بخش دوم
فرآیندهای متداول جوشکاری سازه های فلزی
مواد مصرفی در جوشکاری
منابع تولید قدرت در جوشکاری با قوس الکتریکی
نکات ایمنی در جوش برق

فرآیندهای متداول جوشکاری سازه های فلزی

از میان فرآیندهای جوشکاری ، چهار فرآیند جوشکاری قوسی که برای جوشکاری سازه های فلزی
ساختمان های مسکونی و صنعتی متداول است ، انتخاب شده است که عبارتند از :

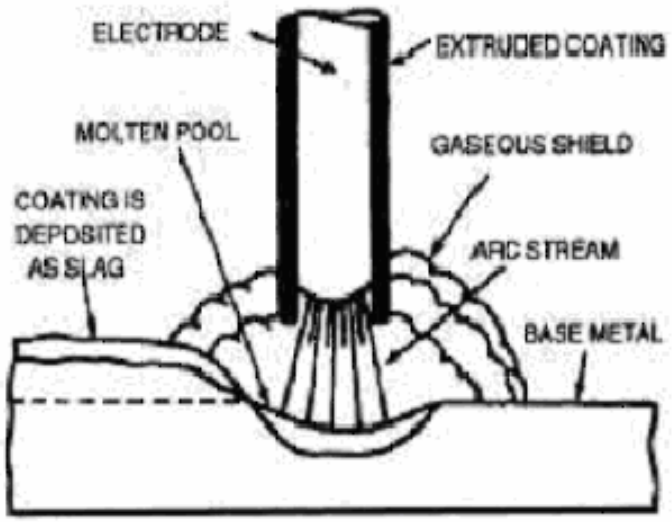
۱. جوشکاری قوسی فلزی با الکترود روپوش دار (***SMAW***)
۲. جوشکاری قوسی فلزی تحت پوشش گاز محافظ با الکترود مصرفی (***GMAW***)
۳. جوشکاری قوسی فلزی تحت پوشش گاز محافظ با الکترود تنگستنی (***GTAW***)
۴. جوشکاری قوسی زیر پودری (***SAW***)

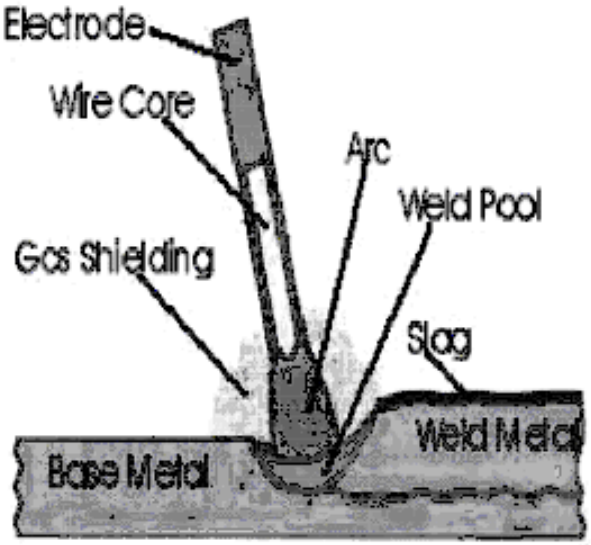
حال به شرح مختصری از فرآیندهای بالا می پردازیم :

جوشکاری قوسی با الکترود روپوش دار
Shielded Metal Arc Welding

این فرآیند جوشکاری ، فرآیند جوشکاری قوسی است که در آن ، قوس بین یک الکترود روپوش دار و قطعه کار زده می شود و حرارت لازم برای ذوب کردن فلز پایه و الکترود تأمین می شود. در این فرآیند از مکانیزم فشار استفاده نمی شود. کار محافظت از حوضچهٔ مذاب در این فرآیند بر عهدهٔ پوشش الکترود می باشد که این پوشش در هنگام جوشکاری در اثر حرارت تجزیه شده و به صورت سرباره و گاز از فلز جوش محافظت می کند. سرباره نقش پوشش حرارتی داشته و از سرد شدن سریع جوش جلوگیری کرده و کیفیت جوش را اصلاح می کند. همچنین سرباره دارای ترکیباتی می باشد که به فلز جوش اضافه شده و به این ترتیب عناصر از دست رفتهٔ منطقهٔ جوش در حین جوشکاری جایگزین می شود.

در زیر نمایی از جوش قوس الکتریکی نشان داده شده است .





اصول کار :

حرارت قوس ، برای ذوب فلز پایه و نوک الکترود پوشش دار مصرف شدنی بکار می رود.
الکترود و قطعه کار قسمتی از مدار الکتریکی هستند. این مدار از منبع تغذیهٔ نیرو شروع می شود و شامل کابل های جوشکاری ، نگه دارندهٔ الکترود (انبر) ، اتصال قطعه کار ، قطعه کار (فلز پایه) و الکترود جوشکاری قوسی می باشد. یکی از دو کابل از منبع نیرو به قطعه کار و دیگری به نگه دارندهٔ الکترود متصل است. جوشکاری موقعی شروع می شود که قوس بین نوک الکترود و قطعه کار برقرار شود. حرارت شدید قوس ، نوک الکترود و سطح قطعه کار نزدیک به قوس را ذوب می کند. قطرات ریز فلز مذاب سریعاً در نوک الکترود تشکیل می شود ، که از طریق جریان قوس به حوضچهٔ مذاب منتقل می شود. در این حالت ، فلز پر کننده با مصرف تدریجی الکترود رسوب می کند. قوس روی قطعه کار با طول و سرعت معینی حرکت می کند و قسمتی از فلز پایه را ذوب و مداوماً فلز جوش را افزایش می دهد. (قوس یکی از گرم ترین منبع حرارتی ، با درجه حرارتی بیش از ۵۰۰۰ درجهٔ سانتیگراد در مرکز قوس می باشد.) ذوب فلز پایه تقریباً بلافاصله پس از شروع قوس صورت می گیرد. انتقال فلز ، در صورتی که جوش ها در حالت تخت یا افقی صورت گیرند ، با نیروی ثقل ، انبساط گازی ، نیروهای الکتریکی و الکترومغناطیسی و کشش سطحی انجام می گیرد. در مورد سایر حالات ، ثقل علیه نیروها عمل می کند. فرآیند به نیروی برق برای ذوب الکترود و ذوب مقدار کافی فلز پایه ، همچنین به شکاف و فاصلهٔ مناسب بین نوک الکترود و فلز پایه یا حوضچهٔ مذاب نیاز دارد. همهٔ این موارد برای انجام یک اتصال خوب ضروری می باشد.

الکترودهای فرآیند جوشکاری ***SMAW*** ، نیازهای ولتاژ قوس (در محدودهٔ ۱۶ الی ۴۰ ولت) و نیازهای آمپراژ (در محدودهٔ ۲۰ الی ۵۵۰ آمپر) را مشخص می کنند.

جریان بر حسب نوع الکترود بکار برده شده و ممکن است متناوب یا یکنواخت باشد ، ولی منبع نیرو باید بتواند سطح جریان را در محدوده ای قابل قبول برای جوابگویی به تغییرات بغرنج خود فرآیند جوشکاری کنترل کند.

یونیزاسیون :

گازها در حالت عادی قابلیت هدایت الکتریسیته را ندارند ولی اگر تحت تأثیر عوامل خارجی از قبیل حرارت زیاد ، حوزهٔ الکتریکی و غیره قرار بگیرند بعضی از اتم ها الکترون از دست داده و بار مثبت پیدا می کنند. یون های مثبت و برخی از الکترون های آزاد وارد مدار اتم های خنثی شده آنها را دارای بار منفی می سازند (یون های منفی) این عمل یونیزه شدن نامیده می شود.

گاز یا هوا پس از یونیزه شدن قابلیت هدایت الکتریسیته پیدا می کند و هر چه شدت عمل یونیزه شدن بیشتر باشد ، حرکت یون های باردار سریع تر و قابلیت هدایت بیشتر می گردد.

قوس الکتریکی :

اگر دو سر مثبت و منفی یک مولد برق به هم خورده و در فاصلهٔ کمی از یکدیگر قرار گیرند در اثر اختلاف پتانسیل موجود بین آنها جرقه هایی زده می شود. این جرقه ها موجب یونیزه شدن هوای بین دو قطب شده و باعث عبور جریان برق و تکمیل مدار می گردد.

بدیهی است که جریان الکتریکی از مدار باز نمی تواند عبور کند چون مقاومت الکتریکی آن فوق العاده زیاد است. مدار بسته هم در مقابل جریان الکتریکی مقاومت نشان می دهد و در اثر این مقاومت ها مقداری از انرژی الکتریکی تبدیل به انرژی حرارتی می شود. (هر چه قدر مقاومت الکتریکی بیشتر باشد حرارت ایجاد شده بیشتر است.)

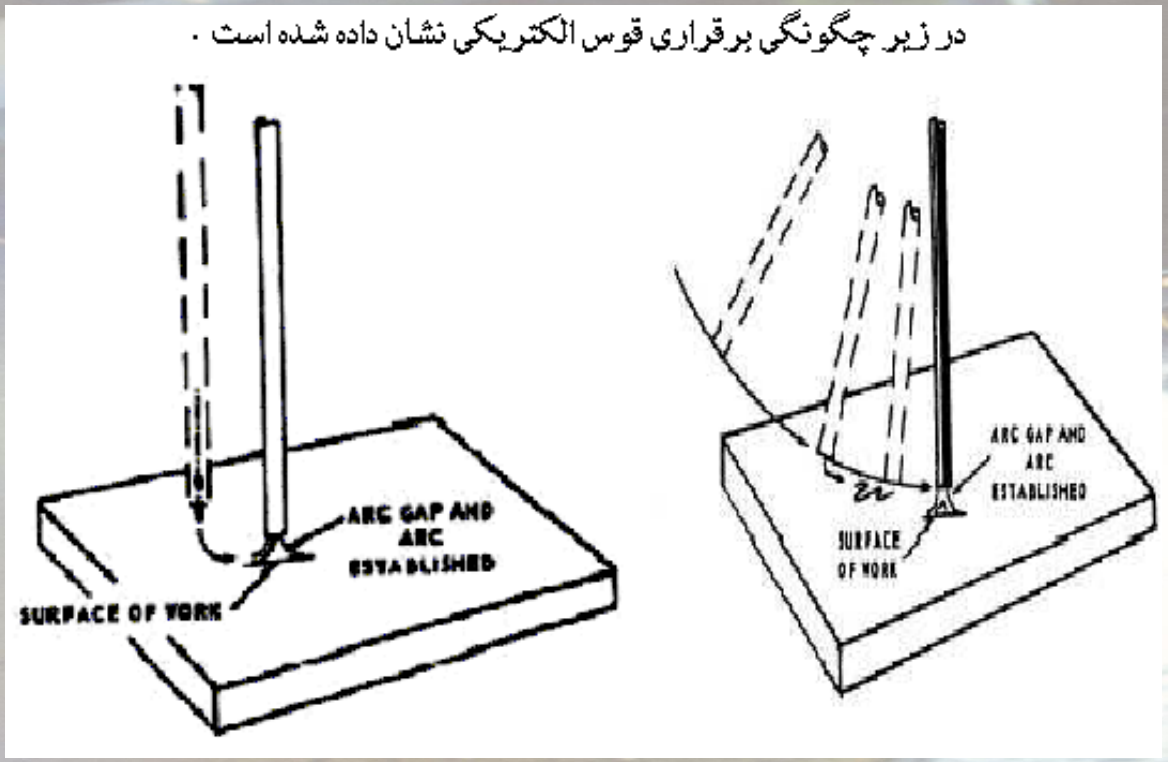
همانطور که گفته شد اگر دو سر مثبت و منفی یک مولد برق به هم برخورد کرده و سپس در فاصلهٔ کمی از هم قرار بگیرند بین آنها قوس الکتریکی برقرار می شود و جریان برق از مدار می گذرد. ولی چون مقاومت الکتریکی قوس زیاد است حرارت قابل ملاحضه ای تولید می شود. از حرارت فوق الذکر می توان برای ذوب دو قطعه فلز و اتصال آنها به یکدیگر استفاده نمود.

قوس الکتریکی به عوامل مختلفی نظیر جنس الکترود ، طول قوس ، نوع گاز ، فاصلهٔ هوایی و نوع جریان الکتریکی بستگی دارد.

برای روشن کردن قوس الکتریکی و نگهداری قوس به ولتاژ بیشتری لازم است ، چون مقداری از ولتاژ صرف یونیزه کردن فاصلهٔ هوایی بین الکترود و قطعه کار می شود.

قوس الکتریکی در میدان مغناطیسی منحرف می شود و با کوتاه کردن قوس ، نزدیک کردن اتصال جوش ، گرفتن الکترود در جهت انحراف قوس و تغییر زاویهٔ الکترود می توان از میزان انحراف قوس کاست.

در زیر چگونگی برقراری قوس الکتریکی نشان داده شده است .



مدار جوشکاری قوسی :

در جوشکاری با قوس الکتریکی ، جریان برق از طریق کابل جوشکاری و انبر الکترود به میلهٔ الکترود می رسد. سر دیگر ماشین جوش به قطعه کار مورد جوشکاری یا به میز کار متصل می شود که با تماس الکترود با قطعه کار ، در مدار جریان برق اتصال کوتاه حاصل شده و جریان زیادی از طریق الکترود – قوس قطعهٔ مورد جوشکاری – کابل برگشت به طرف ماشین جوشکاری عبور می کند.

حال اگر الکترود از فلز مبنا جدا شده و در فاصلهٔ معینی از آن قرار گیرد جهش جرقه باعث یونیزه شدن هوا و ایجاد قوس می گردد.

مقاومت الکتریکی زیاد قوس ، تولید حرارت فوق العاده ای می نماید که باعث ذوب الکترود و لبه های دو قطعه فلز جوش شونده و در هم آمیختن آنها می شود و بدین ترتیب اتصال دو قطعه را بوسیلهٔ جوشکاری فراهم می سازد.

پارامترهای فرآیند جوشکاری SMAW :

در جوشکاری قوسی چهار عامل وجود دارد که تأثیر زیادی بر روی کیفیت جوش دارند و برای اینکه جوش خوبی بدست آید ، لازم است هر یک از آنها با نوع کار و وسایل مورد استفاده هم آهنگ و تنظیم شوند. این چهار عامل عبارتند از :

A.شدت جریان :

وقتی قوس برقرار می شود و جوشکاری آغاز می شود ، مقدار آمپری که از مدار جوشکاری عبور می کند به شدت جریان جوشکاری موسوم است. جریان برق متناسب با قطر الکترود مصرفی روی ماشین جوشکاری میزان می شود. هر چه قطر الکترود بیشتر باشد ، جریان مصرفی بیشتر است. همیشه به میزان آمپری که سازنده الکترود توصیه کرده است توجه کرده ولی اگر جدول آمپر در دسترس نباشد می توان از قاعدهٔ کلی زیر استفاده کرد :

مقدار آمپر جوشکاری برابر است با قطر الکترود ضربدر عدد ۳۵ یا ۴۰

برای قطعات ضخیم از شدت جریان بیشتری استفاده می شود. با افزایش شدت جریان تعداد جرقه ها و در نتیجه دمای ایجاد شده افزایش می یابد.

شدت جریان کم باعث نقص نفوذ جوش به قطعه و شدت جریان زیاد باعث خوردگی کنارهٔ جوش در قطع می گردد.

شدت جریان بالا باعث نفوذ خوب جوش و اگر باز هم شدت جریان بیش از حد بالا باشد در این صورت خواص پوشش الکترود از بین می رود و شدت جریان پایین باعث نفوذ کم جوش می شود پس باید در تنظیم شدت جریان دقت عمل لازم را داشته باشیم.

تناسب تقریبی شدت جریان با قطر الکترود و ضخامت ورق در وضعیت تخت

قطر الکترود بر حسب میلیمتر	ضخامت ورق بر حسب میلیمتر	شدت جریان بر حسب آمپر	ولتاژ تقریبی بر حسب ولت
3.25-2.25	4-2	100-60	17-15
4-3.25	6-4	150-100	20-17
5-4	10-6	200-150	22-20
6-5	بزرگتر از 10	400-200	22

مقدار حداکثر جریان با توجه به وضعیت جوشکاری

وضعیت جوشکاری	حداکثر شدت جریان
حالت تخت	250 آمپر
حالت افقی	200 آمپر
حالت قائم	160 آمپر
حالت بالا سری	150 آمپر

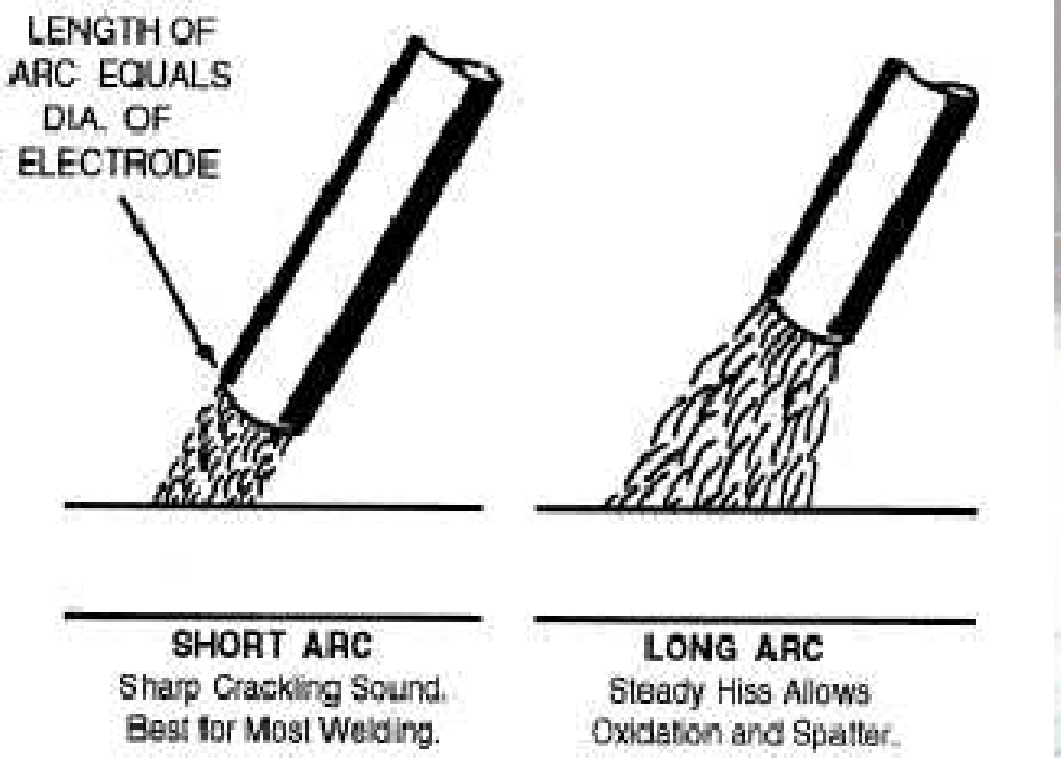
قطر نوع الکترود و شدت جریان و ولتاژ مناسب برای الکترود E6013

ولتاژ مورد نیاز قوس الکتریکی بر حسب ولت	شدت جریان عبوری بر حسب آمپر	قطر الکترود بر حسب میلیمتر	قطر الکترود بر حسب اینچ
21-17	60-25	2	5.64
21-17	90-45	2.5	3.32
22-18	120-80	3.25	1.8
22-18	180-105	4	5.32
24-20	230-150	5	3.16
25-21	300-210	5.5	7.32
26-22	350-250	6	1.4
27-22	430-320	8	5.16

B.طول قوس (ولتاژ قوس) :

طول قوس عبارت است از فاصلهٔ بین سر الکترود تا سطح قطعه مورد جوشکاری به هنگام برقراری قوس ، در نتیجه طول قوس در هنگام جوشکاری تأثیر زیادی بر روی جوش می گذارد.

