقال با شیب دادن به سطح جوش



انتقال با شیب دادن به سطح جوش و پخ زنی



شکل ۲-۱۱. انتقال در اتصالات لب به لب با ضخامت های نامساوی

۲-٤. پیچیدگی

فلزات با حرارت دیدن انبساط می یابند و وقتی سرد می شوند منقبض میـــشوند . فلزات درحین جوشکاری گرم و سرد می شوند که موجب تنشهای بالای انقباضی وانبساطی ودرنتیجه اعوجاج می شود.

۲-٤-۱. عوامل مهم بوجود آمدن اعوجاج و پیچیدگی

الف. حرارت دادن موضعی ، شدت منبع حرارتی و همچنین نحوه سرد شدن

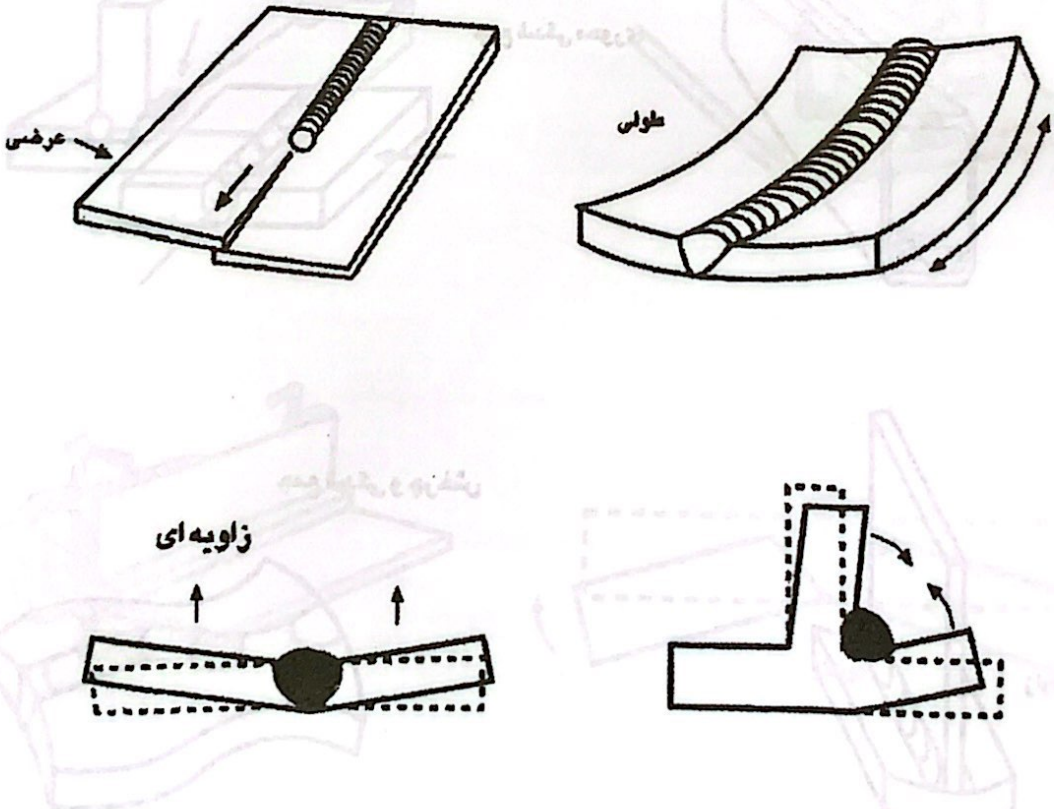
ب. گیرداری قطعه برای جلوگیری از تغییرات انبساط و انقباض (مهارها یا در طرح قطعه وجود دارند یا از طریق مکانیکی نظیر گیره ها و بست ها ، خال جوش و... اعمال می شود).

ج. تنش های پسماند در قطعه

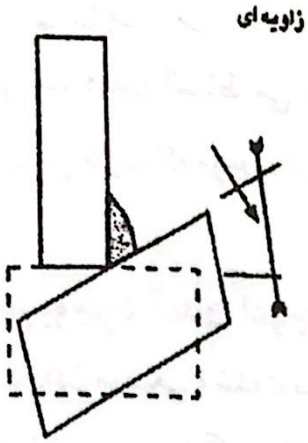
د. خاصیت هدایت حرارتی فلز مورد جوشکاری، ضخامت قطعه ، ضریب انبساط حرارتی

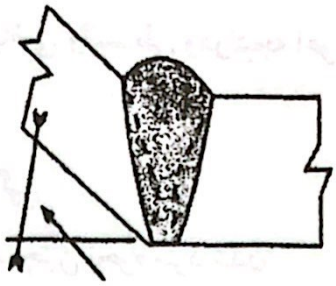
۲-٤-۲. انواع پیچیدگی

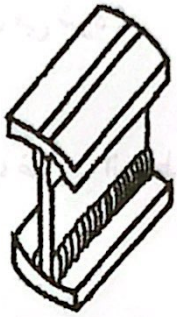
پیچیدگی ها بصورت انواع زاویه ای ، طولی و عرضی به وجود می آیند.

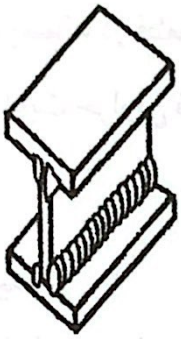


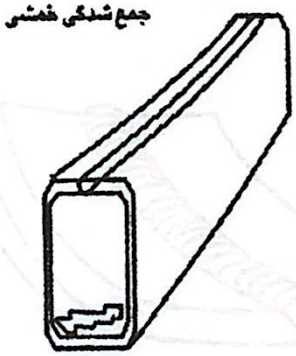
شکل ۲-۱۲. انواع پیچیدگی

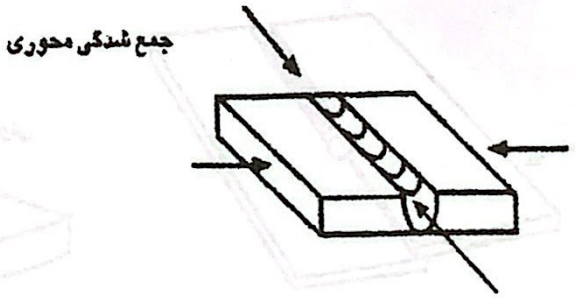


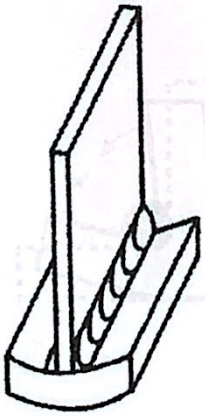


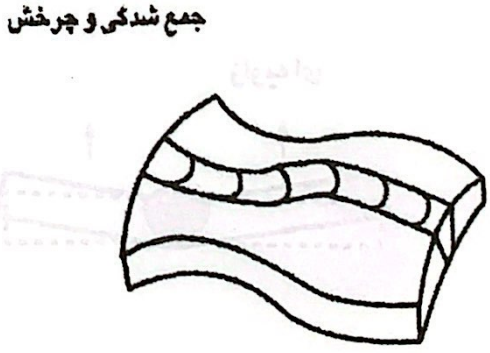












ادامه شکل ۲-۱۳. انواع پیچیدگی

۲-٤-۳. مراحل کنترل پیچیدگی

الف) قبل از جوشکاری

ب) حین جوشکاری

ج) بعد از جوشکاری

الف) کنترل پیچیدگی قبل از جوشکاری توسط روش های زیر انجام می شود

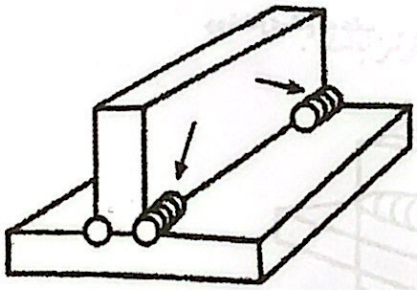
۱ – خال جوش زدن

۲ – استفاده از گیره ، بست و نگهدارنده

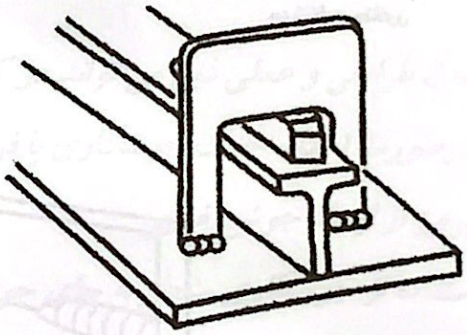
۳ – پیشگرمایش کامل و سرتاسری

۴ – مونتاژ اولیه مناسب (پیش خم کردن)

