به نام خدا

مرکز دانلود رایگان
مهندسی متالورژی و مواد

---

www.Iran-mavad.com

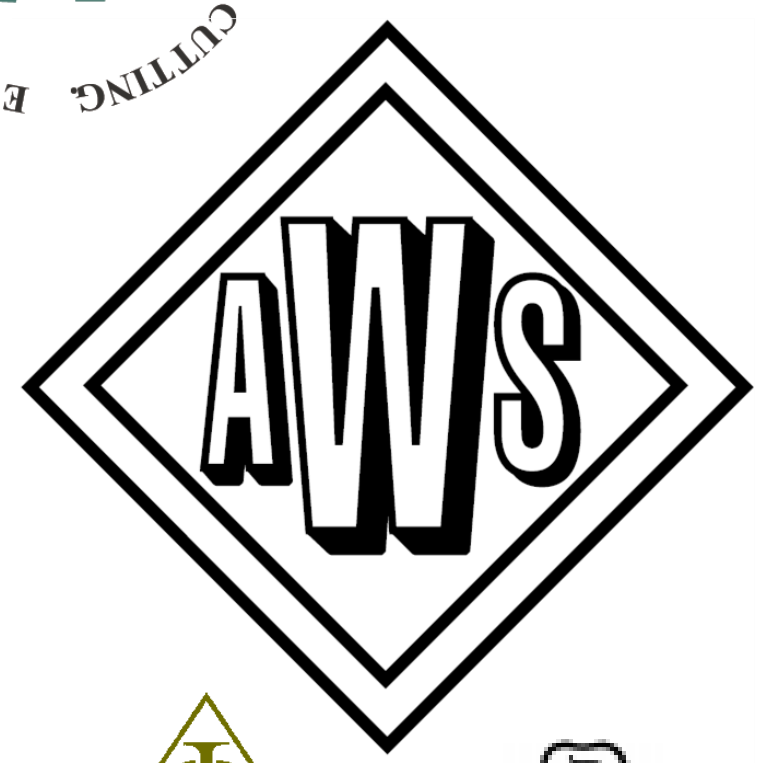
جوشکاری قوس الکتریکی دستی

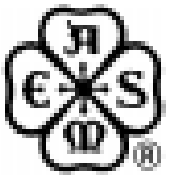
گردآوری و ویرایش: سید رضا تقوی شهری

E-Mail: Reza@Giran.ir

www.iran-mavad.com

مرجع دانشجویان و مهندسین مواد





GSI SLV DUISBURG

www.iran-mavad.com

مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

Sayyed Reza Taghavi Shahri

فهرست مطالب

فصل اول : اصول ایمنی ۱

خطرات در جوشکاری ۲

آسیب های جوشکاری در دراز مدت ۴

اقدامات پیشگیرانه ۵

کمک های اولیه ۷

حفاظت چشم وصورت ۸

حفاظت در برابر آتش ۹

نکات ایمنی در جوشکاری و برشکاری ۱۰

فصل دوم : اصول برشکاری ۱۲

فرآیندهای برش کاری ۱۳

برشکاری با گاز ۱۵

برش پلاسما ۲۰

دستگاه سنگ فرز ۲۱

دستگاه پایه سنگ ۲۳

فصل سوم : اصول الکتریسیته ۲۴

قوس الکتریکی چیست ۲۵

متغییرهای قوس الکتریکی ۲۷

انواع جریان الکتریکی ۲۸

جوشکاری با قوس الکتریکی ۲۹

ترانسفورماتور چیست ۳۱

انواع منابع نیرو در جوشکاری با قوس الکتریکی ۳۳

فصل چهارم : مبانی جوشکاری ۳۷

شناخت فلزات ۳۹

انواع فولادها ۴۲

تاثیر عناصر آلیاژی بر خواص فولاد ۴۴

نامگذاری فولادهای ۴۲

انواع فولادها ۴۲

www.iran-mavad.com

مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

Sayyed Reza Taghavi Shahri

انواع چدن ۴۶
خواص فلزات ۴۷
آزمون شناخت فلزات ۴۹
قابلیت جوشکاری ۵۲
عملیات حرارتی ۵۳
معرفی فرآیندهای جوشکاری ۵۵
جوشکاری قوس الکتریک دستی ۵۵
جوشکاری زیرپودری ۵۵
جوشکاری با گاز محافظ و الکترود تنگستنی ۵۸
جوشکاری با گاز محافظ و الکترود فلزی ۶۱
جوشکاری با گاز سوختنی ۶۳
جوشکاری توپودری ۶۳
جوشکاری مقاومتی ۶۴
جوشکاری ترمیت ۶۶
جوشکاری نفوذی ۶۶
جوشکاری انفجاری ۶۶
جوشکاری لیزر ۶۶
جوشکاری پرتوی الکترونی ۶۷
جوشکاری پلاسما ۶۷
لحیم کاری ۶۸
جوشکاری فلزات غیر آهنی ۶۸
فصل پنجم : مبانی SMAW ۷۳
شدت جریان ۷۵
عوامل مختلف بر کیفیت جوش ۷۷
تعاریف و اصطلاحات ۷۸
انواع شکل جوش ۸۰
تجهیزات ۸۱
الکترود های جوشکاری **SMAW** ۸۶
نام گذاری الکترودهای روپوش دار ۹۲

www.iran-mavad.com

مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

Sayyed Reza Taghavi Shahri

فصل ششم: وضعیت های جوشکاری و نقشه خوانی ۱۰۱

وضعیت های جوشکاری ۱۰۲

انواع طرح اتصال و نوع جوش ۱۰۴

علایم و نقشه خوانی در جوشکاری ۱۰۷

اسناد و مدارک جوشکاری ۱۱۲

انواع طرح اتصال و نوع جوش ۱۰۴

فصل هفتم: عیوب جوش و بازرسی جوش ۱۱۵

تقسیم بندی عیوب جوش ۱۱۶

پیچیدگی قطعات در جوشکاری ۱۲۲

بازرسی جوش ۱۲۵

آزمونهای جوش ۱۲۶

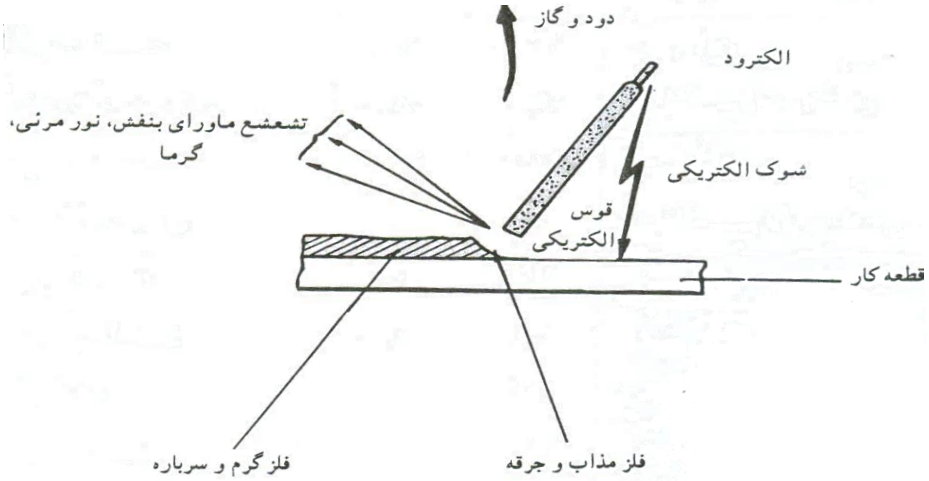
فصل اول

اصول ایمنی

www.iran-mavad.com

مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

اول ایمنی بعدکار. این شعار را شاید در بسیاری از مراکز صنعتی و کارگاههای تولیدی دیده و یا شنیده باشید. کار بدون خطر یک امر تصادفی نیست ایجاد آن نیاز به کسب تجربه و دانش دارد. هر کسی که کار می کند باید به گونه ای عمل کند که کار بدون خطر باشد. آسیبها و خساراتی که در محیطهای صنعتی کارگران و پرسنل را تهدید می کند معمولا یا در اثر نبود آگاهی و عدم آشنایی نسبت به نکات ایمنی است و یا در اثر سهل انگاری و بی توجهی به رعایت نکات ایمنی. لذا رعایت نکات ایمنی در زمینه فردی و گروهی جهت جلوگیری از خسارات جانی ، نقص عضو و اتفاقات جبران ناپذیر یک امر الزامی است. جوشکاری نیز مانند سایر مشاغل سنگین صنعتی ، دارای خطرات بالقوه ای است. اهمیت یادگیری کار کردن بدون خطر به اندازه اهمیت مهارت در جوشکاری است.



شکل ۱۴ – ۱

به طور کلی حوادث و وقایع ناگواری که در حین جوشکاری یا برشکاری اتفاق می افتد دو دلیل عمده دارد:

۱.عدم آشنایی و دانش شخص به نکات ایمنی و بهداشتی

۲.سهل انگـــاری و بی توجـــهی به رعایت نکـات ایمنی

خطرات در جوشکاری

اصـولا خـطرات در شش گروه طـبـقه بـندی می شوند :

1- بیولوژیکي

به دلیل اینکه خطرات بـیـولـوژیـکی به محیط کار مربوط نمی شوند معمولاً جوشکاران را تهدید نمی کنند .

2- شیمیایي

در حین جوشکاری دود یـا بخـاراتی تـولید می شود که مخلوطی از ترکیبات اکسیدهای فلزی، سیلیکات ها و فلوئوریدها می باشد . دود هنگامی تولید می شود که یک فلز تا بالای نقطه ی جوش خود گرم شود و سپس بخارات آن به شکل ذرات خیلی ریز جامد تبدیل گردد. دود های جوشکاری معمولاً حاوی اکسید های مواد جوشکاری شده و الکترود های مورد استفاده می باشد . در هنگام جوشکاری یا برشکاری فلزات گالوانیزه و یا رنگ

شده ، محل مورد جوشکاری یا برشکاری را تا حد امکان تمیز و از هواکش صحیح استفاده کنید . این مواد در اثر گرما تجزیه شده و به بخشی از بخار تبدیل می گردند . این بخارات سمی می باشند .

جوشکاران اغلب با مواد زیر ودراطراف آنها کار میکنند:

- مایعات قابل اشتعال و قابل احتراق
- گازهای متراکم (تحت فشار)

3- فاکتور هاي ا نساني

بسیاری از آسیب ها و جراحات جوشکاران در نتیجه کشیدگی ،در رفتگی ،و یا تغییر شکل عضلات آنها می باشد.

جوشکاران اغلب مجبورندکه:

- وسایل و مواد سنگین را بردارند یا حرکت دهند.
- به مدت طولانی در مو قعیت نامناسب کار کنند.
- ابزار سنگین جوشکاری را به مدت طولانی در دست نگهدارند.
- حرکت های تکراری انجام دهند .

4-فیزیکي

جوشکاران در معرض آسیب های زیر می باشند:

- سر و صدای زیاد
- سرما یا گرمای شدید

قوس و شعله جوشکاری باعث ایجاد و انتشار نور های شدید مرئی و اشعه ماورائ بنفش و مادون قرمز میشود. اشعه ی گاما یا ایکس نیز توسط دستگاه های تست و بازرسی و یا ماشین جوشکاری می تواند ایجاد شود.

5-ایمني

جوشکاران اغلب مجبورند که :

- در ارتفاعات کار کنند
- در فضاهای محصور کار کنند
- در اثر کار ممکن است دچار شوک الکتریکی یا برق گرفتگی شوند.

دیگر خطرات موجود عبارتند از:

- پرتاب ذرات که ممکن است وارد چشم یا پوست آنها شود.
- بریدگی و زخم حاصل از لبه های تیز فلزات.
- سوختگی در اثر تماس با سطوح داغ،شعله وجرقه.
- آتش سوزی در اثر جرقه ،شعله یا فلزات داغ (این حالت ها زمانی رخ می دهد که مقدار اکسیژن در هوای محیط ، زیاد می شود و بنابراین آتش سوزی راحت تر اتفاق می افتد؛ همچنین آتش سوزی ممکن در

اثر نقص عملکرد وسایل باشد . دقت داشته باشید موادی که آغشته به روغن یا گریس باشند راحت تر می سوزند . آستین یا شلواری که تا خورده و یا بالازده باشد می توا ند جرقه را جذب کند و خطر آتش سوزی را افزایش دهد.)

6- رواني

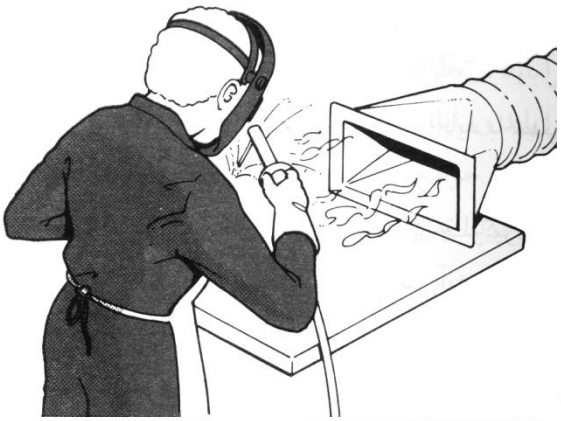
تقاضا برای کار و احتمال بیکاری نیز باعث بروز استرس میشود .بعلاوه برخی جوشکاران ممکن است مجبور باشند که در شیفت های بیشتر و یا ساعات طولانی تری در یک روز کار کنند که این امر بر روی سلامتی آنها اثر منفی دارد.

آسيب هاي جوشكاري در دراز مدت:

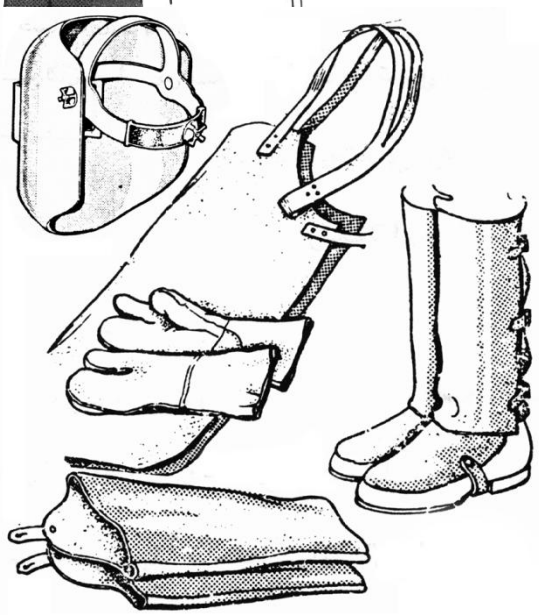
- عفونت ناحیه ی تنفسی در جوشکاران بیشتر از سایرین دیده شده است . به نظر می رسد که تحریکات شیمیایی حاصل از تماس با بخارات عامل بروز در این ناحیه می باشد.
- امراض و بیماری های ریوی که در اثر تنفس ذرات معدنی یا فلزی ایجاد میگردد .
- برخی سرطان ها (مثل کبد ، بینی ، سینوس ها ، معده و شش) سازمان بین المللی سرطان بخارات جوشکاری را جزء عوامل سرطان زا قرار داده است .
- احتمال از دست دادن شنوایی
- تماس با اشعه ی ماوراء بنفش موجب بروز بیماری های مزمن و آسیب چشم ها و پوست می گردد.
- آسیب سیستم عصبی در اثر تماس با بخارات سرب ، منگنز و آلومینیوم .
- بیماری های تنفسی ناشی از غلظت بالای دی اکسید کربن و میزان کم اکسیژن(خصوصاً در مناطق دارای تهویه ضعیف)
- مسمومیت مزمن ، هنگامی که مواد خاصی در بخار باشد مثل روی یا کادمیوم،بی فنیل پلی کلرینه (ناشی از تجزیه روغن های ضد خورگی) یا مواد حاصل از تجزیه رنگ ها.

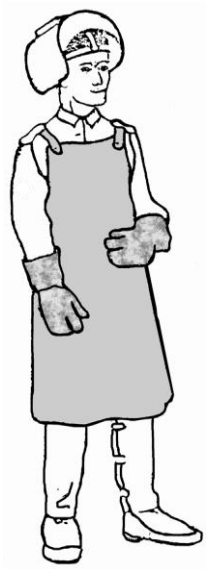
اقدامات پیشگیرانه ای که می توان انجام داد:

- نصب سیستم تهویه موثر، هرجا امکان پذیر باشد.



- استفاده دائم ازوسایل حفاظت فردی ،جوشکاران باید از کلاه جوشکاری با لنز های مناسب استفاده کنند.صفحات فیلتر باید توانایی جذب اشعه ی ماوراء بنفش و مادون قرمز را دارا باشند . صفحه فیلتر نباید توسط جرقه های مذاب آسیب ببیند .این کار با قرار دادن یک صفحه شیشه شفاف یا مواد مناسب دیگر در طرفین فیلتر انجام می شود . "درجه تاریکی " شیشه عینک به روش جوشکاری و شدت جریان بکار رفته شده بستگی دارد . چشم بدون عینک نباید از فاصله ی کمتر از ۱۵ متر به قوس الکتریکی نگاه کند.همچنین جوشکار باید از گوشی استفاده کند .علاوه بر جلوگیری از فرسودگی حس شنوایی و اعصاب می تواند گوش را از ذرات جرقه و گرد وغبار محافظت نماید . پیش بند و دستکش های چرمی نسوز نیز به حفاظت دست ها و لباس ها کمک می کند .





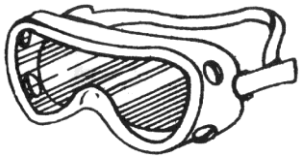
- لباس های پشمی نسبت به پنبه ای و نایلونی برای محافظت بدن در حین جوشکاری ترجیح داده می شود (مقاوم در برابر آتش سوزی می باشد) .
- اطمینان از این که مواد قابل احتراق و اشتعال دور از محل کار باشد .
- آموزش روشهای بالا رفتن ایمنی .
- اگر لازم است کاری در موقعیت نامناسب انجام گیرد (از لحاظ فاکتور های انسانی) باید زمان استراحت کافی به جوشکار داده شود.

www.iran-mavad.com

مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

Sayyed Reza Taghavi Shahri

- فضای کافی در زیر مسیر برش برای جاری شدن سرباره ی گداخته و مذاب به بیرون از شکاف برش وجود داشته باشد.
- جوشکاری و برشکاری در بشکه یا مخزن، نباید انجام شود مگر اینکه ابتداء آنرا کاملاً از همه ی مـوا دی که ممکن است مشتعل شده یا تولید بخارات یا گـازهای مشتعل و منفجر شونده کند تمیز شود. از طرف دیگر باید تهویه در مخزن به اندازه ی کافی باشد و توجه داشت که هوای داخل مخزن در اثر بالا رفتن درجه حرارت منبسط شده و موجب ازدیاد فشار می شود که اگر این فشار به حد بـــالایی برسد می تواند ایجاد انـفـجار نـمایـد . برای اطمینان بیشتر بهتر است حتی مخازنی که کـاملاً تمیز شده اند هم از آب تا فاصله ی چند اینچی محل جوشکاری یا برشکاری پر شود .
- در هنگـام زدن گـل جوش مراقب باشید شلاکه های داغ به چشم شما اصابت نکند که موجب سوختگی چشم و پوست بدن گردد در موقع پاک کردن گل جوش از عینک ایمنی استفاده کنید و همچنین سعی کنید جهت پرش تفـاله بـــه سمت خود یا دیگران نباشد.



- در هنگام بلند کردن اجسام وزن آن به طور مساوی بین دو دست توزیع شود و به جای کمر از پاها برای بلند کردن استفاده شود. اگر جسم آنقدر سنگین باشد که نتوانید با یک دست آن را بلند کنید، سعی نکنید آن را بدون کمک بر دارید.
- در عملیات جـوشکاری و برشکاری هرگز نباید قطعه کار را بر روی کف بتنی قرار داد . چون حرارتی که به بتن می رسد می تواند آن را منفجر کرده و قـطعات پراکنده شده با نیروی کافی احتمالاً موجب جراحاتی در جوشکار یا افراد اطرافش شود.
- بـــاید همیشه وسـایل خاموش کن حریق و کـمک های اولـیه بـــازرسی شـــده و در نـزدیک تـــرین مـحـل منـاسب قرار داشته باشد.

- جهت جلوگیری از برق گرفتگی در هنگام تعویض الکترود حتما بایستی از دستکش استفاده شود. همچنین کلیه تجهیزات برقی منجمله دستگاه های جوش بایستی دارای اتصال به زمین باشند تا در صورت بروز عیب و تماس اتفاقی سیم برق با دستگاه، الکتریسیته براحتی به زمین منتقل شود. در شرایطی که هوا مرطوب باشد می توان با ایستادن بر روی تخته چوب خشک خطر برق گرفتگی را کاهش داد.

- بایستی از کفش های ایمنی که دارای صفحه فولادی مخصوص هستند همواره استفاده نمود.

Sayyed Reza Taghavi Shahri

کمک های اولیه

در صورت بروز هرنوع آسیب دیدگی، مگر آسیبهای بسیار جزئی؛ باید از درمانگاه و پزشک متخصص کمک گرفت، اما تا رسیدن پزشک یا آمبولانس ، با کمکهای اولیه می توان به فرد آسیب دیده کمک کرد تا آسوده تر باشد. جهت آشنایی با کمکهای اولیه میتوان در دوره های آموزشی کوتاه شرکت نمود.در این قسمت به بیان مختصر مطالبی در این خصوص بسنده می شود.

1- سوختگی:

۱ –سوختگی در اثر جرقه، پاشیدن فلز مذاب یا تماس اتفاقی با فلز گداخته:

در صورت امکان محل سوختگی را حداقل به مدت ۱۰ دقیقه در آب سرد فرو ببرید تا درد تخفیف پیدا کند سپس محل سوختگی را با پارچه تنزیب خشک یا پارچه تمیز بپوشانید و باند پیچی کنید؛ لباس مصدوم را در نیاورید و از ترکاندن تاولها خوداری کنید. در صورتی که سوختگی شدید یا قطر سوختگی بیش از ۳ سانتیمتر است فورا به پزشک مراجعه نمایید.

۲ –سوختگی در اثر تابش قوس:

این نوع سوختگی هنگامی بوجود می آید که فرد از لباس های ایمنی مناسبی جهت جوشکاری استفاده ننماید که آثار آن شبیه سوختگی شدید آفتاب می باشد، که در این صورت با کمپرس آب سرد پوست را به ملایمت خنک کنید. اگر پوست ترک نخورده باشد روی آنرا با کرم آفتاب سوختگی بپوشانید و در صورتی که تعداد تاول ها، زیاد باشد بایستی به پزشک مراجعه نمود. جوشکاران بایستی توجه داشته باشند که خطرناکترین اشعه که باعث سوختگی می شود ماوراء بنفش است.

۳ –برق زدگی چشم:

هنگامی که از شیشه مناسب استفاده نشود یا شیشه ماسک ترک خورده باشد قسمت قرنیه چشم در اثر نور ماورا بنفشی که قوس الکتریکی آنرا ایجاد می کند آسیب می بیند که عوارض آن معمولاً تا ۶ ساعت پس از قرار گرفتن در مقابل قوس پدیدار می شود و شامل درد شدید یا چشم های برق زده و احساس این که گویی چشم پر از ماسه است می باشد.چشم برق زده به نور حساس است و سرخ می شود و در مواردی آب ریزش پیدا می کند. در این مواقع چشم را بایستی با آب سرد شستشو داده و با پارچه تمیز بدون پرز آنرا بست. عواض مربوطه تا ۴۸ ساعت ممکن است طول بکشد.اما در صورت شدید بودن عواض بایستی به پزشک مراجعه شود.

2- برق گرفتگی:

اگر جریان برق با ولتاژ بالا با بدن شخصی تماس پیدا کند، آسیب های جدی به او وارد می گردد که گاه سبب مرگ می شود.جریان برق بر ماهیچه های قلب اثر می گذارد و آنرا از کار می اندازد و سبب قطع تنفس می شود. در صورت بروز برق گرفتگی حتما ابتدا جریان برق را قطع نمایید.(در صورتی که ولتاژ صرفاً پایین می باشد می توان فرد مصدوم را بوسیله ابزاری عایق همچون چوب خشک از جسم برق دار جدا

نمود.) در صورتی که ضربان قلب و تنفس شخص برق گرفته قطع شده باشد سعی کنید با تنفس مصنوعی او را به هوش آورده و سریعا به امداد گران اطلاع دهید.

3- خونریزی:

مصدوم را بنشانید یا بخوابانید و اگر به شکستگی مشکوک نیستید عضوی را که خونریزی می کند، بالا بیاورید. محل خونریزی را با باند تمیز ببندید.

حفاظت چشم وصورت :

در کارگاههای جوشکاری برای ایجاد یک جوش با کیفیت در کنار عملیاتهای برشکاری و جوشکاری عملیاتهای دیگری همچون سنگ زنی ، تمیزکاری سطح ، عملیات حرارتی و .. انجام می شود که لازم است در طول انجام آنها از چشم و صورت به طور کامل محافظت شود. درحین عملیات سنگ زنی و تمیزکاری برای جلوگیری از ورود پلیسه و جرقه به چشم باید از عینکهای دارای محافظ جانبی و با شیشه روشن استفاده کرد. در حین عملیات برشکاری استفاده از عینکهای دارای محافظ جانبی با شیشه مات شماره ۴ـ۳ الزامی است. محاظت از چشم و صورت درحین جوشکاری بسیار ضروری به نظر می رسد چراکه سوختگی چشم در اثر اشعه ماوراء بنفش سلولهای شبکیه و سفیدی چشم را از بین می برد و گویی که جسم خارجی وارد چشم شده است. به طورکلی با چشم بدون عینک و محافظ نباید از فاصله کمتر از ۱۵ متر به قوس نگاه کرد. بهترین وسیله برای محافظت صورت و چشم در برابر قوس الکتریکی ماسکهای محافظ هستند. دو نوع ماسک دستی و برای محافظت از چشم وصورت در جوشکاری کاربرد دارند. این ماسکها از قسمتهای مختلفی تشکیل شده اند. بدنه اصلی این ماسکها پلاستیکی بوده و معمولاتیره رنگ است وتمام صورت و قسمتی از گردن را کاملا پوشانده و از آسیب دیدگی آنها جلوگیری می کند. قسمت شیشه ای آن هم برای محافظت از چشم بوده و از سه قسمت لنز روشن ، لنز تیره و واشر تشکیل شده است. وظیفه اصلی محافظت چشم که همان جلوگیری از رسیدن نور شدید و اشعه ماوراء بنفش به چشم است به عهده لنز تیره است که براساس شدت جریان جوشکاری شماره تیرگی آن تغییر می کند. لنز روشن که می تواند از جنس شیشه شفاف نیز باشد وظیفه حفاظت از شیشه تیره را در برابر جرقه های مذاب دارد. شرح کامل شماره شیشه عینک و ماسک جوشکاری براساس نوع فعالیت در جدول زیر آمده است. دقت داشته باشید که تمام اجزاء ماسکهای جوشکاری را قبل از انجام عملیات کنترل نمایید به نحوی که تمام قسمتهای ماسک باید بدون ترک بوده و فرسوده نباشد. شیشه و لنز آن هم باید کامل در جای خود محکم شده و هیچ گونه منفذی برای عبور نور و اشعه در اطراف آنها وجود نداشته باشد.

www.iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

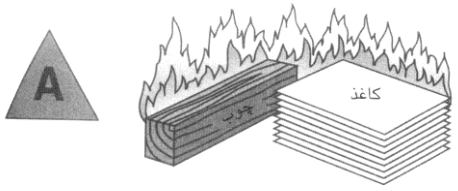
جدول ۱۴ – ۱ – انتخاب درجه تاری شیشه یا عینک برشکاری و جوشکاری

نوع عملیات	ضخامت قطعه کار یا شدت جریان مصرفی	شماره تیرگی شیشه
لحیم کاری با مشعل	----------	۲
لحیم کاری سخت با مشعل	----------	۳ یا ۴
برشکاری با اکسیژن	قطعات نازکتر از ۲۵ میلی متر	۳ یا ۴
	قطعات متوسط با ضخامت ۲۵ تا ۱۵۰ میلی متر	۴ یا ۵
	قطعات ضخیم تر از ۱۵۰ میلی متر	۵ یا ۶
جوشکاری گاز	قطعات نازکتر از ۳ میلی متر	۴ یا ۵
	قطعات متوسط با ضخامت ۳ تا ۱۲ میلی متر	۵ یا ۶
	قطعات ضخیم تر از ۱۲ میلی متر	۶ یا ۸
جوشکاری با قوس الکتریکی دستی	قطعات نازکتر از ۴ میلی متر	۱۰
	قطعات متوسط با ضخامت ۴ تا ۶.۴ میلی متر	۱۲
	قطعات ضخیم تر از ۶.۴ میلی متر	۱۴
جوشکاری با گاز محافظ	همه فلزات	۱۱
جوشکاری با الکترود تنگستنی و گاز محافظ	همه فلزات آهنی و غیرآهنی	۱۲
جوشکاری با هیدروژن اتمی	همه فلزات	۱۲
جوشکاری با الکترود کربنی	همه فلزات	۱۲
جوشکاری پلاسما	همه فلزات	۱۲
شیار زنی با الکترود ذغالی و هوا	فلزات نازک	۱۲
	فلزات ضخیم	۱۴
برشکاری با قوس الکتریکی و پلاسما	کمتر از ۲۰۰ آمپر	۹
	آمپر بین ۲۰۰ تا ۳۰۰	۱۲
	شدت جریان بیش از ۳۰۰ آمپر	۱۴

حفاظت در برابر آتش :

آتش خطر همیشگی جوشکار است.احتمال آتش سوزی را نمی توان از بین برد بلکه باید آنرا کاهش داد. موادی که خیلی زود آتش می گیرند، باید در فاصله ۲ متری یا بیشتر از محل جوشکاری باشند. در هنگام مهار آتش بایستی دقت داشت که برای هر نوع آتش سوزی از کپسول مخصوص استفاده نمود.

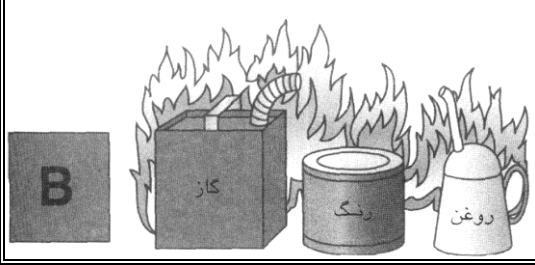
انواع کپسول های آتش نشانی:



۱. **کپسول های آتش نشانی نوع A:**

این نوع کپسول جهت مهار آتش مواد سوختنی همچون کاغذ،چوب و پارچه به کار می رود.علامت آن مثلث سبز رنگ با حرف **A** در مرکز است.

مواد مصرفی در این کپسول ها آب و گاز می باشد.

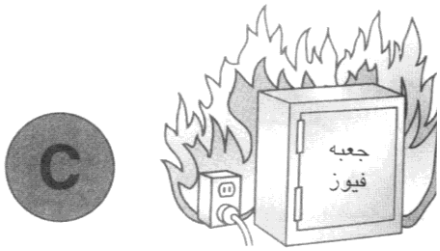


www.iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

۲. **کپسول های آتش نشانی نوع B:**

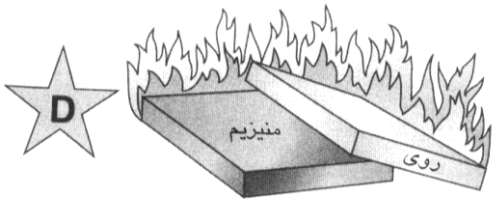
این نوع کپسول جهت مهار آتش مواد سوختنی همچون روغن،گاز و تینر به کار می رود.علامت آن مربع قرمز رنگ با حرف **B** در مرکز است. مواد مصرفی در این کپسول ها پودر خشک و گاز CO_2 می باشد.

۳. **کپسول های آتش نشانی نوع C:**



این نوع کپسول جهت مهار آتش سوزی برق؛ مثلا برای آتش سوزی موتور،جعبه فیوز و دستگاه جوشکاری به کار می رود.علامت آن دایره آبی رنگ با حرف **C** در مرکز است. مواد مصرفی در این کپسول ها گاز CO_2 می‌باشد.

۴. **کپسول های آتش نشانی نوع D:**



این نوع کپسول آتش نشانی جهت آتش سوزی فلزاتی مانند روی،منیزیم و تیتانیم به کار می رود.علامت آن ستاره زرد رنگ با حرف **D** در مرکز است. مواد مصرفی در این کپسول ها فوم و گاز می باشد.

نکات ایمني در جوشكاري و برشكاري

۱ـ کلیه تجهیزات جوشکاری و برشکاری برقی باید به نحوی راه اندازی شوند که دارای یک کلید قطع برق باشند تا در موقع بحران و در اسرع وقت و به سهولت قابل دسترس باشند. همچنین تمام تجهیزات برقی موجود در کارگاه باید سیم اتصال به زمین را داشته باشند.

۲ـ اتصالات دستگاهها شامل کابلهای اتصال و کابلهای ورودی به دستگاه باید کاملا سالم ، به دور از آسیبهای محیطی و به درستی در جای خود محکم شود. استفاده از کابلهای خیلی بلند توصیه نمی شود. همچنین شدت جریان کاری باید با قطر کابل متناسب باشد.

۳ـ علاوه بر اینکه جوشکار باید با لباس و تجهیزات کامل (به خصوص ماسک محافظ) خود را از قوس ، شعله وعواقب آنها حفظ کند باید از این مطلب که شروع قوس و ادامه آن به افراد حاضر در کارگاه ضرری نمی رساند مطمئن شود. بهترین کار برای اطمینان از حفاظت همه جانبه استفاده از پرده های حفاظ و کابین های جوشکاری است.

۴ـ کابلهای جوشکاری و شیلنگهای برشکاری دور از رطوبت ، چربی ، گریس و جرقه نگه داشته شود و طول آنها حتی الامکان کوتاه در نظر گرفته شود.

۵ ـ درحین برشکاری لازم است فضای زیر قطعه جهت خروج ذرات گداخته باز باشد همچنین قطعه برش خورده پس از برش باید به محلی که هیچ شیء وجود ندارد هدایت شود.

۶ – تنها افرادی می توانند با ابزارآلات و تجهیزات درون کارگاه کار کنند که آموزشهای لازم را دیده باشند.

۷ ـ تمام شیلنگهای برشکاری در حین عملیات باید از هر گونه ذرات مذاب دور نگه داشته شوند.

۸ ـ تمام کپسولهای حاوی گاز را با ارابه های مخصوص حمل کنید وآنها را در پناههای مخصوص نگه دارید تا از حرارت یا جرقه یا شعله دور بماند.

۹ ـ دریچه های سیلندر اکسیژن نباید با روغن و گریس آغشته شوند زیرا انفجار در پی دارد لذا در هنگام کار با کپسول اکسیژن هیچ گاه از دستکش و لباس چرب استفاده نکنید.

۱۰ ـ سیلندرهای گاز یا اکسیژن را هیچگاه به صورت افقی قرار نداده و آنرا به کمک ابزار آلات محافظ در جای خود به صورت عمودی محکم کنید.

۱۱ـ پرتاب سرباره ها و جرقه های جوشکاری به اطراف خطر سوختگی و زخمی کردن (به خصوص برای چشم) را به دنبال دارد لذا نظم در محیط کار و رعایت دستورات حفاظت جانی و کاری و حفاظت از سوختگی اجباری است. دقت داشته باشید سرباره موجود روی جوش را همیشه به طرف مخالف خود بزنید.

۱۲ – هر جوشکار باید مقررات ایمنی فردی و گروهی ، ایمنی محیط کار و ایمنی در برابر حوادث آتش سوزی را آموزش ببیند و هرگونه حادثه را در کارگاه بلافاصله گزارش دهد.

۱۳ – تمامی کارگاههای جوشکاری باید مجهز به دستگاههای اطفاء حریق باشند. این دستگاهها باید به صورت سالانه بازدید شوند و تمام جوشکاران هم باید نحوه کار با آنها را آموزش دیده باشند.

۱۴ – تمام کارگاههای جوشکاری باید به جعبه کمکهای اولیه مجهز باشند و لوازم مورد نیاز برای درمان اولیه سوختگی ، برق گرفتگی و .... در آنها وجود داشته باشد.

۱۵ – هیچگاه بر روی سیمان و مکانهایی که مواد منفجره قرار دارد برشکاری نکنید و ظروفی که قبلا حاوی مواد آتش زا بودند را ابتدا کاملا تمیز نموده ، سپس عملیات جوشکاری یا برشکاری را روی آنها انجام دهید.

۱۶ – در تمام لحظات کار ، محیط کارگاه و به خصوص کف آنرا کاملا تمیز نگه دارید.

۱۷ – برای انتقال گاز استیلن هیچگاه از لوله های مسی استفاده نکنید چراکه ترکیب مس با استیلن یک ترکیب انفجاری است.

فصل دوم

اصول برشکاری

www.iran-mavad.com

مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

فرآيندهاي برشكاري

فرآیندهای برشکاری به سه دسته مهم تقسیم می شوند :

1 – برشکاری مکانیکی

در این روش توسط براده برداری از محل برش عمل جداسازی رخ می دهد. روشهای برشکاری مکانیکی شامل : اره کاری ، سنگ زنی ، سوراخ کاری ، برش با گیوتین ، ماشین کاری و .... می باشد. این روشها برای مقاصدی از قبیل آماده سازی اتصال جوش ، بهبود پروفیل جوش ، آماده سازی قطعات ، تمیز کاری سطح و تعمیر قطعات معیوب مورد استفاده قرار می گیرد.

2 - برشكاري شيميايی

در این نوع برشکاری با استفاده از حرارت ناشی از یک واکنش شیمیایی مانند سوختن یک گاز قابل اشتعال محل برشکاری را ذوب کرده و دو قطعه را از هم جدا می کنند. روش برشکاری اکسی – سوخت که در اکثر مواقع به صورت روش اکسی – استیلن اجرا می شود از جمله روشهای برشکاری شیمیایی است که در آن از ترکیب اکسیژن و یک گاز سوختنی مانند استیلن , بوتان و یا پروپان برای ایجاد حرارت لازم جهت برافروختن یا سرخ کردن فلزات استفاده می شود. پس از سرخ شدگی قطعه مورد برش با اعمال یک جت اکسیژن به محل برشکاری عملیات اکسیداسیون فلز پایه انجام شده و با پرتاب ذرات مذاب به بیرون درز برش عمل برشکاری صورت می گیرد. جت اکسیژن همزمان با برش ، سرباره و اکسیدهای تولید شده را از درز برش به بیرون هدایت می کند. تجهیزات برشکاری **OFC** همانند تجهیزات جوشکاری **OFW** است با این تفاوت که مشعل برشکاری مجهز به یک شیر اضافی جهت هدایت جت اکسیژن می باشد. در فرآیند **OFC** نازل برشکاری مجهز به تعدادی سوراخ کوچک محیطی است که مخلوط اکسیژن و گاز از آنها خارج شده و شعله پیش گرم را تولید می کند. در مرکز نازل یک مجرا جهت هدایت اکسیژن برش تعبیه شده است که اکسیژن را با شدت فراوان به محل برش هدایت می کند. این روش فقط به برشکاری فولادهای کربنی و کم آلیاژ محدود می شود. مهم ترین عیب این فرآیند لزوم تمیزکاری سطوح برشکاری شده پس از پایان عملیات می باشد.

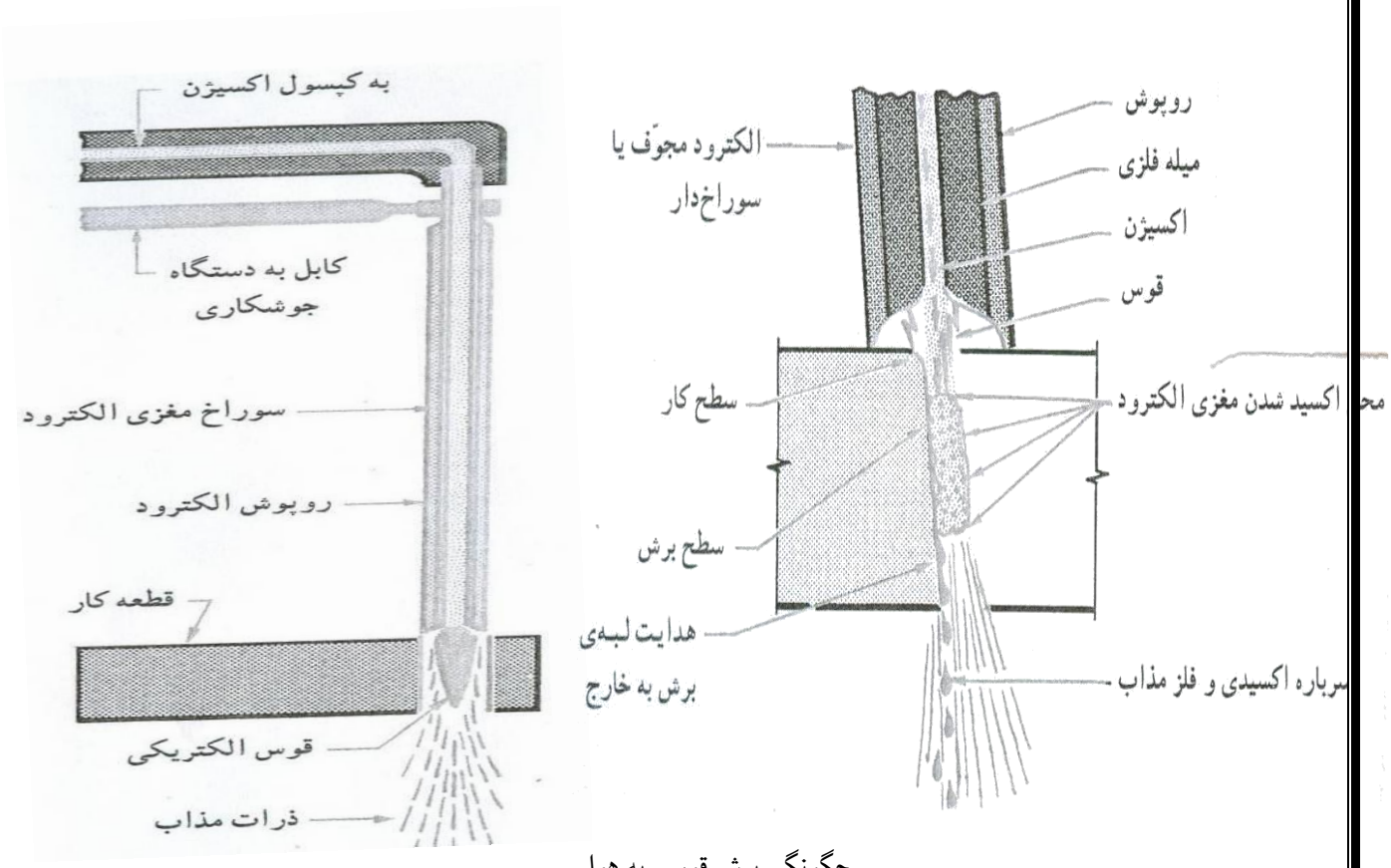
3 - برشكاري قوسی

همانند آنچه که در جوشکاری قوسی رخ می دهد در این روش برشکاری هم قوس الکتریکی موجود بین الکترود مصرف شدنی یا مصرف نشدنی حرارت لازم برای ذوب قطعه مورد نظر را محیا می کند. دو روش معروف برشکاری قوسی شامل روش برش پلاسما و برش با الکترود گرافیتی یا گوجینگ می باشد که شرح آن در زیر آمده است :

الف) برشكاري پلاسما يا PAC : این فرآیند برشکاری همانند جوشکاری قوس پلاسما است با این تفاوت که توان دستگاه در عملیات برشکاری بیشتر است. این روش جهت برشکاری تمام فلزات قابل استفاده است ولی کاربرد اصلی آن برشکاری فلزات غیرآهنی و فولادهای زنگ نزن می باشد. سرعت و کیفیت برش این فرآیند در مقایسه با **OFC** بسیار بالاتر است.

ب) برشکاري با الکترود گرافیتی و هوا یا CAC – A

در این فرآیند از یک الکترود کربنی جهت ایجاد قوس الکتریکی و ایجاد حرارت استفاده می شود. همزمان با ذوب شدن فلز با آزاد کردن یک ضامن ، هوای فشرده به سمت مذاب هدایت شده و آنرا به جلو می برد. تجهیزات این روش شامل یک انبر الکترودگیر ، یک منبع قدرت جریان ثابت و یک منبع تولید هوای فشرده می باشد. انبر الکترودگیر مجهز به کلید جهت آزاد کردن هوای فشرده می باشد. این روش برای تعمیر قطعات معیوب و آماده سازی لبه ها به صورت **U** برای جوشکاری به کار می رود و برای تمام فلزات کاربرد دارد.(این فرآیند در عملیات گوجینگ **Gouging** که به منظور برداشتن لایه ای از روی جوش مورد استفاده قرار می گیرد کاربرد فراوان دارد)



چگونگی برش قوسی به هوا

برشکاري با گاز سوختنی Flame Cutting (OFC)

در برشکاری گاز منبع حرارتی جهت جدا سازی قطعات ، تکه برداری و پخ سازی ، شعله و حرارت ناشی از سوختن گاز با اکسیژن می باشد. در این فرآیند شعله ، فلز را تا دمای احتراق گرم کرده و سپس یک جریان شدید اکسیژن یا یک جت اکسیژن خالص به محل برش دمیده شده باعث سوختن و اکسیداسیون فلز می گردد. در پایان اکسید فلز (اکسید آهن در فولاد) به خاطر سیالیت و فشار بالای جت اکسیژن به بیرون از درز رانده شده و باعث ایجاد شیار در بین فلز می گردد. حرارت ناشی از واکنش اکسیدی همراه با حرارت اولیه ادامه برشکاری را میسر می سازد. دراین فرآیند گاز سوختنی که که نقش پیش گرم را دارد می تواند یکی از گاز های مختلف پروپان ، استیلن و حتی گاز طبیعی باشد. مسلم است که سرعت برشکاری به ارزش حرارتی و در نهایت حرارت تولید شده توسط گاز بستگی دارد. در کنار گاز ، اکسیژن سوختنی دو نقش را بر عهده دارد که یکی سوختن گاز و ایجاد شعله و دیگری ایجاد جریان اکسیژنی جهت اکسایش و جداسازی قطعه می باشد. قابل ذکر است که خلوص اکسیژن در این روش باید در حدود ۹۹/۷ – ۹۹/۵ ٪ باشد. نکته مهم در برشکاری گاز این است که همه فلزات قابلیت برشکاری با شعله گاز را ندارند و برشکاری با گاز به برشکاری فولاد کربنی محدود می شود. تنها فلزاتی این قابلیت را دارند که دارای چهار شرط زیر باشند :

۱ – نقطه ذوب اکسید فلز باید کمتر از نقطه ذوب فلز باشد

۲ – هدایت حرارتی فلز پایین باشد

۳ – دمای احتراق یا اشتعال فلز باید کمتر از دمای ذوب فلز باشد

۴ – سرباره باید دارای حداکثر سیالیت باشد

مثال :

فولاد ۲/ کربن

دمای اشتعال : ۱۲۵۰ ° c

دمای ذوب ۱۵۰۰ ° c

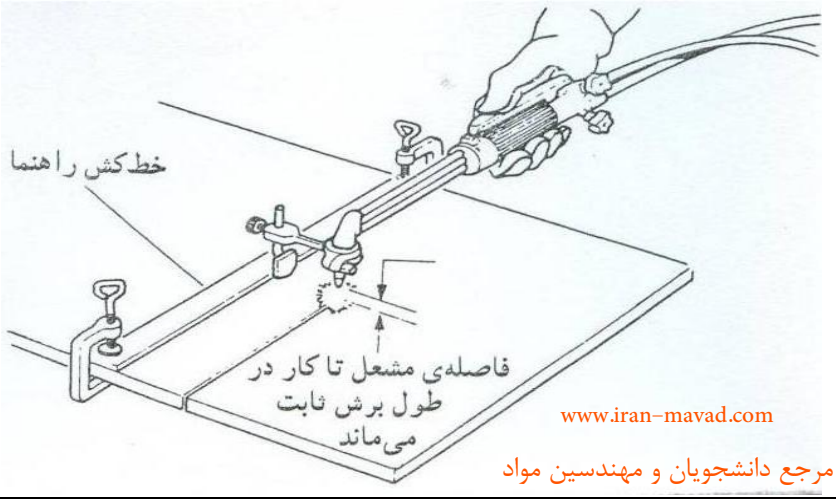
مناسب برای برشکاری

چدن خاکستری ۳ ٪ کربن

دمای اشتعال ۱۳۷۵ ° c

دمای ذوب ۱۲۵۰ ° c

نا مناسب برای برشکاری



www.iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

روش برشکاری گاز قابلیت اتوماسیون را دارد و معمولا در مراکزی که از این روش به عنوان یک فرآیند سری استفاده می شود چندین مشعل بر روی ماشین های خودکار نصب می شود. اما در

صورت برش توسط دست تمیزی سطح برش ارتباط مستقیمی با مهارت اپراتور دارد بدین معنی که تثبیت فاصله مشعل تا سطح کار و حرکت یکنواخت و بدون لرزش دست سطح تمیزی را بوجود می آورد. روش برشکاری گاز به علت برخی مزایا دارای کاربرد فراوان است. در این روش ، برشکاری سریع و اقتصادی است و ارزش تجهیزاتی که قابل حمل و نقل نیز هستند کم است. علاوه بر اینکه چند قطعه را همزمان می توان با این روش برید. به کمک برشکاری گاز می توان قطعات را به صورت مستقیم ، پخ خورده و گرد بری و به کمک وسیله ای به نام راهنمای هادی با کیفیت قابل قبولی برید. در مقابل این مزایا محدودیتهایی نیز وجود دارد :

۱ – دقت ابعادی برش در مقایسه با دیگر روشها کمتر است.

۲ – پاشش جرقه های برش خطرناک بوده و ممکن است باعث آتش سوزی شود.

۳ – تمامی فلزات را نمی توان با این روش برید.

۴ – کاهش خواص متالورژیکی در ناحیه مجاور برش و پیچیدگی قطعه بریده شده در این روش رخ می دهد.

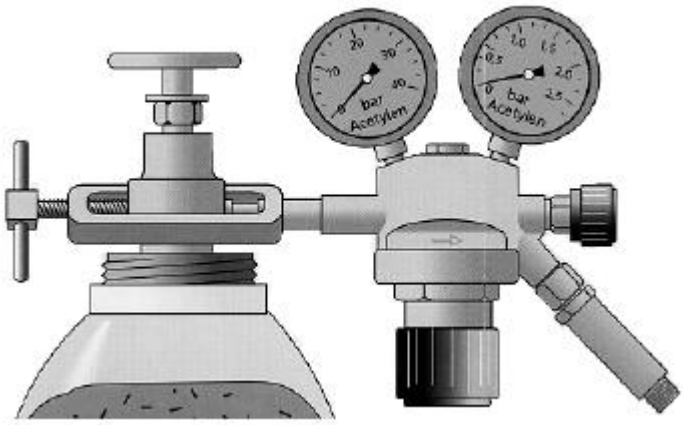
۵ – حضور آلودگی و دود فراوان وجود تهویه کامل را در این روش الزامی کرده است.

تجهیزات برشکاري گاز

الف) کپسولهاي اکسیژن و گاز

اکسیژن و گاز مورد نیاز جهت برشکاری از کپسولهایی شبیه کپسولهای جوشکاری تامین می شود.

ب) رگلاتور برشکاي



این نوع رگلاتور تفاوت زیادی با آنچه در جوشکاری گفته شد ندارد اما در برشکاری قطعات ضخیم به لحاظ مصرف زیاد اکسیژن در واحد زمان رگلاتور باید قابلیت کشش و عبور گاز بیشتری را داشته با شد.

ج) مشعل

ساختمان مشعل برشکاری همانند مشعل جوشکاری است تنها با این تفاوت که مسیر جداگانه ای برای خروج اکسیژن برش در آن تعبیه شده است. مشعلهای برشکاری در سه اندازه ۱۸ و ۲۷ و ۳۶ اینچی به بازار عرضه می شود.

اجزاء سازنده مشعل برشکاری به شرح زیر است :

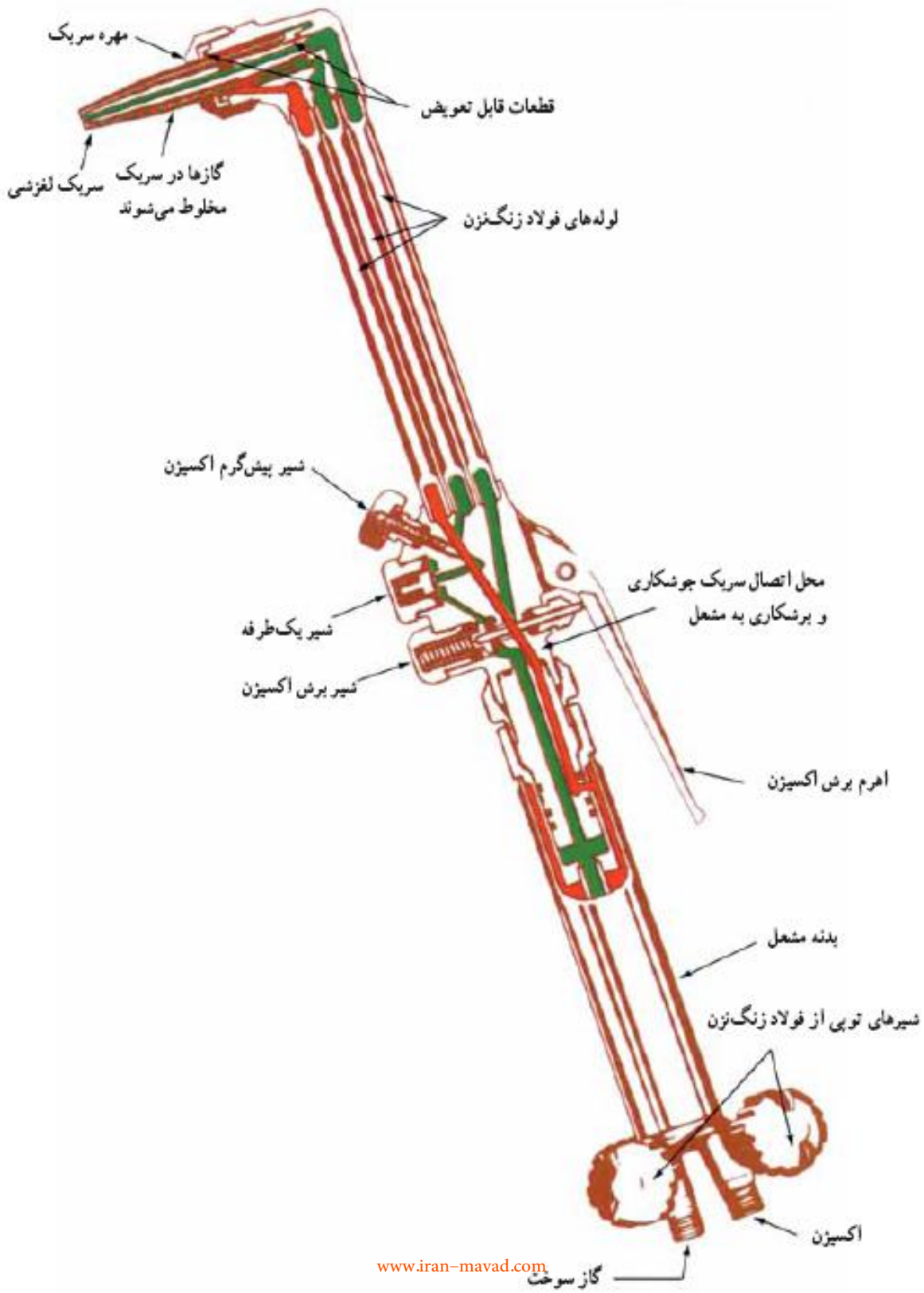
۱ – دسته مشعل یا بدنه که جهت نگهداری مشعل توسط اپراتور است.

۲ – شیرهای تنظیم که میزان ورود گاز و اکسیژن برای ایجاد شعله را کنترل می کند.

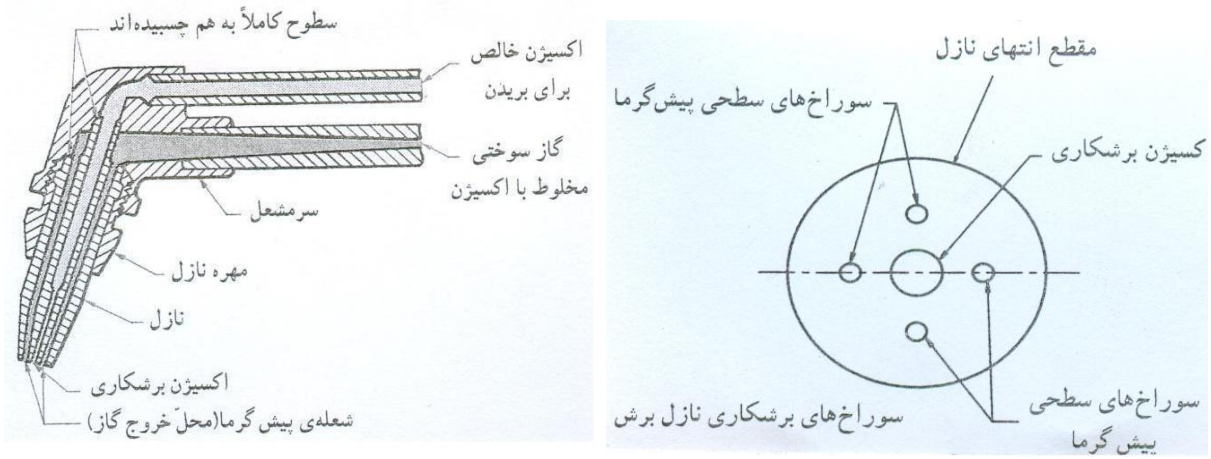
۳ – اهرم یا بازوی هدایت اکسیژن برش به محل برش که در قسمت فوقانی مشعل قرار دارد.

۴- لوله اختلاط که محفظه ای برای ترکیب گاز و اکسیژن می باشد.

۵ – نازل برش : ساختمان این نازل به شکلی است که سوراخهایی برای ایجاد شعله پیش گرم در اطراف نازل و سوراخی برای خروج اکسیژن برش با فشار بالا در وسط نازل در آن وجود دارد. اندازه نازل بسته به ضخامت قطعه کار تغییر می کند.



www.iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد



مقطع مشعل برشکاری و نمونه یک مشعل برشکاری

ج) شیلنگهاي انتقال گاز

این شیلنگها هم با آنچه که در مبحث جوشکاری گفته شد تفاوتی ندارد.