در زیر طول قوس کوتاه و بلند نشان داده شده است .



طول قوس با ولتاژ دو سر قوس رابطهٔ مستقیم دارد یعنی برای این که ولتاژ دو برابر شود ، باید طول قوس را زیاد و در حدود دو برابر کنیم.

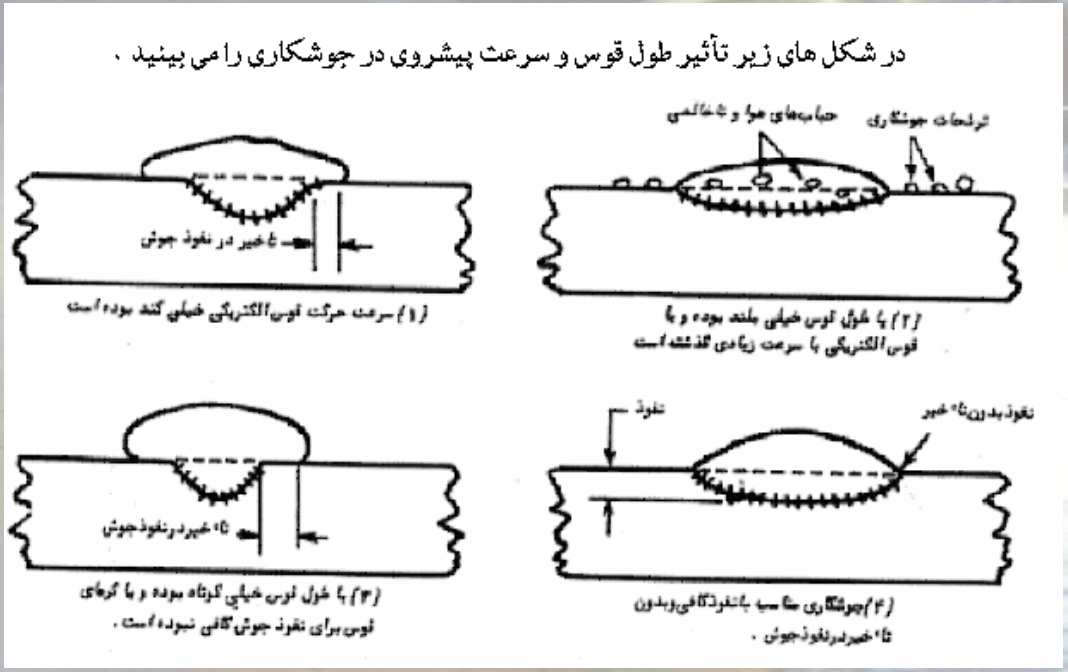
ما در این فرآیند جوشکاری دارای دو نوع ولتاژ می باشیم که عبارتند از :

ولتاژ مدار باز : ولتاژی که قبل از جوشکاری روی دستگاه تنظیم می شود را ولتاژ مدار باز گویند و معمولاً این ولتاژ برابر ۵۰ الی ۸۰ ولت می باشد.

ولتاژ قوس : ولتاژی که بر در هنگام جوشکاری بر روی دستگاه می باشد را ولتاژ قوس می گویند و معمولاً این ولتاژ نصف ولتاژ مدار باز است.

البته باید به این نکته اشاره کرد که در جوشکاری ولتاژ بالا مورد استفاده قرار نمی گیرد و آمپر بالا مورد استفاده قرار می گیرد و جوشکاری با ولتاژ بالا خطر برق گرفتگی نیز دارد.

عملاً برای جوشکار اندازه گیری دقیق طول قوس هنگام جوشکاری مقدور نیست ولی جوشکار می تواند با گوش دادن به صدای قوس و یا تمرین و تجربه طول قوس مناسب را برقرار سازد.



محاسبهٔ ولتاژ جوشکاری :

برای محاسبهٔ ولتاژ جوشکاری می توانیم از فرمول زیر استفاده نماییم :

$$V = K + (Ld / 10S) * I$$

در این رابطه داریم :

V = ولتاژ جوشکاری **K** = ضریب ثابت برای هر فلز

L = طول قوس (در این معادله معمولاً طول قوس را برابر ۳ میلیمتر در نظر می گیریم و اصلاً به قطر الکترود بستگی ندارد.)

d = قطر الکترود (منظور از قطر الکترود ، قطر مغزی یا مفتول الکترود می باشد.)

S = مساحت مقطع الکترود می باشد. **I** = آمپر جوشکاری

از رابطهٔ بالا نتایج زیر قابل استنباط می باشد :

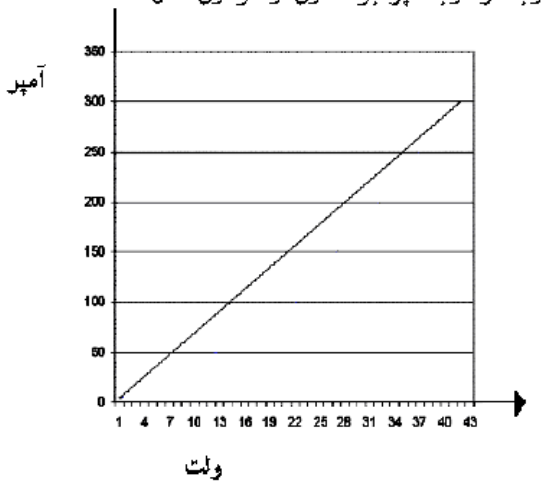
ولتاژ جوشکاری با طول قوس رابطهٔ مستقیم دارد یعنی با افزایش طول قوس ولتاژ جوشکاری نیز افزایش می یابد.

ولتاژ جوشکاری با قطر الکترود رابطهٔ مستقیم دارد ولی باز هم اگر قطر الکترود زیاد شود ولتاژ جوشکاری کم می شود چون در این حالت قطر الکترود به توان یک به صورت اضافه و به توان دو به مخرج (**S**) اضافه می شود ، که در کل با افزایش قطر الکترود با کاهش ولتاژ روبرو می شویم.

ولتاژ جوشکاری با مساحت سطح مقطع الکترود رابطهٔ عکس دارد یعنی با افزایش سطح مقطع الکترود ولتاژ جوشکاری کاهش می یابد.

ولتاژ جوشکاری با آمپر رابطهٔ مستقیم دارد یعنی با افزایش ولتاژ ، آمپر جوشکاری نیز افزایش می یابد.

در زیر رابطه ولتاژ با آمپر جوشکاری در نموداری نشان داده شده است .



مثال : فولاد **St37** را با الکترود با قطر **3.25** و در شرایطی که طول قوس ۳ میلیمتر و شدت جریان جوشکاری **150A** باشد ، ولتاژ قوس را محاسبه نمایید.

حل :

ابتدا معلومات و مجهولات مسئله را بررسی می کنیم :

K = ۱۲ L = ۳ میلیمتر d = ۳,۲۵ میلیمتر

I = ۱۵۰ آمپر

S = ۸,۲۹ میلیمتر مربع V = ?

$V = ۱۲ + (۳ * ۳,۲۵ * ۱۵۰) / (۱۰ * ۸,۲۹) = ۲۸,۴$

c.سرعت پیشروی

سرعت حرکت دست به عوامل زیر بستگی دارد :

پهنای جوش

اگر سرعت پیشروی کم باشد آنگاه نفوذ و پهنای جوش زیاد و باز هم اگر سرعت پیشروی زیاد باشد آنگاه نفوذ و پهنای جوش کم می شود.

قطر الکترود

با افزایش قطر الکترود باید سرعت پیشروی را کاهش دهیم تا الکترود به اندازهٔ کافی رسوب داده شود.

ضخامت ورق

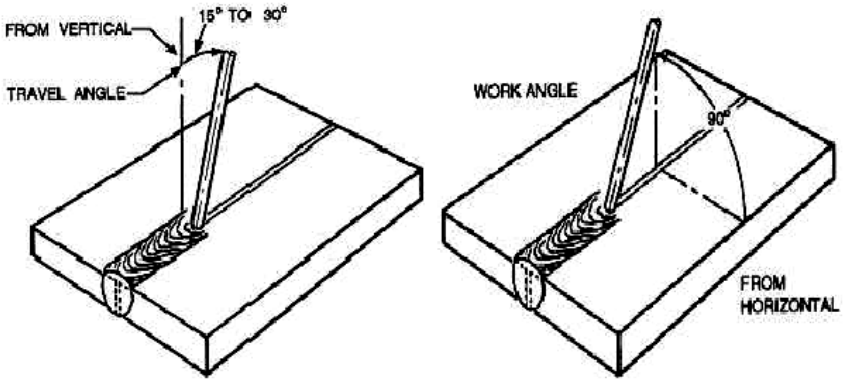
با افزایش ضخامت ، باید سرعت حرکت پیشروی را کاهش دهیم تا لبه های اتصال ذوب و در هم آمیخته شوند.

حرکت الکترود

حرکات الکترود از قبیل زاویهٔ الکترود و نوع حرکت آن در کیفیت جوش بسیار مؤثر می باشد.

هر چه زاویهٔ الکترود عمود به قطعه کار باشد آنگاه نفوذ و عمق جوش بیشتر و هر چه قدر زاویهٔ الکترود خوابیده روی قطعه کار باشد نفوذ و عمق جوش کمتر است که از این نکته می توان در حالت های جوشکاری مختلف استفاده نمود.

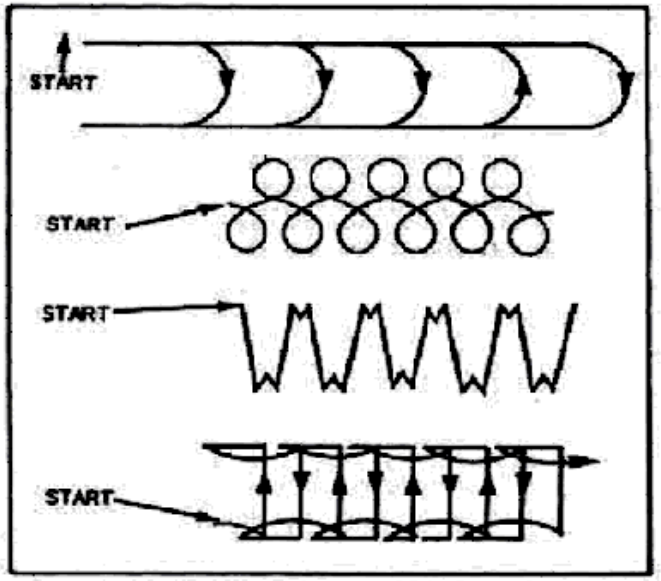
در زیر زاویهٔ الکترود مناسب در فرآیند جوشکاری SMAW نشان داد شده است .



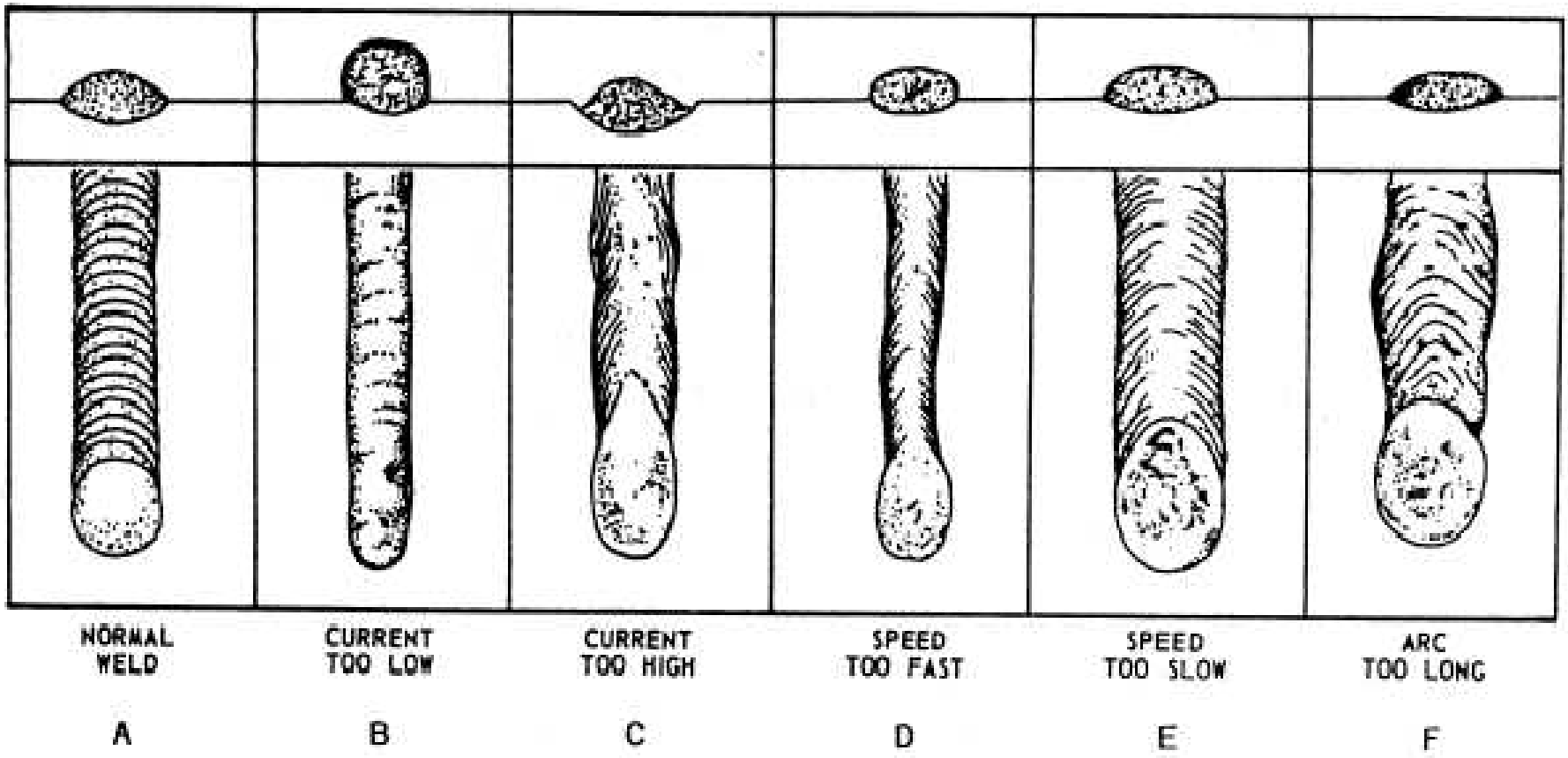
ما در جوشکاری می توانیم حرکات مختلفی با الکترود انجام دهیم مثلاً حرکت نوسانی یا حرکت زیگزاکی و غیره. اگر در هنگام جوشکاری الکترود را مستقیماً به طرف جلو حرکت دهیم آنگاه نفوذ و عمق جوش نسبت به زمانی که حرکت نوسانی یا زیگزاکی انجام می دهیم کمتر خواهد بود.

البته باید اشاره کرد که در طرح اتصال های مختلف از زاویهٔ مناسب الکترود و نوع حرکت مخصوص استفاده می کنیم که در بخش ضمیمهٔ همین جزوهانواع زوایا و حرکات مختلف برای انواع اتصالات نشان داده شده است.

در زیر چند نوع حرکت دست که در هنگام جوشکاری می توانیم داشته باشیم نشان داده شده است .



در زیر تأثیر پارامترهای جوشکاری را بر روی ظاهر و کیفیت جوش را می بینید .



قابلیت ها و محدودیت های فرآیند جوشکاری ***SMAW*** :

جوشکاری قوسی فلزی محافظت شده ، فرآیندی با بیشترین کاربرد بویژه برای جوش های کوتاه در تولید ، نگه داری و تعمیرات و برای ساختارهای کارگاهی مناسب است.

در زیر مزایای این فرآیند جوشکاری آورده شده است :

تجهیزات آن نسبتاً ساده ، ارزان و قابل حمل است.

حفاظت از فلز پر کننده و فلز جوش در برابر اکسایش مضر در جریان جوشکاری ، به عهدهٔ الکترود پوشش دار می باشد.

حفاظت گازی کمکی یا روان ساز دانه ای مورد لزوم نیست.

فرآیند در قبال باد و کوران نسبت به فرآیندهای جوشکاری قوسی محافظت شدهٔ گازی ، دارای حساسیت کمتری است.

می توان آن را در فضاهایی با دسترسی کمتر بکار برد.

این فرآیند جوشکاری برای بیشتر فلزات و آلیاژهای معمولی مناسب است.

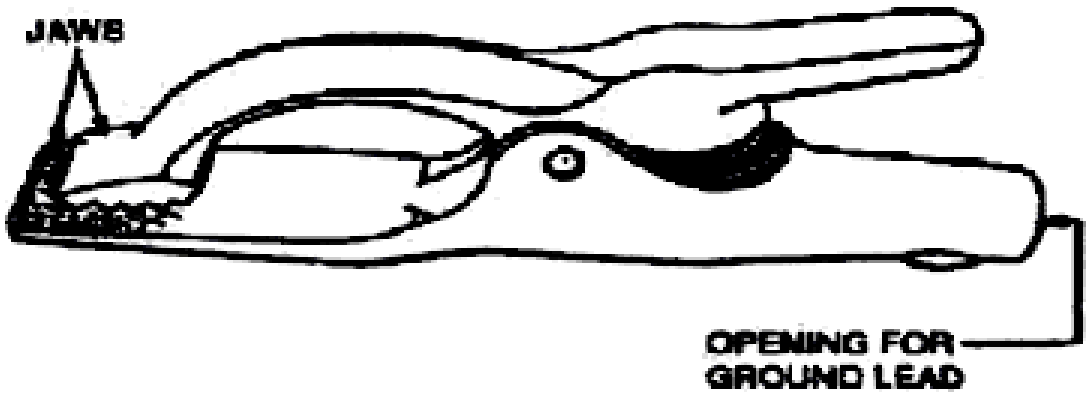
الکترودهای ***SMAW*** برای جوشکاری فولادهای کربنی و کم آلیاژی ، فولادهای زنگ نزن ، چدن ها ، مس و نیکل و آلیاژهای آنها و برای بعضی از آلیاژهای آلومینیوم ، وجود دارد. فلزات زود گذار مانند سرب ، قلع و روی و آلیاژهای آنها ، به علت حرارت شدید قوس برای آنها ، توسط این فرآیند ***SMAW*** جوشکاری نمی شوند. فرآیند جوشکاری ***SMAW*** برای فلزات واکنشگر از قبیل تیتان ، زیرکونیم ، تانتال و نیوبیم به علت کافی نبودن حفاظت برای جلوگیری از آلودگی اکسیژنی جوش ، مناسب نیست. الکترودهای روپوش دار به طول های ۲۳۰ الی ۴۶۰ میلیمتر تولید می شوند. از آنجا که اول قوس زده می شود ، لذا جریان از تمامی طول قوس عبور می کند. بنابراین مقدار جریانی را که می توان بکار برد توسط مقاومت الکتریکی سیم مغزه محدود می گردد. آمپراژ باعث گرم شدن بیش از حد الکترود و شکستن پوشش آن می گردد. این امر به نوبهٔ خود مشخصات قوس و حفاظت مربوطه را تغییر می دهد. به علت همین محدودیت ، نرخ های رسوب معمولاً کمتر از فرآیندهایی از قبیل جوشکاری قوس فلزی (***GMAW***) است. چرخهٔ کار اپراتور و نرخ های رسوب کلی الکترودهای روپوش دار معمولاً کمتر از فرآیند الکترود یکسره نظیر جوشکاری قوسی توپودری (***FCAW***) است. این امر به این علت است که الکترودها را تا حداقلی از طول آن می توان بکار برد. هنگامی که به آن طول رسید ، جوشکار باید الکترود مصرف نشده را دور ریخته و الکترود جدیدی در انبر قرار دهد. بعلاوه سرباره نیز باید در شروع و آخرها و قبل از رسوب جوش مجاور رویه یا کنار مهرهٔ رسوب شده ، زدوده شود.