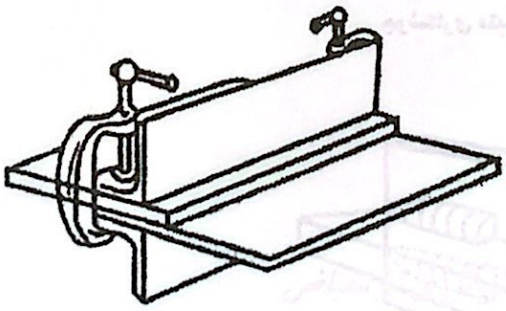
۵ – تغییر در طراحی اتصال

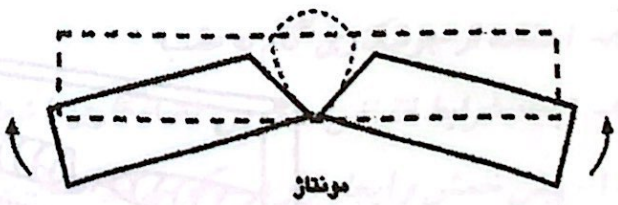


خال جوش



بست





مونتاژ

شکل ۲-۱٤. کنترل پیچیدگی قبل از جوشکاری

ب) کنترل پیچیدگی در حین جوشکاری

۱- جوشکاری گام به عقب

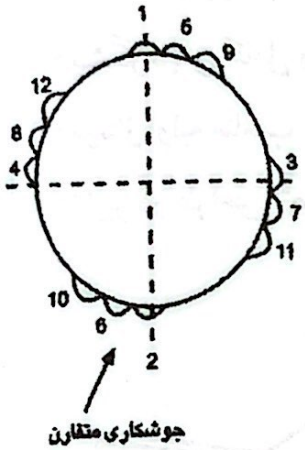
۲- جوشکاری زنجیری منقطع

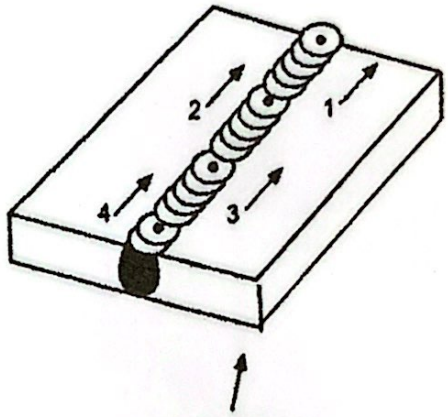
۳- جوشکاری متباعد منقطع

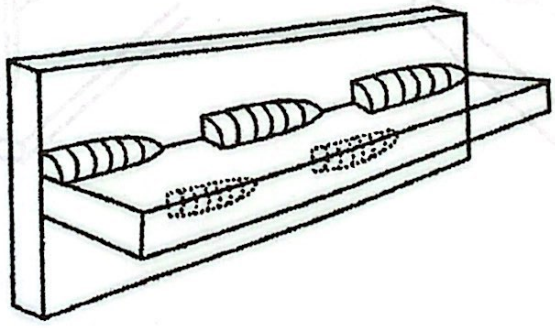
۴- جوشکاری متقارن

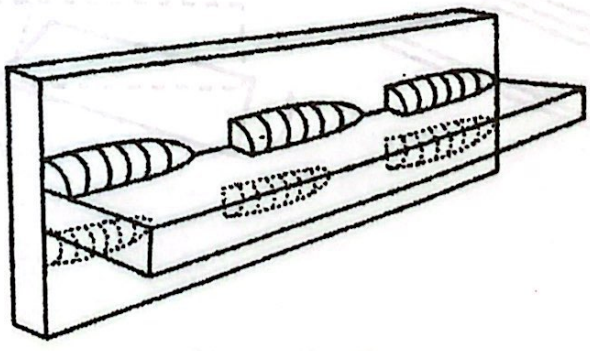
۵- استفاده از حداقل حجم جوش

۶- اعمال حرارت ورودی کم






جوشکاری متباعد منقطع


جوشکاری زنجیری منقطع

شکل ۲-۱۵. کنترل پیچیدگی حین جوشکاری

ج) کنترل پیچیدگی پس از جوشکاری

۱- سرد کردن آرام (پس از عملیات جوشکاری، قطعه جوشکاری شده به آرامی سرد می شود.)

۲- صافکاری شعله ای (حرارت دهی معکوس) (طرف مقابل ناحیه پیچیده یا منحنی شده با شعله حرارت داده می شود، پس از سرد شدن پیچیدگی از بین می رود.)

۳- تنش زدائی (رساندن دمای قطعه جوشکاری شده بین ۵۵۰ تا ۶۵۰ درجه ، نگهداری در این دما و سپس سرد کردن آهسته.مدت زمان نگهداری قطعه در دمای فوق متناسب با ضخامت قطعه است.)

۴- صافکاری مکانیکی شامل :

۱- پرس کاری

۲- چکش کاری

۳- نورد

مطابق با آیین نامه جوشکاری سازه های فولادی AWS D1.1 اعوجاج های ناشی از جوشکاری باید به کمک وسایل مکانیکی و یا حرارت موضعی محدود رفع شود. درجه حرارت که باید به کمک روش های مطمئن اندازه گیری شود، برای فولادهای ساختمانی معمولی نباید از ۶۵۰ درجه سانتیگراد تجاوز نماید.

تذکر: اصول طراحی و عملی ذیل می تواند در کنترل پیچیدگی مؤثر باشد :

۱- درصورت امکان حذف جوشکاری با فرم دادن یا نورد ورق

۲- پرهیز از ایجاد جوش اضافی

۳- استفاده از جوشکاری منقطع به جای جوشکاری پیوسته

۴- در صورت امکان جوشکاری نزدیک به محور خنثی

۵- استفاده از شیار دوطرفه بجای شیار یک طرفه

۶- استفاده از جوشکاری متقارن

۷- کم کردن تعداد پاس ها

۸- استفاده از جوشکاری گام به عقب

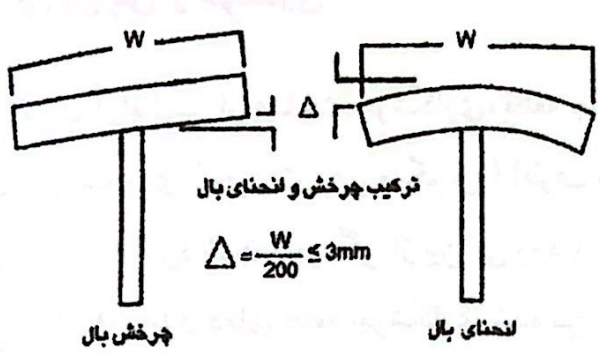
۹- ایجاد شرایط انقباض معکوس (صافکاری با شعله)

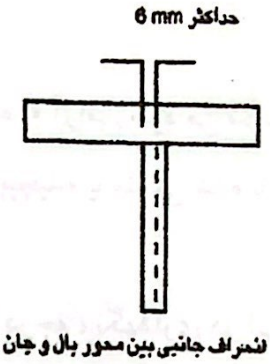
۱۰- پیش خمش و ایجاد زاویه معکوس در اتصال برای جلوگیری از انقباض

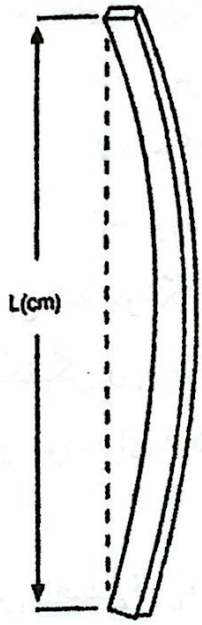
۱۱- استفاده از گیره ، نگهدارنده و بست

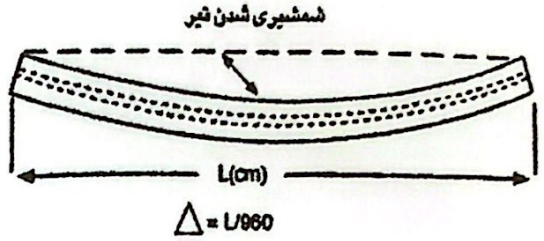
۱۲- کم کردن حرارت ورودی (کم کردن آمپراژ و ولتاژ، زیاد کردن سرعت جوشکاری)

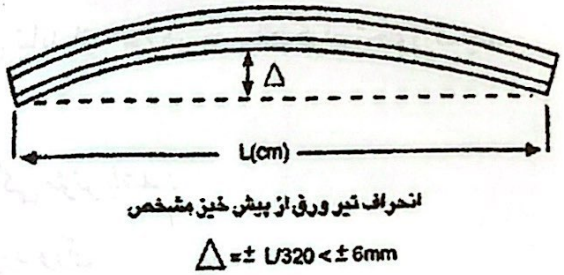
۱۳- چکش کاری









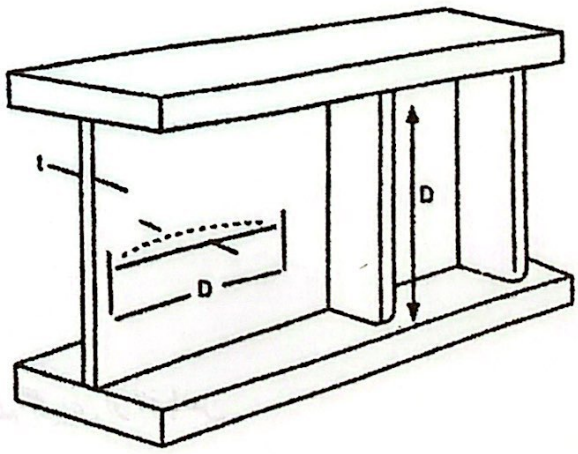


L < 1350 cm

Δ = L/960 < 1 cm

L > 1350 cm

Δ = (L-450)/960



سخت کننده میانی در هر دو طرف جان

t < D/150 → Δ = D/120

t ≥ D/150 → Δ = D/150

سخت کننده میانی در یک طرف

t < D/100 → Δ = D/100

t > D/100 → Δ = D/150

بدون سخت کننده → Δ = D/150

رواداری در ارتفاع

D ≤ 90 cm	± 3 mm
90 < D ≤ 180 cm	± 5 mm
D > 180 cm	+ 8 mm, -5 mm

شکل ۲-۱۶. رواداری های مجاز ساخت توصیه شده در آیین نامه AWS D1.1

فصل سوم . بازرسی جوش وآزمایش های غیرمخرب

۳-۱. ضرورت بازرسی

برای حصول اطمینان ازکیفیت جوش ومطابقت آن با خواسته استانداردهای جوش ، باید کلیه عوامل جوشکاری در مراحل مختلف اجراء مورد بازرسی وکنترل دقیق قرارگیرد. این بازرسی باید طوری تنظیم شود که یافتن عیوب به پایان کار موکول نشـود و درکلیه مراحل اجـراء از خراب شدن جوش جلوگیری شود ودر صورت بروز خرابی ، علل آن تعیین و راهها و وسایل بر طرف نمودن عیب پیشنهاد گردد. استقرار دستگاه بازرسی در کارگاه ساخت قطعات جوش شده از هزینه دوباره کاریها کاسته و با کسب تجربه درمراحل اولیه هر نوع کار از پیش آمدن عیوب در مراحل بعدی یا کارهای مشابه جلوگیری می شود.

۳-۲. خصوصیات بازرس

۱) بازرس جوش بایستی با نقشه های مهندسی آشنائی کامل داشته و از روی علائم جوش ، محل اتصالات جوش و نوع جوشها را شناسایی کند.

