Non Destructive Testing Hand Book

Visual & Optical Testing

VT

بازرسی چشمی و جوش

تهیه و تدوین

محمد حسین رفیعی

ASNT LEVEL III

ASNT Corporate Partner

پیش گفتار

بازرسی چشمی و جوش یکی از ارکان اصلی و حیاتی در بخش صنایع و کارخانجات میباشد. تقریبا" میتوان گفت که همه انسانها هر روزه به نحوی در زندگی روزمره و یا در محیط پیرامون خود به نحوی مشغول کار بازرسی چشمی میباشند. بعضی از این بازرسی ها بنا به نیاز روزمره بطور عمومی توسط همگان انجام و بعضی از بازرسی ها با توجه به شرایط خاص احتیاج به دانش و تخصص مربوط به آن کار را دارد. آنچه را که ما میخواهیم در این کتاب مرور نماییم بخش کوچکی است از دنیای بزرگ بازرسی در واحدهای صنعتی و کارگاه های جوشکاری.

باید یادآور شد که برای ساخت و تولید هر قطعه، احتیاج به طراحی و محاسبات گوناگون میباشد تا بتوان وسیله ای را تولید نمود تا طبق نیاز ما، قادر به انجام کاری مشخص باشد. از اینرو برای اجرای دقیق مراحل ساخت طبق نقشه ها و نیاز کارفرما، تمامی مراحل از زمان انتخاب مواد اولیه تا پایان ساخت احتیاج به نظارت و مراقبت تخصصی و فنی دارد.

در همین راستا ما نیازمند آموزش و تامین نیـــروهای فنی و متخصص در زمینه بازرسی چشمی و جوش می باشیم و سعی بر آن داریم تا بتوانیم قدمی کوچک در این راستا برداشته و سهمی در ارتقا سطح علمی و فنی کارشناسان و تکنسین های واحدهای صنعتی داشته باشیم.

در خاتمه باید یادآور شویم که این اولین کتاب بازرسی چشمی و بازرسی جوش میباشد که بر اساس رئوس مطالب آموزشی (ASNT) American Society for Non destructive Testing انجمن آزمایشات غیرمخرب آمریکا برای آموزش تکنسین ها و بازرسین برای سطح Level II در ایران تهیه و تدوین گردیده است.
مطمئنا" این کتاب بدون اشکال نیز نخواهد بود، لذا از شما خوانندگان محترم تقاضا داریم تا برای ارتقا و اصلاح این کتاب ما را از انتقادات و پیشنهادهای خود بی نصیب نگذارید.

تهـــران
پائیز ۱۳۸۵

محمد حسین رفیعی
ASNT Level II

Introduction مقدمه

برای انجام یک بازرسی کامل و فنی، احتیاج به کارشناسی میباشد تا با دارا بودن اطلاعات فنی مرتبط با آن کار از ابتدا تا پایان کار نظارت جامع و دقیقی بر اجرای کار داشته باشد.

در همین راستا بازرسی را که برای آن کار انتخاب میکنیم باید دارای خصوصیات و شرایط مناسبی باشد که در ادامه به چند ویژگی مهم یا بازرس اشاره میکنیم.

۱- میبایست دارای اطلاعات فنی مناسب و مرتبط با کار باشد
۲- آشنایی کامل با مراحل ساخت و تولید قطعه داشته باشد
۳- آشنایی کامل با فرآیندهای جوشکاری داشته باشد
۴- آشنایی کامل با مواد مصرفی مورد نیاز در پروژه باشد
۵- با تجهیزات بازرسی و نحوه استفاده از آنها آشنایی کامل داشته باشد
۶- آشنایی و احاطه کامل با استاندارد پروژه داشته باشد
۷- آشنایی با انواع آزمایشات مخرب و غیرمخرب داشته باشد
۸- دارای توانایی و شرایط مناسب فیزیکی متناسب با کار باشد
۹- دارای حس مسئولیت پذیری باشد
۱۰- دارای تعادل رفتاری و گفتاری مناسب باشد

هر چند که عوامل متعدد دیگری نیز میتواند در روند کاری بازرس و کار بازرسی تاثیر گذار باشد. در ادامه سعی خواهیم نمود به اختصار مباحث مختلفی که مرتبط با کار یک بازرس میباشد را توضیح خواهیم داد.

فصل ۱

- انواع مختلف اتصالات جوش
- انواع مختلف لبه سازی
- بخشهای مختلف لبه سازی در قطعه
- جوشهای گوشه ای
- سمبل های جوشکاری
- انواع سمبل ها در جوشهای نفوذی / شیاری
- انواع سمبل ها در جوشهای گوشه ای
- نحوه قرار گرفتن قطعات برای جوشکاری

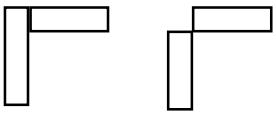
Type of Joints انواع مختلف اتصالات جوش

هنگام جوشکاری قطعات نحوه قرار گرفتن دو قطعه در کنار هم برای ایجاد اتصال میتواند به فرم های زیر باشد.

1- Butt Joint

۱- اتصال لب به لب

2- Corner Joint

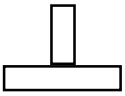


۲- اتصال گوشه ای

3- Edge Joint

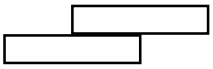
۳- اتصال لبه ای

4- T Joint



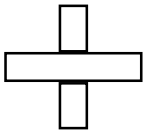
۴- اتصال تی

5- Lap Joint



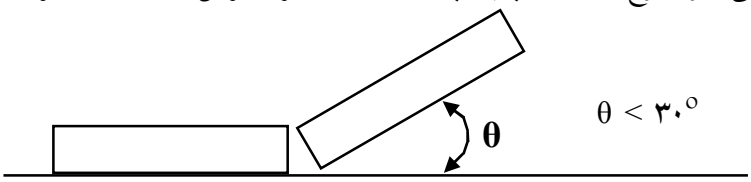
۵- اتصال روی هم

6- Cruciform Joint

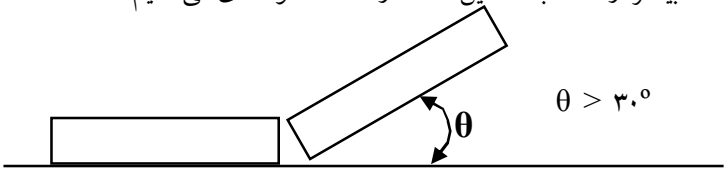


۶ - اتصال صلیبی

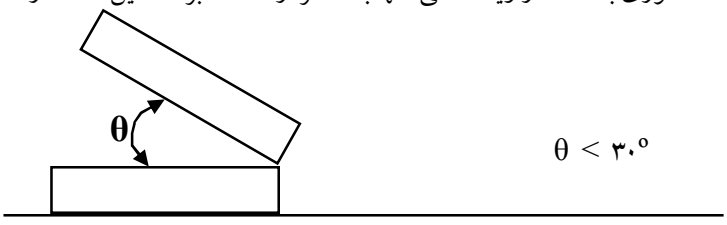
باید توجه داشت تا زمانی میتوان نوع اتصال را لب به لب نامید که زاویه قرار گرفتن دو قطعه حداکثر ^{o} ۳۰ باشد.



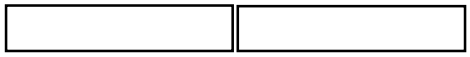
اگر زاویه قرار گرفتن دو قطعه بیشتر از ^{o} ۳۰ باشد، این اتصال را اتصال گوشه ای می نامیم.



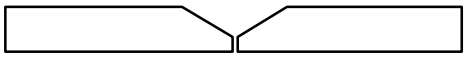
اگر نحوه قرار گرفتن دو قطعه طوری باشد که زاویه داخلی آنها به کمتر از ^{o} ۳۰ برسد، این اتصال را اتصال لبه ای می نامیم.



Type of Bevels انواع مختلف لبه سازی

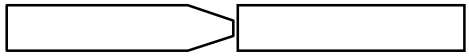
1- Square Bevel 

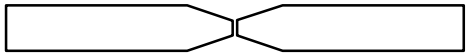
2- Single Bevel

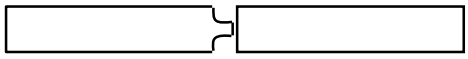
3- Single " Vee " 

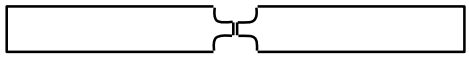
4- Single " J "

5- Single " U "

6- Double Bevel 

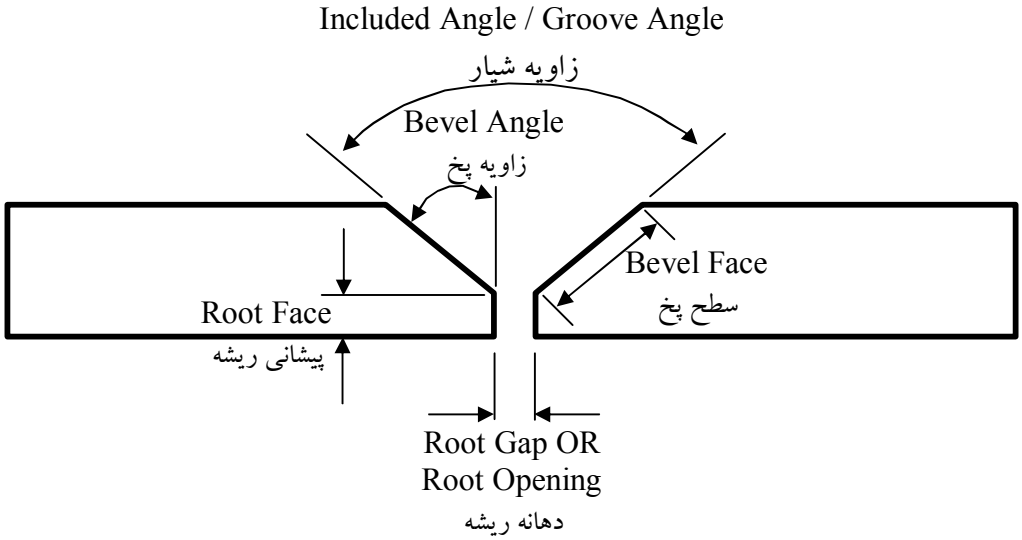
7- Double " Vee " or " X " 

8- Double " J " 

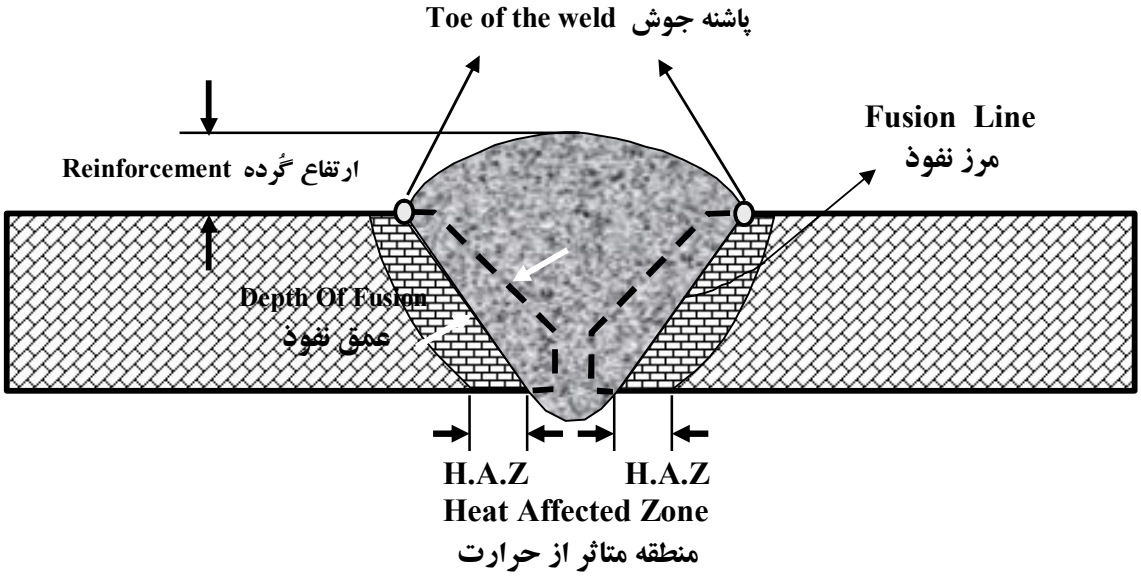
9- Double " U " 

10- Scarf

بخش های مختلف لبه سازی در قطعه

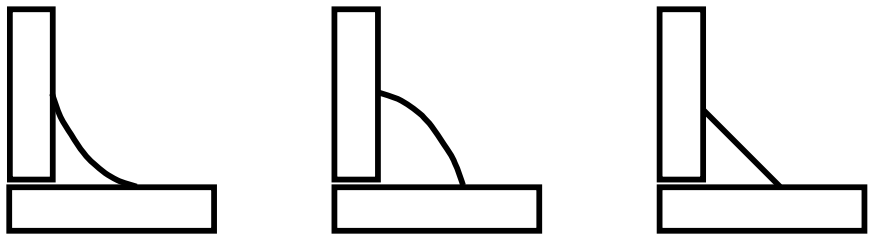


بخش های مختلف جوش لب به لب



جوش های گوشه ای Fillet Welds

جوش های گوشه ای یکی از انواع مختلف اتصال قطعات میباشد. این جوشها از نظر فرم گرده و پروفیل به ۳ دسته تقسیم میشوند که عبارتند از:



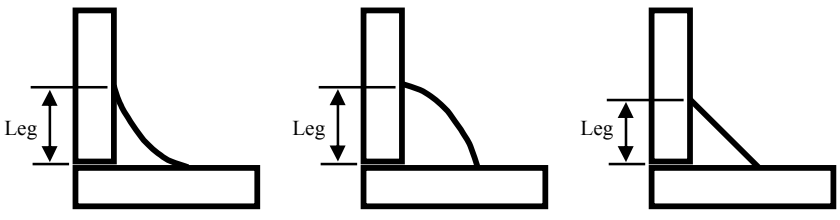
جوش کاو (مقعر) Concave | جوش گوژ (محدب) | جوش مایتر Miter

در میان جوشهای فوق اگر کل عملیات جوشکاری از یک یا دو پاس تشکیل شده باشد از نظر مقاومت، جوش گوژ و در صورتیکه تعداد پاسها بیش از سه پاس باشد جوش کاو مناسب تر خواهد بود. این بدین دلیل است که زاویه برخورد فلز جوش به فلز پایه در جوش گوژ تند بوده، و این امر میتواند منشا تمرکز تنش و خوردگی در قطعه گردد، از طرف دیگر تعداد کم پاسها دارای گلوگاه ضعیف تری بوده و جوش گوژ میتواند کمک شایانی به استحکام جوش نماید. لذا سعی میشود تا با انجام جوش کاو از بوجود آمدن این نوع عیوب اجتناب نمود.

حال در ادامه، قسمت های مختلف جوشهای گوشه ای را به تفکیک به تصویر می کشیم.

ساق جوش Leg :

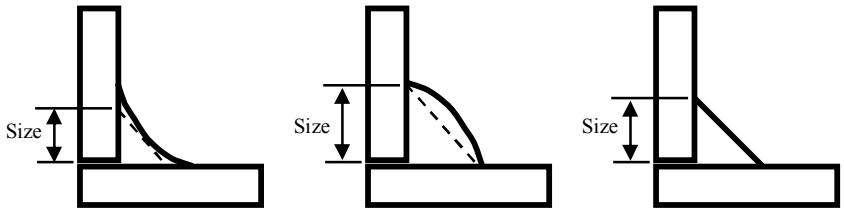
بالاترین قسمت جوش که با فلز ذوب گردیده را ساق جوش مینامیم.