یکی دیگر از محدودیت های این فرآیند جوشکاری ، محل تعویض الکترود می باشد که در محل تعویض الکترود برخی عیوب دیده می شوند.

تجهیزات و لوازم ضروری برای فرآیند جوشکاری SMAW :

منبع نیرو برای ذوب کردن الکترود و لبه های اتصال
نگه دارندهٔ الکترود (انبر جوشکاری)
اتصال قطعه کار
کابل های جوشکاری

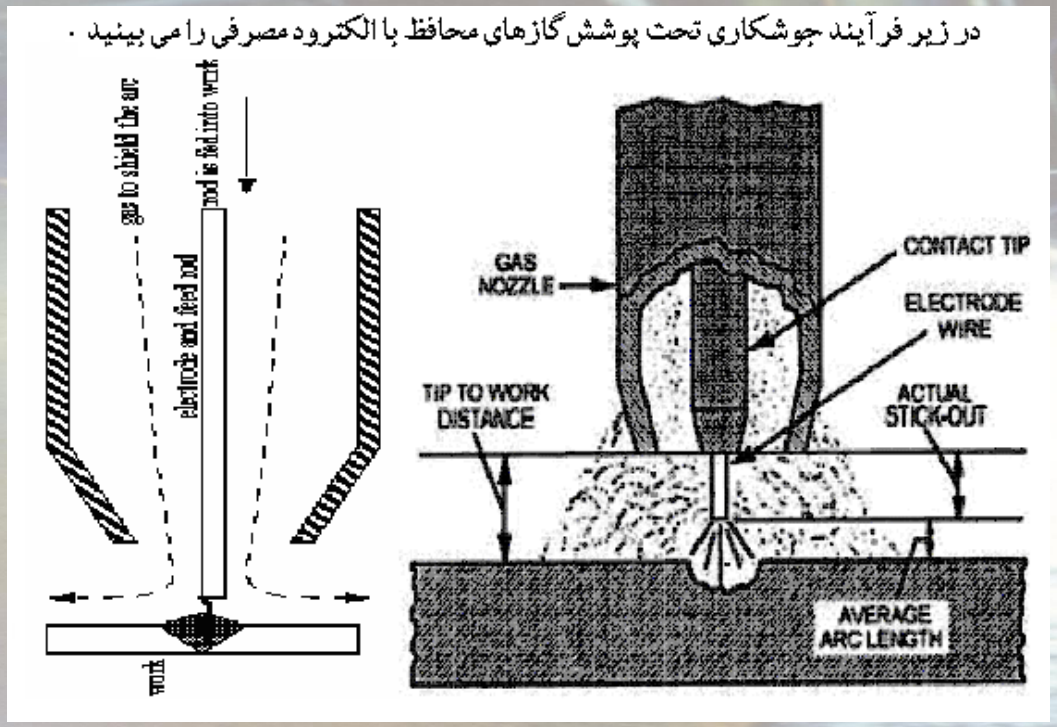
در شکل زیر انبر جوشکاری نشان داده شده است .



جوشکاری تحت پوشش گازهای محافظ با الکترود مصرفی
Gas Metal Arc Welding

فرآیند جوشکاری است که در آن ، با ذوب کردن اتصال توسط یک قوس الکتریکی بین یک الکترود یکسرهٔ فلزی پر کنندهٔ مصرف شدنی و قطعه کار و حفاظت توسط یک گاز (مثلاً گاز آرگون یا گاز کربنیک) و یا مخلوطی از گازها ، احتمالاً محتوی یک گاز خنثی ، یا مخلوطی از یک گاز و یک سرباره و بدون کاربرد فشار صورت می گیرد. این فرآیند گاهی جوشکاری **MIG** ، **MAG** یا **CO2** نامیده می شود. تغذیهٔ الکترود مداوم است. الکترود (سیم جوش) لخت می باشد. این فرآیند جوشکاری را می توان با ماشین نیمه خودکار یا روش های خودکار انجام داد.

در زیر فرآیند جوشکاری تحت پوشش گازهای محافظ با الکترود مصرفی را می بینید .



فرآیند جوشکاری MIG :

در فرآیند **MIG** برای محافظت از فلز جوش و مذاب معمولاً از گازهای آرگون و هلیوم و مخلوطی از این گازها و گازهای بی اثر (**Inert**) و غیره استفاده می شود. فرآیند جوشکاری **MIG** برای جوشکاری فلزاتی مانند فولاد زنگ نزن ، آلومینیوم ، نیکل و مس مورد استفاده قرار می گیرد.

در زیر نمونه ای از دستگاه جوشکاری MIG نشان داده شده است .

فرآیند جوشکاری MAG :

این فرآیند جوشکاری ، همانند فرآیند **MIG** می باشد ، با این تفاوت که در این فرآیند برای حفاظت از جوش و منطقهٔ مجاور ، از گازهای فعال (**Active**) استفاده کرده و برای اتصال فلزات آهنی استفاده می شود.

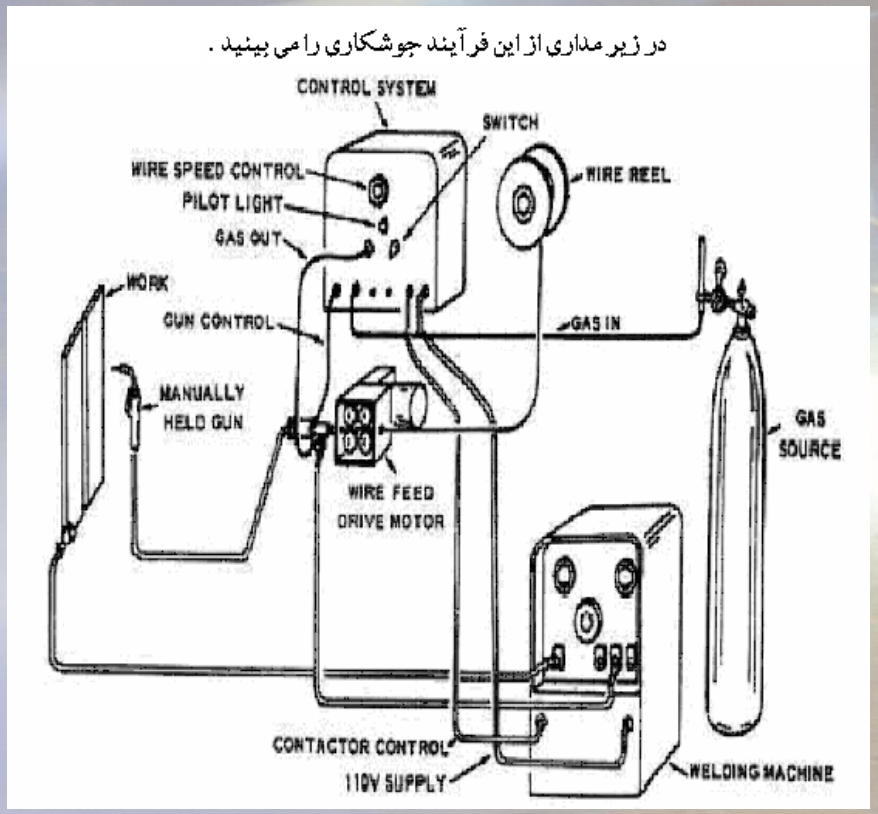
معمولاً با اضافه کردن درصدی اکسیژن در گاز محافظ ، برای جوشکاری فولادهای معمولی (فولاد سادهٔ کربنی) بکار می رود زیرا با اضافه کردن مقدار کمی اکسیژن به گاز محافظ باعث آرام تر شدن و محوری شدن قطرات مذاب می شود و در نتیجه حوضچهٔ جوش روان بوجود می آید که حوضچهٔ جوش روان وظایف خیس کنندگی بهتری ایجاد می کند و در نهایت شکل باند جوش مسطح تر و صاف تر می باشد. البته باید توجه داشت که به خاطر این مقدار اکسیژن باید از عناصر اکسیژن زدا در الکترود استفاده کرد تا فلز جوش از نظر متالورژیکی دچار مشکل نشود.

در فرآیند جوشکاری **MAG** گاهی اوقات از گاز محافظ **CO2** استفاده می کنند که برای جوشکاری فولادهای معمولی و آلیاژی بکار گرفته می شود.

تجهیزات و لوازم ضروری برای فرآیند جوشکاری GMAW :

وسایلی که در این فرآیند جوشکاری مورد استفاده قرار می گیرد عبارتند از :

۱. منبع نیرو (تأمین کنندهٔ انرژی برای ذوب الکترود)
۲. دستگاه تغذیهٔ سیم جوش
۳. کابل جوشکاری
۴. تورچ جوشکاری (انبر جوشکاری)
۵. قسمت تأمین کنندهٔ گاز محافظ



مزایایی فرآیند جوشکاری GMAW :

این فرآیند جوشکاری نسبت به دیگر فرآیندهای قوسی دیگر مانند **SMAW** مزایای زیادی دارد که به شرح زیر می باشد :

۱. این فرآیند طوری است که می تواند در مورد بیشتر فلزات مغناطیسی مفید باشد.
۲. اتوماسیون یا روباتیک کردن این فرآیند به دلیل پیوسته بودن الکترود و به علت طول قوس ثابت آسان می باشد.
۳. تمرکز قوس الکتریکی به علت توان بر سطح بالا زیاد می باشد ، بنابراین امکان جوشکاری ورق های نازک و حالت های غیر تخت راحت تر است و پیچیدگی و تابیدگی کمتر ، سرعت و نفوذ ، بیشتر خواهد بود.
۴. در این فرآیند میزان جرقه نسبتاً کم است.
۵. سیم جوش بطور مستمر تغذیه می گردد ، بنابراین زمان برای تعویض الکترود صرف نمی شود.
۶. این فرآیند می تواند به راحتی در تمام وضعیت ها استفاده شود.
۷. حوضچهٔ مذاب و قوس الکتریکی به راحتی قابل مشاهده است.
۸. سرباره حذف شده یا بسیار نازک است.
۹. از الکترود با قطر نسبتاً کم استفاده می شود که باعث چگالی جریان بالاتری می گردد.
۱۰. درصد بالایی از الکترود یا سیم جوش در منطقهٔ اتصال رسوب می کند.
۱۱. سرعت های انتقال سریع تر و میزان رسوب بالاتری نسبت به نوع جوشکاری دستی **TIG** دارد.
۲۱. عمق نفوذ جوش بیشتر از فرآیند **SMAW** است ، در نتیجه اجازه می دهد که جوش کوچکتر با استحکام مورد نظر بوجود آید.

محدودیت های فرآیند جوشکاری GMAW :

این فرآیند جوشکاری دارای مزیت های فراوانی است ، ولی در کنار این مزیت ها دارای محدودیت هایی نیز می باشد که مهمترین این محدودیت ها عبارتند از :

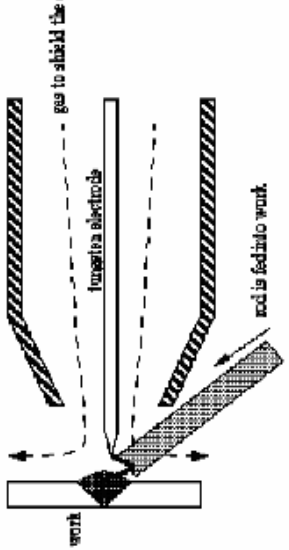
۱. وسایل و تجهیزات این فرآیند جوشکاری پیچیده تر بوده و در نتیجه حمل و نقل مشکل خواهد بود.
۲. تجهیزات این فرآیند گران بوده و هزینهٔ تعمیر و نگهداری دستگاه های این فرآیند بالا می باشد.
۳. دستگاه دارای تورچ کوتاه می باشد.
۴. تنوع در انواع الکترود یا سیم جوش وجود ندارد.
۵. قوس نیازمند حفاظت در مقابل باد می باشد ، زیرا باد باعث منحرف کردن گاز پوششی یا محافظت کننده از قوس می گردد.
۶. تورچ جوشکاری باید نزدیک بکار باشد ، در نتیجه کاربرد این فرآیند در بعضی موارد نسبت به انواع جوشکاری های دیگر مشکل است.
۷. سرعت سرد شدن جوش به علت عدم وجود لایهٔ سرباره سریع تر از روش های قوسی با محافظت سرباره است ، در نتیجه ممکن است خواص متالورژیکی و مکانیکی فلز جوش را تغییر دهد.

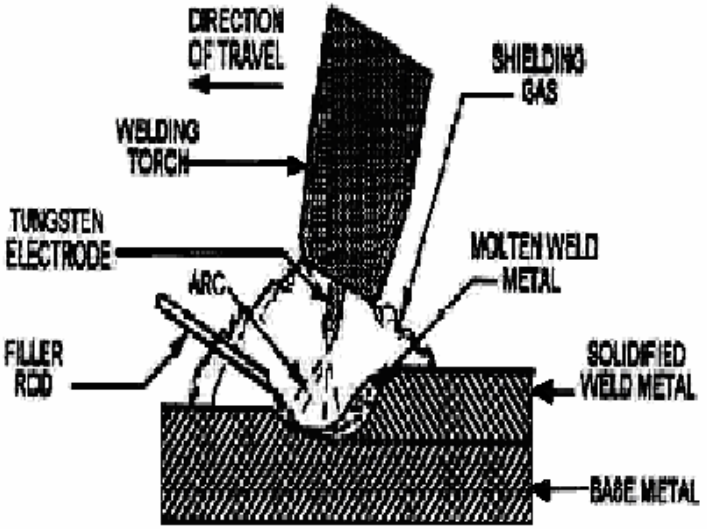
جوشکاری تحت پوشش گازهای محافظ با الکترود تنگستن
Gas Tungsten Arc Welding

فرآیند جوشکاری قوسی می باشد که قوس بین الکترود تنگستنی (مصرف نشدنی) و حوضچهٔ مذاب پدید می آید. این فرآیند جوشکاری با گاز محافظ و بدون کاربرد فشار صورت می گیرد. جوشکاری قوس تنگستنی را می توان با اضافه کردن فلز پرکننده یا بدون آن بکار برد. از دیگر نام های این فرآیند جوشکاری می توان به ***TIG*** اشاره کرد.

در زیر یک نمونه از دستگاه جوشکاری تیگ نشان داده شده است .

شکل زیر شمایی از جوشکاری قوس تنگستنی را نشان می دهد .

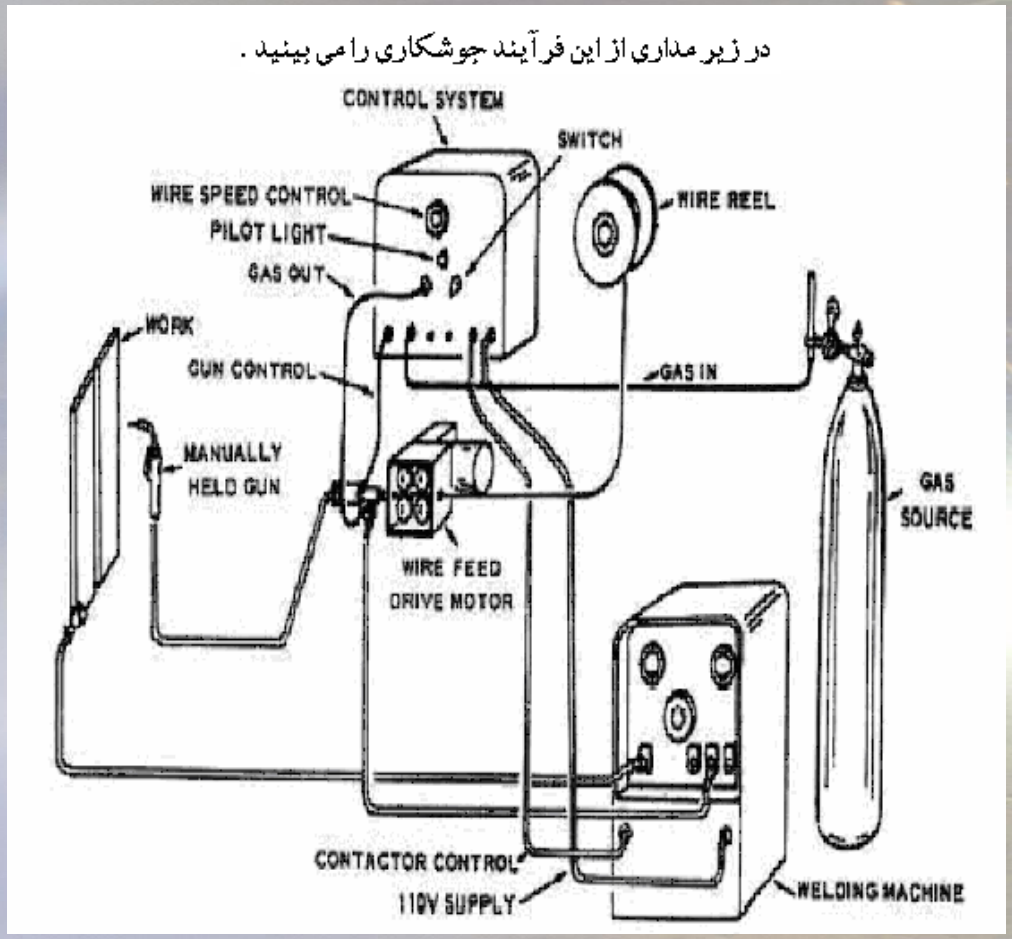




تجهیزات و لوازم ضروری برای فرآیند جوشکاری GTAW :

وسایلی که در این فرآیند جوشکاری مورد استفاده قرار می گیرد عبارتند از :

۱. منبع نیرو (تأمین کنندهٔ انرژی برای ذوب الکترود)
۲. دستگاه تغذیهٔ سیم جوش
۳. کابل جوشکاری
۴. تورچ جوشکاری (انبر جوشکاری)
۵. قسمت تأمین کنندهٔ گاز محافظ



مزایایی فرآیند جوشکاری GMAW :

این فرآیند جوشکاری نسبت به دیگر فرآیندهای قوسی دیگر مانند **SMAW** مزایای زیادی دارد که به شرح زیر می باشد :

۱. این فرآیند طوری است که می تواند در مورد بیشتر فلزات مغناطیسی مفید باشد.
۲. اتوماسیون یا روباتیک کردن این فرآیند به دلیل پیوسته بودن الکترود و به علت طول قوس ثابت آسان می باشد.
۳. تمرکز قوس الکتریکی به علت توان بر سطح بالا زیاد می باشد ، بنابراین امکان جوشکاری ورق های نازک و حالت های غیر تخت راحت تر است و پیچیدگی و تابیدگی کمتر ، سرعت و نفوذ ، بیشتر خواهد بود.
۴. در این فرآیند میزان جرقه نسبتاً کم است.
۵. سیم جوش بطور مستمر تغذیه می گردد ، بنابراین زمان برای تعویض الکترود صرف نمی شود.
۶. این فرآیند می تواند به راحتی در تمام وضعیت ها استفاده شود.
۷. حوضچهٔ مذاب و قوس الکتریکی به راحتی قابل مشاهده است.
۸. سرباره حذف شده یا بسیار نازک است.
۹. از الکترود با قطر نسبتاً کم استفاده می شود که باعث چگالی جریان بالاتری می گردد.
۱۰. درصد بالایی از الکترود یا سیم جوش در منطقهٔ اتصال رسوب می کند.
۱۱. سرعت های انتقال سریع تر و میزان رسوب بالاتری نسبت به نوع جوشکاری دستی **TIG** دارد.
۱۲. عمق نفوذ جوش بیشتر از فرآیند **SMAW** است ، در نتیجه اجازه می دهد که جوش کوچکتر با استحکام مورد نظر بوجود آید.