۲) با استانداردهای جوش سازه های فلزی آشنایی کافی داشته باشد.

۳) ا ز فرآیندهای جوشکاری و مواد مصرفی جوش اطلاعات کافی داشته باشند.

۴) با آزمایشات غیرمخرب و مخرب آشنایی داشته باشند.

۵) توانائی آزمایش تایید صلاحیت جوشکاری را داشته باشند.

۶) اطلاعات کافی از متالورژی جوش داشته باشند تا درهنگام ضرورت قادر به تجزیه و تحلیل مسائل مهندسی جوش باشند.

۷) در جوش تجربه داشته و عیوب جوش را بشناسند وروشهای پیشگیری یا رفع آنها را بدانند.

۸) روشهای بازرسی جوش را آموخته وتجربه کافی در این زمینه داشته باشند.

۹) گزارشات کنترل کیفیت را در مراحل مختلف ساخت ، تهیه وثبت نمایند.

۳-۳. مراحل بازرسی جوش

- بازرسی قبل از جوشکاری
- بازرسی حین جوشکاری
- بازرسی بعد از جوشکاری

۳-۳-۱. بازرسی قبل از جوشکاری

۳-۳-۱-۱. اطلاع از کیفیت مورد نظر کار و میزان حساسیت سازه

بازرس باید قبل از شروع کار در مورد حساسیت سازه اطلاع پیدا کند. از آنجا که معیارهای پذیرش عیوب در سازه هایی که تحت بار استاتیک بار گذاری شده اند با سازه های تحت بار دینامیکی تفاوت می کند. لذا شناخت موقعیت نصب سازه ، شرایط بارگذاری ها و حساسیت کار در دید بازرس خیلی می تواند تأثیر گذار باشد.

۳-۳-۱-۲. مطالعه دقیق نقشه ها و مشخصات فنی

نوع اتصالات، بُعدجوش ها وطول جوش ها و محل های لازم برای جوشکاری از مواردی هستندکه در نقشه های سازه ای مشخص شده اند و ملاک بازرس در این موارد نقشه های فنی مربوط به سازهٔ مورد نظر است لذا با مطالعه نقشه ها می تواند حد پذیرش بُعد و اندازه جوشها را تعیین و مورد بازرسی قرار دهد.

۳-۳-۱-۳. مطالعه استانداردهای مربوطه

از آنجا که نحوه بازرسی ، معیارهای تائید یا رد جوشها باید براساس استاندارد مشخص صورت گیرد ، لذا شناخت و بررسی استاندارد مورد نظر که در مورد سازه های فلزی به طور مثال در این جزوه آیین نامه AWS D1.1 می باشد قبل از شروع کار امری ضروری است.

۳-۳-۱-٤. اطمینان ازمناسب بودن شرایط کاری و محیطی برای جوشکاری

شرایط محیطی و کاری مجاز برای جوشکاری به قرار زیر است :

۱- دمای محیط کار بالاتر از ^{oC} ۱۸- باشد.

۲- دمای ورق بالاتر از صفر درجه سانتیگراد باشد.

۳- محل جوشکاری در معرض وزش باد و طوفان نباشد.

۴- محل جوشکاری در معرض ریزش باران و برف نباشد.

۵- موقعیت استقرار جوشکار مناسب و مساعد برای جوشکاری باشد.

۳-۳-۱-۵. مطالعه دستورالعمل جوش (WPS)

ملاک اجرای عملیات جوشکاری دستورالعمل جوش (WPS) است. یک بازرس میتواند دستورالعمل جوشکاری (WPS) مربوط به سازه فلزی مورد نظر را تدوین و تهیه کند یا اینکه دستورالعمل جوشکاری توسط یک مهندس جوش تدوین و تائید شده باشد و بازرس با در دست داشتن دستورالعمل مربوطه تمامی بندهای دستورالعمل را در ابتدای شروع کار به اپراتور و کارشناسان پروژه توضیح داده وسپس مطابق آن کنترل های لازم را اعمال نماید.

موارد مهمی که در دستورالعمل جوشکاری (WPS) باید به آن اشاره شود عبارتند از :

نوع فرایند جوشکاری- نوع و ضخامت ورق مصرفی- نوع و قطر الکترود مصرفی- مشخصات الکتریکی دستگاه جوش و اتصال الکترود- آمپراژ و ولتاژ جوشکاری- ترتیب جوشکاری - نحوه تکنیک جوشکاری- سرعت جوشکاری- حرارت ورودی- عملیات حرارتی پیشگرم ویاپسگرم کردن .

۳-۳-۱-٦. شناسایی فلز پایه

ورق ها باید از نظر ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی کنترل شوند چون اغلب دیده شده است که ورق های خریداری شده از بازار بعضاً دارای خواص مکانیکی مغایر با کُد فولاد آن هستند، لذا باید به منظور بررسی خواص مکانیکی ورق نمونه برداری انجام داده وآزمایش کشش جهت بررسی استحکام فولاد صورت گیرد. ضمناً از نظر ظاهری ورق ها باید کنترل و بازرسی شوند زیرا در برخی موارد سطوح ورق ها دارای ترک ، ناپیوستگی های زیاد زنگ زدگی شدید و در مواردی از نظر ابعاد ناگونیا و دارای عرض های متفاوت در طول ورق می باشند.

در مواردی که سطح ورق ها دارای ناپیوستگی های با عمق زیاد و یا سوراخ باشد و نیاز به این باشد که با جوش تعمیر شود بهتر است اولاً این مواد با الکترودهای کم هیدروژن مثل E 7018 اصلاح شوند ثانیاً پس از جوشکاری با آزمایش های PT یا MT از کیفیت کامل موضع جوشکاری شده اطمینان حاصل کرد.

۳-۳-۱-۷. بازرسی مواد مصرفی جوشکاری

بازرسی مواد مصرفی جوش توسط بازرس می تواند به دو صورت انجام گیرد :

۱- اخذ گواهی از شرکت های سازنده الکترود ، پودر یا مفتول جوشکاری

۲- انجام آزمایش بر روی خواص جوش الکترود و یا پودر و مفتول مصرفی جوش

الف) در صورت انجام آزمایش بر روی خواص جوش در استاندارد AWS A 5.1 برای تست الکترود روش نمونه سازی آزمایش آنالیز شیمیایی ونیز روش جوشکاری و نمونه سازی آزمایشات مکانیکی آمده است.

روش بررسی آنالیز شیمیایی جوش به این صورت است که روی یک ورق چندلایه ودرهر لایه چند پاس جوشکاری میشود بطوریکه ارتفاع لایه های جوش از سطح ورق تا حدود۲۰ میلیمتر حد اقل برسد سپس سطح لایه آخر جوش را سنگ زده و با آنالیز شیمیایی لایه آخر جوش بوسیله دستگاههای آنالیز کننده میتوان ترکیب شیمیایی عناصر تشکیل دهنده فلز جوش را شناسایی و سپس با جداول استاندارد مذکور مقایسه و نسبت به تائید یا ردآن تصمیم گرفت(شکل ۳-۱).روش بررسی خواص مکانیکی فلز جوش به این صورت است که دو ورق با ابعاد مشخص که هر کدام با زاویه۱۰درجه پخ زده شده اند مطابق شکل۳-۲ دو ورق بهم متصل شده و داخل درز اتصال با الکترود مورد نظر جوشکاری می شود و پس از اتمام جوش قطعه جوشکاری شده را به واحدهای تراشکاری ارسال و از داخل فلز جوش یک نمونه کشش طولی از فلز خالص جوش با مشخصات مطابق استاندارد مذکور و پنج نمونه آزمایش ضربه شارپی نیز بطوریکه وسط نمونه ها فلز جوش با شد مطابق استاندارد تهیه و سپس نسبت به آزمایش مکانیکی کشش و ضربه اقدام می گردد. نتایج بدست آمده را با مشخصات جداول در استاندارد مقایسه و نسبت به تائید یا رد الکترود اقدام می گردد .

۳-۳-۱-۸. آزمون جوشکاران و اپراتورها

تمامی جوشـــکاران باید قبل از جوشـــکاری بر روی سازه فلزی توسط بازرس تعیین صلاحیت شوند بازرس باید متنا سب با نوع نیاز و روش و الکترود و نحـوه اتصالات جوش در سازه از جوشکاران آزمایش مطابق استاندارد بعمل آورد و پس از تائید ، متناسب با نوع تائیدیه و گواهی که هر جوشکار در یافت می کند باید در پروژه از وی استفاده شود . جوشکارانی که کیفیت جوش آنها تائید نشده است نمی توانند جوشکاری کنند.

۳-۳-۱-۹. بازرسی تجهیزات جوشکاری

دستگاه های جوش از نظر کالیبره بودن آمپراژ دستگاه ، تطابق دستگاه جوش و جریان مصرفی با نوع الکترود از مواردی است که قبل از شروع کار بازرس باید مورد بررسی قرار دهد.

۳-۳-۱-۱۰. بازرسی طرح اتصال

طرح اتصال مناسب در تضمین کیفیت نهایی جوش خیلی مؤثر است لذا بازرس باید مطابق با دستورالعمل جوشکاری هر نوع اتصال، شرایط آماده سازی آن را قبل از شروع جوشکاری مورد بازرسی قرار دهد.

۳-۳-۱-۱۱. بازرسی در بکارگیری قید و بند و خال جوش

نحوهٔ خال جوش زدن ها و بکارگیری قیدوبندها در کنترل پیچیدگی مؤثر است ، لذا بازرس باید قبل از شروع جوشکاری از این روش ها برای کاهش و پیشگیری از پیچیدگی استفاده نماید. ضمن اینکه مهاربندی خیلی زیاد سازه نیز مفید نیست چون ممکن است باعث ترک در جوش شود.