جوش کاو (مقعر) Concave | جوش گوژ (محدب) Convex | جوش مایتر Miter

سایز جوش Size :

اندازه ای از فلز جوش که در استحکام جوش تاثیر مستقیم داشته و مشارکت میکند را اندازه جوش مینامند.



جوش کاو (مقعر) Concave | جوش گوژ (محدب) Convex | جوش مایتر Miter

گلوگاه جوش Throat :

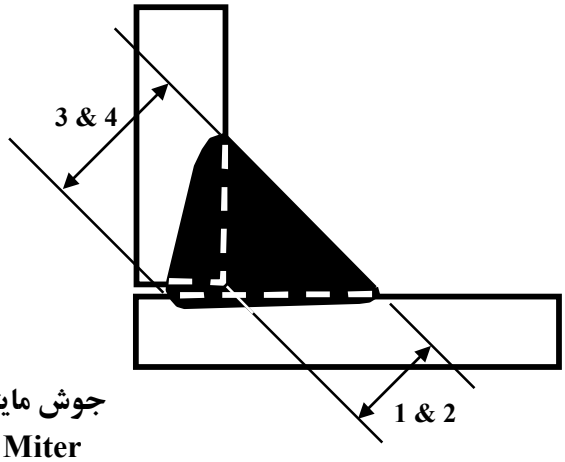
جوشهای فیلت دارای ۴ گلوگاه میباشند که به ترتیب در اشکال زیر نشان داده شده است.

1- Measured Throat
گلوگاه قابل اندازه گیری

2- Theoretical Throat
گلوگاه طبق تئوری

3- Effective Throat
گلوگاه موثر

4- Actual Throat
گلوگاه واقعی



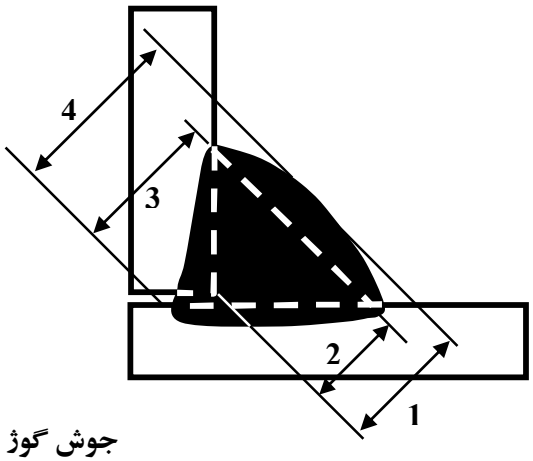
جوش مایتر
Miter

1- Measured Throat
گلوگاه قابل اندازه گیری

2- Theoretical Throat
گلوگاه طبق تئوری

3- Effective Throat
گلوگاه موثر

4- Actual Throat
گلوگاه واقعی



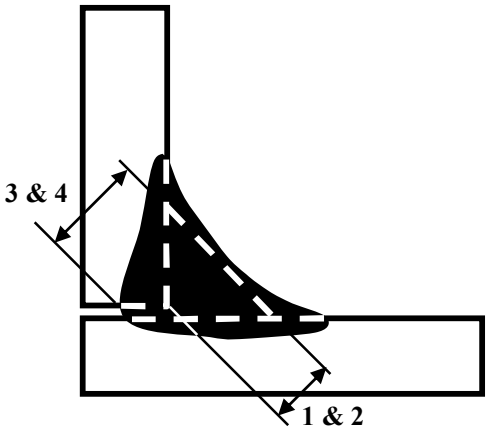
جوش گوژ (محدب)
Convex

1- Measured Throat
گلوگاه قابل اندازه گیری

2- Theoretical Throat
گلوگاه طبق تئوری

3- Effective Throat
گلوگاه موثر

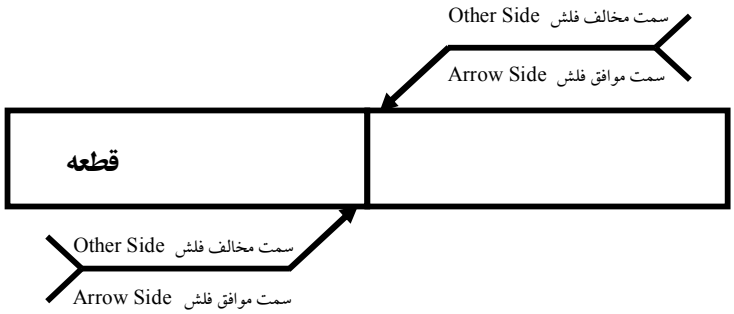
4- Actual Throat
گلوگاه واقعی



جوش کاو (مقعر)
Concave

سمبل های جوشکاری Welding Symbols

در نقشه های صنعتی برای نشان دادن نوع لبه سازی و جوشکاری، از سمبل ها استفاده میگردد که در زیر به طور خلاصه به تشریح انواع مختلف این علائم می پردازیم.



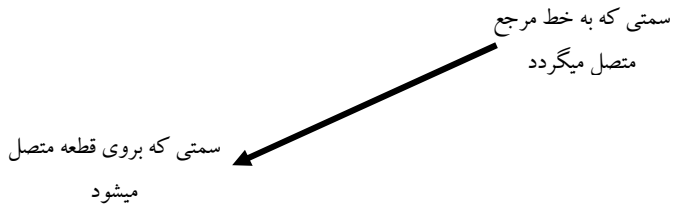
علائم جوشکاری از سه بخش تشکیل شده است.

۱- خط مرجع Reference Line

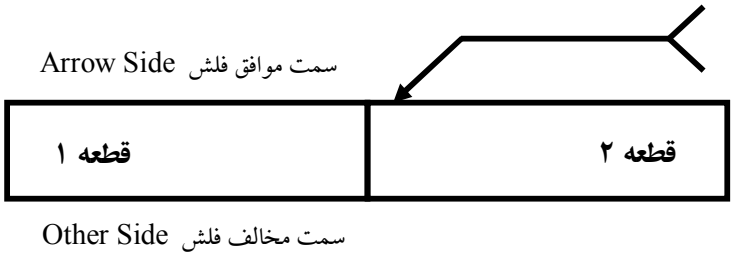
خط مرجع یا Reference Line خطی است افقی که کلیه دستورات جهت انجام عملیات لبه سازی و جوشکاری بر روی آن نمایش داده میشود. هر دستوری که در زیر این خط به نمایش در آید منظور آن است که میبایست دستورات داده شده در سمت فلش Arrow Side انجام پذیرد و همچنین هر دستوری که در بالای این خط به نمایش در آید منظور آن است که میبایست دستورات داده شده در سمت مخالف فلش Other Side انجام پذیرد.

۲- فلـــش Arrow

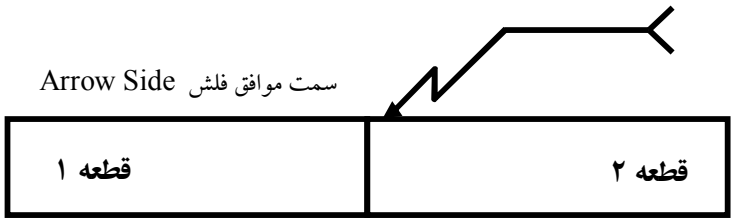
فلش یا Arrow از یک سمت به خط مرجع متصل گردیده و از سمت دیگر به روی سطح قطعه تماس پیدا کرده و به سمت محلی قرار میگیرد که میبایست در آن محل عملیات انجام پذیرد.

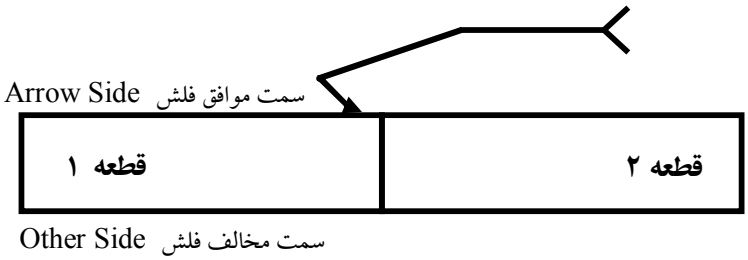


اگر فلش بشکل مستقیم نشان داده شود، بدین منظور خواهد بود که آماده سازی میتواند بر روی هرکدام از قطعات (قطعه ۱ با ۲) در همان سمت انجام پذیرد.



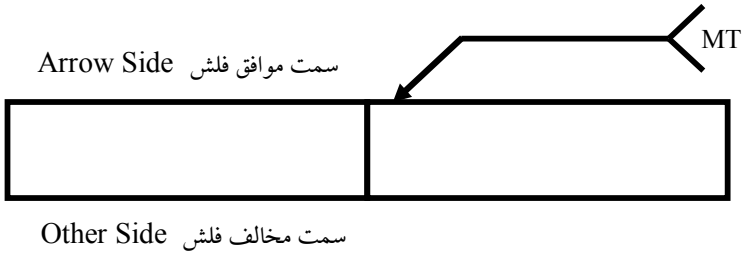
ولی اگر طراح، قطعه بخصوصی را مد نظر داشته باشد که عملیات میبایست حتما" بر روی آن انجام شود، از فلش شکسته استفاده نموده و فلش را به سطح آن قطعه متصل مینماید.



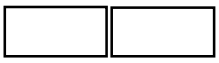
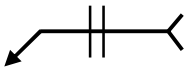


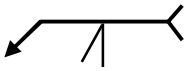
۳- دم Tail

دم یا Tail آخرین بخش علائم جوشکاری بوده و در سمت دیگر خط مرجع قرار میگیرد. معمولا" عملیاتی را که میبایست در ادامه جوشکاری و یا بعد از اتمام جوشکاری بر روی قطعه انجام پذیرد مانند عملیات تنش زدایی، سختی سنجی، NDT و غیره را در داخل آن به نمایش در می آورند.

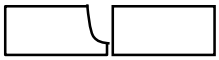
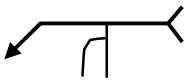


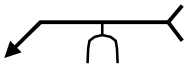
انواع سمبل ها در جوشهای نفوذی / شیاری
Butt / Groove Welding Symbols

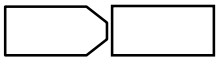
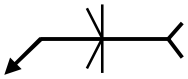
1- Square Bevel  

2- Single Bevel 

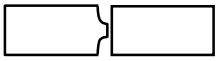
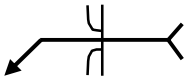
3- Single " Vee "

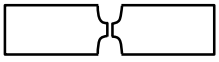
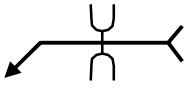
4- Single " J "  

5- Single " U " 

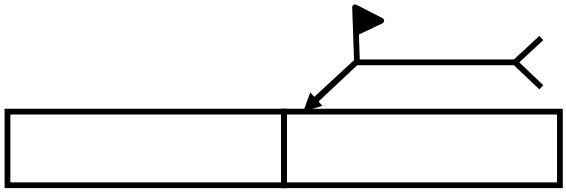
6- Double Bevel  

7- Double " Vee " or " X "

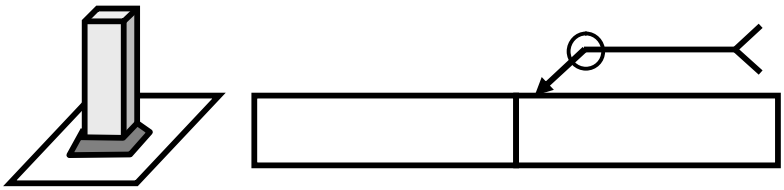
8- Double " J "  

9- Double " U "  

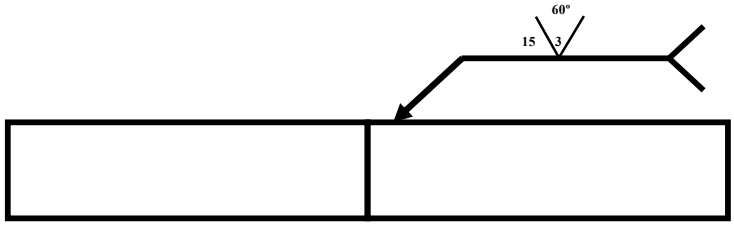
رسم پرچم در محل برخورد فلش با خط مرجع بیانگر این است کـه عملیـات جوشـکاری بـرای آن Joint میبایسـت در سـایت (محل نصب قطعه) انجام شود. (مطابق شکل زیر)



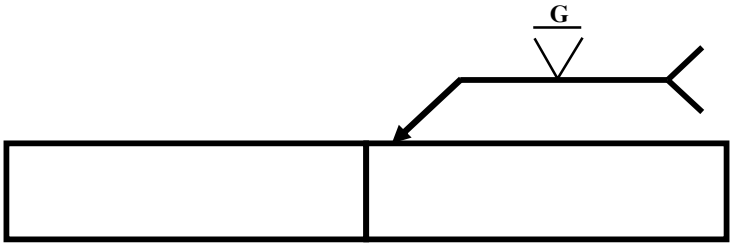
وجود علامت دایره در محل برخورد خط مرجع با فلش بیانگر اینست که عملیات آماده سازی لبه و جوشکاری مطـابق دسـتورات میبایست دور تا دور قطعه انجام شود. (مطابق شکل زیر)



برای نشان دادن فاصله دهانه ریشه (Root Gap) در نقشه، مقدار آن بصورت عدد کوچکی در پـایین تـرین قسـمت در داخـل دهانه دستور لبه سازی نمایش داده میشود. همچنین مقدار زاویه شیار نیز در قسمت بالای آن مطابق شـکل زیـر قـرار میگیـرد. اگـر لازم باشد، اندازه جوش را بیرون و در کنار علامت داده میشود.

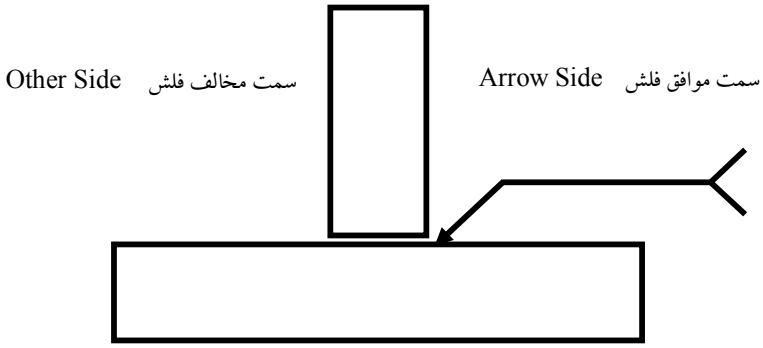


چنانچه نیاز باشد تا سطح گرده جوش سنگ زده شود و با سطح قطعه هم تراز گردد، با کشیدن خطی صاف به همراه حرف **G** در بالای علامت مطابق شکل زیر نشان داده میشود.