نحوه برشکاري گاز

نحوه روشن کردن شعله جهت برشکاری تفاوت آنچنانی با مراحل کار در جوشکاری ندارد. فقط به هنگام کار به نکالت زیر دقت نمایید :

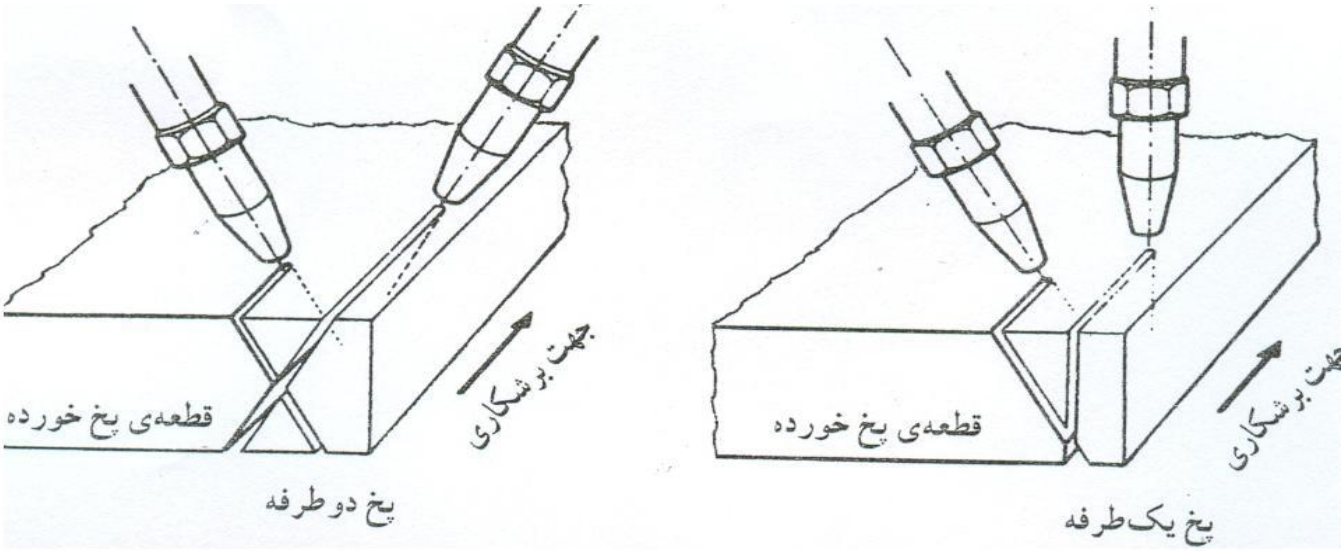
۱ – فشار خروجی استیلن **0.5 – 1 bar** می باشد.

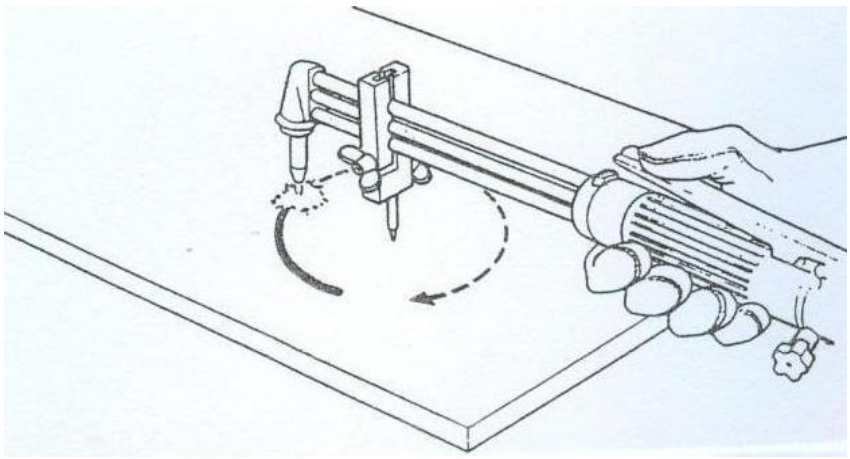
۲ – فشار خروجی اکسیژن **3 – 4 bar** تنظیم می شود تا اکسیژن اضافی جهت برش را تامین کند.

۳ – سرپیک و مشعل برشکاری از نظر شکل با سرپیک و مشعل جوشکاری متفاوت است. در مشعل برشکاری دستگیره ای در بالای مشعل برای هدایت اکسیژن برش وجود دارد. تناسب سرپیک و نازل با ضخامت و جنس قطعه در برشکاری نیز باید رعایت شود.

www.iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد
Sayyed Reza Taghavi Shahri

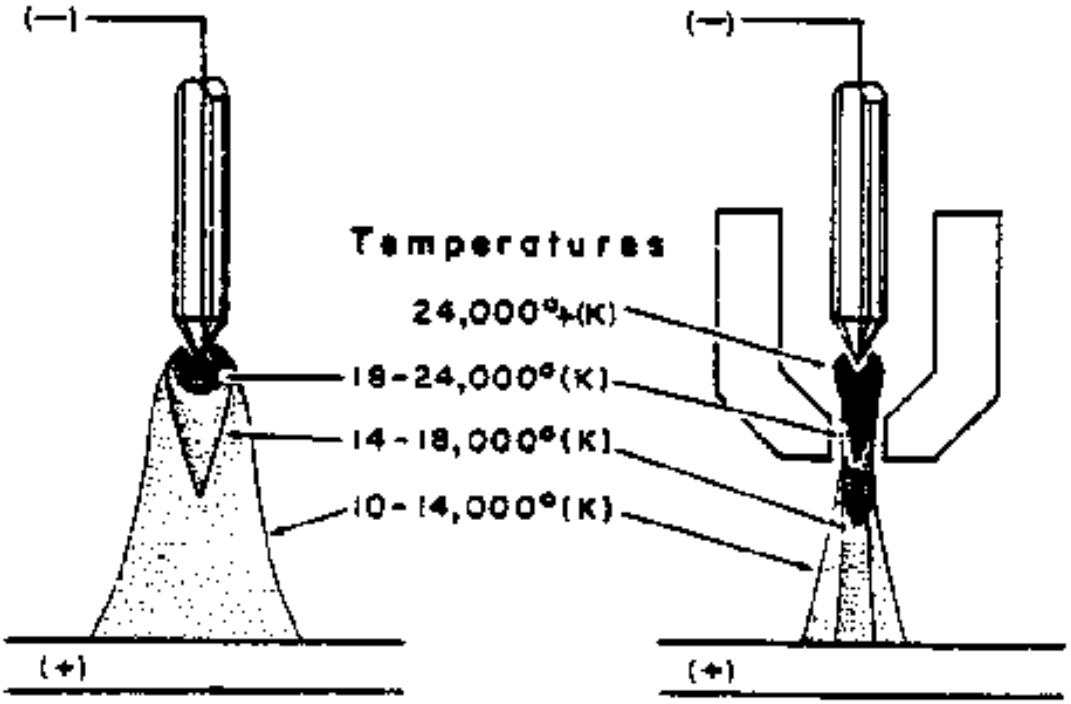
پس از روشن کردن مشعل ، شعله را بر روی سطح قطعه کار به نحوی نگهدارید که نوک مخروط میانی شعله تا سطح قطعه کار ۳ – ۲ میلیمتر فاصله داشته باشد. آنقدر شعله را بر روی قطعه نگهدارید تا حوضچه مذاب تشکیل گردد. به محض مشاهده این حوضچه دستگیره اکسیژن اضافی را به پایین فشار دهید تا جت اکسیژن به سطح برخورد کرده و با پیش بردن حوضچه مذاب باعث برش قطعه شود. دقت نمایید شرایط عملیات برشکاری را به گونه ای مهیا کنید که حتما زیر قطعه جهت خروج مذاب و ذرات اکسیدی باز بوده و ادامه شعله یا ذرات مذاب به طرف کپسولها یا شیلنگهای انتقال گاز هدایت نشود. عینک محافظ چشم در برشکاری از نظر شکل همانند عینک جوشکاری است با این تفاوت که شماره تیرگی شیشه آن ۳ می باشد. گذشته از عملیات برشکاری توسط اکسی – گاز عمل شیارزنی را نیز می توان بر روی فلزاتی که قابلیت برشکاری دارند ، انجام داد. در شیارزنی مذاب به صورت سطحی و با عمق کم از روی سطح قطعه به بیرون رانده می

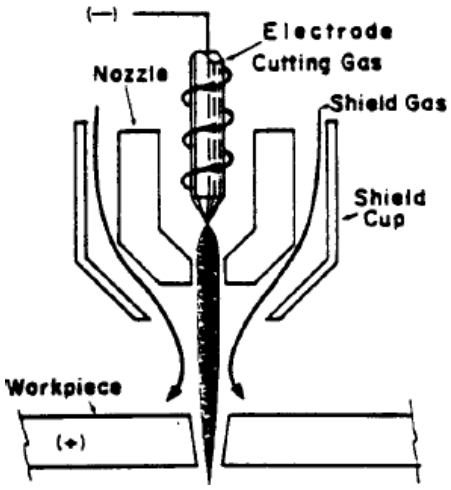




برشکاری پلاسما(PAC: Plasma Arc Cutting)

اصطلاح قوس پلاسما یعنی گازی که آنقدر گرم شده و لااقل نیمه یونیزه است و قادر است که جریان الکتریکی را از خود عبور دهد. قوس پلاسما بدیل نور و حرارت شدیدی که ایجاد می کند در جوشکاری و برشکاری بسیار مورد استفاده قرار می گیرد. در فرآیند برش پلاسما،خروج با فشار گازی خنثی(در برخی موارد هوا) از اطراف قوس پلاسما که قوس را بصورت متمرکز در می آورد منجر به برش می شود.درجه حرارت ایجاد شده به ۲۴۰۰۰°C نیز میرسد که در نتیجه با این فرایند می توان فولاد را تا ضخامت ۱۵ سانتیمتر را برش دهد.

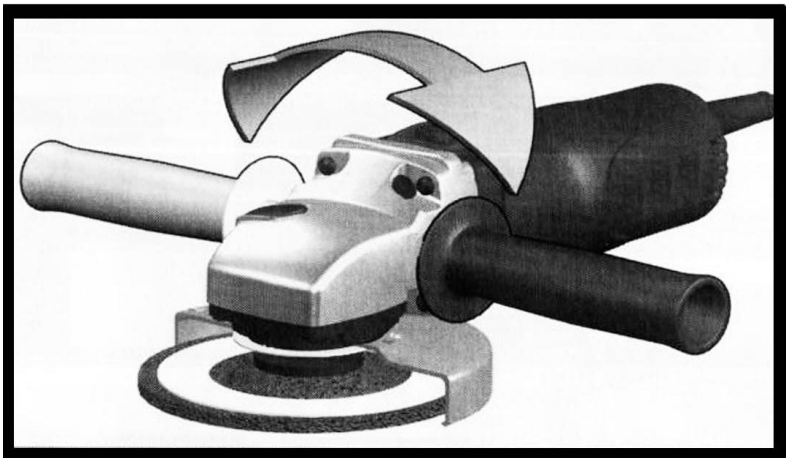


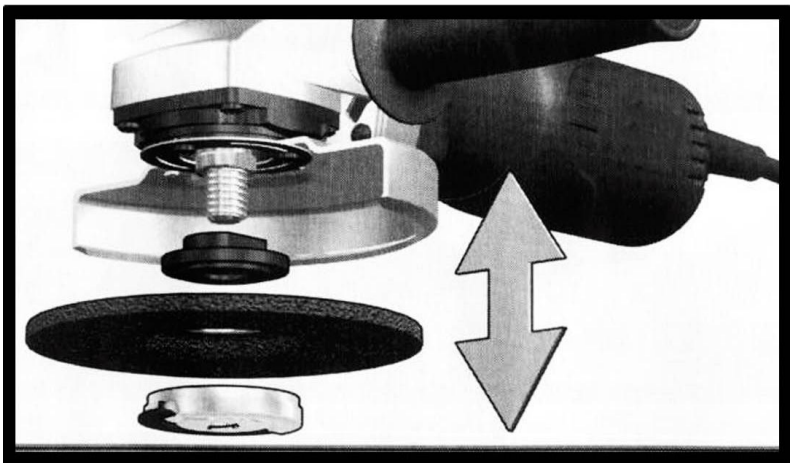


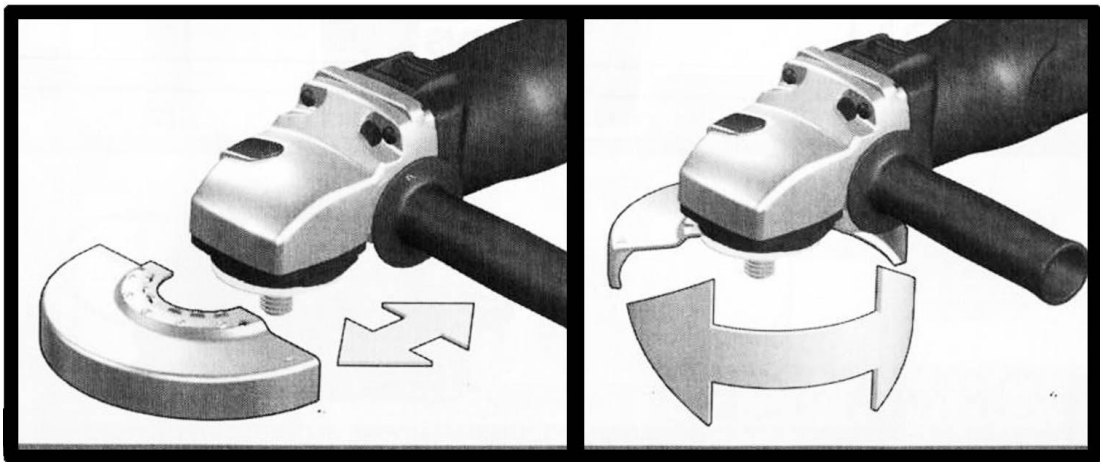
تجهیزات مورد استفاده در این فرآیند برشکاری عبارت است از:۱- منبع قدرت مورد استفاده از نوع جریان ثابت می باشد. ۲- مشعل پلاسما ۳- کابل های قدرت و شکنگهای گاز ۴- کپسول گاز و سیستم خنک کننده(در صورت لزوم)

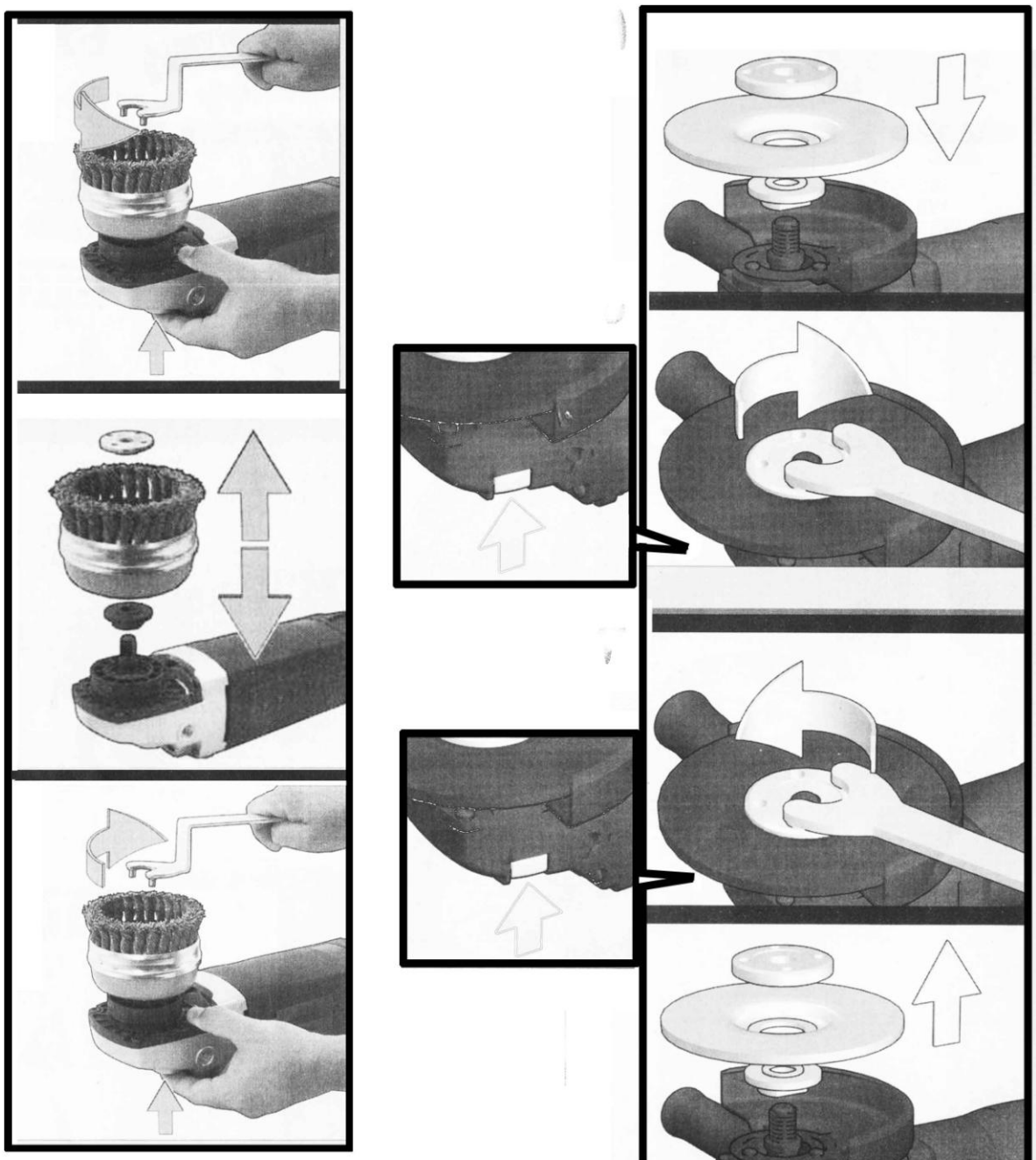
کار با سنگ فرز:

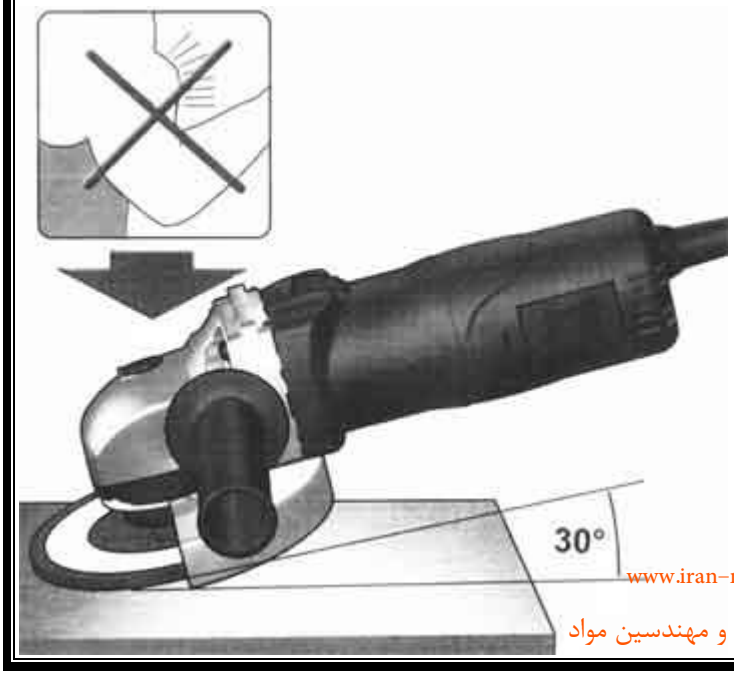
سنگ فرز فیبری در دو سایز کوچک و بزرگ معمولا مورد استفاده قرار می گیرد. که در واقع تنها یک موتور الکترکی است که انواع ابزار ها بر روی آن نصب می شود. در جوشکاری ما از دو نوع صفحه برای آن استفاده می کنیم که یکی برای برش(ضخامت کم) و دیگری برای سابیدن قطعات فلزی(سنگ ساب با ضخامت زیادتر) مورد استفاده قرار می گیرد.در انتخاب صفحه بایستی به جنس قطعه مورد کار و همچنین تعداد دور دستگاه و همچنین نوع کار مورد نظر دقت کرد. همچنین در جوشکاری جهت تمیز کاری(قطعه کار و گل جوش) از نوع خاصی برس که روی سنگ فرز نصب می شود نیز استفاده می شود که خود وایر برس می تواند بصورت کاسه ای یا خورشیدی باشد.







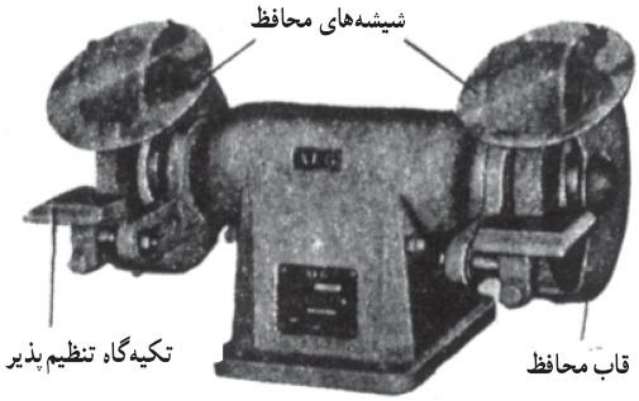


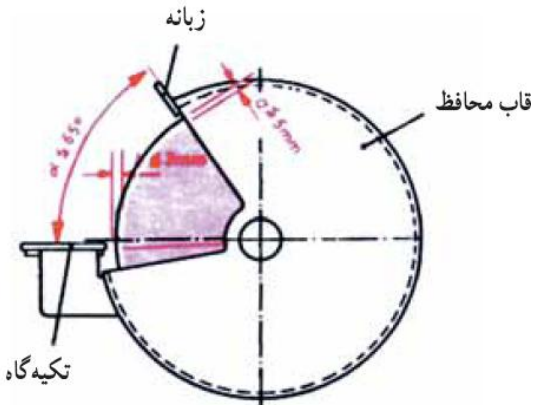


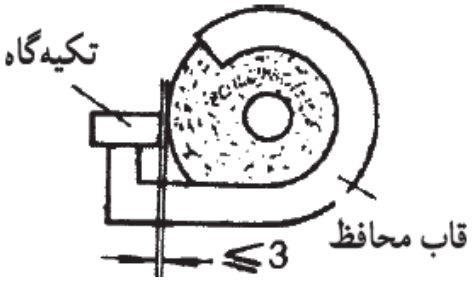
www.iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

سنگ زنی:

سنگ زنی یکی از کارهای براده برداری است که برای عملیات تیزکاری ابزار و برطرف کردن ناهمواریها سطح کار و نظایر آن کاربرد دارد. برای این کار در کارگاه ها از ماشین سنگ سمباده رومیزی استفاده می شود که معمولا یک طرف آن سنگ سمباده نرم و طرف دیگر آن سنگ سمباده زیر نصب می گردد.







فصل سوم

اصول الکتریسیته

www.iran-mavad.com

مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

قوس الکتریکی چیست ؟

جهت توضیح چگونگی ایجاد و نحوه برقراری قوس الکتریکی و تعریف عوامل موثر در برقراری و پایداری قوس لازم است تا به یک مدار الکتریکی ساده اشاره شود. در یک مدار ساده الکتریکی جهت عبور جریان الکتریکی به سه عنصر اصلی نیازمندیم :

۱ – قطب مثبت که باید قابلیت رسانایی جریان الکتریکی را داشته باشد.

۲ – قطب منفی که باید قابلیت رسانایی جریان الکتریکی را داشته باشد.

۳– وجود یک اختلاف پتانسیل در دو سر مثبت و منفی مدار

قوس الکتریکی در جوشکاری هم از قانون فوق تبعیت می کند. به معنی دیگر در فرآیندهای جوشکاری قوسی سه عنصر اصلی مدار الکتریکی فوق باید وجود داشته باشد تا قوس برقرار شود. این سه عنصر عبارتند از الکترود و قطعه کار به عنوان قطب مثبت ومنفی مدار و دستگاه جوشکاری که اختلاف پتانسیل را جهت عبور جریان ایجاد می کند. با این توضیحات می توان دقیقتر به قوس الکتریکی پرداخت. در اصطلاح کلی تخلیه بار الکتریکی بین دو الکترود را که در میان گاز یونیزه شده (پلاسما) صورت می گیرد قوس الکتریکی می نامند. در فرآیندهای جوشکاری که از جریان الکتریکی به عنوان منبع حرارتی استفاده می شود ، انرژی باید برای تخلیه بار الکتریکی و انتقال ماده مذاب کافی باشد این انرژی را قوس الکتریکی تامین می کند.. در جوشکاری قوسی منظور از دو الکترود همان الکترود جوشکاری و قطعه کار است و گاز یونیزه شده همان هوای میان دو الکترود است که رسانا نبوده و جهت عبور جریان باید رسانا شود و در حقیقت قوس الکتریکی است که دو فلز پایه و پرکننده (الکترود) را ذوب کرده و باعث اتصال می شود. جهت رسانا کردن هوای بین الکترود و قطعه کار به ولتاژ زیادی نیاز داریم. بکارگیری ولتاژ بالا بسیار خطرناک بوده و عملا در جوشکاری کاربرد ندارد لذا شدت جریان زیاد جهت رسانا کردن هوا در فرآیندهای جوشکاری بکار می رود. به عبارت دیگر شدت جریان زیاد ابتدا هوا را به اتم اکسیژن و اتم ازت و سپس اتم ها را به یون و الکترون تجزیه می کند. تجزیه هوا به الکترونها و یونهای سازنده به علت برخورد الکترونهای در حال عبور بین دو قطب الکترود و قطعه کار به اتم و ملوکولهای هوا است. در این حالت الکترونهایی که از قطب منفی (الکترود یا قطعه کار) آزاد شده از فضای بین دو قطب عبور کرده و به قطب دیگر می رسند. در حین عبور الکترونها چون مقاومت هوای رسانا شده زیاد است به ناچار انرژی الکترونها به انرژی حرارتی تبدیل می شود و حرارت لازم برای جوشکاری را تهیه می کند. برقراری قوس الکتریکی به صورت ذاتی با نور و حرارت زیادی همراه است. جهت برقراری قوس همیشه باید بین دو الکترود فاصله معینی در حدود ۴ – ۲ میلی متر وجود داشته باشد.

در اثر یونیزه شدن ، گاز رسانا شده و به خاطر اختلاف پتانسیل موجود در دوسر قطبها ، عبور جریان الکتریکی امکان پذیر شده و قوس برقرار می گردد. این حالت ادامه می یابد تا قوس به یک حالت پایدار برای حمل جریان الکتریکی تنظیم شده برسد. به هنگام پایداری قوس الکتریکی ، سه وظیفه مهم را قوس انجام می دهد ، اول ایجاد

حرارت برای ذوب فلز پایه و فلز پر کننده ، دوم انتقال قطره مذاب از الکترود به فلز پایه به کمک پلاسماجت و سوم تمیز کنندگی سطح از هر گونه آلودگی. ناگفته نماند که نه تنها نیروی قوس باعث انتقال قطرات مذاب می شود بلکه نیروی وزن وثقل آنها نیز به این مهم کمک می کند. اگر برای برقراری قوس الکتریکی از جریان **DC** استفاده شود الکترونها به صورت یکطرفه از قطب منفی به قطب مثبت حرکت می کنند. این امر باعث می شود تا ۲/۳ حرارت در نزدیکی قطب مثبت و ۱/۳ حرارت در نزدیکی قطب منفی باشد. اما اگر برای برقراری قوس از جریان **AC** استفاده شود بسته به فرکانس برق شهر که معمولا ۵۰ **HZ** می باشد در یک ثانیه ۵۰ مرتبه جهت حرکت الکترونها بین دو قطب تغییر می کند و لذا تقسیم حرارت بین قطب مثبت و منفی کاملا مساوی است. با توجه به آنچه که گفته شد برای توضیح نحوه برقراری قوس الکتریکی ۲ تئوری ارائه شده است :

تئوری ۱ : در لحظه شروع قوس الکتریکی که دو قطب برای یک آن با هم تماس دارند اتصال کوتاه موقتی ایجاد می شود که باعث عبور جریان زیادی از محل تماس می گردد. این جریان زیاد بخارات فلزی را تولید می کند که هادی جریان الکتریکی هستند. در ادامه فرآیند و هم زمان با بلند شدن نوک الکترود جریان الکتریکی از بخار فلزی عبور کرده و قوس تشکیل می گردد. این تئوری فقط در زمانی که شدت جریان زیاد است صدق می کند.

تئوری ۲ : با توجه به فاصله کم نوک الکترود با قطعه کار در لحظه بلند شدن نوک الکترود از سطح قطعه کار الکترونهای در حال عبور بین دو قطب با ملوکولهای هوا برخورد نموده و باعث یونیزه شدن آنها می گردد ، در اثر یونیزه شدن ، جریان الکتریکی از هوای رسانا شده عبور نموده و قوس برقرار می شود.

فضای بین دو الکترود یا ناحیه برقراری قوس الکتریکی را می توان به سه ناحیه تقسیم می کرد :

۱ – ناحیه کاتدی یا قطب منفی قوس : این ناحیه توسط یک ابر باردار مثبت احاطه شده است و از این ناحیه الکترونها شتاب گرفته و در اثر قدرت قوس به سمت آند حرکت می کنند و تمام انرژی جنبشی آنها به گرما تبدیل می شود. به علت سرد شدن این ناحیه توسط الکترونها افت پتانسیل در این ناحیه وجود دارد.

۲ – ناحیه آندی یا قطب مثبت قوس : این ناحیه شرایطی شبیه به ناحیه کاتدی دارد با این تفاوت که این ناحیه توسط ابر باردار منفی احاطه می شود. الکترونهای جدا شده از ناحیه ستون قوس در راستای قوس به سمت آند شتاب گرفته و تمام انرژی جنبشی آنها به گرما تبدیل می شود. همین گرما است که حرارت لازم برای جوشکاری را بوجود می آورد.

۳ – ستون قوس یا ناحیه میانی : این ناحیه که دقیقا منطقه میان آند و کاتد است عمل واسطه را انجام می دهد و دارای بالاترین حرارت و یک شیب یکنواخت پتانسیل می باشد چراکه الکترونهای آزاد شده از کاتد از طریق ستون قوس به آند می رسد ویونهای حاصل از یونیزاسیون از طریق ستون قوس به سمت کاتد شتاب می گیرند. عمل یونیزاسیون گاز در این ناحیه صورت می گیرد. علاوه بر آن عمل انتقال فلز مذاب هم از طریق همین ستون قوس انجام می شود.

دما در مناطق مختلف قوس متفاوت است. در قطب منفی $۳۶۰۰^{o}C$ ، در قطب مثبت $۴۰۰۰^{o}C$ و در ستون قوس بین $۴۵۰۰ - ۲۰۰۰۰^{o}C$ حرارت وجود دارد. هرچه ستون قوس و پلاسما جت آن متمرکزتر باشد دمای آن بالاتر است. برای مثال در جوشکاری پلاسما به خاطر تمرکز ستون قوس ، دما بین $۴۵۰۰ - ۵۵۰۰^{o}C$ می باشد. تعیین کننده بسیاری از خواص قوس الکتریکی از جمله درجه حرارت ، قطر ستون قوس و حرکت گاز یونیزه شده و اندازه قطره مذاب جداشده از الکترود شدت جریان مصرفی در حین جوشکاری است.

متغییرهاي قوس الکتریکي

در مدار ساده الکتریکی که برای توضیح قوس الکتریکی از آن کمک گرفتیم برقراری جریان الکتریکی و ادامه آن به سه متغییر اصلی بستگی داشت به گونه ای که هریک تاثیر خاصی بر روی عملکرد مدار دارد. این سه متغییر عبارتند از ولتاژ یا اختلاف پتانسیل که نیرو محرکه لازم جهت حرکت الکترونها است ، واحد آن ولت بوده (با علامت اختصاری **V**) و با ولت متر اندازه گیری می شود. شدت جریان الکتریکی که به حرکت جهت دار الکترونها در یک هادی گفته می شود , که واحد آن آمپر می باشد (با اختصاری علامت **I**). و وسیله اندازه گیری آن آمپرمتر است. و مقاومت الکتریکی که مخالفت هادی در برابر حرکت الکترونها است , واحد آن اهم است (با علامت اختصاری **R**) و با اهم متر اندازه گیری می شود. بین این سه متغییر یا سه کمیت رابطه ای برقرار است که به آن قانون اهم می گویند.

$$V = I \times R \quad \text{یا} \quad I = \frac{V}{R} \quad \text{یا} \quad R = \frac{V}{I}$$

در فرآیند جوشکاری قوسی نیز برقراری و پایداری قوس رابطه مستقیمی با این سه متغییر دارد. به نحوی که هر چه شدت جریان بیشتری از ستون قوس عبور کند درجه حرارت و قطر قوس بیشتر می شود تا جاییکه حرارت قوس به حدود $۶۰۰۰^{o}C$ می رسد. مانند جریان الکتریکی ، ولتاژ مدار نیز با خواص قوس رابطه دارد به گونه ای که هرچه طول قوس یا به عبارتی فاصله دو قطب از یکدیگر بیشتر شود ولتاژ و میزان حرارت منتقل شده افزایش خواهد یافت. اما نکته حائز اهمیت در برقراری قوس این است که به علت عبور شدت جریان فوق العاده بالا از ستون قوس بالاخص در هسته مرکزی آن ، در آن ناحیه رابطه بین جریان الکتریکی و اختلاف پتانسیل (ولتاژ) از قانون اهم تبعیت نمی کند. این قانون تنها تا شدت جریان ۸۰ – ۷۰ آمپر حاکم است.

با توجه به توضیحات داده شده می توان سوالی را مطرح کرد ، گفته شد که قوس الکتریکی جهت برقراری و پایداری و ایجاد حرارت بالا نیاز به شدت جریان بالایی دارد. این شدت جریان بالا به چه صورت تامین می شود ؟

جریان فوق العاده زیاد قوس الکتریکی توسط دستگاههای جوشکاری تولید می شود. این دستگاهها کاهنده ولتاژ و افزاینده جریان الکتریکی هستند و به کمک دو سیم پیچ ولتاژ برق ورودی به دستگاه را کاهش داده و شدت جریان را افزایش می دهند. حال آنکه این عمل چگونه انجام می شود در مبحث توضیح دستگاه های جوشکاری کاملا روشن خواهد شد. اما برای روشن شدن دقیق مطلب لازم است تا انواع جریان الکتریکی را شرح دهیم.

انواع جریان الکتریکی

همان طور که گفته شد جریان الکتریکی همان حرکت جهت دار الکترونها در یک جسم هادی و رسانا است. حال بر اساس این تعریف دو نوع حرکت الکترون و یا دو نوع جریان الکتریکی وجود دارد :

الف) جریان مستقیم DC یا Direct Current

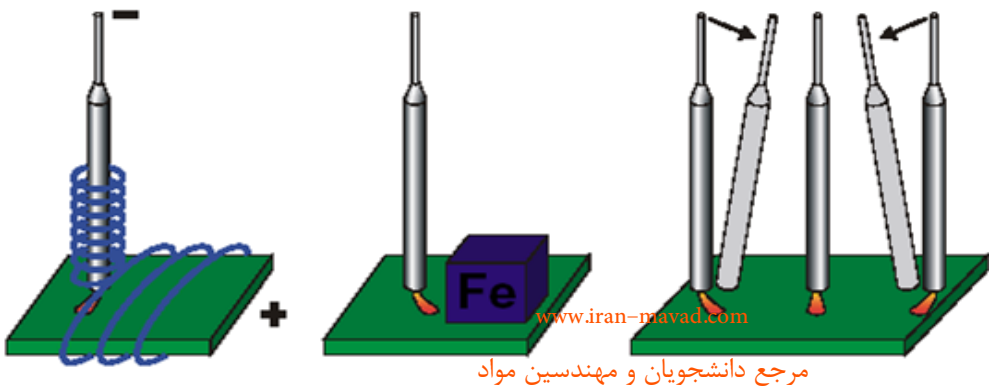
در این نوع جریان ، حرکت الکترونها همیشه یکطرفه بوده و از قطب منفی به طرف قطب مثبت در جریان هستند. بنابراین در حین استفاده از جریان مستقیم هیچگاه جای قطب مثبت و منفی عوض نمی شود. به عنوان مثال در جوشکاری با جریان مستقیم اگر الکترود به قطب مثبت و قطعه کار به قطب منفی متصل گردد تا لحظه ای که به اختیار محل قطبها تغییر نکند هیچگاه جای قطب مثبت و منفی عوض نمی شود. بعضی از ژنراتورها مانند باطری و ترموکوپل ، مستقیما جریان **DC** تولید می کنند اما مناسب ترین روش , تولید جریان مستقیم از طریق تبدیل جریان متناوب به جریان مستقیم توسط عملیات یکسوسازی است. خطر برق گرفتگی با جریان **DC** ۱۴۱ بار کمتر از جریان **AC** است لذا جریان **DC** جریان مناسبی برای جوشکاری است. علاوه برآن خطر شوک الکتریکی آن کم بوده , برقراری و پایداری قوس بالاست ، پاشش ذرات کم است ، انواع الکترود را می توان با این جریان جوشکاری کرد ، جوشکاری با حداقل شدت جریان امکان پذیر است و در نهایت امکان تغییر قطبیت بوسیله جوشکار وجود دارد. اما بزرگترین مشکل جریان **DC** پدیده وزش قوس یا انحراف قوس است. عبور جریان الکتریکی از الکترود ، قطعه کار و کابل اتصال باعث تشکیل میدان مغناطیسی عمود بر مسیر عبور جریان می شود. هرگاه این میدان مغناطیسی نامتعادل گشته و به طرفی که تمرکز میدان بیشتر است منحرف شود وزش قوس پدید می آید. در جریان **DC** به علت یک طرفه بودن جریان این پدیده بیشتر مشاهده می شود. مخصوصا اگر طرح اتصال دو قطعه از نوع سپری باشد. به هنگام ایجاد انحراف قوس کنترل مذاب مشکل شده و حوضچه بوجود آمده ناموزون و نامتعادل می گردد و الکترود نیز به صورت یک طرفه و غیریکنواخت ذوب می شود. این امر باعث ایجاد خوردگی در کنار جوش ، حبس گل جوش و پاشش جرقه زیاد می گردد. جهت جلوگیری از انحراف قوس در جریان **DC** می توان از روشهای زیر کمک گرفت:

۱ – کاهش طول قوس و شدت جریان تا حد امکان

۲ – تغییر دادن محل اتصال کابل به قطعه کار و دور کردن گیره اتصال از قطعه کار تا حد امکان

۳ – استفاده از جریان متناوب به جای جریان مستقیم در صورت امکان

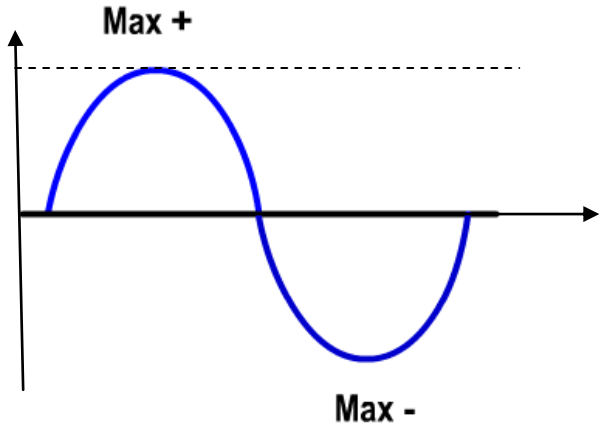
۴ – پیچیدن کابل اتصال به دور قطعه جهت ایجاد میدان مغناطیسی جدیدی برخلاف میدان اولیه و به جهت خنثی کردن آن



www.iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

ب) جریان متناوب یا AC یا Alternative Current

جریان **AC** جهت حرکت الکترونها دائما درحال تغییر است بنابراین در حین استفاده از این جریان جای قطب مثبت و منفی به طور دایم جابه جا می شود. در اولین لحظه شروع برقراری جریان ، الکترونها دریک جهت خاص حرکت می کنند اما چند لحظه بعد حرکت آنها بر عکس می شود. درجریان متناوب شدت جریان الکتریکی از یک نمودار **sin** تبعیت می کند. به گونه ای که در جهت مثبت از صفر شروع شده و به یک مقدار حداکثر می رسد دوباره در جهت منفی از صفر شروع شده و به یک مقدار حداکثر ختم می شود. نمودار شدت جریان الکتریکی این جریان شامل یک سیکل کامل است که به دونیم سیکل مثبت ومنفی تقسیم می شود.



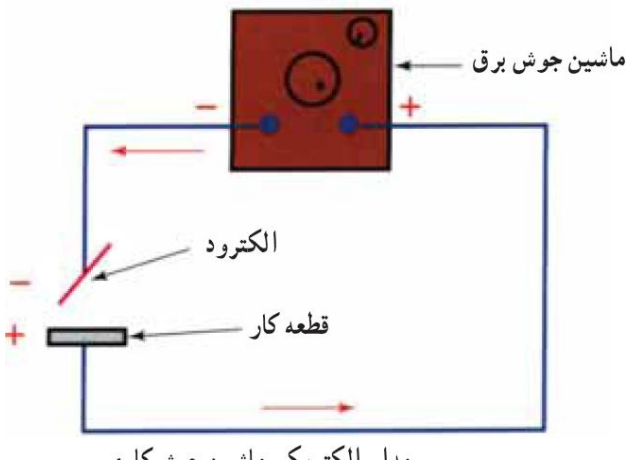
نمودار **Sin** جریان متناوب

از جریان متناوب در بسیاری از فرآیندهای جوشکاری مانند **TIG** و **MIG** استفاده می شود. این نوع جریان دارای مزایا و معایبی است. از مزایای این جریان می توان به ارزان بودن دستگاههای جوشکاری جریان **AC** ، هزینه کم نگهداری و تعمیر دستگاههای **AC** ، عدم وقوع وزش قوس ، تساوی حرارت در قطعه و الکترود و بالا بودن بهره الکتریکی اشاره کرد. اما در کنار این مزایا ، معایبی همچون عدم امکان تغییر قطب ، عدم استفاده برای جوشکاری با تمام الکترودها ، مناسب نبودن برای جوشکاری برخی فلزات و عدم پایداری قوس الکتریکی وجود دارد.

جوشکاری با قوس الکتریکی

تعاریف:

۱- مدار الکتریکی: مسیری است که جریان الکتریسیته(الکترون ها) در آن جاری می شود و این مسیر از ترمینال منفی ژنراتور(جایی که شدت جریان تولید می شود) شروع شده به وسیله سیم یا کابل به طرف ترمینال مثبت هدایت می شود.



مدار الکتریکی ماشین جوش‌کاری

www.iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد
Sayyed Reza Taghavi Shahri

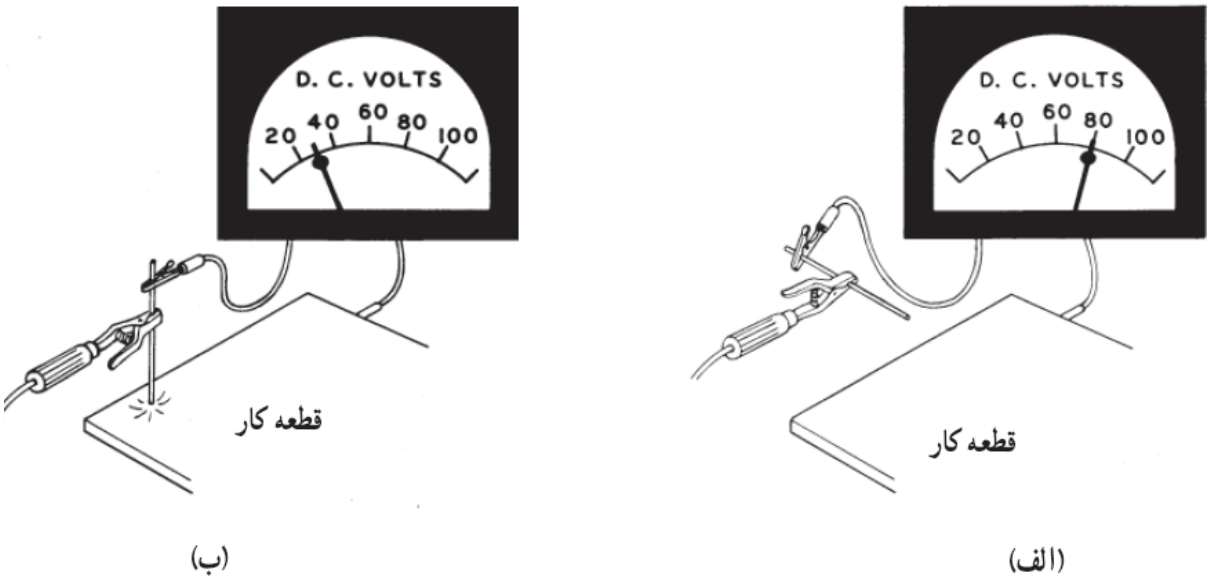
۲- شدت جریان: تعداد الکترون هایی که در یک ثانیه از یک نقطه از مدار می گذرند و واحد آن آمپر است.(**A**)

۳- ولتاژ: نیرویی که باعث می شود الکترون ها در مدار جریان یابند. این نیرو مانند فشاری است که باعث جریان آب در لوله می شود. در سیستم آب پمپ باعث فشار است در حالیکه در مدار الکتریکی ژنراتور یا ترانسورماتور مولد فشار هستند که الکترون ها را در مدار به حرکت وا می دارند.واحد این فشار ولت است و با ولتمتر اندازه گیری می شود.

۴-افت ولتاژ: همانطور که در یک سیستم آب هرچه طول لوله بیشتر باشد فشار آب کمتر می شود در یک مدار الکتریکی هر چه فاصله نسبت به ژنراتور بیشتر شود ولتاژ کمتر می شود که به این امر افت ولتاژ گویند.

۵- فرکانس: تعداد سیکل های کامل در یک ثانیه. در ایران فرکانس جریان الکتریسیته ۵۰ سیکل می باشد.(**50Hz**)

۶-ولتاژ مدار باز و ولتاژ قوس: ولتاژ مدار باز ولتاژی است که در موقع کار کردن ماشین کاری وجود دارد بدون اینکه عمل جوشکاری انجام شود تغییرات این ولتاژ در حدود ۵۰ تا ۱۰۰ ولت است.بعد از برقراری قوس ولتاژ افت کرده به حدود ۱۸ تا ۳۸ ولت می رسد که به آن ولتاژ قوس یا ولتاژ کاری می گویند.



الف-ولتاژ مدار باز ب-ولتاژ کار(قوس)

۷- جریان مستقیم- قطب مستقیم(**DCSP** یا **DCEN**): هنگامی است کهدر جوشکاری با جریان **DC**، انبر الکتردگیر را به قطب منفی دستگاه متصل و قطب مثبت دستگاه را به انبر اتصال وصل نماییم. در این حالت ۲/۳ حرارت ایجاد شده در قطعه کار خواهد بود.

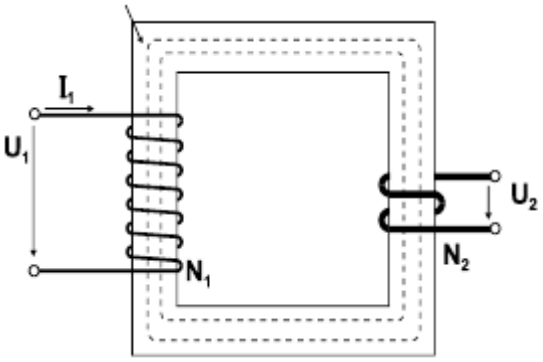
۸- جریان مستقیم- قطب معکوس: (**DCRP** یا **DCEP**): هنگامی است کهدر جوشکاری با جریان **DC**، انبر الکتردگیر را به قطب مثبت دستگاه متصل و قطب منفی دستگاه را به انبر اتصال وصل نماییم. در این حالت ۲/۳ حرارت ایجاد شده در الکترود خواهد بود.

www.iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد
Sayyed Reza Taghavi Shahri

قطب مستقیم	قطب معکوس
الکترود منفی	الکترود مثبت
اتصال مثبت	اتصال منفی
DCSP	**DCRP**
DCEN	**DCEP**
نفوذ کم	نفوذ زیاد
سرعت جوشکاری زیاد	سرعت جوشکاری کم
مقدار جوش زیاد(نرخ رسوب زیاد)	مقدار جوش کم(نرخ رسوب کم)

ترانسفورماتور چیست ؟

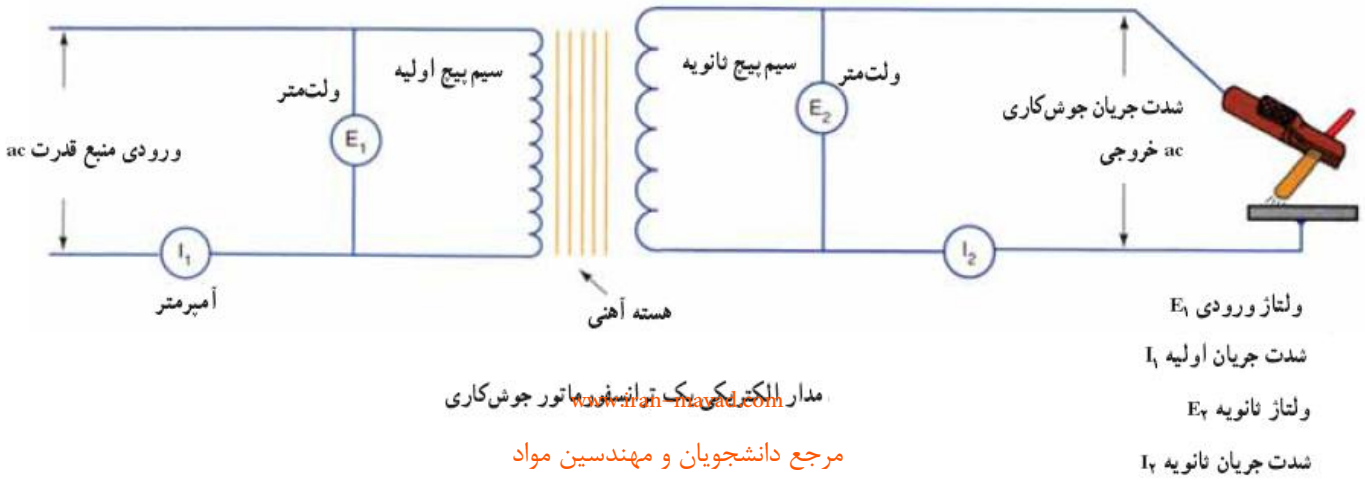
در بخش قبل ولتاژ یا اختلاف پتانسیل را نیروی محرکه حرکت الکترونها جهت ایجاد جریان الکتریکی دانستیم. ترانسفورماتور وسیله ای برای کاهش یا افزایش همین ولتاژ می باشد که به دو صورت ترانسفورماتور کاهنده و ترانسفورماتور افزاینده وجود دارد. ترانسفورماتورهای کاهنده وسایلی هستند که ولتاژ ورودی آنها بیشتراز ولتاژ خروجی آنها است وترانسفورماتورهای افزاینده وسایلی هستند که ولتاژ ورودی آنها کمتر از ولتاژ خروجی آنها است. در دستگاههای جوشکاری ترانسفورماتورها جز اصلی دستگاه هستند که از نوع کاهنده ولتاژ و افزاینده جریان می باشد. بدین منظور تعداد سیم پیچ های ثانویه ترانسفور ماتور نسبت به سیم پیچ اولیه کمتر و ضخیمتر انتخاب می گردند. هدف اصلی از افزایش شدت جریان توسط ترانسفورماتور دردستگاه جوشکاری یونیزاسیون هوای بین دو قطب , ایجاد شرایط مناسب برای برقراری قوس الکتریکی و ایجاد حرارت بالا برای انجام عمل ذوب و اتصال دو قطعه است. این حرارت بالا اگر قرارباشد توسط جریان الکتریکی بوجود آید نیاز به ولتاژ زیاد یا شدت جریان بسیار بالایی دارد. تولید ولتاژ بالا مقرون به صرفه نبوده و استفاده از آن هم برای کاربر بسیار خطرناک است اما تولید و مصرف شدت جریان بالا این مشکلات را در پی ندارد لذا ترانسفورماتور موجود در دستگاه جوشکاری از نوع کاهنده ولتاژ و افزاینده جریان انتخاب می شود تا با کاهش ولتاژ ورودی به دستگاه هزینه ها و خطرات را کم کرده و با افزایش شدت جریان شرایط را برای انجام عملیات جوشکاری مهیا نماید.



ترانسفورماتورها بر اساس جریان **AC** کار می کنند به عبارتی جریان ورودی و خروجی آنها از نوع جریان **AC** است اما اگر نیاز باشد تا جریان خروجی به **DC** تبدیل شود لازم است تا یک یکسوکننده به مجموعه ترانس اضافه

شود. یکسوکننده یا رکتی فایر وسیله ای است که توانایی تبدیل جریان متناوب به جریان مستقیم را دارد. اولین نوع یکسوساز دیود است که از ورقهایی از جنس سلینیم ساخته می شود. در واقع دیود فقط در یک جهت شدت جریان را از خود عبور داده و در جهت مخالف نمی تواند جریان را جاری کند. یک روش یکسوسازی دیگر استفاده از چهار دیود به عنوان یک پل دیودی است. علاوه بر پل دیودی روش دیگر یکسوسازی جریان استفاده از تریستور می باشد. تریستور همانند دیود است با این تفاوت که جریان خروجی درتریستورها قابل تنظیم بوده و می توان آنرا کم و زیاد کرد اما در پل دیودی مقدار جریان ورودی و خروجی یکسان است و نمی توان جریان خروجی را کم و زیاد کرد. در دستگاههای جوشکاری با خروجی جریان مستقیم قابل تنظیم از تریستور به عنوان یکسوساز استفاده می شود. مثال واضح آنچه گفته شد ترانسفورماتورهای رکتی فایردار جوشکاری است که ترانس موجود در آن از نوع کاهنده ولتاژ و افزاینده جریان می باشد. این ترانس ولتاژ برق ورودی را تا زیر ۱۰۰ ولت کاهش داده و جریان خروجی که از نوع **AC** است توسط رکتی فایر یکسو شده ، به جریان **DC** تبدیل می شود.

ترانسفورماتورها از سه قسمت اصلی هسته فولادی ، سیم پیچ اولیه و سیم پیچ ثانویه تشکیل می شوند. هسته فولادی از ورقهای نازک فولادآلیاژی با حداکثر ۴/۵ درصد **Si** ساخته شده که قابلیت هدایت الکتریکی و مغناطیسی بالایی دارند و بر روی هم قرار گرفته اند. این ورقها ضخامتی حدود ۰/۵ – ۰/۳۵ میلی متر دارند و سیم پیچ اولیه و سیم پیچ ثانویه به دور آنها پیچیده می شود. سیم بکار رفته در ساخت سیم پیچها از جنس هادیهای مسی با عایق لاکی استاندارد و مقطع گرد می باشد. سیم پیچ اولیه ترانسهای کاهنده موجود در دستگاه جوشکاری دارای دور زیاد و از سیم نازک ساخته می شود چراکه شدت جریان کمی از خود عبور می دهد و به برق ورودی متصل می شود. در مقابل سیم پیچ ثانویه با تعداد دور کم از سیم ضخیم ساخته شده و به انبر اتصال و انبر الکترود گیر متصل می گردد. نکته قابل توجه در ترانسفورماتورها نحوه تولید جریان در آنها است. هنگامی که بین دو سیم پیچ القا جریان متقابل وجود داشته باشد هر تغییری در جریان یکی باعث القا ولتاژ در سیم پیچ دیگر می شود. در ترانسفورماتورها سیم پیچ اولیه انرژی را از منبع (برق ورودی) گرفته و آنرا از طریق تغییر میدان مغناطیسی به سیم پیچ ثانویه القا می نماید. در ترانس ها انرژی الکتریکی از یک مدار به مدار دیگر بدون اتصال الکتریکی بین دو سیم پیچ منتقل می شود.