۳-۳-۲. بازرسی حین جوشکاری

۳-۳-۲-۱. بازرسی قطعات متصل شونده و درزهای آماده جوشکاری

قطعاتی که باید بوسیله جوش گوشه به یکدیگر جوش شوند باید تا حد امکان در تماس نزدیک با یکدیگر قرار گیرند فاصله ریشه (باز شدگی درز) نباید از ۵ mm بزرگتر باشد، مگر اینکه ضخامت قطعات از ۷۵ mm بزرگتر شوند در حالت اخیر حداکثر فاصله ریشه تا ۸ mm قابل پذیرش است. به شرط اینکه پشت بند مناسب برای درز جوش تعبیه شود.اگر فاصله ریشه از ۲ mm بزرگتر شود اندازه ساق جوش باید به اندازه فاصله درز اضافه شود.

قطعاتی که با جوش شیاری بصورت لب به لب به یکدیگر متصل می شوند باید با دقت با یکدیگر همتراز شوند حداکثر ناهمترازی بین دو قطعه مساوی ۱۰ درصد ضخامت قطعه نازکتر یا حداکثر ۳ mm است.

۳-۳-۲-۲. بازرسی محل های جوش و سطوح مجاور

به منظور اطمینان از تمیزی وعدم آلودگی با موادی که اثرات زیانبخش بر جوش دارند : مثل رطوبت، چربی، رنگ و زنگ .

۳-۳-۲-۳. بازرسی سطوح برشکاری شده

قبل ازجوشکاری لبه های برشکاری شده ورق با شعله باید سنگ زده شود ، درغیر اینصورت پوسته اکسیدی روی لبه ها و سطوح اتصال در حین جوشکاری باعث عدم ذوب کامل ورق درهنگام جوشکاری خواهد شد.

۳-۳-۲-٤. بازرسی ترتیب وتوالی جوشکاری

استفاده از ترتیب و توالی صحیح جوشکاری باعث کاهش پیچیدگی و نیز پیشگیری از ترک خواهد شد.

۳-۳-۲-۵. بازرسی نحوه استفاده از الکترودهای با روپوش قلیا ئی (کم هیدروژن)

الکترودهای جوشکاری باید از آلوده شدن به رطوبت و روغن مصون بمانند .همچنین بر خلاف عادت مرسوم بسیاری از جوشکاران ، الکترود نبایددرطول خم شود. این کار باعث شکستن روکش الکترود و ایجاد عیوب در فلز جوش هنگام جوشکاری می شود.

شرایط انبار داری باید بصورتی باشد که اولاًرطوبت نسبی هوای انبار حد اکثر ۶۰٪ و درجه حرارت انبار بیش از ۱۸ درجه سانتیگراد باشد. قفسه ها و طبقات نگهداری الکترود باید نسبت به دیوار و کف انبار فاصله داشته باشد و هنگام حمل ضربه نخورد.

الکترودهای روتیلی مثل (E6013) و سلولزی مثل (E6010) قبل از جوشکاری نیاز به خشک کردن روکش ندارند ولی در مورد الکترودهای قلیایی به دلیل جاذب الرطوبت بودن روکش این نوع الکترودها باید قبل از مصرف در دمای بین ۲۶۰–۴۳۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲ ساعت خشک شوند. البته این شرایط مطابق استاندارد می باشد ولی سازندگان مواد مصرفی جوش دستورالعمل مشخصی برای خشک کردن الکترود ارائه می کنند که قابل قبول است و می توان مطابق آن عمل کرد. ضمناً الکترودهای قلیایی را پس از خشک کردن حد اکثر بیش از ۴ ساعت نمی توان در هوای محیط بصورت باز نگهداشت و در صورت جذب رطوبت ، مجاز به دوباره خشک کردن نیستیم . بنابراین توصیه می شود پس ازخشک کردن دردمای فوق الکترودها را در داخل خشک کن تحت دمای ۱۵۰–۱۲۰ درجه سانتیگراد در حین مصرف نگهداری نمود. حداکثر مدت زمان مجاز تماس الکترودهای کم هیدروژن با اتمسفر هوا در جدول ۳-۱ توصیه شده است.

۳-۳-۲-۶. بررسی وضعیت جوشکاران و اپراتورهای جوشکاری

بازرس مجاز است که اگر جوشکاری قبلاً درتست اولیه صلاحیت وی تائید شده باشد ولی در حین کار اصول کیفیتی جوش را رعایت نکند یا کیفیت جوشکاری او مورد تائید نباشد از ادامه کار وی جلوگیری بعمل آورد. معمولاً جوشکاری که تائید صلاحیت شده است اگر بیش از ۶ ماه در حالت پذیرفته شده جوشکاری نکند باید مجدداً از وی تست صلاحیت گرفته شود.

۳-۳-۲-۷. بازرسی پیشگرمایش و حفظ درجه حرارت بین پاسی

جوشکاران مطابق دستورالعمل جوشکاری ارائه شده ملزم به رعایت دمای پیشگرمی وحفظ این دما بین پاسهای جوشکاری می باشند . جوشکاری به صورت پیوسته و داغ روی پاس های جوش و عدم رعایت دمای بین پاس، باعث سوختن عناصر آلیاژ فلز جوش شده و خواص مکانیکی اتصال جوش کاهش می یابد و اگر دمای پیشگرم (در صورت ضرورت داشتن) رعایت نگردد منجر به ایجاد ترک در فصل مشترک بین جوش و ورق خواهد شد، معمولاً عملیا ت پیشگرمی به ترکیب شیمیایی فولاد و ضخامت ورق بستگی دارد. درجدول ۳-۲ دمای پیشگرم برای فولادهای مختلف و ضخامت متفاوت آمده است. اصولاً مطابق استاندارد ورقهایی که

جوشکاری می شوند نباید دمای آنها از صفر درجه کمتر باشد در صورتیکه دمای فلز کمتر از صفر درجه برسد باید تا ۲۰ درجه سانتیگراد حرارت ببینند. بنابراین بازرسین باید به رعایت دمای اولیه ورق و نیز دمای بین لایه های جوش توجه داشته و کنترل نمایند.

در صورتیکه دمای اطراف قطعه مورد جوشکاری از ^{oC} ۱۸- کمتر باشد انجام جوشکاری بکلی ممنوع است در محیط با دمای ۰ تا ^{oC} ۱۸- با ایجاد چادر و سرپوش وگرم کردن درون آن می توان دمای محیطی مناسب (با دمای حدود ۵ درجه سانتیگراد) برای جوشکار و جوشکاری فراهم نمود .پیش گرمایش باید به نحوی باشد که دمای اطراف نوک الکترود در دایره ای به شعاع ضخامت قطعه یا ۷۵ میلیمتر (هر کدام بزرگتر باشد) اعمال شود.نحوهٔ کنترل دمای پیشگرم با استفاده از ترمومتر پرتابل یا گچ مخصوص است.

۳-۳-۲-۸. تمیزکاری بین پاس های جوش

عدم تمیزکاری سرباره جوش بین لایه های مختلف در هنگام جوشکاری باعث حبس سرباره شده و این عیب موجب کاهش مقاومت اتصال می گردد.لذا باید جوشکاران در حین کار ابزار لازم برای تمیزکاری سرباره (گل جوش) را در اختیار داشته و نسبت به انجام این کار دقت لازم را اعمال نمایند.

تمیزکاری سرباره جوش در پاس نهایی نیز ضروری است زیرا :

اولاً : عدم تمیزکاری سرباره جوش باعث عدم امکان بازرسی چشمی نهایی جوش می شود.

ثانیاً : بعد از اتمام کار چون روی ورق و محل های اتصال ضدزنگ زده می شود . حضور سرباره جوش روی آن باعث عدم قرارگرفتن ضدزنگ روی محل جوش شده و شرایط برای خوردگی جوش آماده می شود.

ثالثاً : چون سرباره جوش روی سطوح جوش تماس کامل را نداشته لذا فضای بین سرباره با سطح جوش محل مناسبی برای انباشت بخار آب ، بخصوص در محیطهای مرطوب شده و باعث تشدید خوردگی می گردد.

رابعاً : سرباره جوش بعضی از الکترودها بویژه الکترودهای قلیایی باعث خوردگی سطح جوشها می شود.

۳-۳-۲-۹- کنترل آمپراژ و قطبیت

از آنجا که عدم تنظیم آمپر باعث بروز عیوب مختلف از جمله بریدگی کنار جوش ، حبس سرباره ، ناهمواری سطح جوش ، و ... می شود، لذا کنترل آمپراژ در حین کار با نوع و قطر الکترود ، با توجه به حالت جوشکاری مورد نظر ، امری ضروری است که بازرس باید در حین کار ، این مورد را کنترل نماید.

۳-۳-۳. بازرسی بعد از جوشکاری

۳-۳-۳-۱. بازرسی سطح ظاهری جوش ها

بازرسی چشمی از نظر وجود عیب مرئی، ترک های سطحی (چه در جوش و چه در فلز مبنا)، بریدگی کناره جوش، تقعر یا تحدب زیاد گرده جوش، نامساوی بودن ساق ها، گرده اضافی، پرنشدگی کامل، نفوذ اضافی،

موج دار بودن، کیفیت انتهای جوش، چاله جوش و غیره براساس معیارهای پذیرش جوش طبق استاندارد AWS D1.1 باید توسط بازرس پس از اتمام عملیات جوشکاری صورت گیرد.

در اشکال ۳-۳ مقاطع قابل پذیرش جوش و غیرقابل پذیرش جوش های گوشه و شیاری نشان داده شده است. سطح جوش گوشه تا مقدار محدودی می تواند محدب یا مقعر باشد به استثنای عیوب مربوط به بریدگی پای جوش وجود سایر عیوب در دو انتهای جوشهای منقطع ، خارج از طول موثر جوش مهم نمی باشد.

جوشهای شیاری ترجیحاً باید با حداقل تحدب اجراء شوند در درزهای لب به لب یا اتصالات گونیا حداکثر تحدب مساوی ۳ میلیمتر می باشد و باید دارای انتقال تدریجی با سطح فلز پایه باشد.

کلیه جوشهای شیاری نشان داده شده در شکل بعلت داشتن ناپیوستگی سطحی غیر قابل پذیرش می باشند.