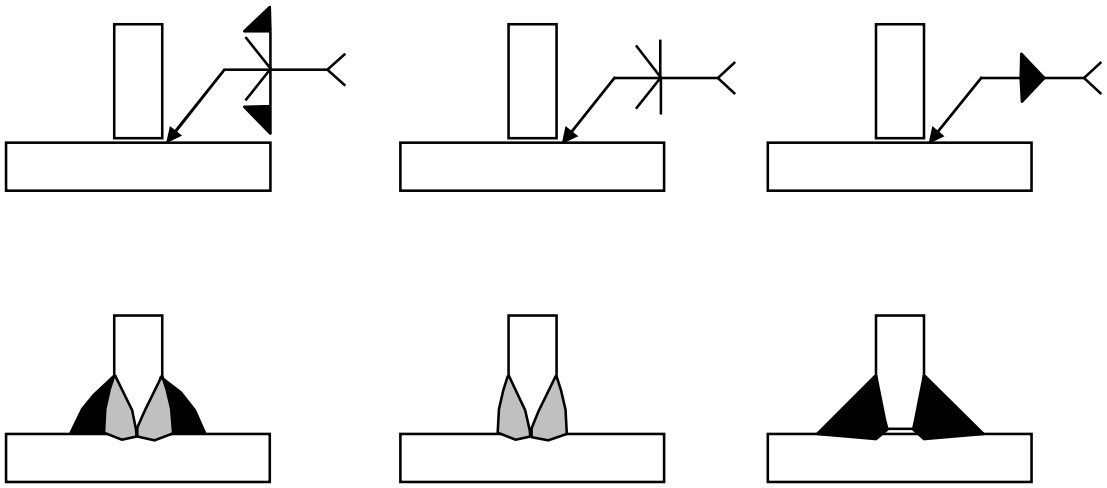


انواع سمبل ها در جوشهای گوشه ای Fillet Welding Symbols

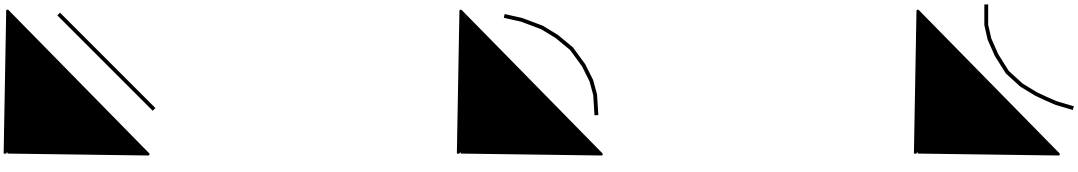
در جوشهای گوشه ای، سمت موافق و مخالف فلش کمی با جوشهای شیاری متفاوت میباشد. از آنجاییکه در این نوع از جوشها فقط بر روی یک قطعه میتوان لبه سازی را انجام داد، لذا سمت موافق و مخالف مطابق شکل زیر خواهد بود.



اتصالاتی که مطابق با شکل بالا انجام میگیرند میتوانند دارای یکی از سه شرایط زیر در آنها بوجود آید.



برای نشان دادن فرم گرده جوش weld profile ، از علامات زیر استفاده میگردد.



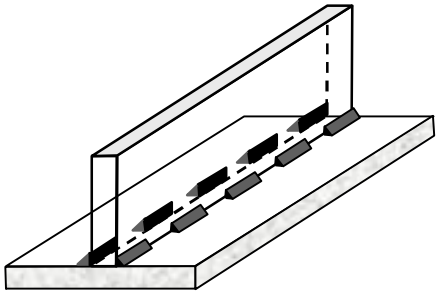
معمولا" جوشکاری اتصالات T در جوشهای فیلت بصورت منقطع انجام میگیرد. در اینجا سعی خواهیم نمود تا دو نوع متداول در این روشهای جوشکاری را برای شما تشریح نماییم.

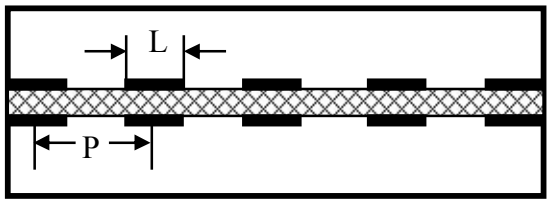
این دو روش عبارت است از:

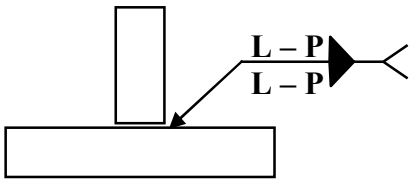
- جوشهای زنجیری Chain Weld
- جوشهای شطرنجی Staggered Weld

جوشهای زنجیری Chain Weld

در این روش جوشها از هر طرف بصورت متقارن و پشت به پشت انجام میگیرد. طول جوشها و فاصله بین آنها باید با هم برابر باشند، لذا دستور جوشکاری برای این نوع جوش بشکل زیر داده میشود.





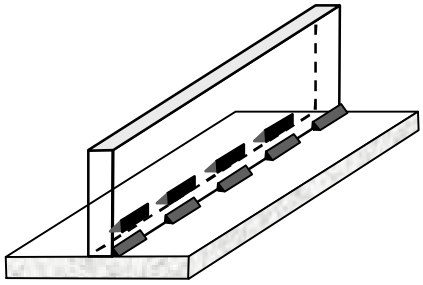


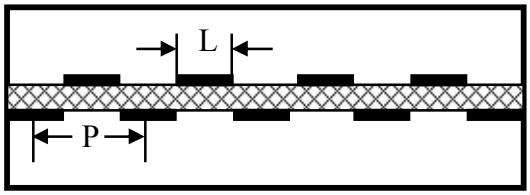
L = Length طول

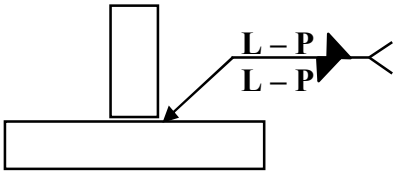
P = Period فاصله

جوشهای شطرنجی Staggered Weld

در این روش جوشها از هر طرف بصورت نامتقارن در دو سمت قطعه انجام میگیرد. طول جوشها و فاصله بین آنها باید با هم برابر باشند، لذا دستور جوشکاری برای این نوع جوش بشکل زیر داده میشود.







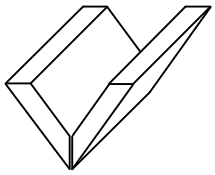
L = Length طول

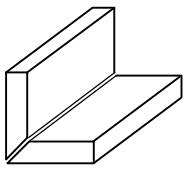
P = Period فاصله

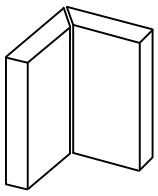
نحوه قرار گرفتن قطعات برای جوشکاری
Welding Position

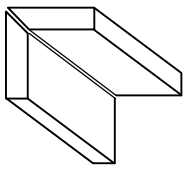
در زمان انجام جوشکاری مناسبترین حالت برای انجام یک جوش مناسب حالت تخت و افقی میباشد ولی همیشه نمی توان عملیات جوشکاری را در این موقعیت انجام داد.
جوشکاران نیز بنا به موقعیت قرار گرفتن قطعات برای جوشکاری میبایست قابلیت و تبحر خود را به اثبات برسانند، یعنی برای هر موقعیت باید مورد آزمایش قرار گیرند. در این بخش موقعیت های مختلف قرار گرفتن قطعات را در جوشهای نفوذی و گوشه ای مورد بررسی قرار خواهیم داد.

برای نشان دادن موقعیت های مختلف جوشهای گوشه ای Fillet Welds از علامت اختصاری **F** استفاده میگردد.

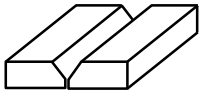
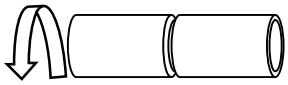
1 F  Flat تخت

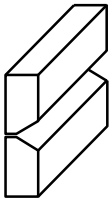
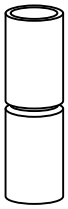
2 F  Horizontal افقی

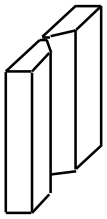
3 F  Vertical عمودی

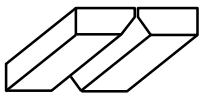
4 F  Over Head بالاسر

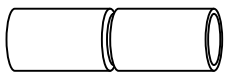
برای نشان دادن موقعیت های مختلف جوشهای نفوذی Groove Welds از علامت اختصاری **G** استفاده میگردد.

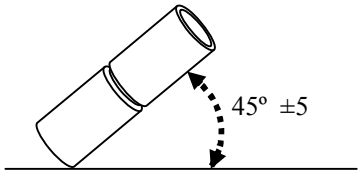
1 G   تخت Flat

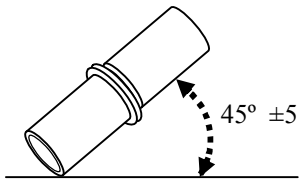
2 G   افقی Horizontal

3 G  عمودی Vertical

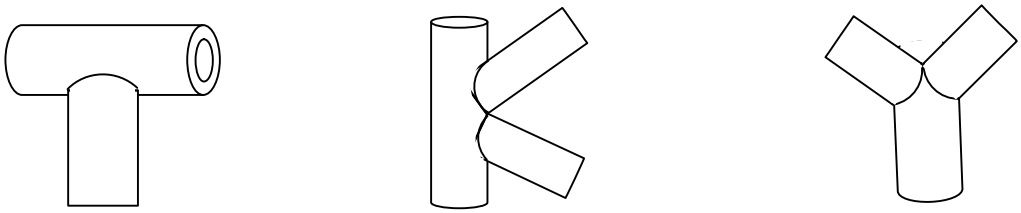
4 G  بالاسر Over Head

5 G لوله ثابت میباشد  دور تا دور Round

6 G 

6 GR اتصال لوله به ورق یا اتصالات T K Y 

اتصالات T K Y در سازه های فلزی از لوله استفاده میشود. نوع آماده سازی لبه و جوشکاری این نوع سازه ها با دیگر سازه ها کمی متفاوت میباشد. در زیر اشکال مختلف این نوع سازه ها را مشاهده میکنید.



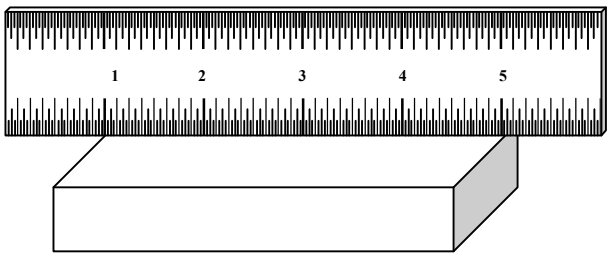
فصل ۲

- تجهیزات اندازه گیری
- گیج های جوش

تجهیـــزات اندازه گیری

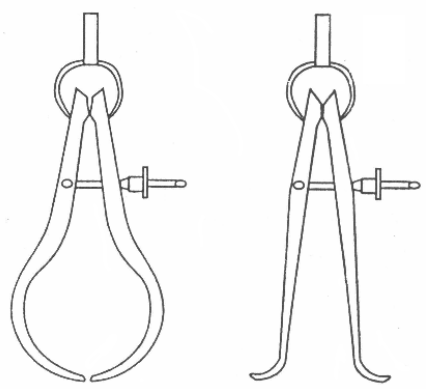
خط کـش Roller

یکی از ساده ترین وسایل اندازه گیری طول، خط کش استیل ۶ اینچی می باشد که دارای درجه بندی تا ۰/۰۱۶ متر می باشد. در زمان استفاده و برای بالا بردن دقت در اندازه گیری سعی شود که مبدا طول در زمان اندازه گیری از عدد ۱ شروع شود و نه از عدد صفر و همچنین خط کش را به صورت عمودی بر روی سطح قرار دهید تا درجه بنـدی هـا در نزدیـک تـرین حالـت بـه سطح قطعه قرار گیرد، مشابه شکل زیر.



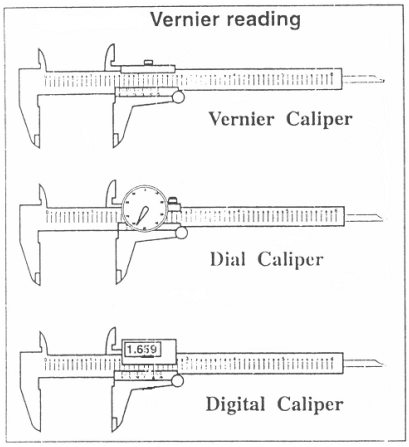
کولیـــس Caliper

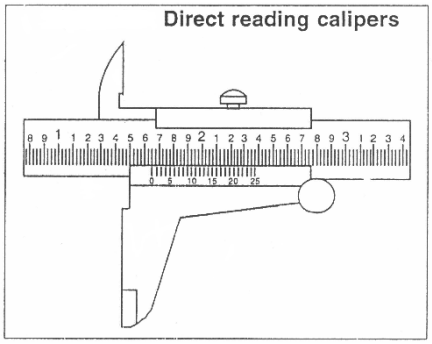
از کولیس برای اندازه گیری طول و قطر قطعات استفاده می شود. انواع بسیار زیاد و گوناگونی از کـولیس سـاخته شـده که می توان به صورت مستقیم و غیر مستقیم اعداد را به ما نشان دهد. در نوع خواندن غیر مستقیم مطـابق شـکل زیـر میتـوان انـدازه مورد نظر را مشخص و آنرا برای اندازه گیری منتقل نمود.

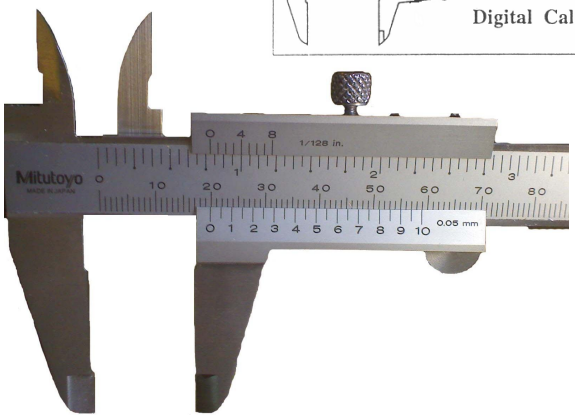


برای مثال در اندازه گیری قطر خارجی یک لوله طوری باید کولیس را تنظیم نمود تا دو لبه پایه هـای آن در بهتـرین قسـمت لولـه قرار گیرند. اگر در زمان استفاده دقت لازم اتخاذ شود می توان اندازه ها را با دقت۱/۶۴ اینچ مشخص نمود. کولیس هـا بـا قابلیـت خواندن مستقیم در انواع مختلفی ساخته شده اند. این نوع از کولیس ها می تواند از نوع بسیار ساده که از یـک خـط کـش و یـک فک متحرک تشکیل شده و یا از نوع عقربه ای و یا دیجیتالی برای اندازه گیری های بسیار دقیق بکار روند (شکل شماره ۱). کـار با کولیس های عقربه ای و دیجیتالی بسیار ساده می باشد. کولیس های کشـویی Vernier از سـخت تـرین نـوع هـای کـولیس از جهت خواندن اندازه می باشد. کشوی این کولیس دارای درجه بندی ثابت و حک شده می باشد. هر اینچ بر روی این بدنه اصـلی

به ۱۰ قسمت مساوی تقسیم شده است که در نهایت هر درجه آن نیز به ۴ قسمت دیگر تقسیم گردیده که بدین ترتیب هر خط نمایانگر ۱/۴۰ اینچ می باشد. خط کش روی فک متحرک به ۲۵ قسمت تقسیم شده است. تفاوت بین تقسیم بندی برابر با ۱/۲۵ از تقسیمات اصلی می باشد. بنابر این، چون تقسیمات اصلی برابر ۱/۴۰ اینچ و تقسیمات فک متحرک ۱/۲۵ تقسیمات اصلی می باشد، کولیس قادر است تا ۱/۱۰۰۰ اینچ یا ۰/۰۰۱ اینچ را اندازه گیری نماید.