محدودیت های فرآیند جوشکاری GMAW :

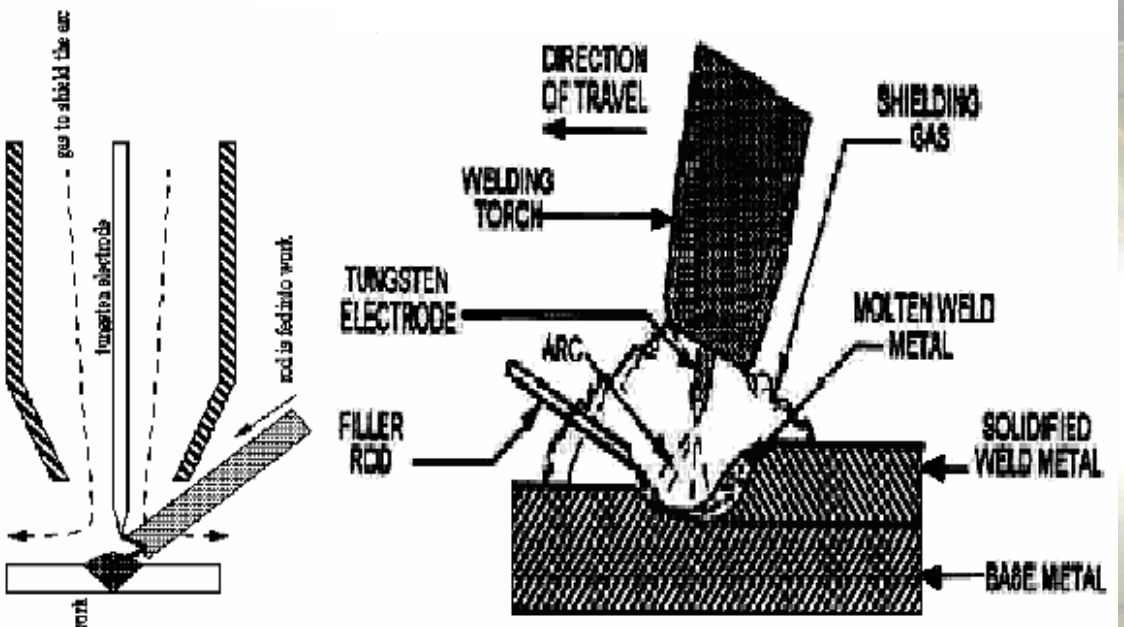
این فرآیند جوشکاری دارای مزیت های فراوانی است ، ولی در کنار این مزیت ها دارای محدودیت هایی نیز می باشد که مهمترین این محدودیت ها عبارتند از :

۱. وسایل و تجهیزات این فرآیند جوشکاری پیچیده تر بوده و در نتیجه حمل و نقل مشکل خواهد بود.
۲. تجهیزات این فرآیند گران بوده و هزینهٔ تعمیر و نگهداری دستگاه های این فرآیند بالا می باشد.
۳. دستگاه دارای تورچ کوتاه می باشد.
۴. تنوع در انواع الکترود یا سیم جوش وجود ندارد.
۵. قوس نیازمند حفاظت در مقابل باد می باشد ، زیرا باد باعث منحرف کردن گاز پوششی یا محافظت کننده از قوس می گردد.
۶. تورچ جوشکاری باید نزدیک بکار باشد ، در نتیجه کاربرد این فرآیند در بعضی موارد نسبت به انواع جوشکاری های دیگر مشکل است.
۷. سرعت سرد شدن جوش به علت عدم وجود لایهٔ سرباره سریع تر از روش های قوسی با محافظت سرباره است ، در نتیجه ممکن است خواص متالورژیکی و مکانیکی فلز جوش را تغییر دهد.

جوشکاری تحت پوشش گازهای محافظ با الکترود تنگستن
Gas Tungsten Arc Welding

فرآیند جوشکاری قوسی می باشد که قوس بین الکترود تنگستنی (مصرف نشدنی) و حوضچهٔ مذاب پدید می آید. این فرآیند جوشکاری با گاز محافظ و بدون کاربرد فشار صورت می گیرد. جوشکاری قوس تنگستنی را می توان با اضافه کردن فلز پرکننده یا بدون آن بکار برد. از دیگر نام های این فرآیند جوشکاری می توان به ***TIG*** اشاره کرد.

شکل زیر شمایی از جوشکاری قوس تنگستنی را نشان می دهد .



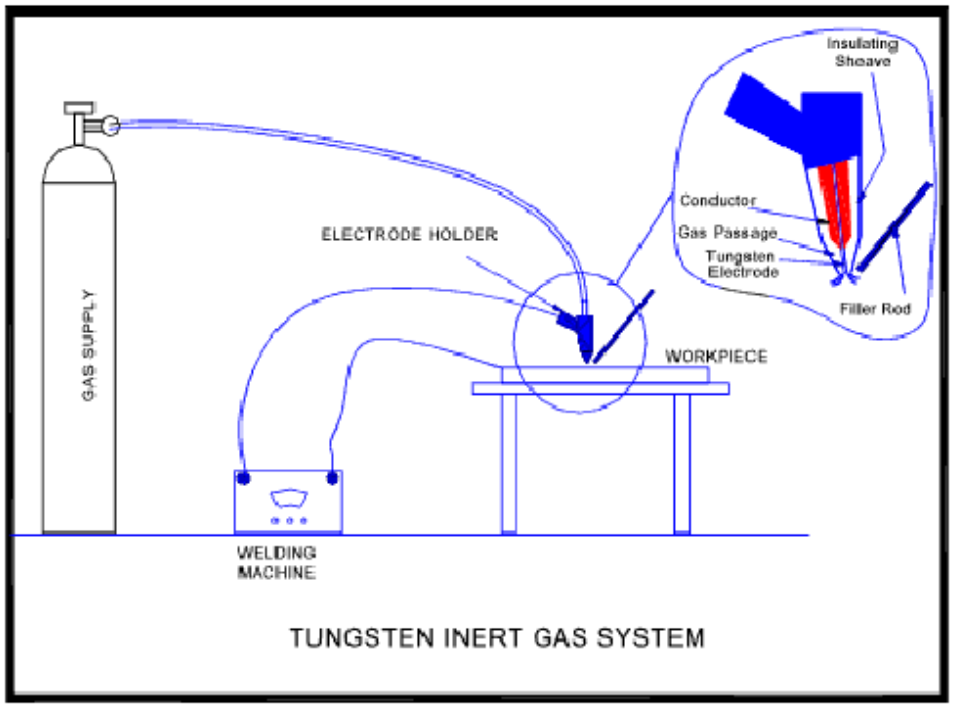
در زیر یک نمونه از دستگاه جوشکاری تیگ نشان داده شده است .

تجهیزات و لوازم ضروری برای فرآیند جوشکاری GTAW :

وسایلی که در این فرآیند جوشکاری مورد استفاده قرار می گیرد عبارتند از :

۱. منبع نیرو (تأمین کنندهٔ حرارت برای ذوب کردن لبهٔ اتصال و سیم جوش)
۲. الکترود (معمولاً الکترودهای تنگستنی)
۳. سیستم آبگرد
۴. کابل جوشکاری
۵. مشعل جوشکاری (تورچ)
۶. قسمت تأمین کنندهٔ گاز محافظ

در زیر مدار این فرآیند جوشکاری نشان داده شده است .



مزیتهای فرآیند جوشکاری TIG :

۱. این فرآیند طوری است که می تواند در مورد بیشتر فلزات مغناطیسی و غیر مغناطیسی مفید باشد.
۲. در این فرآیند تقریباً جرقه وجود ندارد.
۳. این فرآیند می تواند به راحتی در تمام وضعیت ها استفاده شود.
۴. حوضچه مذاب و قوس الکتریکی به وضوح قابل مشاهده است.
۵. سرباره یا فلاکس حذف شده یا بسیار اندک است.
۶. حوضچه مذاب به راحتی قابل کنترل است.
۷. از هر دو حالت جریان متناوب AC و یکسو DC می توان بهره جست.
۸. بهترین روش برای جوشکاری فلزاتی است که لایه اکسیدی دارند.
۹. در این فرآیند جوشکاری ، قوس متمرکز است و از شکل افتادگی و اعوجاج هم کمتر است و ریشه اتصال را می توان بهتر جوش داد.

محدودیتهای فرآیند جوشکاری TIG :

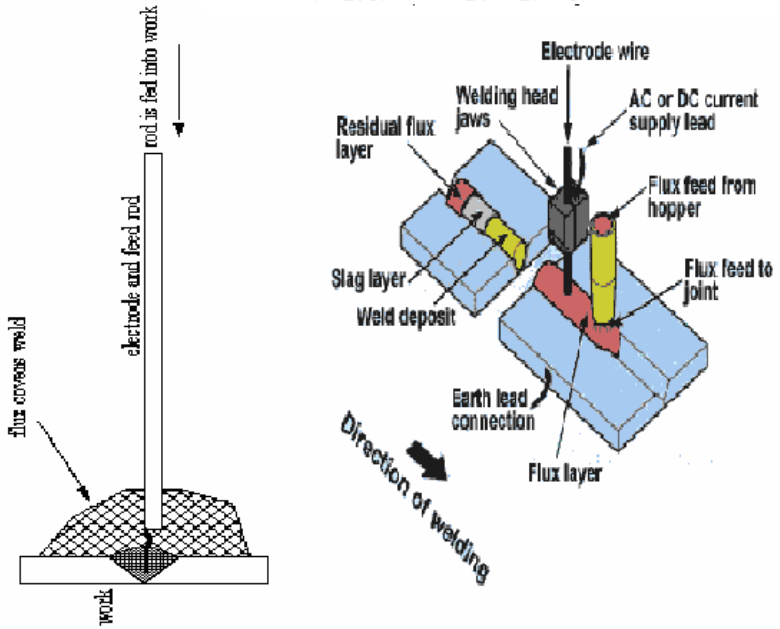
۱. چون حرارت منتقل شده در الکترود غیر مصرفی مفید واقع نمی شود دارای راندمان حرارت مفید کمتری نسبت به روشهای دیگر قوسی فلز با محافظت گاز خنثی است ، پس کندتر است.
۲. احتمال آلوده شدن فلز جوش از تنگستن زیاد است که خود ، موجب کاهش خواص جوش می شود.
۳. چون گاز آرگون و هلیوم و وسایل جوشکاری نسبتاً گران است ، از نظر اقتصادی قابل مقایسه با بعضی روشهای دیگر نیست به این جهت بیشتر از این روش ، در اتصالات دقیق و فلزات حساس استفاده می شود.

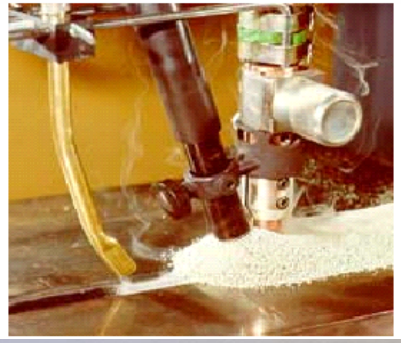
جوشکاری زیرپودری
Submerged Arc Welding

فرآیند جوشکاری قوسی که یک یا چند قوس بین الکترود فلزی لخت یا الکترودها (سیم جوش توپر) و حوضچهٔ جوش بکار می برد. قوس و فلز مذاب توسط بستری از روان ساز دانه یا پودر جوش روی قطعات کار محافظت می شود. فرآیند بدون فشار و فلز پرکننده تولیدی توسط الکترود (سیم جوش) و گاهی از منبعی ضمیمه (سیم جوش ، روان ساز یا دانه های فلزی) تأمین می شود.

از آنجایی که قوس الکتریکی در این فرآیند جوشکاری زیر پودر جوشمخفی می باشد گاهی به این فرآیند جوشکاری ، جوشکاری قوس مخفی نیز می گویند.

در زیر نمایی از جوشکاری زیر پودری نشان داده شده است .





اصول کار : در جوشکاری زیر پودری ، انتهای سیم جوش یکسره در داخل تودهٔ انباشتهٔ روان ساز ، که منطقه یا اتصال مورد جوش را می پوشاند ، قرار می گیرد. قوس توسط برخورد الکترود به سطح قطعه کار آغاز می گردد.

مزایای پروسه زیر پودری

۱. قوس در زیر لایه ای از فلاکس تشکیل می شود که جرقه قوس را مخفی می کند و پاشش و گازهای متصاعد شده را احاطه می کند.
۲. شدت بالای جریان ، عمق نفوذ را افزایش می دهد و برای نفوذ به لبه کمتری نیاز است.
۳. نرخ رسوب بالا و سرعت جوشکاری بالا میسر است.
۴. فلاکس به صورت یک پاک کننده و اکسید زدا برای اکسیژن عمل می کند و از حل شدن نیتروژن و گوگرد در حوضچه ، جلوگیری می کند. فلاکس به ایجاد جوشهای با ظاهر زیبا و خواص مکانیکی بالا کمک می کند.
۵. این فرآیند می تواند جوش با هیدروژن کم تولید نماید.
۶. حفاظتی به کمک فلاکس ایجاد می کند و مانند جوشکاری ***SMAW*** به باد حساس نمی باشد.
۷. نیاز به زحمت کم جوشکار دارد.
۸. سرباره می تواند جمع آوری ، پاک و دانه بندی گردد و با فلاکس نو و تازه جهت استفاده مجدد مخلوط گردد.

محدودیتهای پروسه زیر پودری

۱. تعداد جزئیات تغذیه کننده سیم منبع قدرت ، کنترلها و تجهیزات فلاکس دستی زیاد است.
۲. اتصال جوش باید در موقعیت تخت و افقی نگه داشته شود تا فلاکس در محل خود در درز اتصال قرار گیرد.
۳. سرباره باید قبل از پاس بعدی جمع آوری شود.
۴. این روش معمولاً برای جوشکاری صفحاتی با ضخامت کمتر از ***4.5mm*** چندان مناسب نیست.
۵. ایجاد خلل و فرج در جوش به دلیل حضور مواد ناخالصی در پودر.

کاربردهای فرآیند زیر پودری

اگر یک فولاد را بتوان با فرآیندهای ***TIG - GTAW*** و ***SMAW*** و ***FCAW*** جوش داد با این پروسه نیز می توان جوش داد. محدودیت اصلی پروسه ***SAW*** در ورقه های نازک و موقعیت جوشکاری است. به دلیل این که ***SAW*** دارای حرارت ورودی بالا و نرخ رسوب بالا می باشد و از این فرآیند جوشکاری ، برای جوشکاری فولادهای ضخیم استفاده می شود و همانطور که گفته شد با این پروسه فولادهایی به ضخامت بالاتر از ***6.4mm*** را جوشکاری می کنند.

در زیر نمونه ای از دستگاه زیرپودری نشان داده شده است .

مواد مصرفی جوشکاری (***Welding Consumables***) :

در اغلب فرآیندهای جوشکاری ، وجود یک یا چند مادهٔ مصرفی برای برقراری بهتر اتصال و گاه محافظت از حوضچهٔ مذاب ایجاد شده از ضرورت های انکار ناپذیر بشمار می آید. مهمترین این مواد مصرفی که در جریان جوشکاری مصرف شده و اغلب قابل بازیافت نیز نمی باشند عبارتند از :

۱. پر کننده های جوشکاری (***Filler Materials***)
۲. پودرهای جوشکاری (***Welding Fluxes***)
۳. گازهای جوشکاری (***Welding Gases***)
۴. اسپری ها و خمیرهای جوشکاری (***Welding Sprays And Pastes***)
۵. پشت بندهای جوشکاری (***Welding Backings***)
۶. نازل و گاز پخش کن های جوشکاری(***Welding Nozzle And Gas Distributors***)

پر کننده های جوشکاری (Filler Materials) :

تقریباً در تمام فرآیندهای جوشکاری قوس الکتریکی ، حرارتی ، انفجاری ، بریزینگ ، لحیم کاری و غیره ، وجود مادهٔ پر کننده مصرفی برای برقراری اتصال ضروری است. انواع مواد مصرفی پر کننده بر این اساس به این شکل تقسیم بندی شده اند :

در این مبحث ما فقط به شرح الکترودهای روپوش دار می پردازیم

الکترودهای روپوش دار (Welding Electrode) :

جوشکاری قوس الکتریکی برای اولین بار و با الکترود ذغالی در سال ۱۸۸۱ میلادی انجام شد و ۷ سال بعد ، یعنی در سال ۱۸۸۸ میلادی ، الکترود ذغالی با یک میلهٔ فولادی لخت جایگزین گردید. کیفیت اتصال به مراتب از قبل بهتر شده بود ، اما ورود گازهای موجود در اتمسفر ، بویژه اکسیژن و نیتروژن به صورت غیر قابل کنترل به داخل مذاب جوش و تأثیرات متالورژیکی و مکانیکی آنها ، کیفیت درونی جوش را به سبب ایجاد تردی و سختی و شکنندگی بیش از حد و نیز وجود حفرات گازی داخلی ، به شدت کاهش می داد. علاوه بر آن ، قطع و وصل شدن های قوس ، حالتی ناپایدار پدید می آورد که برای این منظور ، به یک جوشکار با مهارت های بالا نیاز بود. در ضمن جرقه های جوشی که به اطراف پاشیده می شد ، کیفیت سطح فلز و ایمنی جوشکار را به خطر می انداخت ، از این رو در سال ۱۹۰۴ برای نخستین بار در سوئد ، روپوشی از آهک همراه با افزودنی های دیگر به روی مفتول فلزی لخت چسبانده شد که مشکلات گفته شده را تا حدی کاهش می داد. این فرآیند تا سال ۱۹۵۰ سیر ترقی خود را طی نمود تا در این دهه ، شناخت نسبتاً کاملی از روپوش ها و مزایا و محدودیت های هر کدام بدست آمد.

نقش مفتول الکترودها :

۱. هدایت جریان الکتریکی
۲. تأمین فلز پرکنندهٔ درز جوش

نقش پوشش الکترودها :

پوشش الکترودها ، نقش هایی اساسی برای میلهٔ الکترود و منطقهٔ جوش ، قبل و بعد از جوشکاری ایفا می کنند که عبارتند از :

۱. جلوگیری از زنگ زدگی و آلودگی میلهٔ الکترود ، در زمان انبارداری و جوشکاری
۲. محافظت و پایدار سازی قوس الکتریکی برقرار شده
۳. محافظت از جوش بوسیلهٔ گازهای منشعب شدهٔ حاصل از سوختن پوشش الکترود در جریان جوشکاری
۴. محافظت از جوش بوسیلهٔ سربارهٔ تشکیل شدهٔ ناشی از سوختن پوشش الکترود در جریان جوشکاری
۵. جلوگیری از اتلاف گرما و پراکندگی حرارت در محیط
۶. ایجاد یک پروفیل مناسب در سطح جوش (گردهٔ جوش مقعر ، تخت یا محدب)
۷. جلوگیری از سریع سرد شدن جوش
۸. جلوگیری از رشد بی رویهٔ دانه بندی سطحی جوش
۹. کنترل واکنش های سرباره – مذاب ، گاز – مذاب و گاهی اوقات انجام عمل تصفیه فلز جوش یا اضافه نمودن بعضی عناصر آلیاژی به داخل ساختار جوش و بهبود آلیاژ سازی
۱۰. ایجاد امکان بیشتر برای متنوع سازی انواع الکترودهای ساخته شده از یک نوع میلهٔ الکترود
۱۱. سیال سازی جریان مذاب و ایجاد سهولت بیشتر در جریان جوشکاری
۲۱. کاهش عرض محدودهٔ تحت تأثیر حرارت قرار گرفته (***HAZ***)
۳۱. افزایش بازدهی یا راندمان بازدهی (تولید مذاب و پرکنندگی) الکترود و در نتیجه کاهش مصرف الکترود

۱۴. ایجاد ایمنی بیشتر برای جوشکاران به دلیل کاهش تشعشعات ، انعکاس فلز ناشی از قوس الکتریکی و پاشش جرقه ها

۱۵. افزایش قدرت و سرعت انتقال مذاب از الکترود به حوضچهٔ جوش و برقراری بهتر جریان مثبت و منفی

۱۶. کنترل عمق نفوذ جوش

۱۷. کاهش حرارت ورودی مورد نیاز و در عین حال افزایش شدت قوس در صورتی که پودر آهن در پوشش الکترودهای فولادی بکار گرفته شده باشد.