۳-۳-۳-۲.معیارهای پذیرش عیوب در بازرسی چشمی

۳-۳-۳-۲-۱. کیفیت جوش تحت بار استاتیکی

۱. جوش ترک نداشته باشد.

۲.ذوب کامل بین فلز جوش و فلز مبنا با جوش و بین لایه های جوش حاصل شده باشد.

۳..همه چاله جوش ها پر شده باشند بجز در جوش های منقطع که چاله جوش خارج از طول مؤثر جوش باشد نیازی به پرکردن آن نیست.

۴. عمق بریدگی کنار جوش طبق این شرایط قابل قبول است :

الف. ضخامت ورق کمتر از ۲۵ mm عمق بریدگی نباید بیشتراز ۱ mm باشد. در هر ۳۰۰ میلیمتر طول جوش، ۵۰ mm آن می تواند تا عمق۲ mm بریدگی داشته باشد.

ب. در ضخامت های بالای ۲۵ میلیمتر، حداکثر مجاز عمق بریدگی کناره جوش برای هر طول جوش ۲ میلیمتراست.

۵- اندازه جوش گوشه (ساق جوش) در جوشهای پیوسته می تواند کمتر از اندازه واقعی مطابق جدول زیر باشد:

مقدار مجاز کاهش اندازه جوش (mm)	اندازه جوش گوشه (mm)
≤۲	≤۵
≤۲/۵	۶
≤۳	≥۸

درهمه حالات فوق قسمتی که اندازه جوش آن کمتر از اندازه واقعی است نباید بیش از ده درصد طول جوش باشد. ضمناً در اتصال جان به بال تیرورق ها، در دوطرف انتهای تیرورق ها تا دوبرابر پهنای بال هیچگونه کاهش ساق جوش مجاز نیست.

۶- در جوش های شیاری با نفوذ کامل اتصالات لب به لب عمود بر جهت تنش های کششی نباید هیچ حفرهٔ استوانه ای شکل وجود داشته باشد. برای جوش های شیاری دیگر و برای جوش های گوشه نیز مجموع حفره های قابل رویت mm ۱ یا بزرگتر نباید از mm ۱۰ در هر ۲۵ میلیمتر طول جوش تجاوز کند و همینطور در هر mm ۳۰۰ طول جوش از mm ۲۰ بیشتر نشود.

۷- بازرسی چشمی می تواند بلافاصله پس از سرد شدن تمام جوش در درجه حرارت محیط انجام پذیرد. بازرسی فولادهای A514 و A517 پس از گذشت حد اقل ۴۸ ساعت از اتمام جوشکاری انجام می شود.

۳-۳-۳-۲-۲. کیفیت جوش تحت بار دینامیکی

۱. جوش ترک نداشته باشد.

۲. ذوب کامل بین فلز جوش و فلز مبنا وهمچنین بین لایه های مختلف جوش حاصل شده باشد.

۳.کلیه فرورفتگی های سطح مقطع جوش باید بطور کامل پر شوند بجز برای انتهای جوش های گوشه منقطع که بیشتر از طول مؤثر جوشکاری باشند نیازی به پر کردن چاله جوش نیست.

۴.در اعضای اصلی، عمق بریدگی کنار جوش در هنگامی که جهت نیروهای کششی عمود بر امتداد بریدگی باشد نباید از mm ۰/ ۲۵ تجاوز کند (در هر نوع شرایط بارگذاری) . برای سایر موارد عمق بریدگی تا mm ۱ مجاز است.

۵. در هر mm ۱۰۰ از طول جوش گوشه نباید بیش از یک حفره استوانه ای وجود داشته باشد و ماکزیمم قطر آن نباید از ۲/۵ میلیمتر تجاوز کند.

استثناء : در جوشهای گوشه ای که برای تقویت جان بکار می روند جمع قطر حفره های استوانه ای نباید از mm ۱۰ در هر mm ۲۵ طول جوش و از mm ۲۰ برای هر mm ۳۰۰ طول جوش تجاوز نماید.

۶- اندازه جوش گوشه (ساق جوش) در جوشهای پیوسته می تواند کمتراز اندازه واقعی مطابق جدول زیر باشد :

مقدار مجاز کاهش اندازه جوش (mm)	اندازه جوش گوشه (mm)
≤۲	≤۵
≤۲/۵	۶
≤۳	≥۸

در همه حالات فوق قسمتی که اندازه جوش آن کمتر از اندازه واقعی است نباید بیش از ده درصد طول جوش باشد. ضمناً در اتصال جان به بال تیرورق ها، در دوطرف انتهای تیرورق ها تا دوبرابر پهنای بال هیچگونه کاهش ساق جوش مجاز نیست.

۷- درجوش های با نفوذکامل اتصالات لب به لب عمود برجهت تنش های کششی محاسبه شده نباید هیچ حفره استوانه ای شکل وجود داشته باشد. برای جوش های شیاری دیگردرهر ۱۰۰ میلیمتر طول جوش نباید حفره ای با قطر بیش از ۲/۵ میلیمتر وجود داشته باشد.

۸- بازرسی چشمی می تواند بلافاصله پس از سرد شدن تمام جوش در درجه حرارت محیط انجام پذیرد. بازرسی فولادهای A514 و A517 پس از گذشت حداقل ۴۸ ساعت از اتمام جوشکاری انجام می گیرد.

۴-۳. تعمیر عیوب جوش

جوشهای مردود را می توان تعمیر نمود و یا تمام آنرا برداشته و مجدداً بطور کامل جوش شود. معیار پذیرش جوش تعمیر شده مطابق جوشهای اصلی بوده و با همان روش باید مورد آزمایش قرار گیرد روشهای تعمیر عیوب بقرار زیر است:

- جهت تعمیر روی هم افتادگی و تحدب بیش از حد، جوش اضافی باید به روش مناسبی برداشته شود معمولاً سنگ زده میشود.
- تعقر بیش از حد، حوضچه چاله جوش، کمبود در اندازه جوش و بریدگی کنار جوش را باید با جوشکاری تکمیلی کمبود ضخامت را جبران نمود.
- ذوب ناقص، تخلخل بیش از حد وحبس سرباره را باید در قسمت های مشکوک با سنگ برداشته و مجدد جوش داد.
- ترک در جوش یا فلز پایه : در این حالت عمق نفوذ ترک را باید به کمک آزمایش های مناسب (UT) تعیین نمود و تا ۵۰ mm از دو طرف ترک برداشته شده ومجدداً جوشکاری شود.
- لکه قوس باید با سنگ فرز برداشته شود.
- سوراخهای اضافی را باید با جوش پر کرد و پس از جوش با تست های غیر مخرب کنترل نمود.
- پشت بند جوش های شیاری اگر سازه تحت بار استاتیک باشد لزومی به برداشتن آن نیست ولی اگر تحت بار دینامیک باشد باید پشت بند را برداشت.
- قسمت های انتهای جوش (لقمه های جوش): در انتهای کار بهتراست با یک قطعه ورق اضافی جوش را روی آن خاتمه داد و پس از اتمام جوشکاری اگر سازه تحت بار استاتیک باشد باشد نیازی به حذف آن نیست ولی اگرتحت باردینامیک باشد باید قطعه اضافی را حذف کرده و لبه اضافه جوش سنگ زده شود بطوریکه هم سطح قطعه شود.

۳ -۵. بازرسی بُعد و اندازه جوش

الف- حداقل اندازه وبعد جوش جوش شیاری

درجوش شیاری نفوذ کامل معادل ضخامت ورق نازکتر ودرجوش شیاری با نفوذ نسبی تحت شرایط زیر قابل قبول است:

ضخامت ورق(میلیمتر)	بعدجوش(میلیمتر)
۵ -۳	۲
۶-۵	۳
۱۲-۶	۵
۲۰-۱۲	۶
۳۸ -۲۰	۸
۵۷-۳۸	۱۰

ب) بازرسی بعد و اندازه جوش جوش گوشه

۱- بعد موثر گلوی جوش گوشه،کوتاهترین فاصله از ریشه تا سطح هندسی تئوریک مقطع جوش است در شکل (۳-۳) گلوی موثر در چندین حالت نشان داده شده است.

۲- حداکثر اندازه جوش گوشه در صورتیکه ضخامت قطعه مساوی یا کوچکتر از ۶ میلیمتر است مساوی ضخامت قطعه می باشد.

۳- در صورتیکه ضخامت قطعه بزرگتر از ۶ میلیمتر باشد، حداکثر اندازه جوش گوشه ۲ میلیمتر کوچک تر از ضخامت قطعه است.

حداقل اندازه جوش گوشه طبق استاندارد:

ضخامت ورق (میلیمتر)	ساق جوش(میلیمتر)
کمتریا مساوی ۶	۳
۱۲-۶	۵
۲۰-۱۲	۶
بزرگتراز ۲۰	۸

ج) جوش انگشتانه و کام

۱. حداقل قطر سوراخ جوش انگشتانه نباید کمتر از ضخامت ورق بعلاوه ۸ میلیمتر باشد. حداکثر قطر مساوی حداقل قطر بعلاوه ۳ میلیمتر است.

۲.حداقل فاصله مرکز به مرکز سوراخهای جوش انگشتانه ۴ برابر قطر سوراخ می باشد.

۳.طول شکاف جوش کام نباید بیش از ۱۰ برابر ضخامت ورقی باشد که در آن ایجاد می شود. عرض شکاف نباید کمتر از ضخامت ورق بعلاوه ۸ میلیمتر باشد. حداکثر عرض مساوی ، حداقل عرض بعلاوه ۳ میلیمتر است.

۴.انتهای شکاف باید بصورت نیم دایره و یا در صورت گوشه دار بودن، دارای گردی با شعاع حداقل ضخامت ورق باشد.

۵.حداقل فاصله محور به محور شکاف ها در امتداد عرضی ، چهار برابر عرض شکاف و حداقل فاصله مرکز به مرکز شکاف ها در امتداد طولی ، مساوی دو برابر طول شکاف است.