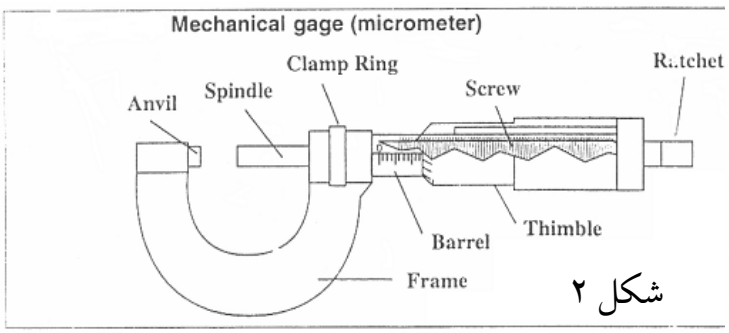


شکل ۱

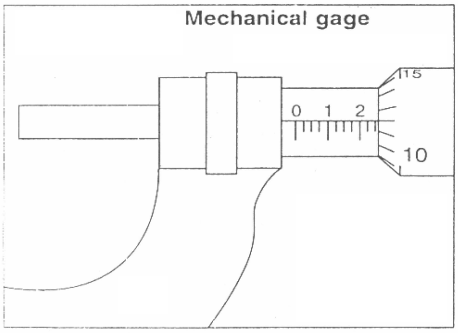
گیج های مکانیکی (میکرومتر ها) Mechanical Gauges (Micrometers)

این نوع گیج ها برای اندازه گیری های بسیار دقیق به کار می روند. این گیج ها دارای تنوع بسیار زیادی می باشند و قادرند تا اندازه های داخلی و خارجی قطعات، اندازه گیری قطعات صاف، محدب، دندانه دار و استوانه ای مشخص نمایند.

این گیج ها یک نوع از کولیس ها می باشند که با چرخش هر دور در قسمت انتهایی مقدار جابجایی فک را مشخص می نماید. برای شناخت دقیق تر این وسیله لازم است قسمت های گوناگون این وسیله را بهتر بشناسیم. این گیج شامل بدنه اصلی، یک نشیمنگاه، فک کشویی، بدنه استوانه ای مدرج و چرخ دنده است. قطعات این گیج را در شکل شماره ۲ مشاهده میکنید. اندازه گیری بین فک متحرک (کشویی) و نشیمنگاه انجام می شود. رقاصک انتهای گیج به ۴۰ قسمت به ازای هر اینچ تقسیم شده، بنابراین با یک دور چرخش آن برابر با ۰/۰۲۵ اینچ خواهد بود.



شکل ۲



گیـج های جوش Welding Gauges

انواع مختلف گیج ها که به طور معمول مورد استفاده در بازرسی جوش قرار میگیرند شامل گیج های کمبریج، گیج جوش هـای فیلت و گیج Hi-Lo و غیره می باشد.

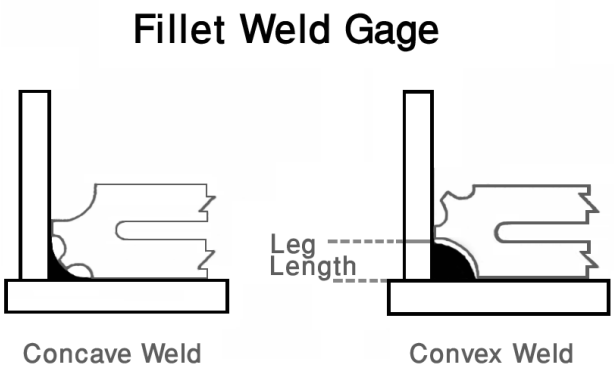
وظایفی را که گیجهای جوشکاری دارند عبارتند از:

۱- کنترل ابعادی قطعات و اتصالات آماده شده برای جوشکاری
۲- کنترل زاویه پخ لبه قطعات آماده شده برای جوشکاری
۳- کنترل فواصل لازم بین قطعات زمان مونتاژ
۴- کنترل قطعات قبل و بعد از مونتاژ از نظر هم سطح بودن
۵- کنترل ابعاد جوشهای تکمیل شده طبق نقشه بعد از جوشکاری
۶- کنترل و اندازه گیری عیوب احتمالی روی سطح قطعات جوشکاری شده

البته گیج های مورد استفاده در بازرسی جوش بسیار متنوع می باشد، بعضی از این گیجها تـک منظـوره و بعضـی از آنهـا بصـورت چند منظوره طراحی و ساخته شده اند.

گیج فیلت Fillet

یکی از تجهیزاتی که معمولا در آزمایش بازرسی جوش و چشمی بکار بـرده مـی شـود، گـیج انـدازه گیـری جوش فیلت می باشد. این گیج بیشتر برای اندازه گیری گرده جوش با اندازه ۱/۸ تا ۱ اینچ (۳ تا ۲۵ میلیمتر) به کار می رود. با این گیج ها همچنین میتوان تحدب و تقعر گرده جوش را نیز اندازه گیری نمود. در شکل شـماره ۳ نمونـه ای از ایـن گـیج نشـان داده شده است.



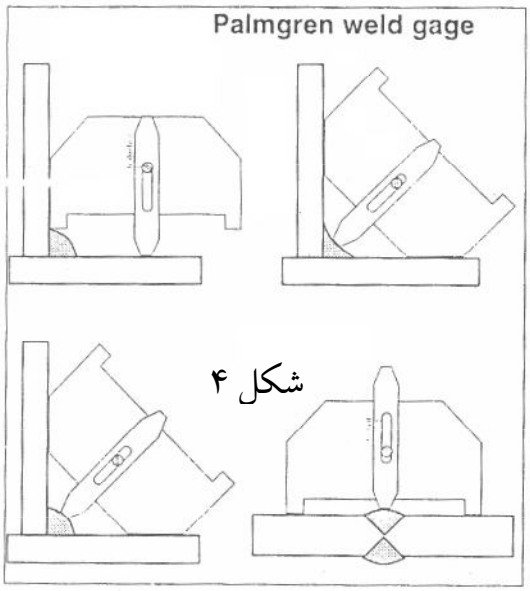
شکل ۳

گیج های چند منظوره

یک گیج چند منظوره قادر به انجام چندین اندازه گیری مانند اندازه گیری تحدب و تقعر جوش، گرده جوش و انـدازه ریشـه مـی باشد. از انواع این نوع گیج می توان به گیج های (Palmgren) AWS و Cambridge اشاره نمود. در ادامه به توضیح دربـاره این گیج ها میپردازیم.

گیج AWS (Palmgren)

گیج Palmgren یا AWS یکی دیگر از گیج های اندازه گیری جوش می باشد که در شکل شماره ۴ دیده میشود. این گیج برای تعیین مشخصات جوش های گوشه ای و لبه ای میتوان استفاده نمود. این گیج قادر به اندازه گیری سایز جوش فیلت، اندازه گلوگاه جوش کاو و گوژ، ارتفاع گرده جوش میباشد.



شکل ۴

روش اندازه گیری مشخصات جوش با گیج AWS

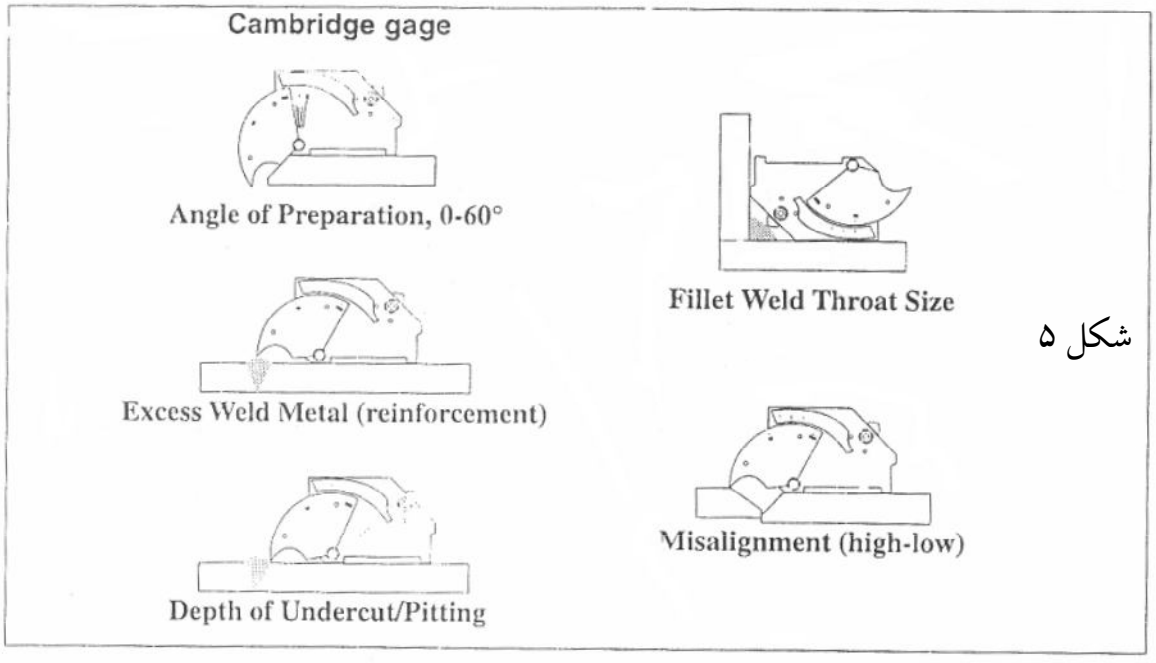
در شکل زیر روش های مختلف کار
با گیج AWS نشان داده شده است.

گیج کمبریج Cambridge

گیج کمبریج Cambridge یکی دیگر از انواع متنوع گیج های اندازه گیری جوش می باشد. موسسه جوش شهر کمبریج کشور انگلیس طراح این گیج می باشد و به همین دلیل به این نام مشهور گردیده است. با این وسیله می توان زاویه پخ لبه قطعه، عدم هم ترازی دو قطعه، سایز، اندازه گلوگاه جوش فیلت، اندازه عمق آندرکات و ارتفاع گرده جوش را اندازه گیری نمود. نمونه ای از کاربردهای این گیج را در شکل شماره ۵ مشاهده مینمایید.

این گیج چند منظوره قادر به اندازه گیری موارد زیر در واحد های اینچ و میلیمتر می باشد:

- زاویه آماده سازی (۰تا۶۰ درجه)
- ارتفاع گرده جوش
- اضافه فلز جوش (گرده جوش)
- عدم هم ترازی
- عمق بریدگی لبه ها Undercut
- اندازه گلویی جوش گوشه ها
- عمق خوردگی سطح قطعه Pitting
- ساق گرده جوش



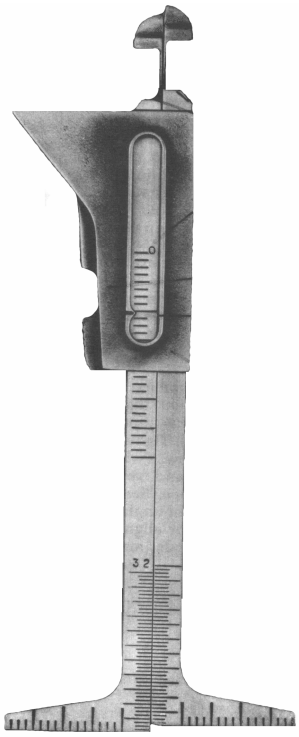
شکل ۵

گیج Hi - Lo

این گیج که گیج mismatch نیز نامیده می شود برای اندازه گیری هم ترازی داخلی و خارجی اتصالات لوله به کار می رود. بعد از وارد کردن و قرار دادن گیج، پیچ انگشتی را بسته و گیج در آورده می شود تا عدم هم ترازی مشخص می شود. در شکل شماره ۶ نشان داده شده است.

این گیج می تواند برای اندازه گیری های زیر نیز به کار رود:

- ارتفاع گرده جوش
- عدم هم ترازی داخلی
- فاصله اتصال fit-up
- ضخامت دیواره جوش



فصل ۳

- جوش قوسی با الکترود روپوش دار

SMAW

- جوش قوسی با الکترود تنگستنی و گاز خنثی

GTAW

- جوش قوسی با الکترود فلزی و گاز محافظ

GMAW

- جوشکاری قوسی زیر پودری

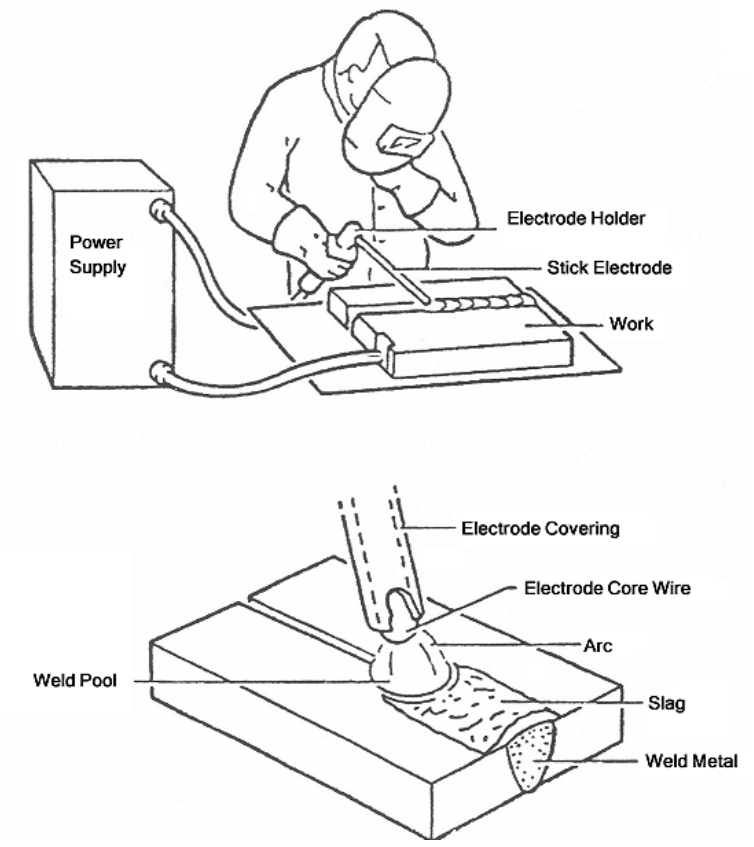
SAW

آشنایی با انواع روشهای جوشکاری قوس الکتریکی

روش جوشکاری قوسی با الکترود پوشش دار (جوشکاری قوس دستی)

Shielded Metal Arc Welding (SMAW) U.S
Manual Metal Arc Welding (MMA) U.K

این روش جوشکاری، یکی از متداول ترین روشهای جوشکاری میباشد. در این روش جوشکاری، جریان برق از داخل الکترود عبور کرده و قوس الکتریکی تشکیل شده بین الکترود و قطعه مورد نظر، موجب ذوب شدن سطح فلز پایه یا لبه های اتصال مورد جوشکاری میگردد. از طرف دیگر این فرآیند باعث ذوب شدن خود الکترود و تزریق مواد مذاب به داخل حوضچه مذاب جوش می گردد. با نزدیک کردن الکترود به قطعه قوس الکتریکی تشکیل میگردد و جوشکار میبایست به محض برقراری قوس، طول قوس را ثابت نگه داشته و با حرکت یکنواخت دست در طول مسیر جوشکاری عمل مذاب ریزی جوشکاری را انجام دهد. شکل زیر نمایی از این روش جوشکاری را نشان میدهد.