۱۸. امکان انجام جوشکاری در وضعیت های مختلف و حتی وضعیت های جوشکاری دشوار مثل بالاسری یا بالاسر

۱۹. کنترل طول قوس و ولتاژ

۲۰. مشخصهٔ شناسایی الکترودها در صورت استفاده از پوشش ها با رنگ های مختلف و معرفی شده.

تقسیم بندی الکترودها بر اساس نوع پوشش آنها :

از حدود ۱۹۵۰ میلادی ، الکترودها را در انگلستان ، بر اساس جنس پوشش آنها طبقه بندی می نمودند ، که این تقسیم بندی در نوع خود مؤثر و تا امروز در بعضی صنایع کاربرد دارد. الکترودها بر اساس پوشش آنها به چند گروه تقسیم می شوند که عبارتند از :

کلاس اول : سلولزی (Cellulose Type) :

بیش از ۴۰ درصد وزنی پوشش این نوع الکترودها را سلولز (**Cx Hy O2**) تشکیل می دهد که در اثر سوختن ، مقدار زیادی هیدروژن و اکسید کربن آزاد می کند. گازهای حاصله حوضچهٔ مذاب و قوس الکتریکی را از نفوذ گازهای مخرب موجود در اتمسفر محافظت می نمایند. از این رو استفاده از این خانواده الکترودها ، اغلب در جوشکاری پاس ریشهٔ خطوط انتقال لولهٔ نفت و گاز و سایر سیالات که در فضای باز انجام می شوند کاربرد وسیعی پیدا کرده است. وجود گازهای فعال آزاد شدهٔ حاصل از سوختن سلولز مثل هیدروژن و اکسید کربن در داخل حوضچهٔ جوش ، علاوه بر یونیزاسیون آنها ، قوسی با ولتاژ بالا پدید می آورند که به دلیل انرژی فزایندهٔ خود ، حرارت حوضچهٔ جوش را نیز تا حد قابل توجهی افزایش داده و سبب نفوذ بسیار خوب جوش مذاب در داخل ساختار فلز پایه می گردند (الکترودهای نفوذی).

از دیگر مشخصات پوشش های سلولزی می توان به امکان استفاده از آنها در وضعیت های مختلف ، دود زیاد ، قوس بسیار قوی و نافذ و پایدار ، پاشش جرقه های جوش به نسبت بسیار زیاد به اطراف جوش و سطح جوش خشن با مهره جوش های فاصله دار ناهموار اشاره نمود.

در ضمن نبودن عناصر پایدار کنندهٔ قوس در پوشش آنها سبب شده تا این الکترودها را بتوان با جریان های یکنواخت (**AC**) و مستقیم (**DC**) بدون هیچ مشکلی بکار برد.

از جمله مهمترین الکترودهای این خانواده ، می توان به الکترودهای **E8010** ، **E7010** و **E6010** در استاندارد **AWS** اشاره نمود.

کلاس دوم و سوم : پوشش های رتیلی یا اکسید تیتانیوم (Rutile “ Acid “ Type) :

ترکیب اصلی این پوشش ها که در کلاس دوم و سوم قرار گرفته ، اکسید تیتانیوم طبیعی ، مقادیر قابل توجهی مواد یونیزه کننده و میکا می باشد که وجود مواد یونیزه کننده ، استفاده از الکترودهای مذکور را آسان می کند. کلاس دوم به دلیل سربارهٔ نسبتاً غلیظی که تولید می کند ، بیشتر برای جوشکاری حالت های گوشه (**Fillet**) و در وضعیت های افقی و عمودی مناسب است و کلاس سوم به دلیل سربارهٔ رقیق تر که به واسطهٔ وجود ترکیبات قلیایی اضافه شده در آن بدست می آید ، برای کلیهٔ وضعیت های جوشکاری مناسب است.

همانگونه که گفته شد ، شروع قوس با این الکترودها آسان و بویژه برای جوش های کوتاه ، گوشه و جوشکاری ورق ها توصیه شده است. جوش حاصل ، همچنین دارای خاتمهٔ نسبتاً ظریفی بوده و بازدهی آن نیز قابل توجه است. الکترودهای رتیلی به طور معمول ، نفوذی متوسط ، همراه با یک قوس الکتریکی ملایم و آرام تولید نموده و نسبت به رطوبت حساس نیستند. قابلیت جدا شدن سرباره از روی جوش عالی بوده و گردهٔ جوش نسبتاً منظم و ظریف خواهد بود. وجود مقادیر قابل توجهی سدیم و پتاسیم در این نوع پوشش موجب آرام تر شدن قوش الکتریکی ، البته با کاهش نفوذ را سبب می گردد. همچنین به دلیل خاصیت یونیزاسیون اکسید تیتانیوم ، می توان این الکترودها را با جریان برق متناوب (**AC**) نیز بکار گرفت.

از جمله مهمترین الکترودهای رتیلی در استاندارد **AWS** می توان به **E6013** ، **E7014** ، **E7024** ، **E309L-16** ، **E316L-16** ، **E308L-16** ، **E309Mo-26** و غیره اشاره نمود.

کلاس چهارم : پوشش های اسیدی (***Acidic Type***) :

پوشش این الکترودها اغلب ، شامل اکسیدها و کربنات های منگنز ، آهن و مقادیری سیلیسیم بوده و سربارهٔ حاصل از جوشکاری با این نوع الکترودها دارای خواص اسیدی می باشد.

جوش حاصل نیز دارای سطحی هموار و براق بوده و سربارهٔ سیال و پر حجم حاصل از جوشکاری نیز ، پس از سرد شدن بلافاصله از سطح جوش جدا می شود به همین دلیل ، و به ویژه در جوشکاری های چند پاسی ، خطر باقی ماندن سرباره در بین پاس های جوشکاری به حداقل می رسد. شروع قوس الکتریکی با این الکترودها ، آسان تر از الکترودهای قلیایی ، اما مشکل تر از الکترودهای رتیلی است.

استحکام کششی فلز جوش نیز کمتر از استحکام کششی فلز جوش حاصل از جوشکاری با الکترودهای رتیلی روی یک فلز پایهٔ مشابه است ، اما ازدیاد طول نسبی ، انعطاف پذیری و مقاومت به ضربه آن بیشتر است. این الکترودها را اغلب در تمامی وضعیت های جوشکاری می توان بکار برد.

از مهمترین نوع الکترودهای اسیدی در استاندارد ***AWS*** می توان به الکترود ***E7027*** اشاره کرد.

کلاس پنجم : پوشش های اکسیدی (Oxide Type) :

ترکیب اصلی این پوشش ها ، اغلب از اکسید آهن و اکسید منگنز و نیز کربنات آهن و کربنات منگنز تشکیل شده و به همین دلیل ، سربارهٔ حاصل از جوشکاری آنها ، متراکم ، سنگین و پر حجم بوده ، اما در عین حال ، به راحتی از روی جوش جدا می شود. بیشترین وظیفهٔ حفاظت از حوضچهٔ جوش به عهدهٔ سرباره است. نفوذ جوش حاصل نسبتاً کم است ، اما دارای سطحی صاف و یکنواخت با استحکام نسبتاً کمتری می باشد.

به دلیل سیالیت بالای مذاب حاصل ، این نوع الکترودها را بیشتر برای جوش های گوشه در وضعیت های افقی و تخت بکار می برند و معمولاً ظاهر جوش حاصل بسیار بهتر از کیفیت مکانیکی آن است.

کلاس ششم : بازی یا قلیایی (Basic Type) :

پوشش این الکترودها ، اغلب شامل مقادیر قابل ملاحضه ای کربنات کلسیم (**CaCo**) ، فلوراید ، آهک و فلوراسپار است. عمل حفاظت از حوضچهٔ جوش در این کلاس از پوشش ها ، سوختن کربنات کلسیم و تولید گاز **CO2** است که عمل حفاظت از حوضچهٔ جوش را به عهده می گیرد. به دلیل کم بودن مقدار رطوبت موجود در این پوشش ها ، جوش حاصل مقدار هیدروژن بسیار کمی در ترکیب خود خواهد داشت بنابراین این الکترودها

را ، الکترودهای کم هیدروژن (**Low Hydrogen**) می نامند. به همین دلیل ، این الکترودها در درجه حرارت های پایین نیز از استحکام نسبتاً خوبی برخوردارند. در مقایسه با سایر الکترودها ، احتمال بروز ترک گرم یا سرد در این دسته از الکترودها کمتر است. از این رو برای جوشکاری فولادهای آلیاژی کم آلیاژ که در مقابل بروز ترک های منطقهٔ **HAZ** حساسند (مثل فولادهای ساختمانی منگنز دار ، مخازن تحت فشار ، بدنهٔ کشتی ها و غیره) کاربرد وسیعی پیدا کرده اند.

در ضمن مقاومت جوش حاصل در برابر ترک های گرم (***Hot Cracking***) ، این الکترودها را برای جوشکاری فولادهای پر کربن ، با ضخامت های بالا نیز مناسب کرده است. استفاده از این الکترودها ، به دلیل سربارهٔ غلیظ آنها چندان آسان نیست ، اما از آنها می توان در تمام وضعیت ها و با جریان های مستقیم و متناوب استفاده نمود.

برای جلوگیری از افزایش مقدار رطوبت ، در نگهداری این الکترودها باید دقت کافی بکار برد و آنها را در جای خشک نگه داری نمود. پیش از بکار گیری این الکترودها ، لازم است عملیات باز پخت (گرم کردن) را مجدداً در مورد آنها بکار گرفت و آنها را در گرم خانه یا الکترود خشک کن (***Oven***) ، چند ساعتی خشک نمود. با این روش می توان مقدار هیدروژن ورودی به حوضچهٔ جوش را تا حد قابل ملاحضه ای تحت کنترل درآورد.

وجود هیدروژن در حوضچهٔ جوش ، حرارت جوش را بیش از حد افزایش می دهد و هر چند نفوذ آن را تا حد قابل ملاحضه ای بالا می برد ، اما معایب بسیاری از جمله ترک ها ، تنش های حرارتی و غیره را در جوش پدید می آورد.

از مهمترین انواع الکترودها با روکش قلیایی می توان به الکترودهای ***E7016*** ، ***E8016*** ، ***E9016*** ، ***E5050-15*** ، ***E502-16*** ، ***E9015*** ، ***E308L-15*** ، ***E309L-15*** ، ***E316L-15*** در استاندار ***AWS*** اشاره نمود.

کلاس هفتم : روتیلی + پودر آهن(Rutile+Iron Powder Type) :

افزایش پودر آهن به پوشش الکترودها اثرات مثبت زیادی به جای می گذارد که مهمترین آنها عبارتند از :

- افزایش نرخ رسوب (Deposition Rate)
- افزایش پایداری قوس (Arc Stability)
- افزایش بازدهی (High Efficiency)
- افزایش انعطاف پذیری برای جوشکاری در زوایای تنگ با محدودیت مکان حرکت
- پهن تر شدن قوس الکتریکی ، رسوب در سطح بیشتر و عمق کمتر به دلیل هدایت الکتریکی دوگانه از مغزهٔ الکترود و پوشش محتوی پودر آهن
- کاهش مقدار پاشش و جرقه ، به دلیل محدود شدن اتصال کوتاه بین الکترود و سطح قطعه کار به دلیل عبور جریان الکتریکی از درون پوشش
- صاف تر بودن سطح گردهٔ جوش پدید آمده
- کاهش خطر بروز Under Cut
- بزرگ بودن حوضچهٔ جوش نسبت به سایر الکترودها

از آنچه گفته شد ، می توان به اهمیت استفاده از الکترودها با روکش های محتوی پودر آهن پی برد. به طور کلی مهمترین نوع این الکترودها ، الکترودهای قلیایی بعلاوهٔ پودر آهن هستند که اغلب در ترکیب خود حدود ۵۰ درصد پودر آهن دارند. وقتی الکترود ذوب می شود، در حقیقت علاوه بر مغز الکترود ، پودر آهن موجود در سرباره نیز وارد حوضچه شده و به حجم مذاب اضافه می شود ، از این رو پدیدهٔ افزایش بازدهی اتفاق می افتد. یک مقایسه بین الکترودهای قلیایی و قلیایی با پودر آهن ، افزایش حدود ۱۵ تا ۳۰ درصد راندمان را نشان می دهد.

الکترودهای E7018 ، E7028 ، E7048 ، E8018 ، E9018 ، E11018 و غیره در استاندارد AWS از این جمله اند.

ترکیب رتیل با مقدار زیادی پودر آهن نیز ، کلاس الکترودهای رتیلی پودر آهن دار را طبقه بندی می کند که دارای انعطاف پذیری بسیار بالایی بویژه در زوایای تنگ و محدود در مکان و حرکت می باشند.

مقایسه نسبی انواع الکترودها از جهات مختلف

نوع الکترود خاصیت موجود در آن	سلولزی	روتیلی	قلیایی (کم هیدروژن)
نرمی و ازدیاد طول	2	3	1
قوت جوش	1	3	2
عدم پریدگی کنارهٔ جوش	3	1	2
عدم لغزش — جرقه‌ور اندمان رسوب	3	1	2
بدون عیب بودن جوش	3	2	1
راحتی استفاده	3	1	2
راحتی روشن کردن قوس	2	1	3
مقاومت در برابر ترک خوردن جوش	3	2	1
سرعت ایجاد فلز جوش	3	1	2
چقرمگی جوش	2	3	1
شمارهٔ یک = خوب	شمارهٔ دو = متوسط	شمارهٔ سه = بد	

دسته بندی وظایف پوشش الکترود

وظایف اجزاء پوشش سرباره	چسبانندگی	مقاومت رطوبتی	تثبیت کنندگی	سرباره سازی	تشکیل دهندهٔ گاز	عامل احیاء	عامل امید کنندگی	امیدی بودن	قلیایی بودن	سیالیت سرباره	درصدآلیاژی	نرخ جایگزینی	کمی هیدروژن
سلولز	B	B			A	B							
دولومیت			A	A				B		A			B
سیلیکات سدیم	A		B						B				
آزبست	B	A	B	A						B			B
خاک رس	B	B	B	A						B			B
کربنات کلسیم			A	B	A		B		B				A
فلوراید کلسیم									A	A			
سیلیکات آلومینیوم			B	A									
سیلیکات منگنز			B	A									
سیلیکات آهن		A	B	A									
سیلیکات پتاسیم	A		A	A									B
اکسید آهن			B				A		A	A			
فرو منگنز				A		A		B			B		
پودرهای آلیاژی							B				A		
پودر آهن			B									A	

A = وظیفهٔ اولیه

B = وظیفهٔ ثانویه

طبقه بندی الکترودهای روپوش دار بر اساس استاندارد AWS :

این انجمن قواعدی را در مورد شناسایی و طبقه بندی الکترودها وضع کرده که مورد تأیید اغلب انجمن های مهندسی و فنی آمریکا و دیگر کشورهای صنعتی جهان نیز قرار گرفته است.

در سال ۱۹۳۵ میلادی ، **AWS** و **Astm** ، کمیته مشترکی برای تهیه استانداردهای مشترک و طبقه بندی شده ، برای مواد مصرفی جوشکاری تشکیل دادند. در سال ۱۹۶۹ ، این دو انجمن بزرگ در توافق نامه ای ، کمیته

مشترک را منحل نموده و فعالیت آن را متوقف ساختند و سپس به **AWS** اجازه دادند تا کلیه مسئولیت های مربوط به آن کمیته مشترک را بویژه در خصوص مواد مصرفی به عهده گیرد.

در طبقه بندی AWS ، هر الکترود با یک حرف (E) و یک عدد چهار یا پنج رقمی مشخص می شود : E XXXX یا E XXXXX

A. حرف سمت چپ (**E**) معرف الکترود روکش دار است.

B. دو رقم سمت چپ از عددهای چهار رقمی (یا سه رقم سمت چپ از عددهای پنج رقمی) معرف حداقل استحکام کششی فلز جوش بر حسب هزار پوند بر اینچ مربع یا **KSI** است. به طور مثال ، الکترود **E6010** که دو رقم سمت چپ آن ۶۰ است ، دارای **60KSI** یا **60000PSI** استحکام کششی است.

C. دومین رقم از سمت راست ، وضعیت جوشکاری (**Position**) را نشان می دهد.

EXX1X : برای تمامی وضعیت ها

EXX2X : وضعیت های تخت و افقی

EXX3X : تخت

EXX4X : تخت ، سقفی ، افقی ، عمودی سرازیر

D. رقم اول از سمت راست نشان دهندهٔ نوع جریان ، پلاریته ، نوع روکش و مقدار نفوذ قوس الکتریکی است :

نوع روپوش	شماره الکترود	عناصر موجود در آن	نوع جریان
سلولزی	EXXX0	پوشش سلولزی سدیم دار	DCEP
	EXXX1	پوشش سلولزی پتاسیم دار	AC - DCEP
رتیلی	EXXX2	پوشش اکسید تیتانیم ، سدیم دار	AC - DCEN
	EXXX3	پوشش اکسید تیتانیم ، پتاسیم دار	AC – DCEN - DCEP
	EXXX4	پوشش اکسید تیتانیم ، محتوی پودر آهن	AC – DCEN - DCEP
قلیایی	EXXX5	پوشش کم هیدروژن، سدیم دار	DCEP
	EXXX6	پوشش کم هیدروژن ، پتاسیم دار	AC - DCEP
اسیدی	EXXX7	پوشش اکسید آهن محتوی پودر آهن	AC – DCEP - DCEN
قلیایی همراه پودر آهن	EXXX8	پوشش کم هیدروژن محتوی پودر آهن	AC - DCEP

چند نمونه الکترود بر اساس استاندارد AWS با ذکر شرایط استفاده و کاربرد

نوع ماده	کد AWS	نوع جریان	وضعیت جوشکاری
فولادهای معمولی	E6010	DCR	F – V – OH – H
	E6011	DCR – AC	F – V – OH – H
	E6012	DCS - AC	F – V – OH – H
	E6014	DCS – AC	F – V – OH – H
	E6015	DER – DCS - AC	F – V – OH – H
	E6020	DCR – DCS - AC	F – H
	E6024	DCR – DCS - AC	F – H
	E6027	DCR – DCS - AC	F – H
	E7014	DCR – DCS - AC	F – V – OH – H
	E7024	DCR – DCS - AC	F – H
کم هیدروژن	E6015	DCR	F – V – OH – H
	E6016	DCR – AC	F – V – OH – H
	E6018	DCR – AC	F – V – OH – H
	E7016	DCR – AC	F – V – OH – H
	E7018	DCR – AC	F – V – OH – H
	E7028	DCR – AC	F – H
فولادهای زنگ نزن	E308-15, 16	DC – AC	F – V – OH – H
	E389-15, 16	DC – AC	F – V – OH – H
	E310-15, 16	DC – AC	F – V – OH – H
	E316-15-16	DC – AC	F – V – OH – H
	E347-16-16	DC – AC	F – V – OH – H
فولادهای کم آلیاژی	E7011-A1	DCR – AC	F – V – OH – H
	E7020-A1	DCR – DCS – AC	F
	E8018-C3	DCR – AC	F – V – OH – H
	E10013-G	DCS – AC	F – V – OH – H

DCR = جریان یکو‌لخت قطب معکوس

DCS = جریان یکو‌لخت قطب مستقیم

AC = جریان متناوب

F = تخت VG = قائم OH = بالای سر یا سقفی R = افقی

اطلاعات مورد نیاز در مورد آنالیز شیمیایی :

آنالیز شیمیایی فلز جوش ممکن است قسمتی از اطلاعاتی باشد که سازندگان الکترود در اختیار می گذارند ، فقط دانستن اینکه چه مقدار عناصر آلیاژی در الکترود موجود است مهم نیست ، مهم این است که بدانیم تغییر در مقدار عناصر آلیاژی چه تأثیری در جوش دارد. ترکیبات شیمیایی یک الکترود با الکترود دیگر را می توان به آسانی با این روش مقایسه کرد.