۶.در صورتیکه ضخامت ورق مساوی و یا کوچکتر از ۱۶ میلیمتر باشد تمام ضخامت سوراخ و یا شکاف باید با جوش پر شود. در صورتیکه ضخامت ورق بزرگتر از ۱۶ میلیمتر باشد ضخامت جوش مساوی نصف ضخامت ورق و یا ۱۶ میلیمتر (هر کدام که بزرگتر است) می باشد.

۳-۶. بازرسی پیچیدگی و تغییر شکل های ناشی از جوشکاری

یکی از موارد بازرسی بعد از جوشکاری کنترل میزان پیچیدگی در سازه مورد نظر است که باید پیچیدگی چه در طول یا عرض و یا پیچیدگی های زاویه در حد مجاز طبق استاندارد AWS D1.1 باشد.

۳-۷. بازرسی عملیات پسگرم کردن و تنش زدائی

در صورتیکه در دستورالعمل جوشکاری انجام عملیات حرارتی الزام شده باشد بازرس باید درجه حرارت و زمان عملیات حرارتی ونحوه سرد شدن و نتایج پس از عملیات حرارتی را بر روی اتصال کنترل و ثبت نماید .

۳-۸. آزمایش های غیرمخرب

این بازرسی ها پس از اتمام جوشکاری علاوه بر بازرسی چشمی صورت می گیرد که شامل آزمایش مایع نافذ PT، ذرات مغناطیسی MT، فراصوتی UT و پرتونگاری RT است که بطور خلاصه کاربرد و ویژگی هرکدام از روش های فوق در زیر آمده است :

الف) بازرسی چشمی (VT)

ب) آزمایش مایع نافذ (PT)

پ) آزمایش ذرات مغناطیسی (MT)

ت) آزمایش فراصوتی (UT)

ث) آزمایش پرتونگاری (RT)

۳-۸-۱. بازرسی چشمی

اولین مرحله در آزمایش یک قطعه، بازرسی چشمی است. بازرس با چشم غیرمسلح فقط عیب های نسبتاً بزرگی را که به سطح قطعه می رسند نمایان خواهد کرد. با بکار بردن لوازمی مثل ذره بین و چراغ قوه می توان کارآیی بازرسی چشمی را افزایش داد. بازرسی چشمی نیازمند دید قوی و ورزیده و تجربه طولانی همراه اطلاعات و دانش و حضور ذهن می باشد.

۳-۸-۲. آزمایش مایع نافذ

بازرسی با مواد نافذ یکی از شیوه های غیرمخرب برای محل یابی معایب سطحی می باشد. این آزمایش برای فلزات غیرمغناطیسی نظیر فولاد ضدزنگ، آلومینیم، منیزیم و تنگستن و پلاستیک ها نیز قابل کاربرد است. آزمایش با مواد نافذ جهت تشخیص عیوب داخلی قابل استفاده نمی باشد.

سطح مورد بازرسی باید در ابتدا از لکه های روغن، گریس و مواد ناخالص و خارجی تمیز شود. سپس ماده رنگی مورد نظر بر روی سطح پوشیده شده و در داخل ترکها و سایر ناهمواری ها نفوذ می کند رنگ اضافی از روی سطح پاک شده و سپس یک مایع فوق العاده فراری حاوی ذرات ریز سفید رنگ بر روی سطح پاشیده می شود این ماده به نام ماده ظهور (ظاهر کننده) خوانده می شود.

تبخیر مایع فرار باعث برجای ماندن گرد خشک سفیدرنگ بر روی ماده قرمز رنگ نفوذ کرده در ترکها میگردد و بر اثر عمل موبینگی، ماده قرمز از ترک بیرون کشیده شده و پودر سفید کاملاً قرمز می شود. به همین جهت ترک مورد نظر به وضوح با این روش قابل شناسایی است.

الف. مزایای روش (PT)

۱- ساده بودن روش

۲- بسیار ارزان است

۳- بازرسی با مایع نافذ برای قطعات به هر شکل و هر اندازه قابل استفاده است

۴- قطعات در حال کار میتوان در محل کار بازرسی کرد

ب. معایب روش (PT)

۱- فقط برای عیب یابی ترک های سطحی بکار می رود

۲- برای قطعاتی که دارای سطوح زبر و خشن هستند، استفاده نمی شود.

۳-۸-۳. آزمایش ذرات مغناطیسی (MT)

آزمون ذرات مغناطیسی یکی از آسانترین آزمایشهای غیرمخرب جوشکاری است. این آزمایش برای بررسی و بازبینی عیوب سطحی لبه ورقهای قبل از جوشکاری و نیز عیوب جوش در سطح و نزدیک زیر سطح بکار می رود. این روش محدود به مواد مغناطیسی شونده نظیر چدن و فولاد بوده و برای مواد و فلزات غیرمغناطیسی مانند فولاد ضدزنگ، آلومینیم و مس کاربرد ندارد . محل ترکهای داخلی و سطحی بسیار ریز را برای رویت با چشم غیرمسلح آشکار می کند. معایب موجود توسط این روش در عمق تا ۷ میلیمتر زیر سطح جوش قابل تشخیص هستند. معایب عمیق تر با این روش قابل شناسایی نیستند.

قطعه مورد آزمایش با استفاده از جریان الکتریکی جهت ایجاد یک میدان مغناطیسی در داخل مصالح، یا قرار دادن آن در داخل یک سیم پیچ، مغناطیسی می گردد. سطح مغناطیسی شده قطعه، با لایه نازکی از یک گرد مغناطیسی نظیر اکسید آهن قرمز پوشیده می شود. این لایه گرد در صورت عدم وجود عیب در جوش یا فلز پایه می تواند از روی سطح برداشته شود ولی در صورت وجود یک عیب سطحی یا داخلی گرد مورد نظر برروی محل عدم پیوستگی ها می چسبد و جدا نمی شود.(شکل ۳-۴)

الف. مزایای روش ذرات مغناطیسی

۱- عیوب سطحی و زیر سطحی را می توان به کمک آن تشخیص داد.

۲- اغلب ضروری نیست که سطح قطعه با دقت تمیزکاری شود.

۳- با این روش می توان تقریباً پهنای عیب را حدس زد.

۴- بدون برداشتن لایه رنگ از روی قطعه می توان آزمایش را انجام داد.

۵- روش سریعی می باشد.

۶- برای بازرسی جوشهای گوشه جهت تشخیص عیوب سطحی و زیرسطحی بهترین روش است.

ب. معایب روش ذرات مغناطیسی

۱- فقط برای مواد فرومانیتیک قابل استفاده است.

۲- همیشه بهتر است که میدان مغناطیسی عمود بر عیوب باشد.

۳- بعضی مواقع لازم است یک قطعه را چندین بار مغناطیسی کنیم.

۴- بعد از عمل بازرسی باید مغناطیس زدایی انجام گیرد.

۵- مهارت و تجربه زیادی نیاز دارد.

۳-۸-٤. آزمایش فراصوتی (UT)

آزمون فراصوتی یکی از آزمایش های نسبتاً پیشرفته در رده آزمایش های غیرمخرب می باشد. این روش سریع بوده و قادر به تشخیص معایب داخلی بدون نیاز به تخریب قطعه جوش شده می باشد. چون این روش از نزدیک کنترل می شود، قابلیت ارائه اطلاعات دقیق و مورد نیاز قطعه جوش شده، بدون نیاز به یک سری عملیات پرکار را دارا می باشد. این روش هم معایب سطحی و هم نواقص داخلی فلز جوش و فلز پایه را مشخص، مکان یابی و اندازه گیری می کند.

آزمایش فراصوتی توسط موج منتشر شده از یک مبدل (بلور کوارتز)، که مشابه یک موج صوتی ولی با فرکانس بالاتری است، انجام می شود. موجهای فراصوتی از داخل قطعه مورد آزمایش عبور داده می شوند و باهرگونه تغییر در تراکم داخلی قطعه، منعکس می شوند. این موج ها توسط یک مبدل (بلور کوارتز که تحت جریان متناوب قرار دارد) که به یک واحد جستجوگر متصل شده، تولید می شوند. امواج منعکس شده (پژواک ها) بصورت برجستگی هایی نسبت به خط مبناء بر روی صفحه نمایش دستگاه ظاهر می شوند. هنگامی که واحد جستجوگر به مصالح مورد نظر متصل می شود، دو نوع پژواک بر روی صفحه نمایش ظاهر می شود. ضربان اول، انعکاس صدا از سطح رویی جسم که در تماس با دستگاه است، می باشد و ضربان دوم مربوط به انعکاس موج از سطح مقابل است. فاصله بین این دو ضربان با دقت کالیبره می شود. این الگو نشان می دهد که مصالح در شرایط مناسبی از نظر معایب و نواقص داخلی قرار دارد. هنگامی که یک عیب یا ترک داخلی توسط واحد جستجو پیدا شود، تولید ضربان سومی می کند که بین ضربان اول و دوم بر روی صفحه نمایش ثبت می شود. (شکل ۳-۵) بنابراین مشخص می شود که محل این عیب بین سطوح بالا و پایین مصالح (در داخل جسم مصالح) می باشد. فاصله میان ضربان ها و ارتفاع نسبی آنها محل و میزان شدت عیب مذبور را مشخص می کند.

الف. مزایای روش فراصوتی

۱- دراین روش عبوب سطحی، زیرسطح و داخل جوش تا عمق ریشه شیار قابل شناسایی می باشد.

۲- قابل انتقال در هر موقعیت سازه جهت تست می باشد.

۳- دقت کار بالاست.

۴- نوع، ابعاد و موقعیت عیب قابل شناسایی است.

ب. معایب روش فراصوتی

۱- گران بودن تجهیزات و دستگاه

۲- مهارت اپراتور باید زیاد باشد و آموزش های خاصی لازم است

۳- تمیز بودن و صاف بودن سطح محل آزمایش مهم است و در دقت کار اثر دارد.(باید محل آزمایش سنگ زده شود و از گریس، روغن، آب یا سایر مواد به عنوان ماده واسط استفاده شود).