دستگاه های جوشکاری مورد مصرف در صنعت امروزی را میتوان به ۳ دسته تقسیم نمود:

i- دستگاه جوش ترانسفورماتوری یا ترانس، که قادر به تولید جریان متناوب (AC) برای عملیات جوشکاری میباشد.

ii- دستگاه جوش ترانسفورماتوری همراه با سیستم یکسو ساز جریان (DC) که بنام دستگاه جوشکاری رکتیفایر Rectifier نیز معروف میباشد. از این دستگاه ها برای جوشکاری با جریان مستقیم Direct Current استفاده میشود.

قطبیت در جریان مستقیم میتواند به دو حالت زیر مورد استفاده قرار گیرد:

در حالت اول اتصال قطب ها بدین ترتیب است که قطب منفی جریان به الکترود و قطب مثبت به قطعه متصل میگردد. یعنی الکترود دارای قطب منفی و قطعه دارای قطب مثبت میشود که برابر خواهد بود با:

DCEN - **D**irect **C**urrent **E**lectrode **N**egative OR

DCSP - **D**irect **C**urrent **S**traight **P**olarity

به همین دلیل در این روش تقریبا" ۲/۳ حرارت ایجاد شده توسط قوس الکتریکی در قطعه تولید گردیده و ۱/۳ حرارت در الکترود خواهد بود.

نکات مهم در این روش جوشکاری عبارت است از:

الف- سرعت ذوب شدن پائین الکترود و مقدار ذوب در قطعه بالا خواهد بود

ب- جوش با نفوذ بیشتر و با احتمال عیب کمتر در مقطع جوش همراه خواهد بود

در حالت دوم نیز اتصال قطب ها بدین ترتیب میباشد که قطب مثبت جریان به الکترود متصل و جریان منفی به قطعه کار مورد نظر وصل میگردد، که برابر خواهد بود با:

DCEP - **D**irect **C**urrent **E**lectrode **P**ositive OR

DCRP - **D**irect **C**urrent **R**everse **P**olarity

به همین دلیل در این روش تقریبا" ۱/۳ حرارت ایجاد شده توسط قوس الکتریکی به قطعه وارد شده و ۲/۳ حرارت در الکترود خواهد بود.

نکات مهم در این روش جوشکاری عبارت است از:

الف- سرعت ذوب شدن سیم جوش بالا و مقدار ذوب قطعه پائین خواهد بود

ب- قدرت نفوذ جوش پائین

ج- جوش دارای ظاهر و گرده جوش منظم و یکنواخت تر خواهد بود

iii- دستگاه های جوش ژنراتوری که تولید جریان های برق مستقیم DC نموده و مشابه رکتیفایر میتوان دو نوع جریان جوشکاری را در عملیات اعمال نمود.

نکات مهم بازرسی در این روش جوشکاری عبارت است از:

۱- تجهیزات جوشکاری

۲- الکترود

باید کلیه تجهیزات جوشکاری را قبل از شروع به عملیات جوشکاری بازبینی نمود.

مواد مصرفی در روش جوشکاری قوسی با الکترود پوشش دار

بطور کلی الکترود شامل یک مغزی فلزی (سیم) به طول ۱۵۰ الی ۳۵۰ میلیمتر و قطر ۱ تا ۸ میلیمتر میباشد. این سیم با یک لایه Flux پوشیده شده است. این سیم معمولا" از جنس کم ارزش آهن Rimmed Steel تهیه شده و میتوان عمل جوشکاری را یک عملیات ریخته گری کوچک تصور نمود و بنابراین احتیاج به موادی برای گرفتن ناخالصی فلز مذاب دارد که پوشش الکترود این وظیفه را انجام میدهد. این پوشش دارای المنت ها و مواد زیادی میباشد که هر یک وظایف مختلفی را در زمان جوشکاری به عهده دارند. بطور مثال سیلیکون با جذب اکسیژن فلز مذاب و تبدیل شدن به اکسید سیلیکون، بعنوان یک ماده محافظ فلز جوش در برابر اکسیده شدن، و یا ۱/۶٪ منگنز باعث بهبود قدرت و سختی در فلز جوش میگردد.

مواد های دیگر نیز در همین راستا تاثیرات گوناگونی دارند که میتوان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- کمک به تشکیل قوس الکتریکی
۲- کمک به برقراری یک قوس پایدار
۳- تولید گاز محافظ قوس و حوضچه مذاب
۴- تصفیه و تمیز نمودن فلز مذاب جوش
۵- تشکیل گل جوش برای محافظت فلز جوش از سرد شدن سریع
۶- تزریق المنت های از دست رفته به فلز جوش
۷- کنترل مقدار هیدروژن فلز جوش
۸- بوجود آوردن یک حالت مخروطی در سر الکترود برای هدایت قوس

الکترودها بر اساس ساختار پوششی خود دسته بندی شده اند. در زیر گروه بندی کلی الکترودها را مشاهده میکنیم:

گروه	مواد تشکیل دهنده	گاز محافظ	موارد استفاده	AWS A5.1
رتیلی Rutile	تیتانیوم Titania	دی اکسید کربن CO_2	مصارف عمومی General Purpose	E 6013
قلیایی Basic	ترکیبات کلسیوم Calcium compounds	دی اکسید کربن CO_2	کیفیت بالا High quality	E 7018
سلولزی Cellulosic	سلولز Cellulose	هیدروژن Hydrogen	پاس ریشه Pipe root runs	E 6010

لازم به ذکر است الکترود ها قبل از مصرف بایستی کاملا تمیز، خشک با پوشش سالم و ترک نخورده و مغزی فلزی بدون رنگ بوده و همچنین نگهداری الکترودها باید در جای خشک و بدون رطوبت انجام گیرد و فقط در موقع استفاده باید از داخل بسته خارج شوند. به طور کلی در هنگام استفاده از الکترودها نکات زیر را بایستی رعایت نمود:

الف) الکترود های قلیایی را باید طبق توصیه سازنده خشک نمود یا حداقل بمدت یک ساعت در دمای ^{o}C ۳۵۰ نگهداری نموده تا کاملا خشک گردند و پس از آن در گرم خانه ای با دمای تقریبی ^{o}C ۱۵۰ نگهداری کرد تا زمان استفاده آنها فرا رسد.

ب) الکترودهای سلولزی نیازی به خشک نمودن نداشته و صرفا" این الکترودها را در شرایط معمولی نگهداری میکنند. در محیط های بسیار مرطوب بهتر است الکترودها را در گرم خانه، تا دمای ^{o}C ۴۰ قرار دهند.

شناسایی الکترودهای روپوش دار طبق استاندارد AWS

طبق این استاندارد الکترودهای روپوش دار با حرف E شروع شده و پس از آن یک عدد ۴ رقمی یا ۵ رقمی بر روی الکترود درج میگردد.

E - XXXX مانند = E - 6013 و E - 7018

E - XXXXX مانند = E - 11018

دو رقم اول از سمت چپ در الکترودهای چهار رقمی یا سه رقم اول از سمت چپ در الکترودهای پنج رقمی، هنگامی که در عدد ۱۰۰۰ ضرب شوند، بیانگر حداقل استحکام کششی نهایی فلز جوش بر حسب واحد پوند بر اینچ مربع (PSI) می باشد.

مثال:

E – 60 1 3 حداقل استحکام کششی فلز جوش بر حسب PSI ۶۰x۱۰۰۰=۶۰۰۰۰

E – 70 1 8 حداقل استحکام کششی فلز جوش بر حسب PSI ۷۰x۱۰۰۰=۷۰۰۰۰

در این نامگذاری رقم دوم سمت راست نشان دهنده حالت جوشکاری با الکترود می باشد. بطور کلی حالات مختلفی که جوشکاری در یکی از آن وضعیت ها صورت می گیرد عبارت است از:

1 - تمامی حالات

2 - تمامی حالات بغیر از عمود رو به پائین

3 - نفوذی تخت و فیلت افقی

4 - فقط نفوذی تخت

5 - نفوذی تخت و عمود رو به پائین

E – 60 1 3 حالت و موقعیت جوشکاری

E – 70 1 8 حالت و موقعیت جوشکاری

همچنین اولین رقم از سمت راست نشان دهنده نوع پوشش و جریان مورد استفاده در جوشکاری طبق جدول زیر می باشد.

E – 60 1 3 نوع قطبیت و پوشش الکترود

E – 70 1 8 نوع قطبیت و پوشش الکترود

شماره روی الکترود	نوع جریان	نوع پوشش
0	DCEP	سلولزی – سدیم دار
1	AC , DCEP	سلولزی – پتاسیم دار
2	DCEP	رتیلی – اکسید تیتانیوم، سدیم دار
3	AC, DCEP, DCEN	رتیلی – اکسید تیتانیوم، پتاسیم دار
4	AC, DCEP, DCEN	رتیلی – اکسید تیتانیوم ، پودر آهن
5	DCEN	قلیایی – کم هیدروژن، سدیم دار
6	AC , DCEP	قلیایی – کم هیدروژن، پتاسیم دار
7	AC, DCEP, DCEN	اسیدی - پودر آهن، اکسید آهن
8	AC , DCEP	قلیایی – کم هیدروژن، پودر آهن

جوشکاری قوسی با الکترود تنگستنی و گاز محافظ خنثی (جوشکاری آرگون)

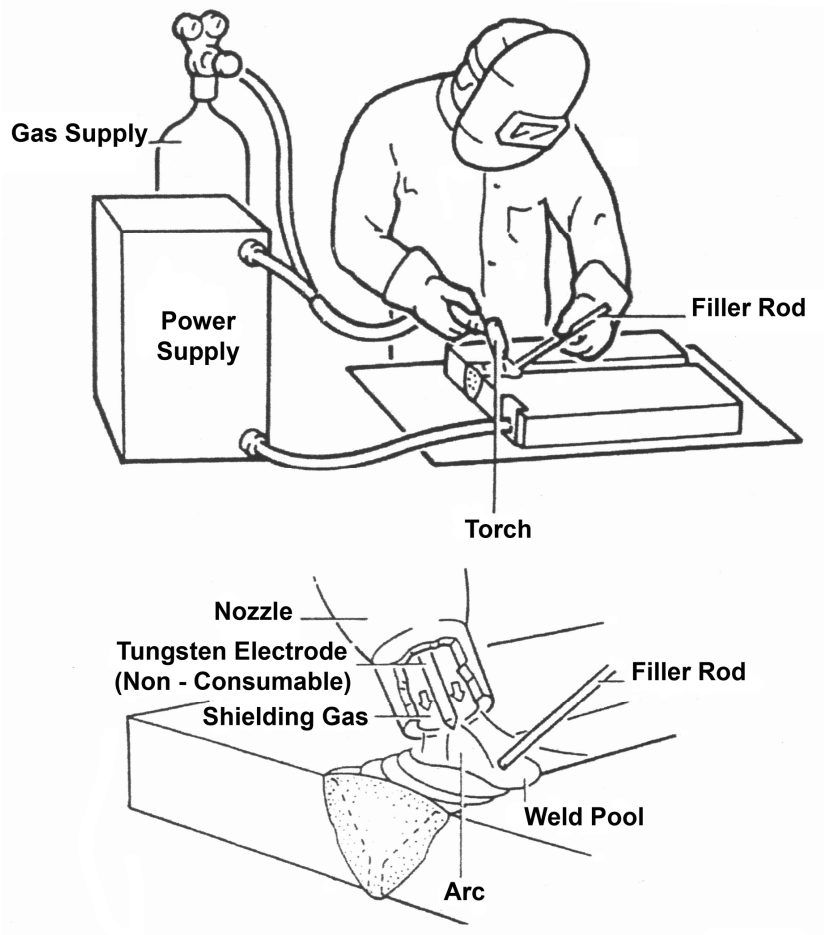
Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) U.S.A
Tungsten Inert Gas (TIG) U.K

در این روش با برقراری قوس الکتریکی بین الکترود تنگستنی غیر مصرفی و قطعه کار عملیات جوشکاری انجام میشود. قوس ایجاد شده باعث ذوب شدن سطح قطعه و تشکیل حوضچه جوش میگردد، جوشکار با نزدیک نمودن نوک سیم جوش به حوضچه جوش و تماس دادن آن عمل مذاب ریزی و جوشکاری را انجام می دهد، همچنین محیط قوس و حوضچه جوش توسط دمیده شدن گاز محافظ بی اثر و خنثی آرگون (Ar) یا هلیم (He) یا مخلوطی از این دو گاز حفاظت می گردد و بدین ترتیب از ورود گازهای مضر اتمسفر در اطراف جوش نظیر گاز H_2O, O_2, N_2, CO_2 و غیره جلوگیری به عمل می آید.

این روش جوشکاری صنعت روز دنیا به دو طریق زیر انجام میگیرد:

۱- جوشکاری TIG دستی (Manual)

۲- جوشکاری TIG اتوماتیک (Automatic)



مواد مصرفی برای این روش جوشکاری عبارتند از:

۱- گاز محافظ مثل هلیوم He, آرگون Ar و یا مخلوطی از هر دو گاز Ar + He

۲- سیم جوشهای متناسب با نوع قطعات، نظیر:

الف- سیم جوش فولادی کم کربن

ب- سیم جوش فولادی زنگ نزن

ج- سیم جوش غیر آهنی نظیر آلومینیوم و غیره

قطعه کار Material مورد نظر برای جوشکاری در این روش می تواند از جنس های مختلف باشد. نظیر:

الف- فولادهای کربنی و یا آلیاژی

ب- فولاد های زنگ نزن

ج- آلیاژهای آلومینیوم

د- آلیاژهای تیتانیومی

ه- آلیاژهای مسی

و- آلیاژهای نیکلی

الکترودهای تنگستنی:

در روش جوشکاری TIG برقرار کننده قوس الکتریکی از جنس تنگستن (Tm=3400°c) بوده و در حین جوشکاری مصرف نمی شود.