مدار الکتریکی یک ترانسفورماتور جوش‌کاری

www.iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

انواع منابع نیرو در جوشکاري با قوس الکتريکي

منبع نیرو در جوشکاری یا دستگاه جوشکاری تامین کننده جریان الکتریکی مورد نیاز برای ایجاد قوس الکتریکی و انجام عملیات اتصال است. جریان خروجی این دستگاه می تواند از نوع **AC** ، **DC** و یا هر دو نوع باشد. به کارگیری هر یک از منابع نیرو در شرایط مختلف مستلزم رفع نیازهایی است که به شرح زیر می باشد :

۱ – جرقه زنی و روشن شدن آسان قوس

۲ – ایمنی به هنگام اتصال کوتاه

۳ – عدم نیاز به سرویس و نگهداری مداوم

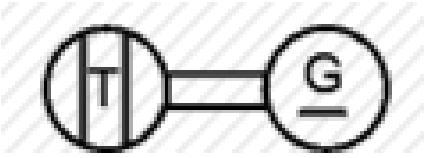
۴ – تغییر سریع کمیتهای جوش به هنگام تغییر طول قوس الکتریکی

دستگاههای جوشکاری را می توان بر اساس روش تولید جریان و شکل تبدیل جریان به دو دسته کلی تقسیم کرد :

الف) مولدها

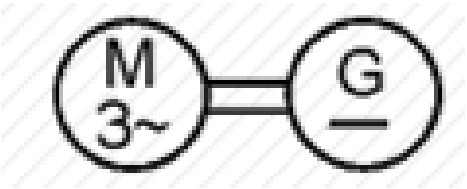
این دستگاهها جریان مورد نیاز برای جوشکاری را خود تامین می کنند و معمولا در جاهایی که دسترسی به برق شهر نیست مانند جوشکاری خطوط لوله انتقال گاز بین شهری وجوشکاری اسکلت ساختمان و .... کاربرد دارند. در مولد ها یک موتور احتراقی که با سوخت فسیلی کار می کند یا یک موتور الکتریکی سه فاز محور ژنراتور را به حرکت در آورده و شدت جریان مورد نیاز عملیات جوشکاری را برآورده می کند. بسته به طراحی ژنراتور خروجی جریان آنها می تواند **AC** ، **DC** ویا هردو جریان باشد مولدها خود به دو دسته تقسیم می شوند :

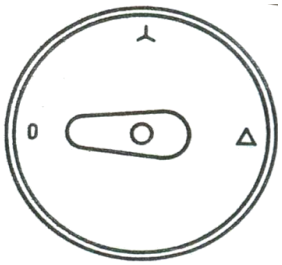
۱ – موتور ژنراتور احتراقی (بنزینی یا گازوئیلی) که سوخت فسیلی را به جریان الکتریکی تبدیل می کنند و به دستگاه های جوشکاری سیار مشهور است. در مناطقی که دسترسی به برق وجود ندارد از موتور ژنراتور گازوئیلی و یا بنزینی استفاده می کنند. همان طورکه گفته شد در این نوع دستگاه جوشکاری , احتراق سوخت فسیلی پیستونهای موجود در موتور احتراقی را به حرکت درآورده و با انتقال حرکت پیستون به محور ژنراتور جریان برق تولید می گردد. این دستگاه با نماد زیر نشان داده می شود :

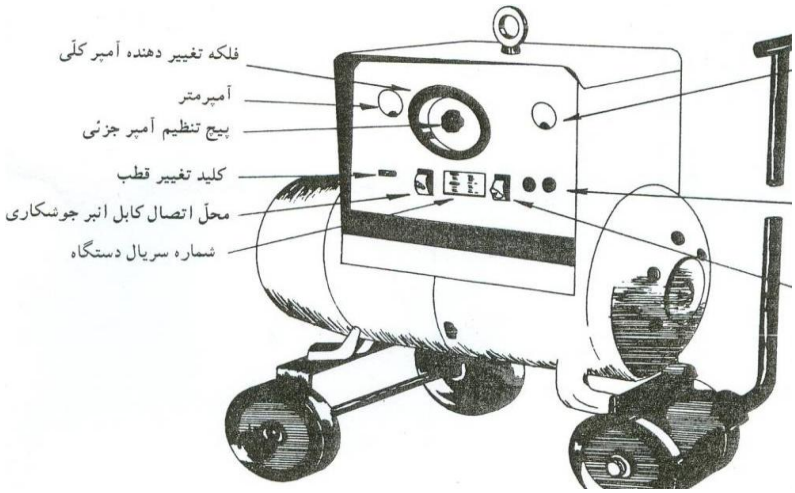


۲ – موتور ژنراتور الکتریکی یا دینام که توسط یک موتور الکتریکی سه فاز که با دینام کوپل شده و محور آنها مشترک است ، جریان الکتریکی تولید می کند. با چرخش محور توسط موتور الکتریکی سه فاز محور دینام نیز به چرخش درآمده و برق تولید می شود. اتصال الکتروموتور به برق شهر توسط یک کلید ستاره و مثلث صورت می گیرد که برای راه اندازی آن لازم است کلید را روی حالت ستاره قرار دهیم تا موتور به دور کامل برسد سپس کلید را روی حالت مثلث (Δ) قرار دهیم ، در این حالت دستگاه آماده جوشکاری است. در حالتی که

دستگاه روی حالت ستاره است جوشکاری با آن مجاز نیست. در پایان جوشکاری هم جهت خاموش کردن دستگاه باید عکس روند روشن کردن آنرا انجام داد. این مولدها به علت پر سروصدا بودن ، استهلاک زیاد ، مصرف برق زیاد ونیز برخورداری از یک بازده پایین با آمدن دستگاه ترانسفورماتور رکتی فایردار عملا از رده خارج شده است. این دستگاه با نماد زیر نشان داده می شود :







دینام جوشکاری به همراه نمایی از کلید روشن کردن آن

ب) مبدلها

این دستگاهها تبدیل کننده بوده و جریان ورودی را به جریان مورد نیاز جوشکاری تبدیل می نمایند لذا به آنها مبدل می گویند. سه نوع مهم این دستگاه ها شامل ترانسفورماتورهای **AC** ، ترانسفورماتورهای رکتی فایردار و اینورتورها می باشد. ترانسهای جوشکاری با ورودی و خروجی جریان **AC** را در مونتاژکاری ، مقاصد خانگی در قالب دستگاه جوش پرتابل و مصارف صنعتی جوشکاری **TIG** و زیرپودری به کار می برند. در ترانسفورماتورهای رکتی فایردار جریان متناوب خروجی از سیم پیچ ثانویه وارد یکسوکننده شده و به جریان مستقیم تبدیل می شود. برای حصول جریان مستقیم صاف تر از ترانس های سه فاز استفاده می گردد. ترانسفورماتورهای رکتی فایردار دستگاه های بسیار مناسبی برای جوشکاری و به خصوص فرآیند قوس الکتریکی – الکترود دستی هستند. اینورتورها دستگاههایی سبک و کم حجم هستند. در این دستگاه ها برق ورودی ابتدا یکسو شده و سپس در ترانزیستور به جریان با فرکانس بالا تبدیل می شود ، در پایان هم جریان متناوب فرکانس بالا به جریان مستقیم تبدیل می گردد. با افزایش فرکانس برق ورودی ترانس ها ، ابعاد ترانس کم شده و همین امر باعث سبکی وزن دستگاه های اینورتور

شده است. به علت تنوع مبدلهای جوشکاری وشناسایی راحت آنها علایمی را برای هر یک معرفی کرده اند که در زیر به آن می پردازیم.

۱ – ترانسفورماتور با خروجی جریان متناوب: (تعداد فاز به صورت عددی یا خط کجی درسمت چپ علامت مشخص می گردد)

۲ – ترانس رکتی فایردار (تعداد فاز آن سه فاز است) باخروجی جریان **DC**:

۳ – دستگاه اینورتور با خروجی جریان **DC**:

مطلب مهمی که در این قسمت باید به آن اشاره کرد مقایسه پایداری و روشن کردن قوس در دو جریان **DC** و **AC**است. در جریان **AC** شروع و روشن کردن مجدد قوس یک مشکل اساسی است چرا که در هر سیکل وقتی جریان به صفر می رسد قوس به صورت لحظه ای خاموش می شود. برای جلوگیری از این معضل همیشه موج جریان الکتریکی از موج ولتاژ عقب تر است به این معنی که هنگامی که جریان الکتریکی صفر می شود تقریبا تمام ولتاژ باز مدار برای روشن کردن یا شروع مجدد قوس در دسترس می باشد .در جریان **DC** به علت ثابت و یکنواخت بودن جهت جریان روشن کردن و شروع مجدد قوس براحتی انجام می گیرد.

مفهومی که در ادامه باید به آن اشاره کرد اصطلاح سیکل کاری یا زمان کاری دستگاه های جوشکاری است. این سیکل یا زمان که معمولا بر مبنای ده دقیقه در نظر گرفته می شود ، به منظور جلوگیری از خرابی و سوختن سیم پیچ ها و تجهیزات دستگاه جوشکاری تعریف می شود و عبارت است از مدت زمانی که در یک آمپر مشخص می توان با دستگاه جوشکاری نمود بدون آنکه دستگاه آسیب ببیند. اصطلاح سیکل کاری را که با **ED** نشان می دهند از فرمول زیر بدست می آید.

سیکل کاری در سه حالت ۳۰ ٪ ، ۶۰٪ و ۱۰۰٪ برروی پلاک مشخصات روی دستگاه نصب می شود و مثلا وقتی در شدت جریان ۳۰۰ آمپرسیکل کاری ۶۰٪ است یعنی در آمپر ۳۰۰ باید ۶ دقیقه جوشکاری و ۴ دقیقه دستگاه استراحت کند. کلیه دستگاههایی که مداوم جوشکاری می کند مانند **TIG** ویا زیر پودری سیکل کاری

متفاوتی با دستگاههای جوشکاری قوس الکتریکی دستی دارند چرا که زمان تعویض الکترود وتمیز کردن گل جوش در سیکل کاری دستگاههای جوشکاری قوس الکتریکی باید مد نظر قرار گیرد. شرح کامل خصوصیات فنی منابع جریان در جوشکاری در جدول زیر آمده است .

انواع منابع توان و ویژگی های آنها

فصل چهارم

مبانی جوشکاری

www.iran-mavad.com

مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

جوشکاری یکی از فرآیندهای اصلی تولید محسوب می گردد که وظیفه اتصال دائمی قطعات را بر عهده می گیرد. که آنرا می توان اتصال بین اتم های دو قطعه مختلف (نه الزاما با جنس یکسان) با حرارت یا بدون آن و با فلز پر کننده یا بدون آن و با فشار یا بدون آن در نظر گرفت. ولی در کل می توان گفت جوشی مطلوب ماست (جوش ایده آل)که نتوان آنرا از فلز اصلی تشخیص داد.چه از لحاظ ظاهری و چه از لحاظ خواص مکانیکی و شیمیایی.

با توجه به تعریف فوق می توان کلیه فرآیند های جوشکاری را به دو دسته ذوبی و غیر ذوبی تقسیم نمود. که معروف ترین روش نوع ذوبی، جوشکاری با قوس الکتریکی نام دارد که حرارت ناشی از جوشکاری ناشی از قوس الکتریکی حاصل است.این روش خود به گروه های زیر تقسیم می گردد:

۱- جوشکاری قوس الکتریکی با الکترود پوشش دار (**SMAW**)

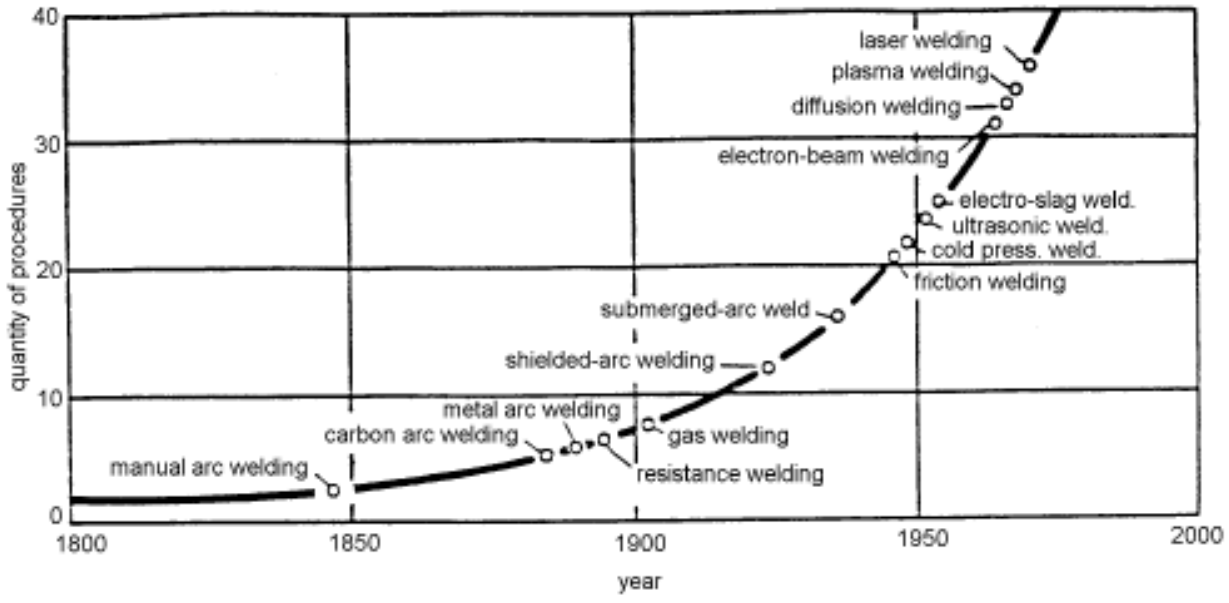
۲- جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ و الکترود تنگستنی(**GTAW**)

۳- جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ و فلز مصرف شدنی(**GMAW**)

۴- جوشکاری قوس الکتریکی زیر پودری(**SAW**)

۵- جوشکاری قوس الکتریکی توپودری(**FCAW**)

خلاصه تاریچه جوشکاری	
تقریبا ۳۲۰۰ سال قبل از میلاد	لحیم کاری جواهرات
تقریبا ۱۵۰۰ سال قبل از میلاد	جوشکاری آهنگری
سال ۱۷۸۲ میلادی	"لیختنبرگ" قوس را کشف نمود.
سال ۱۸۸۵ میلادی	کشف اولین جوشکاری قوس الکتریک بوسیله **Olszewski**
سال ۱۹۰۸ میلادی	جوشکاری قوس الکتریک با الکترود پوشش دار توسط **Kjellberg**
سال ۱۹۴۰	جوشکاری تیگ با هلیوم



شناخت فلزات

تمام مواد و اجسامی که در طبیعت و در اطراف ما مشاهده می شوند را می توان از نظر جنس به دو دسته کلی تقسیم کرد. این تقسیم بندی عبارت است از : ۱- مواد فلزی ۲- مواد غیرفلزی

مواد فلزی که به طور تقریبی نیمی از عناصر موجود در طبیعت را تشکیل می دهند در زندگی امروزی بشر در سطح گسترده ای کاربرد دارند ، به گونه ای که امروزه زندگی بدون آنها شاید غیرممکن باشد. این عناصر فلزی همگی از طریق استخراج از پوسته زمین بدست می آیند و در اکثر مواقع به صورت ترکیب با اکسیژن و یا سایر عناصر یافت می شوند به جز برخی عناصر مانند طلا که به صورت خالص در طبیعت موجود می باشد. به مواد استخراج شده از پوسته زمین که عناصر فلزی را به صورت ترکیبی در خود جای داده اند اصطلاحا کانی می گویند. خواصی مانند رسانایی الکتریکی ، چکش خواری ، استحکام بالا , جلاپذیری ، قابلیت ترکیب با فلزات دیگر و .... باعث کاربرد وسیع فلزات شده است. بسیاری از عناصر فلزی موجود در طبیعت شاید کاربرد آنچنانی نداشته باشند ولی تعدادی از آنها نیز به طور فوسیعی مورد استفاده قرار می گیرند.. لذا برای شناسایی و تفکیک بهتر فلزات می توان از تقسیم بندی زیر استفاده کرد :

انواع فلزات از نظر ماهیت : ۱ - فلزات و آلیاژ های آهنی مانند فولاد ساختمانی ، فولاد آلیاژی ، چدن و .....

۲ - فلزات و آلیاژهای غیرآهنی مانند آلومینیوم ، مس ، روی ، نیکل ، برنج ، برنز

انواع فلزات از نظر خلوص : ۱- فلزات خالص مانند آهن ، مس ، روی ، آلومینیوم ، قلع ، سرب و .....

۲ – آلیاژها مانند فولاد ، چدن ، برنج ، برنز و .....

همانطور که از مثالهای بالا پیداست آلیاژ ترکیب یک فلز با یک یا چند فلز ویا ترکیب یک فلز با یک یا چند غیرفلز دیگر می باشدکه این ترکیب در جهت بهبود خواص مکانیکی ، شیمیایی و فیزیکی فلز پایه انجام می پذیرد و آلیاژ بدست آمده دارای خواص فلزی می باشد. باید توجه داشت که با اضافه کردن هر عنصر آلیاژی به یک فلز ، آلیاژی ساخته می شود که ممکن است خواص آن با خواص اولیه عنصر پایه آن آلیاژ کاملا متفاوت باشد. در آلیاژها معمولا فلزی را که بیشترین مقدار یا بیشترین درصد وزنی را در آلیاژ دارد فلزپایه می نامند و مابقی عناصر را عناصر آلیاژی می گویند. مانند آلیاژ فولاد که چون آهن بیشترین مقدار را در آن دارد فلز پایه نامیده می شود و عنصر کربن عنصر آلیاژی محسوب می گردد.

آلیاژهاي آهني

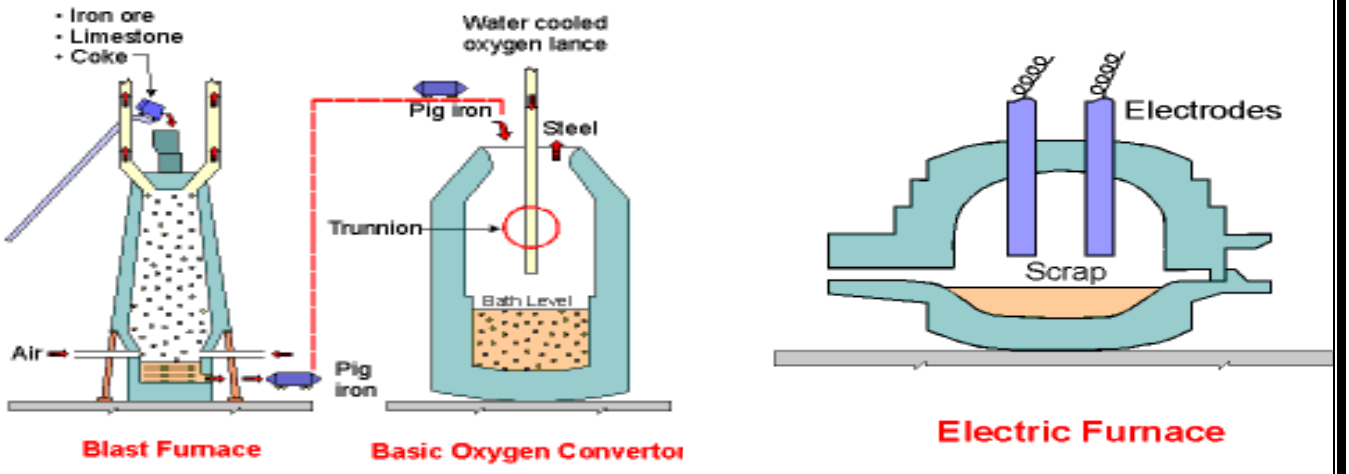
آلیاژهای آهن پرمصرف ترین آلیاژ در صنعت امروز دنیا است که تولید و مصرف آن در حال حاضر به حدود ۱۰۰۰ میلیون تن در سال رسیده است. در آلیاژهای آهنی فلزپایه آهن است که فلزی قدیمی است و در ۱۵۰۰ سال قبل از میلاد مسیح مصریان آنرا فلز بهشتی می نامیدند. این فلز نرم ، ضعیف وکم استحکام است که به صورت خالص جز کاربردهای آزمایشگاهی کاربرد دیگری ندارد. بهترین راه از بین بردن نقاط ضعف آهن خالص , آلیاژسازی آن است.

آلیاژهای مشتق از فلز آهن دارای تنوع بسیاری است اما دو آلیاژ بسیار مهم به نامهای فولاد و چدن در بین این آلیاژها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. اهمیت ، کاربرد و مصرف انواع فولادها و چدنها به عنوان آلیاژهای پرمصرف ، به شکلی است که امروزه در تمام جنبه های زندگی بشر وارد شده و در بسیاری از موارد همچون ساختمان سازی ، قطعات کارگاهی ، لوازم منزل ، وسایل حمل و نقل و ... کاربرد دارد. به طور کلی فولادها آلیاژهای دوگانه آهن – کربن و چدنها آلیاژهای سه گانه آهن – کربن – سیلیسیم می باشند.

برخلاف اکثریت فلزات آهن خالص جز دسته فلزاتی است که با افزایش دما ساختار کریستالی آن تغییر می کند.

روشهای تولید چدن و فولاد : ۱ – کوره بلند و کنورتور (**BF/ BOF**)

۲ – احیای مستقیم (**DR / EAF**)



تولید محصولات فولادي

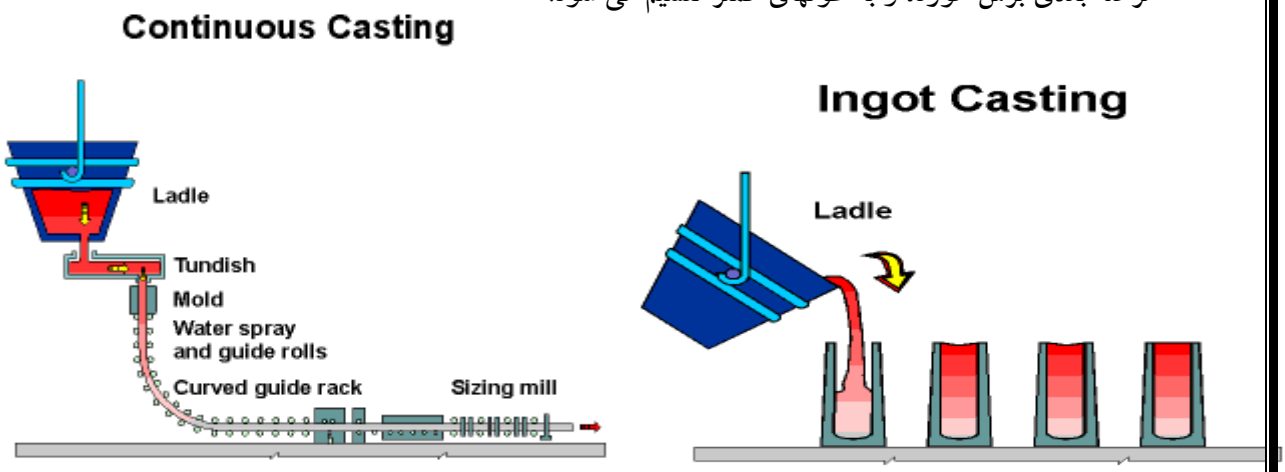
قسمت اعظم فولادهای موجود در صنعت به صورت محصولات نیمه تمامی همچون میلگرد ، ورق ، تیرآهن ، قوطی تولید می شود (شمش ریزی) که پس از تولید با انجام عملیاتهای تکمیلی به محصول قابل استفاده تبدیل می شوند و تنها قسمت جزیی از قطعات فولادی از طریق ریخته گری به طور مستقیم (قطعه ریزی) به محصول قابل استفاده تبدیل می شوند. فرآیند تولید محصولات نیمه تمام معمولا براساس دو روش انجام می گیرد :

الف) ریخته گري منقطع یا مجزا

ریخته گری فولادها در قالبهای مجزا و عمودی روش مرسوم تهیه شمشهای فولاد برای کارگرم است. بیشتر فولادها به این روش ریخته می شوند چون روش خیلی ساده ای است. در این روش پس از آماده سازی فولاد مذاب ، پاتیل حاوی مواد مذاب به بالای قالبهای عمودی آمده و مذاب را داخل قالبها تخلیه می کند. با انجماد مواد مذاب درون قالب ، قالبها باز شده و شمش ها از درون قالب بیرون می آید ، شمش داغ برای پیش گرم جهت نورد گرم وارد کوره پیش گرم می شود تا به ورق یا تیرآهن تبدیل شود.

ب) ریخته گري مداوم

برخلاف روش اول در این روش مواد مذاب داخل قالبهای طولانی که نسبت به زمین در ارتفاع قرار دارند ریخته می شود و در تماس با بدنه سرد قالب (به علت آبگرد بودن بدنه قالب) به صورت سطحی منجمد می شود. شمشهای فولادی منجمد شده با غلطکهایی به بیرون از قالب کشیده می شود و محصول ، تختال فولادی پیوسته ای است که در مرحله بعدی برش خورده و به طولهای کمتر تقسیم می شود.



شمش ریزی پیوسته　　شمش ریزی منقطع

برای تبدیل شمش تولید شده به قطعات مفید و قابل استفاده مانند ریل آهن ، تیر آهن ، میل گرد و .... از دو روش نورد سرد و نورد گرم استفاده می شود. اگر ارائه یک تعریف برای عملیات نورد مدنظر باشد به زبان ساده می توان گفت عبور شمش از بین دو غلطک و کاهش سطح مقطع شمش یا شکل گیری شمش بر اساس شکل غلطک(شکل ۱ – ۳). در عملیات نورد سرد ، شمش با دمایی کمتر از ۱/۳ دمای ذوب فلز نورد می شود در حالیکه در عملیات نورد گرم شمش تا دمایی حدود $1370\ ^{o}C$ گرم می شود وسپس نورد می گردد. در عملیات نورد گرم احتمال دارد که چند حالت زیر رخ دهد :

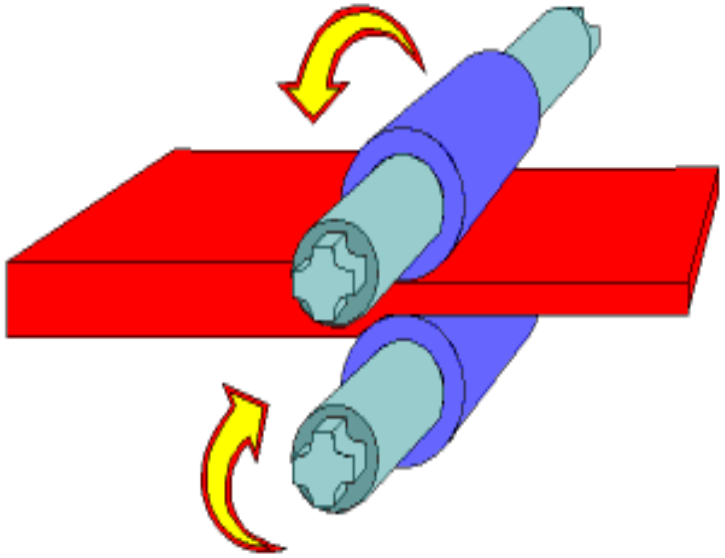
۱ – تولید ورق : شمش به کمک نورد به تختال مسطح تبدیل شده و سپس با نورد بیشتر به ورق یا صفحه تبدیل می شود.

۲ – تولید ریل و مقاطع ساختمانی : شمش به کمک نورد به مقطع مستطیل شکل که شمشه نام دارد ، تبدیل می شود و سپس با نورد بیشتر به ریل یا مقاطع ساختمانی تبدیل می شود.

۳ – تولید میل گرد ، میله و لوله های بدون درز : شمش با نورد به شمشال با مقطع مستطیل شکل تبدیل شده و با نورد بیشتر به انواع میله ، میلگرد و لوله تبدیل می گردد.

در پایان شکل گیری قطعه به کمک عملیات نورد گرم چند مرحله نورد سرد نیز انجام می شود. این امر برای نهایی کردن ابعاد و سطح قطعه و همچنین افزایش استحکام در سطح قطعه می باشد. لذا می توان هدف اصلی نورد سرد را

افزایش استحکام محصولات نورد شده به کمک کارسرد عنوان کرد. عیب مهمی که در حین نورد به وجود می آید و برروی خواص جوشکاری تاثیر مستقیم دارد لایه ای شدن یا (**Lamination**) می باشد. این عیب در اثر حضور ناخالصی های زورذوبی همچون **FeS** و **MnS** که در ابتدا کروی بوده و در طی نورد به شکل لایه ای در می آیند به وجود می آید. برای جلوگیری از پارگی قطعات جوشکاری شده در اثر حضور این ناخالصی ها تست مواد اولیه جوش الزامی است.



انواع فولادها

آلیاژهای آهنی تولید شده با روشهای مختلف بر اساس مقدار کربن موجود در آنها به دو گروه اصلی تقسیم می شوند چراکه درصد کربن به علت تاثیر مستقیم بر خواص مکانیکی و فیزیکی بهترین فاکتور برای تقسیم بندی است :

۱ – فولاد با ۱/۷ – ۰/۰۲۵ ٪ کربن ۲ – چدن با درصد کربن بیش از ۱/۷ ٪

در حال حاضر همزمان با پیشرفت صنعت و توسعه روشهای تولید ، انواع بسیار زیادی از فولادها تولید می شود. فولاد به دلیل خواص مناسبی همچون استحکام خیلی خوب ، مقاومت به ضربه خوب ، تولید ارزان و راحت پرکاربردترین آلیاژ موجود در صنعت می باشد که این خواص مناسب به افزایش کربن به آهن به عنوان عنصر اصلی آلیاژی و بهبود خواص آهن برمی گردد. به گونه ای که استحکام آن را ۱۰ تا برابر افزایش می دهد. اما به خاطر داشته باشید که میزان افزایش کربن به آهن دارای محدودیت است چرا که در بالاترین مقدار آهن تنها ۶/۶۷ ٪ کربن را می تواند در خود بپذیرد. اکثریت فولادها قابلیت بسیار خوبی برای جوشکاری دارند و در اکثر روشهای جوشکاری می توان از آنها استفاده کرد به نحوی که با انتخاب الکترود مناسب و روش صحیح می توان آنها را به راحتی جوش داد. به علت تاثیر قابل توجه افزایش کربن در خواص فولاد مهمترین تقسیم بندی فولادها بر اساس میزان کربن انجام شده است. افزایش کربن در فولاد خواصی را بوجود می آورد که نمونه هایی از آن در زیر آورده شده است.

۱ – نقطه ذوب فولاد را کاهش می دهد. ۲ – افزایش سختی ، شکنندگی و تردی فولاد

۳ – افزایش مقاومت در برابر خوردگی ۴ – مشکل تر کردن جوشکاری و تراشکاری فولاد

۵ – اعمال حرارت بر فولاد راحتتر می شود. ۶– افزایش قیمت فولاد

فولاد کم کربن یا فولاد ساختماني

این فولاد با۰۲۵/۰– ٪ کربن کمترین مقدار کربن را در بین انواع فولادها دارد لذا آلیاژی نرم ، انعطاف پذیر و در عین حال با استحکام مناسب می باشد که کاربرد فراوانی در صنایع مختلف دارد مانند : مقاطع ساختمانی ، قطعات صنعتی ، مغزی اکثر الکترودها و ... به لحاظ درصد کم کربن ، جوشکاری این دسته از فولادها آسان بوده و تقریبا با تمام روشهای جوشکاری می توان آنها را بدون رعایت موارد احتیاطی جوش داد. در مقابل به علت درصد کربن کم نمی توان عملیات حرارتی سخت کردن را برروی آنها انجام داد.

فولاد کربن متوسط

فولادهایی که در این دسته قرار می گیرند معمولا حدود ۰/۵۵ – ۰/۲۵ ٪ کربن دارند و خواص مکانیکی آنها بهتر از فولادهای ساختمانی می باشد. با توجه به درصد کربن موجود در این فولادها در فرآیند جوشکاری آنها باید تمهیدات و پیش نیازهایی را در نظر گرفت. عدم رعایت اصول اولیه برای جوشکاری این فولادها با ایجاد ترکهای ریز در ناحیه جوش خورده همراه خواهد بود.

فولاد پرکربن

کربن موجود در این فولادها در حدود ۱/۷ – ۰/۵۵ ٪ می باشد و به لحاظ درصد کربن نسبتا بالا ، فولادهایی سخت و با استحکام هستند و معمولا در مواردی همچون ابزار سازی ، قالب سازی ، ساخت فولادهای آبدیده کاربرد دارند. جوشکاری این فولادها به لحاظ حضور درصد کربن بالا ، سخت می باشد و باید با روشهای مخصوص ، الکترودهای مخصوص و فراهم آوردن مقدماتی مبادرت به جوشکاری آنها نمود. جوش حاصل از جوشکاری این فولادها دارای خواصی مانند سختی و شکنندگی می باشد. این دسته از فولادها را با نام فولادهای ابزار نیز می شناسند و در ساخت قطعاتی مانند سوهان ، اره ، حدیده ، قلاویز و.... بکار می روند.

فولاد آلیاژي

این دسته از فولادها که بر اساس درصد عناصر آلیاژی موجود در فولاد به دو دسته کم آلیاژ (مقدار مجموع عناصر آلیاژی کمتر از ۵٪) و پرآلیاژ (مقدار مجموع عناصر آلیاژی بیشتر از ۵٪) تقسیم می شوند از طریق افزایش یکسری عناصر مانند کرم ، نیکل ، تنگستن ، کبالت ، وانادیوم , مولیبدن و منگنز به فولاد تهیه می گردند. هدف اصلی این افزایش بهبود خواص فولادهای معمولی یا فولادهای کربنی و تامین نیازهای صنعتی می باشد. به عنوان نمونه افزایش کرم به تنهایی و یا افزایش کرم و نیکل به طور همزمان به فولاد باعث افزایش مقاومت به خوردگی و زنگ زدگی فولاد می شود و یا افزایش تنگستن به فولاد مقاومت به سایش را در آن بالا می برد.از آنجاییکه خواص فولادهای آلیاژی بر اساس نوع و مقدار عنصر آلیاژی تغییر می کند فرآیند و تکنیک جوشکاری هر یک با دیگری متفاوت است. به عنوان مثال از بین فولاد زنگ نزن ، فولاد فنر ، فولاد SPK و فولاد ضد سایش که جز فولادهای

آلیاژی هستند جوشکاری فولاد زنگ نزن (استیل) با روش قوس دستی و به وسیله الکترود زنگ نزن (استیل) , روش **TIG** و روش **MIG** بیشترین عمومیت را دارد. در خانواده فولادهای زنگ نزن آلیاژ دارای ۱۸٪ کروم و ۸٪ نیکل به فولاد زنگ نزن نگیر و آلیاژ دارای ۱۸٪ کروم به فولاد زنگ نزن بگیر معروف هستند.

چند نکته در مورد جوشکاري فولاد آلیاژي

1– فاصله درز اتصال در جوشکاری فولاد آلیاژی کمتر از فاصله درزاتصال در فولاد ساده کربنی در حالت مشابه است.

۲ – قبل از جوشکاری و بسته به ترکیب شیمیایی ، قطعات فولاد آلیاژی باید تا حدود $200 - 300^{o}C$ پیش گرم شوند. (دمای پیش گرمایش–حین جوشکاری و پس از جوشکاری صرفا بر اساس استانداردها و متناسب با جنس آلیاژ تعیین شود)

۳ – انتخاب درست الکترود که از نظر نوع پوشش و اندازه آن باید با جنس و ضخامت فولاد مورد جوشکاری متناسب باشد.

۴ – شدت جریان جوشکاری برای فولاد آلیاژی کمتر از فولاد ساده کربنی در حالت مشابه است.

۵ – در جوشکاری فولادهای آلیاژی سرعت حرکت دست در پاس نفوذی کمتر از فولادهای ساده کربنی بوده و سعی می شود تا شکل گرده محدب باشد.

تاثیر عناصر آلیاژي بر خواص فولاد

۱ – منگنز : وجود منگنز در فولاد باعث افزایش سختی توام با افزایش استحکام و نرمی می شود به طوریکه می توان فولاد را تراش داد. افزایش نیکل یا کرم و یا هر دوی آنها نیز چنین خاصیتی دارد.

۲ – نیکل : اضافه کردن نیکل بدون تاثیر بر چکش خواری فولاد استحکام آنرا افزایش داده و با افزایش ۳۵ – ۲۵ ٪ کروم به فولاد ، مقاومت به خوردگی به طور چشم گیری افزایش می یابد.

۳ – وانادیوم : این عنصر فولاد را برای آب دادن و سخت کردن سطحی آماده می کند.

۴ – تنگستن : این عنصر مقاومت به سایش فولاد را بسیار افزایش داده و لذا برای ساخت ابزار و مته از آن استفاده می شود.

۵ _کبالت : مقاومت حرارتی فولاد را افزایش و در مواردی که در اثر سایش حرارت تولید می شود در فولاد کاربرد دارد.

۶ _ مس : مقاومت به خوردگی فولاد را در اتمسفر افزایش داده و هیچگونه تاثیری بر خواص جوشکاری ذوبی فولاد ندارد.

۷ _ سرب : به طور قابل ملاحظه ای قابلیت ماشین کاری فولاد را افزایش می دهد.

۸ – سیلیسیم : مقدار این عنصر در فولاد حدود ۳۰ – ۰/۰۵ درصد است که تاثیر کمی بر ساختمان و خواص مکانیکی فولاد دارد و بیشتر نقش اکسیژن زدا را بازی می کند.

۹ – مولیبدن : این عنصر همزمان با افزایش سختی پذیری فولاد ، مقاومت حرارتی آنرا نیز بالا می برد.

۱۰ – آلومینیوم : در کنار عمل اکسیژن زدایی این عنصر در فولاد ، ریز دانگی آستنیتی و افزایش خاصیت نیتروره کردن نیز از تاثیرات آلومینیوم است.

نامگذاري فولادهاي ساده كربني

فولادهای ساده کربنی بسته به نوع و کاربرد آنها ، در چند سیستم مختلف نام گذاری می شوند. بنابراین یک نام گذاری واحد که در تمام فولادهای ساده کربنی به کار رود وجود ندارد. سه سیستم **AISI** و **ASTM** و **DIN**سیستمهایی هستند که بیشتر بکار می روند.. به لحاظ کاربردی بودن دو سیستم **DIN** (استاندارد آلمان) و **AISI** (استاندارد آمریکا) در این مبحث به این دو استاندارد اشاره می شود.

نام گذاري فولاد ساده كربني در سيستم AISI

این سیستم در مورد نامگذاری میلگردهای نورد سرد و گرم ، سیم ها ، میله ها ، و لوله های بدون درز و محصولات نیمه تمام آهنگری به کار می رود. این سیستم برای شناسائی فولادهای مختلف از درصد کربن موجود در فولاد کمک میگیرد به این صورت که برای نام گذاری از چهار عدد استفاده می شود که اگر دو عدد اول ۱۰ باشد مشخص کننده فولاد ساده کربنی است. هر یک از اعداد ۲۰ و ۳۰ و .... به یک نوع فولاد آلیاژی خاص اشاره دارد که شرح کامل آن در جدول صفحه بعد آمده است. دو رقم بعدی مشخص کننده درصد کربن می باشد که با تقسیم بر عدد ۱۰۰ درصد واقعی کربن را نشان می دهد. به عنوان مثال فولاد ۱۰۲۰ فولاد ساده کربنی با ۰/۲ ٪ کربن می باشد. نکته قابل توجه در این سیستم نام گذاری این است که اگر درصد عناصر آلیاژی در فولاد کمتر از یک درصد باشد مقدار آن را صفر در نظر می گیرند. در کنار اعداد ذکر شده ممکن است حروفی نیز بکار رود که تعدادی از آنها به شرح زیر است :

A : فولاد آلیاژی زیمنس – مارتین
B : فولادی اسیدی بسمر
C : فولاد بازی زیمنس – مارتین
D : فولاد اسیدی زیمنس
E : فولاد کربن دار یا فولاد آلیاژی کوره بلند

نام گذاري فولاد ساده كربني در سيستم DIN

در این سیستم از یک نام چند قسمتی برای نام گذاری فولادهای کربنی ، کم آلیاژی و آلیاژی استفاده شده و برای هر گروه هم علامت خاصی در نظر گرفته می شود. برای نام گذاری فولادهای کربنی , علایمی به شرح زیر کاربرد دارد :

St : فولاد نورد شده
CM : فولادهای با قابلیت ماشین کاری یا خوش تراش
GS : فولادهای ریخته شده
CF : فولادهای دارای قابلیت عملیات حرارتی کلی
CQ : فولادهای کم کربن با قابلیت کوئینچ و تمپر
CK : فولادهای پرکربن با فسفر و گوگرد بسیار کم

اعدادی که بعد از این حروف قرار می گیرند با ضریب ۱۰۰۰ استحکام کششی فولاد را بر اساس واحد **psi** نشان می دهد.

مثال : **St37** فولاد کربنی نورد شده ای با **psi** ۳۷۰۰۰ استحکام کششی

انواع چدن

به لحاظ بسیاری از خواص مناسب و قابل توجه ، چدن پس از فولاد مهم ترین آلیاژ صنعتی می باشد. چدنها آلیاژهایی دارای ۴/۵ – ۱/۷ ٪ کربن و مقدار ۳ – ۰/۵ ٪ سیلیسیم هستند که برای کنترل برخی از خواص حدود ۱/۳ – ۰/۲ ٪ منگنز در آنها مشاهده می شود. خواص مناسبی مانند مقاومت به ضربه ، استحکام مناسب ، چقرمگی خوب ، لرزه پذیری عالی ، هزینه کم تولید و انعطاف پذیری مناسب در تولید قطعات بزرگ و کوچک ، باعث شده تا چدنها به طور وسیعی مورد توجه قرار گیرند. همچون فولادها ، چدنها نیز تقسیم بندی می شوند اما این تقسیم بندی بیشتر بر اساس شکل کربن و نوع زمینه چدن صورت می گیرد.

چدن سفید

از آنجائیکه سطح مقطع شکست این چدن سفید رنگ است به آن چدن سفید می گویند و کربن موجود در آن به صورت ترکیب با آن یا کربن ترکیبی (سمانتیت) می باشد. از خواص این نوع چدن می توان به مقاومت به سایش خوب ، سختی مناسب و استحکام قابل قبول اشاره کرد. اما در مقابل این خواص خوب این دسته از چدنها هیچگاه جوشکاری نمی شوند. یکی از دلایل مهم عدم جوشکاری چدن سفید انقباض زیاد در حین انجماد است که احتمال وقوع عیوب زیادی همچون ترک را در جوش افزایش می دهد. درصد سیلیسیم در چدن سفید کمتر از ۱٪ است. لذا کربن توانایی آزاد شدن و ایجاد گرافیت آزاد را نداشته و به صورت ترکیبی در می آید.

چدن خاکستري

برخلاف چدن سفید در چدن خاکستری کربن به شکل آزاد و یا گرافیت رشته ای وجود دارد. نام گذاری این نوع چدن نیز همانند چدن سفید بر اساس رنگ سطح مقطع شکست می باشد چرا که رنگ سطح مقطع آن به رنگ خاکستری تیره است. این چدن با توجه به سهولت و هزینه های کم تولید و بسیاری از خواص مناسب دیگر پرکاربردترین نوع چدن به حساب می آید. خواصی همچون استحکام خیلی خوب ، چقرمگی خوب ، مقاومت به ضربه عالی و قابلیت ماشیکاری خوب باعث شده تا این آلیاژ در بسیاری از کاربرد های مهندسی مورد توجه قرار گیرد. مانند دیگر چدنها ، ریخته گری رایج ترین روش تولید این نوع چدنها است. عامل اصلی تبدیل کربن از حالت ترکیبی به حالت آزاد یا گرافیت در چدن خاکستری سیلیسیم می باشد. به عبارت دیگرعناصری مانند سیلیسیم و آلومینیوم و .... عناصر گرافیت زا هستند. دقت داشته باشید که لایه ها و رشته های گرافیت در چدنها به عنوان نقطه ضعف محسوب می شوند لذا برای رسیدن به خواص مکانیکی مناسب باید مقدار گرافیت در حداقل مقدار خود اندازه آنها حتی الامکان کوچک و توزیع آنها

یکنواخت باشد. به لحاظ احتمال ترکیب کربن آزاد با آهن و تشکیل فازهای ترد و شکننده , جوشکاری این نوع چدنها همراه با یکسری موارد احتیاطی است که در فصل پانزدهم به آن اشاره شده است.

چدن نشکن یا داکتیل

همانند چدن خاکستری کربن در این نوع چدن به صورت آزاد ولی نه به شکل رشته ای بلکه به شکل کروی وجود دارد. در این نوع چدن علاوه بر سیلیسیم عنصر منیزیم باعث کروی کردن کربن می شود. همانطور که از نام این چدن پیداست این چدن علاوه بر دارا بودن خواص مناسب چدن خاکستری از مقاومت به ضربه بسیار عالی نیز برخوردار است. خواص این چدن با اندازه کره های گرافیت و نحوه توزیع آنها ارتباط مستقیم دارد. در میان انواع چدنها , چدن نشکن مناسب ترین چدن برای جوشکاری است.

چدن با گرافیت فشرده

با توجه به شکل گرافیت در این چدن ، خواص این آلیاژ مابین چدن خاکستری و چدن نشکن قرار دارد چرا که گرافیت در آن به شکل رشته ای فشرده یا متمرکز دیده می شود. به عبارت دیگر در این نوع چدن گرافیت مانند چدن خکستری در تمام زمینه توزیع نشده و در مناطق مختلف تجمع نموده است. از طرفی تمرکز گرافیت به نحوی نیست که به شکل کروی درآید. به احتمال زیاد این چدن به علت کمبود میزان منیزیم طی فرآیند تولید چدن نشکن به وجود آمده است.

چدن مالیبل یا چدن چکش خوار

به علت ضعف برخی از خواص چدن سفید به کمک یک فرآیند عملیات حرارتی چند مرحله ای و طولانی چدن سفید به چدن چکش خوار تبدیل می شود که در اصطلاح به این آلیاژ چدن مالیبل یا چدن قیچی می گویند. گرافیت در این چدن به صورت ذرات کروی برفکی شکل است. مهم ترین خاصیت این نوع چدن مقاومت به ضربه خوب آن به خصوص در مقایسه با چدن خاکستری است.

چدن آلیاژي

در توضیح فولادهای آلیاژی عنوان شد که هدف اصلی افزایش عناصر آلیاژی به فولادها بهبود خواص فولادهای معمولی و تامین نیازهای صنعتی است. به دلیل مشابه برخی عناصر آلیاژی مانند کروم ، نیکل ، کبالت و .... به چدنها افزوده می شود تا چدنهای آلیاژی با خواصی ویژه به دست آید. چدنهای آلیاژی می توانند با افزایش عناصر آلیاژی به هر یک از انواع چدنها به دست آید. مانند چدنهای نسوز و چدنهای نای هارد

خواص فلزات

برای شناخت و بکاگیری فلزات مختلف لازم است تا به خواص مختلف آنها از جنبه های گوناگونی پرداخت یا به عبارت دقیق تر ، بررسی خواص فلزات از جنبه های فیزیکی ، مکانیکی , شیمیایی و حتی جوشکاری لازم به نظر می رسد. در میان تمامی فلزات بررسی خواص فلزات و آلیاژهایی چون انواع فولادها ، انواع چدنها ، آلومینیوم و آلیاژهای

آن و مس آلیاژهای آن به خاطر کاربرد فراوان مهمتر می باشد. لذا در طی توضیح خواص فلزات به خواص این آلیاژها اشاره بیشتری خواهد شد. (به خصوص فولادها) با اطلاع از خواص فلزات و با استفاده از روشهای ساده می توان بسیاری از فلزات را از هم تمیز داد. کمک گرفتن از خواصی چون رنگ قطعه ، سبکی یا سنگینی قطعه ، رنگ سطح مقطع شکست ، صدای ضربه ، جذب شدن یا نشدن به آهنربا و .... در این راه به ما کمک می کند. به عنوان مثال فلز خالص مس را از رنگ قرمز آن و آلیاژ برنج را از رنگ زرد آن می توان شناخت یا چدن سفید را از رنگ سفید سطح مقطع شکست و چدن خاکستری را از رنگ تیره سطح مقطع شکست می توان تفکیک کرد. چدن و فولاد را هم به راحتی با استفاده از آزمون صدا می توان از هم جدا کرد.

خواص فیزیکی

در زمینه خواص فیزیکی فلزات به طور خلاصه به کمیتهایی همچون نقطه ذوب ، چگالی یا جرم حجمی ، قابلیت هدایت الکتریکی و حرارتی خواهیم پرداخت که شرح کامل آنها در جداول زیر آمده است.

قابلیت هدایت حرارتی و الکتریکی

نام فلز	هدایت الکتریکی مس = ۱۰۰	هدایت حرارتی مس = ۱۰۰
نقره	۱۰۶	۱۰۸
مس	۱۰۰	۱۰۰
طلا	۷۲	۷۶
آلومینیوم	۶۲	۵۶
فولاد	۱۳ – ۱۷	۱۳ – ۱۷
چدن	۱۶	۱۸

درجه حرارت ذوب و چگالی برخی فلزات

ردیف	نام فلز یا آلیاژ	جرم حجمی g / cm^3	درجه ذوب (^oc)
۱	آهن خام	۷/۲ – ۷/۵	۱۳۰۰
۲	فولاد ساختمانی	۷/۸	۱۴۰۰
۳	چدن خاکستری	۷/۳	۱۲۰۰ –۱۳۰۰
۴	چدن چکش خوار	۷/۳	۱۲۰۰ –۱۳۰۰
۵	فولاد ریخته گری	۷/۸۵	۱۶۰۰
۶	مس	۸/۹	۱۰۸۳
۷	سرب	۱۱/۴	۳۲۷
۸	روی	۷/۱۴	۴۱۹
۹	برنج	۸/۵	۹۸۰
۱۰	آلومینیوم	۲/۷	۶۶۰
۱۱	آلیاژهای آلومینیوم	۲/۶ – ۲/۸	۵۷۰
۱۲	آلیاژهای منیزیم	۱/۸	۶۵۵

www.iran-mavad.com

مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

Sayyed Reza Taghavi Shahri

آزمون شناخت فلزات

الف) تشخیص از راه رنگ آلیاژ

بسیاری از فلزات خالص و آلیاژها را می توان از طریق رنگ ظاهری و یا رنگ سطح مقطع شکست شناسایی کرد. به عنوان مثال رنگ ظاهری مس قرمز و رنگ ظاهری برنج زرد است. تعدادی از رنگهای سطح مقطع شکست در جدول ۱ – ۴ آمده است.

جدول ۱ – ۴ – رنگ سطح مقطع شکست برخی فلزات

ردیف	رنگ سطح مقطع شکست	فلز
۱	سفید نقره ای	چدن سفید
۲	خاکستری تیره	چدن خاکستری
۳	خاکستری تیره	چدن چکش خوار
۴	خاکستری براق	آهن نرم
۵	خاکستری براق	فولاد کم کربن
۶	خاکستری خیلی براق	فولاد پرکربن
۷	خاکستری براق	فولاد ریختگی

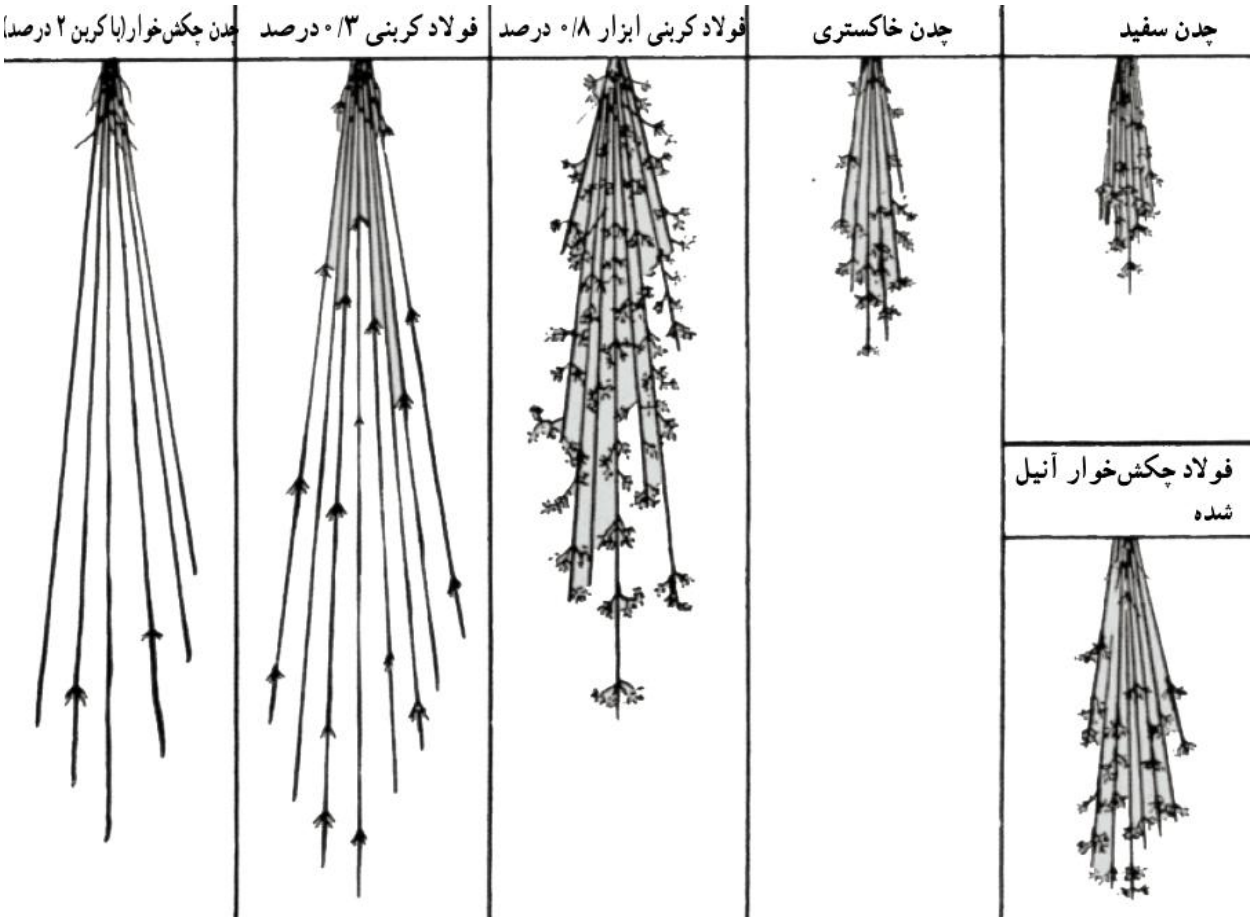
ب) آزمون صدا

دو قطعه هم اندازه از چدن خاکستری یا نشکن و فولاد کم کربن یا کربن متوسط را از یک ارتفاع یکسان رها کنید. از مقایسه صدای برخورد قطعات با زمین می توان جنس آنها را تشخیص داد. فولاد با صدای زیر و شکننده به زمین برخورد می کند اما چدن با صدای بم و خفه به زمین می خورد. قابل ذکر است که صدای برخورد چدن سفید به زمین هم مانند فولاد است. روش دیگری هم در مورد تشخیص فولاد و چدن وجود دارد و آن هم لمس سطح مقطع شکست است. چنانچه سطح مقطع شکست دانه دانه بود و انگشت را سیاه کرد آلیاژ چدن است و اگر سطح مقطع شکست صاف بود و انگشت را سیاه نکرد فولاد می باشد.

ج) آزمون جرقه

انجام این آزمون نیاز به تجربه و اطلاعات کافی دارد. به بیان ساده , این آزمون به کمک تماس قطعه کار با سنگ فرز و بررسی شکل جرقه آن انجام می شود. اگر این آزمون برروی فولاد کم کربن انجام شود جرقه های حاصل دارای دنباله های بلند و همراه با انشعاب است شکل ذرات جرقه , سوزنی شکل با انتهای ستاره ای می باشد. اگر در این آزمایش با انشعابات و پرشهای سوزنی شکل بیشتری برخورد کردید بدانید که درصد کربن کمی افزایش یافته و فولاد کربن متوسط را آزمون می کنید. جرقه های حاصل از سنگ زنی فولاد پرکربن سفید رنگ به همراه ذرات سوزنی فراوانی است. در آزمون جرقه بر روی فولادهای کم آلیاژ ، جرقه هایی شبیه جرقه های فولاد کم کربن با طول کمتر به دست می آید. چنانچه هدف از انجام آزمون جرقه مقایسه فولاد با چدن باشد ذرات فولاد به رنگ زرد روشن ، به شکل

ستاره و با طول ۷۰ – ۶۵ سانتی متر می باشد اما ذرات جرقه چدن مثلثی شکل ، نارنجی رنگ و به طول ۳۵ – ۳۰ سانتی متر می باشد.



خواص مکانیکي

در این بخش به خواصی پرداخته می شود که نقش مهمی در طراحی های صنعتی و انتخاب مواد برای یک کاربرد مشخص دارند. خواص مکانیکی فلزات خواصی هستند که فلزات در مقابل انواع نیروها از خود نشان می دهند و با فرآیندهایی مثل آلیاژسازی , عملیات حرارتی و کار سرد می توان مقدار آنها را تغییر داد. استحکام کششی ، استحکام فشاری ، سختی و ..... از جمله این خواص هستند.

الف) استحکام کششي

این کمیت در مقایسه فلزات با یکدیگر کاربرد وسیعی دارد و به زبان ساده عبارت است از مقاومت فلزات در مقابل نیروهای کششی یا به طور دقیق تر میزان نیروی کششی که یک فلز تا مرحله شکست تحمل می کند. در زمینه استحکام کششی ، فولادها دارای خواص مناسبی هستند. در میان فولادها نیز ، فولاد نرم یا فولاد ساختمانی به لحاظ درصد کم کربن دارای استحکام خیلی خوبی است. پس از فولادها ، چدن خاکستری ، آلیاژهای آلومینیوم و بعد از آنها مس و آلیاژهای آن دارای استحکام کششی مناسبی هستند. واحد اندازه گیری این کمیت **psi** یا **Mpa** می باشد.

ب) استحکام فشاري

این کمیت که بیشتر در مورد غیرفلزاتی همچون سرامیکها کاربرد دارد عبارت است از تحمل مواد در مقابل نیروهای فشاری که تا حد از هم پاشیدگی ماده ادامه خواهد داشت. مواد و فازهای سخت و شکننده معمولا دارای استحکام فشاری مناسبی هستند مانند چدن سفید .

ج) سختي

این کمیت یکی از کاربردی ترین خواص مکانیکی است که در شناخت و آزمایش فلزات کاربرد فراوان دارد. سختی عبارت است از مقاومت یک فلز در مقابل ورود و نفوذ یک جسم خارجی مانند سمبه ، مته و سوزن خط کشی. سختی را که با واحدهایی همچون ویکرز ، برینل و راکول اندازه گیری می کنند رابطه مستقیمی با مقاومت به سایش دارد. به عبارت دیگر هر فلز یا آلیاژ و یا فازی که مقاومت به سایش خوبی داشته باشد سختی آن نیز بالاست. فولادهای آبدیده (کربن متوسط و پرکربن) انواع فولادهای آلیاژی تنگستن دار (ضد سایش) و چدن سفید از این دسته هستند.

د) مقاومت به سایش

به زبان ساده مقاومت به سایش مقاومت فلز در مقابل براده برداری است. همان طور که در قسمت سختی گفته شد مقاومت به سایش رابطه مستقیمی با سختی دارد و می توان این گونه بیان کرد که هر فلز یا آلیاژی که سختی بالایی داشته باشد مقاومت به سایش خوبی نیز دارد.

ه) مقاومت به ضربه

مقاومت هر ماده در مقابل اعمال نیروهای ناگهانی را مقاومت به ضربه گویند که مقدار آن رابطه مستقیمی با میزان استحکام کششی و استحکام تسلیم یا ناحیه زیر منحنی تنش و کرنش دارد. لذا اکثریت فلزهایی که دارای استحکام

بالایی هستند از مقاومت به ضربه خوبی نیز برخوردار هستند. اما در مقابل ، فلزات و آلیاژها و فازهای سخت دارای مقاومت به ضربه کمی می باشند.

و) مقاومت به خوردگي

اصطلاح خوردگی را که عامه مردم به عنوان زنگ زدگی می شناسند می توان مخرب ترین عامل در از بین بردن تجهیزات فلزی دانست. این خاصیت فلزات جز خواص مکانیکی محسوب نمی شود اما به لحاظ توجه فراوانی که به آن می شود در این قسمت به آن اشاره شده است. با توجه اهمیت بسیار زیاد خوردگی ساخت فلزات و آلیاژهایی که مقاومت در برابر خوردگی یا زنگ زدگی داشته باشند بسیار مفید و الزامی است. فلزات بسته به میزان مقاومت به خوردگی ، نسبت به یکی از محیطهای خورنده حساس هستند. محیطهای خورنده ای مانند هوای مرطوب ، آب ، آب نمک ، انواع اسیدها و .... می توانند به سرعت بر روی فلز اثر خورندگی ایجاد کنند. فولادهای کربنی یا فولادهای معمولی به راحتی در هوای مرطوب ، آب و دیگر محیطهای خورنده زنگ می زنند. برای از بین بردن این نقیصه با افزایش عناصر آلیاژی مانند کروم و نیکل آلیاژهای مقاوم به خوردگی تولید می شود که به نام فولادهای زنگ نزن یا **Stainless Steel** شناخته می شوند.

قابلیت جوشکاري

قابلیت جوشکاری خاصیتی از خواص قطعات فلزی است که به جنس فلز و روش انجام عملیات جوشکاری بستگی دارد. مواد مختلف براساس قابلیت جوشکاری به سه دسته قابلیت خوب ، قابلیت مشروط و نامناسب تقسیم می شوند که البته به کمک انتخاب طراحی مناسب می توان این قابلیت را افزایش داد. عوامل مختلفی بر قابلیت جوشکاری موثر هستند که از آن جمله به موارد زیر می توان اشاره کرد.

۱ – خواص فیزیکی مثل رفتار انبساطی ، نقطه ذوب ، قابلیت هدایت حرارتی و ....

۲ – خواص متالورژیکی مانند وجود ناخالصی ها در فلز پایه ، اندازه دانه فلز پایه ، نوع شبکه کریستالی و .....

۳ – ترکیب شیمیایی فلز پایه از نظر میل به ترک گرم ، رفتار حوضچه مذاب ، سختی پذیری و .....