۳-۸-۵. پرتونگاری (RT)

پرتونگاری یکی از روشهای آزمایش غیرمخرب می باشد که نوع و محل عیوب داخلی و بسیار ریز (میکروسکوپی) جوش را نشان می دهد. این روش دو نوع پرتونگاری X یا گاما را مورد استفاده قرار می دهد. اشعه گاما به خاطر طول موج کوتاه خود می تواند در ضخامتهای نسبتاً زیادی از مواد نفوذ کند، در ضمن زمان تابش اشعه به قطعه مورد پرتونگاری در مورد اشعه گاما نسبت به اشعه X بسیار طولانی تر می باشد. در آزمایش پرتونگاری یک عکس از وضعیت داخلی فلز جوش گرفته می شود. در حین عکسبرداری، فیلم در یک طرف و منبع پرتوزا (X یا گاما) در سمت دیگر قطعه قرار می گیرد. پرتو رادیویی در ضخامت فلز نفوذ کرده و پس از عبور از این ضخامت لکه ای بر روی صحنه فیلم ایجاد می کند.

میزان جذب پرتوهای رادیویی در ضخامت فلز نفوذ کرده و پس از عبور از این ضخامت لکه ای بر روی صحنه فیلم ایجاد می کند. میزان جذب پرتوهای رادیویی توسط مواد مختلف متفاوت است. نفوذ گل، حفره گازی، ترک ها، بریدگی های کناره جوش و قسمت های نفوذ ناقص جوش، تراکم کمتری نسبت به فولاد سالم دارند. بنابراین در حوالی این قسمت ها پرتو بیشتری به سطح فیلم می رسد و عیوب فلز جوش، به صورت لکه های تاریکی بر روی فیلم ثبت می شوند. این شیوه پرتونگاری حضور معایب مختلف در فلز جوش و فلز پایه را مسجل کرده و اندازه شکل و محل آنها را ثبت می کند. (شکل ۳-۶)

الف. مزایای پرتونگاری

۱- برای بررسی عیوب عمقی مؤثر و مفید است.

۲- مواد فلزی آهنی و غیرآهنی و مواد غیرفلزی را میتوان پرتونگاری کرد.

۳- محل عیوب و شکل ظاهری عیب را میتوان در عکس ملاحظه نمود.

ب. معایب پرتونگاری

۱- گران بودن ابزار و وسایل کار

۲- نیاز به اتاق تاریک (تاریکخانه) برای ظهور و ثبوت فیلم

۳- تنظیم دستگاه وقت گیر است

۴- حداکثر ۷۵ میلیمتر از عمق فولاد را میتوان به طور مؤثر پرتونگاری کرد.

۵- خطرات فراوانی برای سلامتی افراد دارد. (سرطان و...)

۳-۹. درصد انجام آزمایش های پیشنهادی

۱- بازرسی چشمی جوش برای ۱۰۰٪ جوشکاریهای انجام شده لازم می باشد.

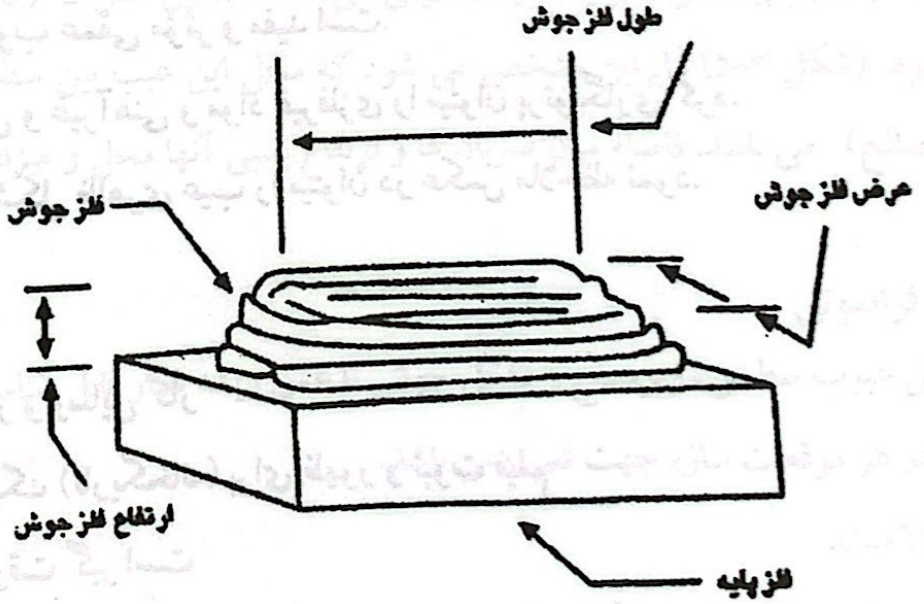
۲- کلیه جوشهای نفوذ کامل که تحت تأثیر بارهای دینامیکی یا متغیر قرار می گیرند باید بوسیله پرتونگاری صنعتی یا اولتراسونیک آزمایش شوند.

۳- سایر جوشهای با نفوذ کامل بایستی با پرتونگاری صنعتی یا فراصوتی بصورت آماری و اتفاقی تا میزان ۲۰٪ آزمایش شوند.

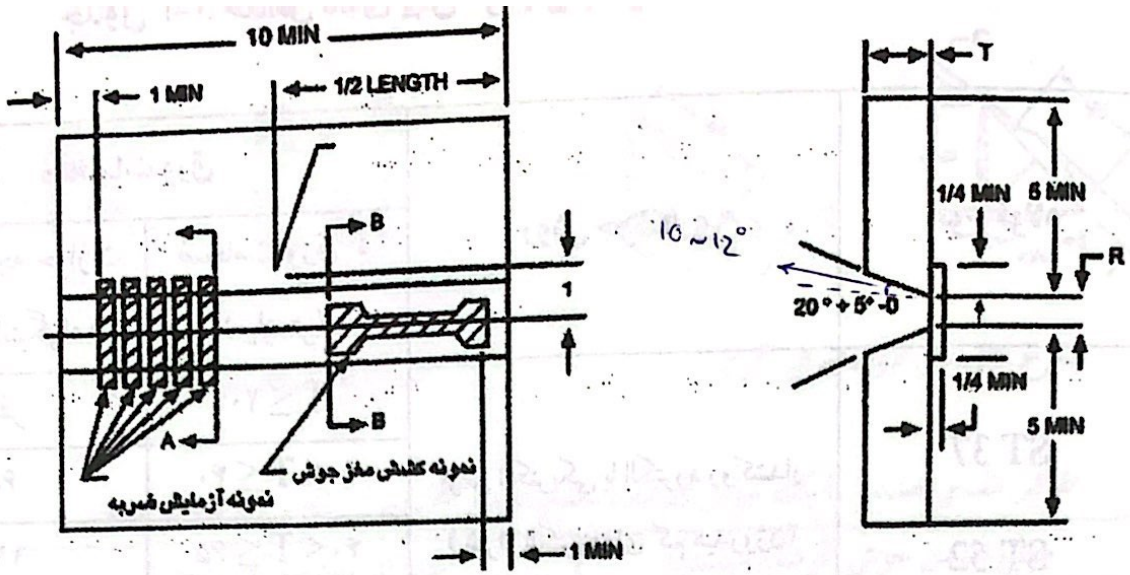
۴- جوشهای با نفوذ نسبی به لحاظ کنترل میزان نفوذ جوش و کیفیت جوش بصورت آماری و اتفاقی تا میزان ۱۰٪ آزمایش اولتراسونیک شوند.

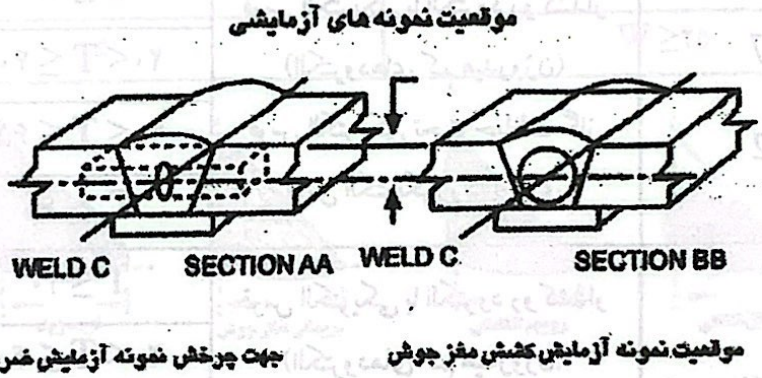
۵- جوشهای سپری به لحاظ کنترل عیوب سطحی و زیرسطحی جوش بطور آماری و اتفاقی تا میزان ۲۰٪ توسط ذرات مغناطیسی یا مایع نافذ آزمایش شوند. در صورت مشاهده عیوب در جوشها به میزان بالاتر از ۵٪ میزان آزمایشات افزایش یافته تا حدی که اطمینان لازم برای بازرس حاصل گردد.

۶- آزمایش پرتونگاری برای جوشهای لب به لب و فقط در مواقع لزوم و با درخواست و نظر بازرس اجرا خواهد گردید.



