



معرفی فرایند های جوشکاری

ارائه دهنده :عباس الفتی

قسمت اول

مقدمه:

بشر اولیه زمانی که فلز را شناخت و به نحوه ذوب و ریخته گری آن پی برد، در زمینه اتصال قطعات فلزی تلاشهای زیادی کرد و توانست لحیمکاری و بعضی از روشهای ساده جوشکاری را ابداع نماید. در کاوشهای باستان شناسی دست بندهای طلائی پیدا شده است که مربوط به دوران قبل تاریخ بوده و سر این دست بندها به وسیله ضربات چکش، جوشکاری شده است. در جواهرات قدیمی ذرات ریز طلا را به وسیله صمغ درخت و نمک مس به هم چسبانده، سپس آن را آتش می زدند. در اثر حرارت حاصل از سوختن صمغ درخت، فلز مس احیا شده و با طلا ترکیب می شد و بدین ترتیب جوشکاری قطعات ریز طلا انجام می گرفت. دو میان قدیم از آلیاژهایی برای لحیم کاری استفاده می کردند که هنوز هم در صنعت امروزی کاربرد دارند. جوشکاری به صورت امروزی در قرن نوزدهم اهمیت بیشتری پیدا نمود و پیشرفت کرد. در سال ۱۸۸۷ میلادی برنوداس روسی از قوس الکترونیکی والکتروود ذغالی برای جوشکاری استفاده نمود و بعد از او اسکاویافوف الکتروود فلزی بدون روپوش (روکش) و قوس الکترونیکی را برای جوشکاری به کار گرفت. امروزه بیشتر از صد روش جوشکاری، برش کاری و لحیم کاری اختراع شده و جوشکاری را به عنوان یک شاخه علمی مطرح نموده است و دارای شاخه های متعددی در زمینه فرایندهای جوشکاری، طراحی، بازرسی، متالورژی و غیره می باشد و جمعیت زیادی را در این صنعت مشغول به کار نموده است.

تعریف جوش ایده آل:

جوش، ایجاد پیوستگی موضعی بین فلزات با گرم کردن آنها تا دماهای مناسب برای ایجاد ذوب موضعی سطوح اتصال، بدون استفاده از فشار یا با کمک فشار، با فلز پرکننده اضافی یا بدون آنهاست. در واقع با انجام جوشکاری، تمایل به ایجاد یک اتصال مستحکم بین دو قطعه است که در حالت جدا از یکدیگر کاربردی نداشته در حالی که، با اتصال آنها بهم می توان هدفی صنعتی را دنبال کرد. در طراحی های مرتبط با جوشکاری یا دیگر مقاصد صنعتی، استفاده از قطعه ای با ساختار مکانیکی و شیمیایی یکنواخت، بدلیل نیاز به تحلیل های ریاضی و پیچیده، همیشه مطلوبتر از استفاده مواد مختلف به صورت ترکیبات پیچیده بوده است. در صنعت جوشکاری نیز، تمایل به استفاده از مواد پرکننده مشابه فلزات پایه بر همین اساس بوده و در این راستا جوش ایده آل تعریف می شود. جوش ایده آل: جوشی ایده آل است که بعد از انجام پیوستگی بین فلزات پایه مورد نظر، تغییری در خواص شیمیایی یا مکانیکی ساختار فلزات، با حفظ یکپارچگی ظاهری اتصال ایجاد نکرده باشد. از لحاظ تئوری دستیابی به چنین اتصال یکنواختی شاید امکان پذیر باشد، اما در واقعیت و براساس دانش های متالورژیکی با وارد شدن حرارت های زیاد به هر قطعه ای امکان تغییر ساختار متالورژیکی آن فراهم می شود. خواص مکانیکی و شیمیایی مواد تابع

ساختار متالورژیکی آن است. در جریان جوشکاری یک قطعه، دمای بسیار بالایی که منجر به ذوب سطوح اتصال می شود با توجه به جنس قطعه توانائی تغییر شدید خواص مکانیکی اتصال است. فولادها نیز تابع قانون فوق بوده و در دماهای بالا، ساختار متالورژیکی آنها اصطلاحاً دانه درشت می شود که کاهش خواص مکانیکی را برای قطعه، به خصوص مناطق همجوار با قوس جوشکاری به همراه دارد. علاوه بر این، در فرایندهای جوشکاری که برای پر کردن فاصله اتصال از فلزات پر کننده استفاده می شود نیز به دلیل امکان سوختن عناصر آلیاژی در تماس با قوس الکتریکی وجود دارد. لذا نیاز است تا ترکیب شیمیائی و آلیاژی فلز پر کننده اند که متفاوت از فلزات پایه باشد. همچنین حرارت دادن مجدد برخی قطعات ممکن است منجر به پیدایش عیوب و نواقصی در قطعه شود که بر کاربرد آن تأثیر مضر دارد، در حالی که ممکن است با کمک بعضی از عناصر آلیاژی ضمن حرارت دادن آن طی جوشکاری، احتمال ترک خوردن یا معیوب شدن قطعه را کاهش داد. سپس در فرایندهای جوشکاری با کمک فلزات پر کننده، به طور ناخواسته الزام به ایجاد تغییر در ساختار شیمیائی فلز جوش هستیم اما این تغییر در ساختار نباید با کاهش خواص شیمیائی و یا مکانیکی فلز جوش همراه باشد. لذا در طراحی ها همیشه تلاش می شود تا فلزات پر کننده ای استفاده شود که برای جوش اتصالی مستحکم تر از فلز پایه به وجود آورد. در نهایت می توان به دو دلیل ایجاد جوش ایده آل را در فرایندهای جوشکاری ذوبی را غیر ممکن دانست:

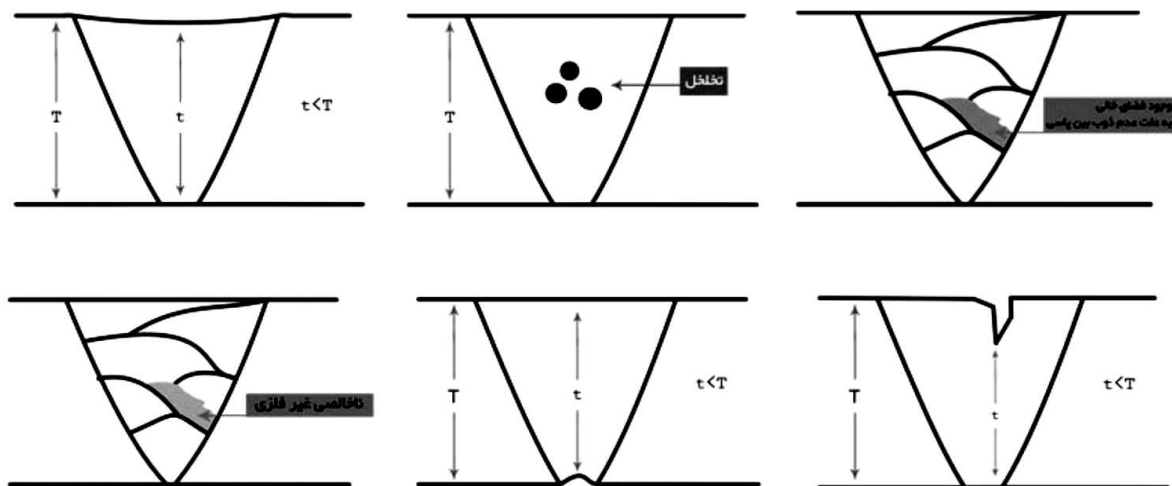
۱. تغییر متالورژیکی ساختار منطقه مجاور جوش به دلیل اعمال حرارت بالا به قطعه حین جوشکاری

۲. تغییر ترکیب شیمیائی منطقه جوشکاری شده به دلیل استفاده از فلزات پر کننده متفاوت از فلز پایه

جوش شیاری ایده آل:

در عمل دستیابی به اتصال جوش ایده آل از نقطه نظر متالورژیکی غیر ممکن است، زیرا اتصال جوشکاری شده با یکی از فرایندهای جوشکاری ذوبی قاعدتاً به دلیل حرارت ورودی بالا به اتصال و گاهی استفاده از فلزات پر کننده متفاوت از فلز پایه، دارای تغییراتی در ساختار متالورژیکی هستند که به تغییر در خواص مکانیکی مناطق جوش و مجاور جوش می شود. اتصال شیاری یا نفوذی، اصطلاحاً به اتصالی گفته می شود که نفوذ بیشتری را برای فلز جوش در قطعه پیدایش اتصالی بیشتر به آن سطوح را به همراه دارد و جوش شیاری نیز جوشی است که علاوه بر پر کردن فضای خالی ایجاد شده توسط شیاری، ذوب مناسب سطوح اتصال را نیز به همراه دارد. جوش شیاری ایده آل را می توان چنین تعریف نمود: جوشی که پیوستگی سطوح اتصال دو قطعه که دارای فضای خالی هستند را با حداقل تمرکز تنش در نقطه اتصال پر می کند. نکته قابل ذکر این است که در اتصال دو قطعه با ضخامت های متفاوت در جوشکاری شیاری، ضخامت نقطه اتصال به اندازه فلز نازکتر می باشد. جوش شیاری ایده آل با نفوذ کامل این چنین است که ضمن تأمین ضخامت قطعه، به دلیل دارا بودن عناصر آلیاژی مناسب، خواص مکانیکی