کربن (*C*) : با افزایش کربن مقدار استحکام کششی و سختی افزایش ، مقدار چقرمگی (***Toughness***) کاهش می یابد.

گوگرد (*S*) : گوگرد یک ناخالصی طبیعی است و تا آنجایی که ممکن است باید مقدار آن را کم نگه داشت.(کمتر از ۰,۰۴ ٪) در صورت افزایش گوگرد ، گوگرد می تواند باعث شکنندگی گرم و مک گردد.

فسفر (*P*) : فسفر یک ناخالصی طبیعی است و تا آنجایی که ممکن است باید آنرا کم نگه داشت ، چون با افزایش مقدار فسفر تردی جوش افزایش ، مقاومت به شوک کاهش و میل به ترک بالا می رود.

منگنز (*Mn*) : با افزایش منگنز استحکام کششی ، سختی ، مقاومت به سایش و میل به شکنندگی گرم کاهش می یابد.

سیلیسیم (*Si*) : با افزایش سیلیسیم ، استحکام کششی افزایش می یابد ولی ممکن است میل به ترک خوردن هم افزایش یابد.

کروم (*Cr*) : با افزایش کروم استحکام کششی ، سختی و مقاومت به خوردگی افزایش می یابد ، البته همراه با مقداری کاهش در چقرمگی.

نیکل (*Ni*) : با افزایش نیکل استحکام کششی ، چقرمگی و مقاومت به خوردگی افزایش می یابد.

مولیبدن (*Mo*) : با افزایش مولیبدن استحکام کششی در حرارت بالا و مقاومت به خوردگی افزایش می یابد.

تأثیر رطوبت بر روکش الکترودها

وجود رطوبت بیش از حد در روپوش الکترود ، معایب بسیاری را در جوش بدست آمده بوجود می آورد ، به همین دلیل باید در خشک نگه داشتن الکترودها کوشش بسیاری به عمل آورد.

به طور کلی ، الکترودها پس از ساخت و خروج از کارخانهٔ سازنده ، آمادهٔ جذب رطوبت از اتمسفر می باشند. اگر میزان رطوبت نسبی هوا ، بیش از ۸۰ درصد باشد ، روپوش الکترود ، جذب رطوبت را با شدت آغاز می کند و اگر این میزان از ۹۰ درصد بیشتر شود ، جذب رطوبت شدت بسیار زیادی پیدا خواهد کرد. الکترودهای قلیایی به طور معمول در شرایطی که فقط ۲۴ ساعت در معرض رطوبت قرار بگیرند ، کاملاً مرطوب شده و غیر قابل استفاده می باشند. و در صورتی که درصد رطوبت از ۸۰ درصد کمتر باشد ، مدت زمان لازم برای تخریب روکش الکترودهای قلیایی ، یک هفته در معرض هوا قرار داشتن است. فقط در صورتی که رطوبت نسبی هوا کمتر از ۴۰ درصد باشد ، الکترودها هیچگونه آسیبی نخواهند دید.

حداکثر شدت جریان مجاز (Permissibly Maximum Current) :

هر چه شدت جریان جوشکاری بیشتر باشد ، مقدار فلز ذوب و رسوب بیشتر و در نتیجه راندمان ذوب یا رسوب افزایش پیدا می کند. اما اگر شدت جریان از حد تعیین شده برای هر الکترود تجاوز نماید ، افزایش پاشش ، جرقه ، اکسایش و حتی تبخیر مذاب را در پی داشته و علاوه بر کاهش بازدهی ، کیفیت سطح و ظاهر نامناسبی در سطح و کناره های خط جوش را پدید می آورد. همچنین به دلیل افزایش بیش از حد درجه حرارت در مغزی الکترود (به دلیل وجود مقاومت الکتریکی) ، طول زیادی از الکترود ذوب نشده ، سرخ شده و حتی ممکن است به جدایش و ترک برداشتن روکش الکترود از سطح مغزی آن منجر شود که این به نوبهٔ خود ، سبب ریزش روکش جامد به درون حوضچهٔ جوش و باقی ماندن سرباره در جوش و نیز کاهش ظرفیت های حفاظتی از حوضچهٔ جوش و در نتیجه ورود گازهای اتمسفری به درون حوضچه خواهد شد. از این رو باید در زمان انتخاب شدت جریان جوشکاری و با در منظر گرفتن کلیهٔ پارامترهای مرتبط مثل جنس الکترود ، جنس روکش ، ضخامت روکش ، قطر الکترود ، طول الکترود و غیره ، همواره حداقل شدت جریان مورد نیاز را به کار بست.

انواع جریان در جوشکاری :

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

جریان متناوب (Alter Native Current) :

جریان الکتریکی که مقدار و جهت آن به طور مداوم و با یک تناوب خاص تغییر می کند و معمولاً این تناوب به شکل سینوسی است. این جریان با علامت اختصاری "AC" نشان داده می شود.

محاسن و معایب جریان متناوب (AC) :

از جریان های متناوب در جوشکاری به طور گسترده استفاده می شود و دارای مزایا و معایبی به شرح زیر می باشد :

- ترانسفورماتورهای جوشکاری (AC) به مراتب از دینام های جوشکاری و رکتیفایرها (DC) ارزانتر هستند.
- هزینهٔ نگهداری و تعمیر ترانسفورماتور جوشکاری کمتر است.
- ضریب بهرهٔ الکتریکی جریان متناوب در جوشکاری بیشتر است.
- وزش قوس وجود ندارد.
- حرارت در قطعه کار و الکترود به طور مساوی توزیع می شود.
- امکان تغییر قطب وجود ندارد.
- بعضی از الکترودها را نمی توان با این جریان جوشکاری کرد.
- جریان متناوب برای جوشکاری بعضی از فلزات مناسب نیست.
- قوس در جریان AC ناآرام می باشد.

جریان مستقیم (DC) :

جریان الکتریکی که فقط در یک جهت جریان می یابد.

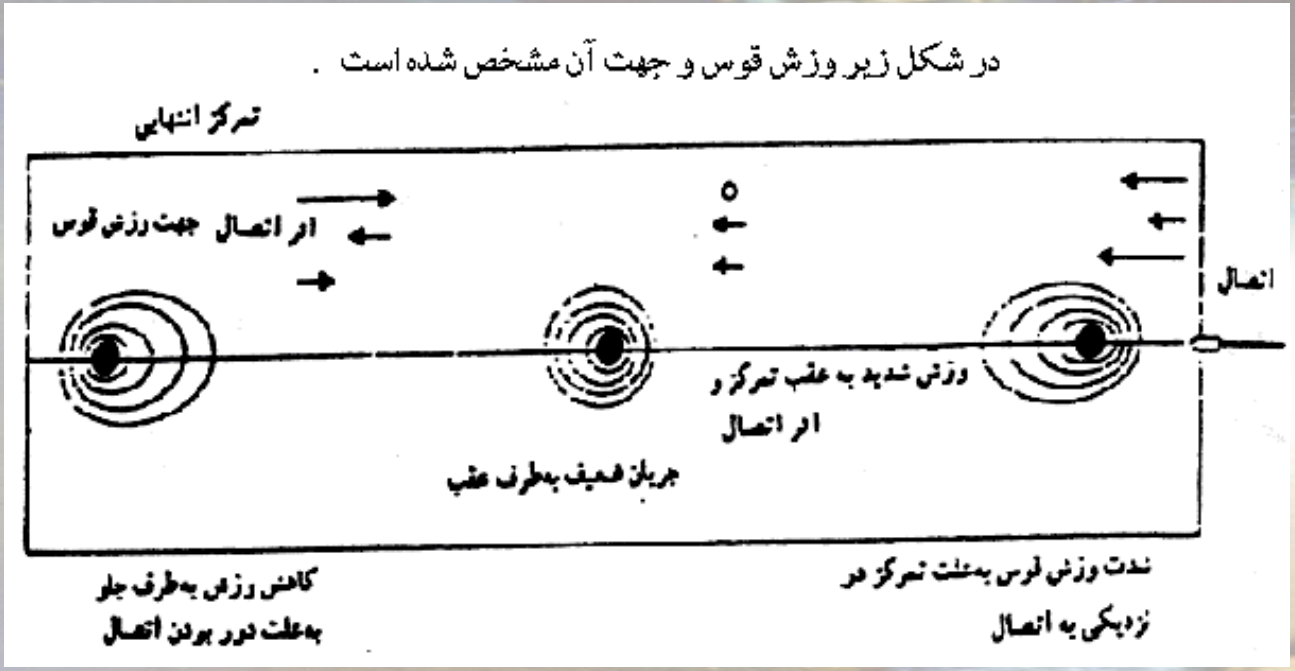
محاسن و معایب جریان مستقیم (DC) :

۱. خطر شوک الکتریکی کمتر است.
۲. قوس راحت تر تشکیل می شود و پایدارتر است.
۳. قوس آرامتر بوده و پاشش ذرات کم است.
۴. استفاده از انواع الکترودها امکان پذیر است.
۵. جوشکاری با حداقل آمپر امکان پذیر است.
۶. امکان تمیز کاری قوس در جریان **DCRP** وجود دارد.
۷. امکان تغییر قطب وجود دارد.
۸. گاهی در جوشکاری با جریان مستقیم پدیده ای به نام وزش قوس یا دمش قوس (انحراف قوس) وجود دارد که در زیر به شرح این پدیده می پردازیم :

وزش قوس (Arc Blow) :

عبور جریان الکتریکی در الکترود و قطعه کار در کابل اتصال ، حوزهٔ مغناطیسی بوجود می آورد که به صورت دایره های متوالی عمود بر مسیر عبور جریان برق است. هنگامی که این حوزهٔ مغناطیسی نامتعادل باشد ، قوس به طرفی که تمرکز حوزهٔ مغناطیسی بیشتر است ، منحرف می شود. این انحراف را وزش قوس گویند. در جوشکاری با جریان مستقیم که حوزهٔ مغناطیس تشکیل شده جهت ثابتی دارد ، وزش قوس بیشتری اتفاق می افتد.

معمولاً انحراف قوس در جهت حرکت پیشروی به طرف جلو یا عقب اتفاق می افتد و هنگام جوشکاری گوشه ها و نزدیک محل اتصال کابل به قطعه کار ، انحراف قوس زیاد خواهد بود. در مواقعی که وزش قوس زیاد باشد کنترل مذاب مشکل است و جوش بوجود آمده نامتعادل است.



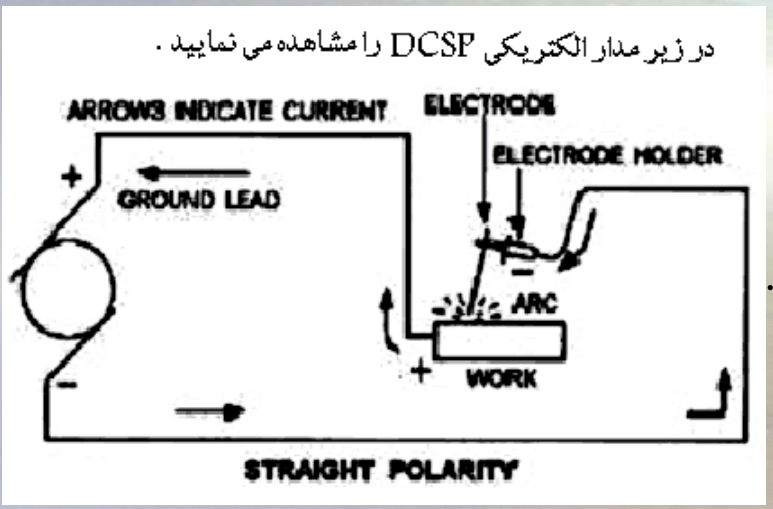
راه های جلوگیری از وزش قوس و کاهش آن :

۱. تغییر دادن محل اتصال کابل به قطعه کار (هر چند ممکن است دورتر از محل جوشکاری)
۲. در صورت امکان پیچیدن کابل اتصال به اطراف کار ، تا حوزهٔ مغناطیس جدیدی ایجاد کند و این حوزه ، اثر حوزهٔ مغناطیس قبلی را خنثی نماید.
۳. استفاده از جریان متناوب به جای جریان مستقیم.

قطبیت الکترود :

در جریان جوشکاری با قوس الکتریکی ، می توان از جریان متناوب (***AC***) ، جریان مستقیم با الکترود منفی و قطعه کار مثبت (***DCEN***) و یا جریان مستقیم با الکترود مثبت و قطعه کار منفی (***DCEP***) استفاده کرد.
انتخاب نوع جریان به روش جوشکاری ، نوع الکترود و همچنین نوع فلزی که جوشکاری می شود ، بستگی دارد.
اگر در جوشکاری از جریان مستقیم با الکترود منفی و قطعه کار مثبت (***DCEN***)
استفاده کنیم به آن جوشکاری با قطب مستقیم می گویند که علامت اختصاری
آن ***DCSP*** است.در این روش جوشکاری الکترون ها از الکترود به سوی کارپرتاب می شوند و با سرعت زیاد به آن برخورد می کنند. به علت بمباران شدنسطح کار بوسیلهٔ الکترون ها ، شدت گرما در محل ذوب بیشتر است. در این حالت جوشکاری۳/۲ گرما در محل ذوب و ۳/۱ در الکترود توزیع می شود و به همین علت نفوذ جوش بیشتر است.

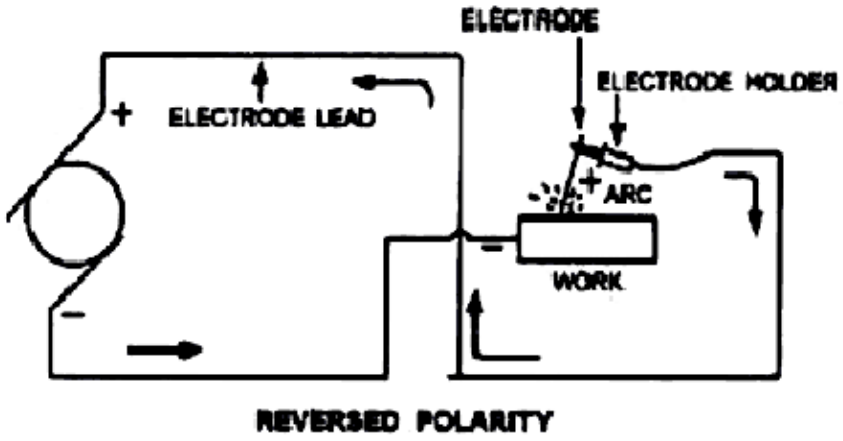
در زیر مدار الکتریکی DCSP را مشاهده می نمایید .



در جوشکاری با برق با جریان متناوب (**AC**) به علت تغییر جهت جریان الکترود ، به تناوب نیم سیکل منفی و نیم سیکل بعد مثبت است. پس می توان گفت ۲/۱ حرارت در کار و ۲/۱ حرارت در الکترود توزیع شده و عمل تمیز کاری قوس در نیم سیکلی که الکترود مثبت است صورت می گیرد.

اگر در جوشکاری از جریان مستقیم با الکترود مثبت و قطعه کار منفی (**DCEP**) استفاده کنیم به آن جوشکاری با قطب معکوس می گوییم که علامت اختصاری آن **DCRP** است. برای جوشکاری هایی که سرعت جوشکاری در اولویت است و همچنین الکترودهایی که دارای رو کش دیر ذوب هستند ، از قطب معکوس استفاده می کنیم. در این حالت ، فلز مغز الکترود و نیز گازهای محافظ کاملاً گرم هستند ، لذا سرعت انتقال مذاب از الکترود به کار یکنواخت تر و بهتر انجام می شود. در این جریان جوشکاری ۳/۲ حرارت تولید شده در الکترود و ۳/۱ حرارت تولید شده در قطعه کار تقسیم می شود.

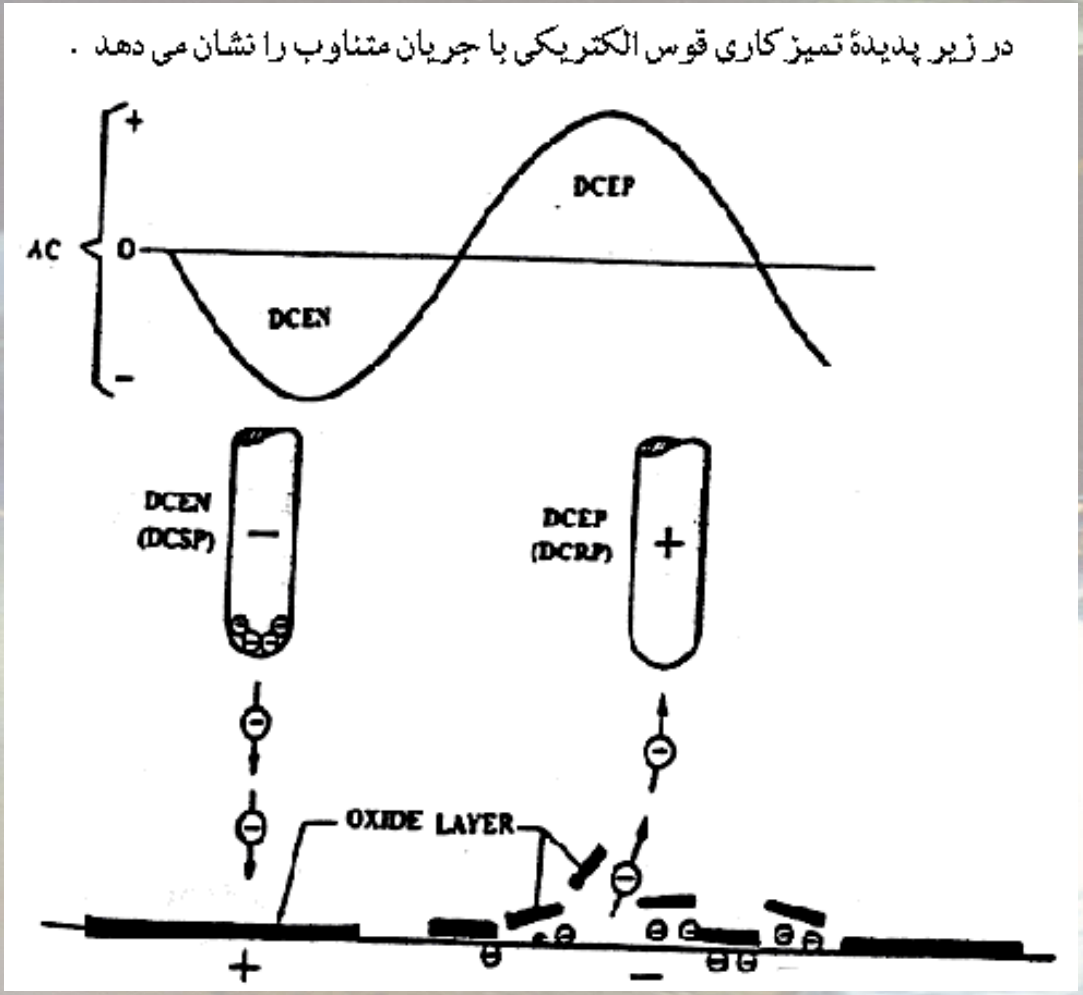
در زیر یک مدار الکتریکی DCRP را مشاهده می کنید .



: Arc Cleaning

یکی دیگر از ویژگی های قطب معکوس عمل تمیز کاری است. به دلیل حرکت الکترون ها از کار و برخورد یون های مثبت از الکترود به قطعه کار در محل تشکیل قوس ، که باعث شکستن لایهٔ اکسیدی می شود. از این ویژگی در جوشکاری فلزاتی که لایهٔ اکسیدی دارند مانند آلومینیوم به نحو مطلوبی استفاده می شود.