از آنجایی که فولاد پرکاربردترین آلیاژ در عملیات جوشکاری است بررسی قابلیت جوش انواع فولادها بسیار مهم می باشد. خاصیت جوش پذیری بیشتر به واسطه نحوه ایجاد اتصال و طراحی جوش تحت تاثیر قرار می گیرد. تناسب قابلیت جوشکاری با افزایش یا کاهش عناصر آلیاژی و میزان ناخالصی به خصوص در فولاد یک امر قطعی است. در زمینه جوشکاری فولادهای غیرآلیاژی یک قانون کلی حاکم است. بر اساس این قانون هر چه درصد کربن فولاد کمتر باشد جوشکاری آن راحت تر است و به طبع با افزایش درصد کربن جوشکاری آن مشکل تر می شود. بنابراین در جوشکاری فولادها و چدنها تعیین کننده اصلی درصد کربن است.

به علت بالا بودن درصد کربن در فولادهای پرکربن یا چدنها جوشکاری آنها با یک سری عملیاتهای جانبی همراه بوده و جوشکاری آنها باید با روشهای مخصوص و الکترودهای ویژه انجام شود. چراکه قابلیت جوش در جوشکاری

ذوبی و فشاری متناسب با درجه حرارت ورودی به محل جوش تغییر می کند. به عنوان مثال برای جوشکاری چدنهای خاکستری یا چدنهای نشکن نیاز به یک عملیات پیشگرم (حرارت دادن قبل از جوشکاری) و یک عملیات پس گرم کردن (حرارت دادن بعد از جوشکاری) می باشد این در حالی است که فولاد کم کربن بدون هیچ گونه عملیات خاص و با اکثر روشها , جوشکاری می شود. در کنار نقش تعیین کننده درصد کربن برای جوشکاری فولاد و چدن عناصر آلیاژی به خصوص در فولادهای آلیاژی نیز نقش مهمی در قابلیت جوشکاری دارند. به منظور بررسی قابلیت جوش پذیری فولادها سه حالت وجود دارد :

الف) بررسی جوش پذیری فولادهای غیرآلیاژی : در صورتی که درصد کربن این فولادها $C \leq ۰/۲۲$ ٪ باشد قابلیت جوش مناسب است اما اگر درصد کربن بین ۰/۴ – ۰/۲۲ ٪ باشد جوشکاری مشروط انجام می شود.

ب) ارزشیابی جوش پذیری فولادهای کم آلیاژ : چنانچه درصد کربن معادل $C_{eq} \leq$ ٪ ۰/۴ باشد جوش پذیری این فولادها قابل ارزیابی است اما اگر $C_{eq} >$ ٪ ۰/۴ باشد یا باید قطعه را پیش گرم کرد و یا مقدار انرژی حرارتی را افزایش داد.

$$C_{eq} = \%C + (\% Mn / 6) + (\% Cr + \% Mo + \% V / 5) + (\% Ni + \% Cu + \% Si / 15)$$

ج) بررسی جوش پذیری فولادهای پرآلیاژ: جوش پذیری این فولاد براساس میزان کروم و نیکل معادل بررسی می گردد.

عملیات حرارتي

عملیات حرارتی به فرآیند حرارتی گفته می شود که قطعات برای رسیدن به اهدافی مانند افزایش استحکام , تغییر فاز , افزایش سختی سطحی , تنش زدایی و یا یکسان سازی خواص در تمام نقاط قطعه در حالت جامد با یک سرعت مشخص حرارت دیده و سپس با یک سرعت معین سرد می شوند.. دمای عملیات حرارتی روی آلیاژها و فلزات و به خصوص فولاد بسته به نوع و هدف عملیات و ترکیب شیمیایی متغییر است ولی به طور حتم در زیر دمای ذوب آلیاژ می باشد. عملیات های حرارتی که در قطعات جوشکاری شده کاربرد دارد معمولا از نوع پیش گرم و پس گرم یا تنش زدایی می باشد که ممکن است درباره تمام آلیاژهای آهنی و غیرآهنی بسته به ترکیب شیمیایی بکار رود. عملیات پیش گرم با هدف جلوگیری از تشکیل فازهای ترد و شکننده و یا برهم خوردن ترکیب شیمیایی در محل جوش انجام می شود. عملیات تنش زدایی نیز جهت کاهش تنشهای انقباضی ناشی از انجماد سریع و سرد و گرم شدن قطعه مورد جوشکاری اجرا می شود. برای اجرای عملیات تنش زدایی , قطعه تا زیر دمای بحرانی حرارت دیده , مدتی در این حرارت نگه داشته می شود و سپس به آرامی سرد می گردد. جدا از این دو نوع عملیات حرارتی که بیشتر بر روی قطعات جوشکاری شده انجام می شود عملیات های مختلف حرارتی دیگری نیز وجود دارد که دو نمونه آن در زیر آورده شده است. این دو نوع عملیات حرارتی بیشتر بر روی فولادها کاربرد دارد.

۱ – عملیات حرارتی آبدهی یا سخت کردن سطحی که در آن قطعه فولادی تا دمای سرخ شدن یا منطقه آستنیته حرارت داده می شود و بلافاصله در آب یا روغن فرورفته و سریع سرد می شود. با این کار سطح قطعه سخت و ضدسایش می شود. این امر در اثر بوجود آمدن فاز ناپایدار ماتنزیت و یا بینیت می باشد.

۲ – عملیات حرارتی نرماله کردن : در حین فرآیند تولید بسته به عملیاتهای مختلفی که برروی قطعه انجام می شود امکان دارد خواص درونی قطعه درتمام نقاط آن یکسان نباشد لذا با استفاده از این عملیات حرارتی خواص درونی را در تمام قطعه یکسان یا همگن می کنند. در این روش قطعه درکوره تا منطقه آستنیته حرارت می بیند و سپس بسیار آهسته سرد می شود.(در اکثر موارد درون کوره سرد می شود.)

معرفي چند آلیاژ مهم

۱ – فولاد و چدن که به تفسیر به معرفی آنها پرداخته شد. اما این نکته قابل ذکر است که صنعت فولاد سازی در هر کشور یکی از صنایع مادر محسوب می شود و یکی از معیارهای رشد صنعتی در یک کشور کمیت و کیفیت تولید این آلیاژ می باشد.

۲ – برنج : این آلیاژ ترکیبی از مس (حداقل ۵۰٪) و روی با ترکیبهای مختلف است که بسته به مقدار مس ، رنگ آن از برنج قرمز تا برنج زرد متغییر است. این آلیاژ نرم و شکل پذیر است و هرچه درصد مس بیشتر باشد قابلیت تغییر فرم نیز بدون براده برداری افزایش می یابد. برنج مقاومت خوبی در برابر خوردگی دارد لذا در کاربردهای زیر قابل مصرف است : شیر آلات ، سرپیچ لامپها ، رادیاتور ماشین

۳ – برنز : از ترکیب مس با ۵ عنصر آلیاژی انواع برنز به وجود می آید مانند (مس + قلع = برنز قلع) ، (مس + فسفر = برنز فسفر) ، (مس + آلومینیوم = برنز آلومینیوم) ، (مس + نیکل = برنز نیکل) و (مس + برلیم = برنز برلیم). این آلیاژها مقاومت خوردگی خوب ، استحکام کششی مناسب و مقاومت به سایش عالی دارند. لذا از آنها در ساخت پوسته یاتاقانها ، انواع نوارها ، مفتول و ..... استفاده می شود.

۴– لحیم : مهمترین آلیاژ قلع آلیاژ لحیم است که دارای ۹۰ – ۱۲ درصد قلع بوده و علاوه بر سرب فلزات دیگری مانند آنتیموان ، بیسموت ، کادمیم ، مس و نقره نیز به آن اضافه می کنند. این آلیاژ دارای دمای ذوب پائینی است و در لحیم کاری کاربرد دارد و لذا به آن آلیاژ لحیم گفته می شود.

۵ – سرب خشک : این آلیاژ ترکیبی از روی و آلومینیوم است که به علت ترد و شکننده بودن و نزدیکی خواص آن به سرب به آن سرب خشک اطلاق می شود. به دلیل قابلیت ریخته گری خوب این آلیاژ در قالبهای تحت فشار می توان از آن در تهیه وسایل زینتی ، دستگیره ها و حروف چاپی استفاده کرد.

معرفي فرآيندهاي جوشكاري

1- جوشكاري قوس الكتريكي – الكترود دستي (Manual Melting Arc Welding: MMA) (SMAW: Shielded Metal Arc Welding)

این روش اولین بار در سال ۱۸۸۱ میلادی و با استفاده از الکترودهای کربنی و پس از آن در سال ۱۸۸۵ میلادی با الکترود فولادی انجام گرفت. در هر دو حالت قوس الکتریکی بین الکترود کربنی یا فولادی و قطعه کار ایجاد می شد. به علت ناپایداری قوس الکتریکی و عدم کیفیت نهائی جوش حاصل از این روش ، مواد و ایده های جدیدی این روش را تکمیل کرد. به طوریکه الکترودهای پوشش دار با ترکیب پوشش و مغزی متفاوت جایگزین الکترودهای اولیه شد. وجود پوشش روی الکترود به کیفیت نهایی جوش و حفاظت از منطقه جوش در برابر عناصر مضر کمک می کرد. به طور کلی اصول اولیه این روش عبور جریان الکتریسیته از دو فلز هادی توسط یک دستگاه مولد یا مبدل برق است. هرگاه دو فلز هادی (الکترود و قطعه کار) در یک فاصله معین نسبت به یکدیگر نگه داشته شوند با عبور جریان برق ، قوس الکتریکی برقرار می شود که دارای انرژی و حرارت بسیار بالایی است. این انرژی و حرارت الکترود و قطعه کار را ذوب کرده و باعث اتصال دو قطعه می شود. روش جوشکاری قوس الکتریکی – الکترود دستی به علت مزایایی همچون سادگی انجام ، ارزانی ، قابلیت انعطاف پذیری در زمان استفاده کاربردهای فراوانی در صنعت دارد و به عنوان عمومی ترین روش جوشکاری شناخته می شود. اما در مقابل این مزایا دارای محدودیتهایی نیز می باشد که در زمان کاربرد باید مدنظر قرار گیرد :

۱ –کیفیت پایین جوش در مقایسه با دیگر روشها

۲ – نرخ رسوب پایین و در نتیجه راندمان کم جوشکاری

۳ – وابستگی شدید به مهارت جوشکار

۴ – وجود سرباره بر روی جوش نهایی چراکه این سرباره خاصیت جذب رطوبت را دارد.

۵– زمان بر بودن فرآیند

2 - روش جوشكاري زير پودري (Submerged arc welding یا SAW)

جوشکاری زیر پودری یکی از فرآیندهای جوشکاری قوسی با نرخ رسوب بالا می باشد که در صنایع مختلف به ویژه برای جوشکاری مخازن تحت فشار ، دیگهای بخار ، مخازن ذخیره ، لوله های قطور به صورت طولی و کشتی سازی کاربرد دارد. در این روش همانند روش قوس الکتریکی – الکترود دستی حفاظت از جوش توسط مواد پوشش انجام می شود با این تفاوت که پوشش به شکل پودر یا **flux** و جدا از الکترود بر روی مسیر جوشکاری ریخته می شود. این مواد همانند پوشش الکترودها از مواد معدنی ساخته می شوند.

در روش زیرپودری قوس الکتریکی که از یک منبع قدرت ولتاژ ثابت (ژنراتور یا ترانسفورماتور) تامین می شود بین الکترود و قطعه کار و در زیرفضایی پوشیده شده از **flux** برقرار می شود. منابع قدرت ولتاژ ثابت دستگاه هایی هستند که در آنها ولتاژ قابل تنظیم است و شدت جریان بر اساس سرعت تغذیه سیم به طور خودکار تنظیم می گردد به

شکلی که با افزایش سرعت تغذیه ، شدت جریان نیز افزایش می یابد. در طی فرآیند جوشکاری مقداری از پوشش ذوب شده و به شکل سرباره بر روی جوش می نشیند و مابقی پودر هم بدون تغییر مانده و پس از پایان عملیات جهت استفاده مجدد بازیابی می شود. الکترود مصرف شدنی هم توسط یک سیستم خودکار به صورت مداوم در محل جوش تامین می شود. پودر پوشش که توسط یک نازل مداوم به محلی قبل از محل جوشکاری تزریق می شود چهار وظیفه اصلی را بر عهده دارد :

۱ – محافظت جوش و نوک الکترود از اتمسفر هوا

۲ – پایداری قوس با وجود بعضی ترکیبات مناسب در پودر

۳ – تصفیه و تصحیح ترکیب شیمایی فلز جوش

۴ – کنترل باند و یا گرده جوش

با توجه به نرخ رسوب بالای فلز جوش ، این روش برای جوشکاری ورقهای ضخیم مناسب می باشد. با استفاده از جوشکاری زیرپودری می توان از ورق ۴/۵ میلی متر به بالا را جوشکاری نمود و هیچ محدودیتی برای جوشکاری ضخامتهای بالا وجود ندارد. جوشکاری زیرپودری به صورت نیمه اتوماتیک و تمام اتوماتیک مورد استفاده قرار می گیرد. الکترود مصرفی در این روش معمولا در قطرهای ۷/۹ – ۳/۲ میلی متر با پوشش نازک مسی و به صورت کلافهای ۱۰۰ – ۲۵ کیلویی یافت می شود. محدوده جریان در این روش حدود ۲۰۰۰ – ۳۰۰ آمپر بوده و به علت همین شدت جریان بالا معمولا حرارت ورودی بالا می باشد. نوع جریان بکار رفته نیز در این روش می تواند **AC** و یا **DC** باشد. در صورت جوشکاری با جریان **DCRP** معمولا به صورت تک سیم عملیات انجام می شود. در جوشکاری با جریان **DCSP** نفوذ کم شده و نرخ رسوب افزایش می یابد و جریان **AC** نیز خواصی بین **DCRP** و **DCSP** دارد. در جوشکاری با چند سیم معمولا سیم اول **DCRP** بوده و سیم های بعدی به جریان **AC** متصل می باشند. این کار مانع ایجاد وزش قوس می گردد. نکته مهمی که در تهیه پودر برای این روش باید مدنظر قرار گیرد دانه بندی پودر بر اساس کاربردهای مختلف است. بسته به جنس قطعه ، ضخامت قطعه کار و .... باید اندازه دانه **flux** را انتخاب کرد. در حال حاضر سه نوع پوشش یا پودر در این روش مورد مصرف قرار می گیرد :

۱– فلاکس به هم چسبیده : مواد این پوشش ابتدا خرد شده و سپس با چسبهای سیلیکاتی به هم می چسبند ، ذرات به هم چسبیده مجدد خرد شده و در نهایت دانه بندی می شوند.

۲ – فلاکس پیش ذوب شده : این نوع پودر با ذوب کردن مواد اولیه , قالبگیری ودر نهایت خردکردن و دانه بندی آنها به دست می آید.

۳ – پودرهای زینتر شده

با توجه به مشخصات ذکر شده از روش جوشکاری زیرپودری می توان مزایا و محدودیتهای این روش را به شرح زیر عنوان کرد

الف) مزایا

۱ – روشی است که به صورت خودکار و نیمه خودکار انجام می شود.

۲ – این روش دارای نرخ رسوب بالایی (۲۰ **kg/h**) می باشد.

۳ – در این روش قابلیت جوشکاری قطعات ضخیم وجود دارد.

۴ – عدم مشاهده قوس که خود باعث کاهش خطرات می شود.

۵ – کیفیت و یکنواختی مناسب در طول مسیر جوشکاری شده و امکان ایجاد چند پاس جوشکاری بر روی هم.

۶ – استفاده برای روکش کاری و بازسازی قطعات فرسوده و امکان جوشکاری در محیط باز بدون محافظت در برابر وزش باد.

۷ – امکان استفاده همزمان از چند الکترود به صورت موازی یا سری جهت افزایش سرعت تولید

ب) محدودیت

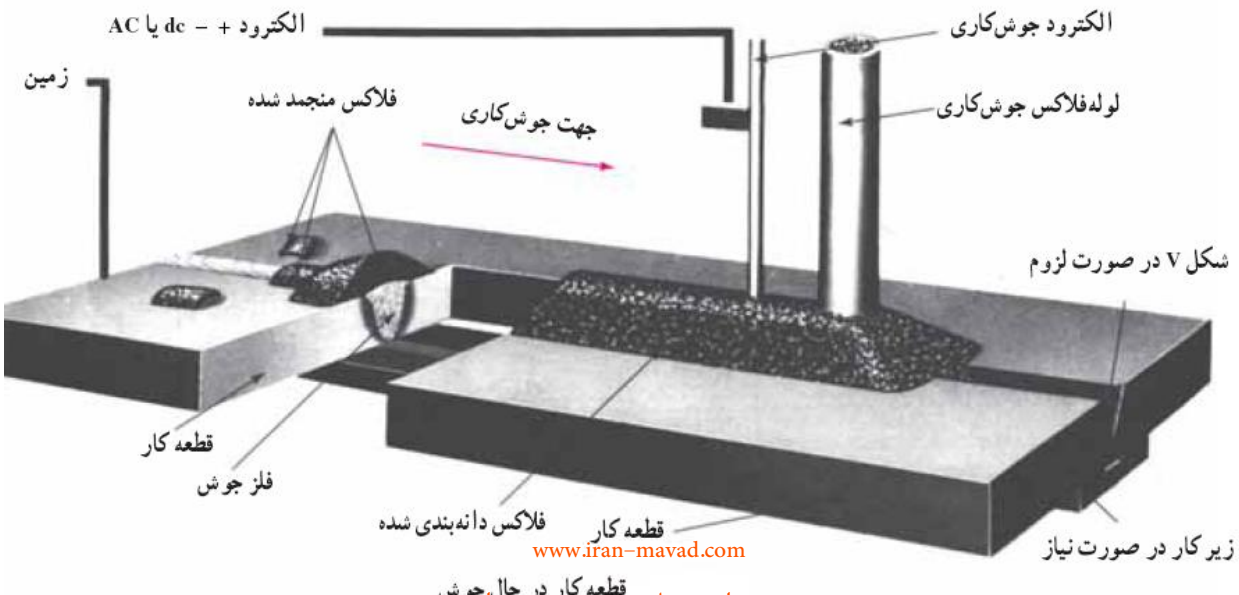
۱ – در هنگام جوشکاری ، سطح کاملا باید افقی باشد و شیب آن از ^{o} ۱۵ کمتر باشد.(جوشکاری فقط در حالت **PA** و **PB**)

۲ – این روش برای جوشکاری قطعات با ضخامت بالاتر از ۴/۵ میلی متر کاربرد دارد.

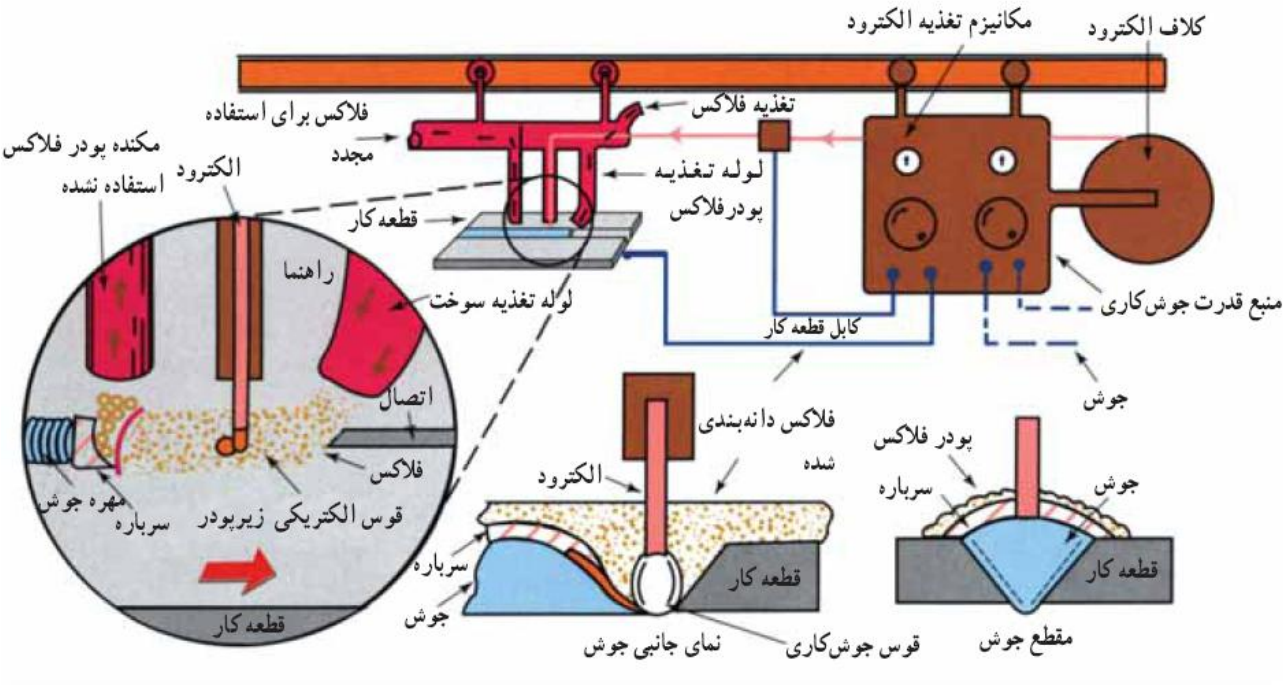
۳ – به علت مخفی بودن قوس ، کنترل مسیر جوشکاری ، محل جوش و نحوه پرشدن محل اتصال امکان پذیر نیست.

۴ – امکان تغییر سطح در مسیر جوشکاری وجود ندارد.

وجود معایب و مزایای فوق در روش جوشکاری زیر پودری کاربرد این روش را در مواردی که نرخ رسوب بالا و راندمان خوب نیاز می باشد باعث شده است. تجهیزات مورد نیاز در جوشکاری زیرپودری شامل : منبع نیرو ، سیستم تغذیه سیم ، مشعل ، سیستم حرکتی ، سیستم تغذیه فلاکس و فیکسچرها می باشد. در این روش جوشکاری پارامترهایی مثل شدت جریان ، ولتاژ قوس ، سرعت پیشروی ، زاویه سیم جوش نسبت به قطعه ، مقدار بیرون بودن سیم جوش از سر نازل ، ضخامت پودر موجود بر روی حوضچه مذاب ، نوع پودر و اندازه دانه پودر تاثیر مستقیمی بر روی کیفیت نهایی جوش دارند.



www.iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد



یک دستگاه جوش زیرپودری

3 - روش جوشکاري قوس الکتريکي – گاز محافظ و الکترود مصرف نشدني

(GTAW: Gas Tungsten Arc Welding، TIG)

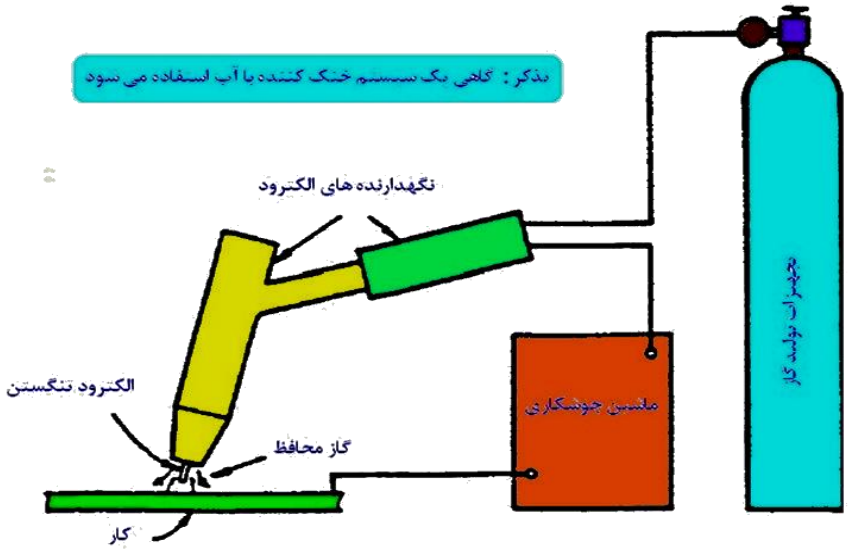
جوشکاری با الکترود تنگستنی و گاز محافظ (**GTAW**) یک فرآیند جوشکاری ذوبی بوده که حرارت لازم برای اتصال از طریق قوس الکتریکی بین الکترود تنگستنی (مصرف نشدنی) و سطح کار ایجاد می شود. این روش جوشکاری تمیزترین ، دقیق ترین و قابل کنترل ترین روش جوشکاری دستی است و اغراق نیست اگر بگوییم با این روش حتی می توان تیغ ریش تراشی را به لنگر کشتی جوش داد. در تشریح دو روش قبلی عنوان شد که محافظت از جوش و حوضچه مذاب و همچنین تصفیه و کنترل سرد شدن جوش به عهده روپوش الکترود یا فلاکس بود. برخلاف آن دو روش , در روش **TIG** محافظت از جوش توسط جریان گازهای خنثی انجام می شود. این گازها معمولا هلیم ، آرگون ، آرگون / هیدروژن (جوشکاری فولاد زنگ نزن) وآرگون / هلیم می باشد که با خروج از سر نازل به محل جوشکاری هدایت شده و هوا و ناخالصی های اطراف جوش را پس زده و به طور دایم محیط خنثی و تمیزی را حول حوضچه مذاب ایجاد می کند. با استفاده از گاز هلیم نفوذ بیشتری نسبت به گاز آرگون ایجاد می شود چراکه ولتاژ یونیزاسیون گاز هلیم بالاتر است. در روش **TIG** به هنگام جوشکاری ، الکترود تنگستنی از میان سر مشعل خارج شده و با یونیزه کردن هوای بین الکترود و قطعه ، بین الکترود و قطعه کار قوس را برقرار می کند. جریان گاز هم توسط فنجانی های سرامیکی همزمان با برقراری قوس از کپسول به محل جوش هدایت می شود.

در روش **TIG** از الکترودهای مصرف نشدنی که از فلز تنگستن و آلیاژهای آن تهیه شده استفاده می شود که معمولا دارای طول **cm۹۱** و قطر ۶/۴ – ۲/۵ میلی متر هستند. این الکترودها از دمای ذوب بالایی برخوردار بوده و لذا در دمای جوشکاری ذوب نمی شوند. افزایش عناصر آلیاژی به تنگستن جهت تهیه الکترود مصرف نشدنی با هدف بالا رفتن قابلیت پخش الکترونها ، بهبود شروع قوس ، پایداری قوس و افزایش طول عمر الکترود بوده است. انتخاب الکترود در این روش بسیار مهم است چرا که اندازه الکترود با توجه به شدت جریان جوشکاری و ضخامت فلز پایه انتخاب می شود به نحوی که معمولا اندازه قطر الکترود نصف ضخامت قطعه کار است. شکل نوک الکترود هم با توجه به جنس فلزپایه معین می شود بدین صورت که الکترودهای نوک تیز برای جوشکاری انواع فولادها و الکترودهای نوک گرد برای جوشکاری آلومینیوم و فلزات غیرآهنی کاربرد دارد. در شرایطی که درز اتصال بزرگتر باشد از فیلر یا پرکننده برای اتصال کامل استفاده می شود. طبقه بندی الکترود در این روش طبق استاندارد **AWS A5.12** است که با حرف **E** به معنی الکترود و سپس حرف **W** به معنی تنگستن شروع می شود و حروف پس از آن مقدار و نوع عناصر آلیاژی موجود در الکترود را نشان می دهد. شرح الکترودهای جوشکاری **TIG** در جدول زیر آمده است :

جدول ۲–۱ الکترودهای مورد مصرف در روش **TIG**

نام الکترود	عناصر آلیاژی	رنگ انتهای الکترود	توضیحات
EWP	تنگستن خالص	سبز	جوشکاری آلومینیوم و عمر مفید ۴۰ ساعت
EWCe -2	٪ ۲/۲ – ۱/۸ سریم	نارنجی	—
EWLa - 1	یک درصد لانتالیوم	مشکی	—
EWLa – 1.5	٪ ۱/۵ لانتالیوم	طلایی	—
EWLa - 2	٪۲ لانتالیوم	آبی	—
EWTh - 1	٪ ۱/۲ – ۰/۸ توریم	زرد	—
EWTh - 2	٪ ۲/۲ – ۱/۷ توریم	قرمز	فلزات آهنی
EWZr	٪۰/۴ – ۰/۱۵ زیرکونیوم	قهوه ای	خروج آسان الکترونها

تجهیزات مورد استفاده در این روش شامل منبع تغذیه از نوع جریان ثابت ، کپسول گاز خنثی به همراه رگلاتور و متعلقات کامل آن ، منبع تامین آب یا هوا ، سر مشعل جوشکاری یا تورچ جوشکاری و الکترود می باشد.



طرح شماتیکی از جوشکاری تنگستنی با گاز محافظ

www.iran-mavad.com

Sayyed Reza Taghavi Shahri

استفاده از آب یا هوا جهت خنک کردن سرمشعل جوشکاری به جهت افزایش عمر سرمشعل و جلوگیری از فرسوده شدن آن در اثرحرارت زیاد است. متغییرهای جوشکاری **TIG** عبارتند از : ولتاژ قوس یا طول قوس ، شدت جریان ، سرعت جوشکاری و نوع گاز محافظ. مقدار حرارت ورودی به ولتاژ قوس و شدت جریان بستگی دارد. در روش **TIG** از شدت جریانی حدود ۸۰۰ – ۰/۵ استفاده می شود. در جوشکاری ورقهای نازک از شدت جریان کم ، جریان **DCEN** ، خنک کننده هوا و الکترود نوک تیز ، در جوشکاری ورقهای متوسط از شدت جریان متوسط ، جریان **AC** ، خنک کننده هوا و الکترود نوک گرد و در جوشکاری ورقهای ضخیم از شدت جریان زیاد ، جریان **DCEN** ، خنک کننده آب و الکترود نوک تیز استفاده می شود. در این روش برای جلوگیری از تمرکز حرارت در الکترود و عدم ذوب آن فقط از جریان **DCEN** و **AC** (جهت جوشکاری آلومنیوم)استفاده می کنند.

حرارت ورودی و همچنین تمرکز حرارت در این روش بالاست لذا برای جوشکاری فلزات هادی حرارت مثل آلومینیوم بسیار مناسب است از طرفی در قطبیت **DCEN** خاصیت تمیز کردن قوس وجود دارد لذا این روش برای اتصال فلزاتی که تولید اکسیدهای دیرگداز می کنند مثل **Mg** و **Zr** بسیار مناسب است. فرآیند **TIG** جوشی با کیفیت بالا را ایجاد می کند که به تجهیزات کمی نیاز دارد. این روش جوشکاری بدون پاشش جرقه می باشد که حداقل دود ممکن را ایجاد می کند و می تواند در تمام حالات جوشکاری بکار رود. روش **TIG** را می توان بدون فلز پرکننده یا با فلز پرکننده انجام داد چراکه منبع حرارت مستقل از فلز پرکننده است. ورقهای نازک و ورقهای ضخیم را با کنترل عالی نفوذ پاس ریشه می توان با فرآیند **TIG** جوشکاری نمود. اما در مقابل تمامی این مزایا , محدودیتهایی هم در این روش وجود دارد که به شرح زیر است :

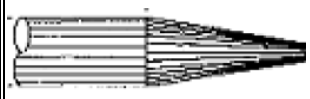
۱ – راندمان پایین روش به علت انتقال حرارت از طریق الکترودهای مصرف نشدنی و کم بودن نرخ رسوب

۲ – احتمال آلودگی جوش از طریق ناخالصی تنگستن که منشا آن الکترود است.

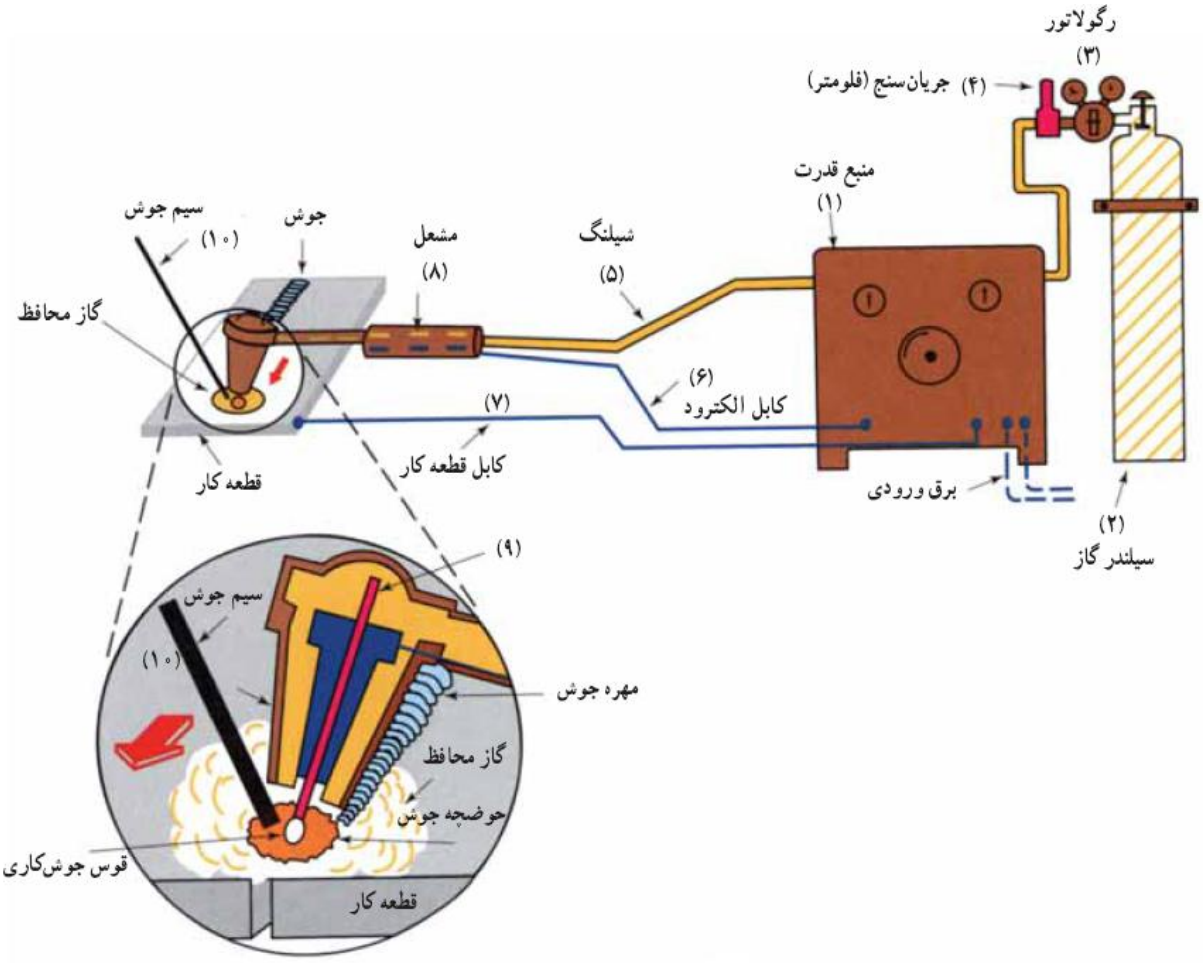
۳ – گرانی روش به علت تجهیزات گران ، استفاده از گازهای خنثی و کند بودن فرآیند و نیاز به مهارت بالای جوشکار

۴ – محدودیت به کارگیری در فضای باز چرا که جریان هوا بر روی جریان گاز تاثیر منفی دارد. (سرعت باد کمتر از **8 km/h** باشد.)

۵ – اشعه شدید و خطرناکی که از منطقه جوش متصاعد می شود. (بعلت عدم وجود گل جوش و همچنین دود در منطقه جوشکاری نور ایجاد شده شدیدتر از فرآیند قوس الکتریک دستی است.)



بایستی توجه کرد که در حین تیز کردن نوک الکترود شیارهای ایجاد شده ستونی باشند نه حلقوی.

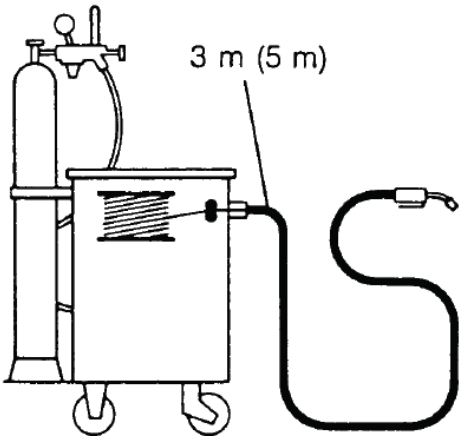


دستگاه جوش‌کاری TIG

4 - روش جوشکاري قوس الكتريكي – گاز محافظ و الكترود مصرف شدني

(MIG/MAG ، GMAW : Gas Metal Arc Welding)

اصول اولیه این روش همانند روش **TIG** است به این معنی که محافظت از حوضچه جوش توسط گاز خنثی آرگون ، هلیم و CO_2 انجام می شود. اما دارای یک تفاوت اصلی است و آن کاربرد الکترود مصرفی به جای الکترود تنگستن است. الکترود مصرف شدنی که معمولا توسط قرقره های مخصوص به صورت مداوم تامین می شود توسط غلتکهای پیشران جهت برقراری قوس الکتریکی به محل جوش هدایت می شود. این الکترودهای کلافی با قطری بین ۱/۲ – ۰/۸ میلی متر موجود می باشند.



در این روش تجهیزات شامل منبع قدرت که از نوع ولتاژ ثابت بوده ، سیستم تغذیه الکترود که سرعت تغذیه را تنظیم می کند ، کپسول گاز و تورچ جوشکاری می باشد. در این روش تورچ یا سرمشعل دو وظیفه مهم

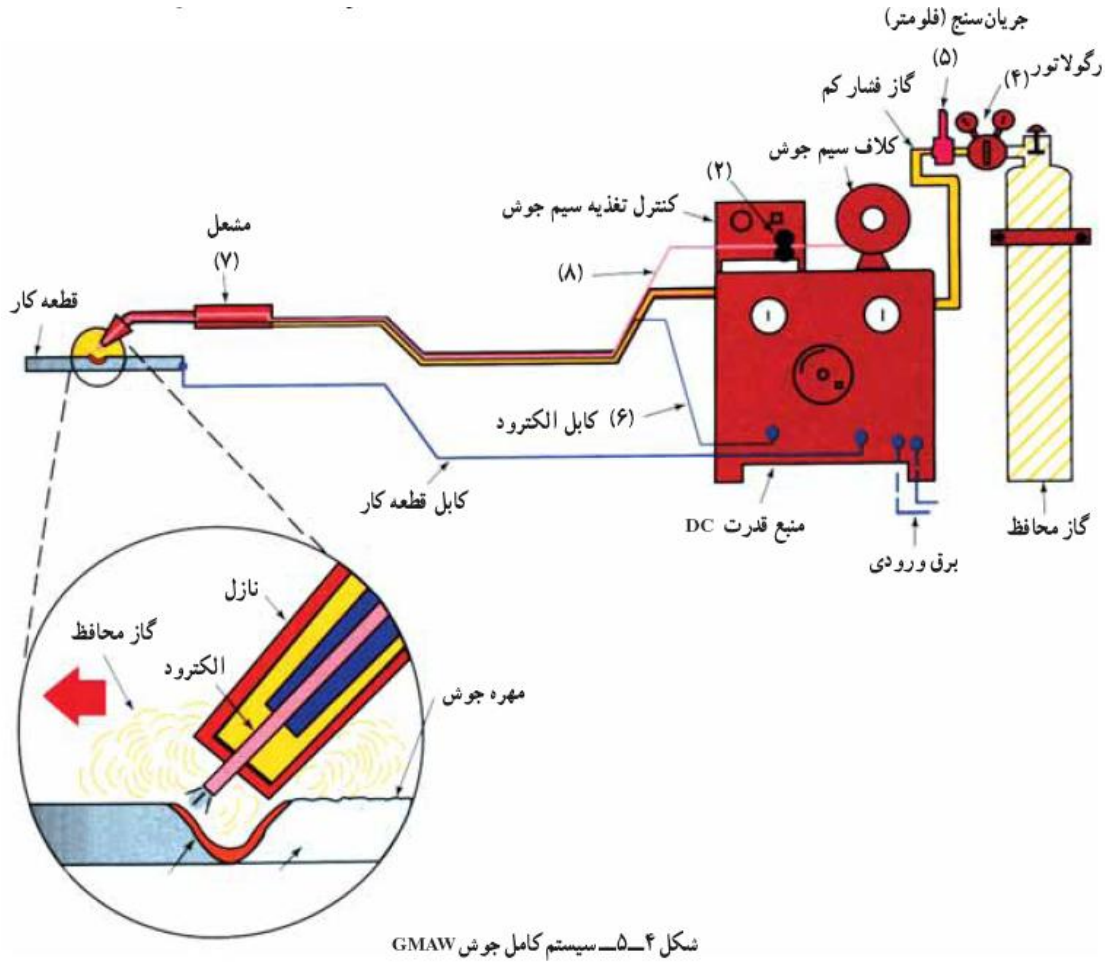
www.iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

هدایت الکترود و انتقال جریان برق جهت برقراری قوس را بر عهده دارد. روش **GMAW** خود به دو روش فرعی دیگر تقسیم می شود:

۱ – روش **MIG** که در آن از گاز محافظ آرگون یا هلیم برای حفاظت از جوش استفاده می شود. البته گاز آرگون کاربرد بیشتری دارد چرا که ارزان بوده ، سنگین تراست و در ولتاژ کم و جریانهای پایین راحت یونیزه می شود. در بازار به این روش جوشکاری آرگون هم می گویند. اما در مقابل , هلیم از قدرت حرارتی بالایی برخوردار بوده و در جوشکاری مس و وضعیت بالا سر یا سقفی کاربرد دارد.

۲ – روش **MAG** که در آن از گاز محافظ CO_2 استفاده می شود. این گاز در جوشکاری فولادها کاربرد فراوانی دارد و از هلیم و آرگون ارزانتر است. همچنین گاز CO_2 از هوا پنجاه درصد سنگین تر است و بسیار عالی حوضچه مذاب را پوشش می دهد. ولتاژ یونیزاسیون CO_2 بسیار بالا است. در بازار به این روش جوشکاری CO_2 نیز گفته می شود که بیشتر در موارد حساس از آن استفاده می شود. کپسول گاز CO_2از فولاد و به شکل بدون درز ساخته شده که گاز با فشار Kg / Cm^2 ۱۵۰در آن ذخیره می شود و فشار خروجی توسط یک رگلاتور تنظیم می گردد. به طور کلی این روش برای جوشکاری فولادهای ساده کربنی بسیار مناسب بوده و محدوده جریان در آن حدود ۱۰۰۰ – ۱۰ **A** می باشد ، قطبیت هم در این روش معمولا **AC** و **DCEP** (به علت ذوب راحتتر الکترود) است.

از مزایای این روش می توان به نرخ رسوب بالا ، حساسیت کم آن در مقابل تغییر طول قوس ، جذب کم هیدروژن در منطقه حوضچه مذاب و **HAZ** (ناحیه اطراف جوش که تحت تاثیر جوشکاری خاص متالورژیکی یا مکانیکی آن تغییر کرده است) به علت عدم استفاده از فلاکس ، عدم وجود سرباره و افزایش سرعت جوشکاری ، کنترل و حفاظت راحت حوضچه مذاب و در نتیجه کیفیت خوب جوش و در نهایت استفاده از تمام طرح اتصالها و تمام وضعیتهای جوشکاری اشاره کرد. اما در مقابل , تلاطم حوضچه مذاب به دلیل معیوب بودن نازل ، وجود ذوب ناقص در اثر طول قوس کوتاه در قطعات ضخیم ، گران بودن روش ، مشکل وزش باد و وجود حفرات گازی به علت آلودگی الکترود و قطعه کار از عیوب این روش می باشد. آخرین نکته اینکه با فرآیند **MIG** و **MAG** تقریبا تمام فلزات و آلیاژها را می توان جوشکاری نمود. حدود ضخامت قطعه کار در این فرآیند از ۰/۵ میلی متر تا ضخامتهای حدود ۱۲ میلی متر می باشد. پیشنهاد می شود که ضخامتهای بالای ۱۲ میلی متر را در صورت امکان با فرآیند زیرپودری جوشکاری نمود.



شکل ۴ــ۵ــ سیستم کامل جوش GMAW

5 - جوشکاري باگاز سوختني يا جوشکاري اکسي - استيلن (Oxy Fuel welding يا OFW)

در چهار روش جوشکاری که تاکنون به آنها اشاره شد ، منبع تولید حرارت جریان الکتریسیته یا به طور دقیق تر قوس الکتریکی بود اما در این روش از سوختن یا ترکیب شدن یک گاز سوختنی مانند استیلن با اکسیژن حرارتی تولید می شود که از آن برای ذوب دو لبه قطعه کار و اتصال آنها استفاده می شود. محافظت از حوضچه مذاب در این روش با شعله می باشد. تجهیزات این روش هم شامل منبع اکسیژن ، منبع گاز سوختنی ، رگلاتور تقلیل فشار و تنظیم فشار ، مشعل و شلنگهای هدایت گاز می باشد. در مشعل جوشکاری اکسی – استیلن محلی برای اختلاط گاز با اکسیژن وجود دارد که نسبت ترکیب گاز با اکسیژن را به وسیله آن می توان تنظیم کرد. این روش جهت جوشکاری ورقها و لوله های نازک فولادی و تعمیر کاری روی قطعات کارکرده کاربرد دارد.

6- فرآيند جوشکاري قوسي توپودري (FCAW :Flux Core Arc Welding)

این فرآیند شباهت زیادی به فرآیند **GMAW** دارد با این تفاوت که در فرآیند **FCAW** از الکترود لوله ای و توپی که داخل آن از پودر پرشده است استفاده می شود. در این فرآیند دو نوع الکترود کاربرد دارد ، در نوع اول فلاکس داخل الکترود برای محافظت از جوش کافی است اما در نوع دوم علاوه بر فلاکس داخلی , برای محافظت از جوش از گاز خنثی هم استفاده می کنند. این فرآیند اغلب جهت جوشکاری فلزات آهنی شامل فولادهای کربنی و

فولادهای زنگ نزن به کار می رود. بعضی از الکترودهای مخصوص فولاد زنگ نزن از یک تیوپ فولاد کربنی ساخته شده اند که عناصر آلیاژی مثل کروم و نیکل از طریق پودر داخلی الکترود تامین می شود.

7- روش جوشكاري مقاومتي – نقطه اي يا SRW

برخلاف روشهایی که تاکنون درباره آنها بحث شد و در آنها عامل حرارت باعث ذوب و اتصال دو قطعه به یکدیگر می شد در این روش علاوه بر عامل حرارت ، عامل فشار هم به اتصال کمک می کند. همانند چهار روش اول حرارت توسط جریان الکتریسیته تولید می شود. اساس این روش به شرح زیر است :

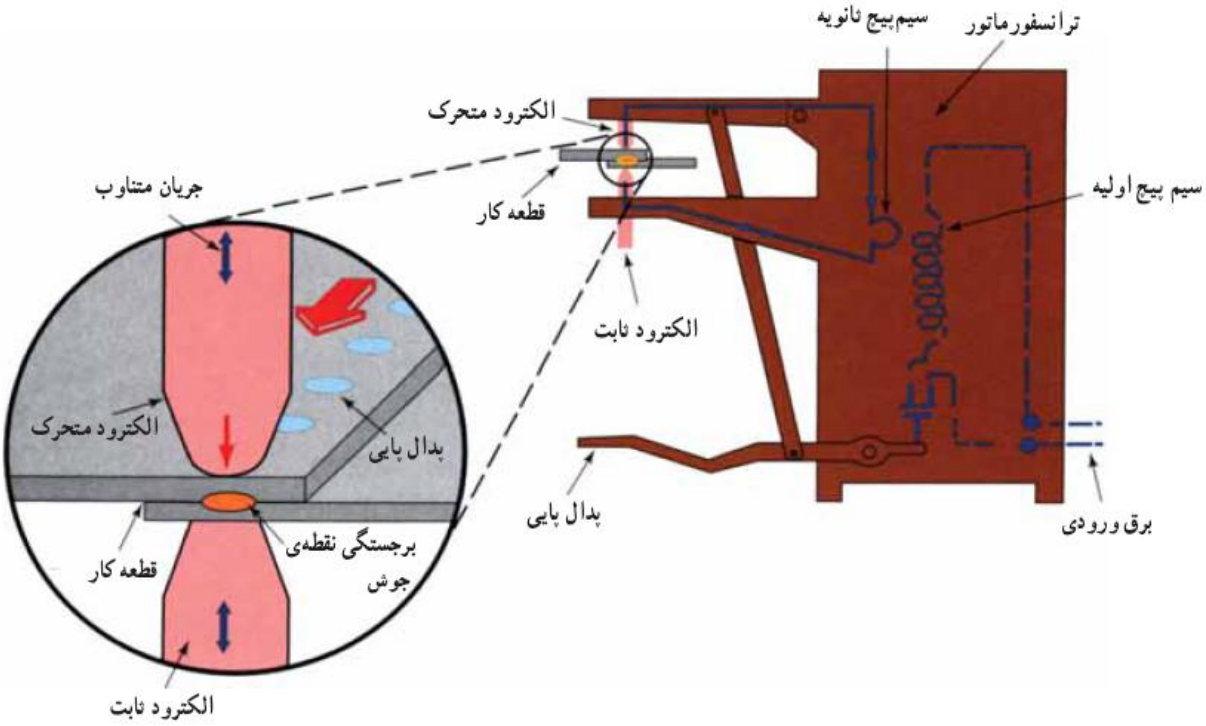
فلزات به دلیل مقاومت الکتریکی ذاتی خود در اثر عبور جریان الکتریکی گرم شده و حتی اگر جریانی قوی از آنها عبور کند به حالت ذوب می رسند. حال اگر دو فلز بر روی هم قرار گیرند مقاومت الکتریکی در محل اتصال آنها بیشتر خواهد شد. در این حالت اگر جریان الکتریکی از دو قطعه عبور داده شود ، حرارت ایجاد شده در محل اتصال قطعات را ذوب خواهد کرد. در جوشکاری مقاومتی – نقطه ای جریان الکتریکی از طریق دو الکترود ساخته شده از آلیاژهای مس به دو قطعه منتقل می شود. ابتدا عبور جریان در محل اتصال دو قطعه را درست در زیر الکترودهای مسی ذوب کرده و سپس با فشار وارده از طرف الکترودها دو قطعه به یکدیگر متصل می شوند. در پایان جوشکاری در محل عملیات دایره سیاه رنگی بر روی قطعه می ماند که همان محل اتصال بوده و به آن دکمه می گویند.

به طور کلی فرآیند جوشکاری مقاومتی یکی از بهترین روشهای اتصال ورقهای نازک است که دارای سرعت تولید خوبی می باشد. در فرآیند جوشکاری مقاومتی – نقطه ای فاکتور شدت جریان و زمان از طریق دستگاه قابل کنترل است اما مقاومت الکتریکی به جنس وضخامت قطعه ، فشار بین الکترودها و تمیزی سطح بستگی دارد. منبع تامین انرژی معمولا با جریان متناوب ولتاژی حدود ۲۵۰ – ۲۲۰ **V** تولید می کند اما در عمل جریان جوشکاری حدود ۱۰۰۰۰ – ۱۰۰۰ **A** و ولتاژی حدود ۱۰ – ۰/۵ **V** مورد نیاز است. در اکثر دستگاههای جوشکاری نقطه ای دو الکترود و به عبارتی دو فک دستگاه به وسیله پدال پایی برروی هم قرار می گیرند و دکمه را ایجاد می کنند. براساس جنس ورق ، ضخامت ورق و محل کاربرد , قطر دکمه و فواصل یکسان دکمه ها باید کنترل شود. ناگفته نماند که برای جلوگیری از فرسوده شدن الکترودها و عدم اتصال آنها به قطعه کار ، هر دو الکترود توسط سیستم آبگرد سرد می شود.

www.iran-mavad.com

مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

Sayyed Reza Taghavi Shahri



دستگاه جوش مقاومتی استفاده از سیستم مکانیکی

روش **SRW** بیشتر برای اتصال ورقهای فولادی کاربرد دارد اما در کاربرد آن باید به مزایا و محدودیتهای آن نیز توجه کرد.

الف) مزایای روش جوشکاری نقطه ای

۱ – به علت ذوب موضعی و ذوب در محل اتصال نیازی به محافظت از جوش وجود ندارد.

۲ – جوش نهایی دارای بهترین کیفیت است.

۳ – سرعت تولید بالاست.

۴ – منطقه جوش کوچک بوده و لذا قطعه کمتر تحت تنش حرارتی قرار می گیرد.

ب) معایب روش جوشکاری نقطه ای

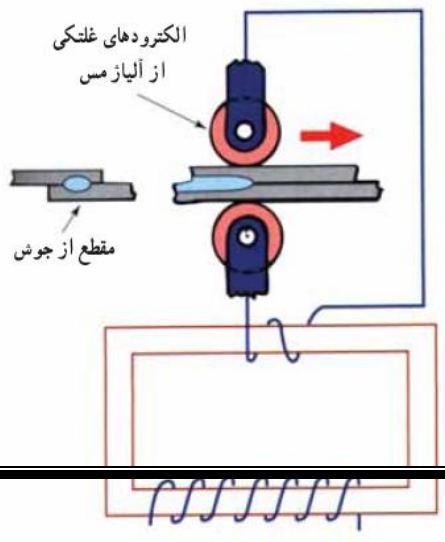
۱ – در این روش محدودیت طرح اتصال وجود دارد به این معنی که اتصال فقط باید لب روی هم باشد.

۲ – قطعات ضخیم را با این روش نمی توان جوش داد و این روش فقط برای ورقهای نازک کاربرد دارد.

۳ – به علت سرعت سرد شدن بالا احتمال ایجاد ترک در قطعه وجود دارد.

۴ – تمامی فلزات را نمی توان با آن جوش داد. به عنوان مثال مس با این روش جوشکاری نمی شود.

۵ – تجهیزات این روش قابل حمل و نقل نیست.



حالت خاصی از جوشکاری مقاومتی ، جوشکاری مقاومتی نواری است. در این روش به جای الکترود از غلطک استفاده می شود. به عبارت دیگر ورقهایی که

www.iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد
Sayyed Reza Taghavi Shahri

با جوشکاری نقطه ای به هم متصل می شوند در ظاهر دارای دکمه هایی هم قطر و با فواصل یکسان هستند که این دکمه ها محل اتصال را نشان می دهند اما در جوشکاری نواری محل اتصال به شکل نوار مداوم ، متصل و هم عرض دیده می شود که در طول محل اتصال ادامه دارد.

8- روش جوشکاري ترميت يا آلومينو ترميت

همانند جوشکاری اکسی استیلن در این روش از یک منبع شیمیایی برای اتصال و ایجاد حرارت استفاده می شود. در این روش که بیشتر برای اتصال ریلهای آهن کاربرد دارد از ترکیب یا واکنش دو ماده استفاده می شود. واکنش این دو ماده حرارت زا بوده و اتصال را در پی دارد. واکنش این روش به شرح زیر است :

$$Fe_2O_3 + 2Al = 2Fe + Al_2O_3 + 18500\ cal$$

پودر اکسیدآهن و آلومینیوم در یک بوته با هم ترکیب شده و واکنش بالا رخ می دهد. در اثر ایجاد حرارت آهن ذوب شده و درز اتصال را پر می کند. در این روش ماده Al_2O_3 یا آلومین نقش محافظ را دارد.

9 - فرآيند جوشكاري نفوذي يا DW

در این روش دو قطعه با تمیزی سطح بسیار بالا در یک محیط خنثی یا خلا در تماس با هم قرار می گیرند و با اعمال دما و گذشت زمان در اثر نفوذ ، دو قطعه به هم متصل می شوند. این روش در دو حالت بدون لایه واسطه (دمای عملیات ۰/۸ – ۰/۵ دمای ذوب قطعه پایه) و با لایه واسطه (دمای عملیات ۰/۴ – ۰/۳ دمای ذوب قطعه پایه) انجام می گیرد. این روش جوشی با کیفیت بسیار بالا ایجاد کرده و امکان اتصال قطعات غیر هم جنس را بوجود می آورد اما در مقابل ، به علت به کارگیری محیط خنثی این روش گران قیمت بوده و معمولا زمان آن هم حدود ۴۸ – ۲۴ ساعت می باشد.

10 - فرآيند جوشكاري انفجاري يا EXW

برای انجام این روش جوشکاری به محل مخصوص و مواد منفجره نیاز است.دراین روش دراثر انفجار مواد منفجره ، حرارت ایجاد شده واتصال برقرار میشود. این روش نیاز به ایمنی بالایی دارد و مواد جوشکاری شده با این روش باید مقاومت به ضربه خوبی داشته باشند. روش **EXW** که معمولا ازراه دور کنترل می شود در جوشکاری زیرآب هم کاربرد دارد و می توان مواد غیر هم جنس را با آن جوش داد.

11 - فرآيند جوشكاري ليزر يا LBW

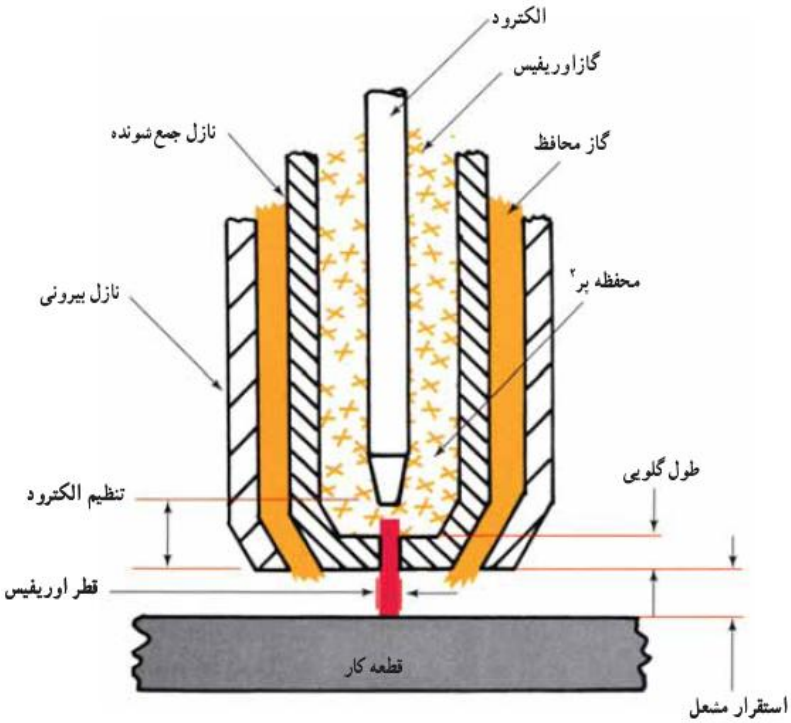
اصطلاح لیزر به نور متمرکزی گفته می شود که در یک محفظه الکترونی که کاتد آنها به وسیله الکتریسیته گرم شده است، بوجود می آید. جوشکاری لیزر مانند جوشکاری باسوزنی است که تا درجه حرارت نور سفید گرم شده است. در این روش ذوب فلز پایه به وسیله متمرکز شدن یک شعاع نوری تحریک و تقویت شده درروی یک نقطه تقریبا به قطر یک موی سر انجام می شود. با جوشکاری لیزر می توان فلزات غیر هم جنس و فلزاتی مانند مس ، نیکل ، آلومینیوم ، فولاد زنگ نزن و ... را جوش داد. علت توانایی جوشکاری این فلزات توسط لیزر تمرکز حرارت در نقطه جوش و انتقال کمتر حرارت جوش به نقاط دیگر قطعه می باشد.