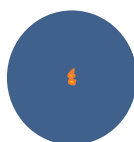
قطعه را علیرغم دارا بودن تغییر در ساختار متالورژیکی فراهم کرده باشد. کاهش ضخامت در فلز جوش نسبت به فلز پایه، به هر دلیلی (وجود تخلخل، ناخالصی فلزی یا غیرفلزی و ...) عملاً باعث کاهش عمل مکانیکی اتصال، تمرکز تنش را در اتصال به همراه دارند، لذا کاهش ضخامت فلز جوش با توجه به شرایط کاری قطعه و استانداردهای کاربردی می تواند مجاز یا غیرمجاز باشد. یک جوش شیاری همچنین نباید باعث کاهش ضخامت در فلز پایه شود



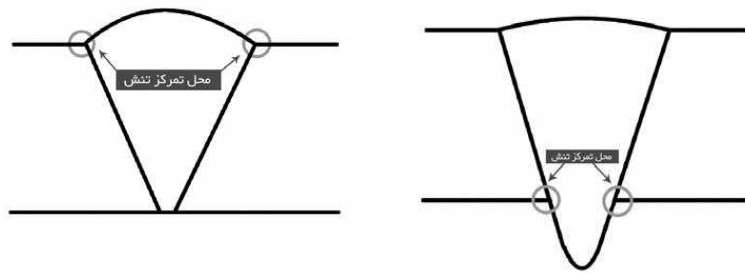
یک جوش شیاری همچنین نباید باعث کاهش ضخامت در فلز پایه شود



از آنجایی که در فرایند انجماد، انتظار کاهش حجم فلز جوش می رود، لذا همیشه فرآیندهای جوشکاری با تغذیه اضافی فلز جوش به اتصال همراه است، تا در صورتی که نفوذ کامل در اتصال رخ داد، کاهش حجم ناشی از انقباض نیز تأمین شود، لذا غالباً بعد از جوشکاری با نفوذ کامل، ضخامت فلز جوش از ضخامت فلز پایه بیشتر است. اما نباید فراموش شود که افزایش بیش از حد ضخامت فلز جوش نسبت به فلز پایه نیز مناسب نیست، زیرا باعث

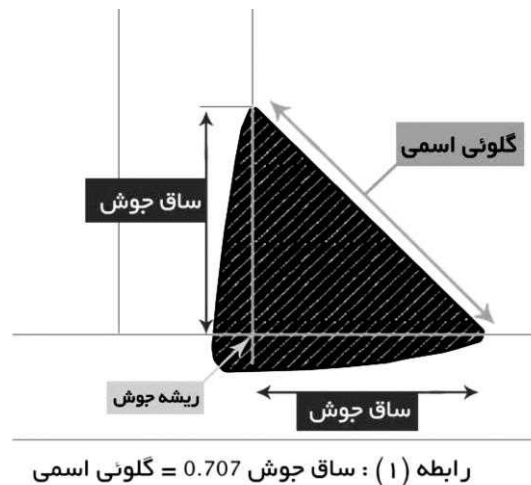


تمرکز تنش و کاهش عمر اتصال در بارهای سیکلی می شود، لذا گرده اضافی یا نفوذ اضافی نیز مناسب نیست



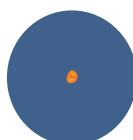
جوش گوشه ایده آل

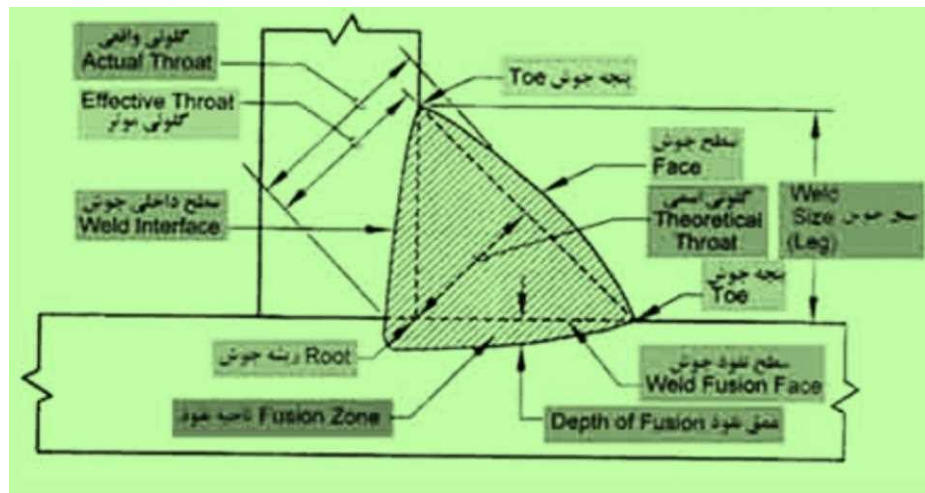
اتصال گوشه ای اتصالاتی گفته می شود که در آن دو قطعه به گونه ای به یکدیگر متصل شده اند که محل اتصال حداقل یکی از اجزاء از گوشه باشد. در واقع این نوع اتصالات تحمل بار ضعیفی داشته و بیشتر برای اتصال انتقال تنش های پائین استفاده می شوند. در این اتصالات جوش علاوه بر عدم امکان دستیابی به یک ساختار متالورژیکی یکنواخت به دلایل اعمال حرارت و روی بالا به قطعه طی جوشکاری و نیز استفاده از فلزات پرکننده، ماهیت اتصال نیز بگونه ای است که حتی خواص مکانیکی نیز تأمین نمی شود. پس اصطلاح جوش گوشه ایده آل را باید بدون در نظر گرفتن خواص متالورژیکی و مکانیکی، به جوش گوشه ای گفت که توانائی انتقال تنش های طراحی شده را داشته باشد و نیز با ایجاد تمرکز تنش باعث کاهش خواص مکانیکی اتصال نشود. در شکل اتصالات جوش گوشه ایده آل نشان داده شده است:



معمولاً ابعاد جوش گوشه تابع میزان تنشی است که انتقال آنرا بر عهده خواهد گرفت، اما ضخامت قطعات متصل شده به دلیل تأثیر حرارت جوشکاری بر ساختار آنها نیز بر ابعاد جوش گوشه تأثیر خواهد داشت، هر قدر ابعاد جوش بزرگتر باشد، حرارت بیشتری را به قطعات وارد خواهد کرد. در شکل نمونه ای از جوش گوشه

ای ایده آلی که عملاً طی فرایند جوشکاری ایجاد می شود را با جزئیات می بینید.

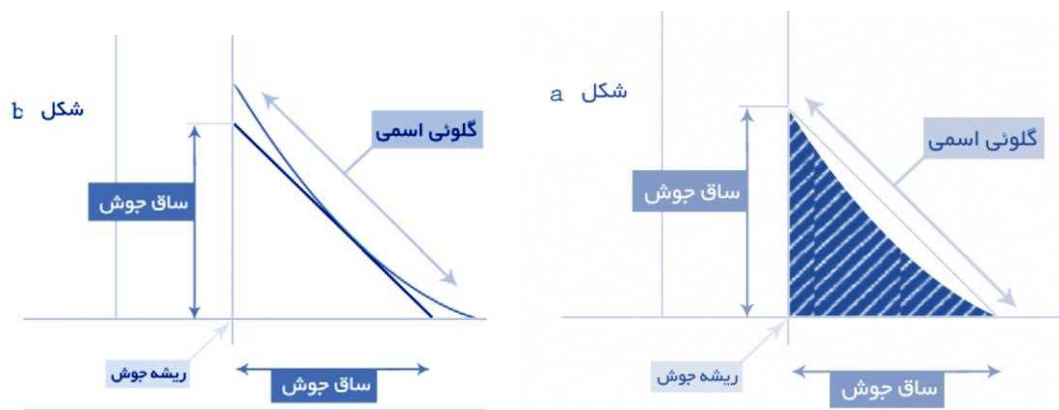




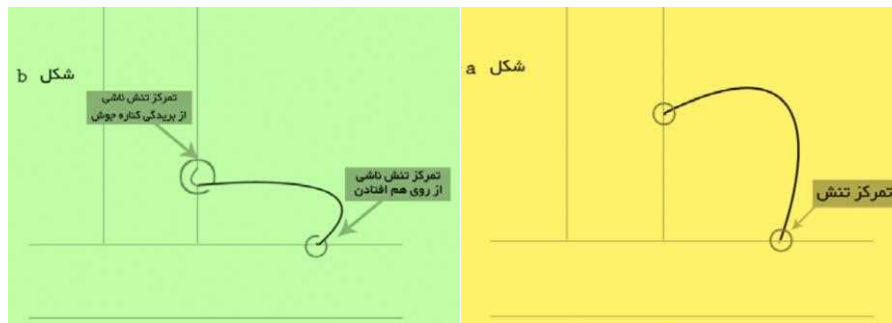
در بازرسی های چشمی متداول، ابزاری برای اندازه گیری دقیق میزان گلوئی واقعی یا موثر وجود ندارد و تنها می توان مقدار گلوئی اسمی را به همراه ساق جوش اندازه گیری کرد که بایستی رابطه ۱ در آن صدق کند.