در جوشکاری با برق با جریان متناوب (**AC**) به علت تغییر جهت جریان الکترود ، به تناوب نیم سیکل منفی و نیم سیکل بعد مثبت است. پس می توان گفت ۲/۱ حرارت در کار و ۲/۱ حرارت در الکترود توزیع شده و عمل تمیز کاری قوس در نیم سیکلی که الکترود مثبت است صورت می گیرد.



منبع قدرت یا مولد نیرو (Power Source) :

مولد قدرت ، دستگاهی برای تأمین جریان و ولتاژ مناسب برای جوشکاری ، برشکاری حرارتی ، یا پاشش حرارتی است. از جملهٔ این دستگاه ها می توان به ترانسفورماتور ، ترانسفورماتور بعلاوهٔ یکسو ساز ، دینام و ژنراتور را نام برد.

۱-ترانسفورماتور :

این دستگاه از برق شهر تغذیه کرده و معمولاً برق را با همان فرکانس متناوب ، جهت جوشکاری پس می دهد. تنها کار این دستگاه (ترانسفورمیون) یعنی تغییر اختلاف سطح و شدت جریان می باشد که وظیفهٔ اصلی دستگاه محسوب می شود. به این معنی که دستگاه هنگام شروع به کار ولتاژ را تقلیل داده و شدت جریان را افزایش می دهد. ترانسفورماتور از یک هستهٔ مرکزی و دو سیم پیچ تشکیل شده است.

هسته شامل ورق های ترانسفورماتوری (یک طرف هادی و یک طرف عایق) است و بنام سیم پیچ اولیه و ثانویه خوانده می شود. در بعضی دستگاه ها در ترانسفورماتور وسیله ای بنام سلف (چوک) وجود دارد که کار تغییر شدت جریان را انجام می دهد.

همانطور که ذکر شد این دستگاه دارای دو سیم پیچ می باشد. سیم پیچ اولیه با دور زیاد است که از سیم با قطر کم تهیه می شود و به شبکهٔ برق شهر وصل می باشد. با عبور جریان متناوب از این سیم پیچ ، خطوط قوا تشکیل می گردد و با همان فرکانس (**50HZ**) برق شهر را تغییر می دهد. خطوط قوا به وسیلهٔ هستهٔ آهنی جذب و فوراً به طرف سیم پیچ ثانویه که جریان را برای جوشکاری تنظیم می نماید می رود. این سیم پیچ می تواند با سیم با قطرهای مختلف تهیه گردد و وظیفهٔ آن تنظیم شدت جریان می باشد و مقدار آن بستگی به تعداد دور سیم پیچ ، قطر سیم و فاصلهٔ هوایی سیم پیچ دارد و می توان با تغییر میدان قطر (میدان مغناطیسی) شدت جریان مورد نظر را بدست آورد. در بعضی از دستگاه ها بجای چوک از کلید سلکتوری به منظور تغییر شدت جریان استفاده شده است. در این روش تغییر شدت جریان در فاصلهٔ کم مقدور نیست و تغییرات یک سیکل ثابت دارد. بطور مثال ۲۵ آمپر در هر جابجایی تغییر شدت جریان وجود دارد.

در زیر یک دستگاه ترانسفورماتور نشان داده شده است

۲-رکتیفایر یا یکسو کننده :

ماشین های یکسو کننده دارای طرح های متعدد برای مقاصد مختلف می باشند. انعطاف پذیری یکی از دلایل پذیرش گستردهٔ این دستگاه در صنعت جوشکاری می باشند. این ماشین ها قادر به تحویل جریان با قطب مستقیم یا معکوس می باشند و نیز ممکن است برای جوشکاری دستی و یا جوشکاری با گاز محافظت و یا زیرپودری مورد استفاده قرار گیرد و امکان سرویس دهی چندین کاربر را دارا باشند. همهٔ این ماشین ها دارای دو قسمت اصلی اند که عبارتند از :

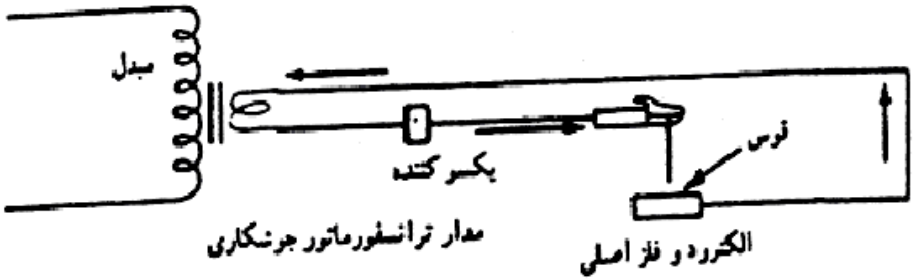
مبدل (ترانسفورماتور) جهت تنظیم جریان متناوب ورودی به ماشین

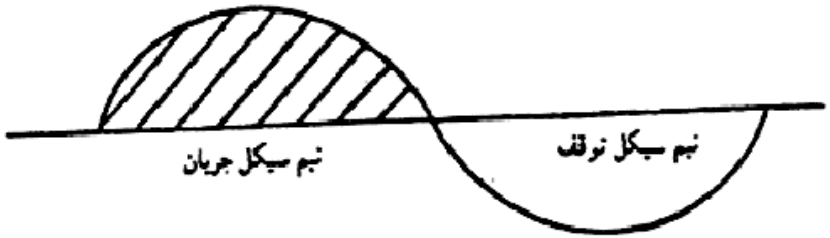
یکسو کننده که جریان متناوب را به جریان مستقیم تبدیل می کند.

این دستگاه ها دارای یک الکتروموتور و فن دمنده است که باعث خنک کردن یکسو کننده در حین کار و در نتیجه بالا رفتن راندمان دستگاه می گردد. کنترل جریان پیوسته در یک دامنه وسیع امکان پذیر است.

در زیر یک دستگاه رکتیفایر جوشکاری نشان داده شده است

در زیر یکسو کردن جریان بوسیلهٔ رکتیفایر را نشان می دهد





ماشین های جوشکاری مبدل با یکسو کننده AC – DC :

این ماشین ها به کاربر اجازه می دهند که جریان را به صورت مستقیم یا معکوس انتخاب کند. این ماشین ها در اصل یک یکسو کننده جریان **AC** هستند و نصب یک کلید بر روی دستگاه به ما اجازه می دهد تا فقط از قسمت مبدل برای جریان متناوب استفاده کنیم. و با زدن یک کلید دیگر یا چرخاندن یک صفحه جریان خروجی به جریان مستقیم جوشکاری تبدیل گردد. مدار یکسو کنندهٔ این ماشین هم مشابه سایر دستگاه های رکتیفایر ، از یک پل و تستون (پل دیود – تریستور) تشکیل شده است. دستگاه های با تشکیل قوس با فرکانس بالا ، هدایت جریان آب و گاز در حین جوشکاری – فیلترهای عملکرد جریان متناوب و سایر تنظیم کننده ها نظیر ریموت کنترل در این دستگاه ها پیش بینی شده است.

ماشین های جوشکاری جریان متناوب :

خاصیت جریان متناوب این است که در هر ۱۲۰/۱ تا ۱۰/۱ ثانیه جهت آن عکس می شود. این تغییر فاز مداوم جریان ، باعث کاهش میدان مغناطیسی جریان شده و در نتیجه از انحراف قوس می کاهد. انحراف قوس باعث ترشح شده و در ترکیب جوش ایجاد تخلخل می کند. هر چند که تشکیل قوس با جریان متناوب نسبت به حالت استفاده از جریان یکسو تا اندازه ای مشکل است ، لیکن عدم وجود انحراف قوس و ولتاژ زیاد باعث تداوم و پایداری قوس می گردد. و این موضوع اجازهٔ استفاده از الکترودهای بزرگ را داده و باعث افزایش سرعت کار در جوشکاری فلزات سنگین و ضخیم می گردد. از دیگر مزایای ماشین های جریان متناوب ، قیمت پایین مصرف انرژی ، بازدهٔ تولید جریان زیاد ، عملکرد پیچیده و کاهش نیاز و مراقبت و نگهداری نسبت به انواع دیگر ماشین ها می باشد.

۳-دینام :

اگر فرکانس یا تناوب برق را از بین ببریم ، یک جریان مستقیم حاصل خواهد شد. به این منظور از دستگاه ها دینام استفاده می شود که بطور کلی به دو بخش محرک و متحرک تقسیم می شود. بخش محرک بایستی انرژی لازم را جهت تولید الکتریسیته تأمین نماید که اصولاً یک موتور برقی متناوب یا یک موتور احتراقی (بنزینی) این نقش را ایفا می نماید. این موتور توسط یک قیح به دستگاه دینام کوپله می گردد تا دینام (بخش متحرک) را بدور آن به حرکت درآورد. بخش متحرک جریان ***DC*** با ولتاژ و آمپراژ لازم جهت جوشکاری را تولید می نماید. واحدهای مختلف دستگاه بر روی یک شاسی نصب شده اند که در زیر آن چرخ و لاستیک جهت انتقال و حرکت ، نصب شده است. این دستگاه دارای ویژگی های زیر می باشد :

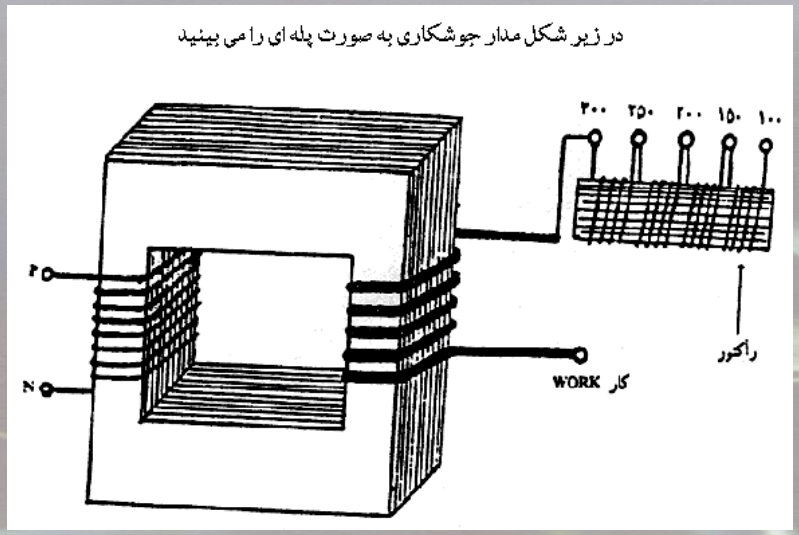
- دارای قوس نفوذی و قوی می باشد.
- دارای دوام و عمر طولانی می باشد.
- تنوع کار زیاد داشته و می تواند برای کلیه فلزات قابل جوشکاری با قوس الکتریکی بکار رود. مولدهای جریان مستقیم در صورتی که به طور صحیح نگهداری شوند بسیار با دوام بوده و عمر آنها طولانی می گردد. بیشتر نقاط گردننده در این دستگاه ها دچار فرسودگی می گردند مانند جاروبک ذغالی (بخشی که روی کلکتور قرار دارد). ***Commutation*** (عایق سطح یکسو کننده) دستگاه استارت ، یاتاقان ها ، بلبرینگ ها و رئوستائی کنترل که چنانچه این قسمت ها سرویس ماهیانه و بازدید گردند ، دستگاه دارای راندمان بالایی خواهد بود.
- در دستگاه های ***DC*** می توان از تغییر قطب در جوشکاری استفاده نمود. همانطور که می دانیم ۳/۲ حرارت در قطب مثبت و ۳/۱ در قطب منفی می باشد. و با توجه به آن می توان قطب مناسب را برای جوشکاری انتخاب نمود. در صورتیکه در جریان ***AC*** قطب مثبت و منفی در هر سیکل عوض شود. مسیر جریان الکتریکی از انتهای منفی منبع به سمت فلز پایه ، قوس ، الکترود و سپس سمت قطب مثبت می باشد. در بعضی از دستگاه های دینام با نصب یک کلید بدون اینکه جای کابل ها را عوض کنیم تغییر قطب انجام می گیرد.

تنظیم جریان در مولدهای DC :

تنظیم مناسب ولتاژ و شدت جریان در پروسهٔ جوشکاری نقش بسزایی دارد و یکی از فاکتورهای تعیین کننده در طراحی جوش است. به همین جهت هر چه دستگاه پیشرفته تر و دارای کارآیی بیشتری باشد لاجرم باید دارای سیستم کنترل و تنظیم ولت و آمپر باشد. زیرا اگر ولتاژ زیاد باشد قوس خیلی تند (***Harsh***) بوده و ممکن است موجب انحراف قوس (***Arc blow***) گردد و اگر میزان ولتاژ کم باشد برقراری قوس مشکل است. مولدهای جوشکاری به کمک عقربهٔ تنظیم دامنه عرضی را برای انتخاب جریان جوشکاری فراهم می کنند تا امکان تنظیم حرارت مناسب و دقیق ایجاد گردد ، زیرا شیب خروجی دستگاه می تواند به میزان دلخواه تنظیم نمود. یک پیچ یا اهرم به جوشکار اجازه می دهد تا جریان را در یک نرخ معین قرار دهد. به هر حال چند روش مهم و پر کاربرد تنظیم جریان در مولدها وجود دارد که عبارتند از :

A.تنظیم جریان پلکانی یا غیر پیوسته (***Copped Step Cornet***) :

در این روش ، یک سر سیم پیچ ثانویه به ترمینال اتصال و سر دیگر آن پس از چند دور گردش به دور هستهٔ فرعی (راکتور) به ترمینال های متوالی یک پس از دیگری وصل می شود. بدین معنی که اولین ترمینال قبل از گردش سیم به دور راکتور در مدار جوشکاری قرار دارد و بیشترین آمپر را دارا است. پس از چند دور گردش سیم به دور هستهٔ فرعی ترمینال دوم قرار گرفته است و همین طور ترمینال سوم ، پس از چند دور دیگر گردش سیم به دور هستهٔ فرعی و آخرین ترمینال در انتهای این سیم پیچ قرار دارد که دارای کمترین آمپر می باشد. به عبارت دیگر برای کاهش شدت جریان از تأثیر متقابل هسته (راکتور) بر روی جریان استفاده می کنیم و چون شدت جریان زیاد است ، این تأثیر قابل توجه بوده و ترمینال ها یکی پس از دیگری آمپر کمتری خواهند داشت و به همین دلیل ، اولین ترمینال بیشترین آمپر و آخرین ترمینال کمترین آمپر دستگاه را دارند و جوشکار می تواند به صورت پله ای با استفاده از ترمینال های دستگاه ، آمپر را افزایش یا کاهش دهد.



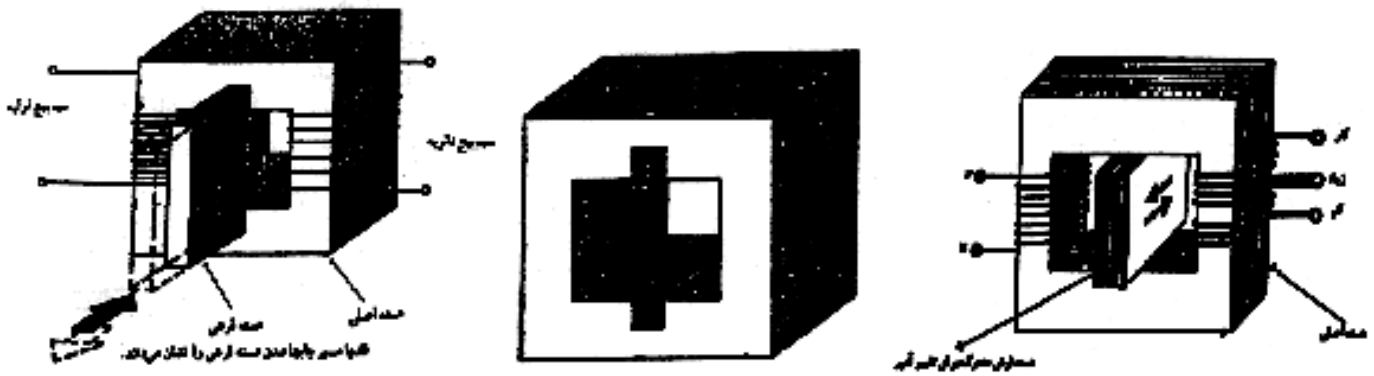
B.تنظیم جریان به صورت پیوسته یا لحظه ای (Continual Variable Cornet) :

در این روش تغییر آمپر بوسیلهٔ قرار دادن یک هستهٔ فرعی در درون هستهٔ اصلی است که سبب می شود خطوط مغناطیسی کمتری از وسط سیم پیچ ثانویه عبور کند و شدت جریان کمتری در آن سیم پیچ القا شود.

هستهٔ فرعی بوسیلهٔ یک پیچ بلند به دستهٔ تغییر آمپر دستگاه متصل است. بیشترین آمپر زمانی است که با گردش دسته ، هستهٔ فرعی کاملاً از درون هستهٔ اصلی خارج می شود. چنانچه دسته را در جهت عکس حالت قبل بچرخانیم تا هستهٔ فرعی کاملاً درون هستهٔ اصلی قرار گیرد ، کمترین آمپر را خواهیم داشت. در این حالت خطوط مغناطیسی از مسیر هستهٔ فرعی عبور می کند و سیم پیچ ثانویه در حوزهٔ مغناطیسی با شدت کمتر قرار خواهد داشت ، در نتیجه شدت جریان القایی کمتر خواهد شد.

پس با کم و زیاد کردن شدت حوزهٔ مغناطیسی که از وسط سیم پیچ ثانویه عبور می کند ، آمپر کم و زیاد می شود. میزان آمپر به میزان تماس هستهٔ فرعی (هستهٔ متحرک) با هستهٔ اصلی بستگی دارد. چنانچه دستهٔ تغییر آمپر روی دستگاه را یک دور بچرخانیم ، هستهٔ فرعی به اندازهٔ یک گام پیچی که به آن متصل است ، جا به جا می شود و به همین نسبت آمپر تغییر می کند. لذا می توان با توجه به مقدار و جهت گردش دسته ، آمپرهای متفاوت را با دقت زیاد تنظیم کرد.