12 - فرآیند جوشکاري پرتو الکتروني یا EBW

در این روش که از دسته روشهای جوشکاری ذوبی است از اشعه یا پرتو الکترونی جهت ذوب و اتصال دو قطعه استفاده می شود. به شکلی که الکترونها از یک رشته تنگستنی که تا **2000** درجه سانتی گراد گرم شده و انرژی بالایی دارند منتشر می شوند و با برخورد به محل اتصال حرارت لازم جهت ذوب را فراهم می سازد. جوشکاری پرتو الکترونی دارای عمق نفوذ بسیار بالا بوده و منطقه ذوب شده در آن بسیار باریک است اما در مقابل روش گرانی بوده و نیاز به تجهیزات فراوانی دارد چرا که باید در خلا انجام شود. در پایان قابل ذکر است که تمام قطعات را نمی توان با آن جوش داد چراکه برخی از مواد پرتو را بر می گردانند و لذا برای کاربران آن خطرآفرین است ، اما فلزاتی مثل تنگستن ، مولیبدن ، کلومبیوم و زیرکونیوم را می توان با این روش جوش داد.

13 - روش جوشکاري پلاسما یا PAW

اصطلاح پلاسما به گاز یونیزه اطلاق می شود که آنرا حالت چهارم ماده در نظر می گیرند. به عبارتی پلاسما گازی است که از ذرات خنثی ، یونها و الکترونهای آزاد تشکیل شده است. در جوشکاری قوس الکتریکی در محل قوس , فرآیندی شبیه تولید پلاسما رخ می دهد. در جوشکاری پلاسما گاز از یک هادی یا یک ژیگلور به سمت قطعه کار هدایت شده و در اثر حرارت ناشی از جریان الکتریکی به پلاسما تبدیل می شود. این پلاسما دمای لازم برای جوشکاری را تامین می کند. در جوشکاری پلاسما همچون روش **TIG** و **MIG** محافظت منطقه جوش با گاز محافظی است که همزمان با گاز پلاسما از نازل خارج می شود. در واقع روش **PAW** شباهت زیادی به روش **TIG** دارد با این تفاوت که در روش **PAW** قوس ستونی بوده و حرارت آن متمرکزتر است لذا نفوذ جوش بیشتر خواهد بود. تفاوت دیگر روش **PAW** با روش **TIG** در نوع نازل آنها است ، در روش **TIG** فقط یک نازل برای هدایت گاز محافظ وجود دارد. اما در **PAW** دو نازل وجود دارد که یکی برای هدایت گاز پلاسما شونده و دیگری برای هدایت گاز محافظ است. شباهت فرآیند **PAW** و **TIG** نیز در این است که هر دو از الکترود مصرف نشدنی تنگستن برای جوشکاری استفاده می کنند.



برش یک مشعل جوشکاری پلاسما

فرآيندهاي لحيم كاري

در فرآیندهای لحیم کاری برخلاف فرآیندهای جوشکاری فلز پایه ذوب نشده و حرارت اعمال شده به اندازه ای است که فقط فلز پرکننده را ذوب کند. در این فرآیند هیچگونه امتزاجی بین فلز پایه و فلز پرکننده صورت نمی گیرد اما استحکام قابل قبولی بدست می آید. فرآیند لحیم کاری از نظر نقطه ذوب فلز پرکننده به دو دسته لحیم کاری سخت و لحیم کاری نرم تقسیم بندی می شود. در لحیم کاری سخت نقطه ذوب فلز پرکننده بیشتر از ۴۵۰ درجه سانتی گراد و در لحیم کاری نرم نقطه ذوب فلز پرکننده کمتر از ۴۵۰ درجه سانتی گراد می باشد.

جوشکاری فلزات غیر آهنی:

در بررسی مباحث جوشکاری و توضیح و تفسیر متغییرهای آن بیشترین تمرکز بر روی انواع فولادهاست. چراکه به علت خواص مناسب جوش پذیری ، این دسته از آلیاژها با اکثر فرآیندهای جوشکاری متصل می شوند. اما اتصال دو فلز از طریق فرآیند جوشکاری تنها به فولادها خلاصه نمی شود بلکه در برخی موارد اتصال فلزات غیرآهنی و چدنها نیز از طریق جوشکاری باید انجام شود. در این شرایط به علت خواص ذاتی این دسته از فلزات و آلیاژها مانند دمای ذوب پایین ، انتقال حرارت زیاد و ضریب انبساطی بالا باید تمهیداتی را جهت ایجاد یک اتصال مطمئن و سالم درنظر گرفت. علاوه برآن اتصال فلزات غیرآهنی و برخی فولادها و چدنها با تمام فرآیندهای جوشکاری امکان پذیر نیست. لذا سعی می شود تا در این فصل به روشهای جوشکاری چند آلیاژ مهم و معروف پرداخته شود.

جوشكاري مس

فلز مس به لحاظ انتقال حرارت زیاد و ضریب انبساطی بالا باید با احتیاط تمام جوشکاری شود. جوشکاری مس را معمولا به دو روش جوشکاری گاز و جوشکاری قوس الکتریکی – الکترود دستی انجام می دهند. اگر روش جوشکاری گاز برای اتصال قطعات مسی مدنظر باشد باید از شعله خنثی استفاده کرد چراکه در صورت استفاده از دیگر شعله ها مس سریعا اکسید می شود. نازل سرپیک نیز به علت ضریب هدایت حرارتی بالای مس ۲ – ۱ شماره نسبت به نازل فولاد بزرگتر در نظر گرفته می شود. استفاده از تنه کار به علت کف کردن بر روی قطعه مجاز نیست. تکنیک جوشکاری هم در این روش به شکلی است که ابتدا قطعه کار گرم شده و سپس جوشکاری از وسط درز اتصال آغاز می شود. در پایان هم جهت افزایش استحکام درز اتصال , عمل چکش کاری روی قطعه کار گرم صورت می گیرد. سیم جوش به کار رفته در این فرآیند باید مخصوص بوده و معمولا اندازه قطر آن حدود یک میلی متر کمتر از ضخامت قطعه کار است.

برای انجام جوشکاری مس با روش قوس الکتریکی – الکترود دستی از جریان مستقیم و الکترود مثبت استفاده شده و شدت جریان هم بالاتر از حالت مشابه جوشکاری فولاد انتخاب می شود. زاویه الکترود همانند جوشکاری فولاد بوده و طول قوس حدود ۱۵ – ۱۰ میلی متر انتخاب می گردد. الکترودهای بکار رفته در این روش می تواند ذغالی ، آلیاژ مس – قلع – فسفر ، برنز آلومینیوم و برنز فسفر باشد. به هنگام مونتاژ دو قطعه کار در هر ۳۰ سانتی متر از طول

مسیر جوشکاری حدود ۳ – ۲ میلی متر به درز اتصال اضافه می شود. نکته مهم در مورد جوشکاری مس تمیزی سطح قطعه کار می باشد. برای رسیدن به یک اتصال موفق انجام عملیاتهای تمیز کاری سطحی مانند سوهان کاری ، برس کاری و ... الزامی است.

جوشکاري برنج

برنج آلیاژی است از مس و روی که با نسبتهای مختلف با هم ترکیب شده اند. این آلیاژ مقاوت خوبی در برابر خوردگی دارد و از مس و چدن آسان تر جوشکاری می شود اما از آنجائیکه در دمای جوشکاری ، روی بخار می شود علاوه بر هم خوردن ترکیب آلیاژ ایجاد دود سیاه و خطرناک از معایب جوشکاری برنج می باشد. در فرآیند **SMAW** برای جوشکاری برنج از الکترودهای گرافیتی استفاده می شود. طول قوس در این حالت ۶ – ۵ میلی متر بوده و جریان مستقیم با قطبیت معکوس کاربرد دارد. خال جوش زدن برای اتصال دو قطعه برنجی مجاز نبوده و معمولا از قید و بند برای اتصال دو قطعه استفاده می شود.

در جوشکاری برنج با گاز باید دقت شود که شعله اکسیدی بوده و از سیم جوشهایی با ترکیب ۸۲ – ۴۲ ٪ مس استفاده شود. میزان اکسیژن شعله به ترکیب شیمیایی آلیاژ بستگی دارد اما هرگاه مقدار اکسیژن در حدی باشد که درز جوش سوراخ و خورده نشود ، ترکیب گاز با اکسیژن صحیح است. استفاده از تنه کار در جوشکاری برنج با گاز مجاز نیست چراکه باعث سوراخ شدن قطعه می شود. ورقهای نازکتر از ۴ میلی متر را از راست به چپ و ورقهای ضخیمتر از ۴ میلی متر را از چپ به راست جوش می دهند. دقت شود که تهویه محیط جوشکاری و خروج گازهای مضر از محیط کارگاه به هنگام جوشکاری برنج الزامی است.

جوشکاري آلومینیوم

جوشکاری آلومینیوم خالص و آلیاژهای آلومینیوم شباهت زیادی به هم دارند. این فلزات را نیز می توان هم از طریق جوشکاری قوسی و هم از طریق جوشکاری گاز به یکدیگر متصل کرد. تنها آلیاژ آلومینیوم – منیزیم (با بیش از ۲/۵ ٪ منیزیم) است که به علت تشکیل لایه اکسیدی به سختی جوشکاری می شود لذا برای اتصال این آلیاژ نیاز به مهارت بالا و رعایت مواردی خاص می باشد. در جوشکاری آلومینیوم و آلیاژهای آن با روش اکسی – استیلن شروع جوشکاری با شعله احیا و ادامه جوشکاری با شعله خنثی انجام می شود. سیم جوشی هم که در این روش از آن استفاده می شود از جنس آلومینیوم خالص و یا آلیاژ **Al - % 5 Si** می باشد. قطر این سیم جوشها کمی بیشتر از ضخامت قطعه کار بوده و پس از گرم کردن ، در ماده روانساز فرو برده می شود. ورقهای آلومینیوم با ضخامت کمتر از ۰/۵ میلی متر را به صورت لبه ای و بدون سیم جوش متصل می کنند. ورقهای با ضخامت کمتر از ۳ میلی مترا هم بدون پخ جوشکاری می نمایند اما ورقهای بیش از ۳ میلی متر را چنانچه بتوان دوطرفه جوشکاری کرد بدون پخ و در غیر این صورت پخ دار جوشکاری می نمایند. قطعات ریخته شده آلومینیوم را نیز فقط در حالت جناقی افقی جوش می دهند. استفاده از پنبه نسوز یا آجر نسوز در پشت قطعات جناقی جهت جلوگیری از ریزش مذاب الزامی است. همانند

دیگر فلزات غیر آهنی تمیزکاری سطح قطعه آلومینیومی باید با دقت انجام شود. پس از پایان عملیات هم سطح قطعه جهت از بین بردن روانساز باقی مانده و مواد زائد در چند مرحله شسته می شود.

جهت جوشکاری قوس الکتریکی – الکترود دستی آلومینیوم معمولا از الکترودهای با پوشش ضخیم که جنس مغزی آنها از آلیاژ **Al - % 5 Si** می باشد ، می توان استفاده کرد. قطر الکترود متناسب با قطعه کار بوده و از آنجائیکه پوشش آن حساس به رطوبت می باشد خشک کردن الکترودها در دمای **۲۰۰ °C** انجام می گیرد. زاویه الکترود نسبت به قطعه کار کمتر از حالت مشابه فولاد بوده و قبل از جوشکاری نوک الکترود و قطعه کار جهت برقراری اتصال سمباده زده می شود. طول قوس نیز در جوشکاری قوس الکتریکی – الکترود دستی آلومینیوم باید حتی الامکان کم نگه داشته شود. به طور کلی جوشکاری قوسی آلومینیوم با صدای زیاد و پاشش فلز مذاب همراه است.

قطعات آلومینیوم با ضخامت بیش از ۵ میلی متر را تا دمای **۲۰۰ °C** و قطعات با ضخامت تا ۲۰ میلی متر را تا دمای **۴۰۰ °C** پیش گرم می کنند. پس از پایان جوشکاری و به هنگام تعویض الکترود باید حداقل گل جوش را تا ۳۰ میلی متر قبل از محل گره زدن از بین برد. نوع جریان جوشکاری آلومینیوم از نوع مستقیم با قطبیت معکوس است و همانند جوشکاری آلومینیوم با گاز بعد از خاتمه جوشکاری باید تفاله جوش را از روی گرده جوش پاک و سطح جوش را شستشو داد.

برای جوشکاری آلومینیوم به روش قوس دستی باید حتما از روانساز استفاده نمود. این روانساز با پخش شدن در سطح کار به هنگام جوشکاری اکسید آلومینیوم را در خود حل کرده و جوشکاری را تسهیل می نماید. در صنعت دو نوع روانساز وجود دارد ، یکی گرد جوشی که در آب حل می شود و به شکل خمیر در می آید و دیگری گرد جوشی غیر قابل حل در آب که در جوشکاری درزهای گونیا بکار می رود. به غیر از روش جوشکاری قوس الکتریکی – الکترود دستی و جوشکاری گاز ، آلومینیوم و آلیاژهای آنرا با روشهای **TIG** و**MIG** هم جوشکاری می نمایند. در این میان استفاده از روش **TIG** برای اتصال قطعات آلومینیومی بسیار کاربرد دارد. مسلم است اجرا دو روش **TIG** و **MIG** بر روی آلومینیوم با فولاد متفاوت بوده و نیاز به مهارت و تغییر در برخی تکنیکها دارد. اما از آنجائیکه در این کتاب سعی می شود تا تمام مباحث مربوط به روش **SMAW** بیان شود از توضیح جوشکاری آلومینیوم با روش **TIG** و **MIG** خودداری می کنیم.

جوشکاري چدن

در صورتیکه هدف جوشکاری چدن به روش جوشکاری گاز باشد باید از سیم جوشهای برنجی که نقطه ذوب آنها حدود **۹۳۰ °C** است استفاده نمود. این سیم جوشها دارای درصد زیادی مس و درصد کمی نیکل می باشند. در جوشکاری چدن با سیم جوش برنجی از شعله ملایم ، نازل بزرگ و فشار گاز کم استفاده می شود. اگر فشار گاز زیاد شود گرد مخصوص جوشکاری چدن از درز اتصال خارج شده و اتصال سالم به دست نمی آید. پیش گرم قطعات چدنی در این روش در دمایی حدود **۲۱۰ – ۳۰۰ °C** انجام شده و پس از پایان عملیات هم قطعات در محفظه های مخصوصی نگه داشته می شوند تا به آهستگی خنک گردد.

در جوشکاری چدن به روش قوس الکتریکی – الکترود دستی شدت جریان کمتر از حالت مشابه فولاد انتخاب می گردد , طول قوس نیز تا جاییکه الکترود به قطعه کار نچسبد کوتاه می شود. طول هر پاس جوشکاری چدن حداکثر ۴۰ – ۳۰ میلی متر است. همانند فلزات دیگر تمیزی سطح قطعه چدنی باید با دقت انجام شود به شرط آنکه بکارگیری روشهای تمیز کننده به شکنندگی چدن کمک نکند. زاویه الکترود مشابه جوشکاری فولاد بوده و قطر الکترودها حتی الامکان کم در نظر گرفته می شود تا گرده جوش عریض نگردد. انتخاب درست اندازه الکترود به ضخامت قطعه ، نوع پخ و اندازه پخ بستگی دارد. الکترودهای جوشکاری چدن به روش **SMAW** دو دسته هستند :

۱ – الکترودهای آلیاژهای غیرآهنی که معمولا از نیکل و آلیاژهای آن ساخته شده و اتصال دو قطعه چدنی را به خوبی برقرار می کنند. اما استحکام لازم را بوجود نمی آورند لذا از این الکترودها برای مرمت قطعات شکسته و فرسوده و روکش کاری قطعات چدنی و همچنین اتصال چدن به فولاد استفاده می شود.

۲ – الکترودهای فولادی با روپوش قلیایی. این الکترودها دارای جوشکاری مشکل ولی استحکام مناسب می باشند. گرده جوش این دسته از الکترودها قابل ماشین کاری نیست و لذا در جوشکاری پایه ماشین ها ، میله های چدنی بزرگ ، لوله های چدنی و انواع فلکه و چرخهای تراکتور کاربرد دارد. دمای پیش گرم قطعات چدنی تا حدی است که دست جوشکار تحمل حرارت قطعه را داشته باشد. از آنجاییکه درصد کربن در چدنها بالابوده و سرعت سرد شدن قطعات چدنی نیز در حین جوشکاری سریع است احتمال تشکیل فازهای شکننده افزایش یافته و این قطعات مستعد ترک خوردن می شوند. به طور کلی سه روش جهت جلوگیری از ترک خوردن قطعات چدنی در حین و بعد از جوشکاری وجود دارد که عبارتند از : به کار بردن پیچ به خصوص در قطعات ضخیم ، به کار بردن سوراخ در اطراف محل جوش و در نهایت پیش گرم و پس گرم کردن قطعات. تنها در دو مورد سرد بودن قطعات چدنی در حین جوشکاری بلامانع است و آنهم جوشکاری چدن خاکستری و چدن چکش خوار است. به خصوص در مورد چدن چکش خوار که امکان ایجاد چدن سفید وجود دارد فاصله بین هر پاس جوشکاری باید به اندازه ای باشد تا قطعه سرد شده و بتوان قطعه را با دست لمس کرد. این دما برای روش **SMAW** حدود **^{o}C** ۶۰۰ – ۴۰۰ است و همانند روش جوشکاری با گاز در محفظه هایی مخصوص قطعات را به آرامی خنک می کنند.

جوشکاري فولاد زنگ نزن

در جوشکاری فولاد زنگ نزن به روش اکسی – استیلن معمولا از شعله خنثی استفاده می شود چراکه مقدار اضافه اکسیژن و یا استیلن با عناصر آلیاژی فلز پایه واکنش داده و باعث فقر منطقه جوش از عناصر آلیاژی و در نهایت خوردگی منطقه جوش می شود. به علت هدایت کم حرارتی این آلیاژ در مقایسه با فولاد کربنی ، قطر نازل سرپیک کوچکتر از حالت مشابه جوشکاری فولاد کربنی انتخاب می گردد. سیم جوش نیز در این روش جوشکاری باید از جنس فولاد زنگ نزن باشد که معمولا از فلز پایه باریکه ای را بریده و به عنوان سیم جوش استفاده می کنند. این سیم جوش باید مداوم در روانسازی که به صورت خمیری در آمده فرو برده شود علاوه بر اینکه خمیر مذکور بر روی درز جوش هم مالیده می شود. زاویه مشعل در جوشکاری اکسی – استیلن فولاد زنگ نزن **^{o}** ۹۰ – ۸۰ و زاویه سیم جوش

حدود ^{o} ۴۰ – ۲۰ است که در پشت شعله نگه داشته می شود تا همزمان با لبه کار ذوب شود. برای جلوگیری از اکسید شدن فلز پایه نوک مخروطی شعله با ناحیه مذاب دائما در تماس است و هیچ گاه شعله به صورت ناگهانی از روی قطعه برداشته نمی شود.

جوشکاری فولاد زنگ نزن با فرآیندهای قوسی مانند **SMAW** و **GTAW** و **MGAW** بسیار متداول است. مهم ترین اشکال جوشکاری قوسی فولاد زنگ نزن به هم خوردن ترکیب شیمیایی فلز پایه در محل جوش است که خوردگی های بعدی را در پی دارد. اتصال قطعات فولاد زنگ نزن جهت جوشکاری قوسی معمولا با گیره و بستهای مناسب می باشد. ورقهای فولاد زنگ نزن با ضخامت کمتر از ۱/۲ میلی متر را به علت احتمال سوراخ شدن ، با روش قوسی جوشکاری نمی کنند. در جوشکاری فولاد زنگ نزن به روش **SMAW** از الکترودهای طبقه **AWS A5.5** استفاده می شود. نام گذاری و شناسایی الکترودهای جوشکاری فولاد زنگ نزن به روش **SMAW** شبیه نام گذاری خود فولادهای زنگ نزن است که به تفسیر در فصل شناسایی الکترودها آمده است. جریان کاربردی نیز **AC** بوده و قطعات نیازی به پیش گرم ندارند. گرده حاصل از جوشکاری قوس دستی فولاد زنگ نزن ناصاف بوده و پشت خط جوش معمولا سیاه و ناهموار است. جوشکاری فولاد زنگ نزن با روش **TIG** همانند جوشکاری فولاد کم کربن و فولاد ۴۱۳۰ با روش **TIG** است با این تفاوت که نیاز به جریان اضافی گاز آرگون برای محافظت پشت خط جوش می باشد. بکار بردن گاز محافظ در پشت جوش جهت جلوگیری از تبلور فلز پایه است. در جوشکاری **MIG** برروی فولاد زنگ نزن سیم مناسب با توجه به عناصر آلیاژی موجود در فولاد انتخاب می شود. در اغلب موارد از سیم های سری ۳۰۰ برای جوشکاری فولادهای زنگ نزن سری ۳۰۰ استفاده می گردد.

اگر ترکیب آلیاژ نامعلوم باشد بهتر است از سیم **ER – 308** استفاده کرد که سیمی همه کاره است.

فصل پنجم

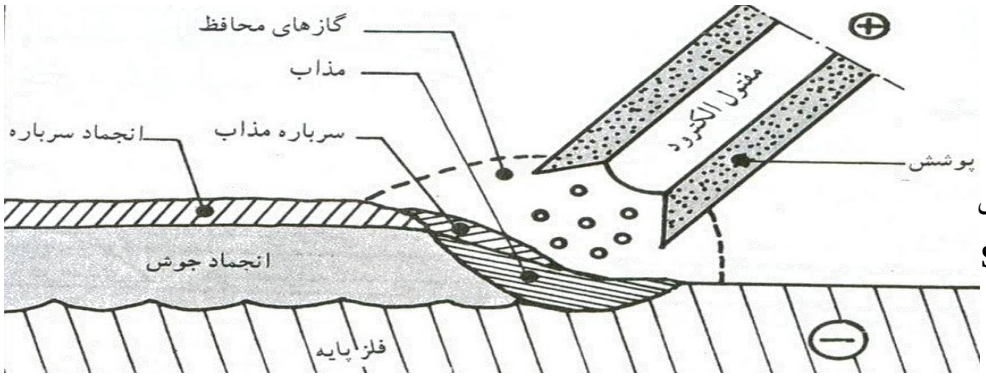
مبانی SMAW

www.iran-mavad.com

مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

روش جوشکاری قوس الکتریکی – الکترود دستی **(SMAW)** که به اختصار روش قوس دستی نیز نامیده می شود یکی از قدیمی ترین , ساده ترین در عین حال پرکاربردترین روشهای جوشکاری است. یادگیری این روش در مقایسه با دیگر روشها آسان تر بوده و در آموزش جوشکاران ماهر آموزش این روش به عنوان پایه واساس آموزش جوشکاری در نظر گرفته می شود. کاربرد این روش جوشکاری برای انواع فلزات و آلیاژها و در بسیاری از ضخامت ها (حتی اتصال دو فلز غیر همجنس) باعث شده تا در تولید و ساخت محصو لات جوشکاری شده به نوعی روش قوس دستی بکار گرفته شود. روش **SMAW** جزء روشهای جوشکاری ذوبی است که فقط به صورت دستی انجام شده و قابلیت اتوماسیون را ندارد. منبع اصلی انرژی جهت برقراری اتصال در این روش, انرژی الکتریکی و یا به عبارت دقیق تر انرژی ناشی از قوس الکتریکی است که حدود ۶۰۰۰ – ۵۰۰۰ درجه سانتی گراد حرارت ایجاد می کند . به همین خاطر هم به این روش جوشکاری نام جوشکاری قوس الکتریکی – الکترود دستی اطلاق شده است. محدوده شدت جریان الکتریکی که در اکثر کاربردها مورد استفاده قرار می گیرد ۵۰۰ – ۵۰ **A** است. در این روش اگر دو قطعه کار مورد جوشکاری را در مجاورت هم طوری قرار دهیم که به هم بچسبند و یا تقریبا با هم در تماس باشند و قوس الکتریکی را به لبه دو قطعه نزدیک کنیم , حرارت حاصل از قوس الکتریکی موجب ذوب شدن لبه دو قطعه کار می گردد. این بخش از مواد مذاب حاصل از قطعه کار با مواد مذاب ناشی از الکترود در هم ادغام می شوند. وقتیکه قوس الکتریکی از روی دو قطعه دور می شود حوضچه مذاب شامل فلز الکترود و فلز قطعه کار منجمد شده و دو قطعه به هم متصل می گردد.

الکترود مورد استفاده در این روش از نوع الکترود پوشش دار , مصرف شدنی و منقطع است که وظیفه برقراری قوس و پرکنندگی درز اتصال را به طور همزمان انجام می دهد. محافظت از منطقه جوش نیز توسط سوختن پوشش الکترود همزمان با ذوب الکترود صورت می گیرد. درکنار مطالب فوق که از بارزترین مزایای روش جوشکاری قوس دستی هستند معایبی همچون کیفیت پایین جوش در مقایسه با دیگر روشها , وابستگی کیفیت جوش به مهارت جوشکار و نرخ رسوب پایین باعث شده در بکارگیری این روش برای کاربردهای حساس دقت لازم به عمل آید.



شمای کلی جوشکاری به روش **SMAW**

در استاندارد EN به این روش عدد 111 را اختصاص داده اند.

www.mihanvald.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد
Sayyed Reza Taghavi Shahri

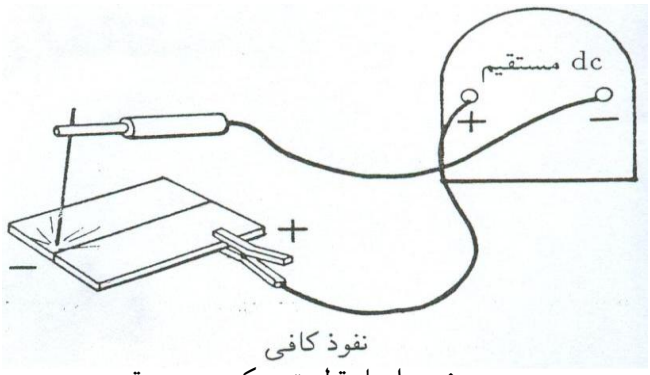
شدت جریان الکتریکی در جوشکاریSMAW

درفصل سوم به طور کامل به چگونگی و شرایط ایجاد قوس الکتریکی , پایداری و بقای آن و اتفاقاتی که در حین وقوع قوس رخ می دهد پرداخته شد و ذکر گردید که جریان الکتریکی مورد استفاده در جوشکاری به لحاظ مسائل ایمنی باید دارای شدت جریان بالا و ولتاژ پایین باشد. این نوع جریان توسط ترانسفورماتورهای کاهنده ولتاژ و افزاینده جریان تامین می شود. از طرفی عنوان شد که از میان دو نوع جریان الکتریکی **DC , AC** هر دو توانایی برقراری قوس الکتریکی را دارند اما قوس ناشی از جریان **DC** شرایط خاص خود را داشته که با شرایط قوس الکتریکی حاصل از جریان **AC** متفاوت است. در روش **SMAW** نیز چون منبع تولید حرارت و انرژی قوس الکتریکی است هر دو نوع جریان **DC , AC** می توانند بکارگرفته شوند. از آنجاییکه در جریان **AC** یا متناوب جهت حرکت الکترونها بین قطب مثبت و منفی دائما در حال تغییر است (فرکانس **50 Hz** یعنی در هر ثانیه ۵۰ بار جهت حرکت الکترنها تغییر می کند) پایداری قوس ناشی از جریان **AC** پایین می باشد و لذا بکارگیری این جریان در جوشکاری قوس دستی با احتیاط ودر برخی از موارد کاربرد دارد. در جریان **DC** یا جریان مستقیم حرکت الکترونها بین قطب مثبت و منفی همیشه یکسو بوده بطوریکه از قطب منفی به قطب مثبت می باشد.

قطبیت جریان در جریان مستقیم DC

همان طور که اشاره شد در جریان **DC** جهت حرکت الکترونها یکطرفه و از قطب منفی به قطب مثبت است. هنگام برقراری قوس الکتریکی بین دو قطب مثبت و منفی الکترونهایی که در اثر اختلاف پتانسیل دو سر مدار جوشکاری از قطب منفی جدا می شوند .در اثر قدرت قوس شتاب گرفته و با شدت فراوان به سطح قطب مثبت برخورد می کنند. این برخورد شتاب دار باعث می شود تا سطح قطب مثبت به شدت داغ شده , ۲/۳ حرارت قوس الکتریکی بر روی قطب مثبت و ۱/۳ حرارت بر روی قطب منفی تمرکز یابد. با توجه به توضیح فوق و به لحاظ آنکه در جوشکاری **SMAW**با جریان **DC** هم الکترود و هم قطعه کار می توانند به جای قطب مثبت و منفی قرار گیرند . (انتخاب قطبیت آزاد بوده و بستگی به شرایط دارد) هرگاه الکترود به قطب مثبت متصل شود سریع ذوب شده و سرعت جوشکاری را افزایش می دهد و برعکس هر گاه قطعه کار به قطب مثبت متصل شود با سرعت بیشتری ذوب گشته و عمق نفوذ را افزایش می دهد. در جریان الکتریکی **DC** هرگاه الکترود به قطب منفی و و قطعه کار به قطب مثبت متصل می شود به آن قطبیت مستقیم یا به اختصار **DCSP** و یا **DCEN** (**Direct Current Electrode Positive**) گفته می شود. تمرکز حرارت و سرعت ذوب بیشتر قطعه و در نهایت افزایش نرخ ذوب قطعه در این نوع قطبیت جریان باعث شده تا از آن در جوشکاری ورقهای ضخیم و یا جوشهای پرنفوذ استفاده شود. برخلاف قطبیت جریان **DCSP** , هرگاه الکترود به قطب مثبت و قطعه کار به قطب منفی وصل گردد به آن قطبیت معکوس یا به اختصار **DCRP** و یا **DCEP** (**Direct Current Electrode Negative**) گفته می شود. ذوب سریع الکترود به علت تمرکز بیشتر حرارت قوس بر روی آن سبب گشته تا از این نوع قطبیت جریان در جوشکاری ورقهای نازک , کاربردهای با نفوذ کم , جوشکاری با سرعت بالا و بکارگیری الکترودهای با روپوش دیرذوب استفاده شود. در

این حالت فلز مغزی الکترود و پوشش آن گرم بوده و لذا سرعت انتقال مذاب از الکترود به کار یکنواخت تر و بهتر می شود. یکی از خواص مهم قطبیت معکوس در جریان **DC** خاصیت تمیزکنندگی سطحی آن است. به این معنی که با حرکت الکترونها از قطعه کار به سوی الکترود و برخورد یونهای مثبت از الکترود به قطعه کار , در محل قوس لایه های اکسیدی سطح فلز شکسته شده واز بین می رود. از این ویژگی در جوشکاری فلزاتی که لایه اکسیدی آنها سریع تشکیل می شود به نحو مطلوب استفاده می شود. ناگفته نماند که انتخاب نوع جریان و قطبیت جریان به عوامل مختلفی مانند روش جوشکاری , نوع الکترود مصرفی و فلز پایه بستگی دارد. در شکل ۴ – ۲ قطبیت مستقیم و معکوس و تقسیم حرارت در هر قطب به طور شماتیک نمایش داده شده است.



نحوه ایجاد قطبیت معکوس و مستقیم

مقدار جریان الکتریکی درجوشکاری SMAW

در جوشکاری با قوس دستی تمام شدت جریان جوشکاری از طریق هسته فلزی الکترود یا مغزی الکترود عبور می کند. به علت مقاومت الکتریکی ذاتی مغزی و در اثر عبور جریان الکتریکی از مغزی , الکترود گرم می شود. چنانچه این گرما بیش از حد باشد خطر ذوب زودرس الکترود را بوجود می آورد. لذا انتخاب شدت جریان ایمن و مطمئن در جوشکاری یک امر ضروری است. مقدار شدت جریان مصرفی رابطه مستقیمی با قطر مغزی الکترود و جنس روپوش دارد. راه حل ساده انتخاب شدت جریان با استفاده از اطلاعاتی است که سازنده الکترود برروی بسته بندی آن به عنوان پیشنهاد درج کرده است. اما یک قانون کلی در جوشکاری قوس دستی آمپر جوشکاری را در حالت تخت به جوشکار ارائه می دهد. این قانون به شکل زیر است :

شدت جریان مصرفی در حالت تخت و برای الکترودهای روتیلی و قلیایی = قطر مغزی الکترود × ۳۵ – ۳۰

شدت جریان مصرفی در حالت تخت و برای الکترود سلولزی = قطر مغزی الکترود × ۳۰ – ۲۵

مطمئنا مقدار شدت جریان مصرفی در دیگر وضعیتهای جوشکاری فرق می کند مثلا برای جوشکاری در حالت سربالا و سقفی جریان باید در کمترین حد مجاز تنظیم شود تا کنترل مناسبی بر روی حوضچه مذاب ایجاد شود , دیواره اتصال ذوب شده و نفوذ به اندازه کافی باشد.

روشهای مختلف ایجاد قوس الکتریکی

برای یونیزه کردن محیط گازی بین الکترود و قطعه کار و تشکیل قوس الکتریکی از سه روش می توان استفاده کرد :

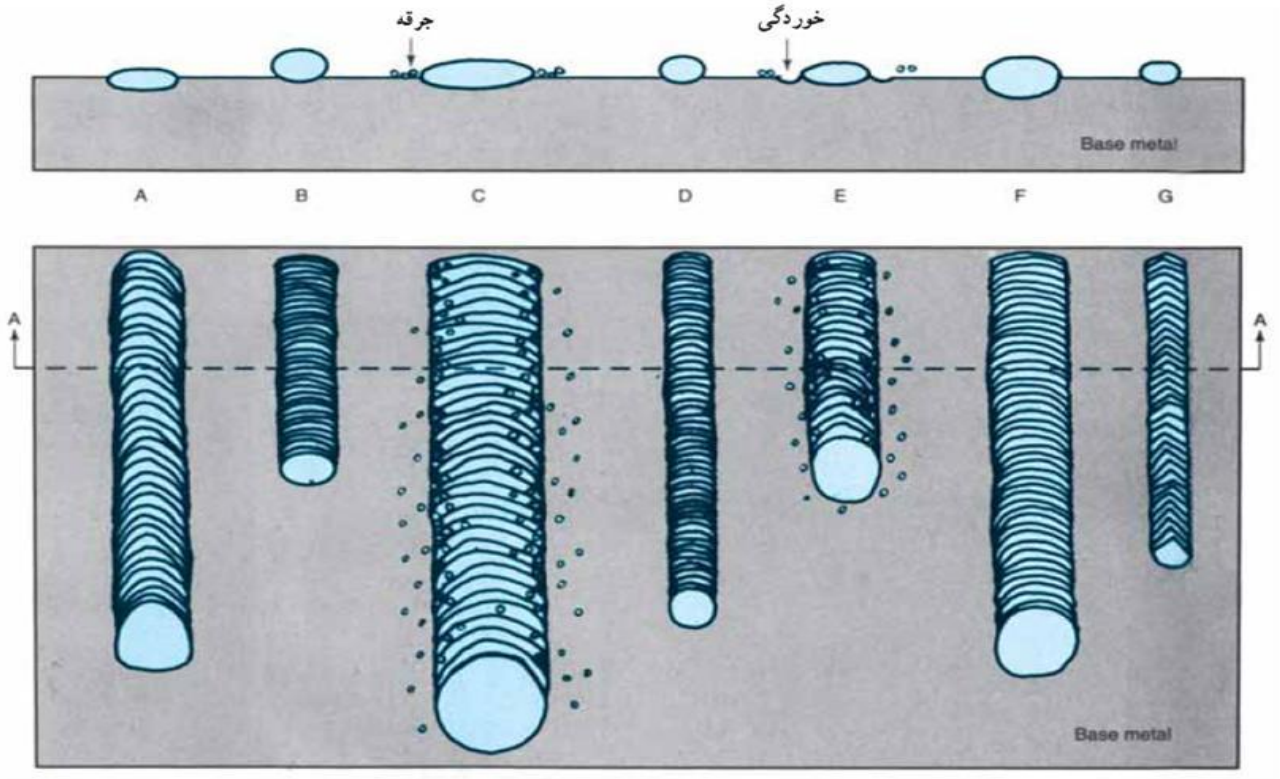
۱ – روش تماس مستقیم الکترود با سطح کار. از این روش در اکثر فرآیندهای جوشکاری استفاده می شود. در روش **SMAW** به دو روش نوک زدن و کبریتی می توان باعث تماس الکترود با قطعه کار شده و قوس را برقرار کرد.

۲ – روش استفاده از ولتاژ و فرکانس بالا. مورد کاربرد در روش **GTAW**

۳ – استفاده از قوس کمکی یا پیلوت

تاثیر عوامل مختلف بر کیفیت جوش

جوشکاری از آن دسته فرآیندهاست که چندین عامل به طور همزمان بر روی کیفیت محصول نهایی و یا به عبارت دقیق جوش نهایی تاثیر دارند. عواملی همچون شدت جریان , ولتاژ قوس , زاویه و نوع نوسان دست , نوع الکترود , مهارت جوشکار و .... تعیین کننده صحت و سلامت جوش نهایی هستند. در اشکال زیر انواع گرده جوش را مشاهده می کنید که با تغییر در شدت جریان و یا ولتاژ به وجود آمده اند.



تأثیر جریان، طول قوس و سرعت پیش‌روی روی مهره‌ی جوش

A ــ جریان و سرعت پیش‌روی صحیح B ــ شدت جریان خیلی کم C ــ شدت جریان خیلی زیاد D ــ طول قوس خیلی کوتاه
E ــ طول قوس خیلی زیاد و سرعت پیش‌روی خیلی آهسته F ــ سرعت پیش‌روی کم G ــ سرعت پیش‌روی خیلی زیاد

متغییر بعدی که شرایط آن تاثیر بسزایی بر کیفیت جوش دارد زاویه دست و نوع نوسان عرضی الکترود است. هرگاه زاویه الکترود نسبت به فلز پایه نزدیک ۹۰ درجه باشد نفوذ جوش به علت افزایش فشار قوس به طرف قطعه کار , زیاد می شود اما احتمال خوردگی کناره جوش یا زیربرش و یا حبس سرباره و تولید آخال افزایش می یابد. به طور کلی به علت عدم رویت و کنترل حوضچه مذاب در حالتی که زاویه الکترود ۹۰ درجه است عیوب زیادی در جوش

رخ می دهد. حالت بعدی زاویه الکترود مربوط به شرایطی است که الکترود به سمت قطعه کار نزدیک شده و زاویه به حدود ۲۰ – ۱۰ درجه می رسد. در این حالت گل جوش از روی جوش رانده شده و روی جوش را می پوشاند و احتمال وقوع آخال کم می شود اما احتمال سوختن دست جوشکار , ذوب یک طرفه الکترود و در نتیجه ایجاد تلاطم در حوضچه مذاب و محافظت غیر یکنواخت جوش افزایش می یابد.

به طور معمول زاویه الکترود بین ۹۰ – ۶۰ درجه تغییر کرده و عدد درست آن بر اساس نوع الکترود تعیین می شود. به عنوان مثال در الکترودهایی که سرباره ضخیم داشته و یا دارای گرانروی بالا هستند زاویه الکترود نمی تواند نزدیک ۹۰ درجه باشد چراکه امکان حبس سرباره در جوش فراوان است.

تعاریف و اصطلاحات در جوشکاری SMAW

همانند تمامی علوم و مهارتها در علم جوشکاری و بخصوص در جوشکاری به روش **SMAW** نیز تعاریف و اصطلاحاتی وجود دارد که تمام افرادی که در زمینه جوشکاری فعالیت می کنند باید آنها را به خوبی بدانند تا بتوانند هر کدام را در محل مخصوص به خود استفاده کنند. تعدادی از این تعاریف به شرح زیر است :

1 – گرده جوش : پس از پایان عملیات جوشکاری به مقدار فلز جوش رسوب داده شده بر روی قطعه کار گرده جوش می گویند. ارتفاع گرده جوش نیز به ارتفاع مقدار فلز جوش رسوبی اشاره دارد که آنرا با علامت (**t**) نمایش می دهند. برای به دست آوردن مقادیر ایده آل ارتفاع گرده جوش فرمولهای تجربی بسیاری ارائه شده است اما بر اساس بهترین فرمول , ارتفاع گرده جوش طبق فرمول زیر بدست می آید. در این فرمول **B** عرض گرده جوش و حداکثر مقدار **t** می تواند ۵ میلی متر باشد.

$$t \leq 1 + 0.15\,B$$

2 – مهره جوش : با برداشتن گل جوش از روی جوش , خطوطی منحنی یا دایره ای شکل بر روی سطح گرده جوش مشاهده می شودکه به هر یک از آنها مهره جوش گفته می شود. در جوشهای با کیفیت و سالم شکل و فاصله مهره های جوش از هم باید کاملا یکسان و یکنواخت باشد.

3 – نفوذ جوش : به مقدار فرورفتگی فلز جوش در فلز پایه و یا فاصله بین دو قطعه که جوش فرو می رود نفوذ جوش گفته می شود. مقدار نفوذ جوش که در نهایت استحکام جوش را تعیین می کند معمولا بین ۱/۲ تا ۱/۳ ارتفاع قطعه کار در نظر گرفته می شود. در اتصالاتی که چندین پاس برای اتصال لازم است و یا اتصالاتی که دو قطعه پخ خورده اند به اولین پاس اعمالی پاس نفوذ گفته می شود. صحت و سلامت این پاس تاثیر مستقیمی بر دوام و استحکام جوش دارد. ارتفاع پاس نفوذ که از پشت قطعات پخ خورده بیرون می آید طبق فرمول زیر محاسبه می شود. در این فرمول **B** عرض گرده پاس نفوذ و حداکثر مقدار **t** می تواند ۴ میلی متر باشد.

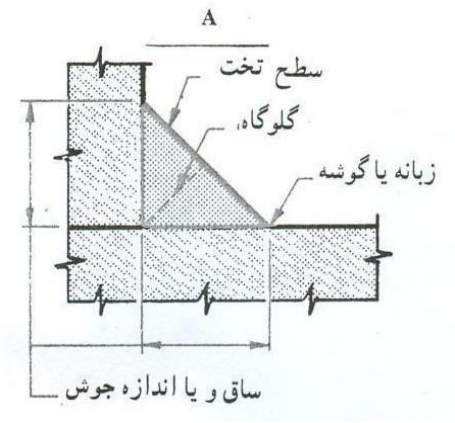
$$t \leq 1 + 0.6\,B$$

4 – پاسهای میانی : به پاسهایی که پس از پاس نفوذی و قبل از آخرین پاس به درون درز اعمال می شود , پاس میانی یا پاس پرکن اطلاق می شود. معمولا تعداد این پاسها به وضعیت جوشکاری , اندازه الکترود انتخابی و شرایط درز اتصال بستگی دارد.

5 – پاس نما : به آخرین پاس رسوب داده شده بر روی درز , پاس نما گفته می شود.

6 – فاصله درز اتصال (Gap) : فاصله بین دو قطعه مورد جوشکاری را فاصله درز اتصال یا **Gap** می نامند .

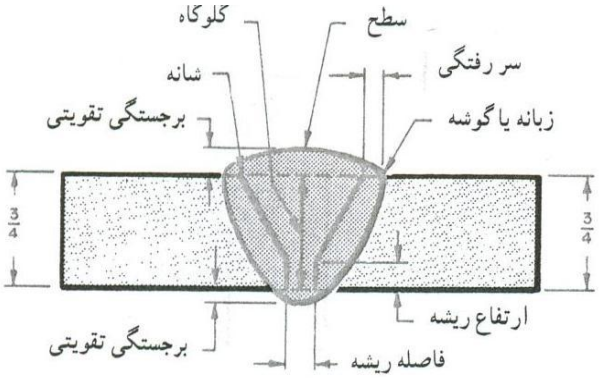
۷ – ساق جوش و گلویی جوش : در جوشهای سپری یا گوشه ای که جوش شکل یک مثلث قائم الزاویه را به خود میگیرد , به فاصله بین زاویه ۹۰° مثلث جوش تا راس مثلث ساق جوش میگویند و اگر وتر این مثلث جوش را درنظر بگیریم معادل با گلویی جوش است.

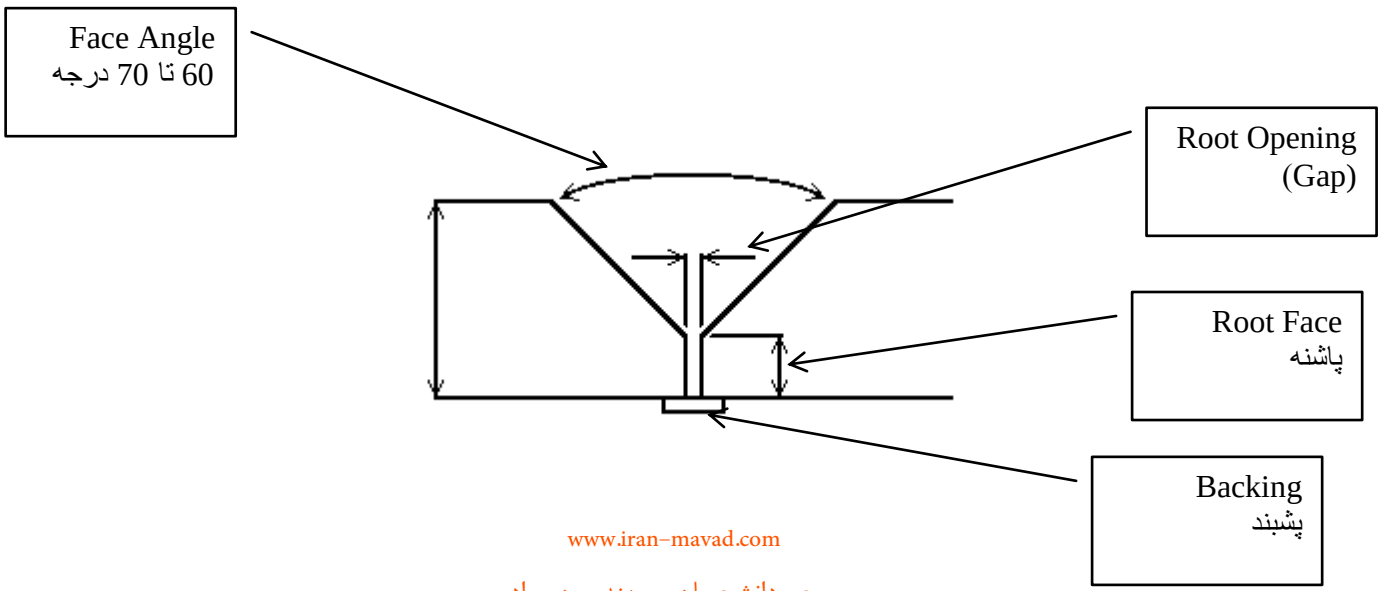


8 – منطقه جوش : به منطقه ای از فلزپایه که عملیات جوشکاری بر روی آن انجام می شود منطقه جوش می گویند. این منطقه شامل حوضچه مذاب و منطقه متاثر از حرارت می باشد. حوضچه مذاب به منطقه ای از جوش گفته می شود که درست در زیر نوک الکترود قرار داشته و در اثر حرارت قوس به مذاب تبدیل شده است. مذاب موجود دراین حوضچه متشکل از الکترود و فلزپایه ذوب شده می باشد.

9 – منطقه متاثر از حرارت HAZ (Heat Affected Zone) : به مناطق کناری جوش که در اثر حرارت جوش تغییر ساختار یا تغییر دانه بندی داده ولی ذوب نشده اند منطقه متاثر از حرارت گفته می شود. ناحیه ای با عرض حدود ۳ – ۲ میلی متر پس از منطقه جوش , منطقه مذکور است که جزئی از فلز پایه به حساب می آید.

10 – مرز جوش : حدفاصل بین منطقه جوش و منطقه متاثر از حرارت را مرز جوش می نامند.



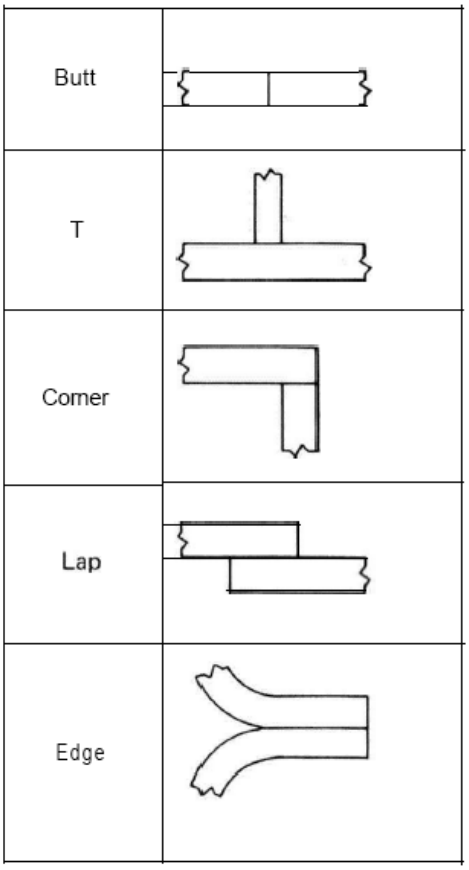


www.iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد
Sayyed Reza Taghavi Shahri

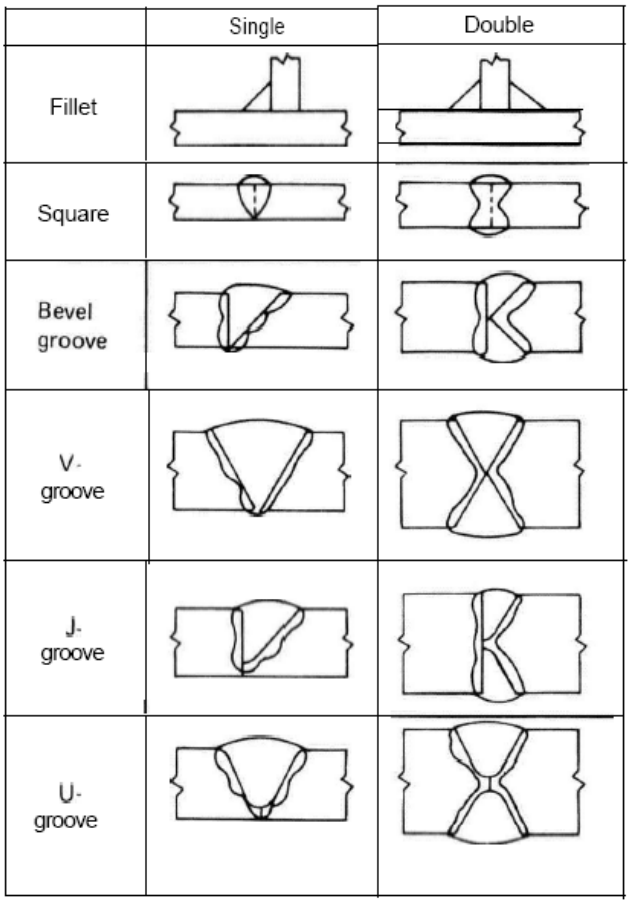
انواع شکل جوش در روش SMAW

همان طور که بارها عنوان شد پایه و اساس جوشکاری , رسوب فلز جوش مذاب در محل اتصال دو قطعه و در نهایت اتصال دائمی دو قطعه می باشد. از آنجاییکه دو قطعه کار یا دو فلز پایه می توانند حالتهای مختلفی نسبت به هم داشته باشند شکل فلز جوش رسوب داده شده نیز می تواند متناسب با حالت دو قطعه تغییر کند. بر این اساس دو شکل یا دو نوع شکل جوش را در جوشکاری قوس دستی در نظر می گیرند.

Types of joints



Types of welds



Butt:	سر به سر	**Fillet:**	سپری
T:	سپری	**Square:**	مربعی
Corner:	گوشه ای	**Bevel:**	پخ
Lap:	لب روی هم	**Groove:**	شیار
Edge:	لبه ای	**Type of Weld:**	نوع جوش

انواع نوسان دست در جوشکاری با قوس دستی

در اتصال دو قطعه به یکدیگر بسته به مقدار فاصله دو قطعه یا به عبارتی درز اتصال , نوع حرکت دست جوشکار و یا نوع حرکت الکترود تغییر می کند. در جوشکاری اتصالاتی که درز آنها کاملا بسته و یا کم می باشد با ثابت نگه

داشتن الکترود و بدون نوسان عرضی دست می توان جوش مستحکمی را ایجاد نمود. اما در جوشکاری اتصالات با درز باز و یا جوشکاری در وضعیتهای سختی مثل سربالا و سقفی نمی توان با ثابت نگه داشتن دست , درز را پر کرده و یا مذاب جوش را کنترل نمود. راه چاره این مشکل استفاده از حرکت عرضی یا حرکت نوسانی الکترود است. روشهای نوسانی که در جوشکاری قوس دستی مورد استفاده قرار می گیرند متعدد بوده و معمولا برای هر وضعیتی یک یا دو نوع نوسان کاربرد دارد. در شکل زیر چند نمونه از نوسان الکترود را مشاهده می کنید. در این شکل نوسان زیگزاگ پرکاربردترین نوع نوسان است که بیشتر در وضعیت تخت و سربالا مورد استفاده قرار می گیرد. نوسان رفت و برگشت و یا سرد و گرم برای جوشکاری با الکترودهای نفوذی مانند ۶۰۱۰ و در پاسهای نفوذی کاربرد دارد. از نوسان هلالی می توان در وضعیتهای افقی و سقفی و سربالا استفاده کرد. دو نوع دیگر نوسان یعنی دورانی و ۸ لاتین نیز بیشتر در وضعیت تخت کاربرد دارد.

تجهیزات و متعلقات در جوشکاری قوس الکتریکی – الکترود دستی

اجرا عملیات جوشکاری از برش و آماده سازی قطعات شروع شده , با انجام فرآیند جوشکاری ادامه می یابد و با بررسی و انجام عملیاتهای کیفی روی قطعه جوشکاری شده پایان می پذیرد. در طول اجرای این سه مرحله ابزار و تجهیزات مختلفی بکار گرفته می شود که هر یک کارایی مخصوص به خود را دارد. برای روشن شدن بهتر موضوع به تجهیزات مورد نیاز در هر مرحله به تفکیک می پردازیم.

تجهیزات آماده سازی قطعه , مورد استفاده قبل از عملیات جوشکاری

این تجهیزات که معمولا با هدف برش , سوراخ کاری , علامت گذاری , سایش و .... بکار می روند شامل موارد زیر می باشد :

1 – سمبه نشان : این وسیله دارای نوک تیزی است که با ایجاد یک فرو رفتگی کوچک عملیات علامت گذاری را بر روی قطعات فلزی انجام می دهد. در عملیات جوشکاری نیز می توان در مواردی مثل مشخص کردن مسیر جوشکاری و علامت گذاری محل سوراخ کاری و ... از آن استفاده کرد.

2 – سوزن خط کش : به کمک نوک تیز این ابزار می توان بر روی فلزات خط کشی کرد. این خط کشی معمولا برای مشخص کردن مسیر برش , تعیین محل اتصال دو قطعه و.... بکار گرفته می شود.

3 – وسایل اندازه گیری : ابزار آلاتی همچون کولیس , ریز سنج و خط کش فلزی برای اندازه گیری ابعاد قطعات و یا اندازه گیری و جداسازی سطح قطعات بکار می روند.

4 – گونیا فلزی : این وسیله که مجهز به یک خط کش فلزی نیز می باشد دارای دو بازوی عمود بر هم است که برای گونیا کردن یا ۹۰ درجه کردن لبه های قطعه کار و فارسی بر کردن یا برش با زاویه ۴۵ درجه روی قطعات فلزی کاربرد دارد.

5 – انواع ماشین دریل : استفاده از دریل دستی و ستونی در جوشکاری معمولا برای انجام عملیات سوراخ کاری می باشد.

6 – انواع ماشین های سنگ زنی : این نوع دستگاه که به دستگاه فرز نیز معروف است دو وظیفه متفاوت را در آماده سازی قطعات جوشکاری بر عهده دارد. اگر صفحات فیبری برش (ضخامت صفحات برش کمتر از صفحات سایش است) بر روی این دستگاه نصب شود برای برش مقاطع توخالی کاربرد دارد. اما اگر صفحات سایش بر روی آن نصب شود برای سایش سطوح و لبه قطعات فلزی و ترمیم جوشهای معیوب و .... بکار می رود.

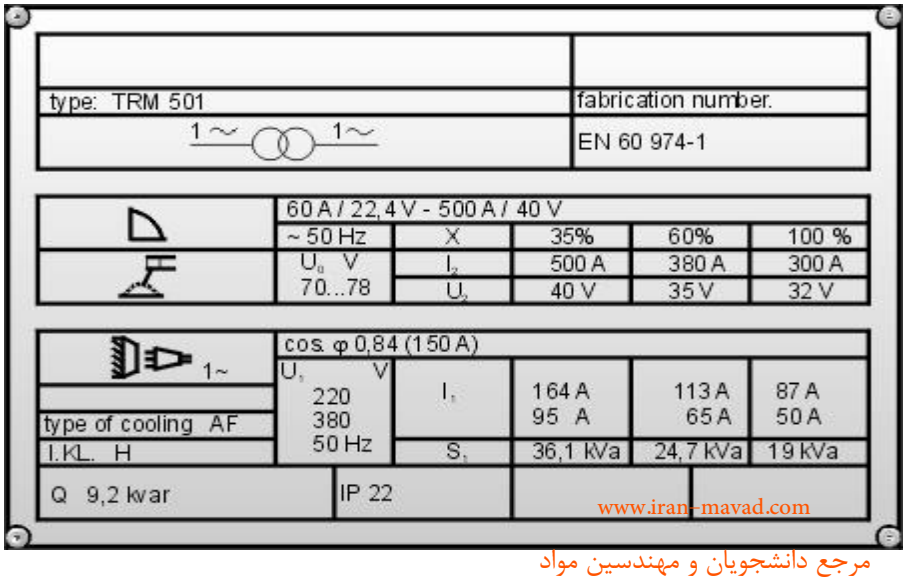
7 – انواع تجهیزات برش : وسایلی همچون برش اکسی – استیلن , برش پلاسما , اره لنگ , اره نواری و انواع اره دستی که به تفسیر در فصل دوم به آن پرداخته شده جهت برش , آماده سازی لبه های اتصال و پخ سازی لبه قطعات بکار می روند.

8 – انواع برس : استفاده از برسهای دستی یا برقی برای تمیزکاری سطح قطعات قبل از جوشکاری و زدودن تمام کثافات و آلودگی ها از روی سطح قطعات می باشد.