رابطه ۱ - شکل بالا : ساق جوش $0,707$ = گلوئی اسمی

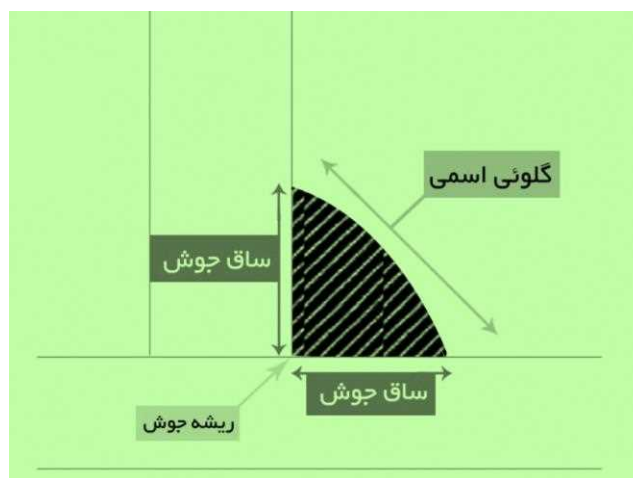
تقعر سطح جوش های گوشه عمدتاً بیانگر عدم رعایت رابطه ۱ می باشند (شکل بعدی a) را ببینید اما در صورتیکه رابطه ساق جوش و گلوئی اسمی رعایت شود گاهی در طراحی های دینامیکی، نسبت به جوش های گوشه محدب ترجیح داده می شوند



استفاده از فلز جوش مذاب اضافی برای پرهیز از تقعر سطح جوش و تأمین مذاب لازم برای کاهش حجم ناشی از انقباض، اجتناب ناپذیر است، اما گاهی فلز جوش اضافی ممکن است باعث تنش در اتصال و کاهش تحمل مکانیکی آن شود.

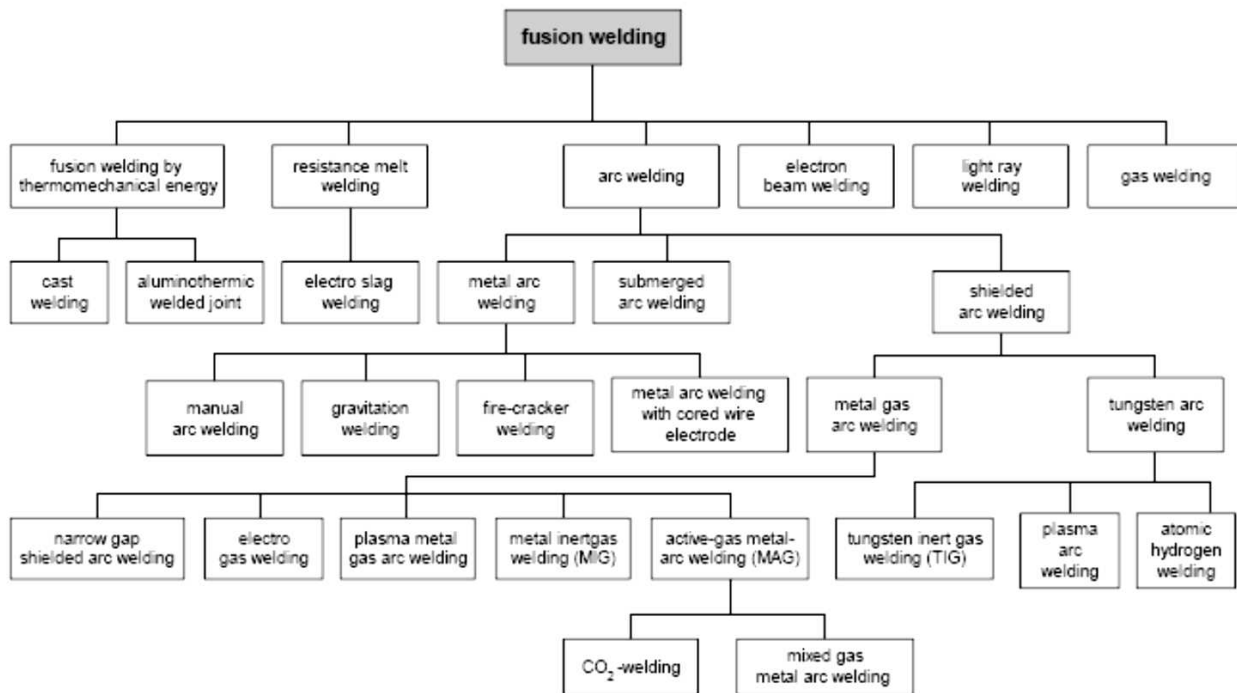


در صورت اجرای نامناسب جوشکاری، زاویه دست نامناسب جوشکار و یا استفاده از الکتروود بزرگتر از حد استاندارد ممکن است گلویی اسمی جوش از محل درز اتصال دو سطح به یکدیگر تأمین نشود، در این حالت عیب بحرانی عدم نفوذ و یا در حالت های شدیدتر، عیب عدم ذوب دیواره ها اتفاق می افتد که مناسب نیست.



تعریف جوشکاری براساس آنچه که در EN ۱۹۱۰ Part ۱:۱۰ آورده شده است عبارتست از

اتصال و یکی کردن مواد در محل جوش با استفاده از گرما و یا فشار و با کمک از مواد پرکننده و یا بدون آن. مواد کمکی نظیر گازهای محافظ، فلاکس ها و یا چسب ها برای آسان کردن فرآیند میتوانند مورد استفاده قرار گیرند. انرژی لازم برای جوشکاری از یک منبع خارجی تأمین می شود. فرآیندهای جوشکاری براساس نحوه انتقال انرژی از منبع بیرونی، ماهیت فلز پایه، فرآیندهای فیزیکی در حین جوشکاری و نیز نوع تولید طبقه بندی می شوند. در شکل ۱ تقسیم بندی فرایندهای جوشکار نمایش داده شده است.



شکل ۱-انواع فرآیندهای جوشکاری

انواع اتصالات

در صنعت، هر سازه فلزی از قطعات مختلف ریخته گری شده، نورد کاری شده و ماشین کاری شده ساخته می شود و این قطعات به روشهای مختلفی به

یکدیگر متصل می گردند که عبارتند از: پیچ، پرچ، خار، پین، لحیم و جوش.

روشهای فوق را می توان به صورت ذیل دسته بندی نمود:

الف) اتصال موقت: پیچ، پین، خار.

ب) اتصال نیمه موقت: پرچ، لحیم.

ج) اتصال دائم: جوشکاری.

اتصال موقت: به اتصالی گفته می شود که در صورت جدا نمودن عامل اتصال (پیچ، پین، خار)، به فلز پایه و عامل اتصال آسیبی وارد نمی گردد.

اتصال نیمه موقت: به اتصالی گفته می شود که در صورت جدا نمودن عامل اتصال (پیچ، پین، خار)، فلز پایه صدمه ای نمی بیند ولی عامل اتصال از بین می رود.



اتصال دائم: به اتصالی گفته می شود که در صورت جدا نمودن عامل اتصال (پیچ، پین، خار)، هم فلز پایه و هم عامل اتصال آسیب می بیند. مزیت اتصال موقت نسبت به اتصال دائم آن است که کمترین عیب احتمالی را دارد، در صورتیکه در اتصال دائم نظیر جوشکاری عیوب مختلفی ایجاد

مزیت اتصال دائم:

۱. استحکام آن بالاتر است.
۲. امکان آب بندی وجود دارد.
۳. سریعتر انجام می شود.
۴. آماده سازی کمتری نیاز دارد.
۵. به مرور زمان عامل اتصال شل نمی شود.

لحیم کاری

لحیم کاری یک نوع اتصال موقت می باشد و به دو دسته تقسیم می گردد:

۱- لحیم کاری نرم ۲- لحیم کاری سخت

در لحیم کاری از یک فلز سیال با نقطه ذوب پائین تر از فلز پایه جهت اتصال استفاده می شود. ابتدا لبه های قطعات فلزی را تا دمای بالاتر از نقطه ذوب فلز لحیم حرارت داده، سپس فلز لحیم را اضافه می نمایند. فلز لحیم ذوب شده و در شکاف بین دو قطعه جاری می گردد و در پستی و بلندیهای سطح فلز قرار گرفته و پس از انجماد باعث عمل اتصال می گردد. اگر بالاتر از ۴۵۰ درجه باشد، لحیم کاری سخت نامیده می شود. اگر نقطه ذوب فلز لحیم کمتر از ۴۵۰C درجه باشد لحیم کاری نرم می باشد

جوشکاری

تعریف: عمل ایجاد پیوند بین اتمهای دو جسم را جوشکاری گویند. این پیوند می تواند بین دو فلز هم جنس و یا غیر همجنس، بین فلز یا غیر فلز و یا بین دو ماده غیر فلزی (پلاستیک) انجام شود. عمل جوشکاری می تواند با حرارت و یا بدون حرارت، با فشار یا بدون فشار، با ماده کمکی یا بدون آن انجام شود.

جوشکاری از نظر ذوب به دو دسته کلی تقسیم بندی می گردد.

۱- جوشکاری غیر ذوبی



۲- جوشکاری ذوبی

جوشکاری غیر ذوبی:

در این روشها بدون ذوب لبه های اتصال، عمل جوشکاری انجام می گیرد.