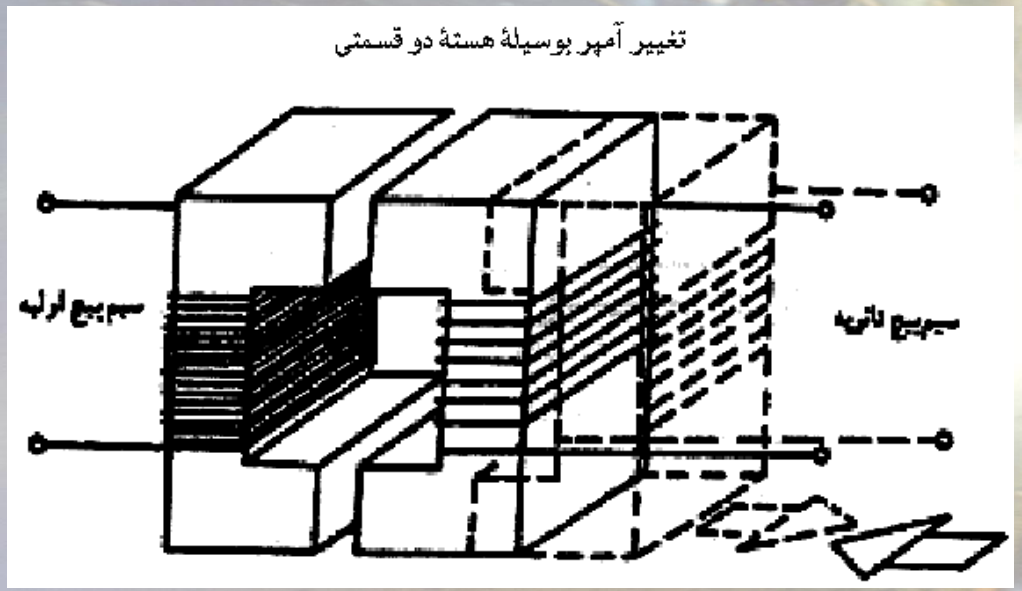
در زیر تنظیم آمپر به صورت پیوسته را می بینید



C.تنظیم آمپر بوسیلهٔ هستهٔ دو قسمتی :

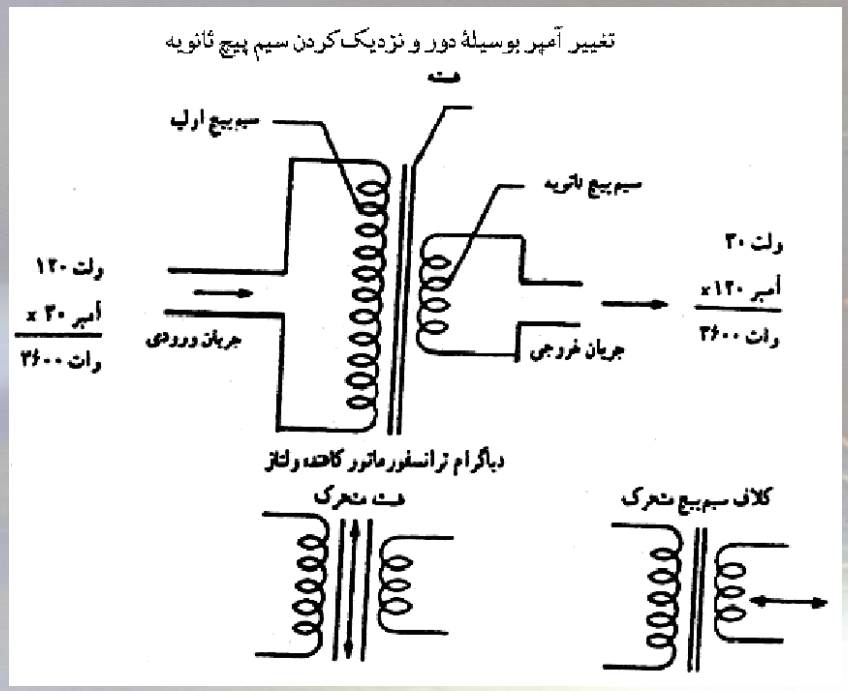
تنظیم آمپر به وسیلهٔ هستهٔ دو قسمتی که با دور کردن دو قسمت هسته ، آمپر کم و با نزدیک کردن دو هسته آمپر زیاد می شود.

تغییر آمپر بوسیلهٔ هستهٔ دو قسمتی



تنظیم آمپر بوسیلهٔ دور و نزدیک کردن سیم پیچ ثانویه :

با دور و نزدیک کردن سیم پیچ ثانویه از حوزهٔ مغناطیسی سیم پیچ اولیه می توان آمپرهای کم یا زیاد بدست آورد.



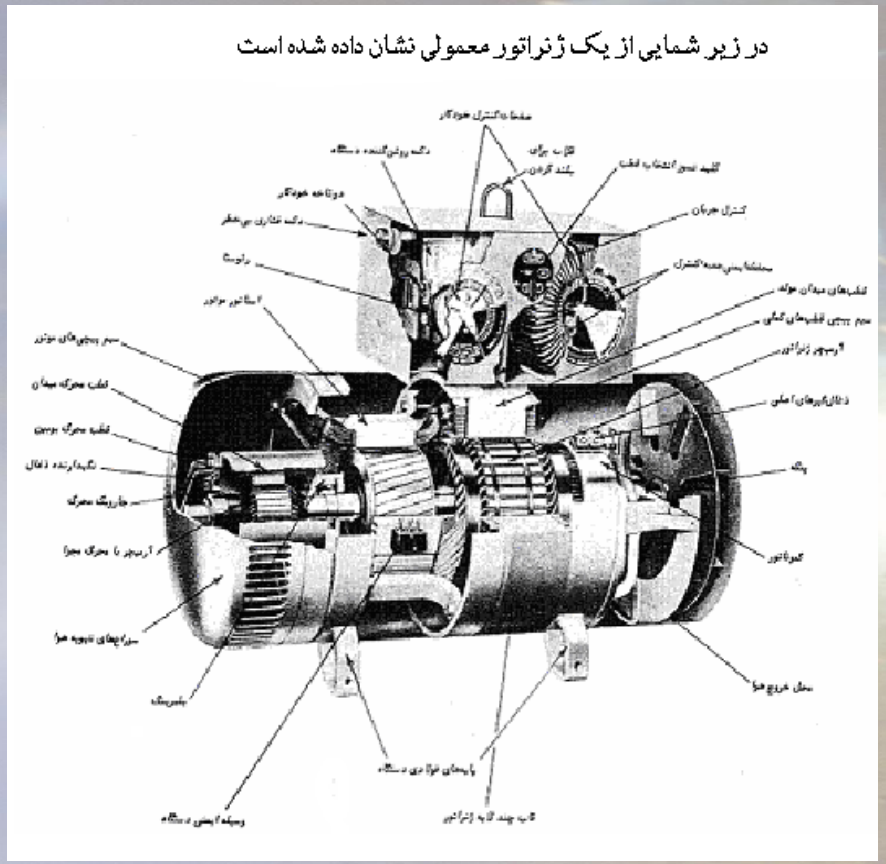
تنظیم از راه دور (Remote Control) :

بعضی از ماشین های جوشکاری مجهز به این دستگاه هستند. ممکن است دستگاه جوشکاری در مکانی دور از محل کار نصب و راه اندازی گردد و در ضمن امکان ترک جوشکار از محل کار نباشد ، در این حالت سیستم کنترل از راه دور کارآیی داشته و موجب صرفه جویی در وقت خواهد شد.

٤-موتور ژنراتور :

موتور ژنراتور یکی دیگر از انواع مولد یا دینام می باشد و فرق آن با دستگاه دینام در نوع برق خروجی آن است که جریان خروجی این دستگاه ***AC*** می باشد. کاربرد این دستگاه بیشتر در ساخت سازه های عمرانی و اسکلت های فلزی است ، زیرا همانطور که می دانید جریان ***DC*** دارای پایداری کمی است و به همین منظور اگر در سر راه خروجی دینام که دارایجریان ***DC*** است ، دستگاه اسیلانپور (نوسان ساز)نصب گردد این ماشین را ژنراتور می نامند.

در زیر شمایی از یک ژنراتور معمولی نشان داده شده است



ایمنی در جوشکاری (Safety In Welding) :

یکی از مسائل مهمی که جوشکار و بویژه مسئولین یک کارگاه باید دقیقاً به آن توجه کنند نکات ایمنی می باشد که حائز اهمیت است. آسیب بر کارگران با خسارات جانی ، نقص عضو و عواقب آنها بر شخص و خانوادهٔ او را نمی توان با معیارهای مادی و مالی سنجید ، ولی اغلب ضرر و زیان های ناشی از حوادث خسارات جانی و گاه مالی غیر قابل جبرانی به بار می آورند. نکات ایمنی معمولاً در دو دستهٔ ایمنی فردی و ایمنی گروهی مطالعه می شود که در گروه دوم علاوه بر مسئولیت هر شخص نسبت به خودش باید به اطرافیان و حتی کل جامعه هم توجه داشته باشد. چه بسا سهل انگاری و عدم رعایت بعضی نکات ایمنی یک فرد ، موجب خسارات جانی و مالی گروهی شود.

بطور کلی حوادث و وقایع ناگواری که در حین جوشکاری یا برشکاری اتفاق می افتد ، دو دلیل عمده دارند که عبارتند از :

۱. عدم آشنایی و دانش شخص به نکات ایمنی و بهداشتی
۲. سهل انگاری و بی توجهی به رعایت نکات ایمنی.

بنابر این آموزش جوشکار و مسئولین در هر برنامهٔ آموزشی تکنولوژی جوشکاری اعم از نوآموزی یا بازآموزی الزامی بوده و ارشادهای لازم برای دقت در اجرای آنها نیز ضروری است.

مهمترین توصیه در تمام موارد این است که ، با وسیله ای که روش کار آن را نمی دانید و آموزش ندیده اید کار نکنید.

بعضی از نکات می باشند که باید در همهٔ فرآیندهای جوش و برش رعایت شوند و در بعضی از فرآیندها باید علاوه بر نکات عمومی به نکات دیگری نیز اهمیت داد که ما در این مبحث نکات ایمنی عمومی و نکات ایمنی مربوط به فرآیند جوش برق را بیان می کنیم.

نکات ایمنی عمومی :

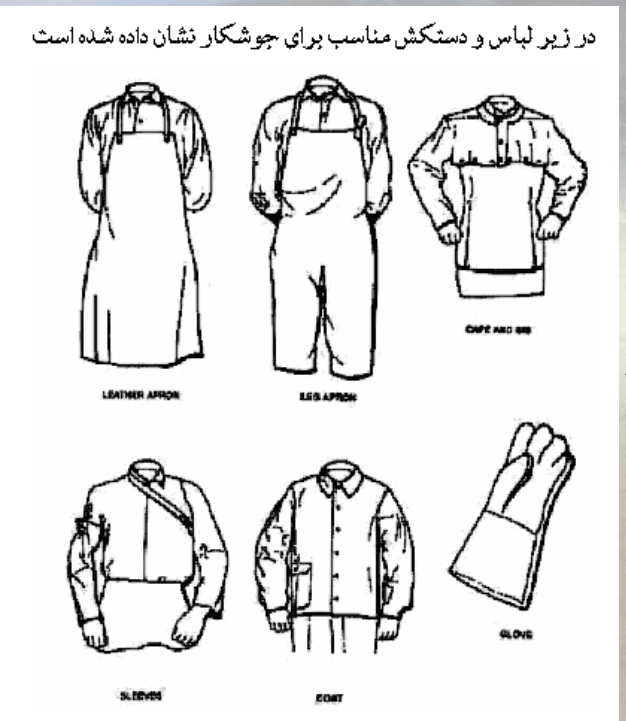
تهویه و سیستم گردش هوا :

همهٔ عملیات جوش و برش باید در فضایی که سیستم تهویهٔ خوب دارد انجام شود. جابجایی کافی هوا برای جلوگیری از انبوه شدن دودها و گازهای مسموم کننده و احتمالاً کاهش اکسیژن الزامی است.

هنگامی که دودهای سمی ناشی از مواد پوشش داده شده با سرب ، روی ، برنز ، برنج ، کادمیم و برلیم باشد حساسیت و خطرات ناشی از عدم رعایت تهویهٔ کافی و مناسب به مراتب شدیدتر می شود.

لباس محافظ (Protective Clothing) :

دستکش ساق بلند و پیش بند مقاوم در برابر آتش باید برای بیشتر عملیات جوش و برش استفاده شود. لباس های پشمی نسبت به لباس پنبه ای و نایلونی برای محافظت بدن در حین جوشکاریترجیح داده می شوند زیرا مقاوم تر از همه در برابر آتش سوزی می باشد. از پوشیدن لباس هایی که دارای لبه های برگردان در سرآستین یا پاچهٔشلوار و جیب هستند ، خودداری شود چون احتمال حبس ذرات گداختهٔجرقه در آنهاوجود دارد که منجر به سوختن لباس و پوست خواهد شد. بهتر است از کفش های مناسب استفاده کرد تا اولاً ، قسمتی از ضربهٔ ناشی از سقوط احتمالی قطعات بر روی پا را بگیرد ، ثانیاً پا را در مقابل جرقه و ذرات گداخته شده که بر روی زمین می ریزند محافظت کند.

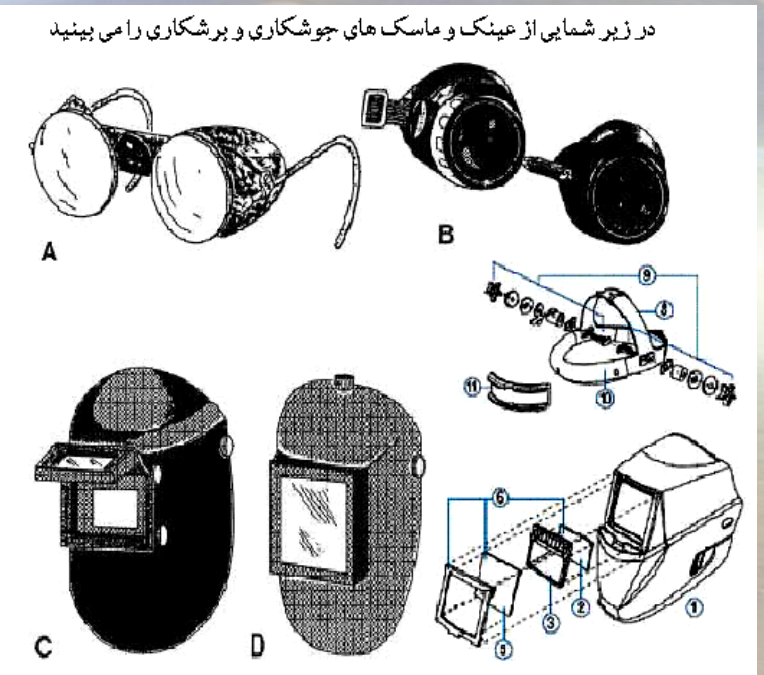


محافظت از چشم (Eye Protection) :

در تمام موارد جوشکاری و برشکاری لازم است از عینک با شیشه مناسب (شیشهٔ تار با درجه تاریکی مناسب) استفاده کند. درجه تاریکی شیشه عینک به روش جوشکاری و شدت جریان بکار گرفته شده بستگی دارد. در بعضی موارد نظیر کار با شعلهٔ اکسی استیلن عینک های دودی معمولی هم می توان مورد استفاده قرار بگیرد. در جوشکاری با قوس الکتریکی علاوه بر محافظت از چشم باید از ماسک هایی که صورت را نیز می پوشاند استفاده شود. در بیشتر موارد عینک و ماسک با هم همراه می باشند.

باید توجه داشت که اشعه های ماوراء بنفش و مادون قرمز در قوس الکتریکی علاوه بر اثر بسیار خطرناک بر روی چشم ، بر روی پوست نیز اثر سوء دارد.

چشم بدون عینک نباید از فاصله ای کمتر از ۱۵ متر به قوس نگاه کند ، بنابراین باید در اطراف محل جوشکاری با قوس الکتریکی از پرده های مخصوص استفاده کرد تا محیط کارگاه و سایر کارگران را از اثرات اشعه محافظت نماید.

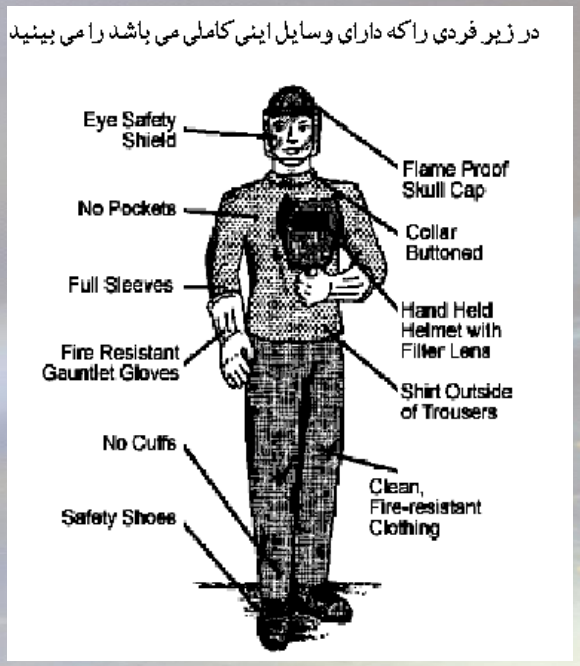


محافظت از سوختگی و آتش سوزی :

در عملیات جوشکاری 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 قطعه پراکنده شده با نیروی زیادی که دارند احتمالاً موجب جراحاتی در جوشکار یا افراد اطرافش می شوند.

قطعات جوشکاری و برشکاری که گرم می باشند با علامتی که نشان دهندهٔ گرم بودن آن است مشخص شود تا موجب سوختگی افرادی که قصد لمس کردن یا جا به جا کردن آن را دارند ، نشود.

باید همیشه وسایل خاموش کردن حریق و کمک های اولیه بازرسی شده و در نزدیکترین محل مناسب قرار داشته باشد.



شناخت و آشنایی با تجهیزات :

همانطور که قبلاً اشاره شد عمل کننده یا متصدی هرگز نباید با وسیله یا دستگاه جوشکاری کار کند مگر آنکه دستور کار دستگاه را کاملاً خوانده ، فهمیده و اجرا کند.

در صورت مشاهدهٔ نواقص یا عیوبی در ماشین آلات یا ابزار کار قبل از آنکه خود به رفع عیب بپردازد بهتر است با مسئول تعمیرات که دوره های مربوطه را دیده است تماس گرفته و احتمالاً زیر نظر او به رفع عیب بپردازد.

نکات ایمنی در جوشکاری با برق :

۱. فرآیندهای جوشکاری با قوس الکتریکی و مقاومت الکتریکی دارای تنوع وسیع و ردیف گسترده قدرت عملیاتی می باشند و بر حسب میزان آمپر و ولتاژ آنها ممکن است نیاز به رعایت توجهات بیشتر باشند. اما آنچه بطور کلی و عمومی می تواند مورد بحث قرار گیرد در زیر مختصراً آورده شده است. البته باید توجه داشت که این نکات ایمنی در جوشکاری برق باید همراه با راهنمایی های سازنده های هر وسیله و دستگاه رعایت شود.

۲. نصب و برقراری ماشین آلات جوشکاری باید با رعایت استانداردهای مربوطه به تجهیزات و تأسیسات برقی باشد.

۳. ماشین جوشکاری باید از طریق کلید یا سویچ قطع نیرو (برق) چنان وصل باشد که دست یابی به کلید در لحظات بحرانی و خطر در اسرع وقت و به سهولت امکان پذیر باشد.

۴. تعمیرات تجهیزات و وسایل جوشکاری را نباید به هیچ وجه قبل از قطع جریان برق انجام داد.

۵. ماشین جوشکاری باید کاملاً اتصال زمین شده باشد. جریان استری (***Stray Current***) می تواند سبب شوک شدید به هنگام تماس و لمس کردن قطعات اتصال زمین نشده شود.

۶. کلید تغییر قطب را هرگز نباید هنگام روشن بودن ماشین تغییر داد. در این مواقع سعی شود ماشین و مدار باز باشد. در غیر این صورت سطح اتصالی کلید ممکن است بسوزد و قوس ناشی از آن می تواند موجب صدماتی شود.

۷. از کابل های جوشکاری نباید بار اضافی عبور کند ، یا ماشین با اتصالات ضعیف کار کند. کار کردن با شدت جریان مافوق ظرفیت کابل ، سبب گرم شدن زیاد آن می شود ، همین طور اتصالات ضعیف نیز می تواند موجب ایجاد قوس های ناخواسته در بین کابل و فلز متصل شده به اتصال زمین در مدار الکتریکی جوشکاری شود.

۸. باید از خیس کردن زمین ، لباس کار یا کار کردن با دست و یا دستکش خیس خودداری کرد. در این شرایط ممکن است شوک الکتریکی یا بعضی ناراحتی های دیگر حاصل شود.

۹. از لمس کردن و تماس حاصل نمودن قسمت غیر عایق شدهٔ نگهدارندهٔ الکترود با اتصال زمین ، هنگامی که جریان الکتریکی وصل است اجتناب شود چون این کار موجب جرقه زدن و آسیب رساندن به کار یا نگهدارندهٔ الکترود می شود.

۱۰. کابل جوشکاری از رطوبت ، چربی ، گریس و جرقه دور نگاه داشته شود.

۱۱. هرگز کابل جوشکاری که در آن جریان الکتریکی عبور می کند برای حمل و نقل به اطراف پا نپیچد.

۱۲. فرا گرفتن اصول کمک های اولیه در مورد سوختگی ، برق گرفتگی ، خفگی ، شکستگی و غیره و در دست قرار دادن کلیهٔ وسایل مربوطه الزامی می باشد.