تجهیزات اجرای عملیات جوشکاری به روش SMAW

تجهیزات اجرای عملیات جوشکاری تجهیزاتی هستند که وجود آنها جهت انجام فرآیند جوشکاری الزامی است و کیفیت و سلامت آنها تاثیر مستقیمی بر کیفیت نهایی جوش دارد. لذا جوشکاران نیز برای اجرای دقیق عملیات باید شناخت کافی نسبت به آنها داشته باشند.

1 – دستگاههای جوشکاری : همان طور که در فصل سوم نیز گفته شد دستگاههای جوشکاری وظیفه کاهش ولتاژ و افزایش شدت جریان را بر عهده دارند. این دستگاهها که بر اساس نوع و یا مقدار جریان خروجی تقسیم بندی می شوند مهم ترین وسیله در اجرا عملیات جوشکاری می باشند. در حال حاضر در صنعت از انواع دستگاههای جوشکاری همچون ترانس رکتی فایردار , تراسفورماتور , اینورتور , دینام و ... استفاده می شود و روز به روز به کیفیت و امکانات آنها افزوده می گردد. یک جوشکار ماهر برای راه اندازی و کار کردن با دستگاه جوشکاری باید تک تک اجزا آنرا به خوبی بشناسد. در قسمت پشت دستگاه یک کابل وجود دارد که به کابل ورودی معروف است و بسته به نوع دستگاه به برق تک فاز یا دو فاز وصل می شود. علاوه بر کابل ورودی , فن یا پروانه خنک کننده سیم پیچ ها نیز در قسمت پشتی دستگاه قابل رویت است. دقت داشته



مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

باشید در هنگام کار با دستگاه باید فن به طور مداوم در حال گردش باشد و هیچ گاه با دستگاهی که فن آن خراب است نباید جوشکاری کرد. در قسمت پشتی دستگاه پلاکی نصب شده که به آن پلاک مشخصات دستگاه می گویند و در آن شرایط کاری و مشخصات فنی دستگاه به همراه اطلاعاتی در مورد شرکت سازنده آورده شده است.

در قسمت جلویی دستگاه دو محل برای نصب کابلهای خروجی در نظر گرفته شده است. این کابلها که توسط بستهای برنجی به همراه روکش های عایق به دستگاه وصل می شوند به ترتیب به گیره اتصال و انبر جوشکاری متصل می گردند. چنانچه در محل خروجی کابلها علامت مثبت و منفی مشاهده شد دستگاه موجود از نوع ترانس رکتی فایر دار است , در حالیکه ترانسفورماتورهای جوشکاری فاقد علامت + و – هستند. در قسمت بالای کابلهای خروجی چندین کلید وجود دارد. یکی از این کلیدها که در کنار آن علامت ۰ و ۱ قرار گرفته مخصوص روشن و خاموش کردن دستگاه است اگر این کلید روی صفر باشد دستگاه خاموش و اگر روی یک باشد دستگاه روشن است. در کنار این کلید , ولوم تنظیم آمپر قرار دارد. با چرخاندن این ولوم می توان مقدار شدت جریان خروجی دستگاه را مشخص کرد. مقادیر شدت جریان یا به صورت دایره ای مدرج و یا بر روی یک صفحه دیجیتالی نمایش داده می شود. در دستگاه های جدید جوشکاری جهت جلب رضایت مصرف کننده علاوه بر این دو چندین کلید دیگر نیز اضافه شده است. یک کلید مربوط به استفاده و تنظیم دستگاه از راه دور است. چنانچه این کلید به سمت قسمت اتصال کنترل از راه دور باشد می توان با اتصال صفحه کنترل از راه دور , آمپر را بدون نزدیک شدن به دستگاه تنظیم نمود. این وسیله در مواردی که محل جوشکاری با محل دستگاه فاصله دارد استفاده می شود. کلید بعدی مربوط به انتخاب روش جوشکاری است بدین معنی که برخی از دستگاه ها توانایی جوشکاری با الکترود دستی , **TIG** و برش با قوس الکتریکی را دارند و به کمک این کلید می توان روش مورد نظر را انتخاب کرد.

علاوه بر تمامی این امکانات و مزایا دو سیستم کاربردی نیز به دستگاه های جدید جوشکاری افزوده شده است. اولین سیستم به نام سیستم ضد چسبندگی یا **Anti Stick** معروف است. درون دستگاه های رکتی فایر حس گری وجود دارد که اگر ولتاژ دستگاه از ولتاژ قوس بیشتر شود آمپر خروجی دستگاه را قطع می کند تا به سیم پیچ های دستگاه آسیبی نرسد. دومین سیستم به نام سیستم قدرت قوس یا **Arc Force** شناخته می شود. برای جلوگیری از قطع قوس و یا ایجاد اتصال کوتاه به هنگام جوشکاری با الکترود سلولزی (لازم است تا هنگام کار با الکترود سلولزی , الکترود درون درز فرو رود) یا جوشکاری با الکترود هایی که ذرات مذاب درشت دارند (الکترودهای روکش کاری سطحی) این سیستم درون دستگاه قرار گرفته است. هرگاه ولتاژ قوس از یک محدوده معین کمتر شود این سیستم شدت جریان بیشتری را وارد مدار کرده تا الکترود به قطعه کار نچسبد.

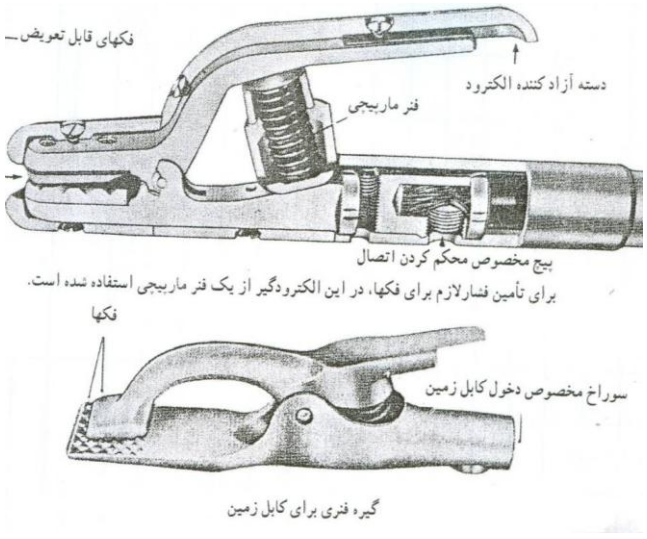
2- کابل جوشکاری : کابلهای جوشکاری که به دستگاه جوشکاری متصل می شوند وظیفه انتقال جریان را بر عهده دارند. کابل ورودی وظیفه انتقال جریان برق شبکه را به دستگاه بر عهده دارد و کابلهای خروجی کار انتقال جریان جوشکاری را به انبر جوشکاری و گیره اتصال انجام می دهند. این کابلها باید به خوبی عایق شده و نوع و اندازه عایق و همچنین اندازه کابل متناسب با شدت جریان خروجی دستگاه باشد. علاوه برآن باید قابل انعطاف باشد تا

جوشکار بتواند براحتی در وضعیتهای سختی مانند جوشکاری در وضعیت سقفی آنرا جابجا نموده و از آن استفاده نماید.

کابلهای جوشکاری معمولا از نوع افشان هستند که از تعداد زیادی رشته های نازک مسی تشکیل شده اند. شماره گذاری این کابلها معمولا بر اساس سطح مقطع آن بوده و انتخاب آن نیز به گونه ای است که سطح مقطع کابل بدون گرم شدن یا از بین رفته رشته های مسی , شدت جریان مصرفی را از خود عبور دهد. طول کابلهای جوشکاری باید حتی الامکان کم و به صورت یک تکه باشد. در صورت نیاز به اتصال چند قطعه کابل به یکدیگر استفاده از اتصال دهنده الزامی است. لازم به ذکر است که کابلهای جوشکاری در مقابل خطرات زیادی همچون سقوط اشیا سنگین و برخورد با قطعات داغ یا تیز قرار دارند لذا در انتخاب محل عبور و شرایط کاری آنها به هنگام اجرا عملیات جوشکاری باید دقت کافی را انجام داد.

3 – انبر جوشکاری : یکی از مهم ترین متعلقات عملیات جوشکاری , انبر جوشکاری است که از یک بدنه مسی و یک روکش عایق تشکیل شده است. جنس بدنه انبر از فلز مس انتخاب شده تا بتواند با کمترین مقدار افت جریان , شدت جریان مصرفی را به انتهای لخت الکترود برساند. روکش انبر هم از عایقی انتخاب می شود تا در مقابل شدت جریان جوشکاری کمترین خطر برق گرفتگی را برای جوشکار ایجاد کند. یکی از کابلهای خروجی از دستگاه به انتهای این انبر و الکترود جوشکاری به قسمت جلوی آن یا فک الکترودگیر متصل می شود. دهانه فک الکترود گیر که حالت اهرمی دارد و به راحتی باز و بسته می شود دارای چندین شیار است که با قرار گرفتن انتهای الکترود در هر یک از این شیارها می توان زاویه الکترود را نسبت به راستای انبر انتخاب کرد. شیارهای فک الکترودگیر طوری ساخته شده اند که زوایای ۱۸۰ و ۹۰ و ۴۵ درجه را برای الکترود ایجاد می کنند.

برای انتخاب مطمئن ترین نوع انبر باید حداکثر مقدار جریانی را که عایق انبر بدون خطر از خود عبور می دهد را در نظر گرفت. این عدد معمولا بر روی بدنه انبر حک می شود. به عنوان مثال اگر عدد ۴۰۰ بر روی انبر حک شده بود به این معنی است که این انبر می تواند در حدود ۴۰۰ A جریان را بدون ایجاد خطر از خود عبور دهد. دقت داشته باشید که هیچگاه انبر جوشکاری را روی میز کار قرار ندهید چراکه تماس قسمت مسی انبر با میز کار ایجاد جرقه و اتصال کوتاه می کند. معمولا کنار میز کار و یا در کنار دست جوشکار محلی برای آویختن انبر وجود دارد.



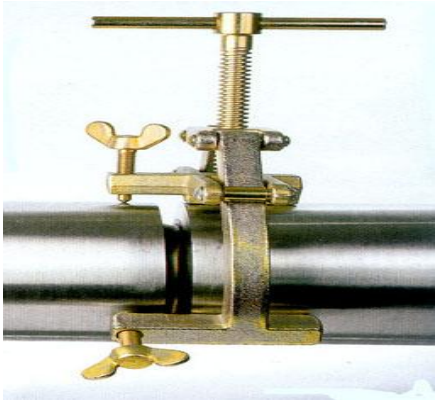
4 – گیره اتصال : انبر یا گیره اتصال که در شکل و اندازه های مختلفی ساخته می شود جهت اتصال یکی از کابلهای دستگاه به قطعه یا میزکار کاربرد دارد. با برقراری این اتصال مدار جوشکاری جهت عبور الکترونها و برقراری قوس کامل می شود و عدم حضور آن اجرا عملیات جوشکاری را غیرممکن می سازد. در حال حاضر دو نوع گیره اتصال در

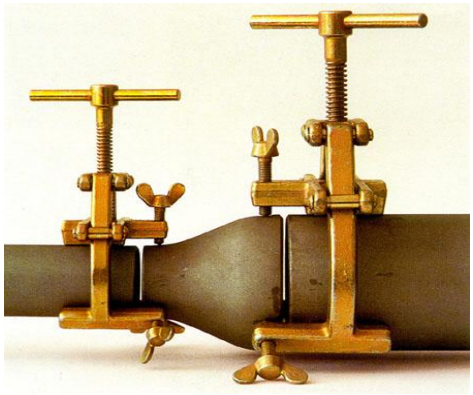
بازار موجود است. یک نوع آن تا حدود ۳۰۰ آمپر و نوع دیگر تا حدود ۵۰۰ آمپر را تحمل می نماید. در شکل (شکل ۴ – ۹ – **a**) نمونه ای از گیره اتصال را مشاهده می کنید.

5 – چکش جوشکاری (چکش شلاکه زن) و برس سیمی : پس از پایان جوشکاری , جهت از بین بردن کامل گل جوش از چکشی به نام چکش شلاکه زن استفاده می شود. همان طور که در شکل زیر می بینید انواع مختلفی از چکش جوشکاری موجود است اما در تمامی آنها یک سر نوک تیز و یک سر تخت مشاهده می شود که هر یک کاربرد خاصی دارد. سر نوک تیز برای خالی کردن حفره ها و سر تخت برای زدن گل از روی سطح جوش می باشد. در کنار چکش جوشکاری از برس سیمی که ممکن است دستی و یا برقی باشد برای تمیزکاری سطح قطعه قبل , در حین و پس از جوشکاری استفاده می شود. برس های سیمی دستی معمولا دارای بدنه چوبی یا پلاستیکی و سیم های فولادی است.

6 – انبر حمل قطعه کار : از آنجاییکه قطعات پس از پایان جوشکاری داغ هستند باید جهت حمل و نقل و یا تغییر وضعیت آنها از انبرهای مخصوصی که معمولا در محل فک خود آجدار هستند استفاده نمود.

7 – وضعیت دهنده ها : جهت نگه داشتن دو قطعه مورد جوشکاری در کنار هم و ساده کردن وضعیت جوشکاری (تبدیل وضعیتهای سخت مانند سقفی به وضعیتهای ساده مانند تخت) از وضعیت دهنده های مختلفی در جوشکاری استفاده می گردد. دو نمونه از پرکاربردترین وضعیت دهنده ها با نامهای وضعیت دهنده غلطکی و وضعیت دهنده دوبل شناخته می شوند.





8 – وسایل و تجهیزات ایمنی : وسایلی همچون لباس کار عمومی , کفش کار , لباس جوشکاری , انواع ماسکهای محافظ و .... جز وسایل ایمنی هستند که انواع , مشخصات و نحوه استفاده از آنها در فصل چهاردهم به طور مفصل بیان شده است.

الکترود های جوشکاری SMAW:

فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی – الکترود دستی یکی از پرکاربردترین و انعطاف پذیرترین روشهای جوشکاری است که به خاطر خواصی همچون سادگی اجرا ، هزینه کم انجام ، تجهیزات قابل حمل و ... در جوشکاری بسیاری از مکانها و فلزات کاربرد دارد. الکترود مخصوص این فرآیند هم که از نوع الکترودهای منقطع و مصرف شدنی است برای برآورده کردن نیازهای فرآیند از تنوع بسیار زیادی برخوردار است. تنوع الکتروهای فرآیند **SMAW** که در صنعت به الکترود روپوش دار معروف است تا حدی می باشد که می توان آنها را از نظر طول ، قطر ، جنس مغزی الکترود و جنس پوشش الکترود تقسیم کرد که هر یک از آنها برای کاربرد خاصی تعریف شده است.

اندازه و ابعاد الکترود

جهت بررسی ابعاد و اندازه الکترودهای مختلف سه متغییر را می توان در نظر گرفت. اول طول الکترود که از سر بدون پوشش الکترود شروع و به انتهای پوشش دار الکترود ختم می شود ، دوم قطر الکترود که همان قطر مغزی الکترود است و با نام اندازه الکترود هم شناخته می شود و سوم قطر نهایی الکترود که قطر مغزی الکترود به اضافه ضخامت پوشش می باشد. طولها و اقطار استاندارد الکترودهای پوشش دار در جدول زیر آمده است :

طول الکترود برحسب میلی متر	قطر الکترود برحسب میلی متر
۲۰۰	۱/۵
۲۵۰	۲
۳۵۰	۲/۵
۳۵۰	۳/۲
۴۵۰	۴
۴۵۰	۵
۶۰۰	۶
۹۰۰	۸

از آنجاییکه وظیفه اصلی الکترود عبور جریان جوشکاری جهت برقراری قوس است باید تناسب قطر و طول الکترود با جریان عبوری برقرار باشد. این تناسب توسط فرمول زیر به دست می آید :

$R = \rho L / A$ در این فرمول **R** مقاومت الکتریکی بوده که با شدت جریان و قطر الکترود رابطه عکس و با طول الکترود رابطه مستقیم دارد یعنی هرچه طول الکترود و قطر آن کمتر شود جریان عبوری هم کمتر خواهد شد.

از لحاظ قطر پوشش نیز الکترودها در چهار نوع پوشش نازک ، متوسط ، ضخیم و خیلی ضخیم طبقه بندی می شوند.

انواع الکترود روپوش دار

همان طور که در مراحل قبلی عنوان شد الکترودهای مورد استفاده در فرآیند **SMAW** از دو جز اصلی مغزی و پوشش تشکیل شده اند لذا تقسیم بندی و شناسایی این الکترودها نیز بر مبنای مغزی و روپوش انجام می شود. در مرحله اول به تقسیم بندی الکترودها از نظر جنس و ترکیب شیمیایی مغزی اشاره می شود و در مرحله دوم الکترودها را بر اساس نوع و جنس روپوش تقسیم بندی می کنیم.

تقسیم بندي الکترود روپوش دار بر اساس جنس مغزي

یکی از اصولی که در اتصال فلزات به روش جوشکاری بالاخص روش **SMAW** مدنظر قرار می گیرد ، مشابه بودن جنس الکترود یا فلز پرکننده با فلز پایه است. این امر که به دوام و استحکام اتصال جوش کمک می کند همیشه امکان پذیر نیست چراکه تنوعی که در تولید انواع فلزات و آلیاژهای آهنی و غیرآهنی وجود دارد در ساخت مغزی الکترود وجود ندارد. از طرفی به علت استحکام بالای فولادهای آلیاژی , کشش و اکسترود آنها جهت تولید مغزی الکترود آلیاژی کاری سخت بوده و توجیح اقتصادی ندارد. جنس مغزی الکترود به تعدادی از آلیاژها محدود می شود و در فرآیندهای جوشکاری جهت شباهت ترکیب شیمیایی فلزجوش با فلز پایه از روپوش الکترود کمک می گیرند. به این معنی که فقدان و کمبود عناصر آلیاژی را با افزایش آنها به روپوش جبران می کنند. این عناصر به هنگام جوشکاری به همراه مغزی الکترود وارد حوضچه مذاب شده و استحکام نهایی جوش را امکان پذیر می سازد. در ساخت مغزی الکترود روپوش دار که سه وظیفه مهم عبور دادن جریان الکتریکی ، پرکردن درز اتصال و برقرار کردن قوس را بر عهده دارد از خانواده آلیاژهای آهنی و غیر آهنی استفاده می شود که به شرح زیر است :

۱ – فولاد ساده کربنی – کم کربن : این فولاد که معمولا برای مقرون به صرفه بودن از جنس فولاد ناآرام ساخته می شود دارای ترکیب شیمیایی زیر است:

% C = 0.15 **% Mn = 0.3 – 0.6** **% P , % S ≤ 0.0 2** **% Si = 0.2**

۲ – فولاد ساده کربنی – پرکربن

۳ – فولاد کم آلیاژ نیکل دار

۴ – فولاد کم آلیاژ نیکل – کروم دار

۵ – فولاد کم آلیاژ کروم – مولیبدن دار

۶ – چدن خاکستری

۷ – آلیاژهای غیرآهنی مانند **Al , Cu , Ni** و برنج و برنز

تقسیم بندي الکترود بر اساس جنس پوشش

علاوه بر تقسیم بندی که از نظر جنس مغزی برای الکترودهای پوششش دار ارائه شد ، آنها را بر اساس نوع و جنس پوشش نیز تقسیم بندی می کنند. سازندگان الکترود انواع روپوش الکترود را با نسبت ترکیب مواد مختلف برای

اهداف و وضعیتهای متنوعی تولید کرده اند. هر یک از این پوششها بسته به مواد موجود در آن خواص به خصوصی دارد که کاربرد آنرا تعیین می کند. برای روشن شدن بهتر مطلب قبل از بیان تقسیم بندی الکترودها بر اساس جنس پوشش به موادی که در ساخت پوشش الکترود بکار می رود اشاره می شود. این مواد که از مواد آلی و معدنی هستند به عنوان مواد اصلی در تمام پوششها دیده می شوند. اختلاف در خواص و کاربرد پوشش هر الکترود به تفاوت نسبت ترکیب مواد فوق برمی گردد. این مواد شامل :

۱ – مواد گازساز یا سلولز : مواد آلی مثل خاک اره ، کتان و ذغال چوب که ترکیبی از عناصر **N , H , O , C** می باشند به عنوان مواد گازساز یا سلولز در پوشش بکار می روند. این مواد در حین جوشکاری با سوختن خود گاز (عموما **Co , Co_2**) تولید می کنند ، گاز مذکور فضای خنثی را در اطراف محل جوش پدید می آورد و باعث جلوگیری از ورود عناصر مضر به جوش و به عبارتی محافظت از جوش می گردد. مضرترین عناصر برای جوش اکسیژن ، ازت , هیدروژن و بخار آب است که در هوا یافت می شود و باعث شکنندگی یا تخلخل جوش می گردد.

۲ – مواد سرباره ساز یا کربناتها : کربنات کلسیم و کربنات منیزیم به عنوان مواد سرباره ساز به پوشش اضافه می شوند که در نهایت به علت چگالی کمتر از فلز جوش به شکل گل جوش در می آیند ، در حین جوشکاری بر روی حوضچه مذاب جوش حاضر می شوند و سریعتر از حوضچه مذاب منجمد می شوند. این امر باعث تسویه مذاب ، خروج عناصر مضر از حوضچه مذاب و کنترل سرعت سرد شدن جوش می گردد.

۳ – اکسیدها یا مواد سرباره ساز : مواد اکسیدی همچون آلومین (Al_2O_3) و اکسید تیتانیوم (رتیل یا TiO_2) نیز به عنوان مواد سرباره ساز شناخته می شوند که علاوه بر وظیفه تسویه مذاب , ایجاد گل جوش بر روی جوش و کنترل سرعت سرد شدن جوش نقش تثبیت قوس الکتریکی را نیز برعهده دارند.

۴ – اکسیژن زداها یا مواد احیاکننده : این مواد با هدف حذف اکسیژن از جوش به پوشش اضافه می شوند و شامل موادی مثل فروسیلیس و فرومنگنز می باشد.

۵ – انواع چسب : جهت نگه داشتن مواد مختلف پوشش در کنار هم و همچنین نگهداری پوشش بر روی مغزی الکترود از چسبهایی مانند سیلیکات سدیم و سیلیکات پتاسیم و نشاسته استفاده می شود.

۶ – پودر آهن : در برخی از الکترودها جهت افزایش نرخ رسوب ، سرعت پرکردن درزهای اتصال بزرگ و افزایش شدت جریان مصرفی مقداری پودر آهن به پوشش الکترود اضافه می شود. مقدار مجاز پودر آهن در پوشش حداکثر ۵۰٪ وزن روپوش می باشد.

۷ – عناصر آلیاژی : به علت مقرون به صرفه نبودن تولید الکترودهای پوشش دار با مغزی آلیاژی ، به هنگام جوشکاری فولادهای آلیاژی با الکترود روپوش دار ، مغزی الکترود از جنس فولاد ساده کربنی و یا فولاد کم آلیاژ بوده که عناصر آلیاژی مورد نیاز از طریق پوشش به محل جوش اضافه می شود تا ترکیب محل جوش و بقیه نقاط قطعه کار تقریبا یکسان باشد.

هریک از مواد فوق با هدف خاصی به پوشش اضافه می شود و به هنگام جوشکاری باید وظیفه خاصی را انجام دهد. به عبارت دیگر با توجه به مواد موجود در پوشش الکترود ، وظایفی به شرح زیر برای پوشش تعریف شده است :

۱– محافظت از منطقه جوش : منطقه جوش شامل فلز جوش رسوب داده شده ، حوضچه مذاب و قوس الکتریکی است. این منطقه به علت حرارت بالا مستعد جذب عناصر و گازهای مضر از محیط اطراف است لذا جهت سالم ماندن جوش و جلوگیری از ترک خوردن و شکنندگی آن باید از منطقه جوش حفاظت شود. مواد سلولزی که در پوشش الکترود بکار می رود در حین جوشکاری و در دمای بالای جوشکاری به گاز تبدیل شده و فضای خنثی را در اطراف منطقه جوش بوجود می آورد. به علت حالت انفجاری این گازها ، عناصر مضر اطراف جوش به عقب پس زده می شوند و منطقه جوش به طور مداوم حفاظت می گردد.

۲ – افزایش پایداری قوس : قوسهای الکتریکی ناشی از فلزات به علت خاصیت منفی بودنشان ناپایدار هستند ، از طرفی با افزایش شدت جریان نسبت به سطح ، مقاومت الکتریکی قوس کاهش می یابد و در نتیجه ثبات قوس کاهش پیدا می کند لذا برای افزایش پایداری قوس و سهولت در جوشکاری , موادی به پوشش اضافه می شود. این مواد نمی توانند فلزی نبوده و موادی مثل سیلیکاتها ، کربناتها و اکسیدها برای این منظور به پوشش اضافه می شوند.

۳ – کنترل سرعت سرد شدن جوش : مواد معدنی که با هدف سرباره سازی به پوشش اضافه می شوند بسیار سریعتر از فلز جوش سرد شده و منجمد می گردند. این مواد که به علت سبکی بر روی مذاب حضور دارند ، غیر فلزی بوده و لایه عایق حرارتی را بر روی جوش بوجود می آورند. این لایه باعث آهسته سرد شدن جوش می شود چراکه در صورت سریع سرد شدن فلز جوش ، منطقه جوش به علت احتمال تشکیل فازهای ترد و شکننده مستعد به ترک خوردن می شود.

۴ – کنترل ترکیب شیمیایی و تصفیه مذاب : مانند آنچه در ذوب فلزات رخ می دهد و سرباره موجود در کوره براساس عناصر موجود در خود مذاب را تصفیه کرده و مواد مضر را از مذاب خارج می کند در مذاب جوش نیز مواد سرباره یا گل جوش عناصر مضر را از مذاب خارج کرده و باعث تصفیه فلز جوش می شود.

۵ – افزایش پودر آهن و عناصر آلیاژی : در برخی از کاربردها برای افزایش نرخ رسوب ، بهبود شکل گرده ، پایداری قوس و افزایش شدت جریان مصرفی به پوشش پودر آهن اضافه می شود. علاوه برآن در جوشکاری فولادهای آلیاژی برای جبران کمبود عناصر آلیاژی در منطقه جوش ، از طریق پوشش عناصر آلیاژی مورد نظر را به جوش اضافه می کنند.

بر اساس آنچه که گفته شد حال می توان به تقسیم بندی الکترودهای پوشش دار بر مبنای جنس پوشش پرداخت. در این تقسیم بندی الکترودها به ۷ دسته تقسیم می شوند :

1 – الکترودهاي سلولزي (با علامت C)

در پوشش این نوع الکترودها حدود ۴۰ – ۳۵ ٪ مواد سلولز بکار رفته و روپوش آن نازک می باشد. این مواد سلولزی در موقع جوشکاری تبدیل به گاز دی اکسید کربن و منواکسید کربن می شود لذا محافظت از منطقه جوش در

این الکترودها بیشتر با گاز است. سرباره این نوع الکترود سبک بوده و نفوذ آن بسیار زیاد است. به علت نفوذ زیاد جوش این نوع الکترود از آن در پاسهای ریشه و جاهاییکه به تردی هیدروژنی حساسیت ندارد (پاس ریشه لوله ها) استفاده می شود. نفوذ زیاد الکترود سلولزی به خاطر مقدار کم اکسیژن (در حدود ۰/۲۰ ٪) ، مقدار بالای هیدروژن (۱۵ **ml** در ۱۰۰ گرم جوش) و حضور عناصری مثل **C , H , N , O** در پوشش است که با سوختن آنها حرارت قوس و قدرت پلاسما جت قوس افزایش یافته ، ذرات مذاب با سرعت بیشتری به قطعه برخورد می کنند و در نتیجه نفوذ افزایش چشم گیری پیدا می کند. این نوع الکترود برای کارایی بهتر به ۶ – ۲ ٪ رطوبت نیاز دارد لذا هیچ گاه این نوع الکترود خشک نمی شود. جوشکاری با الکترودهای سلولزی همراه با دود فراوان و پاشش ذرات مذاب می باشد و جوش حاصل دارای قابلیت ماشین کاری متوسط ولی مسطح و مرغوب است. سرعت ذوب الکترودهای سلولزی زیاد بوده و آمپر مصرفی آنها از دیگر الکترودها کمتر است. مثال بارز این دسته از الکترودها که در صنعت بسیار کاربرد دارد الکترودهای **E-60 10** و **E-70 10** است.

2 – الکترودهاي روتيلي (با علامت R يا RR براي پوششهاي ضخيم)

روتیل به ماده معدنی اکسید تیتانیوم اطلاق می شود. در پوشش الکترودهای روتیلی حدود ۵۰ – ۴۰ ٪ اکسید تیتانیوم وجود دارد. روتیل بکار رفته در پوشش این الکترود به دو صورت طبیعی (شن سیاه رنگ) و مصنوعی (تیتان سفید) می باشد که علاوه بر افزایش خواص و کیفیت جوش باعث تسهیل در برقراری قوس و آسان جدا شدن سرباره یا گل جوش از سطح جوش می شود. حساسیت الکترودهای روتیلی به رطوبت کم است. تقریبا ۶۰٪ حجم تولید الکترود روپوش دار مربوط به الکترودهای روتیلی است. نوع پوشش ضخیم آن (**RR**) خواص مناسبی را به همراه کیفیت مطلوب ارائه می دهد و نوع پوشش نازک آن (**R**) به علت داشتن قطرات مذاب درشت در وضعیتهای مشکل بکار می رود اما به طور کلی الکترودهای روتیلی برای تمام وضعیتها مناسب هستند. نفوذ متوسط جوش ، آرام بودن قوس ، داشتن گرده جوش نرم با مهره های مرتب و پاشش کم ذرات مذاب , جوشکاری با این الکترود را آسان کرده است. در مقابل تمامی این مزایا ، الکترودهای روتیلی برای جوشکاری ورقهای با ضخامت بالای ۲۰ میلی متر مناسب نبوده ، مقاومت به ضربه آنها در دمای زیر صفر کم بوده ، مقدار زیادی هیدروژن در جوش ایجاد می کنند و برای جوشکاری فولادهای با کربن بالاتر از ۰/۲ ٪ مناسب نیستند. مثال بارز الکترودهای روتیلی الکترود **E – 6012** و **E – 6013** است. الکترود **E – 6013** به الکترود همه کاره معروف است که در تمام وضعیتهای جوشکاری و با هر نوع جریانی برای جوشکاری قطعات ضخیم و نازک مناسب می باشد. قابل ذکر است که در صنعت از ترکیب مواد سلولزی ، قلیایی و اسیدی با پوششهای روتیلی الکترودهایی همچون الکترود روتیلی – سلولزی ، روتیلی – بازی و روتیلی – اسیدی به دست آمده است که به آنها الکترودهای مرکب می گویند و هریک کاربرد مخصوص به خود را دارد. خواص این دسته از الکترودها ترکیبی از خواص دو نوع پوشش ترکیبی است.

3 – الکترودهاي قلیایي یا بازي یا الکترود سرد (با علامت B)

در پوشش این نوع الکترود که به الکترود کم هیدروژن نیز معروف است درصد بالایی از کربناتهای قلیایی (۳۵ – ۲۰ ٪) همچون کربنات کلسیم و کربنات منیزیم و فلواسپار دیده می شود. جوش حاصل از این نوع الکترود دارای بهترین خواص مکانیکی و متالورژیکی مانند استحکام و ایمنی بالا در مقابل ترک (سرد و گرم) می باشد. الکترودهای قلیایی برای جوشکاری در تمام وضعیتها به جز وضعیت سرازیر مناسب هستند. گل جوش این نوع الکترود توانایی حذف گوگرد و فسفر را از مذاب جوش داشته و تنها الکترودی است که در صورت جوشکاری با آن در حالت کاملا خشک جوشی با حداقل مقدار هیدروژن بوجود می آید. الکترود قلیایی را برای جوشکاری هر ضخامتی می توان بکار برد و اکثر فولادهای کربنی و کم آلیاژ را می توان با این الکترود جوش داد.گل جوش این دسته از الکترودها نیز همانند الکترود روتیلی به راحتی جدا شده و قوسی نرم را تولید می کند ، ظاهر گرده جوش نیز مناسب می باشد. سخت روشن شدن مجدد قوس ، حساسیت به رطوبت و جوشکاری فقط با جریان مستقیم از معایب این الکترود است. الکترودهای **E-7016 , E-7015 , E-7018** از دسته الکترودهای قلیایی هستند که البته در پوشش الکترود **E-7018** پودر آهن نیز بکار رفته است. کاربرد این نوع الکترودها در جوشکاری فولادهای ساختمانی پر منگنز و مخازن تحت فشار می باشد. قابل ذکر است که روپوش الکترودهای قلیایی بسیار ترد و شکننده است لذا هر گونه ضربه و یا خمش به روپوش آن آسیب می رساند. در حمل و نقل این الکترود باید به این نکته توجه کرد.

4 – الکترودهاي اسیدي یا الکترودهاي گرم (با علامت A)

یکی از مشخصه های بارز این نوع الکترودها وجود اکسید آهن و مواد احیا کننده مثل فرومنگنز در پوشش الکترود است. تشکیل سرباره اسیدی حجیم توسط پوشش ضخیم الکترود باعث انتقال ظریف و روان قطره های ریز مذاب شده و سطح هموار و صافی را ایجاد می کند. این نوع الکترود برای جوشکاری در وضعیتهای مشکل و درزهای بسته مانند اتصالات سپری مناسب است و مقاومت خوبی در برابر ترک ناشی از انجماد دارد. استحکام این نوع الکترود از نوع روتیلی کمتر است. از دیگر مشخصه های بارز این نوع الکترود که از زمره الکترودهای مرغوب یا نوع **A** است ، توان بالای ذوب و آسان جدا شدن گل جوش می باشد. با توجه به مطالب گفته شده اکثر جوشکاران جهت استفاده از این نوع الکترود علاقه ای از خود نشان نمی دهند چراکه در حین جوشکاری ذرات ریز جرقه مانند به اطراف پراکنده می شود و شدت جریان کاربردی آن نسبت به الکترودهای هم قطر انواع دیگر بیشتر است. الکترود **E-7027** که در پوشش خود دارای پودر آهن نیز می باشد از دسته الکترودهای اسیدی است.

5 – الکترودهاي اکسیدي (با علامت O)

این نوع پوشش محتوی اکسید آهن و سیلیکاتهای طبیعی مانند کائولین ، تالک ، میکا و فلداسپار می باشد. این الکترود را به این جهت اکسیدی می نامند که مذاب جوش مقدار زیادی **FeO** جذب می کند. در مقایسه با ۴ نوع قبلی الکترودها ، استحکام الکترودهای اکسیدی کمترین مقدار را دارد اما در مقابل دارای ظاهری بسیار خوب می باشد.

این امر سبب شده تا از این نوع الکترود در کارهای تزئینی استفاده شود. گل جوش این نوع الکترودها به راحتی جدا شده و چون فلز جوش بسیار سیال است بیشتر برای اتصالات گوشه ای و درزهای بسته کاربرد دارد.

در کنار ۵ دسته اصلی الکترودها که بر اساس جنس پوشش تقسیم شده بودند دو دسته دیگر از الکترودها هم وجود دارند که در عملیات جوشکاری کاربرد فراوانی داشته و توجه ویژه ای به آنها می شود.. این الکترودها شامل الکترودهای پودر آهن دار و الکترودهای کم هیدروژن می باشد. هریک از ۵ دسته اصلی الکترودها می توانند کم هیدروژن یا پودر آهن دار باشند که در ادامه به توضیح آنها می پردازیم.

الف) الکترودهاي پودر آهن دار

این نوع الکترودها دارای پوشش ضخیم بوده و معمولا بین ۵۰ – ۲۵ ٪ پودر آهن دارند. پوشش ضخیم استفاده از شدت جریان بیشتر بدون ایجاد نفوذ اضافی و خوردگی کناره جوش و تولید جرقه بیشتر و همچنین چسبیدن الکترود به دو قطعه در هنگام جوشکاری را امکان پذیر می سازد. پودر آهن نرخ رسوب را افزایش داده و شکل گرده را صاف و یکنواخت می کند. گرده جوش این نوع الکترودها حجیم بوده و بیشتر در حالت تخت و اتصال سپری کاربرد دارد.
الکترود روتیلی **E-7014** ، الکترود اسیدی **E-70 27** و الکترود قلیایی **E-7018** در پوشش خود پودر آهن دارند.

ب) الکترودهاي کم هیدروژن

پوشش شیمیایی این نوع الکترودها به طریقی است که از تشکیل و تاثیر هیدروژن در ناحیه مذاب جلوگیری می کند و به راحتی می توان با آنها قطعات ضخیمی را که در اثر حرارت زیاد جوش مستعد ترک خوردگی هستند جوشکاری نمود. فلزات در حالت مذاب مقدار زیادی هیدروژن در خود حل می کنند. با سرد شدن و انجماد مذاب ، هیدروژن موجب ایجاد تخلخل وتنش شدید داخلی شده و ترکهایی را در گرده جوش بوجود می آورد. در برخی قطعات که با الکترودهای کم هیدروژن جوشکاری می شوند می توان از عملیات پیش گرم و پس گرم صرف نظر کرد. این الکترودها حساسیت بالایی نسبت به رطوبت دارند لذا در بسته های کاملا محکم و ضد رطوبت نگه داری شده و پس از باز کردن بسته بندی سریعا به کوره خشک کن الکترود منتقل می شوند. الکترودهای **E-7015** و **E-7016** و **E-7018** که هر از دسته سه الکترودهای قلیایی نیز هستند از نوع کم هیدروژن می باشند.

نام گذاري الکترودهاي روپوش دار بر اساس استاندارد AWS

در استاندارد **AWS** جهت نام گذاری الکترودهای روپوش دار از پارامترهایی همچون نوع جریان ، نوع و جنس پوشش ، وضعیت جوشکاری ، ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی فلز جوش استفاده شده است. بر اساس این استاندارد هر یک از فلزات و آلیاژهای سازنده مغزی الکترود شماره مخصوص به خود را داشته و شرایط نام گذاری متفاوتی دارد. به عنوان مثال الکترودهای روپوش دار فولاد کم کربن دارای شماره **A5.1** و الکترودهای روپوش دار فولاد کم آلیاژ دارای شماره **A5.5** می باشد که به تفسیر به هر یک پرداخته می شود.

الف) نام گذاري الكترودهاي روپوش دار فولاد كم كربن

در این نام گذاری اعداد و حروفی برای نام گذاری هر الکترود استفاده می شود که در سیستم **AWS A5.1** یک نام مخصوص را برای هر الکترود می سازد. روش نام گذاری به شرح زیر است :

E – (X_1) X_2 X_3 – Y Y

E: ابتدای کلمه **Electrode** و علامت مشخصه الکترود روپوش دار است که در ابتدای نام تمام الکترودها دیده می شود.

X_1: به جای حرف **X_1** می تواند اعداد دو یا سه رقمی قرار گیرد و نشان دهنده استحکام کششی مغزی الکترود است. اگر عددی که به جای **X_1** قرار می گیرد در عدد ۱۰۰۰ ضرب شود استحکام مغزی الکترود بر حسب **Psi** به دست می آید. در الکترودهای روپوش دار فولاد کم کربن معمولا اعداد ۱۲۰ – ۶۰ به جای **X_1** می نشیند. مثال :

E – 7018 ⟵ استحکام کششی = **70 × 1000 = 70000 psi**

E – 6013 ⟵ استحکام کششی = **60 × 1000 = 60000 psi**

با ضرب اعدادی که به جای **X_1** قرار می گیرد در عدد **0.7** استحکام کششی مغزی الکترود بر حسب $\frac{Kg}{mm^2}$ به دست می آید.

X_2 : این عدد که معمولا یکی از اعداد ۱ و ۲ و ۳ و ۴ به جای آن قرار می گیرد نشان دهنده وضعیت جوشکاری است بدین معنی که عدد ۱ تمام وضعیتها ، عدد ۲ وضعیت تخت و وضعیت افقی و عدد ۴ سرازیر را نشان می دهد.

E-7024 2 ⟵ وضعیت جوشکاری = فقط وضعیت تخت و افقی

X_3: به جای علامت **X3** اعداد ۸ – ۰ قرار می گیرند که مشخص کننده نوع مواد پوشش ، نوع جریان و نوع قوس هستند و شرح کامل آنها در جدول زیر آمده است:

عدد	جنس پوشش	مواد پوشش	نوع جریان	توضیحات	مثال
۰	سلولزی	سلولز	**DCRP**	قوس نفوذی و ۱۰ – ۰ ٪ پودر آهن	**6010**
۱	سلولزی	سلولز	**AC , DCRP**	قوس نفوذی	**6011**
۲	روتیلی	اکسید تیتانیوم	**AC , DCSP**	قوس متوسط و ۱۰ – ۰ ٪ پودر آهن	**6012**
۳	روتیلی	اکسید تیتانیوم	**DC , AC**قطبیت آزاد	قوس متوسط و ۱۰ – ۰ ٪ پودر آهن	**6013**
۴	روتیلی	اکسید تیتانیوم	**DC , AC**قطبیت آزاد	دارای ۵۰ – ۳۰ ٪ پودر آهن	**7014**
۵	قلیایی	آهک	**DCRP**	کم هیدروژن	**7015**
۶	قلیایی	آهک	**AC , DCRP**	کم هیدروژن	**7016**
۷	اسیدی	اکسید آهن	**DC , AC**قطبیت آزاد	دارای ۵۰ ٪ پودر آهن	**7027**
۸	قلیایی	آهک کم آب	**AC , DCRP**	دارای ۵۰ – ۳۰ ٪ پودر آهن و کم هیدروژن	**7018**
۲۰	اکسیدی	اکسید آهن زیاد	**DC , AC**قطبیت آزاد	—	**7020**

Y Y : یک سری حروف خاص به جای **Y Y** قرار می گیرند که همیشگی نبوده و تنها در برخی از الکترودهای روپوش دار دیده می شود. تعدادی از این حروف در زیر آمده است :

M : دارای کاربرد نظامی با جذب رطوبت کم ، مقاومت به ضربه بالا و هیدروژن کم مثل **E – 7018 – M**

LC : (**Low Carbon**) : مغزی الکترود کم کربن

A1 : مقاومت به ضربه فلز جوش بالاتر از حالت عادی است.

ب) نام گذاري الكترودهاي روپوش دار فولاد كم آلياژ

در تولید الکترودهای فولادهای کم آلیاژ از پوششی شبیه به الکترودهای فولاد کم کربن استفاده می شود با این تفاوت که عناصر آلیاژی پودری به ترکیب پوشش اضافه می شوند. نام گذاری این دسته از الکترودها در رده **A5.5** استاندارد **AWS** بوده و همانند نام گذاری الکترودهای روپوش دار فولاد کم کربن است با این تفاوت که به جای **YY** ترکیب شیمیایی مغزی الکترود قرار می گیرد.

E–(X_1)X_2X_3–YY

تعدادی از علامتهایی که به جای **YY** قرار می گیرد به شرح زیر است :

A1: مغزی کم آلیاژ با ۰/۶۵ – ۰/۴ ٪ مولیبدن

B1 – B9 : مغزی کم آلیاژ کروم – مولیبدن دار

C1 – C5 : مغزی کم آلیاژ نیکل – مولیبدن دار

D1 – D3 : مغزی کم آلیاژ منگنز – مولیبدن دار

G : مغزی کم آلیاژ عمومی منگنز دار

Mn1 : مغزی کم آلیاژ منگنز – مولیبدن دار

معرفي چند الكترود روپوش دار معروف و پركاربرد

الکترود E – 6010

این الکترود را که از دسته الکترودهای سلولزی است برای جوشکاری عمومی و در تمام وضعیتها می توان استفاده کرد. گل جوش این الکترود سبک و نفوذ آن خیلی خوب است. با آن به راحتی می توان خال جوش زد و در پاس های اول از آن استفاده نمود. کاربرد آن هم در جوشکاری فولادهای کم کربن ، جوشکاری لوله ، تانکر سازی و مخازن تحت فشار به عنوان پاس ریشه یا پاس نفوذ می باشد. شدت جریان مصرفی آن هم به ازا هر میلی متر قطر مغزی الکترود ۳۰ – ۲۵ آمپر است. قطبیت جریان برای الکترود **E-6010** قطبیت معکوس است اما در عمل با قطبیت مستقیم بهتر جواب می دهد. نوع دیگری از الکترود سلولزی پرمصرف الکترود **E-6011** می باشد.

الکترود E – 6013

این الکترود یکی از متداولترین الکترودها است و به علت کاربرد بسیار زیاد به الکترود همه کاره معروف است. با الکترود **E –6013** در هر شرایطی و وضعیتی و با هر نوع جریانی می توان جوشی با خواص متوسط را ایجاد نمود. نفوذ این الکترود متوسط ، پاشش ذرات آن کم و گل جوش سبکی دارد که به راحتی از جوش جدا می شود. با الکترودهای نازک **E – 6013** قطعات نازک و با الکترودهای قطور **E – 6013** قطعات ضخیم را می توان به راحتی جوش داد. مقدار شدت جریان هم به ازا هر میلی متر قطر الکترود ۳۵ – ۳۰ آمپر است.

الکترود E – 7014

این الکترود در پوشش خود پودر آهن داشته و دارای استحکام بسیار مناسبی است و گرده جوشی با قدرت کششی مناسب را می توان با این الکترود به وجود آورد. نفوذ متوسط و جرقه کم در حین جوشکاری از دیگر مشخصات این الکترود است که به علت حجم گرده جوش زیاد از آن برای درزهای جناقی عمیق ، درزهای سپری و نبشی داخلی و در وضعیتهای تخت استفاده می شود. گل جوش این الکترود زیاد بوده و به راحتی جدا می شود، مقدار شدت جریان مصرفی هم از ۸۰ آمپر برای قطر ۲/۵ میلی متر تا ۵۰۰ آمپر برای الکترود با قطر ۸ میلی متر متغییر می باشد.

الکترود E – 7018

با توجه به پوشش این الکترود که کم هیدروژن و پودر آهن دار می باشد می توان در تمام وضعیتها جوشی خوب و با استحکام را به وجود آورد. این الکترود دارای محاسن خوبی همچون جلوگیری از ترک خوردگی خط جوش و ایجاد گرده جوش زیاد می باشد. نوع جریان در آن **AC** و **DCRP** بوده و مقدار شدت جریان به ازا هر میلی متر الکترود ۳۵ – ۳۰ آمپر می باشد. در کنار استحکام مناسب جوش حاصل از این الکترود ، می توان به مقاومت به ضربه خوب جوش نیز اشاره کرد. این الکترود حساسیت فوق العاده ای به رطوبت دارد لذا خشک کردن آن قبل از مصرف الزامی است.

الکترود E – 7024

مشخصات این الکترود همانند الکترود **E-7014** است با این تفاوت که از شدت جریان بیشتری به منظور ایجاد خط جوش مناسب می توان استفاده نمود. با این نوع الکترود باید در وضعیت تخت و نبشی داخلی تخت جوشکاری نمود. استحکام این الکترود بسیار مناسب بوده و شدت جریان مصرفی آن همانند الکترود **E-6013** می باشد.

انتخاب الکترود

هنگامی که صحبت از انتخاب الکترود برای یک کاربرد خاص به میان می آید موضوع را از دو جنبه نوع الکترود و اندازه الکترود می توان بررسی کرد. برای انتخاب درست الکترود فهرستی از الکترودهای مورد نظر تهیه می شود و بر اساس خواص مورد نظر بهترین آنها برگزیده می گردد. اما در شرایطی اگر دو نوع الکترود برای کاربرد خاصی

مناسب بودند می توان با انجام عملیات جوشکاری و بررسی عملی خواص آنها بهترین گزینه را انتخاب کرد. بهترین روند انتخاب الکترود به این شرح است

۱ – انتخاب نوع الکترود (بر اساس فاکتورهای مورد نظر)

۲ – انتخاب قطر مناسب الکترود

الف) انتخاب نوع الکترود

برای انتخاب بهترین نوع الکترود باید به موارد زیر دقت کرد :

۱ – قابلیت ایجاد قوس : برای هر کاربرد خاص باید الکترودی را انتخاب کرد که برقراری قوس با آن بسیار راحت باشد.

۲ – انتقال قطرات مذاب و قدرت پرکردن درز اتصال : شکل و سرعت قطرات مذاب جدا شده از الکترود جهت پرکردن درز اتصال بسیار مهم است. علاوه برآن پرکردن صحیح درز اتصال رابطه مستقیمی با سیالیت حوضچه مذاب دارد که متشکل از فلز پایه و فلز جوش است.

۳ – شکل و نمای نهایی جوش و قابلیت پاکسازی گل جوش : از نظر سرعت تولید و طول عمر محل اتصال , الکترودهایی مطلوب هستند که گل جوش آنها به راحتی جدا شود. همچنین داشتن گرده جوشی نرم و مهره های جوشی مرتب به زیبایی جوش ایجاد شده کمک می کند.

۴ – جنس قطعه کار : هماهنگی و یکنواختی ترکیب شیمیایی فلز پایه با مغزی الکترود فاکتوری است که بر دوام و استحکام جوش نهایی تاثیر مثبت و مهمی دارد.

۵ – ریز ساختار قطعه کار : قطعات نرم و یا نورد شده راحتتر از قطعات سخت و ریخته گری شده جوشکاری می شوند.

۶ – وضعیت جوشکاری : ماهیت مذاب الکترود از نظر سیالیت باید در جوشکاری وضعیتهای سربالا ، سرازیر و سقفی در نظر گرفته شود. به طور حتم سیالیت مغزی الکترود در حالت تخت با سیالیت الکترود در حالت سقفی باید متفاوت باشد.

۷ – شرایط خدماتی : این شرایط شامل مواردی همچون مقدار تنش وارده ، نوع تنش ، دمای کار ، نوع محیط خورنده ، مقدار جوش ، نوع عملیات حرارتی و طرح اتصال می باشد. به عنوان مثال اگر دمای کاری قطعه کار بالا رود استحکام و مقاومت به ضربه افت کرده و یا اگر تنش کاری **60 Ksi** و به صورت کششی – استاتیکی باشد الکترود **E – 60 X X** مناسب است اما اگر تنش کاری **60 Ksi** به صورت برشی باشد الکترود **E – 90 X X** را انتخاب خواهیم کرد.

۸ – نوع جریان : بسیاری از انواع پوششها را نمی توان با هر نوع جریان و یا با هر نوع قطبیت جوشکاری کرد. درانتخاب نوع پوشش و نوع الکترود باید به نوع جریان کاربردی نیز دقت داشت.

۹ – میزان نفوذ جوش : در اتصالاتی که جهت اطمینان از استحکام جوش باید عمق نفوذ به میزان کافی باشد از الکترودهایی استفاده می شود که حداکثر عمق نفوذ را داشته باشند مانند الکترودهای سلولزی

۱۰ – ملاحظات هزینه : در فرآیند تولید یکی از مهم ترین فاکتورها ، هزینه تمام شده محصول می باشد. مسلم است که در محصولات جوشکاری هزینه تهیه الکترود تاثیر مستقیم بر روی هزینه نهایی محصول دارد.

ب) انتخاب اندازه الکترود

انتخاب درست اندازه الکترود برای یک کاربرد مشخص به اندازه انتخاب درست نوع الکترود حائز اهمیت است در این موضوع نیز نکات زیر باید مد نظر قرار گیرد :

۱ – طرح اتصال : معمولا اتصالات سپری را نسبت به اتصالات لب به لب با الکترود بزرگتری می توان جوشکاری نمود.

۲ – ضخامت قطعه : قطر الکترود با ضخامت قطعه کار رابطه مستقیم دارد اما معمولا قطر الکترود از ضخامت قطعه کار کوچکتر انتخاب می شود. البته جوشکاران بسیار ماهر برای افزایش سرعت تولید الکترودهای قطور را ترجیح می دهند.

۳ – وضعیت جوشکاری : در وضعیتهای سخت مانند عمودی و سقفی الکترودهای نازک تر انتخاب می شود چراکه با کاهش قطر الکترود ، طول قوس کمتر شده و کنترل قوس و حوضچه مذاب راحت تر می شود اما در مقابل در وضعیتهای تخت و افقی مشابه می توان از الکترودهای ضخیم تر استفاده کرد.

۴ – هزینه تمام شده : هرچه قطر الکترود بیشتر باشد به لحاظ سرعت در تولید هزینه ها کاهش می یابد.

۵ – مقدار جریان : هرچه شدت جریان بیشتری برای جوشکاری در نظر گرفته شود اندازه الکترود بزرگتر می شود اما افزایش قطر الکترود با مشکل تر شدن عملیات جوشکاری همراه است.

۶ – شرایط قطعه کار : در جوشکاری لوله و سایر اتصالات لب به لب پخ خورده پاس اول را با الکترودهای نازک ۲/۵ و یا ۳/۲ میلی متر جوشکاری می کنند و پاسهای باقیمانده را با الکترودهای ۴ و یا ۵ میلی متر جوشکاری می نمایند.

کنترل کیفیت الکترود

پس از پایان مرحله انتخاب که با در نظر گرفتن تمام شرایط مذکور صورت پذیرفته حال نوبت به تهیه و سفارش الکترود می رسد. شرکتهای سازنده مختلفی می توانند الکترود مورد نظر شما را ارائه دهند اما جهت حصول اطمینان از همخوانی شرایط الکترود خریداری شده با شرایط از پیش تعیین شده الکترود ، باید آزمونهای مختلفی را بر روی الکترود انجام داد. لازم است قبل از توضیح آزمونهای الکترود به عوامل تخریب و فساد الکترود بپردازیم چراکه شناسایی این عوامل به بررسی نتایج آزمونها کمک خواهد کرد. عوامل فساد و تخریب الکترود به شرح زیر است :

۱ – رطوبت : وجود رطوبت در پوشش عوارضی همچون ترک خوردگی ناشی از هیدروژن ، تخلخل H_2 و H_2O و پاشش زیاد ذرات را در پی دارد. علاوه بر آن تمام الکترودها در حد مجاز پذیرش رطوبت یکسان نیستند و بسته به نوع پوشش و استحکام الکترود این حد متفاوت است لذا باید بتوان الکترود مرطوب را از الکترود خشک تفکیک کرد، راههای تشخیص این موضوع به شرح زیر است :

الف) تغییر رنگ پوشش در برخی الکترودها. رنگ الکترودهای خشک نسبت به الکترودهای تر روشن تر و کم رنگ تر است.

ب) سنگ زدن پوشش که در حالت خشک ایجاد گرد و غبار می کند.

ج) صدای برخورد الکترودها به هم که در حالت تر صدای بم را ایجاد می کند.

د) زنگ زدگی هسته

ه) باد کردن پوشش

و) راه آزمایشگاهی که توسط توزین دقیق الکترود خشک و تر و تفاوت وزن آنها انجام می گیرد.

۲ – شکستن پوشش : ترک دار بودن یا شکستن پوشش در برخی از نقاط پوشش در حین جوشکاری عوارضی همچون عدم پایداری قوس ، عدم انجام وظیفه درست پوشش و حضور پوشش به عنوان آخال در جوش را بوجود می آورد.

۳ – چربی : چرب شدن الکترود مضراتی همچون ایجاد تخلخل O_2 و H_2 ، افزایش درصد کربن و افزایش سختی پذیری فلز پایه و فلز جوش ، کاهش پایداری قوس و افزایش پاشش را در پی دارد.

۴ – چسبیدن الکترود به قطعه کار : با چسبیدن الکترود به قطعه کار و ایجاد اتصال کوتاه جریان زیادی از الکترود عبور می کند ، این امر خواص پوشش را تحت تاثیر قرار می دهد.

۵ – عدم همراستایی پوشش و مغزی : این عیب در اثر نقص فرآیند تولید بوجود می آید ، عدم حفاظت یکنواخت جوش از عوارض این عیب می باشد.

حمل و نقل و نگه داری الکترود

الکترود یکی از مصالح ضروری و ارزشمند فرآیندهای جوشکاری می باشد. موفقیت جوشکاری قوس دستی تا حد زیادی به کیفیت روپوش الکترود بستگی دارد. لذا نبایستی با الکترودهایی که تمام یا قسمتی از روپوششان ریخته شده است جوشکاری نمود. اگر روپوش الکترود خیس شود یا رطوبت ببیند , بازدهی الکترود پائین می آید. با توجه به اثرات مخرب رطوبت و هیدروژن در جوش , انبار کردن و عملیات صحیح بر روی الکترود برای به دست آوردن نتایج بهینه ضروری است. روپوش تمامی الکترودها به خصوص الکترودهای قلیایی هم در مقابل رطوبت و عوامل جوی و هم از نظر مکانیکی آسیب پذیر است و کمی بی دقتی یا سهل انگاری در نگه داری و حمل و نقل الکترودها موجب پائین آمدن کیفیت اتصالات می گردد.

الف) انبار کردن الکترودها : در انبار کردن الکترودها به خصوص برای زمانهای طولانی باید موارد زیر را به دقت در نظر گرفت :

۱ – الکترودها در اتاقکی با دمای حداقل ۱۵ درجه سانتی گراد و ۵۰ ٪ رطوبت نگه داری شود.

۲ – الکترودها باید بر حسب نوع و قطر در قفسه های جدایی چیده شود.

۳ – آب پاشی بین ردیف قفسه ها ممنوع است.

۴ – با آموزش پرسنل حمل و نقل , از آسیب دیدن الکترودها در اثر سقوط یا برخورد با قطعات دیگر جلوگیری کنید.

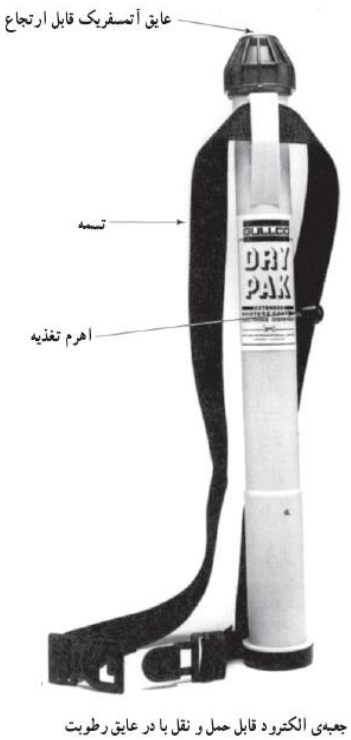
۵ – تنها به اندازه مصرف کوتاه مدت خود (حداکثر ۲ روز) از انبار اصلی الکترود خارج کنید.

۶ – از باز کردن بسته بندی الکترودها و روی زمین قرار دادن آنها جدا خودداری نمایید.

۷ – چیدن الکترودها در انبار باید بر اساس تاریخ تولید باشد به نحوی که قدیمی ترین الکترود کاملا در دسترس باشد.

۸ – الکترودها را در محل انجام عملیات جوشکاری در جایی قرار دهید که علاوه بر در دسترس بودن برای جوشکار از رطوبت و ضربه دور بماند.