جوشکاری غیر ذوبی به دو دسته زیر تقسیم می گردد:

الف) بدون استفاده از حرارت

ب) با استفاده از حرارت

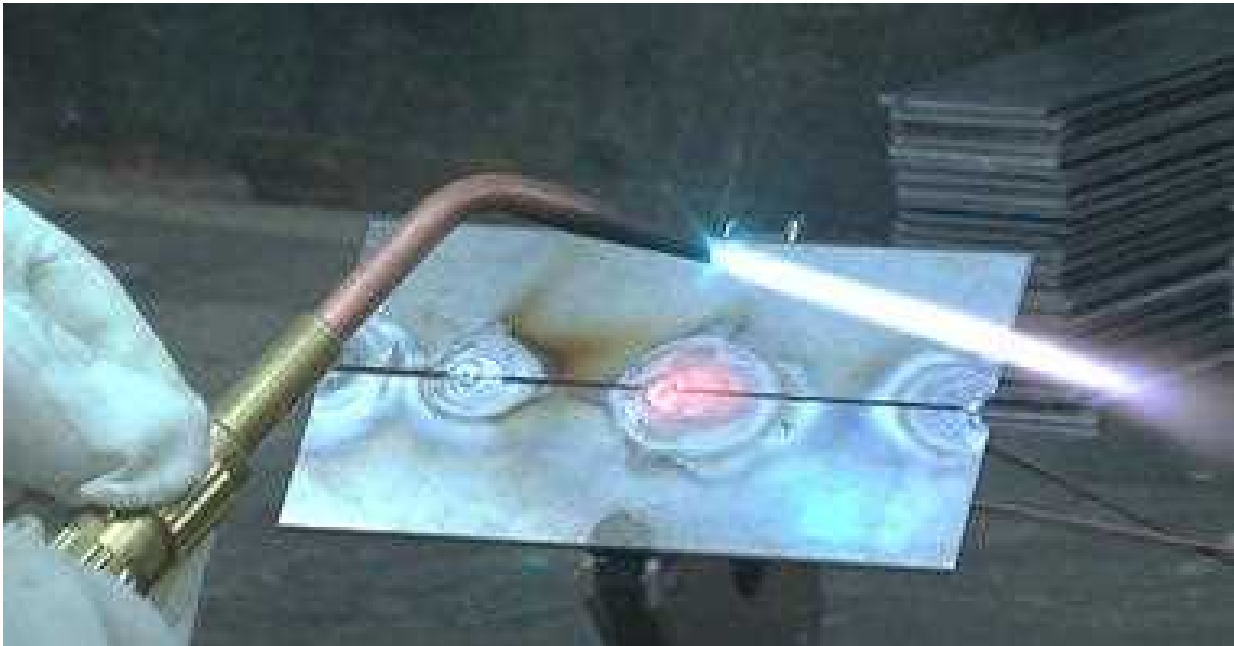
ج) جوشکاری غیر ذوبی بودن استفاده از حرارت

در این روش قطعات در دمای محیط توسط ضربه یا فشار به یکدیگر جوشکاری می شوند. مانند: جوشکاری انفجاری، جوشکاری التراسونیک، جوشکاری با ضربات چکش، جوشکاری توسط غلتک کاری.

ب) جوشکاری غیر ذوبی به وسیله حرارت

در این روش قطعات تا دمای خمیری شدن حرارت داده می شوند سپس توسط فشار با ضربه عمل جوشکاری انجام می گیرد. مانند: جوش آهنگری، جوش غلتک کاری گرم.

جوشکاری اکسی استیلن Oxy – gas Welding



جوشکاری اکسی گاز

Oxygen – Fuel Welding

Oxy – Acetylene Welding (OAW)

جوشکاری اکسی گاز یکی از روشهای جوشکاری قدیمی بوده که به دلیل خصوصیات منحصر به فرد خود هنوز در صنعت دارای کاربرد وسیعی می باشد.

جوشکاری اکسی گاز به هر نوع احتراق گاز سوختنی با اکسیژن که به عنوان یک منبع گرمایی برای جوشکاری باشد، اطلاق می گردد. در این روش با استفاده از شعله حاصل از سوختن گاز سوختنی با اکسیژن که در سر مشعل ایجاد می شود، جهت ذوب فلز پایه و سیم جوش استفاده می گردد. در این روش گاز سوختنی با اکسیژن به نسبت مناسب وارد محفظه اختلاط مشعل شده و پس از مخلوط شدن از سر نازل مشعل خارج شده و محترق می شود. حرارت حاصل از سوختن گازها در صنعت دارای کاربرد گوناگونی می باشد که عبارتند از: ۱- جوشکاری، ۲- لحیم کاری نرم و سخت، ۳- برش کاری، ۴- شیار زنی، ۵- صافکاری، ۶- پیشگرم کردن، ۷- تمیز کاری سطوح، ۸- فلز پاشی، ۹- سخت کاری

مزایای جوشکاری اکسی گاز:

۱. تجهیزات آن ساده و ارزان قیمت می باشد.
۲. قابل حمل و نقل می باشد.
۳. برای جوشکاری ورقهای نازک، لوله های جدار نازک و لوله های با قطر کم مناسب است.
۴. امکان لحیم کاری نرم و سخت وجود دارد.
۵. درجه رقت آن کم است (Dilution)

معایب جوشکاری گاز:

۱. سرعت جوشکاری کم است.
۲. حرارت ورودی به قطعه بالا است.
۳. جوشکاری ورقهای ضخیم به جز در کارهای تعمیراتی مقرون به صرفه نمی باشد.
۴. خطر پس زدن شعله و امکان انفجار وجود دارد.
۵. همه نوع فلز را نمی توان با این روش جوشکاری نمود.

گازهای مورد استفاده در جوشکاری اکسی گاز:

گازهای مصرفی به دو دسته تقسیم می شوند.

۱. گاز سوختنی

۲. گاز عامل اشتعال

۱. گازهای سوختنی:

گازهای سوختنی که برای جوشکاری مورد استفاده قرار می گیرد، باید دارای خصوصیات ذیل باشد:

۱. دمای شعله حاصل بالا باشد.

۲. سرعت احتراق زیاد باشد.

۳. انرژی حرارتی بالایی تولید نماید.

۴. دارای کمترین اثر مخرب بر روی جوش باشد.

۵. تهیه آن ساده و ارزان باشد.

در بین گازهای موجود، گاز استیلن دارای همه خصوصیات ذکر شده می باشد و بیشتر در جوشکاری مورد استفاده قرار می گیرد. گازهای دیگر نظیر پروپان، گاز طبیعی، گاز متیل استیلن، پروپادین، پروپیلن و ... دمای بالایی تولید می نمایند. ولی سرعت احتراق آنها پائین می باشد. بعضی از گازها نیز در نسبت مناسب تنظیم شده و برای سوختن دارای خاصیت اکسیدکنندگی برای جوش می باشند. گازهای فوق برای برشکاری و لحیم کاری و همچنین کارهایی که نیاز به نرخ انتقال حرارتی بالایی نمی باشد مورد استفاده قرار می گیرند.

گاز استیلن C_2H_2

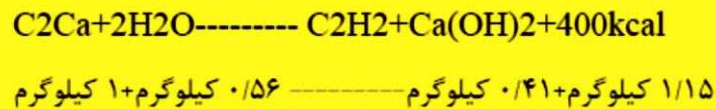
گاز استیلن یک گاز هیدروکربنی می باشد که درصد وزنی کربن آن بیشتر از گازهای هیدروکربنی دیگر است. این گازها بدون رنگ و سبکتر از هوا بوده و دارای بوی نامطبوعی می باشد. بد بو بودن آن به دلیل وجود ناخالصیهایی نظیر سولفور هیدروژن و فسفر هیدروژن می باشد. گاز استیلن را از تماس آب بر روی سنگ کاربید به دست می آورند.

طرز تهیه کربید کلسیم (سنگ کربید) CaC_2

کاربید کلسیم با نام تجاری سنگ کربید، ماده اولیه تولید گاز استیلن برای مصارف جوشکاری و برشکاری محسوب می شود. این ماده را از ترکیب کک تولید می نمایند. عمل ترکیب این مواد در کوره قوس الکتریکی ویژه در دمای ۳۰۰۰ درجه سانتیگراد صورت (CaO) با اکسید آهک (C) می گیرد. فعل و انفعال شیمیائی حاصل به صورت ذیل می باشد. در پایان واکنش، کاربید کلسیم به صورت مذاب به داخل بوته های ویژه ریخته شده و پس از سرد شدن، آن را آسیاب نموده و در اندازه های مختلف در شبکه های آب بندی شده، به بازار عرضه می شود. کاربید کلسیم به شدت جاذب آب است و به محض رسیدن مختصری رطوبت به آن گاز استیلن متصاعد می شود. حتی رطوبت هوا هم با سنگ کربید، گاز استیلن تولید می نماید. هر کیلو گرم سنگ کربید در صورت خالص بودن ۳۵۰ لیتر گاز استیلن تولید می نماید ولیکن به دلیل همراه بودن با برخی ناخالصیها این مقدار تا ۲۵۰ لیتر کاهش می یابد.

تولید گاز استیلن

از تماس سنگ کربید کلسیم CaC_2 با آب، گاز استیلن H_2C_2 متصاعد می گردد. واکنش شیمیائی حاصل یک فعل و انفعال گرمازا می باشد به گونه ای که از هر کیلوگرم کربید کلسیم ۴۰۰ کیلو کالری گرما تولید می شود



گاز استیلن در فشار بالای ۲ بار ناپایدار بوده و خاصیت انفجاری دارد. بنابراین برای رعایت ایمنی لازم است فشار استایلرین در مولدها یا خروجی رگلاتورها و لوله های انتقال از ۱۵psi (bar) بالاتر نرود.

گاز عامل اشتعال

همه مواد برای سوختن نیاز به گاز اکسیژن دارند، به طوری که بدون اکسیژن هیچ عمل سوختنی انجام نمی شود. در هوای اتمسفر ۲۱٪ حجمی اکسیژن وجود دارد. گاز اکسیژن را به صورت خالص برای مصارف جوشکاری و برشکاری مورد استفاده قرار می دهند

طرز تهیه اکسیژن

ابتدا هوا را از صافی های ویژه عبور داده تا گرد و غبار، چربی و بخار آن گرفته شود. لذا مراحل ذیل به صورت متوالی انجام می گیرد.