شکل ۳-۱. نمونه آنالیز شیمیایی فلز جوش الکترود





شکل ۳-۲. آزمایش بررسی خواص مکانیکی فلز جوش الکترود بر مبنای استاندارد AWS A5.1

جدول ۳-۱. مقادیر مجاز تماس الکترودهای کم هیدروژن با هوای آزاد

نوع الکترود		حداکثر مدت زمان مجاز
الکترودهای فولاد کربنی	E70XX	۴ ساعت
	E70XXR	۹ ساعت
	E70XXHZR	۹ ساعت
	E7018M	۹ ساعت
الکترودهای فولادآلیاژی	E70XX-X	۴ ساعت
	E80XX-X	۲ ساعت
	E90XX-X	۲ ساعت
	E100XX-X	۰/۵ ساعت

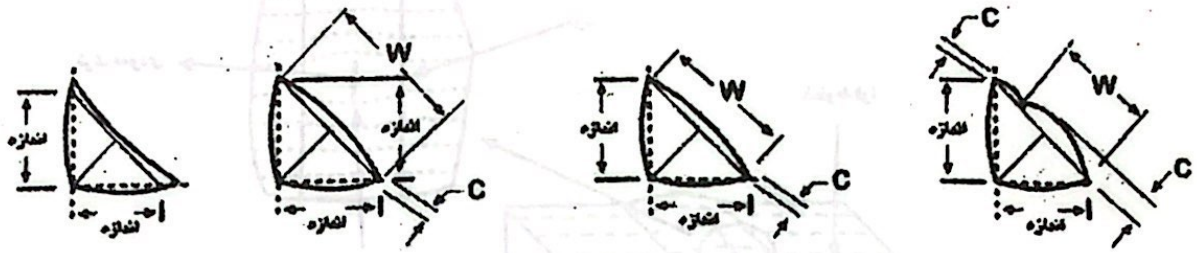
جدول ۳-۲. حداقل دمای پیش گرمایش و بین پاسی در وضعیت پیش پذیرفته

طبقه	نوع فولاد	روش جوشکاری	مشخصات ورق	
			ضخامت ورق T (میلیمتر)	حداقل درجه حرارت ورق (سانتیگراد)
الف	ST 37 ST 52	قوس الکتریکی با الکترود روکشدار (غیراز الکترودهای کم هیدروژن) E 7018	$T \leq ۲۰$	صفر
			$۲۰ < T \leq ۴۰$	۶۵
			$۴۰ < T \leq ۶۵$	۱۱۰
			$T > ۶۵$	۱۵۰
ب	ST 37 ST 52	قوس الکتریکی با الکترود روکشدار (الکترودهای کم هیدروژن) قوس الکتریکی تحت حفاظت گاز قوس الکتریکی زیر پودری	$T \leq ۲۰$	صفر
			$۲۰ < T \leq ۴۰$	۱۰
			$۴۰ < T \leq ۶۵$	۶۵
			$T > ۶۵$	۱۱۰
پ	$Fy \geq 400\ N/mm2$	قوس الکتریکی با الکترود روکشدار (الکترودهای کم هیدروژن) قوس الکتریکی تحت حفاظت گاز قوس الکتریکی زیر پودری	$T \leq ۲۰$	۱۰
			$۲۰ < T \leq ۴۰$	۶۵
			$۴۰ < T \leq ۶۵$	۱۱۰
			$T > ۶۵$	۱۵۰

تذکر:

۱- حداکثر دمای پیشگرمایش و بین پاسی برای ورق های با ضخامت کمتر از ۴۰ میلیمتر ۲۰۰ درجه سانتیگراد و برای ورق های با ضخامت بالاتر ۲۳۰ درجه سانتیگراد است.

۲- اگر دمای ورق زیر صفر درجه سانتیگراد برسد، باید تا ۲۰ درجه سانتیگراد پیشگرمایش شود.

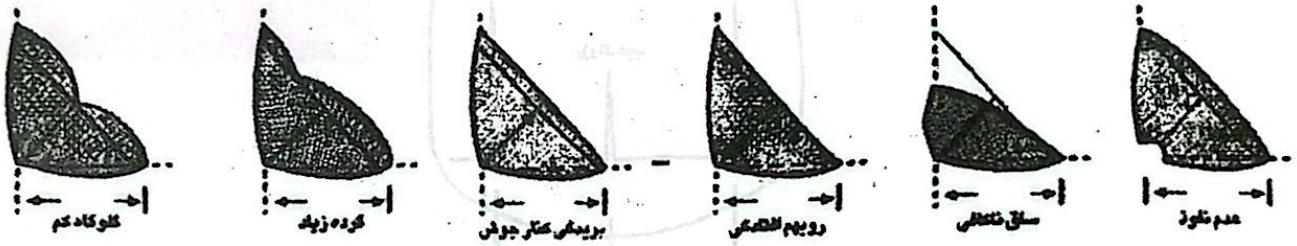


نیمرخ های قابل قبول جوش گوشه

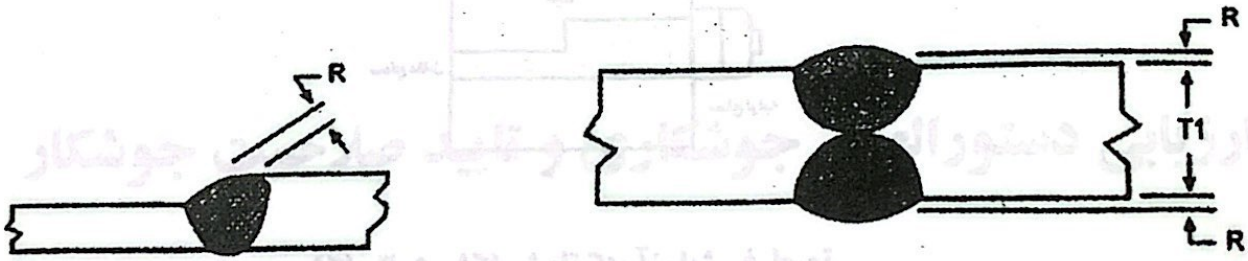
نیمرخ های مطلوب جوش گوشه

تذکر: مقدار تحدب C یک جوش گوشه با سطح نشیمن W نباید از مقادیر زیر تجاوز نماید:

سطح نشیمن جوش گوشه (میلیمتر)	حداکثر تحدب C (میلیمتر)
$W \leq ۸$	۲
$۸ < W < ۲۵$	۳
$W \geq ۲۵$	۵



نیمرخ های غیرقابل قبول جوش گوشه

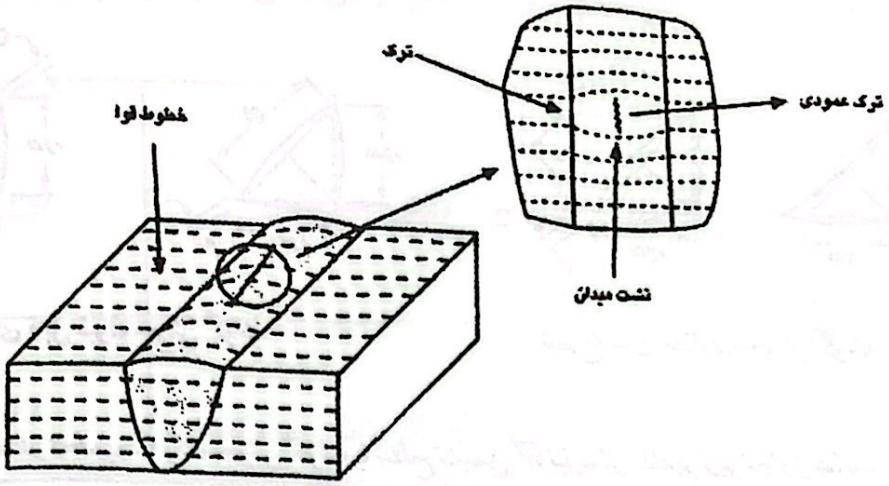


تذکر: مقدار گرده R نباید از ۳ میلیمتر بیشتر شود.

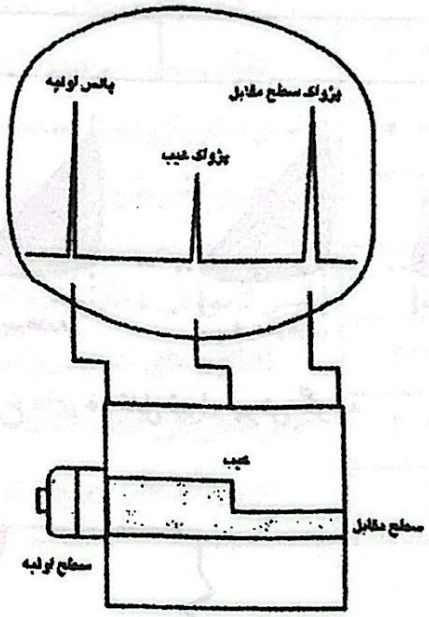
نیمرخ های قابل قبول در اتصال لب به لب

نیمرخ های غیرقابل قبول در اتصال لب به لب

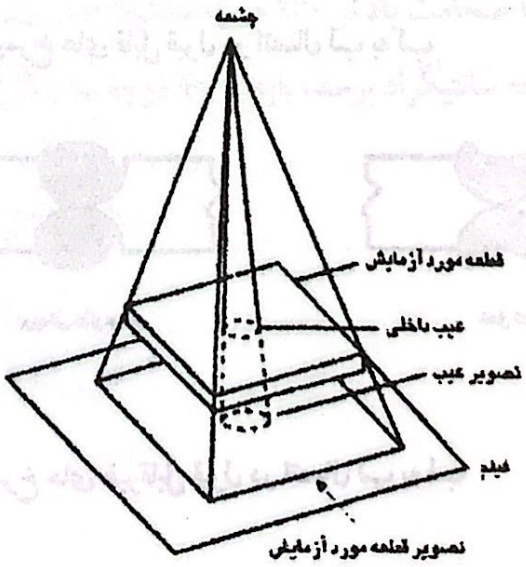
شکل ۳-۳. نیمرخ های قابل قبول و غیر قابل قبول



شکل ۳-٤. شکل شماتیک آزمایش ذرات مغناطیسی

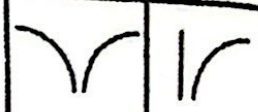


شکل ۳-۵. شکل شماتیک آزمایش فراصوتی

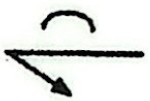
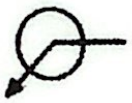


شکل ۳-٦. شکل شماتیک آزمایش پرتونگاری

علائم اصلی جوش

شیاری							کام یا انگشتانه	گوشه	جوش پشت
نیم جناغ گرد	جناغی گرد	نیم لاله ای	لاله ای	نیم جناغی	جناغی	ساده			
									

علائم تکمیلی جوش

	شکل سطح جوش		جوش در محل (موقع نصب)	جوش دور تا دور	برای دیگر علائم اساسی به کتاب علائم قراردادی اتصالات ساختمانی فلزی یا نشریات AWS مراجعه کنید
	محدب	تخت			
					

محل قراردادی جاگیری علامت های جوشکاری