این الکترودها در انواع مختلف زیر در بازار موجود میباشد:

۱- الکترود تنگستنی خالص (ته سبز) یا EWP جهت جوشکاری با جریان های متناوب یا AC

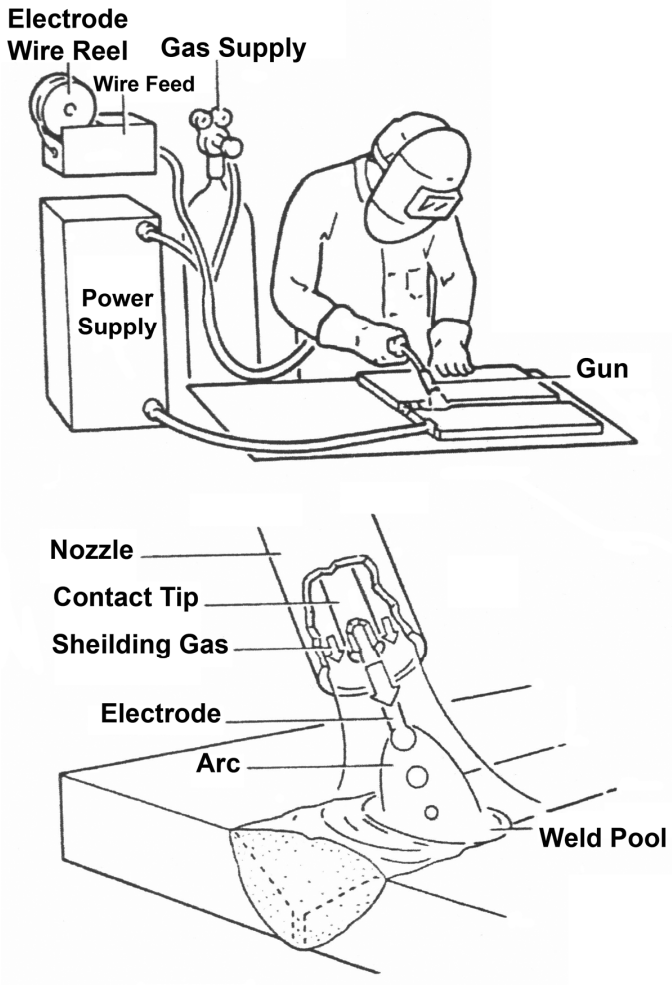
۲- الکترود تنگستنی آلیاژ توریم دار (عنصر رادیواکتیو) (ته قرمز) EWTH-1 و EWTH-2 جهت جوشکاری با جریان های مستقیم DC

۳- الکترود تنگستنی آلیاژ زیرکونیوم دار (ته خاکستری) EWZR جهت جوشکاری با جریان متناوب AC و مستقیم DC

جوشکاری قوسی – فلزی با حفاظت گازی (جوشکاری CO_2)

Gas Metal Arc Welding (GMAW) U.S.A
Metal Inert Gas Welding (MIG) U.K
Metal Active Gas Welding (MAG) U.K

در این روش بسته به آن که هنگام جوشکاری گاز محافظت کننده قوس، گاز خنثی مثل آرگون باشد روش جوشکاری را MIG و اگر گاز محافظت کننده قوس گاز فعال مثل گاز CO_2 باشد، روش جوشکاری را بنام MAG می شناسند. در شکل زیر قسمتهای مختلف این روش جوشکاری مشاهده می شود.



روش انجام جوشکاری:

در روش جوشکاری MIG/MAG قوس الکتریکی بین نوک الکترود (مصرف شدنی پیوسته که از سوی کلاف سیمی تامین می شود) و سطح قطعه کار برقرار می شود که باعث ذوب شدن سطح قطعه کار و تشکیل حوضچه جوش بر روی آن و ذوب شدن الکترود مصرف شدنی که پیوسته ذوب شده به سوی حوضچه جوش منتقل میگردد، برقرار میشوند.

گاز محافظت کننده قوس و حوضچه مذاب بسته به نوع آلیاژ قطعه می تواند:

الف- گاز CO_2 خالص باشد که جهت جوشکاری فولادهای کربنی بکار میرود

ب- مخلوطی از $Ar + CO_2$ باشد که جهت جوشکاری فولادهای کربنی با سرعت جوشکاری بالا مورد استفاده قرار میگیرد.

ج- مخلوطی از گازهای He و Ar که جهت جوشکاری آلیاژهای حساس به گازهای مضر نظیر CO_2, N_2, O_2, H_2O و غیره بکار برده میشود.

روشهای جوشکاری MIG / MAG

این دو فرآیند جوشکاری، بالاترین سرعت جوشکاری و رسوب گذاری مذاب را دارا می باشند و میتوان در بخشهای زیر با این روش جوشکاری نمود.

۱- روش اتصال کوتاه (short circuit) جهت جوشکاری ورقهای نازک تا نسبتا ضخیم، با عمق نفوذ کم.

۲- روش انتقال مذاب قطره ای (globular mode) جهت جوشکاری ورقهای ضخامت متوسط تا ضخیم با عمق نفوذ متوسط ولی با میزان پاشش زیاد مذاب.

۳- روش انتقال اسپری (spray mode) جهت جوشکاری با سرعت بالا و خاص جوشکاری ورقهای ضخامت متوسط تا ضخیم و عمدتا" در وضعیت های تخت و افقی.

۴- روش انتقال مذاب پالسی (pulse mode) جهت جوشکاری با سرعت بالا یا کم، انواع ضخامت های قطعات فلزی در تمام وضعیت های جوشکاری.

نوع گاز	روش جوشکاری	مورد استفاده	خصوصیات
آرگون خالص	MIG	برای جوشکاری آلیاژهای استیل و آلومینیوم	قوس پایدار با نفوذ ضعیف و پاشش کم
CO_2 خالص	MAG	برای جوشکاری استیل	نفوذ بالا، قوس ناپایدار و پاشش زیاد
آرگون + ٪ ۵-۲۵ CO_2	MAG	برای جوشکاری استیل	نفوذ خوب، قوس پایدار و پاشش کم
آرگون + ٪ ۲ CO_2 یا O_2	MAG	فقط برای جوشکاری استیل ضد زنگ آستنتیکی Austenitic Stainless ONLY	افزودنی های فعال باعث ایجاد سیالیت مناسب در استیل ضد زنگ شده و باعث ایجاد ذوب مناسب پاشنه جوش میگردد

جوشکاری قوسی زیر پودری

Submerged Arc Welding (SAW)

در این روش جوشکاری جریان از طریق الکترود که بصورت کلاف میباشد عبور نموده و قوس الکتریکی را با قطعه برقرار میکند. Flux بصورت پودر و جداگانه بر روی حوضچه مذاب ریخته میشود و قوس الکتریکی در زیر پودر مدفون خواهد شد. این جوشکاری به روش اتوماتیک صورت میگیرد و دارای نفوذ و رسوب گذاری بالا میباشد. از آنجاییکه پوشش مورد استفاده در جوشکاری بصورت پودر بر روی جوش ریخته میشود، از این روش جوشکاری فقط میتوان برای حالت تخت و افقی استفاده نمود.

فصل ٤

❖ انواع مختلف عیوب

Defects

❖ گسستگی های جوش

Welding Discontinuities

عیوب و گسستگی ها را میتوان به **سه دسته** تقسیم نمود، **عیوب ذاتی Inherent ، عیوب زمان ساخت Processing، و عیوب زمان کار Service**

۱. **عیوب ذاتی Inherent** – این عیوب بدلیل وجود عیوب در داخل فلز مذاب میباشد.

عیوب ذاتی مواد خام Inherent Wrought Discontinuities

این عیوب بستگی به نوع ذوب فلز و نحوه سرد شدن قالب اولیه Ingot قبل از عملیات نورد کاری آن برای درست کردن شمش و پروفیل میباشد.

عیوب ذاتی قطعات ریخته گری Inherent Cast Discontinuities

این عیوب وابسته به نوع ذوب، عمل ریخته گری و نحوه انجماد قالب های ریخته گری میباشد که به دلایل ناکافی بودن فلز مذاب، نامناسب بودن راه گاه ها، ریختن فلز مذاب با درجه حرارت بالا و محبوس شدن هوا داخل قالب بوجود می آید.

۲. **عیوب زمان ساخت Processing** – این عیوب به دلایل مختلف در رابطه با عملیات ساخت از قبیل ماشین کاری Machining، شکل دادن به قطعات Forming، کشش Extruding ، نورد کاری Rolling، جوشکاری Welding، تنش زدایی Heat Treating، و ورق کاری Plating بوجود می آید.

۳. **عیوب زمان کار Service** – این عیوب وابسته به انواع مختلف شرایط کاری از قبیل خوردگی بر اثر تنش، خستگی و غیره میباشد.

توجه داشته باشیم که هر گسستگی را نمیتوان یک عیب دانست. هر علائمی که توسط کارشناس NDT مشخص میگردد را یک گسستگی نامیده میشود تا زمانی که با ارزیابی و تفسیر آنرا یک عیب برای آن قطعه بنامیم.

آشنایی با گسستگی های جوش در فرآیندهای مختلف جوشکاری

مطالبی که در این قسمت بیان می شود در بر گیرنده کلیه عیوب حاصل از اتخاذ روش غلط در جوشکاری گاز و یا جوشکاری قوس الکتریکی نخواهد بود بلکه بطور اجمالی معایبی را که عمومیت داشته و به اصطلاح شناخته شده هستند مورد استفاده قرار می دهد.

مجددا" یادآوری می گردد عللی که برای پیدایش این عیوب ذکر شده همگی این علتها نیست، بطور مثال وقتی برای ترک خوردن محل اتصال علتی را ذکر می کنیم امکان دارد در بعضی موارد علت بخصوص دیگری عامل بوجود آمدن ترک گردد که در اینجا ذکر نشده باشد و این به خاطر گسترده بودن دامنه صنعت جوشکاری که خود یک ریخته گری در حد کوچک است می باشد نه به خاطر نارسا بودن مطلب.

بطور کلی عیوب حاصل در جوش را می توان به صورت زیر طبقه بندی نمود:

۱- عیوب ریشه ای جوش
۲- عیوب داخلی جوش
۳- عیوب سطحی جوش

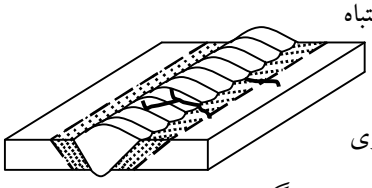
در این طبقه بندی عیوب ریشه ای به نواقصی اطلاق می شود که معمولا در پاس یک (Root Pass) به وجود می آید و جزء نواقص مهم شمرده می شود.

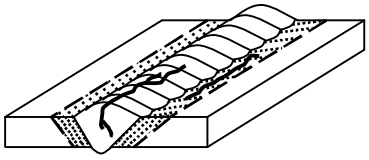
عیوب داخلی نواقصی است که در قسمت های Hot Pass و Filling بوجود می آید و از نظر اهمیت در درجه دوم واقع می شوند.

عیوب سطحی که عمدتا" با بازرسی چشمی قابل رویت می باشند و در پاس رو یا Cap ایجاد می شود و به آسانی قابل تعمیر می باشند.

ترک Crack

علل بوجود آمدن ترک در جوش عبارت است از:



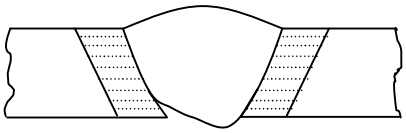


- استفاده از الکترود و یا سیم جوش اشتباه
- غیرهمجنس بودن دو قطعه
- عدم مهار مناسب قطعه حین جوشکاری
- روش غلط و مقدار دما برای پیش گرم و پس گرم
- انتخاب اشتباه برنامه و دما برای عملیات حرارتی قطعه
- تنش های داخلی و سطحی جوش به خاطر طراحی غلط اتصال
- برداشتن سریع الکترود و قطع سریع جوشکاری ترک چاله جوش و یا ترک انقباضی Crater
- سرد شدن قطعه جوشکاری با سرعت بالا

عدم ذوب Lack Of Fusion

علل بوجود آمدن ذوب ناقص در جوش عبارت است از:

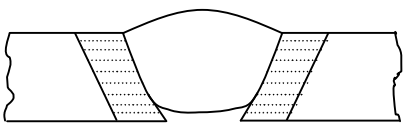
- سرعت حرکت جوشکاری زیاد است
- پایین بودن آمپر
- غلط بودن شکل آماده سازی قطعه
- قطر کم الکترود
- عدم یکنواختی در حین قوس جوشکاری
- غلط بودن زاویه نگهداری الکترود یا سیم جوش در زمان جوشکار ی
- عدم همترازی



عدم نفوذ Lack Of Penetration

علل موثر در تشکیل یک عدم نفوذ در جوش عبارت است از:

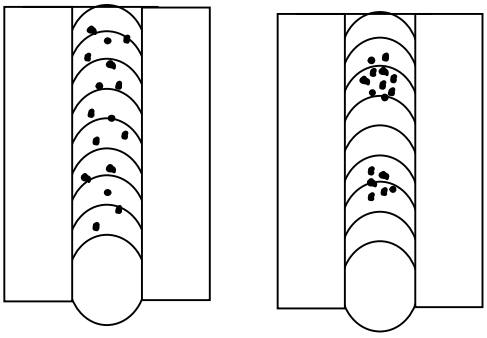
- پایین بودن جریان برای جوشکاری
- کوچک بودن زاویه شیار پخ ها
- بلند بودن پاشه جوش
- کوچک بودن دهانه ریشه جو ش
- سرعت بالای جوشکاری
- بزرگ بودن قطر الکترود
- سرد بودن قطعه کار



تخلخل های گازی Porosity

علل ایجاد تخلخل در جوش عبارت است از:

- کم یا زیاد بودن طول قوس و رعایت نکردن فاصله صحیح تورچ تا سطح کا ر
- زیاد بودن جریان جوشکاری
- TIGو MAG /MIG تنظیم نبودن صحیح گاز محافظ در جوش
- زیاد بودن سرعت حرکت تورچ یا الکترود
- پوشیده بودن سطح قطعه مورد جوشکاری از روغن، گریس، لایه های اکسید، گرد و غبار و کثیفی
- مرطوب بودن و معیوب بودن سیم جوش الکترود
- وزش باد در محیط کار



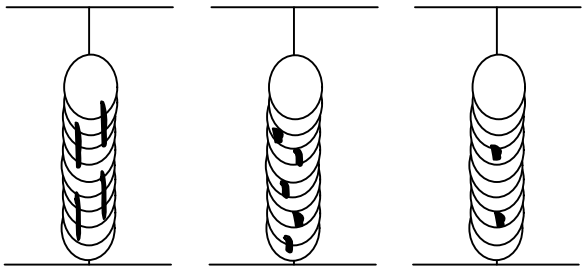
سرباره (گل جوش) Slag Inclusion

❖ **ناخالصی های غیر فلزی Non Metallic Inclusion**
- **گل جوش Slag**
- **اکسید ها Oxides**

❖ **ناخالصی های فلزی Metallic Inclusion**
- **تنگستن Tungsten**
- **مس Copper**
- **الکترود ذوب نشده Filler Metal**

ناخالصی های غیر فلزی Non Metallic Inclusion

علل باقی ماندن سرباره در داخل جوش عبارت است از:



- نوسانات جریان بر ق
- فاسد بودن الکترو د
- سرد شدن سریع مذا ب
- عدم تمیزکاری مناسب بین پاسی

ناخالصی های فلزی Metallic Inclusion

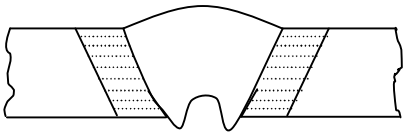
علل باقی ماندن سرباره در داخل جوش عبارت است از:

- نوسانات جریان برق در سیستم TIG
- عدم مهارت جوشکار
- قراردادن الکترود خام در داخل شیار جو ش
- چسبیدن الکترود به مذاب
- وارد شدن مس از لقمه ها یا دیگر مواد به داخل مذاب

سوختگی مغز ریشه Burn Through

این عیب فقط در ریشه بوجود می آید و دلایل آن شامل:

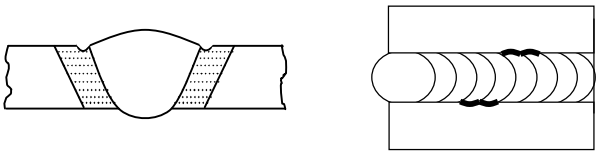
- بالا بودن جریان برق (آمپر)
- توقف یا مکث در حین جوشکاری
- کوتاه بودن پیشانی ریشه
- قطع و وصل شدن قوس الکتریکی



بریدگی کناره های جوش Under Cutting

عوامل موثر در بوجود آمدن بریدگی کناره های جوش عبارت است از:

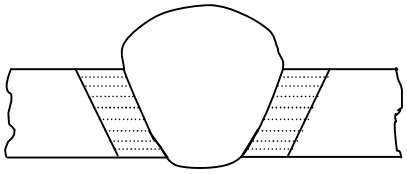
- بالا بودن جریان برق (آمپر)
- بالا بودن سرعت جوشکاری
- سرگردانی قوس
- کثیفی و آلودگی سطح قطعه
- طول بلند قوس



فلز اضافی گرده Excess Weld metal

این عیب فقط در سطح جوش، گرده بوجود میآید و دلایل تشکیل آن شامل:

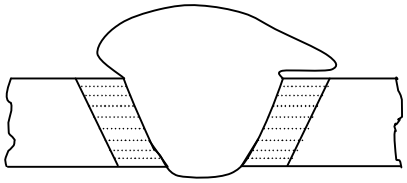
- بالا بودن جریان برق (آمپر)
- سرعت پائین جوشکاری
- بالا بودن قطر سیم جوش (الکترود)



زاویه گرده / زاویه آلفا Cap Angle/Alpha Angle

این عیب فقط در سطح جوش، در گرده بوجود می آید و دلایل تشکیل آن شامل:

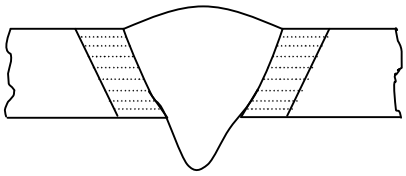
- بالا بودن جریان برق (آمپر)
- سرعت پائین جوشکاری
- بالا بودن قطر سیم جوش (الکترود)
- عدم مهارت جوشکار



اضافی نفوذ Excess Penetration

این عیب فقط در ریشه جوش بوجود می آید و دلایل تشکیل آن شامل:

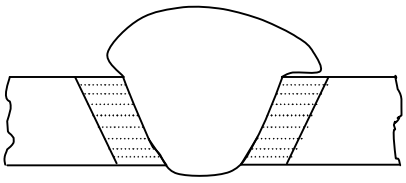
- بالا بودن جریان برق (آمپر)
- سرعت پائین جوشکاری
- بالا بودن قطر سیم جوش (الکترود)
- عدم مهارت جوشکار



روی هم خوابیدگی سرد گرده جوش Over Lapping

این عیب زمانی بوجود می آید که فلز جوش سرد روی فلز پایه ریخته و دلایل تشکیل آن شامل:

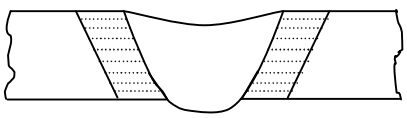
- بالا بودن جریان برق (آمپر)
- سرعت پائین جوشکاری
- بالا بودن قطر سیم جوش (الکترود)
- عدم مهارت جوشکار
- نحوه قرار گرفتن قطعه



عدم پرشدگی گرده جوش Sagging / Under fill

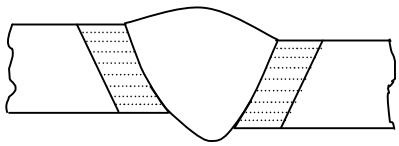
این عیب زمانی بوجود می آید که فلز جوش سرد روی فلز پایه ریخته و دلایل تشکیل آن شامل:

- عدم مهارت و توجه جوشکار
- اشتباه در ترتیب انجام جوشکاری



عدم همترازی Misalignment / Hi - Lo

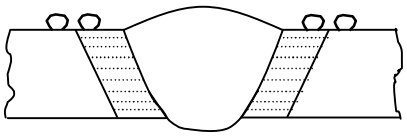
این عیب زمانی بوجود می آید که هنگام Fit up دو قطعه در یک سطح قرار نگرفته یا دو ضخامت مختلف با هم جوش میگردند و میتواند باعث ایجاد عیب در حین تولید یا جوشکاری گردد.



پاشش جوش Spatter

علل پاشش جوش در اطراف گرده یا خط جوش عبارت است از:

- سرگردانی قوس Arc Blow
- بالا بودن جریان جوشکاری
- زیاد بودن طول قوس جوشکاری
- رطوبت، تمیز نبودن قطعه کار، استفاده از سیم جوش یا الکترودهای معیوب



اثر قوس Arc Strike / Stray Arc

علل اثر جرقه در اطراف گرده یا خط جوش عبارت است از:

- عدم توجه و بی دقتی جوشکار
- تکنیک غلط جوشکار ی

فصل ٥

❖ آزمایشات غیر مخرب

Non Destructive Testing - NDT

❖ آزمایشات مخرب

Destructive Testing - DT

آشنایی با روشهای بازرسی با استفاده از آزمایش های غیر مخرب

جوشکار تنها شخص مسئول در قبال کیفیت جوش نمی باشد، بلکه مهندسی که اتصال جوش را طراحی کرده، افرادی که فرآیند جوشکاری و روش آنرا انتخاب کرده اند و کارگرانی که نقاط جوش را آماده کرده و قطعات نمونه را مورد آزمایش قرار می دهند و آنهایی که جوشکاری را تایید می کنند در برابر تضمین کیفیت جوش نقش مهمی دارند. بازرس هیچ نقشی در رابطه با چگونگی انجام جوشکاری ندارد بلکه فقط در مورد کیفیت آن قضاوت میکند.

اولین قدم در جهت ایجاد تضمین، اطمینان از نظر تطبیق آن با کیفیت مورد نیاز می باشد. ابتدا بایستی استانداردی در این رابطه تایید گردد، پس از تعیین استاندارد لازم، کلیه افرادی که به نحوی با عملیات جوشکاری دخیل می باشند تخلفی نکرده و کلیه دستورالعمل های مندرج در استاندارد دقیقا" اجرا گردد.

نقش بازرسی:

استاندارد جوشکاری هرچه باشد، کلیه جوشها باید مورد بازرسی قرار گیرند. هرچه این بازرسی محدود به مشاهده زیر و روی جوش بوسیله جوشکار پس از هر پاس جوش باشد، بازرس مشخص می کند که آیا استاندارد معین شده رعایت گردیده است یا خیر، که این وظیفه ممکن است به عهده گروه بازرسی جوش گذاشته شود. وظایف گروه بازرسی می تواند از تغییر نقشه ها و مشخصات شروع شود و به تجزیه و تحلیل آزمایش ختم گردد. بازرس ضمن پیشرفت کار، خطاهای کوچک را یافته و اقدامات لازم جهت رفع آنها را صورت می دهد. بدین ترتیب از انباشته شدن عیوب جزیی که می تواند منتهی به عوارض و عواقب خطرناکی گردد جلوگیری به عمل می آید.

بازرسی چشمی:

این نوع بازرسی قبل از آنکه اولین قوس الکتریکی جوش زده شود آغاز می گردد. مواد مورد استفاده در جوشکاری باید از لحاظ مشخصات معین شود یعنی کیفیت، اندازه، تلرانس، تمیز و عاری بودن از هر گونه عیبی مورد بازرسی قرار گیرند. مواد خارجی از قبیل گریس، رنگ، روغن، فیلم اکسید و غیره باید زدوده شوند و قطعاتی که مورد جوشکاری قرار می گیرد باید از نظر ابعادی، کیفیت سطحی کنترل شوند. قطعات صدمه دیده که دارای پیچش می باشند و یا اینکه خوب بریده نشده باشند باید مورد تعمیر قرار گرفته و یا مورد استفاده واقع نشوند. هم محوری و چگونگی استقرار قطعات بوسیله کلمپس Clamps و قید و همچنین پخ زدن اتصالات باید مورد بازرسی قرار گیرند. بازرسی های قبل از آغاز جوشکاری می تواند شامل نوع الکترود، اندازه و میزان ولتاژ و آمپر و همچنین نیازهای پیش گرم کردن و پس گرم کردن باشد. به فرض آنکه نیازهای مقدماتی به خوبی برآورده شده باشد، مهم ترین مرحله بازرسی پس از عملیات جوشکاری عبارت است از یافتن عیوب زیر:

۱- خلل و فرج
۲- سوراخ های کرمی شکل
۳- سرباره
۴- عدم ذوب
۵- عدم نفوذ
۶- ترک ها
۷- بریدگی کناره جوش (سوختگی)

در بازرسی چشمی، پرفایل Profile جوش را از نظر تقعر Concavity و یا تحدب Convexity بودن بررسی می کند. حتی اگر قرار باشد جوش بوسیله روش های دیگر مانند اُلتراسونیک، رادیوگرافی (پرتو نگاری) و یا دیگر روشها مورد آزمایش قرار گیرد میبایست بوسیله بازرسی چشمی، جوش را مورد بررسی، و شرایط را برای انجام تست آماده نمود.

در بازرسی چشمی باید به سه جنبه کلی توجه شود:
الف- اندازه های جوش مخصوصا در جوش های گوشه ای و گرده ای، که بایستی مطابق نقشه و استانداردها باشد
ب- میزان و مقدار نفوذ در اتصالاتی که جوشکاری می شوند
ج- معایب سطحی که در روی سطح قطعه یا جوش بوجود می آیند

بوسیله بازرسی چشمی میتوان عیوب موجود در سطح جوش را از قبیل ترک، تخلخل و نامساوی بودن ساق جوش را مشخص نمود تا به روش های پیچیده دیگر متوسل نگردیم. میتوان انحراف از ابعاد جوش، پیچش و اشکالات ظاهری را با بازرسی چشمی مشخص نمود.
برای بازرسی جوش لازم است سطح جوش از هر گونه سرباره slag کاملا تمیز گردد. میتوان از ذره بین با بزرگ نمایی بین ۲ تا ۱۰، برای یافتن ترک های ریز و سایر عیوب استفاده نمود. استفاده از سند بلاست و دیگر روشهای مکانیکی برای آماده کردن جوش جهت بازرسی باید اجتناب شود زیرا ترک ها ممکن است پر شده و غیر قابل رویت گردند.

روش های دیگر بازرسی:

ترک های موجود در سطح تا حد زیادی به وسیله چشم قابل مشاهده می باشند، و مطابق با کد ها و یا استاندارد های تعیین شده میتوان بخش های داخلی جوش را مورد ارزیابی قرار داد. روش های آزمایشات غیر مخرب جوش شامل رادیوگرافی، اُلتراسونیک، ذرات مغناطیسی، رنگهای نفوذی و غیره می باشد.

Non Destructive Testing آزمایشات غیر مخرب

مطابق با سیستم آموزشی انجمن آزمایشات غیر مخرب آمریکا ASNT ، تا به امروز ۱۱ متد مختلف برای آزمایش مواد بـه روش غیر مخرب بصورت علمی پوشش داده شده است که شامل روشهای زیر میباشد:

- رادیوگرافی RT Radiography Testing
- آلتراسونیک UT Ultrasonic Testing
- ذرات مغناطیسی MT Magnetic Particle Testing
- رنگهای نفوذی PT Liquid Penetrant Testing
- نشت میدان مغناطیسی MFL Magnetic Flux Leakage Testing
جریان الکترومغناطیسی ET Electromagnetic Testing
- مادون قرمز IR Infra Red Testing
- نشتی LT Leakage Testing
- انتشار صوت AE Acoustic Emission Testing
- آنالیز لرزش VA Vibration Analysis Testing
- رادیوگرافی با نوترون NR Neutron Radiography Testing
- چشمی و نوری VT Visual & Optical Testing

از تمامی این روشها فقط تعداد محدودی از این آزمایشات بصورت متداول در صنایع ایران مورد اسـتفاده قـرار میگیـرد. بعضـی از این روشها دارای حساسیت بالا برای پیدا نمودن عیوب سطحی و بعضی دیگر مناسب برای یافتن عیوب داخلی مواد میباشند.

بطور مثال آزمایشات رادیوگرافی و اُلتراسونیک قادرند تا عیوب داخلی و آزمایشـات ذرات مغناطیسـی و رنگهـای نفـوذی عیـوب سطحی قطعات را با حساسیت بالا مشخص نمایند.
در ادامه در باره این چهار نوع آزمایش توضیحاتی مختصر را ارائه نماییم.

Radiography Testing RT آزمایش رادیوگرافی

این آزمایش یکی از متداول ترین روشهای تستهای غیرمخرب میباشد. در انجام این آزمایش با استفاده از اشعه رادیو اکتیو، میتـوان تصویر داخل قطعه را بر روی فیلم مشاهده و ثبت نمود. در انجام این آزمایش میتوان از اشعه گاما یا ایکس استفاده نمود. بنا به نوع حساسیت کار میتوان از فیلم های مختلف با حساسیت های متفاوت (کلاس ۱ با حساسیت بـالا و کـلاس ۲ بـا حساسـیت متوسـط) استفاده نمود.

در انجام این آزمایش از مواد رادیواکتیو استفاده میشود، لذا میبایست تکنسین هایی که این تست را انجام میدهند از مهارت و دقت لازم برخوردار باشند. ایمنی در این تست دارای اهمیت بسزایی میباشد. در این روش فیلم در یک سمت قطعه قرار داده شده و از سمت دیگر اشعه به سمت قطعه تابیده میشود. اشعه پس از عبور از داخل قطعه تصویر آنرا بر روی فیلم نمایان میسازد. برای انجام رادیوگرافی، از مواد رادیو ایزوتوپ مختلفی استفاده میکنیم، متداول ترین این مواد شامل ایریدیوم - ۱۹۲، کبالت - ۶۰ و سلنیوم - ۷۵ میباشد. انتخاب این منابع بر اساس سطح انرژی و ضخامت قطعات میباشد. اشعه ایکس نیز توسط دستگاه های مولد این اشعه تولید میشوند. این تیوپ ها قابل حمل یا بطور ثابت در محلی مستقر میباشند، دستگاه های قابل حمل تا سطح انرژی ۳۵۰ کیلو ولت موجود میباشند.

در انجام آزمایش رادیوگرافی بنا به نوع قرار گرفتن منبع پرتو و سایز قطعه، روشهای گوناگونی در دستورالعمل ها معین گردیده است. تکنیکهای مختلف برای انجام رادیوگرافی را میتوان به سه دسته کلی تقسیم نمود که عبارتند از:

الف- اشعه از یک دیواره عبور و تصویر یک دیواره گرفته میشود SWSI

ب- اشعه از دو دیواره عبور و تصویر یک دیواره گرفته میشود DWSI

ج- اشعه از دو دیواره عبور و تصویر دو دیواره گرفته میشود DWDI

محدودیت ها

- قابل اجرا برای قطعات با اشکال هندسی نا منظم نمیباشد
- میبایست به هر دو سمت قطعه دسترسی داشته باشیم
- احتیاج به رعایت ایمنی و تخلیه محیط کاری میباشد
- برای قطعات با ضخامت های بالا نا مناسب میباشد
- هزینه بالای انجام آزمایش

امتیازات

- ثبت تصویر داخل قطعات
- قابل رویت نمودن عیوب داخلی قطعات
- مشخص نمودن نوع عیوب داخلی قطعات

Ultrasonic Testing UT آزمایش آلتراسونیک

آزمایش امواج ماورا صوت نیز یکی از روشهای متداول تستهای غیرمخرب میباشد که میتوان برای مشخص نمودن عیوب داخلی قطعات از آن بهره گرفت. در انجام این آزمایش، امواج ماورا صوت تولید شده توسط پروب به داخل قطعه فرستاده شده و صوت در مسیر حرکت خود در صورت برخورد با هر بازتاب کننده منعکس گردیده و به پروب باز میگردد.
این امواج بازگشت داده شده توسط پروب به دستگاه انتقال داده شده و بر روی صفحه CRT قابل مشاهده خواهد بود. همانطور که گفته شد برای تولید امواج از پروب استفاده میگردد. بنا به نوع موج و جهت انتشار پروب های متفاوتی ساخته شده است. این تفاوت ها بر اساس زاویه قرار گرفتن کریستال در داخل پروب میباشد. اگر کریستال با زاویه صفر درجه قرار گرفته باشد، در داخل قطعه موج طولی تولید و آنرا پروب نرمال مینامند. اگر کریستال با زاویه قرار گرفته باشد در داخل قطعه اولید موج عرضی و آنرا پروب زاویه ای مینامند.
از روش اُلتراسونیک برای مشخص نمودن عیوب داخلی، ضخامت سنجی و اندازه گیری میزان خوردگی در قطعات میتوان استفاده نمود.