۱. هوا توسط کمپرسور تا فشار ۲۰۰ bar تحت فشار قرار می گیرد

۲. هوای متراکم شده از داخل کویل هایی عبور نموده و باعث سرمازدگی و در نتیجه تبدیل هوای متراکم به مایع می گردد. (مانند سیستم سرما ساز در یخچالها)

در این حالت، فشار گاز افت نموده و به ۴bar کاهش می یابد و دمای هوای مایع به ۲۰۰C می رسد.

روش تقطیر هوا:

در روش تقطیر هوا از هوای معمولی که برای تنفس استفاده می کنیم اکسیژن می گیرند زیرا هوای اطراف زندگی ما حدوداً متشکل از ۲۱ درصد اکسیژن و ۷۵ درصد ازت و بقیه گازهای سبک مثل نئون کریپتون گزنون و گازهای سبک دیگر است و از همین هوا اکسیژن لازم را به روش تقطیر بدست می آورند.

برای این کار نخست تصفیه هوا انجام می گیرد تا حتی الامکان اکسیژن خالص بدست آید و سپس هوا را بوسیله فشرده ساختن و سرد نمودن تبدیل به مایع می کنند مجدداً هوای مایع را به اکسیژن و ازت تجزیه مینمایند. بعد اکسیژن مایع را تبخیر نموده و در مخازن گاز انبار میکنند و بالاخره گاز را بوسیله کمپرسورها متراکم ساخته و تصفیه مجدد صورت می گیرد و نتیجتاً در کپسولهای فولادی پر می کنند.

دستگاه جوشکاری اکسی استیلن :

مهمترین وسیله ای که در جوشکاری اکسی استیلن مورد استفاده قرار می گیرد دستگاه جوشکاری است. این دستگاه متشکل از دو کپسول گاز اکسیژن و استیلن و یا یک گاز سوختی دیگر می باشد به هر یک از کپسولها یک وسیله تبدیل فشار یا مانومتر اتصال می گردد که این وسیله تبدیل فشارها ' دارای دو فشار سنج می باشد ' یکی برای نشان دادن مقدار گاز داخل کپسول ها و دیگری برای تنظیم فشار گاز ' دو فشار سنج مزبور بوسیله دو شیلنگ گاز جداگانه به مشعل هدایت میشوند و در نهایت شعله جوشکاری را ایجاد نموده و جوشکاری انجام می گیرد

رابطه فشار با دمای گاز:

فشار گاز داخل کپسول با افزایش دمای محیط، زیاد شده و با حذف کاهش دمای محیط، کم می شود.

مقدار مجاز گاز خروجی از کپسولهای اکسیژن و استیلن:

مقدار خروجی گاز استیلن در یک ساعت نباید از حد زیر بیشتر باشد.

الف) ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ لیتر در ساعت برای زمان خیلی کم.

ب) ۵۰۰ تا ۶۰۰ لیتر در ساعت به صورت مداوم.

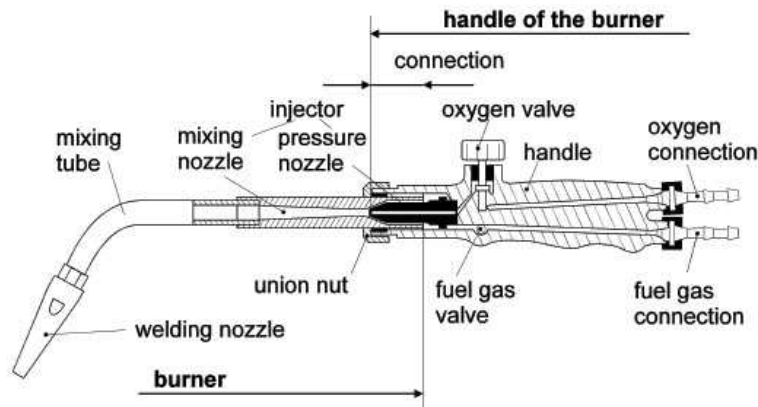
در غیر اینصورت باعث خروج مایع استن به همراه گاز خروجی می گردد.

مقدار مجاز خروج گاز اکسیژن بین ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ لیتر در ساعت می باشد. در خروجی بالاتر امکان یخ زدگی رگلاتور اکسیژن وجود دارد. در مواقعی که نیاز به حجم گاز مصرفی بالاتر می باشد از سیستم سانترال استفاده می شود. در این سیستم برای هر نوع گاز (اکسیژن یا استیلن) دوسری کپسول در قسمت چپ و راست زمانیکه گاز در یک طرف مصرف شد، شیر آن طرف بسته شده و شیر طرف دیگر باز شده و گاز برای مصرف وارد سیستم می گردد.

مشعل جوشکاری

وظیفه مشعل جوشکاری این است که گاز اکسیژن و گاز سوختنی را به میزان معینی با هم مخلوط نموده و آن را با سرعت بیشتر از سرعت احتراق گاز از سر مشعل خارج سازد.

مشعل جوشکاری از قسمتهای ذیل تشکیل شده است:



۱. شیرهای اکسیژن و استیلن

۲. دسته مشعل

۳. لوله اختلاط

۴. نازل

انواع شعله در جوشکاری گاز:

بسته به میزان گاز سوختنی به گاز اکسیژن، شعله های مختلفی حاصل می شوند که عبارتند از شعله احیاء کننده، شعله اکسید کننده و شعله خنثی.

الف) شعله احیاء کننده:

چنانچه نسبت گاز سوختنی به گاز اکسیژن کمتر از یک باشد شعله حاصل احیاء کننده بوده و به صورت یک هاله اضافه تر در جلوی هسته آبی مشخص می گردد. در این شعله مقداری کربن و هیدروژن نسوخته وجود دارد که می تواند باعث افزایش کربن در جوشکاری فولاد گردد.

کاربرد شعله احیاء کننده:

از شعله احیاء کننده قوی برای عمل روکش کاری سخت بر روی فولادها استفاده می گردد. از شعله احیاء کننده ضعیف تر برای لحیم کاری و جوشکاری آلومینیوم و دیگر فلزات غیر آهنی استفاده می گردد. استفاده از این شعله در مواقعی است که وجود کمی اکسیژن در شعله می تواند مشکل ساز باشد.

ب) شعله اکسید کننده:

چنانچه نسبت گاز سوختنی به گاز اکسیژن کمتر از یک باشد شعله حاصل اکسید کننده می باشد در این شعله مقداری اکسیژن اضافه تر وجود دارد که جوشکاری با آن می تواند باعث اکسید شدن فلز جوش گردد. هسته آبی در شعله اکسیدی روشنتر بوده و نوک آن تیزتر می باشد.

کاربرد شعله اکسید کننده:

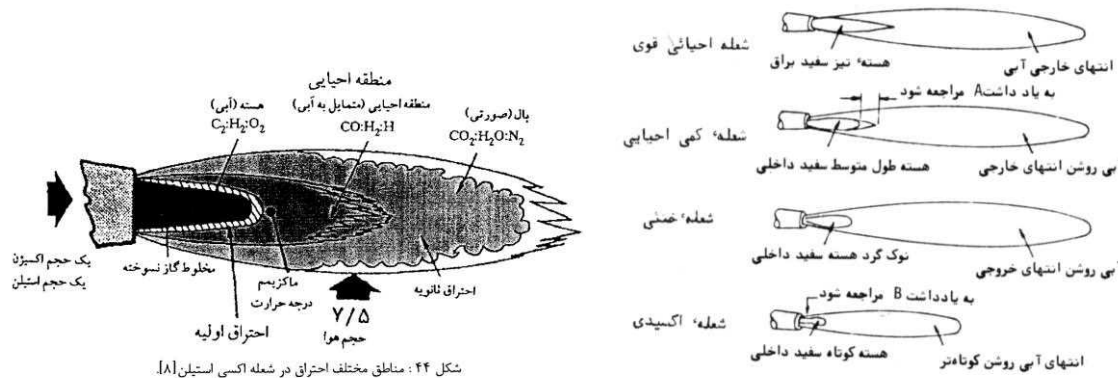
از شعله اکسیدی قوی برای جوشکاری برنج و آلیاژهایی روی استفاده می گردد. از شعله اکسیدی ضعیفتر برای جوشکاری فلزاتی که دارای روکش روی می باشند، استفاده می گردد.

نحوه تنظیم شعله احیاء کننده از شعله خنثی:

در شعله خنثی با افزایش مقدار گاز سوختنی و یا کاهش گاز اکسیژن می توان شعله احیاء را ایجاد نمود.

نحوه تنظیم شعله اکسیدی از شعله خنثی:

در شعله خنثی با افزایش مقدار گاز اکسیژن و یا کاهش گاز سوختنی می توان شعله اکسیدی را تنظیم نمود



انواع شعله در جوشکاری گاز

نکات مهمی که در هنگام جوشکاری با گاز بایستی در نظر گرفت :

الف: آماده کردن قطعه کار ب: انتخاب صحیح مشعل ج: تنظیم صحیح رگولاتور د: تنظیم صحیح شعله

ح: سرعت مناسب دست در جوشکاری خ: هماهنگی ذوب فلز و مفتول جوش ز: زاویه صحیح مشعل

جوشکاری با گاز (اکسی استیلن)

زاویه مشعل : زاویه مشعل نسبت به قطعه کار با ضخامت قطعه کار متناسب است یعنی هر چه ضخامت فلز مورد

جوشکاری کمتر باشد زاویه مشعل نیز کمتر خواهد بود و هر چه فلز ضخیم تر باشد زاویه بیشتر خواهد بود.