ب) خشک کردن الکترود : در طی عملیات جوشکاری خشک کردن الکترود طبق دستور العمل سازنده آن انجام می شود. برای این کار از دو نوع کوره خشک کن استفاده می گردد. خشک کن اولیه که حجم بزرگتری دارد وظیفه اصلی حذف رطوبت از پوشش را برعهده داشته و خشک کن ثانویه هم با حجم کوچکتر نقش نگهدارنده الکترود در طی انجام عملیات را دارد. الکترودهای موجود در گرم کن سیار یا محفظه نگهدارنده باید به اندازه ای باشد که حتما در یک شیفت کاری مصرف شود در غیر این صورت نیاز به خشک کردن مجدد دارد. به طور معمول الکترودهای **E-6013** نیازی به خشک کردن ندارند و تنها در شرایط خاص به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد خشک می شوند. الکترودهای **E-6010** هم هیچگاه خشک نمی شوند چراکه این نوع الکترود برای سهولت در جوشکاری حتی نیاز به ۶ – ۲ ٪ رطوبت دارند اما الکترود **E-7018** به طور حتم باید خشک شود تا هیدروژن جذب شده از هوا خارج شده و خطر عیوبی همچون ترک هیدوژنی از بین برود و همچنین پایداری قوس بهتر و پاشش کمتر شود. این الکترود به مدت ۳ – ۲ ساعت و در دمای ۳۵۰ – ۲۵۰ درجه سانتی گراد خشک می شود. پس از خشک کردن و انتقال به کارگاه ، این الکترودها در محفظه های نگهدارنده با دمای ۱۲۰ – ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار می گیرد. الکترودهای **E-7018** را ۵ – ۲ بار می توان خشک کرد ولی استفاده نکرد. نکته مهم در مورد خشک کردن الکترودهای کم



جعبه‌ی الکترود قابل حمل و نقل با در عایق رطوبت

هیدروژن این است که خشک کردن ، حمل و نقل و مصرف این الکترودها به علت قابلیت جذب رطوبت و هیدروژن بالای موجود در پوشش باید دقیقا طبق دستورالعمل سازنده باشد.

کاربرد الکترود با

روپوش ترک دار . معیوب

و مغزی زنگ زده

به هیچ عنوان مجاز نمی باشد.

فصل ششم

نقشه خوانی WPS

www.iran-mavad.com

مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

وضعیت های جوشکاری

وضعیت جوشکاری حالت و شرایط قرار گرفتن قطعه نسبت به جوشکار است که به عنوان مثال می تواند روبروی جوشکار ، بالای سر جوشکار ، بر روی سطح افق و .... باشد. در میان تمام وضعیتهای ممکن چهار وضعیت استاندارد شده وجود دارد که به طور عموم در تمام روشها و در کلیه کاربردها از آنها استفاده می شود. این چهار وضعیت به تفسیر در ادامه توضیح داده شده است.

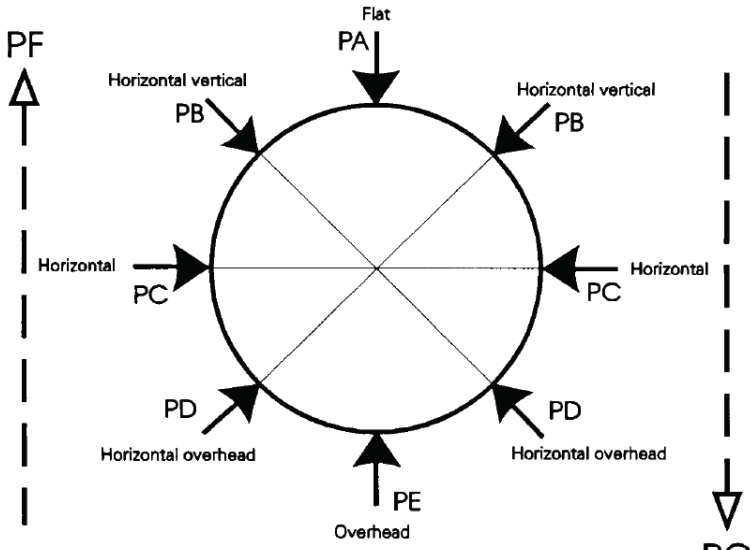
1 – وضعیت تخت (Flat)

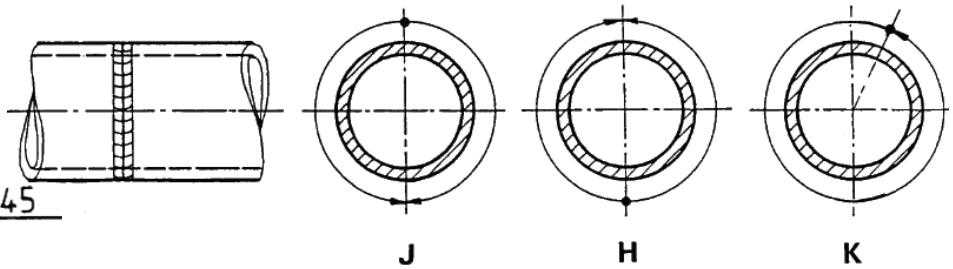
2 – وضعیت افقي (Horizontal)

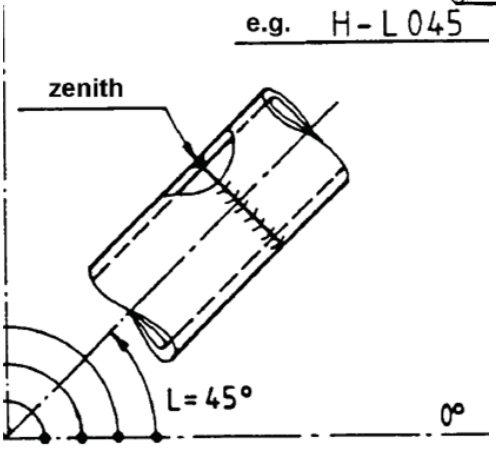
3 – وضعیت عمودي یا قائم (Vertical)

4 – وضعیت سقفي (Over Head)

وضعیت های جوشکاری طبق استاندارد EN (ISO6947)

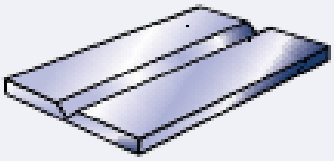
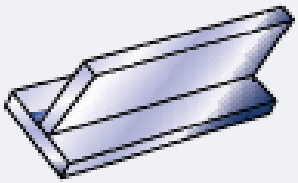
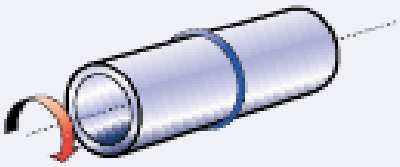
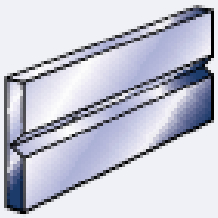
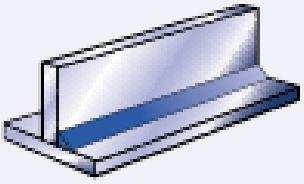
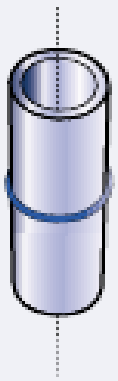
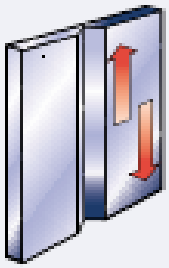
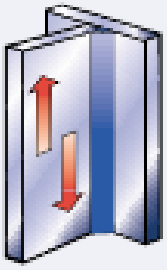
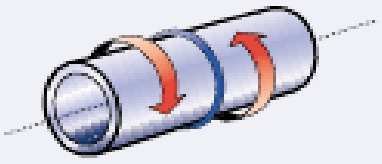
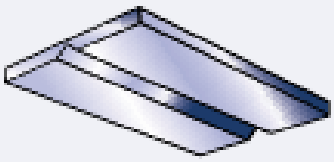
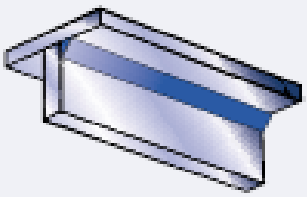
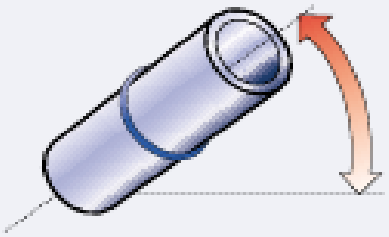






www.iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

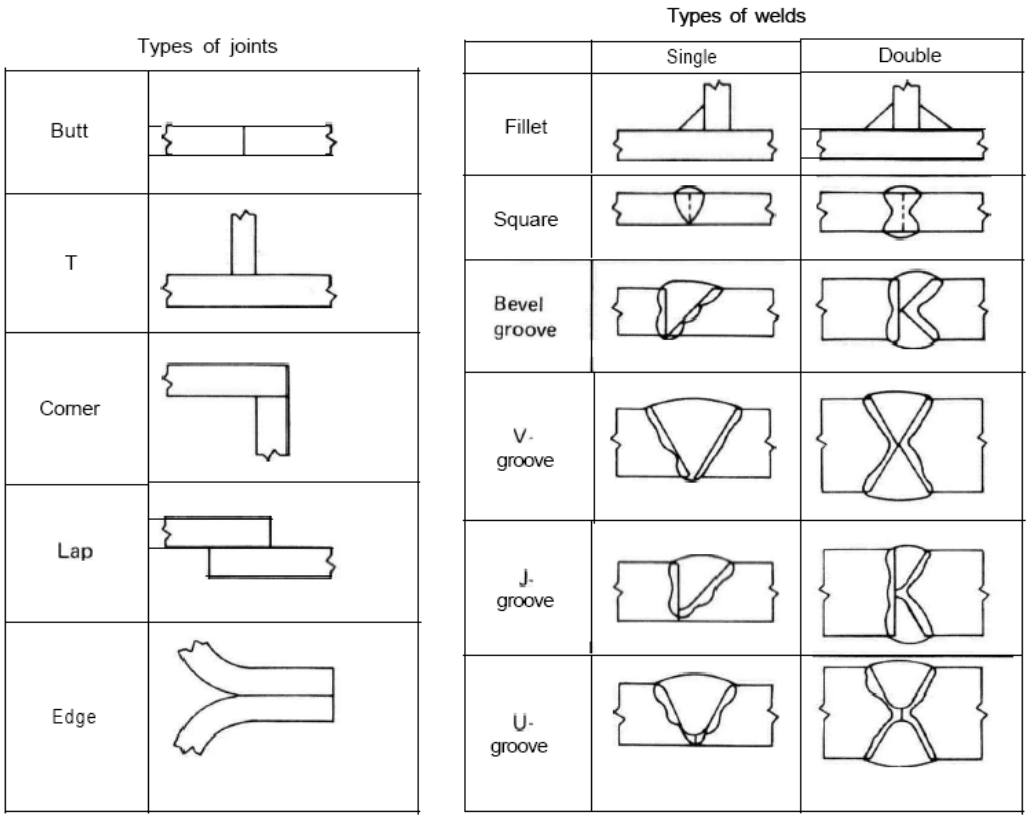
وضعیت های جوشکاری طبق استاندارد AWS:

Butt welds	Fillet welds	Pipe welds
 AWS: 1G	 AWS: 1F	 AWS: 1G
 AWS: 2G	 AWS: 2F	 AWS: 2G
 AWS: 3G	 AWS: 3F	 AWS: 5G
 AWS: 4G	 AWS: 4F	 AWS: 6G

www.iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد
Sayyed Reza Taghavi Shahri

انواع طرح اتصال و نوع جوش

بر طبق استاندارد **AWS** بایستی توجه داشت که این دو اصطلاح در مستندات جوشکاری با یکدیگر تفاوت دارد که می توانید آنها را در جدول زیر مشاهده کنید. همانطور که مشاهده می‌کنید ما تنها ۵ طرح اتصال و ۷ نوع جوش داریم.



❖ **Types of joints:** انواع طرح اتصال

- **Butt:** سر به سر
- **T:** تی شکل
- **Corner:** گوشه ای
- **Lap:** لب روی هم
- **Edge:** لبه ای

❖ **Types of welds:** انواع جوش

- **Fillet:** سپری
- **Square:** چهارگوش(بدون آماده سازی)
- **Bevel Groove:** پخ نیم جناقی
- **V Groove:** با پخ جناقی
- **J Groove:** با پخ نیم لاله‌ای
- **U Groove:** با پخ لاله‌ای

عوامل موثر در انتخاب نوع و مقدار پخ

فاکتورهای فراوانی در انتخاب نوع پخ ، زاویه پخ ، ارتفاع پخ و .... دخیل هستند. در طراحی اتصال جوش و طراحی پخ باید تک تک این فاکتورها را در نظر گرفت. در ادامه به اختصار به تعدادی از این فاکتورها اشاره می کنیم :

۱ – ضخامت قطعه کار : به طور کلی با افزایش ضخامت قطعه کار برای دستیابی به یک اتصال مطمئن میزان پخ زنی بیشتر می شود. یک قانون تجربی در پخ زنی می گوید : در پخ سازی قطعات با ضخامت کمتر از ۱۵ میلی متر از پخ یک طرفه و در قطعات با ضخامت بیش از ۱۵ میلی متر از پخ دو طرفه استفاده می کنند.

۲ – هزینه پخ زنی : این فاکتور رابطه مستقیم با انتخاب نوع پخ دارد به این معنی که پخ های جناقی به علت سادگی و سرعت در آماده سازی از پخ های لاله ای کم هزینه تر هستند چراکه ایجاد پخ لاله ای نیاز به ماشین کاری قطعه کار دارد اما پخ جناقی را می توان با تجهیزات ساده ایجاد نمود.

۳ – مقدار فلز جوش مصرفی : این فاکتور هم با انتخاب نوع پخ در ارتباط مستقیم است. پخ لاله ای در مقایسه با پخ جناقی به فلز جوش کمتری نیاز داشته و به طبع پیچیدگی کمتری ایجاد می کند. از طرفی پخ دو طرفه نسبت به پخ یک طرفه فلز جوش کمتری را در خود جای داده و میزان پیچیدگی را کاهش می دهد.

۴ – مقاومت در برابر تنشها : به طور کلی پخ های دو طرفه در مقایسه با پخ های یک طرفه و پخ لاله ای نسبت به پخ جناقی از مقاومت بهتری در مقابل تنش ها برخوردار هستند.

۵ – دقت ابعادی : برای دستیابی به حداکثر دقت ابعادی و حداقل پیچیدگی باید حداقل مقدار پخ زنی در نظر گرفته شود.

۶ – پیچیدگی : رابطه پیچیدگی با پخ سازی در شماره سه بررسی شد.

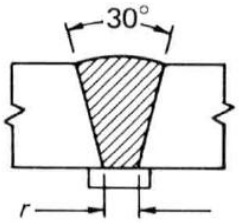
۷ – دسترسی به محل جوش : در محلهایی که دسترسی به طرف دیگر قطعه یا جوش نباشد پخ دو طرفه کاربرد نداشته و از پخ یک طرفه استفاده می شود.

۸ – وضعیت جوشکاری : به عنوان مثال برای نگهداری مذاب جوش در مسیر جوشکاری و در وضعیت افقی از نیم پخ به جای پخ کامل استفاده می شود.

۹ – نوع فلز پایه : برای فلزاتی که سیالیت کمی دارند جهت پر شدن بهتر درز از زاویه پخ بیشتری استفاده می کنند مثل نیکل که زاویه پخ بیشتری نسبت به فولاد دارد. یا زاویه پخ چدن که از فولاد بیشتر است چراکه به علت کربن بالای چدن باید به کمک زاویه پخ زیاد اجازه خروج گازها را از جوش داد.

پشت بند (Backing)

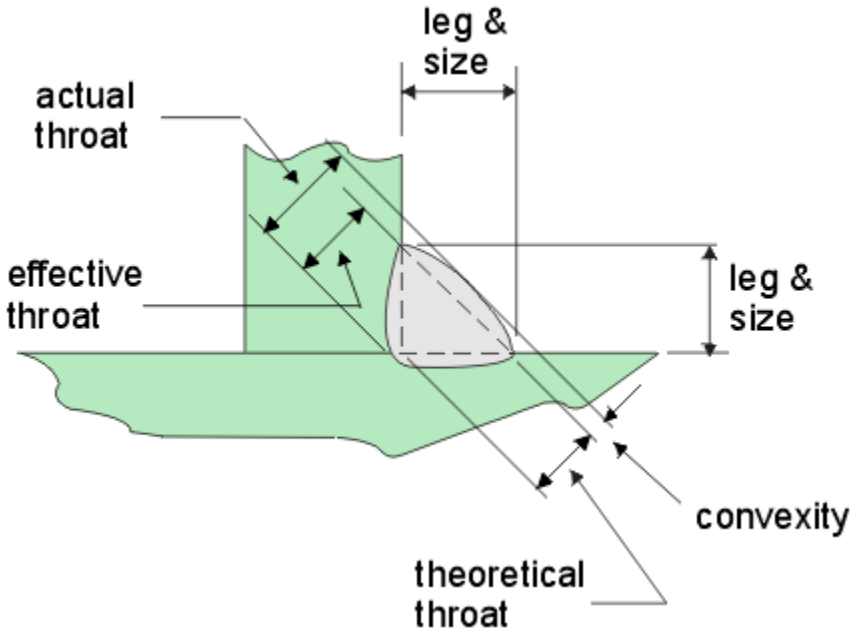
هنگام جوشکاری قطعات ضخیم برای رسیدن به یک اتصال مطمئن ، پخ زنی قطعات یک امر اجتناب ناپذیر است. در قطعات پخ خورده پاس نفوذی مهم ترین و اساسی ترین پاس جوش می باشد که در اتصال مستحکم دو قطعه نقش مهمی را ایفا می کند. پاس نفوذ معمولا در قطعاتی که یک طرفه پخ خورده اند و به پشت قطعه دسترسی وجود ندارد

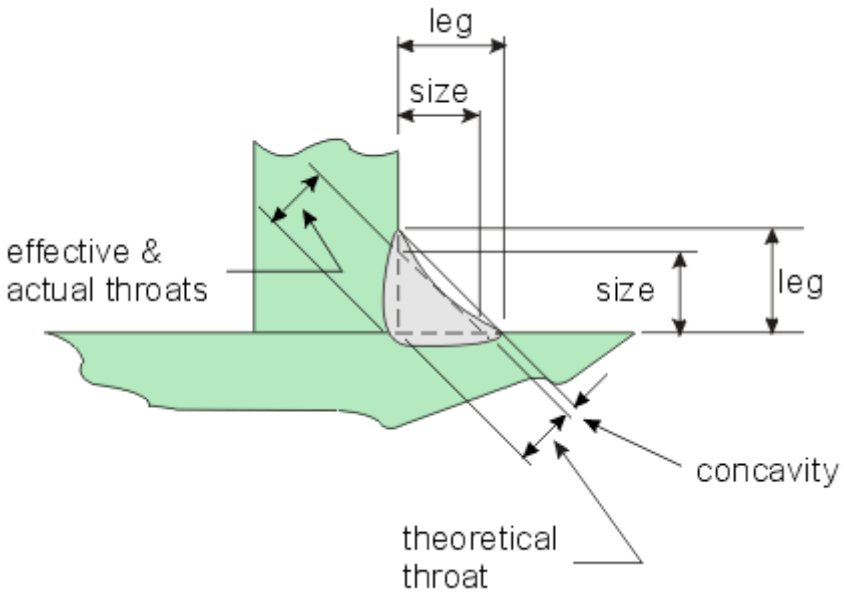


بکار می رود .اما در قطعاتی که دو طرفه پخ می خورند ، یا قطعاتی که یک طرفه پخ خورده اند و امکان دسترسی به پشت آنها وجود دارد از جوش پشتی یا **back weld** استفاده می شود. همچنین در اتصالاتی که فاصله ریشه زیاد بوده و یا به نوعی می خواهند از ریزش و یا اکسید شدن فلز جوش پاس اول جلوگیری کرده سرعت جوشکاری را بالا ببرند از پشت بند استفاده می کنند. بسته به نوع فلز پایه , روش جوشکاری و هدف استفاده از پشت بند , جنس آن متغییر بوده و می تواند فلزی (معمولا مسی) , سرامیکی , پودری و حتی جریانی از گاز خنثی باشد .

اصطلاحات در جوش فیلت:

Leg:ساق جوش
Throat: گلویی
Convexity: تحدب
Concavity: تقعر





علایم و نقشه خواني در جوشكاري

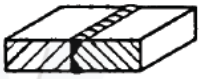
نتایج و دست آوردهای طراحی و محاسبات جوش جهت اجرا و رعایت در حین انجام عملیات جوشکاری بر روی نقشه هایی پیاده می شود. در این نقشه ها برای بیان جزئیات عملیات جوشکاری از علایم ونشانه هایی استفاده شده است که می توان آنها را زبان علم جوشکاری نامید. دراین زبان طرح اتصال ، نوع جوش ، محل جوش ، اندازه جوش وحتی روش جوشکاری و ابعاد مورد نیاز آورده می شود و هر متخصص علم جوشکاری و حتی جوشکاران ماهر باید توانایی خواندن این علایم و نقشه ها و تبدیل آنها به دستورات عملی را داشته باشند.

علایم اولیه کار با این نقشه ها در جدول ذیل آمده است.

Table 1: Selected elementary symbols

No.	Designation	Illustration	Sym-bol
2	Square butt weld		‖
3	Single-V butt weld		V
4	Single-bevel butt weld		/
5	Single-V butt weld with broad root face		Y
6	Single-bevel butt weld with broad root face		K
7	Single-U butt weld (parallel or sloping sides)		Y
14	Steep-flanked single-V butt weld		⅄
9	Backing run		⊃
12	Spot weld		○
10	Fillet weld		△

Table 2: Combined symbols

No.	Designation	Illustration	Sym-bol
3-3	Double-V butt weld		X
4-4	Double-bevel butt weld		K
5-5	Double-V butt weld with broad root face		X
6-6	Double-bevel butt weld with broad root face		K
7-7	Double-U butt weld		X
3-9	Single-V butt weld and backing run		V
10-10	Double fillet weld		⊳

موسسات و مراکز معتبر مختلفی درجهت استانداردسازی و هماهنگی علایم ونشانه های جوشکاری تلاش کرده اند. دو مورد از معتبرترین موسسات ، انجمن جوشکاری آمریکا (**AWS**) وموسسه **ISO** یا استاندارد اروپا می باشد. جهت روشن شدن هریک از این استانداردها درادامه به تشریح آنها می پردازیم:

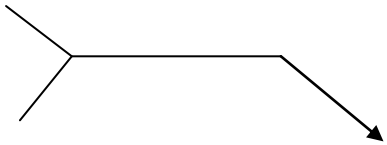
استاندارد انجمن جوشكاري آمريكا AWS در نقشه خوانی:

دراین استاندارد می توان علایم ونشانه ها را به دو دسته کلی علایم عمومی وعلایم اختصاصی تقسیم کرد. علایم عمومی ، به علایمی گفته می شود که برای انواع جوشها به کار رفته وعلایم خصوصی بر روی آنها قرار می گیرند. درمقابل ، اختصاصی به علایمی اطلاق می شود که به یک نوع جوش خاص اختصاص دارد. علایم اختصاصی خود به

زیرمجموعه هایی تقسیم می شوند : علایم جوش لب به لب یا سر به سر (**Butt Joint**) ، علایم جوش لب روی هم (**Lap Joint**) ، علایم جوش گوشه ای (**Fillet Joint**) وعلایم جوش لبه ای یا پیشانی (**edge Joint**)

علایم عمومي جوش در استاندارد AWS

علائم عمومی جوش دراستاندارد **AWS** همانند شکل زیر می باشد. این شکل که در تمام نقشه ها و انواع جوشها کاربرد دارد از قسمتهای مختلفی تشکیل شده است.



۱ – خط پیکان یا خط نشانه : همان طور که در شکل نیز مشخص است خط پیکان خطی است که از یک طرف دارای پیکان بوده و از طرف دیگر به خط مرجع متصل می گردد. نوک پیکان در خط نشانه محل اتصال یا محل جوشکاری را نشان می دهد.

۲– خط مرجع : درتمام نقشه ها خط مرجع به صورت یک خط افقی مشاهده می شود که علایم اختصاصی یا علایم مهمی چون اطلاعات نوع اتصال ، نوع جوش ، ابعاد پخ ، ابعاد درز اتصال و... برروی آن قرار می گیرد.

یک قانون کلی در استاندارد **AWS** می گوید : هرگاه علامت جوش در پایین خط مرجع قرار گرفت محلی را که پیکان به آن اشاره می کند باید جوشکاری کرد و هرگاه علامت جوش در بالای خط مرجع وجود داشت طرف مقابلی را که پیکان به آن اشاره می کند باید جوش داد.

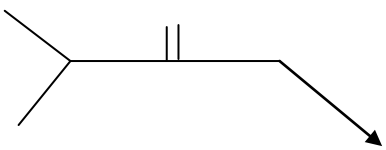
۳– دم : این علامت که همیشه در انتهای خط مرجع قرار می گیرد جهت نشان دادن اطلاعات اضافی مانند نوع فرآیند ، نوع الکترود و نوع جریان بکار می رود.

علایم اختصاصی

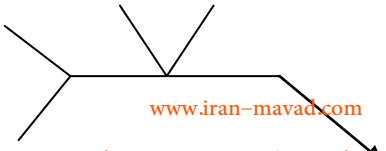
الف) علایم اختصاصی جوش لب به لب (Butt Joint)

همان طور که در فصل گذشته عنوان شد در این نوع جوش بسته به ضخامت قطعه کار حالتهای مختلفی از اتصال وجود دارد. هر یک از این حالات علامت مخصوص به خود را دارد که علایم اختصاصی جوش لب به لب را می سازند. این علایم اختصاصی که بر روی علایم عمومی و به طور مشخص بر روی خط مرجع قرار می گیرد به شرح زیر است :

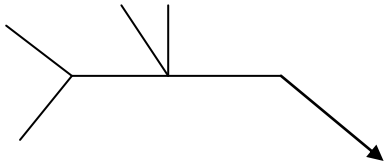
جوش لب به لب بدون پخ سازی و فاصله



جوش لب به لب با پخ جناقی یک طرفه



www.iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد



جوش لب به لب با نیم پخ جناقی یک طرفه

جوش لب به لب با پخ جناقی دو طرفه

جوش لب به لب با نیم پخ جناقی دوطرفه

جوش لب به لب با پخ لاله ای یک طرفه

جوش لب به لب با نیم پخ لاله ای یک طرفه

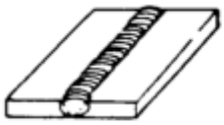
جوش لب به لب با نیم پخ لاله ای دوطرفه

جوش لب به لب با پخ لاله ای دوطرفه

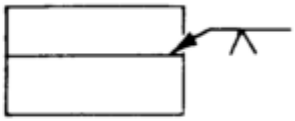
جوش لب به لب بدون پخ سازی به همراه گرده محدب

جوش لب به لب بدون پخ سازی با گرده مقعر

هرکدام از علایم فوق می تواند برای نشان دادن نوع اتصال برروی خط مرجع قرار گیرد. برای روشن شدن مطلب چند مثال در شکل زیر آورده شده است. نکته مهم این که در تمام طرح اتصالات که از نیم پخ استفاده می شود خط راست باید درسمت چپ بیننده قرار گیرد.

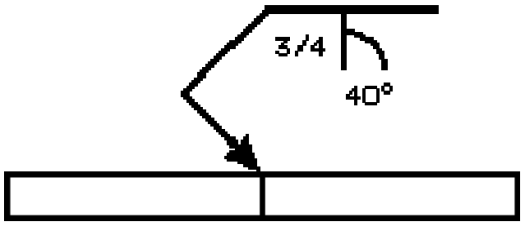


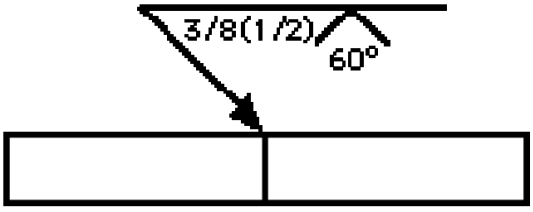
DESIRED WELD

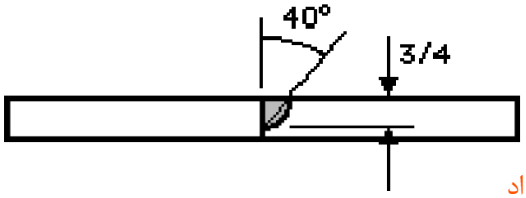


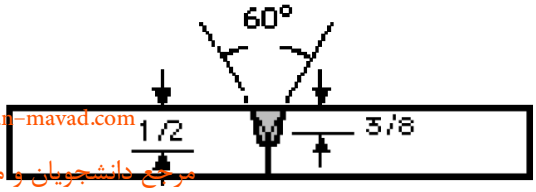
TOP VIEW

برای مشخص کردن ابعاد مختلف جوش ، در کنار علایم فوق اعدادی قرار می گیرد. این اعداد نشان دهنده سطح مقطع جوش ، طول جوش و زاویه پخ می باشد. ابعاد اصلی که مربوط به سطح مقطع جوش می باشد درسمت چپ علامت نوشته می شود. ابعاد طولی در سمت راست قطعه نوشته می شود و زاویه پخ در دهانه علامت آورده می شود. لازم به ذکر است که این اعداد می تواند براساس واحد اینچ و یا میلی متر برروی نقشه آورده شود. جهت درک بهتر این مطلب به مثالهای زیر دقت نمایید.









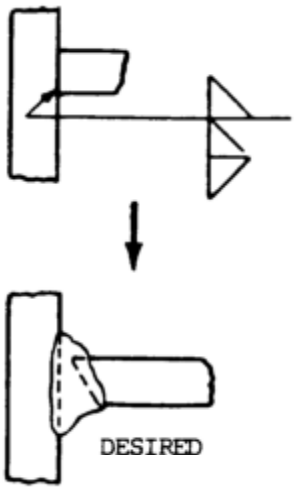
www.iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

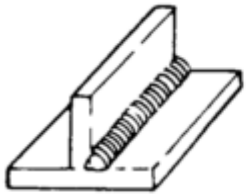
از آنجاییکه درجوش نفوذی احتمال وقوع عیوب مختلف وجود دارد. درمحلهایی امکان دسترسی به پشت جوش هست باید از جوش پشتی یا **Back weld** استفاده کرد.

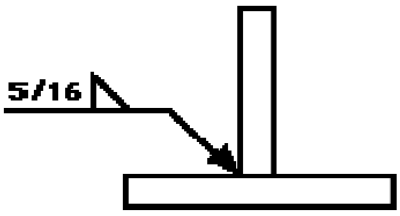
ب) علایم اختصاصی جوش سپري ،گوشه اي (fillet joint)

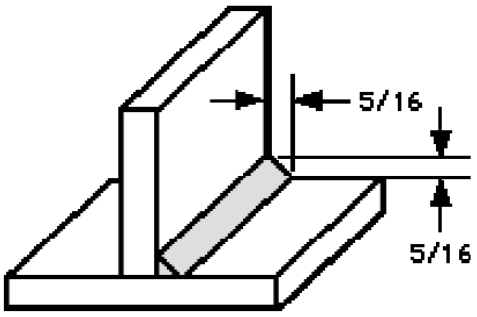
علامتی که دراتصالات سپری درنقشه ها به کار می رود به شرح زیر است :

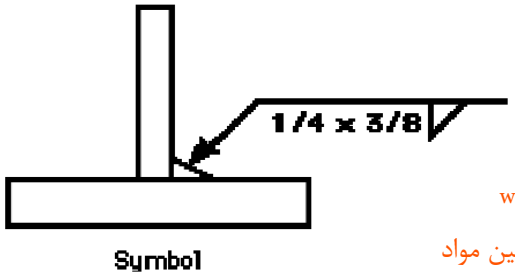
. اندازه گذاری این نوع اتصال هم مانند جوش لب به لب است به این معنی که اعدادی که درسمت چپ مثلث قرار می گیرند ارتفاع ساق جوش و اعدادی که درسمت راست قرار می گیرند طول مسیر جوشکاری را نشان می دهند. به مثالهای زیر دقت کنید:

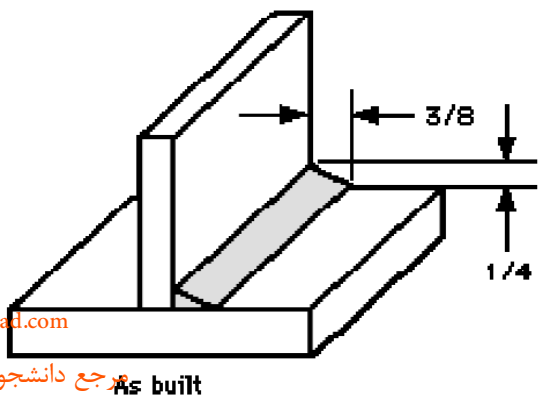








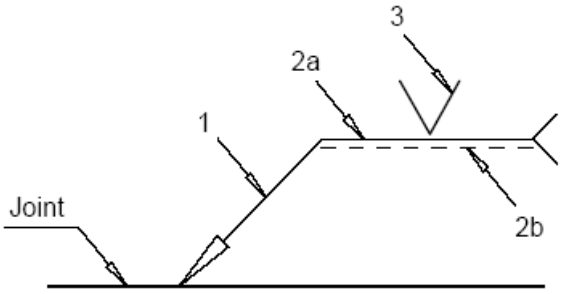




www.iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

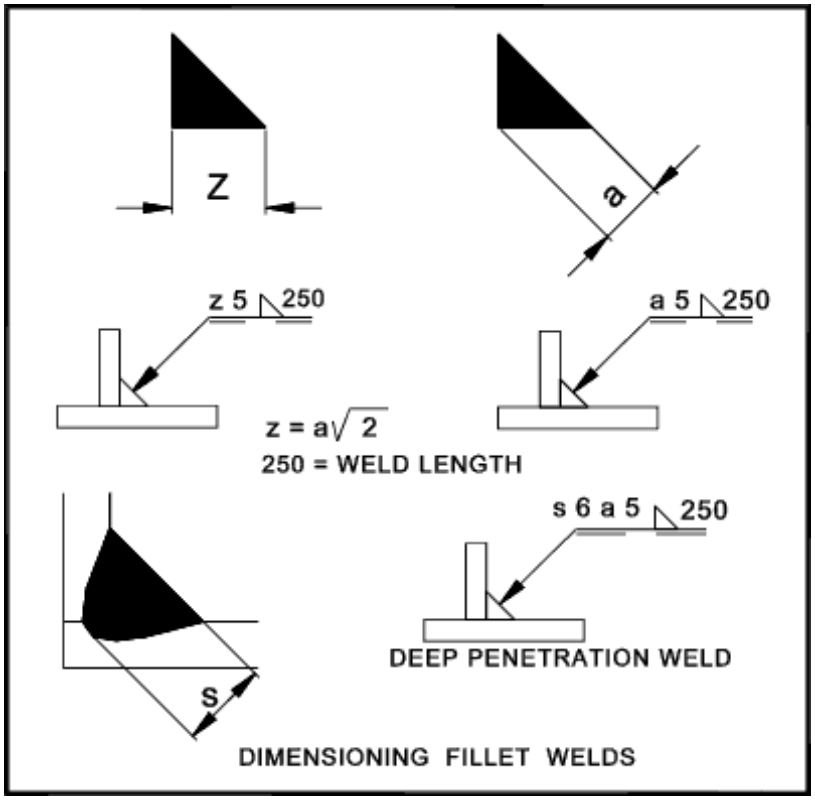
استاندارد اروپا ISO درنقشه خوانی وعلایم جوش

علایم ونشانه هایی که دراستاندارد **ISO** به کار می روند با استاندارد **AWS** مشترک است با این تفاوت که در استاندارد **ISO** یک خط چین به موازات خط مرجع کشیده می شود. هرگاه علایم جوشکاری برروی خط مرجع قرار گیرد عملیات در طرفی که پیکان اشاره می کند انجام می شود و اگر علایم جوشکاری روی خط چین قرار گیرد عملیات در طرف مقابل پیکان انجام می شود. توجه داشته باشید که خط چین می تواند درپایین و یا در بالای خط مرجع قرار گیرد.



1 = arrow line
2a = reference line (continuous line)
2b = reference line (dashed line)
3 = welding symbol

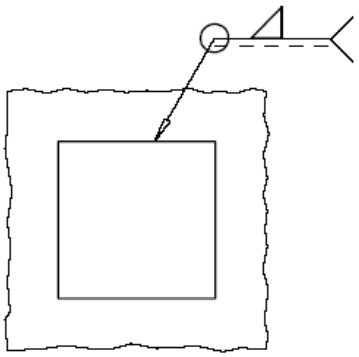
دراستاندارد **ISO** خط نشانه یا خط پیکان هیچ گاه شکسته نیست بلکه پیکان به هر قطعه اشاره کند برروی همان قطعه عملیات انجام می شود.



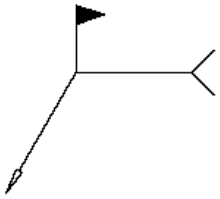
یکی از تفاوتهای اساسی دیگر استاندارد **ISO** و**AWS** دراندازه گذاری جوش گوشه ای و سپری **(Fillet)** می باشد. در استاندارد **AWS** اعداد سمت چپ مثلث (مربوط به جوش سپری) به ساق جوش اشاره می کنند که با حرف **z** نمایش داده می شود درحالیکه در استاندارد **ISO** به گلویی جوش که با حرف **a** نشان داده می شود اشاره می گردد. علاوه برآن دراندازه گذاری جوشهای سپری منقطع به شکل زیر عمل می کنند.

علایم اضافی:

جوش دور تا دور:



جوشکاری در محل:



و دیگر علائم:

Shape of weld surface	Symbol
a) Flat (usually finished flush)	—
b) Convex	⌒
c) Concave	⌣
d) Toes should be blended smoothly	⊥
e) Permanent backing strip used	M
f) Removable backing strip used	MR

اسناد و مدارك جوشكاري

دانستن این موضوع که آیا یک جوش مناسبترین و بهترین نوع اتصال برای یک کاربرد خاص می باشد یا خیر از اهمیت ویژه ای برخوردار است. برای اطمینان از این موضوع و همچنین اطمینان از کیفیت جوشی که در عمل ایجاد شده است به یک روش و دستور العمل اجرایی نیاز است

سه استاندارد متداولی که برای محصولات جوشکاری کاربرد دارد به شرح زیر است :

۱ – استاندارد **API 1104** موسسه نفت آمریکا برای خطوط لوله انتقال

۲ – استاندارد **ASME Sec . IX** جامعه مهندسین مکانیک آمریکا برای مخازن تحت فشار و اجزا تاسیسات هسته ای

۳ – استاندارد **AWS** جامعه جوشکاری آمریکا برای پلها ، ساختمانها و سایر سازه های فولادی. مانند استاندارد **AWS.D.1.1** که جهت تایید صلاحیت جوشکاران و دستور العمل جوشکاری سازه های فولادی است.

مشخصات روش جوشکاري (Welding Procedure Specification یا WPS)

مشخصات روش جوشکاری یا **WPS** مجموعه ای مکتوب از دستورالعمل ها است که با رعایت آن جوشی سالم ایجاد می شود. این روش معمولا براساس کد یا استاندارد خاصی تعریف و تفسیر می شود. در این مشخصات مراحل مختلف جوشکاری یک اتصال مشخص به همراه محدوده تغییرات پارامترهای دخیل در فرآیند جوشکاری و مشخصات مواد مورد کاربرد به تفضیل بیان می شود.

جهت اطمینان از صحت **WPS** یک نمونه مطابق با آن جوشکاری می شود و سپس آزمایشات مربوطه بر روی آن انجام و نتایج آنرا در فرم **PQR** ثبت می کنند. **(Procedure Qualification Record)** در حقیقت این فرم تضمین کننده صحت اطلاعات یک **WPS** که می تواند به یک جوش سالم تبدیل شود می باشد.

تائید صلاحیت جوشکار

در کنار استانداردها ، کدها و دستورالعمل های جوشکاری ، جهت نیل به یک جوش قابل اطمینان و با کیفیت ، اطمینان از صلاحیت و مهارت جوشکاران نیز مهم است. لذا صدور گواهی نامه های تایید صلاحیت از اهم اسناد جوشکاری می باشد.تمامی جوشکارانی که در فرآیندهای مهم جوشکاری به کار گرفته می شوند باید دارای گواهی نامه تایید صلاحیت باشند. جهت دریافت این گواهی نامه لازم است مراحلی طی شود که مهم ترین آنها آزمون جوشکاری است.

این آزمون که معمولا بر اساس یک **WPS** خاص و تایید شده پیاده می گردد معمولا توسط ناظرین و بازرسین انجام می شود که در تمام مراحل آزمون حضور دارند. پس از پایان جوشکاری نمونه ها باید مورد آزمون قرار گیرند. اولین مرحله آزمون بازرسی چشمی است که پس از تائید بازرسی چشمی انجام آزمون های پرتونگاری یا التراسونیک و شکست (به جای تست خمش) و بررسی سطح مقطع مورد نیاز است. آزمونهای مذکور معمولا بر روی قطعاتی که به شکل لب به لب ورق ، نبشی ورق ، لب به لب لوله و نبشی لوله جوشکاری شده اند انجام می شود.

CEOC
ZURICH
SAFed
SAFETY ASSESSMENT FEDERATION
E4

WELDER APPROVAL TEST CERTIFICATE

DESIGNATION EN 287-1 A1,MANUAL 141 wm,T,BW,W11,INERT,t5.5,D88.9,H-L045,SS,gb

Page 1 of 1

Manufacturer's Welding Procedure Reference No.	WPS-WESSEX-005	Inspecting Authority Reference No.	ZC/WA/020612 SS42513576/3
Welder's Name:	MIKE ARTHUR		
Identification:	M A		
Method of Identification:	INITIALS		
Date and Place of Birth:	19.01.67, BATH		
Employer:	WESSEX PROCESS SYSTEMS		
Code / Testing Standard:	BS EN 287-1 1992 A1 1997 & ASMEIX		
Job Knowledge:	Not Tested		

Weld Test Details			Range of Approval	
Welding Process	MANUAL TIG (141) wm	GTAW	MANUAL 141 wm	GTAW
Plate or Pipe	PIPE (T)		T P	PIPE & PLATE
Joint Type	BUTT WELD (BW)	GROOVE WELD	BW,FW (SIMILAR CONDITIONS)	GROOVE & FILLET
Parent Metal Group	316 S/S (W11)	PNo8	W01-W04,W11	P1-11,34,4X
Filler Metal Type / Desig.	BS2901 Pt2 316S92	AWS A5.9 ER316L	W11 COMPATIBLE	PNo8
Gas / Flux	ARGON 99.99%	FNo6	COMPATIBLE GASES	WITH SHIELD
Auxiliaries	MULTI RUN		COMPATIBLE CONDITIONS	-
Material Thickness (mm)	5.5mm		3mm-11mm	11mm MAX
Pipe Outside Diameter	88.9mm		44.45mm-177.8mm	2 TIF MIN
Welding Positions	45° INC,V-UP (H-L045)	6G,V-UP	ALL EXCEPT PG & J-L045	All Except V-Down
Gouging / Backing	NONE/GAS BACKED (SS,gb)		SS,gb,mb,nb	GAS OR MATERIAL BACKED
			ss,gb,ng	

Additional information is available on attached sheet / or welding procedure Specification No: WPS-WESSEX-005

Type of Test	Performed and Acceptable	Not Required
Visual	ACCEPTABLE	-
Radiography	ACCEPTABLE	-
Magnetic Particle	-	NOT REQUIRED
Penetrant	-	NOT REQUIRED
Macro	-	NOT REQUIRED
Fracture	-	NOT REQUIRED
Bend	-	NOT REQUIRED
Additional Tests *	-	NOT REQUIRED

Name and Signature: A I SPENCE
Inspecting Authority (CEOC Member Organization): ZURICH CERTIFICATION LTD
Date of Issue: 14/02/2002
Location: BIRMINGHAM
Approval Valid Until: 13/02/2004
PROLONGATION FOR APPROVAL BY EMPLOYER / SUPERVISOR

Date	Signature	Position or Title

PROLONGATION FOR APPROVAL BY INSPECTING AUTHORITY

Date	Signature	Position or Title

*) Append separate sheet if required

Übersetzung des vorgedruckten Formblatt-Textes auf der Rückseite — Translation of printed text on the reverse side — Traduction des rubriques imprimées au verso

پس از پایان آزمون ، نوع و میزان هر عیب مشخص می شود. سپس میزان پذیرش هر عیب از استانداردها و کدهای خاصی استخراج شده و با نتایج به دست آمده مقایسه می شود و در نهایت پذیرش یا عدم پذیرش هر نمونه جوش اعلام می گردد. در صورتیکه جوشکار درتمام مراحل آزمون موفق باشد از تاریخ قبولی در آزمون گواهی نامه ای برای وی صادر می شود که مدت اعتبار آن شش ماه می باشد و برای مدت دو سال توسط کارفرما قابل تمدید است.

www.iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

Welding Procedure Specification (WPS)
ASME IX

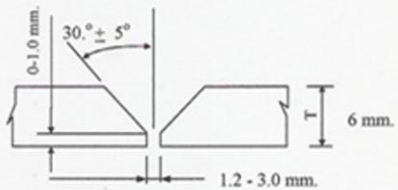
CLIENT : Charoenchai Stainless Co.,Ltd. *PROJECT :* Fabrication Shop

Welding Procedure Spec. No.:	CS-WPS-01	Date:	20 Jan 07	Supporting PQR No. (s) :	CS-PQR-01
Revision No. :	0	Date:	-		
Welding Process (es) :	GAS TUNGSTEN-ARC WELDING (GTAW)			Type :	Manual

JOINTS

Joint Design	Single Vee-Groove		
Backing	Yes ☐	No. ☐	
Backing Materiel (Type)	N/A		
Root Opening :	1.2-3.0 mm.		
Root Face :	0- 1.0 mm.		
Groove Angle :	50°-70°	Radius (J-U)	N/A
Back Gouging :	Yes ☐	No. ☐	
Method :	N/A		

DETAILS



T = Wall Thickness

BASE METALS (QW-403)

P. No.	8	Group No.	1	to P. No.	8	Group No.	1
Specification type and grade	SA-240 , TYPE 316L						
to Specification type and grade	SA-240 , TYPE 316L						

Thickness Range :

Base Metal : Groove	1.5 mm. To 12.0 mm.	Fillet	All
Deposits Weld Metal	1.5 mm. To 12.0 mm.	Fillet	All
Pipe Dia. Range : Groove	Equal to or greater 24" (OD)	Fillet	All
Other	N/A		

FILLER METALS (QW-404)

F. No.	6	Other	N/A
A. No.	8	Other	N/A
Spec. No. (SFA)	A 5.9	AWS No. (Class)	ER 316L
Size of filler metals	∅ 1.6 mm. to ∅ 2.4 mm.	Brand name and type	Kobe or Equpvalent

POSITION (QW-405)

Position (s) of Groove	All Position
Welding Progression :	Uphill
Position (s) of Fillet	All

POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)

Temperature Range	N/A
Time Rang	N/A

PREHEAT (QW-406)

Preheat Temp. Min.	10° C
Interpass Temp. Max.	250° C
Preheat Maintenance	N/A
(continuous or special heating where	
applicable should be recorded)	

GAS (QW-408)

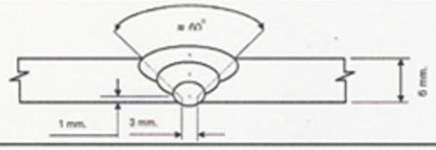
Shielding Gas (es)	99% Argon
Percent Composition (mixture)	Commercial Purity
Flow Rate	7-12 L/Min
Gas Backing	N/A
Other	N/A

Procedure Qualification Record
ASME-QW-200.2,Section IX (WPQR)

RECORD OF WELDING (QW-483) PQR

Company Name :	Charoenchai Stainless Co., Ltd.	Project Name :	Fabrication Shop
PQR Record Number :	CS-PQR-01	Date :	30 January 2007
WPS Number :	CS-WPS-01		
Welding Process (es) :	GAS TUNGSTEN-ARC WELDING (GTAW)		
Type (Manual, Semi-auto or Automatic) :	Manual		

JOINT DESIGN (QW-402)



WELDING VARIABLES

BASE METALS (QW-403)	
Material Spec.	SA- 240
Type or Grade	Type 316 L To Type 316 L
P No. 8	To P. No. 8
Thickness of Test Coupon	6.0 mm.
Diameter of Test Coupon	8 Inch (plate)
Others	N/A
FILLER METALS (QW-404)	
SFA Specification	A 5.9
AWS Classification	ER 316 L
Filler Metal F-No.	6
Weld Metal Analysis A-No.	8
Size of Filler Metal	∅ 2.0 mm.
Others	-
Weld Metal Thickness	6.0 mm.
POSITION (QW-405)	
Position of Groove	2G
Progression of Welding (Uphill or Down)	Up Hill
Others	N/A
PREHEAT (QW-406)	
Preheat Temperature	10° C
Interpass Temperature (max)	250° C
Others	N/A

POTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)			
Temperature	N/A		
Hold Time	N/A		
Others	N/A		
GAS (QW-408)			
	Percent Composition		
	Gas (es)	Mixture	Flow Rate
Shielding	Argon	Purity	7-12 L/Min
Trailing	-	-	-
Backing	-	-	-
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)			
Current	DC		
Polarity	EN		
Amperage	See Page 3 of 3	Voltage	See Page 3 of 3
Tungsten Electrode Size	2.0 mm.		
Others	N/A		
TECHNIQUE (QW-410)			
Travel Speed	5-10 Cm./Min.		
String or Weave Bead	Both		
Oscillation	N/A		
Multipass or Single Pass	Single Pass		
Multipass or Single Electrode	Single Electrode		
Others	N/A		

www.iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد
Sayed Reza Taghavi Shahri

فصل هفتم

عیوب جوش

بازرسی جوش

www.iran-mavad.com

مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

تفاوتهای اساسی بین خواص فلزجوش و فلزپایه وجود دارد و این نظریه عامیانه که فلزجوش و فلزپایه از نظر خواص مکانیکی و ترکیب شیمیایی یکنواخت و مشابه هستند کاملا غلط است. عدم تشابه و اختلاف در خواص ، منشا بسیاری از تخریبهای قطعات جوشکاری شده می باشد. مهم ترین و اصلی ترین منشا که بسیار مورد توجه قرار دارد ناپیوستگی ها هستند. همانطور که گفته شد به خاطر طبیعت جوشکاری وجود نا پیوستگی ها در فلز جوش اجتناب ناپذیر است. درمفاهیم جوشکاری اصطلاحا به ناپیوستگی هایی که میزان آنها از حد استاندارد عبور کرده عیب می‌گویند. حضورهرگونه عیب در جوش ، باعث رد قطعه جوشکاری شده می شود. عواملی مثل طراحی نامناسب اتصالات ، انتخاب نامطلوب الکترود و سیم جوش ، توانایی ضعیف جوشکار ، شرایط نامناسب جوشکاری و... همگی عللی هستند که می توانند ناپیوستگی ها را به عیب تبدیل کنند.

تقسیم بندي عیوب جوش

برای بررسی و تجزیه و تحلیل دقیق و کیفی عیوب جوش ازجنبه های مختلفی به آنها پرداخته شده و تقسیم بندی های متعددی برای آنها ارائه شده است. تقسیم بندی از نظر نوع عیب ، ابعاد ، منشا ایجاد عیب ، مکان عیب ، متالوژیکی بودن یا غیر متالوژیکی بودن عیب و دو بعدی یا حجمی بودن عیب ، ازجمله تقسیم بندی هایی است که ارائه شده و ما درادامه به موارد مهم و کاربردی آن اشاره می کنیم.

الف) تقسیم بندي عیوب از نظر مکان

دراین حالت عیوب به سه دسته تقسیم می شوند : عیوبی که درپاس ریشه رخ می دهند ، عیوبی که در پاسهای میانی ایجاد می شوند و عیوبی که در سطح جوش شکل می گیرند. به لحاظ درجه اهمیت یا درجه خطر ، عیوب حاضر در سطح جوش به علت اعمال تنش بیشتر بسیار خطرناک هستند. دردرجه دوم اهمیت عیوب موجود در پاس ریشه مهم می باشند و در نهایت عیوب موجود در پاسهای میانی باید مورد توجه قرار گیرند.

ب) تقسیم بندي عیوب از نظر دو بعدي یا حجمي بودن

عیوب دو بعدی یا صفحه ای از جمله عیوب بسیار خطرناک هستند که به محض مشاهده درجوش باعث رد شدن جوش می شوند. از جمله عیوب دو بعدی می توان به ترک (**crack**) ، عدم ذوب دیواره (**LOF**) ولایه لایه شدن **(Lamination)**اشاره کرد. دراین میان ترک تا حدی خطرناک است که به هیچ عنوان حد پذیرش ندارد. عیوب سه بعدی یا حجمی همانند حبس گل جوش یا ناخالصی و یا تخلخل و حفره گازی(**Porosity**) در درجه دوم اهمیت قرار دارند. اما به طور کلی عیوب دو بعدی خطرناکتر بوده و ردیابی آنها هم مشکلتر است.

ج) تقسیم بندي عیوب از نظر متالورژیکي

دراین تقسیم بندی به عیوبی اصطلاح عیوب متالورژیکی اطلاق می شود که در اثر متغییرهای متالورژیکی مانند تغییر ساختار ، سرعت سرد شدن ، تشکیل فازهای نامناسب ، میزان انحلال گاز در مذاب و... بوجود آید. نمونه هایی ازعیوب متالوژیکی ترک سرد ، ترک هیدروژنی یا ترک تاخیری (**cold crack**) ، ترک گرم (**Hot crack**)

وتخلخل (درصورتیکه الکترود مناسب بوده ، جوشکار ماهر بوده وشرایط مناسب باشد) می باشند. به عنوان مثال حضور بیش از ۰/۰۵ ٪ گوگرد درجوش باعث بروز تخلخل و ترک گرم می شود.

د) تقسیم بندي عیوب از نظر زمان ایجاد

دراین قسمت سه دسته عیب وجود دارد ، عیوبی که درلحظه شروع جوشکاری بوجود می آیند مانند تخلخل ، عیوبی که درحین جوشکاری ایجاد می شود مانند پاشش ذرات مذاب (**spatter**) و عیوبی که پس از جوشکاری شکل می گیرند مانند جدایش یا ترک سرد.

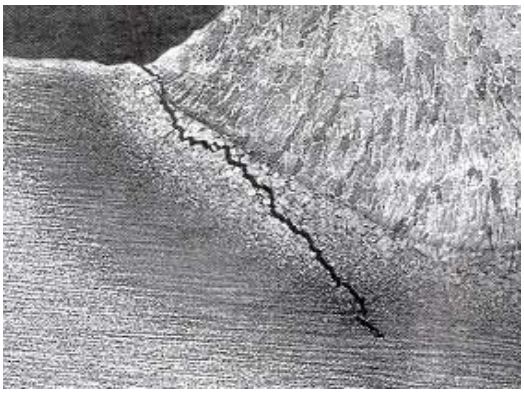
انواع عیوب طبق استاندارد AWS

1 - ترك crack

خطرناک ترین ناپیوستگی در جوش ، ترک است که به علت خطی بودن و وجود گوشه های تیز باید توجه ویژه ای به آن داشت. فلزپایه و فلزجوش زمانی ترک می خورند که عامل ایجاد کننده ترک تنشی بالاتر از مقاومت تسلیم فلز را ایجاد نماید. ترکها به چند طریق تقسیم بندی می شوند یک نوع تقسیم بندی براساس درجه حرارتی است که ترک رخ می دهد. براین اساس ترک به دو گروه ترک سرد و ترک گرم تقسیم می شود. ترک گرم اغلب در درجه حرارتهای بالا (بالاتراز ۴۵۰°c) رخ داده و بین دانه ای می باشد. در مقابل ترک سرد که به ترک تاخیری هم معروف است پس از سرد شدن فلز و یا در حین سرویس دهی رخ می دهد. ترکهایی که دراثر هیدروژن و حضور فاز ترد رخ می دهد نیز از دسته ترکهای سرد می باشند. این ترکها بین دانه ای یا درون دانه ای هستند.

تقسیم بندی دیگر ترکها براساس شکل آنها می باشد که به سه دسته ترکهای طولی ، ترکهای عرضی و ترکهای ستاره ای تقسیم می شوند.

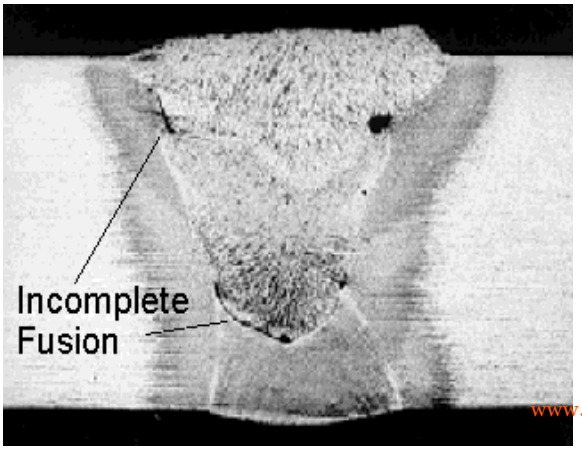
ترك چاله جوش



ترک زیر مهره

2 - ذوب ناقص lack of fusion یا LOF

ذوب ناقص یعنی عدم ذوب کامل بین فلز جوش و سطوح اتصال و یا پاسهای جوشکاری که بدلیل وجود گوشه های تیز و

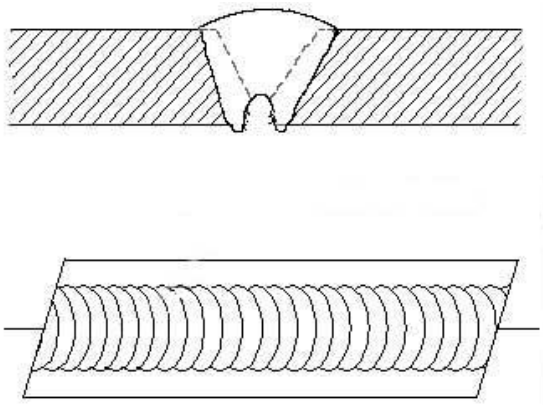


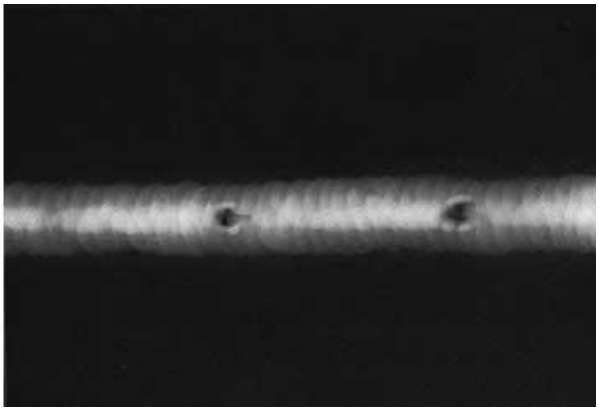
www.iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

کاهش استحکام جوش از اهمیت خاصی برخوردار است. هدایت نامناسب الکترود در درز اتصال توسط جوشکار (نوع بین جوش و فلز پایه) حبس سرباره پاس قبلی جوشکاری یا وجود لایه های اکسیدی (نوع بین لایه های جوش) طرح اتصال نامناسب (عدم همخوانی زاویه شیار با فرآیند و قطر الکترود) و سرعت بالای جوشکاری یا آمپر کم عامل ایجاد این عیب است. شدت جریان یا سرعت بالای جوشکاری باعث کاهش حرارت ورودی جهت ذوب لبه های اتصال و عدم ادغام الکترود ذوب شده با فلز پایه می شود. این عیب را می توان از راه بازرسی چشمی یا رادیوگرافی تشخیص داد.