محدودیت ها

- هر دو سطح قطعه میبایست موازی یکدیگر باشد
- خطای بالای انسانی در نتیجه آزمایش
- محدودیت انجام آزمایش بر روی قطعات با دانه بندی درشت
- ناهمواری سطح باعث پایین آمدن شدید حساسیت آزمایش میشود

امتیازات

- بسیار مناسب برای ضخامت های بالا
- سرعت بالای آزمایش
- مناسب برای قطعاتی که فقط به یک سمت دسترسی داریم

Magnetic Particle Testing MT آزمایش ذرات مغناطیسی

این آزمایش را میتوان بر روی هر قطعه فلزی که مغناطیس دوست Ferro magnets باشد اجرا نماییم. با این روش در این قطعات میدان مغناطیسی ایجاد کرده و بر همین اساس در هر قسمت از سطح قطعه که گسستگی وجود داشته باشد باعث قطع شار مغناطیسی گردیده و باعث نشت میدان میگردد. برای تشخیص این میدان نشتی از پودر آن استفاده می شود.

ذرات مغناطیسی به دو صورت به کار برده میشود:

الف- پودر خشک

ب- پودر مرطوب

ذرات مغناطیسی از پودر اکسید آهن تهیه میشوند و از نظر قابلیت دید به دو نوع قابل رویت (که در زیر نور سفید قابل مشاهده میباشد) و فلورسنت (که در زیر نور ماورا بنفش در تاریکی درخشش میکنند) تقسیم بندی میشوند.

برای ایجاد میدان مغناطیسی در قطعه می توان از سه نوع جریان برق استفاده نمود:

- جریان متناوب A/C Alternate Current
- جریان مستقیم D/C Direct Current و
- جریان متناوب تصحیح شده HWDC (Half Wave Direct Current)

بعد از بوجود آوردن میدان مغناطیسی در قطعه اگر گسستگی در قطعه وجود داشته باشد همانطور که گفته شد باعث قطع خطوط میدان و در نتیجه نشت شار مغناطیسی میگردد، با پاشیدن ذرات بسیار ریز پودر اکسید آهن به روی قطعه در هر قسمت که نشتی میدان وجود داشته باشد باعث جذب ذرات و در نتیجه تشکیل علایم میگردد و ما را قادر خواهد ساخت تا این عیوب را رد یابی نماییم.

در انجام این آزمایش میتوان توسط سیستم های مختلف میدان های طولی، عرضی و یا برداری از این دو میدان را در قطعه ایجاد نمود. نوع و جهت میدان بر اساس نوع قطعه و جهت گسستگی مورد نظر تعیین و انتخاب میگردد.

محدودیت ها

- فقط برای قطعات Ferro magnet قابل اجرا میباشد
- برای انجام آزمایش احتیاج به الکتریسیته میباشد
- پس از پایان آزمایش احتیاج به مغناطیس زدایی قطعات میباشد

امتیازات

- سرعت بالای آزمایش
- هزینه پایین آزمایش
- مناسب برای قطعات در خط تولید
- حساسیت بالا برای ترکهای بسیار ریز سطحی

آزمایش رنگهای نفوذی PT Liquid (Dye) Penetrant Testing

آزمایش رنگهای نفوذی یکی از روش ها، برای تشخیص عیوب سطحی با حساسیت بالا می باشد. در این روش می توان تنها عیوبی را بر روی قطعه مشخص نمود که دهانه باز به روی سطح داشته باشند. در این روش از رنگهای نفوذی که دارای قابلیت نفوذ بسیار بالا در داخل گسستگی های باز به روی سطح میباشند استفاده میگردد. برای انجام تست با حساسیت بالا، میبایست تمیز کاری اولیه سطح قطعه با دقت بسیار بالا انجام گیرد. برای این منظور از تمیز کننده Cleaner استفاده میشود.

پس از نفوذ رنگ به داخل گسستگی با استفاده از آشکار ساز Developer که بصورت خشک (پودر) یا مرطوب (محلول یا مخلوط در مایع)، رنگ داخل گسستگی به روی سطح تراوش کرده و آنرا قابل رویت میکند. رنگهای نفوذی از نظر قابلیت دید به دو صورت قابل رویت (قرمز رنگ) و فلورسنت موجود میباشند.

این رنگها بر اساس قابلیت تمیز شدن نیز به سه دسته مختلف تقسیم شده اند:

- قابل شستشو با آب Water Washable
- قابل شستشو با حلال Solvent Removable
- قابل شستشو با محلول امولسیون Post Emulsifier

محدودیت ها

- مناسب برای قطعات پلاستیکی حساس به مواد شیمیایی نمیباشد
- فقط گسستگی با دهانه باز به روی سطح قابل رد یابی خواهد بود
- مناسب برای سطوح بسیار زبر و متخلخل مثل سرامیک بدون لعاب نمیباشد

امتیازات

- سرعت بالای آزمایش
- هزینه پایین آزمایش
- مناسب برای قطعات در خط تولید
- حساسیت بالا برای ترکهای بسیار ریز سطحی
- عدم نیاز به الکتریسیته و تجهیزات جانبی

Destructive Testing آزمایشات مخرب

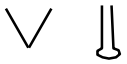
آزمایشات مخرب برای تایید قابلیت عملیات جوشکاری انجام میشود. در صنعت متدهای مختلفی برای انجام این آزمایش مشخص گردیده و اجرا میگردد. در ادامه به بیان و توضیح این متدها می پردازیم.

آزمایش استحکام کششی Tensile Strength Testing

در این روش قدرت و استحکام فلز در برابر پارگی تست میشود. این آزمایش بدین صورت انجام میشود که قسمتی از قطعه طبق استاندارد مورد نظر تهیه میشود و بین دو بازوی دستگاه قرار داده میشود. دستگاه با کشیدن این قطعه در دو جهت مخالف شروع به کشیدن قطعه نموده تا زمانی که قطعه دیگر تحمل استقامت در برابر این نیرو را از دست داده و شروع به نازک شدن و در نهایت پاره میشود. دستگاه باید قادر به مشخص نمودن مقدار نیروی وارده برای پاره شدن فلز را نشان دهد.
آن مقدار نیرویی که صرف شده تا قطعه پاره شود را نیروی استحکام کششی قطعهTensile Strength مینامیم.

آزمایش ضربه (شکنندگی) Impact Testing

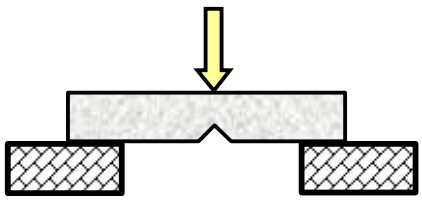
در این روش قدرت و استحکام فلز در برابر ضربه تست میشود. این آزمایش بدین صورت انجام میشود که قسمتی از قطعه طبق استاندارد مورد نظر تهیه میشود و برای اینکه از محل مورد نظر شکنندگی انجام شود شیاری به روی قطعه بوجود می آوریم. این شیار میتواند به فرم های V یا Key Way طراحی و اجرا شود.



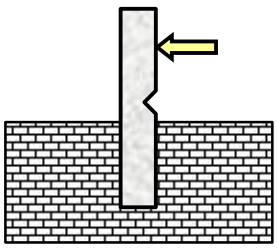
در این نوع آزمایش قطعه را به دو روش مختلف میتوان آزمایش نمود که عبارتند از:

- Izot Test
- Charpy Test

تفاوت این دو تست تنها نحوه قرار گرفتن این دو قطعه میباشد. در تست قطعه به روشIzot قطعه مورد نظر در دستگاه Tensile Strength Testing قرار داده میشود و بازوهای دستگاه با کشیدن قطعه در دو جهت مخالف، قطعه را محکم نگه میدارد. سپس با وارد آوردن ضربه به مرکز آن استحکام قطعه در برابر ضربه اندازه گیری میشود.



در آزمایش قطعه به روش Charpy یک سمت قطعه در داخل فیکسچر قرار داده شده و با وارد کردن ضربه به سمت مخالف آن مقدار استحکام قطعه اندازه گیری و ثبت میشود.



آزمایش سختی سنجی Hardness Testing

در این روش قدرت و استحکام سطح فلز در برابر فشار تست میشود. روشهای مختلفی برای انجام این تست وجود دارد که عبارتند از:

- Brinell Hardness Test

در این روش سختی سنجی، آزمایش بر روی قطعات فلزی فرتیک Ferrous با نحوه آزمایش بر روی قطعات غیر فرتیک Non Ferrous متفاوت میباشد.

آزمایش بر روی قطعات فرتیک Ferrous بدین صورت انجام میگیرد که یک ساچمه استیل به قطر ۱۰ میلیمتر را روی سطح قطعه قرار داده و نیرویی برابر با ۳۰۰۰ کیلوگرم را در مدت ۱۰ ثانیه به آن وارد می نماییم. مقدار له شدگی سطح بر اثر این فشار ساچمه اندازه گیری شده و سختی قطعه اندازه گیری میشود.

آزمایش بر روی قطعات غیر فرتیک Non Ferrous بدین صورت انجام میگیرد که یک ساچمه استیل به قطر ۱۰ میلیمتر را روی سطح قطعه قرار داده و نیرویی برابر با ۵۰۰ کیلوگرم را در مدت ۳۰ ثانیه به آن وارد می نماییم. مقدار له شدگی سطح بر اثر این فشار ساچمه اندازه گیری شده و سختی قطعه اندازه گیری میشود.

- Rockwell Hardness Test

آزمایش سختی سنجی به روش راک ول بر روی قطعات در چندین نوع Type انجام میشود که در اینجا دو نوع آن را بطور اختصار توضیح میدهیم.

آزمایش راک ول نوع Type B:

در این روش از یک ساچمه کوچک به قطر $^1/_{16}$ اینچ استفاده میگردد. ساچمه پس از قرار گرفتن بر روی سطح قطعه با نیروی اولیه ۱۰ کیلوگرم و سپس با نیروی نهایی ۱۰۰ کیلوگرم به آن ضربه وارد می شود. محل گودی این ساچمه بر روی سطح قطعه اندازه گیری و مقدار سختی قطعه محاسبه میشود.

آزمایش راک ول نوع Type C:

در این روش بجای ساچمه از یک مخروط که راس آن دارای شعاع ۱۲۰ درجه میباشد استفاده میگردد. شعاع نوک این مخروط حدود ۰.۲ میلیمتر میباشد. این مخروط بر روی سطح قطعه قرار گرفته و با نیروی اولیه ۱۰ کیلوگرم و سپس با نیروی نهایی ۱۵۰ کیلوگرم به آن ضربه وارد می شود. محل گودی نوک این مخروط بر روی سطح قطعه اندازه گیری و مقدار سختی قطعه محاسبه میشود.

- Vickers Hardness Test

در این روش از یک هرم شبیه به الماس با سطح مقطع چهارگوش که راس آن دارای شعاع ۱۳۶ درجه میباشد استفاده میگردد. این نوع آزمایش به دلیل صرف نیروی کم، مقدار له شدگی سطح در حد میکروسکپی خواهد بود و در حد لابراتوار آزمایشگاهی انجام میشود. این هرم بر روی سطح قطعه قرار گرفته و با نیروی ۱ کیلوگرم تا ۱۲۰ کیلوگرم فشار وارد می کند. محل گودی نوک این هرم بر روی سطح قطعه در زیر میکروسکوپ اندازه گیری و مقدار سختی قطعه محاسبه میشود.

- Knops Hardness Test

این روش مقدار سختی را در حد میکروسکپی اندازه گیری میکند. نیروی مورد استفاده در این آزمایش بسیار اندک میباشد و در حدود ۱ گرم تا ۱۰۰۰ گرم فشار وارد می کند. محل گودی نوک این هرم بر روی سطح قطعه در زیر میکروسکوپ اندازه گیری و مقدار سختی قطعه محاسبه میشود.

- Rebound Hardness Test

آزمایش سختی سنجی به روش خاصیت ارتجاعی (واکنشی) بر این اساس استوار میباشد که اگر یک ساچمه به سمت قطعه ای پرتاب شود، اگر سختی سطح قطعه زیاد باشد ساچمه با قدرت و سرعت بیشتری بازگشت داده خواهد شد و هر چه سطح قطعه دارای سختی پایین تری باشد مقدار بازگشت کمتر خواهد بود. این دستگاه دارای یک پروب میباشد که در داخل آن ساچمه کوچکی تعبیه گردیده است. برای اندازه گیری سختی سطح پروب را روی قطعه قرار میدهیم و ساچمه درون پروب توسط نیروی مغناطیسی شتاب داده میشود و بدین ترتیب با سطح قطعه برخورد مینماید. بر اساس سختی سطح مقدار بازگشت ساچمه در درون پروب متفاوت خواهد بود. مقدار بازگشت ساچمه اندازه گیری شده و مقدار سختی قطعه مشخص میگردد.

از این وسیله بدلیل سرعت انجام آزمایش مناسب و قابلیت حمل برای تست قطعات در کارگاه ها، سایت، و محل تولید قطعات بیشتر مورد استفاده قرار میگیرد.

نیروی مورد استفاده در این آزمایش بسیار اندک میباشد و در حدود ۱ گرم تا ۱۰۰۰ گرم فشار وارد می کند. محل گودی نوک این هرم بر روی سطح قطعه در زیر میکروسکوپ اندازه گیری و مقدار سختی قطعه محاسبه میشود.

آزمایش خستگی Fatigue Testing

آزمایش خستگی رفتار و واکنش قطعه را در برابر نیروهایی که به صورت متناوب (دوره ای) به قطعه وارد میشود را بررسی مینماید. تنش هایی که بر اثر وارد آمدن نیرو بصورت دوره ای در قطعه بوجود می آید باعث میشود تا به تدریج فلز استحکام خود را در برابر این فشار های متوالی از دست داده و باعث Failure شکست در قطعه گردد.

آزمایش خـزش Creep Testing

آزمایش خزش مقدار جابجایی و دگرگونی کریستالهای قطعه در برابر فشار یا حرارت را اندازه گیری مینماید. کریستالهای قطعات در برابر نیروی وارده و یا حتی وزن خود در درجه حرارت های بالا و یا در دراز مدت قادرند جابجا گردیده و در نهایت باعث Failure شکست در قطعه گردد. در آزمایشگاه ها با ایجاد این شرایط برای قطعات توانایی قطعه را در برابر این نوع رفتار اندازه گیری می نمایند.

آزمایش خـمش Bend Testing

آزمایش خمش مقدار تحمل قطعه در برابر جابجایی و خمش را بررسی مینماید. در این آزمایش قطعه درون دستگاه قرار گرفته و با اعمال نیرو در جهت مخالف مطابق شکل میزان ایستایی قطعه در برابر خمش های متوالی بررسی و اندازه گیری میشود.