روشهای جوشکاری با گاز اکسی استیلن :

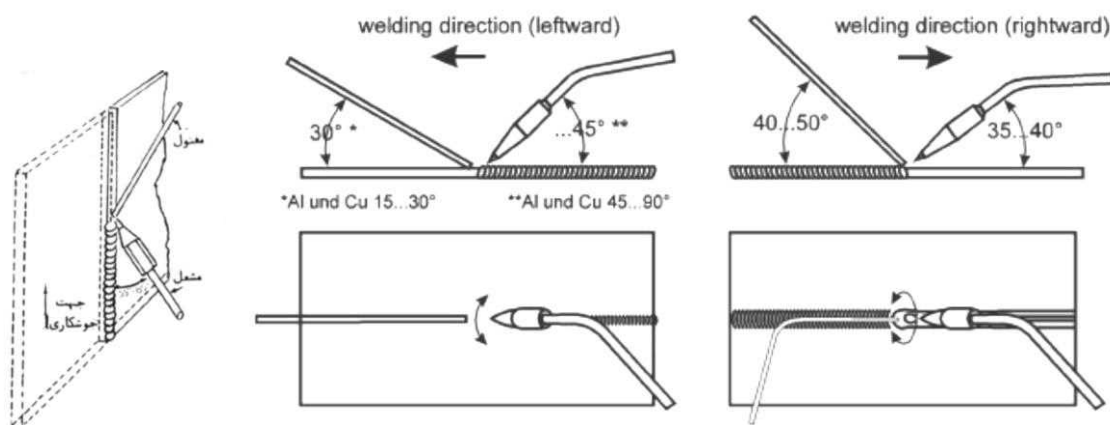
اصولا جوشکاری به دو روش انجام می گیرد: روش پیشدستی و روش پسدستی

اگر هنگام جوشکاری حرارت مشعل را روی مهره های جوش متمرکز نمایید جوشکاری پیشدستی نامیده

می شود و چنانچه حرارت نوک شعله بر خلاف مهره های جوش باشد جوشکاری را پسدستی می نامند.

جوشکاری پیشدستی :

معمولا روش پیشدستی را برای جوشکاری قطعات نازک بکار می برن (کمتر از ۳ میلیمتر) در این روش نوک مشعل را در جهتی که جوشکاری انجام خواهد شد می گیرند و بدین طریق حرارت زیاد به قطعه کار نمی رسد. نوک مشعل تحت زاویه ۴۵ درجه نسبت به قطعه کار گرفته می شود و در نتیجه قسمتی از حرارت شعله منحرف شده و بجای جذب شدن به قطعه کار وارد فضای اطراف می شود و بدین طریق جوشکاری ورقهای نازک میسر می شود و نمای مهره جوش حاصله بصورت موجی خواهد بود.



روشهای جوشکاری با گاز اکسی استیلن

جوشکاری پسدستی :

برای جوشکاری قطعات ضخیم از روش پسدستی استفاده می کنند. (بیش از ۳ میلیمتر) اساسا در این روش نوک شعله متوجه جهتی می گردد که خلاف جهت جوش است و تقریبا همه حرارت مشعل متمرکز در محل مورد جوشکاری می شود. به همین خاطر است که قطعات ضخیم با این روش با موفقیت انجام می شود.

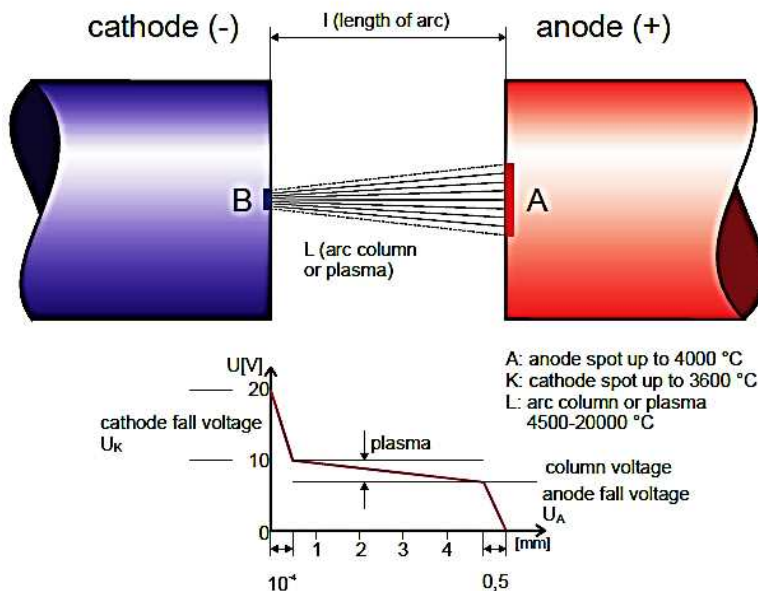
فیزیک قوس الکتریکی

تعریف قوس الکتریکی

الکترونها به سمت آند و یونهای مثبت به سمت کاتد حرکت می کنند قوس شامل ستونی است که گازهای یونیزه شده هادی جریان الکتریسته اند. برخورد دو قطب مثبت و منفی جریان برق تولید اتصال کوتاه می نماید در لحظه کمی قبل از اتصال کوتاه جرقه ای بوجود می آید و شعله این جرقه کوتاه را قوس الکتریکی می گویند.

- مکانیزم قوس

برای سادگی کار جریان مستقیم را در الکتروود تنگستنی در نظر بگیرید الکترونها از تنگستن گرم شده ساطع می شوند و در فضای بین دو قطب سرعت می گیرند این الکترونها به مولکولهای گاز در ستون قوس برخورد کرده و دمای آنها را بالا می برد و گازها یونیزه شده و هادی جریان می شوند.



اهیت قوس الکتریکی

در قوس الکتریکی الکتروودها در اثر حرارت سفید رنگ می شود. ستونی از گاز ملتهب رسانای خوب الکتریکی بین الکتروودها وجود دارد. در قوس معمولی این ستون نوری بسیار کمتر از نور تکه های کربن سفید شده از آزمایش های مربوط به گرما گسیل می کنند. چون الکتروود مثبت دمایش از الکتروود منفی بیشتر است زود تر از بین می رود. در نتیجه تصعید شدید کربن صورت گرفته و در آن الکتروود (الکتروود مثبت) فرورفتگی به وجود می آید که به دهانه مثبت معروف است و داغ ترین نقطه الکتروودهاست. دمای دهانه در هوا و در فشار جو به ۴۰۰۰ درجه سانتیگراد می رسد. در لامپ های قوسی سازوکارهای منظم و خود کار خاصی برای نزدیک کردن تکه های کربن با سرعت یکنواخت وقتی با سوختن از بین می روند، مورد استفاده قرار می گیرند. برای اینکه سایش و خوردگی الکتروود مثبت به خاطر دمای بالایش بیشتر است، برای همین همیشه الکتروود کربن مثبت کلفت تر از الکتروود منفی اختیار می شود.

دماهای بالا در قوس الکتریکی

قوس الکتریکی می تواند بین الکترودهای فلزی ساخته شده از آهن ، مس و غیره نیز بگیرد. در این حالت الکترودها به میزان زیادی ذوب و تبخیر می شوند و این عمل به مقدار زیادی آزمایش های مربوط به گرما احتیاج دارد. به این دلیل دمای مرکز الکتروده فلزی معمولاً کمتر از دمای الکتروده کربنی است (۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ درجه سانتیگراد). قوسی که بین الکترودهای کربن در گاز فشرده ای قرار می گیرد (حدود atm_{20}) بالا رفتن دمای مرکز مثبت تا ۵۹۰۰ درجه سانتیگراد یعنی دما روی سطح خورشید را ممکن ساخته است. معلوم شده است که کربن در این حالت ذوب می شود. دمای باز هم بالاتری را می توان در ستونی از گاز و بخاری که از آن تخلیه الکتریکی می گذرد، به دست آورد.

بمباران شدید این گاز و بخار با الکترون ها و یون هایی که با میدان الکتریکی قوس شتاب گرفته اند دمای ستون گاز را ۶۰۰۰ تا ۷۰۰۰ درجه سانتیگراد می رساند. به این دلیل تقریباً تمام مواد شناخته شده در ستون قوس الکتریکی ذوب و تبخیر می شوند. و بسیاری از واکنش های شیمیایی که در دماهای پایین انجام شدنی نیستند، با قوس الکتریکی امکان پذیر می شوند. مثلاً میله های چینی دیر گداز در شعله قوس به سهولت ذوب می شود.