3 - نفوذ ناقص Incomplete of Penetration یا LOP

واژه نفوذ ناقص برخلاف ذوب ناقص فقط در جوشهای شیاری به کار می رود که عبارت است از عدم حضور فلز جوش درکل ضخامت اتصال بویژه در ریشه اتصال. این عیب با دلایلی شبیه ذوب ناقص بوجود می آید که شامل کم بودن انرژی قوس ، آماده سازی نامناسب اتصال ، تکنیک نامناسب جوشکاری و هدایت یکطرفه الکترود می باشد. در جوشکاری لوله این عیب بسیار شایع می باشد چراکه اکثر اوقات دسترسی به پشت جوش امکان ندارد. علاوه بر نفوذ ناقص که در پاس ریشه رخ می دهد عیوبی مثل نفوذ زیاد ، سوختگی نفوذ جوش و تقعر پاس ریشه نیز در پاس نفوذ یا پاس ریشه اتصالات پخ خورده دیده می شود. علت نفوذ زیاد سرعت کم جوشکاری در پاس ریشه و شدت جریان زیاد می باشد که به خصوص در داخل لوله ها باعث برخورد با سیال در حال جریان شده و جریانهای گردابی و خوردگی در محل پاس ریشه را سبب می شود. هرگاه مخروط های توخالی سیاه رنگی در پشت قطعه مشاهده شد سوختگی نفوذ جوش رخ داده که علت آن هم مکث زیاد به هنگام جوشکاری و استفاده از شدت جریان زیاد در پاس ریشه می باشد. تقعر پاس ریشه هم در اتصالاتی که در وضعیت سقفی جوشکاری شده و یا اتصالاتی که فاصله درز اتصال بیش از حد باز است دیده می شود.





4 – آخال Inclusion

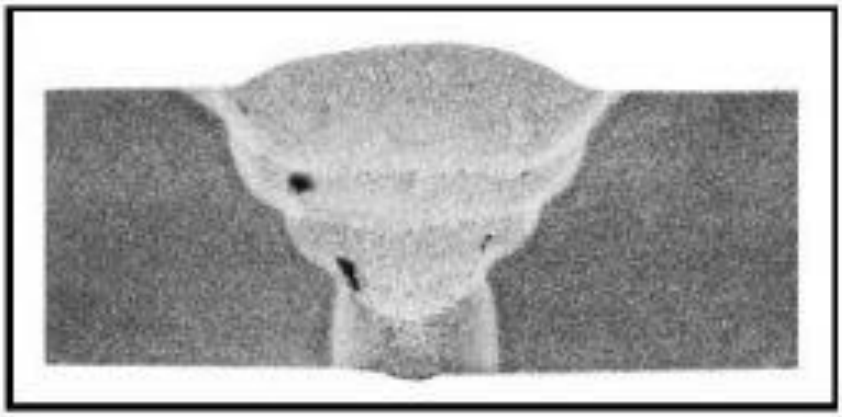
منظور از آخال ، ذرات جامد فلزی یا غیرفلزی خارجی نظیر سرباره ، تنگستن (در فرآیند TIG) ، فلاکس و اکسید است که در فلز جوش حبس شده اند. آخال های موجود در جوش دارای منابع مختلفی است که بر اساس همین منابع می توان آنها را تفکیک کرد. برخی از انواع آخالها به شرح زیر است :

الف) آخال سرباره ای : ماده غیرفلزی است که در فلزجوش و یا بین فلزجوش و فلزپایه حبس می شود و معمولا در فرآیندهای قوس دستی یا زیرپودری دیده می شود. علت وقوع آن هم تکنیک غلط جوشکاری ، طراحی نامناسب اتصال و عدم تمیزکاری بین دو پاس می باشد.

ب) آخال اکسیدی : این نوع آخال اکسید فلزی حبس شده در فلز جوش است که در حین انجماد در جوش حبس شده است.

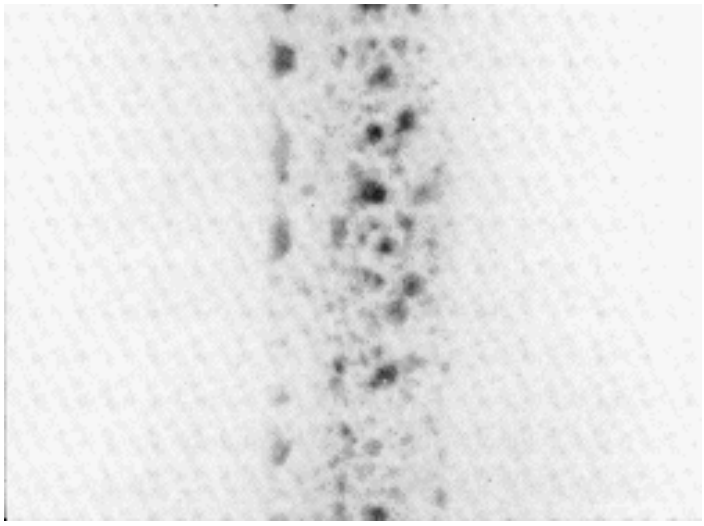
ج) آخال فلزی : ذره ای از فلز خارجی حبس شده در فلز جوش است که حالت خاصی از آن آخال تنگستنی است. این نوع آخال در فرآیند **TIG** رخ می دهد و علت آن هم تماس نوک الکترود تنگستنی با حوضچه مذاب و یا شدت جریان زیاد با توجه به قطر الکترود است که به دلیل ایجاد منطقه سخت و شکننده تمایل به شکست فلز جوش را افزایش می دهد.

به علت عدم حضور فلز ذوب شده در محل آخال ، ضعف اتصال و کاهش استحکام به وجود آمده و اگر چنانچه این ذرات جامد درشت و با توزیع غیر یکنواخت باشند مقاومت به ضربه به شدت افت می کند. این عیب که در اکثر روشهای جوشکاری رخ می دهد می تواند درون جوش ، درسطح جوش ، بین لایه های جوش و بین فلز جوش و فلز پایه باشد ودر اثر سرعت جوشکاری زیاد ، حرکت شدید دست جوشکار ، عدم تمیز کاری کافی بین پاسها ، کم بودن انرژی قوس و عدم پیوستگی و یکنواختی حفاظت از جوش رخ دهد. اما مهم ترین دلیل آن هدایت نامناسب الکترود و کم بودن شدت جریان می باشد. درصورت درشت بودن این ذرات با تست غیرمخرب ودرصورت ریز بودن ذرات با متالوگرافی می توان این عیب را تشخیص داد. راه رفع آن هم برداشتن کامل جوش و جوشکاری مجدد است.



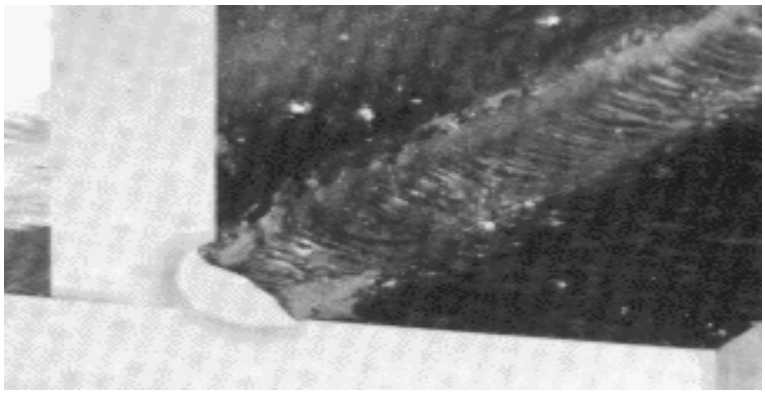
5 - حفرات گازي Porosity

در اثر تجمع گاز درحین انجماد فلز مذاب جوش حفرات کروی توخالی در جوش بوجود می آید که در مقایسه با دیگر عیوب خطر کمتری ایجاد می کند اما در جاییکه جوش در تماس با سیال باشد احتمال نشت سیال از طریق این حفرات وجود دارد. همانند ترک ، انواع مختلفی برای حفرات گازی درنظر گرفته اند. این تقسیم بندی بر اساس محل و شکل هندسی آنها می باشد که عبارت است از حفرات گازی پراکنده ، حفرات گازی خوشه ای ، حفرات گازی خطی و حفرات گازی لوله ای شکل



6 - سوختگي كنارجوش يا زير برش undercut

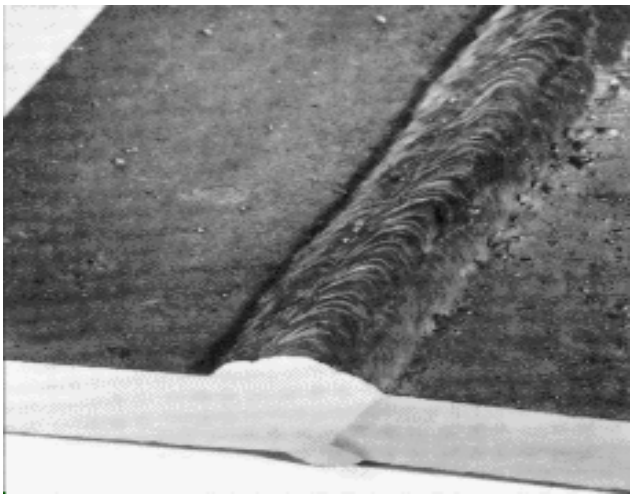
سوختگی کنار جوش ، شیاری است روی فلز پایه که دقیقا در مجاور فلز جوش ایجاد می شود. علت آنهم کاربرد شدت جریان زیاد می باشد. از آنجاییکه این فرورفتگی کنار جوش در نهایت با فلز جوش پرنمی شود محل تمرکز تنش (به خصوص تنش خستگی) و محل وقوع خوردگی بوده و بر روی کارکرد قطعه تاثیر مستقیم دارد. علاوه بر شدت جریان زیاد (زیربرش دوطرفه ایجاد می کند) تکنیک جوشکاری نامناسب مثل عدم مکث در کناره ها ، سرعت زیاد جوشکاری و زاویه نامناسب الکترود (زیربرش یکطرفه ایجاد می کند) می تواند زیربرش را بوجود آورد. راه تشخیص این عیب از طریق بازرسی چشمی است و معمولا تا **0.01** ضخامت ورق یا **1mm** عمق گودی (هرکدام که کمتر باشد) قابل پذیرش است. جهت رفع این عیب هم در صورت سطحی بودن می توان آنرا با سنگ زنی گرد کرد و درصورت عمیق بودن یک پاس روی آن جوشکاری نمود.

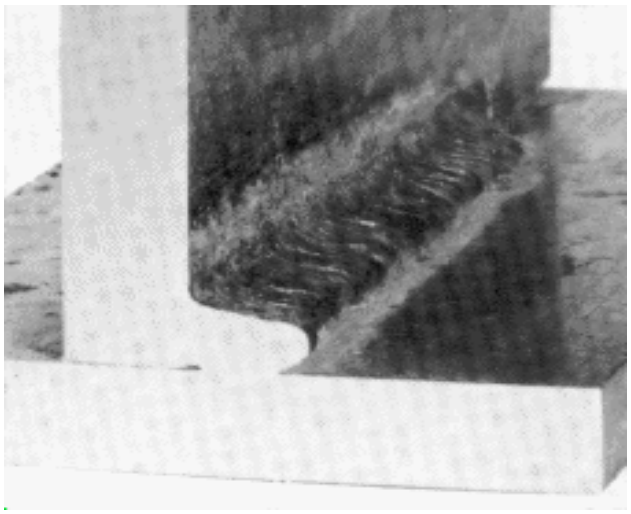


7 - سررفتن جوش روي فلز پايه (Overlap) و پرنشدن (under fill)

سررفتگی عبارت است از جاری شدن فلز جوش روی فلز پایه ، بدون ذوب نمودن کامل آن. درمقابل این عیب ، عیب پرنشدن یعنی پرنشدن کامل درز اتصال توسط مواد مذاب یا پایین تر بودن سطح جوش از لبه اتصال قرار دارد. عیب

سررفتگی هم در ناحیه سطح و هم در ریشه اتصال رخ می دهد واز ایجاد حوضچه مذاب بزرگ و بکارگیری تکنیک نامناسب جوشکاری که همان سرعت جوشکاری است سرچشمه می گیرد. به عبارتی سرعت کم جوشکاری سررفتگی و سرعت زیاد جوشکاری پرنشدگی را در پی دارد. علاوه بر این شدت جریان جوشکاری نیز بر روی وقوع این عیب موثر است که کم بودن آن پرنشدن و زیاد بودن آن سررفتگی را بوجود می آورد. این دو عیب بسیار خطرناک هستند چراکه در ناحیه مجاور جوش شیار تیزی را که محل تمرکز تنش است بوجود می آورند. البته قابل ذکر است که بعضی از الکترودها که مذاب سیالی دارند نیز می توانند عیب سر رفتن را بوجود آورند. این عیوب را می توان با بازرسی چشمی و تستهای غیرمخرب تشخیص داد. راه رفع سررفتن سنگ زدن ،گردکردن محل عیب و راه رفع پرنشدن سنگ زدن درز اتصال و جوشکاری مجدد می باشد.



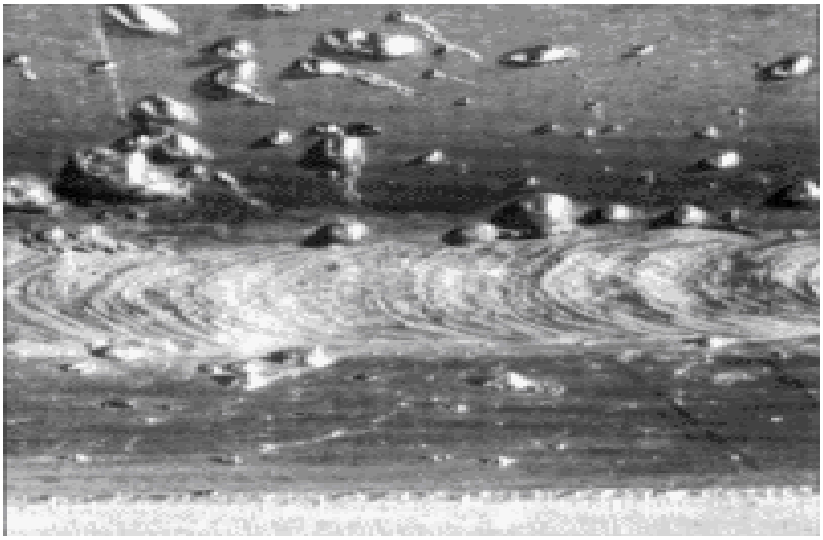


8 - پاشش و جرقه Spattaer

پاشش عبارت است از ذرات مذابی که در حین جوشکاری ذوبی به اطراف پرتاب می شوند.عیب پاشش در مقایسه با دیگر عیوب جوش از اهمیت کمتری برخورداراست اما هنگامی اهمیت پیدا می کند که قطرات درشت از مذاب جدا شده ، بر روی قطع افتاده وگرمای کافی جهت وسعت منطقه **HAZ** که حساس به ترک است را ایجاد می کند. از طرفی پاشش به این خاطر عیب محسوب می شود که قطرات مذابی که باید در محل جوش قرار می گرفتند برروی قطعه نشسته اند و لذا نرخ رسوب کاهش پیدا می کند. معمولا پاشش به دو شکل دیده می شود

۱ – پاشش با ذرات درشت ۲– پاشش با ذرات ریز

رطوبت الکترود و چرب بودن قطعه پاشش ریز را ایجاد می کند اما عامل اصلی پاشش ذرات ریز استفاده از شدت جریان زیاد و دلیل ایجاد پاشش ذرات درشت طول قوس بلند می باشد. در برخی از فرآیندها نوع گاز محافظ نیز می تواند پاشش ایجاد کند اما فرآیندهای مختلف جوشکاری از نظر ایجاد پاشش با هم متفاوت هستند. پاشش با بازرسی چشمی مشخص شده و با سنگ زنی و برس زنی از بین می رود.



9- لکه قوس

به محل برخورد الکترود با قطعه کار که درمراحل بعدی توسط جوش از بین نمی رود لکه قوس می گویند. به لحاظ اعمال حرارت بر روی این نواحی احتمال وقوع ترک در فولادهای سختی پذیر در محل لکه قوس وجود دارد. علاوه برآن این عیب ظاهر جوش و قطعه کار را خراب می کند. عامل اصلی بروز این عیب اشتباه یا مهارت کم جوشکار است که با بازرسی چشمی کاملا هویدا می شود. برای رفع آن هم باید قوس را روی قطعه دیگر یا در مسیر جوشکاری روشن نمود.

10- عیوب مونتاژي

ازآنجاییکه آماده سازی قطعات جهت جوشکاری نیمی از فرآیند جوشکاری است بسیاری از عیوب از عدم مونتاژ مناسب سرچشمه می گیرند که در زیر به سه مورد از شایع ترین آنها می پردازیم :

الف) هم سطح نبودن لبه های درز اتصال بین دو قطعه که باعث تغییر در مسیر خطوط تنش می شود.

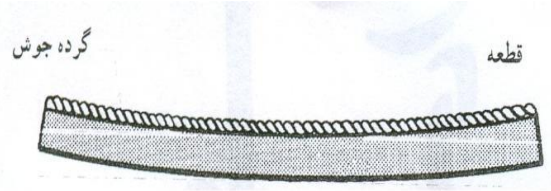
ب) فاصله و شکاف کم بین دو قطعه که باعث افزایش برجستگی گرده جوش از سطح کار می شود.

ج) فاصله و شکاف زیاد که باعث تغییر سطح جوش و فرورفتگی پاس ریشه می شود.

* پیچیدگي قطعات در جوشکاري

می دانیم که تنشهای گرمایی ناشی از جوشکاری در نتیجه مقاومت قطعات جوش خورده در برابر انقباض و انبساط گرمایی بوجود می آید. این مقاومت تنش های طولی و عرضی را در جوش ایجاد می کند که پس از پایان جوشکاری خود را به صورت تنش پسماند نشان می دهد. تنش های پسماند که منشا اصلی پیچیدگی در قطعات جوشکاری شده

می باشد هنگامی خطرناک است که مجموع آن به اضافه تنش های وارده به جوش از حد تسلیم فلز جوش بیشتر باشد. جهت خنثی کردن این تنشها باید پیچیدگی را در قطعات به حداقل رساند. پیچیدگی یا تغییر ابعادی اتصالات جوشکاری شده یکی از مسائل مهمی است که در صورت عدم رعایت نکات بازدارنده در تمامی فرآیندهای جوشکاری رخ داده و باید تدابیری جهت رفع آن اتخاذ گردد. تغییر شکل یا پیچیدگی در سازه های جوشکاری شده ، تغییر ناخواسته هندسی و ابعادی است که پس از اتمام جوشکاری در قطعه باقی می ماند. این پیچیدگی اغلب باعث کاهش کیفیت جوش و سبب صرف هزینه های فراوان در فرآیند ساخت می گردد.



دلایل بروز پیچیدگي در جوش

عامل حرارت

حرارت داده شده به قطعه مورد جوشکاری یکی از مهم ترین عواملی است که به پیچیدگی قطعه کمک می‌کند. هرگاه سرعت اعمال حرارت بر روی قطعه و سپس سرعت سرد کردن آن به صورت یکنواخت و آهسته باشد به گونه‌ای که هیچ مانعی برای انبساط و انقباض قطعه وجود نداشته باشد اتصال جوشکاری شده تغییرات ابعادی نخواهد داشت.

درجه مهار یا ممانعت

میزان کنترل و مهار قطعات جوشکاری در برابر تغییرات ابعای ناشی از انبساط و انقباض در فرآیند سرد کردن و گرم کردن فاکتور مهم دیگری است که به طور مستقیم بر روی ایجاد پیچیدگی تاثیرگذار است به نحوی که هرچه به کمک روشهای مکانیکی از رها شدن تنش ها و تغییرشکل منطقه جوش جلوگیری شود ، این تنش ها در قطعه باقی مانده و پیچیدگی ایجاد می کند , حتی در مواقعی اگر میزان این پیچیدگی زیاد باشد احتمال بروز ترک نیز وجود دارد. (به خصوص در قطعات ضخیم)

تنش هاي پسماند

تنشهایی که در اثر فرآیندهای قبل از جوشکاری مانند ریخته گری ، آهنگری یا برشکاری در قطعه باقی مانده عامل دیگری است در جهت ایجاد پیچیدگی. این تنشها که می توانند افزاینده ، کاهنده یا خنثی کننده تنشهای جوشکاری باشند همیشه در قطعه وجود دارند. لذا در طراحی سازه ها همیشه باید به مجموعه این تنشها دقت داشته و در راستای به حداقل رساندن آن تلاش کرد.

خواص فلز پایه

مسلم است که خواصی همچون میزان فروکش حرارت ، انتقال حرارت ، ضریب انبساط حرارتی ، قابلیت تغییر شکل ، استحکام و بعضی خواص دیگر در تغییر شکل و ابعاد فلز پایه یا آلیاژ پایه بسیار اهمیت دارد.

روشهاي كاهش پيچيدگي

پیچیدگی ناشی از جوشکاری را در سه مرحله می توان حذف کرد. با آماده سازی اتصال درست و مونتاژ صحیح و یا با استفاده از فیکسچر و قید و بند می توان پیچیدگی را قبل از شروع عملیات جوشکاری حذف کرد. با کمک روشهایی مثل استفاده از جوش متوالی ، استفاده از زوج جوش ، استفاده از پخ دوطرفه ، استفاده از تعداد پاس کم و سرعت جوشکاری زیاد و استفاده از زاویه پخ کم و فاصله ریشه زیاد می توان پیچیدگی را در حین انجام عملیات از بین برد. اما اگر حذف پیچیدگی پس از پایان عملیات جوشکاری مدنظر باشد می توان با دادن حرارت یا به عبارتی تنش زدایی حرارتی ، اعمال نیروهای کششی و چکش کاری (در صورت کم بودن مقدار پیچیدگی) آنرا حذف کرد. با توجه به این توضیحات جهت حذف پیچیدگی به نکات زیر توجه نمایید :

۱ – عملیات مکانیکی تنش زدایی مثل ساچمه زنی را می توان جایگزین عملیات حرارتی تنش زدایی کرد.

۲ – تا حد امکان با شدت جریان کم عملیات انجام شود تا از اعمال حرارت بیش از حد به فلز پایه جلوگیری شود.

۳ – هیچگاه بدون وقفه جوشکاری نکنید و با توجه به تناسب ضخامت جوش با ضخامت قطعه کار از ایجاد جوشهای حجیم جلوگیری کنید.

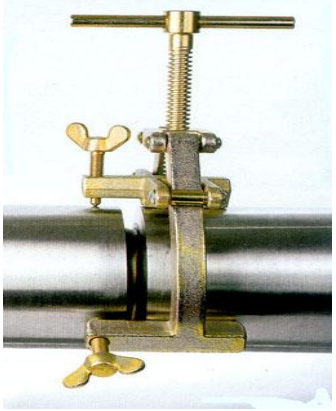
۴ – با انجام جوشکاری نوبتی بین هر پاس جوشکاری , قطعه را به طور مصنوعی (با آب) سرد کنید.

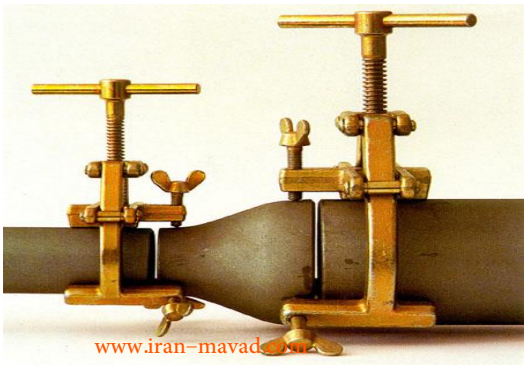
قید و بندها

همان طور که در بخش مونتاژ قطعات جوشکاری اشاره شد در روش مهار کردن قطعات از تجهیزات و روشهایی استفاده می شود که دو مورد از مهم ترین آنها فیکسچرها و خال جوشها هستند. این قید و بندها برای ایفای نقش مفید و صحیح خود باید شرایطی داشته باشند که در زیر به آنها اشاره می شود :

فیکسچر

فیکسچرها باید به گونه ای انتخاب شوند که علاوه بر نگهداری دو قطعه ، وضعیت دهنده هم بوده و عملیات جوشکاری را آسان نمایند. همچنین اگر قرار است که فیکسچرها همراه با قطعه گرم و سرد شوند به مقاومت حرارتی - خستگی و انتقال حرارت آنها دقت نمود. در جوشکاری فلزات نرم مثل آلومینیوم به فشار فیکسچر به قطعه باید دقت شود چراکه احتمال فرورفتگی آن در قطعه در اثر نرم شدن فلز ناشی از حرارت جوشکاری وجود دارد. همچنین برای سرعت بخشیدن به تولید به جای پیچ و مهره می توان از پین استفاده کرد. در شکل زیر چند نمونه از فیکسچرهای ورق و لوله را مشاهده می کنید.





www.iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

بازرسی جوش

شرایط اتصالات جوش داده شده در یک اسکلت یا سازه فلزی و یا هر محصول دیگر ، باید به نحوی باشد که بتوان بر روی تحمل تنش های ساده و مرکب و یا تنشهای ساکن و دینامیک توسط این اتصالات حساب نمود. برای این منظور روشهای متعددی برای بازرسی و کنترل جوش تنظیم شده است که هر یک در شرایط خاصی کاربرد دارد. در بعضی موارد بازرسی و قضاوت ظاهری جوش کافی بوده اما در برخی کارهای حساس علاوه بر بازرسی چشمی نیاز به آزمایشات و بازرسی های دقیق و ویژه ای وجود دارد. به طور کلی در فرآیند جوشکاری برای رسیدن به نتیجه مطلوب تنها بازرسی چشمی محصول کافی نیست چون عواملی مثل درجه بالای دخالت اجرا کننده عملیات ، پیچیدگی تکنولوژی , تعدد متغییرهای موثر و مشکل بودن نظارت موثر بر فرآیند در حین جوشکاری که بر کیفیت نهایی موثر هستند را نمی توان با بازرسی چشمی کنترل نمود. بازرسی و آزمایش جوش دو موضوع متفاوت است که در اغلب موارد با هم توام می شود. بازرسی جوش همان نظارت بر فرآیند تولید و محصولات تولید شده است که جهت کنترل کیفیت محصول و اطمینان از کارایی آن انجام می شود. ولی در آزمایش جوش یک یا چند مشخصه جوش به صورت کمی و با قیاس اعداد محاسبه می شود

بازرسي چشمي جوش

بازرسی چشمی جوش ساده ترین و کم هزینه ترین روش بازرسی جوش بوده و در ردیف آزمایشهای غیرمخرب قرار دارد. بازرسی چشمی جوش را جهت کنترل صحت اجرا عملیات در حین جوشکاری از سه نظر می توان مورد بررسی قرار داد :

الف) سرعت جوشکاری

ب) طول قوس الکتریکی

ج) میزان نفوذ جوش و ابعاد جوش و ...

علاوه بر موارد فوق کنترل نوع , اندازه و شرایط الکترود از نظر رطوبت و آسیب دیدگی ، نوع و مقدار جریان و قطبیت جریان از وظایف بازرس جوش می باشد. معایبی که در بازرسی چشمی کشف می شوند عبارتند از : عرض و ارتفاع نامناسب و ناهمواری گرده جوش ، تحدب یا تقعر گرده جوش ، کافی بودن یا نبودن اندازه جوش ، سررفتگی و زیر برش ، ترکهای سطحی ، سوختگی کناره جوش ، آخالهای مرئی ، نامساوی بودن ساقهای گرده جوش ، بالا و پایین دو قطعه نسبت به هم (**High & Low**) و غیره.

وسایل و تجهیزات بازرسي چشمي جوش

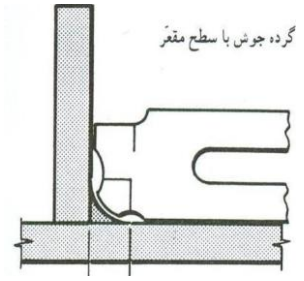
جهت انجام یک بازرسی چشمی موفق ابزاری نیاز است تا بازرس را در انجام وظایف خود یاری کند. اولین و مهم ترین وسیله بازرسی چشمی جوش ذره بین است که شرایط آن در قسمت قبل گفته شد. پس از ذره بین پرکاربردترین وسیله ، انواع گیج های جوشکاری هستند. سه نوع متداول گیج های جوش شامل گیج جوشکاری کمبریج یا گیج همه کاره ، گیج جوش ماهیچه ای یا جوش سپری و گیج **High & Low** می باشد. گیج جوشکاری یا گیج همه کاره می

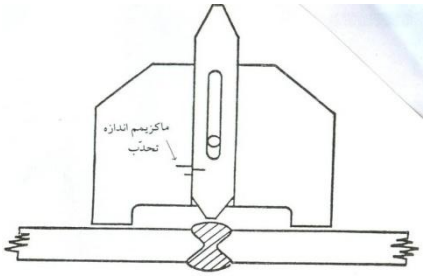
تواند متغییرهایی مثل فلز جوش اضافی ، طول ساق جوش گوشه ای ، میزان زیربرش ، ضخامت موثر جوش گوشه ای و طول موثر جوش گوشه ای را اندازه گیری کند. از گیج جوش ماهیچه ای که خود از هفت شابلون با سایزهای مختلف شاخته شده است به دو منظور استفاده می شود :

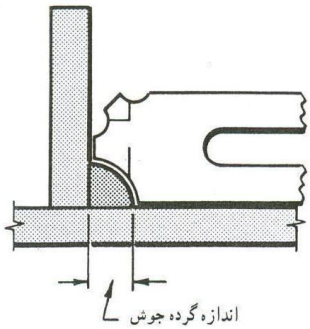
الف) اندازه گیری ساق جوش در جوش سپری در حالیکه شکل گرده محدب می باشد.

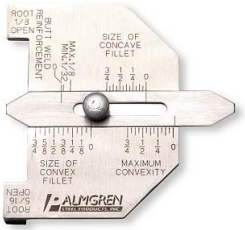
ب) اندازه گیری ساق جوش در جوش سپری در حالیکه شکل گرده مقعر می باشد.

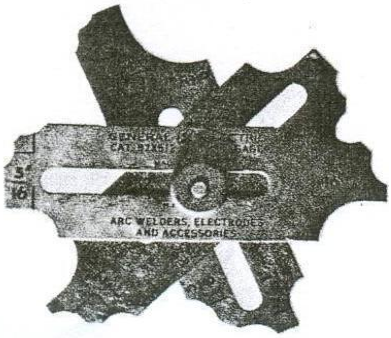
آخرین نوع گیج هم به گیج **High & Low** معروف است که از آن برای مشاهده بالا و یا پایین بودن دو قطعه نسبت به هم و اندازه گیری فاصله ریشه جوش (**Root**) استفاده می شود.

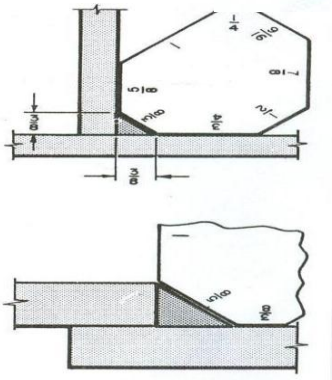












آزمونهاي جوش

از آنجائیکه پس از پایان جوشکاری تنها بر اساس ظاهر جوش و به کمک بازرسی چشمی نمی توان قضاوت خوبی از کیفیت جوش داشت لازم است تا آزمایشات ویژه ای بر روی جوش انجام شود. کیفیت اجرای آزمونها و بازرسی ها به نوع کار و حساسیت آن بستگی دارد چرا که ممکن است در یک کاربرد ، تنها بازرسی چشمی کافی باشد اما در

کاربردی دیگر اجرای آزمایش های دقیق تر الزامی باشد. آزمایشاتی که بر روی جوش پیاده می شود به دو دسته کلی تقسیم می شوند

آزمونهای مخرب : همان طور که از نام این نوع آزمونها پیداست جهت انجام آنها باید نمونه هایی از جوش ، فلز پایه و یا هر دو آنها آماده کرد به شکلی که این آماده سازی منجر به خراب شدن و غیرقابل استفاده شدن قطعه می شود. این آزمونها به طور کلی یکپارچگی ساختار جوش را بررسی می کنند.

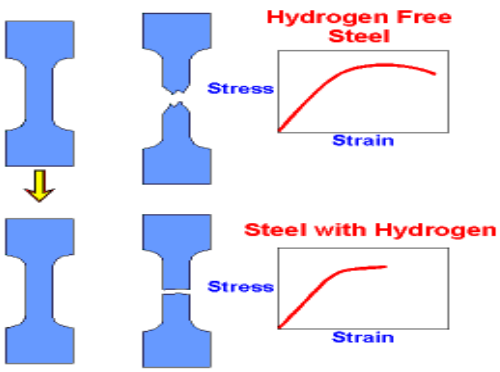
آزمونهای غیر مخرب : اجرای این نوع آزمونها به گونه ای است که قطعه جوشکاری شده تخریب نشده و پس از پایان آزمون قطعه مجددا قابل استفاده می باشد. این دسته از آزمونها برای بررسی و کشف عیوب موجود در جوش بکار گرفته می شود.

آزمونهاي مخرب Destructive testing یا DT

آزمونهای مخرب خود به آزمونهای مکانیکی مانند کشش و خمش ، آزمونهای شیمیایی مانند قابلیت خوردگی و نفوذ پذیری هیدروژن و آزمونهای متالوگرافی تقسیم می شود.

آزمون کشش

این آزمون یکی از آزمونهایی است که در بررسی خواص مکانیکی جوش کاربرد فراوانی داشته و به طور وسیعی بکار می رود. از این آزمون کمیتهایی همچون استحکام کششی ، نقطه تسلیم ، مدول الا ستیسیته و انعطاف پذیری نهایی اتصالات دارای جوش شیاری را می توان بدست آورد. در این آزمون نمونه باید تحت بار کششی گسیخته شده و استحکام کششی از تقسیم حداکثر بار بر مساحت مقطع عرضی به دست می آید. در نهایت پس از محاسبه استحکام کششی نمونه می توان آنرا با استحکام کششی فلز پایه مقایسه کرد. این آزمون به دو شکل یا بر اساس دو نمونه انجام می شود.



آزمون سختي سنجي

همانطورکه می دانید سختی یعنی مقاومت یک جسم در برابر ورود یک جسم خارجی به درون آن. این آزمون برای سنجش سختی و مقاومت سایشی فلز جوش بوده و در مواردی که هزینه و سرعت عمل مهم است به جای آزمون

کشش نیز استفاده می شود تا مقاومت کششی به صورت تقریبی به دست آید. برای محاسبه سختی مواد روشهای مختلفی وجود دارد که در این قسمت به سه روش آن اشاره می شود :

الف) روش برنیل

در این روش یک ساچمه فولادی سخت شده با قطر معین , نیروی مشخصی را بر روی سطح قطعه وارد می کند. پس از گذشت چند ثانیه نیرو حذف شده و قطر فرورفتگی اندازه گیری می شود سختی قطعه از طریق فرمول یا جدول محاسبه می گردد.

ب) روش ویکرز

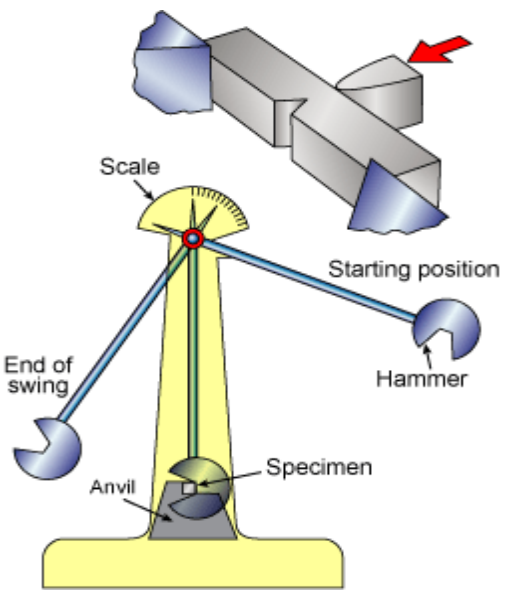
برای اندازه گیری سختی در این روش یک هرم مربع القاعده با زاویه راس ^{o} ۱۳۶ به کار می رود. پس از اعمال نیرویی حدود ۳۰ – ۱ کیلوگرم بر سطح ، اثری به شکل لوزی بر روی سطح باقی می ماند. با اندازه گیری دو قطر این لوزی به کمک میکروسکوپ مخصوص و با کمک فرمول عدد سختی بدست می آید.

این روش به علت استفاده از میکروسکوپ برای اندازه گیری روشی دقیق بوده که برای اجسام مختلف از آن استفاده می شود اما فقط در مورد قطعاتی کاربرد دارد که ضخامت ماده مورد آزمایش از ۱/۵ برابر قطر بزرگ فرورونده بزرگتر باشد.

ج) روش راکول

این روش خود براساس سختی فلز پایه دارای سطوح مختلفی است مانند **HRA** و **HRB** و **HRC** . این روش آزمون بسیار کاربردی است چرا که سرعت انجام آن زیاد است و عدد سختی را می توان مستقیم و طبق استاندارد از روی دستگاه خواند. علاوه بر آن نیازی به پولیش سطح نیز وجود ندارد. برای انجام این آزمون از یک گلوله فلزی با اقطار مختلف یا مخروط الماسی با زاویه راس ^{o} ۱۲۰ درجه استفاده می شود. در شروع تست ، نیروی اندکی معادل ۱۰ کیلوگرم بر روی نمونه وارد می شود تا از تماس کامل قطعه فرورونده اطمینان حاصل شود سپس براساس مقدار سختی نمونه و جنس قطعه ، نیروی اصلی ۶۰ , ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم برروی سطح وارد می شود.

آزمایش ضربه



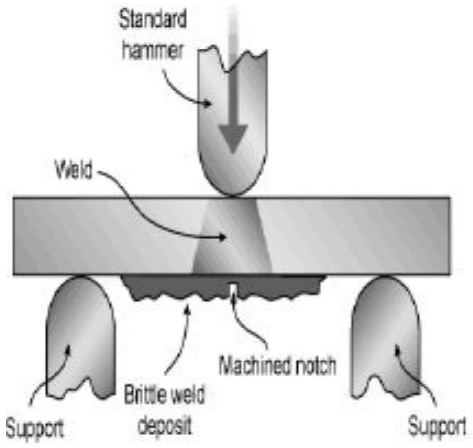
اجرای این آزمون زمانی که دمای کاری قطعه زیر صفر باشد الزامی است. از طرفی چون این آزمون رفتار فلز جوش در مقابل نیروهای دینامیکی را نشان می دهد می توان درجه حرارت انتقال شکست نرم به شکست ترد را از آن استخراج کرد. این درجه حرارت با انجام آزمون ضربه در درجه حرارتهای مختلف و با رسم منحنی انرژی شکست به درجه حرارت به دست می آید. گذشته از همه این موارد در آزمایش ضربه درصد سطح شکسته شده و سطح بریده شده را نیز می توان اندازه گیری نمود. سطحی که شکسته شده دارای رنگ نقره ای براق است و سطحی که پاره شده دارای رنگ تیره است. هر چه

www.iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد

درصد سطح دارای رنگ نقره ای کمتر و درصد سطح مقطع تیره رنگ بیشتر باشد مرغوبیت نمونه بیشتر است.

آزمون خمش :

این آزمون بیشتر برای بررسی خواص جوش در قسمت ریشه ، انعطاف پذیری جوش ، ساختار کریستالی و حتی تشخیص بعضی عیوب در قطعه کاربرد دارد و در چند حالت مختلف انجام می شود. خمش ریشه ، خمش جانبی و خمش سطحی از انواع آزمون خمش هستند. در تست خمش جانبی (**Side Bend**) , نمونه از پهلو بر روی قسمت خالی قالب قرار می گیرد. در آزمون خمش ریشه (**Root Bend**) , پشت جوش یا ریشه جوش بر روی قسمت خالی قالب قرار می گیرد و در تست خمش سطحی (**Face Bend**) , روی جوش بر روی قسمت خالی قالب قرار می گیرد. این آزمون بسیار سریع و ارزان بوده و نمونه های عرضی تهیه شده از جوش را با دستگاه کشش ، پرس و حتی گیره و چکش می توان مورد آزمایش قرار داد. پس از پایان آزمون سطح نمونه خم شده مورد بازرسی چشمی قرار می گیرد. برای قبولی این نمونه یا به عبارتی قبولی جوش سطح خمیده باید عاری از هرگونه ناپیوستگی باشد.

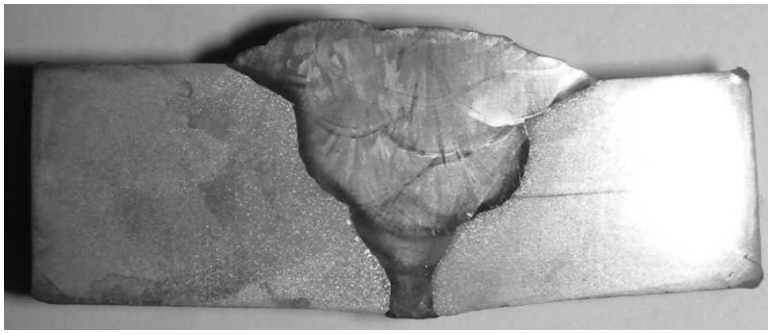


آزمون شکست (Nick Breck test)

کاربرد این آزمون بررسی عیوب جوش در سطح شکست جوش می باشد و معمولا هم برروی جوشهای سپری و لب به لب انجام می شود. اجرا آن هم به این شکل است که بر روی گرده جوش شیاری ایجاد می کنند سپس قطعه جوشکاری شده تحت نیرو مداوم قرار می گیرد. در جوشهای سپری نیرو به فلز پایه و در جوشهای لب به لب نیرو به گرده جوش وارد می شود. پس از شکست جوش ، سطح مقطع شکست از نظر عیوب درونی مورد بررسی قرار می گیرد.

آزمون ماکرواچ:

هدف از انجام این آزمون بررسی محدوده نفوذ جوش در فلز پایه و همچنین بررسی میزان نفوذ جوش در دو قطعه به هنگام استفاده از قطب معکوس و مستقیم می باشد. (مورد استفاده در اتصالات سپری) در این آزمون ابتدا جوش به صورت عرضی برش خورده و سطح مقطع برش خورده با سوهان و پولیش کاملا صیقلی می شود. سپس محلولی به نام محلول اچ آماده شده و قطعه درآن فرو می رود. در آخرین مرحله قطعه شسته شده تا محلول اچ کاملا از روی سطح پاک شود و سپس سطح جهت بررسی یا بازرسی چشمی مهیا می گردد



آزمون هاي غير مخرب Nondestructive testing يا NDT

مهمترین محدودیت آزمایشات مخرب ، ازبین رفتن قطعه پس از انجام آزمون می باشد بنابراین برای اجرای یک برنامه کنترل کیفیت موفق نمی توان از آزمونهای مخرب جهت ارزیابی تمام قطعات تولیدی استفاده نمود. به این منظور برای اطمینان از کیفیت تک تک قطعات بدون وارد شدن آسیب به آنها باید از روشهای غیرمخرب (**NDT**) استفاده شود. علاوه بر آن آزمونهای مخرب به بررسی خواص مکانیکی جوش می پردازند بدین شکل که نمونه ای مشابه با شرایط تهیه قطعه اصلی مهیا شده و تمام آزمونهای مخرب جهت بررسی مناسب بودن متغییرهای جوشکاری روی آن انجام می شود اما آزمونهای غیرمخرب بیشتر به کشف عیوب جوش می پردازند. به عبارت دیگر آزمایشات غیرمخرب برای نمایان ساختن عیوب سطحی و عیوب عمقی به کار می روند و بر اساس خواص فیزیکی فلزات طراحی شده اند.

11 آزمون مايع نافذ PT يا Penetration test

این آزمون یکی از روشهای ساده ، سریع و قدیمی تستهای غیرمخرب است که برای آشکار سازی نقایص سطحی غیر قابل تشخیص با چشم مورد استفاده قرار می گیرد. اساس این روش برمبنای خاصیت موئینگی بنا نهاده شده است. انجام این آزمون پنج مرحله دارد که در زیر به تفکیک به آنها پرداخته می شود.

الف) مرحله آماده سازی سطح یا **Cleaner**

سطح مورد آزمایش باید عاری از هرگونه چربی ، رنگ ، لایه های اکسیدی ،گرد وخاک و.... باشد.

ب) بکار بردن مایع نافذ

مایعی که به عنوان مایع نافذ استفاده می شود دارای کشش سطحی کم و قابلیت ترکنندگی خوب نسبت به ماده مورد آزمایش می باشد و قادر است روی سطح آزمایش قشر نازکی را تشکیل دهد. پس از پاکسازی سطح ، مایع نافذ می تواند به سه روش غوطه وری ، اسپری و برس بر روی سطح مورد آزمایش اعمال شود. برای نفوذ مایع نافذ به درون عیوب سطحی حدود ۳۰- ۵ دقیقه زمان و ۳۰ – ۱۵ درجه سانتی گراد حرارت نیاز است.

ج) تمیز کردن مایع نافذ

پس از اتمام این زمان ، بسته به نوع مایع نافذ ، مقدار اضافه مایع نافذ از سطح پاک شده به طوریکه هیچ مایع نافذی در سطح باقی نماند. سطح مرطوب توسط یک تکه پارچه کاملا خشک می گردد. در این مرحله مایع نافذ درون ترکها و خلل و فرج جوش باقی می ماند. دقت داشته باشید که استشمام و تماس مایع نافذ با پوست بدن یا چشم بسیار خطرناک است.

د) آشکار سازی :

ماده آشکارساز معمولا به دو صورت پودر سفید یا به صورت پودر معلق در یک مایع با سرعت تبخیر بالا وجود دارد که معمولا به شکل یک لایه نازک و یکنواخت با ذرات ریز بر روی سطح اعمال می شود مسلما کاربرد پودر با

ذرات درشت و لایه ضخیم از حساسیت آزمون می کاهد. پس از اعمال ماده آشکار ساز لایه ای سفید رنگ بر روی سطح مورد آزمایش ایجاد می شود.

ه) مشاهده وبازرسی :

در این مرحله مایع نافذ توسط پودر آشکارساز از درون ناپیوستگی ها خارج شده و در سطح نمایان می شود. بسته به نوع مایع نافذ با کمک نورمریی یا نور فلورسنت محل معیوب به روشنی نمایان می گردد. اندازه و شکل مایع نافذ رویت شده بر روی زمینه سفید رنگ مشابه اندازه و شکل عیب درون جوش ولی عریض تر می باشد.

از آنجا که این روش برای فلزات مغناطیسی و غیرمغناطیسی کاربرد داشته و بسیار ارزان و قابل حمل است کاربرد فراوانی داشته و برای تست چرخهای هواپیما ، قطعات ریخته گری با کیفیت سطح بالا و اتصالات جوشکاری به کار می رود اما در مقابل ، این روش فقط برای نمایان سازی عیوب سطحی و عیوبی که به سطح راه دارند استفاده شده و نیاز به عملیات سطحی دقیقی دارد. در این آزمایش عیوب خیلی کوچک که ماده نافذ به درون آن نفوذ نمی کند آشکار نمی شود. علاوه بر آن قطعات متخلخل ، قطعات چدنی ، قطعات با شکل پیچیده و یا قطعات با سطح زبر را با این روش نمی توان تست نمود.

مزایا :

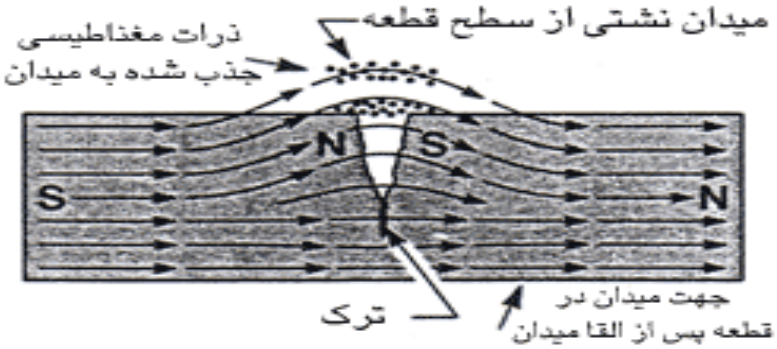
۱. عیوب سطحی شناسایی می شود.
۲. به شکل جنس قطعه بستگی ندارد .
۳. ساده وارزان است .
۴. شکل واندازه تقریبی عیب مشخص است .

محدودیت ها:

۱. عیوب زیر سطحی را نشان نمی دهد .
۲. تغییر رنگ دا ئمی نیست .
۳. مواد مصرفی سمی است .
۴. در ماندن باعث خوردگی می شود .

آزمون ذرات مغناطيسي Magnetic test یا MT

این روش نیز یکی از روشهای سریع و ساده تستهای غیرمخرب است که در فلزات فرومغناطیس برای نمایان سازی بعضی عیوب سطحی غیر قابل رویت و یا عیوب زیرسطحی نظیر ترکهای ریز ، ذرات سرباره محبوس شده و خلل و فرج که در عمق کمی از سطح قطعه قرار دارند به کار می رود. به طور خلاصه در این روش قطعه را آهنربا کرده ، سپس ذرات ریز مغناطیسی بر روی قطعه ریخته می شود. ذرات بر اساس نیروی میدان مغناطیسی ، اشکال منظمی را به خود می گیرند. در هرکجای قطعه که عیب وجود داشته باشد این دوایر قطع شده ، تغییر مسیر داده و ذرات به دور عیب جمع می شوند. با این روش می توان شکل ، اندازه و محل عیب را تشخیص داد. مسلم است که هر چه عمق عیب بیشتر باشد نیاز به میدان مغناطیسی قوی تری است. برای آزمایش مغناطیسی سطح قطعه بایستی نسبتا صاف باشد ، در غیر این صورت احتمالا ترک در زیر پوشش ناشی از برجستگی ها مخفی می ماند.



مزایا :

برای ترکهای خیلی ریز .

برای ناپیوستگی های زیر سطحی .

حساسیت بازرسی بالاست .

درضمن تولید ودرانتهای کاردرحین کارقطعه قابل انجام است .

معایب :

برای مواد فرو مغناطیس است .

جهت جریان باید عمود بر ترک باشد .

معمولا دویاچند مرتبه باید انجام شود .

بسته به عمق ترک میدان باید قویتر باشد.

آزمون به روش الکتراسونيك یا ultrasonic test یا UT

این روش جهت آشکار سازی نقائص درونی و جستجوی ترکهای کوچک سطحی کاربرد دارد. اساس آن هم تغییر دامنه و سرعت امواج فراصوت فرستاده شده در جوش در اثر برخورد با عیوب می باشد. در آزمایش **UT** از اصوات یا

امواجی با فرکانس فراتر از آستانه شنوایی انسان استفاده می شود. فرکانس این امواج حدود **20 – 20 MHZ** **KHZ** می باشد.

این روش که بسیار حساس و دقیق است برای فلزات آهنی و غیرآهنی و حتی غیرفلزات قابل استفاده است. اصول کار این آزمایش بدین شرح است که انرژی الکتریکی توسط وسیله ای به نام ترنسدیوسر به انرژی صوتی تبدیل می‌شود. ترنسدیوسر وسیله ای است که از مواد پیزو الکتریک ساخته شده است. این مواد با عبور جریان الکتریکی امواج مکانیکی تولید می کنند. اگر امواج مکانیکی تولید شده توسط پراب (شبیه گوشی پزشکی) به سطح صاف و روغن اندود مورد آزمایش منتقل شوند از ضخامت قطعه عبور کرده و در طرف دیگر توسط دستگاه گیرنده به شکل موج رفت و برگشت دریافت می شوند. اگر کوچکترین عیبی در مسیر این امواج باشد تمام یا قسمتی از موج در برخورد با این عیب منعکس می شود وروی صفحه گیرنده کاملا مشخص می شود. اگر منحنی استاندارد فاصله و زمان رفت و برگشت موج موجود باشد می توان فاصله عیب تا سطح را به خوبی تعیین کرد. عیوبی مثل ترک ، تخلخل ، آخال ، ذوب ناقص و آلودگی های عناصر غیرفلزی توسط این روش قابل ردیابی است.

- مزایا :

۱. این روش متداول ترین آزمون است .
۲. مکان دقیق عیب را نمایش میدهد.
۳. کلیه عیوب را نشان می دهد (سطحی وزیر سطحی) .
۴. **LOP &LOF**را به راحتی نمایش می‌دهد.
۵. قابلیت اتصال به کامپیوتر وپرینتر را دارد .
۶. درکلیه مناطق قابل استفاده است .
۷. بلافاصله نتایج آزمون مشخص میگردد.
۸. آلودگی زیست محیطی ندارد .
۹. برای انسان خطر آفرین نیست .

- معایب :

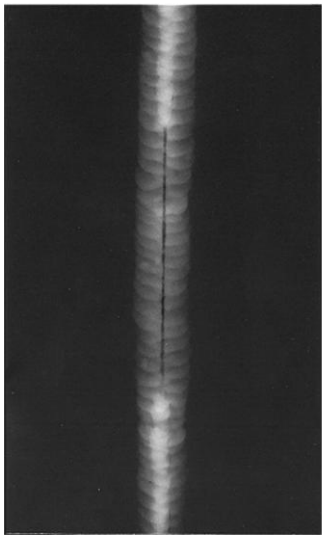
۱. نسبت **PT,MT** بسیار گران است.
۲. اپراتور به تخصص بالایی نیز دارد .
۳. در تشخیص عیوب بزرگ مشکل دارد (بزرگتر از اندازه پراپ) .

آزمون به روش راديوگرافي Radiographic testing یا RT

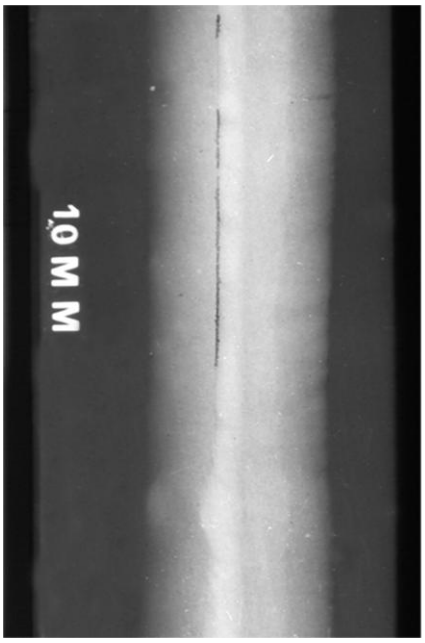
یکی از مفیدترین ، پرکاربرد ترین و متداول ترین روشهای بازرسی و کنترل کیفیت جوش در قطعات با ابعاد ، اشکال و مواد مختلف روش رادیوگرافی است. مبنای این روش قدرت جذب و یا نفوذ اشعه یا پرتو در قطعات می باشد. اشعه یا پرتو از قطعه عبور داده شده و پس از عبور ، تصویری را روی فیلمی که در آن طرف قطعه قرار دارد ایجاد می کند.

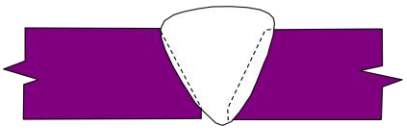
مقدار جذب اشعه به ضخامت و غلظت عناصر فلزی قطعه مورد آزمایش بستگی دارد. مسلم است مناطقی که ضخامت کم یا دانسیته کم دارند جذب پرتو کم و نفوذ پرتو بیشتر است و قاعدتا تصویر سیاه تری روی فیلم ایجاد می شود و بالعکس مناطقی که ضخیم هستند جذب پرتو بیشتری داشته و تصویر فیلم روشن تر خواهد بود. به هنگام آزمون قطعات جوشکاری شده به این روش اگر جوش سالم و یکنواخت باشد فیلمی که در آن طرف قطعه قرار دارد با غلظت یکنواخت تار می شود اما اگر در مسیر اشعه عیوبی نظیر حفره گازی ، سرباره محبوس شده ، ترک ، فقدان نفوذ و غیریکنواختی ضخامت وجود داشته باشد اشعه در این مواضع کمتر جذب شده و با شدت بیشتری روی فیلم تاثیر می گذارد. این امر باعث می شود تا فیلم تاریکتر شود. پس از پایان عملیات و ظاهر کردن فیلم می توان موقعیت ، اندازه و نوع عیوب را با کمک نمونه های استاندارد تشخیص داد. عواملی همچون شدت پرتو تابشی ، فاصله منبع اشعه تا فیلم و مدت زمان تابش تاثیر مستقیم بر روی کیفیت تصویر دارد. در این آزمون به علت قدرت نفوذ بالا از دو اشعه یا پرتو به نام های **X** (ایکسوگراف) و گاما (گاما گراف) استفاده می شود که براحتی می توانند نقائص درونی قطعه را نشان دهند. دو اشعه **X** و گاما قابل تشخیص نیستند و تنها در روش تولید با یکدیگر متفاوت هستند. اشعه **X** از طریق بمباران یک هدف فلزی با الکترونهای پرسرعت تولید می شود اما اشعه گاما از تشعشعات یک ماده رادیواکتیو که در حال متلاشی شدن است ایجاد می گردد. در رادیوگرافی صنعتی از ایزوتوپهای مصنوعی مانند ایریدیم ۱۲۹ ، کبالت ۶۰ و سدیم ۱۳۷ برای تولید گاما استفاده می کنند.

روش رادیوگرافی یا **RT** علاوه بر گرانی تجهیزات ، فرآیندی زمان بر مخصوصا در مبحث بازرسی و ظهور فیلم می باشد وایمنی کارکنان در این روش بسیار مهم است. اما در مقابل این محدودیت ها ، روش **RT** بسیار کاربردی است چرا که اکثر عیوب مخصوصا عیوب داخلی را نشان می دهد و قابلیت مستند سازی را دارد. نکته پایانی در مورد آزمون **RT** مربوط به پرسنل آزمون کننده است. این افراد باید آموزشهای لازم را دیده باشند و در دوره های معینی تحت معاینه پزشکی قرار گیرند. علاوه بر آن به همراه داشتن وسایلی که میزان اشعه رسیده به بدن پرسنل را نشان می دهد در طول اجرای آزمون الزامی است.

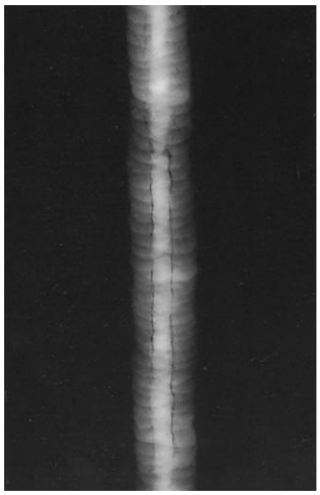


Lack of root penetration





Lack of root Fusion



Elongated slag lines

www.iran-mavad.com
مرجع دانشجویان و مهندسین مواد
Sayyed Reza Taghavi Shahri