جدول ۳: دماهای قوس با توجه به نوع فرایند جوشکاری [۲]

دمای ریزقطرهای ذوب شده ($^{\circ}K$)	burn point روی الکتروده ($^{\circ}K$)	دما در مرکز قوس ($^{\circ}K$)	فرایند جوشکاری
	آند ۴۰۰۰ کاتد ۳۲۰۰-۴۰۰۰	۷۰۰۰-۱۳۰۰۰	قوس کربنی در هوا نقطه ذوب کربن $4500^{\circ}K$
≤ 3000	۲۵۰۰-۳۰۰۰ ۲۳۰۰-۳۰۰۰	۶۰۰۰-۱۲۰۰۰ ۵۰۰۰-۶۰۰۰ ۶۰۰۰	جوشکاری قوسی با الکتروده نقطه ذوب آهن $3000^{\circ}K$ الکتروده لخت الکتروده پوشش دار جوشکاری قوس زیرپودری
≤ 2800	≤ 3000 ۳۰۰۰ ۳۰۰۰-۳۲۰۰	≥ 8000 ۴۰۰۰-۵۰۰۰ ۱۰۰۰۰-۳۰۰۰۰	جوشکاری GMAW سیم جوش فولادی با محافظت آرگون الکتروده تنگستن با محافظت هیدروژن الکتروده تنگستن با محافظت آرگون
	≥ 3000	≥ 20000	جوشکاری پلاسما

چگونگی ایجاد تخلیه قوس الکتریکی

برای ایجاد تخلیه قوس الکتریکی به ولتاژ زیادی احتیاج نیست با ولتاژ ۴۰ تا ۴۵ ولت بین الکترود ها می توان قوس را به وجود آورد. از طرف دیگر جریان داخل قوس زیاد است. مثلاً حتی در قوس کوچک جریان به ۵ آمپر می رسد، در حالیکه در قوس های بزرگ که در مقیاس صنعتی به کار می روند جریان به صدها آمپر بالغ می شود. این به این معناست که مقاومت قوس پایین است و از این رو ستون گاز تابان رسانای الکتریکی خوبی است.

ناحیه تاریک آستون: این ناحیه لایه بسیار نازکی است که روی کاتد را می پوشاند و بعلت کم بودن سرعت الکترونها در این ناحیه و جریان یونهای مثبت، بار فضا مثبت و میدان نیز مثبت است.

ناحیه افروختگی کاتد: در این ناحیه الکترونهایی که کاتد را با انرژی کم ترک کرده اند دوباره با یونهایی که به طرف قطب منفی می روند ترکیب می شوند و باعث تولید نور مرئی می شود.

ناحیه تاریک کاتدی: در انتهای ناحیه افروختگی کاتدی به علت کاهش جریان یونهای مثبت، بار مثبت فضا کاهش می یابد در این ناحیه الکترونها شتاب می گیرند ولی چون انرژی کافی ندارند نمی توانند اتمها را یونیزه کنند و به همین دلیل این ناحیه تاریک است.

ناحیه افروختگی منفی: در این ناحیه اتمها یونیزه شده و نور مرئی ایجاد می کنند و بار فضا منفی و میدان نیز منفی می باشد.

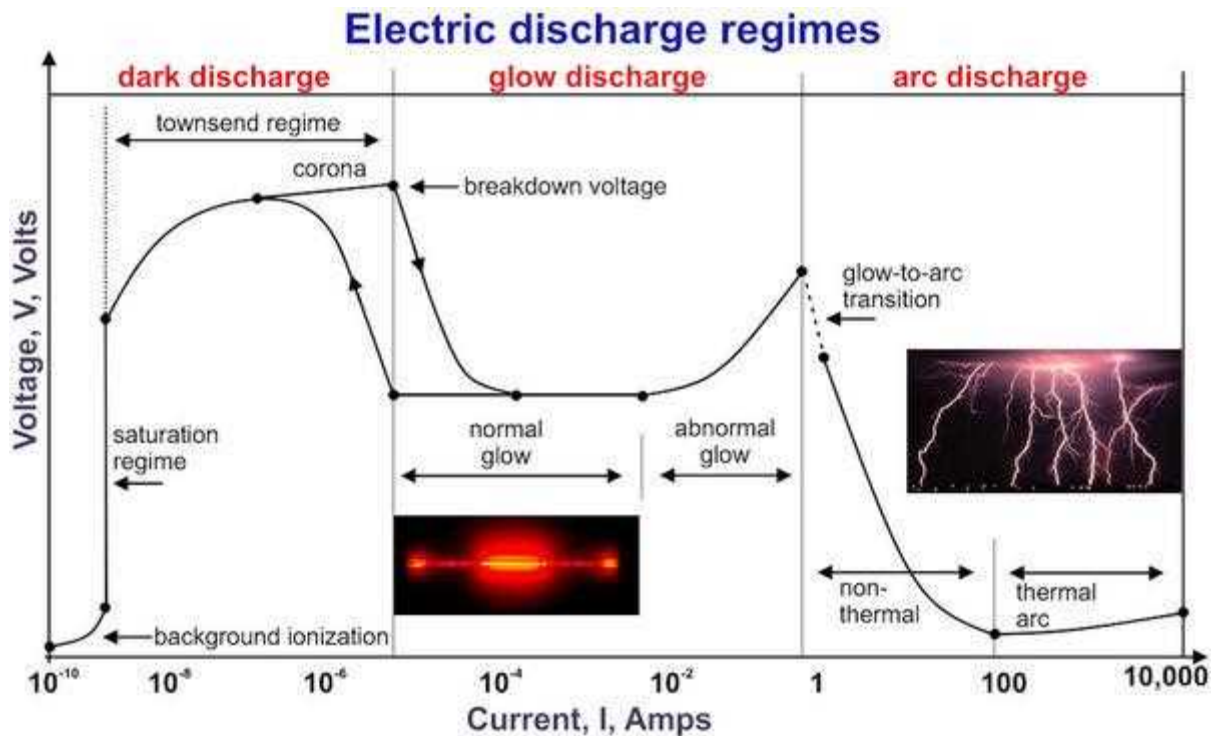
ناحیه تاریک فاراده: بار فضا در این ناحیه صفر است چون الکترونها با یونهایی که جذب قطب منفی می شوند در این ناحیه دوباره ترکیب می گردند.

ستون مثبت: در این ناحیه گاز یونیزه شده و پلاسما نامیده می شود بطوریکه E مثبت و بار صفر است.

ناحیه تاریک آندی: در این قسمت الکترونهای که انرژی خود را در برخوردهای متوالی در ستون مثبت از دست داده اند از این ناحیه عبور می کنند و به طرف آند می روند.

افروختگی آندی: الکترونهایی که ناحیه قبلی را پشت سر گذاشته اند؛ انرژی مختصری که طی آن کسب کرده اند در نزدیکی یا روی آند ایجاد یک لایه نازک تابناک می کنند.

منحنی ولتاژ بر حسب جریان از تخلیه نورانی تا قوس را نشان می دهد. با انتخاب منبع با مقاومت کمتر میتوان این نوع تخلیه را ایجاد کرد در این نوع تخلیه ستون مثبت بشدت نورانی می شود و تخلیه شکل نورانی بخود می گیرد در ناحیه تخلیه قوسی ولتاژ حتی به کمتر از ۷۵۰ هم می رسد.



یونیزاسیون گاز با انرژی قوس الکتریکی

یونش شدید گاز با قوس الکتریکی به آن دلیل امکان پذیر است که کاتد قوس الکتریکی تعداد زیادی الکترون گسیل می داد. این الکترون ها با برخورد با گاز داخل شکاف تخلیه گازی آن را یونیزه می کنند. گسیل الکترونی شدید از کاتد از آنجا ممکن می شود که خود کاتد تا دمای بسیار بالایی گرم می شود (بسته به ماده از ۲۲۰۰ تا ۳۵۰۰). وقتی که الکترودهای قوس در ابتدا تماس داده شوند تقریباً تمام گرمای ژول که از الکترودها می گذرد در ناحیه تماس که مقاومت بسیار دارد آزاد می شود. به این دلیل انتهای الکترودها به شدت گرم می شوند که برای گیراندن قوس به هنگام جدا کردن آنها کافی است آن وقت کاتد قوس توسط جریانی که از قوس می گذرد، در حالت التهاب می ماند. در این فرایند بمباران کاتد توسط یون هایی که به آن برخورد می کند نقش اصلی را ایفا می کند.

نکات مهم در جوش کاری قوس الکتریکی

- قوس الکتریکی منبع گرماست، سبب شکل دهی حوضچه مذاب و اغلب سبب ذوب الکتروده می شود.
- دمای بالای قوس و سرعت بالای پلاسمای قوس سبب می شود تا واکنشهای شیمیایی مدون حوضچه شدت یابد و حوضچه جوش را بخوبی مخلوط و همگن کند.
- نیروی قوس سبب انتقال مذاب از اکتروده به قطعه کار می شود.

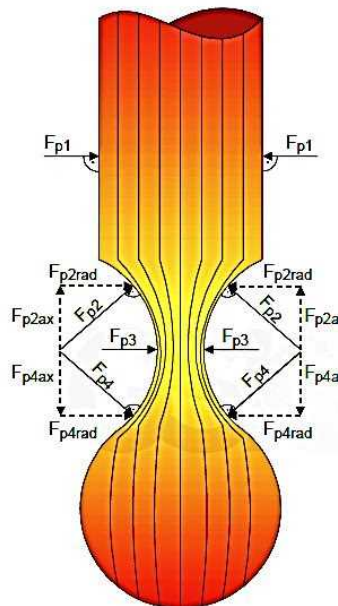
- نوع طراحی منبع تغذیه و گاز محافظ خواص پایداری قوس را مشخص می کند

پایداری قوس:

وقتی از کاتد به آنند می رویم، پتانسیل کاتد و قوس کاسته شده و در نزدیکی آنند کاهش پیدا می کند. این قوس دارای حرارتی است که در مرکز آن 6000°C و در بیرون قوس 2400°C می باشد.

پایداری قوس را عواملی چون سیلیسیم (Si) و پتاسیم (K) عامل می شوند. در طول جوشکاری، قوس افزایش طول پیدا نمی کند. الکترودهایی که پتاسیم داشته باشند هم با جریان مستقیم وهم با جریان متناوب کار می کنند مانند E 7018, 6013 الکترودهایی که رقم سمت راست آنها به اعداد ۵ و ۶ و ۸ ختم می شوند به الکترودهای کم آلیاژی معروفند. این الکترودها نیاز به پیشگرم از 250 تا 300 درجه دارند. و الکترودهایی که به ۱ و ۲ و ۳ و ۴ ختم می شوند نیازی به پیش گرم ندارند.

عواملی که باعث جدا شدن قطرات مذاب از الکتروده می شود:



۱. کشش سطحی (باعث مدور شدن قطرات میشود)

۲. نیروی جاذبه

۳. نیروی pinch force که باعث ذوب شدن نوک الکتروده می شود.

۴. نیروی الکترومغناطیسی

نکته: افزایش طول قوس باعث پاشیدگی می شود. طول قوس $\geq$ قطر الکتروده.

روشن کردن قوس

شروع یک قوس ممکن است به چندین روش متفاوت صورت گیرد

• روشن کردن تماسی Touch striking

• ولتاژ بالای High voltage Dc DC

• ولتاژ بالا و فرکانس بالا High voltage. High frequency

• افزایش ناگهانی ولتاژ High voltage

نحوه انتقال فلزات مذاب، نتیجه تعادل نیروهای است که بر قطره فلز مذاب عمل می‌کنند. این نیروها عبارت‌اند از:

۱- ویسکوزیته و کشش سطحی:

این دو خاصیت فیزیکی با یکدیگر ارتباط مستقیم دارند بدین صورت که با افزایش ویسکوزیته، کشش سطحی نیز افزایش پیدا می‌کند. ویسکوزیته و کشش سطحی کمتر، موجب انتقال فلز با قطرات کوچکتر می‌شود. فاکتورهای مهمی بر این دو عامل در فلزات آهنی تأثیر دارند عبارت‌اند از:

(۱) دما

(۲) میزان اکسیژن

با افزایش هر یک از آنها کشش سطحی و ویسکوزیته کاهش پیدا می‌کند. این اثر در مورد الکترودهای پوشش‌دار هم دیده می‌شود. به عنوان مثال در الکترودهای نوع روتیلی که دارای پوششی با مقدار زیاد اکسیژن می‌باشند نسبت به الکترودهای با پوشش بازی که حاوی اکسیژن کمتری هستند، انتقال با قطرات ریزتری صورت می‌گیرد.

۲- نیروی جاذبه:

هنگام جوشکاری نیروی جاذبه عاملی است که باعث می‌شود قطرات به سمت پائین کشیده شوند. اگر جرم قطره افزایش پیدا کند، نیروی جاذبه نیز زیاد می‌شود. زمانی که نیروی جاذبه بزرگ‌تر از نیروهایی باشد که قطره را روی الکترود نگه می‌دارند (مانند کشش سطحی و نیروی اینرسی)، انتقال قطره به صورت اتوماتیک اتفاق می‌افتد. در برخی از فرآیندهای جوشکاری، اثر نیروی جاذبه قابل توجه می‌باشد. این فرآیندها با انتقال فلز به صورت قطره‌ای یا با قطرات درشت از یکدیگر تشخیص داده می‌شوند (مانند فرآیند جوشکاری با گاز دی اکسید کربن).

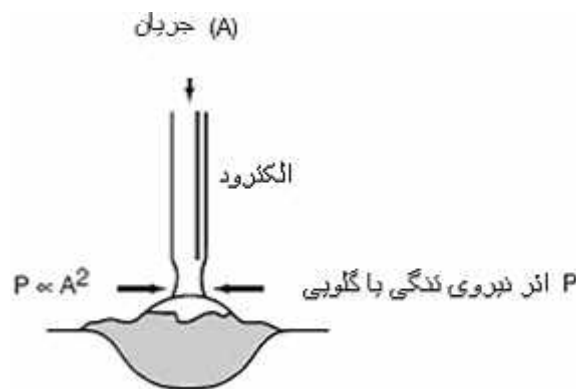
۳- پلاسما جت:

مستقل از موقعیت قطب‌های مثبت و منفی، اندازه قوس در نزدیکی الکترود نسبت به اندازه آن در نزدیکی سطح فلز همیشه کوچکتر است که علت آن دانسیته‌های جریان متفاوت می‌باشد. به دلیل آنکه مساحت نوک الکترود نسبت به مساحت قطب مخالف کوچکتر است دانسیته جریان نزدیک الکترود نسبت به نزدیکی سطح قطعه کار همیشه بیشتر است. این پدیده باعث می‌شود که فشردگی میدان مغناطیسی در نزدیکی الکترود زیادتر باشد و یک

گرادیان فشاری داخل قوس به وجود آید. گرادیان فشاری موجب ایجاد نیرویی محوری و دور شدن قوس از الکترود می‌شود. این اثر باعث ایجاد جریان سریعی از پلاسما می‌شود برخی از گازهایی که به مرکز قوس وارد می‌شوند به سرعت تا دماهایی در حدود ۱۰۰۰۰ درجه کلوین گرم شده و منبسط می‌شوند و به همین دلیل سرعت جریان پلاسما در داخل ستون بسیار زیاد (تقریباً به اندازه سرعت صوت) می‌شود. این جریان پلاسما موجب ایجاد پلاسما جت داخل قوس می‌شود که برای جداسازی قطره مفید بوده و نقش مهمی در انتقال فلز بر خلاف جهت نیروی جاذبه در جوشکاری بالای سر دارد.

۴- اثر فشاری:

اگر جریانی از یک هادی فلزی عبور کند، میدان مغناطیسی در اطراف آن ایجاد می‌شود که شدت این میدان بستگی به دانسیته جریان دارد. در جوشکاری، الکترود نقش هادی فلزی را دارد. میدان مغناطیسی اطراف یک هادی به علاوه برقراری جریان باعث ایجاد نیرویی می‌شود که بر جهت جریان و میدان مغناطیسی عمود بوده و اثر فشاری دارد. این نیرو، نیروی فشاری نامیده می‌شود. در تمام رساناها، نیروی فشاری مربع (توان دوم) جریان جاری در رسانا نسبت مستقیم دارد. به این معنا که اگر جریان دو برابر شود، نیروی فشاری، چهار برابر می‌شود. این نیرو می‌تواند به اندازه‌ای زیاد شود که باعث کاهش قطر الکترود در قسمت نوک آن و در نهایت تشکیل قطره شود.



شکل ۲-۱- اثر فشاری در انتقال اتصال کوتاه

۵- جدایی قطره به دلیل انبساط گازها:

حلالیت گازهای مختلف مانند اکسیژن، هیدروژن و نیتروژن در قطره فلزی که در انتهای الکترود تشکیل می شود به دلیل دمای بالایی که دارد زیاد است. اگر دمای قطره بعد از جدا شدن کاهش پیدا کند، حلالیت گازها کم می شود و حباب های گازی با فشار زیاد، سریعاً بزرگ می شوند و در نتیجه انفجار گاز، قطره اتمیزه می شود. این مکانیزم موجب جداسازی و سرعت بخشیدن قطرات به سمت قطب دیگر می شود و نیروی جاذبه را تحت تأثیر قرار می دهد. در فلزات آهنی، گاز مونواکسید کربن باعث ایجاد این مکانیزم می شود (کربن از سیم جوش و اکسیژن از اتمسفر یا پوشش وارد قطره می شوند)

اصول فرایند جوشکاری با قوس الکتریکی دستی

بیشترین موارد مصرف را در میان سایر فرایندهای جوشکاری قوسی دارا می باشد. در این فرایندها از گرمای قوس برای SWAM امروزه جوشکاری شامل نیرو، کابل های جوشکاری، انبر الکترود گیر و انبر اتصال و الکترود می SMAW ذوب فلز پایه و الکترود روپوش دار استفاده می شود. فرایند باشد.



از دو کابلی که به دستگاه متصل می گردد، یکی به انبر اتصال و دیگری به انبر الکترود گیر متصل می گردد. با برقراری قوس الکتریکی بین نوک الکترود و سطح کار، جوشکاری شروع شده و حرارت شدید قوس الکتریکی، نوک الکترود و سطح کار را که در مجاورت قوس قرار دارد، ذوب می نماید. به محض برقراری قوس نوک الکترود ذوب شده و قطرات مذاب به سمت حوضچه جوش منتقل می شوند. از آنجا که قوس الکتریکی یکی از منابع حرارتی قوی می باشد (حرارت قوس بین ۵۵۰۰ - ۴۵۰۰ درجه سانتیگراد) فلز پلّه خیلی سریع ذوب می گردد. انرژی الکتریکی باید به اندازه کافی زیاد بوده تا بتواند فلز پایه و الکترود را ذوب نماید. طول قوس مناسب

برای پایداری قوس و انتقال مناسب قطرات مذاب به حوضچه جوش ضروری می باشد. عمل محافظت حوضچه جوش، قوس و منطقه حرارت دیده اطراف حوضچه جوش توسط گاز حاصل از سوختن روپوش الکتروود صورت می گیرد.

قابلیت ها و محدودیتهای فرایند SMAW

قوس الکتریکی دستی یکی از کاربردی ترین فرایندهای جوشکاری بویژه جهت استفاده در تولید، کارهای تعمیر و نگهداری و در زمینه ساخت و ساز می

باشد. موارد زیر از اهم مزایای این فرایند است:

تجهیزات این فرایند معمولاً ساده، ارزان و قابل حمل می باشد.

روپوش الکتروود، مانع از اکسید شدن فلز جوش و حوضچه در طول جوشکاری می شود.

به فلاکس و گازهای محافظ کمکی، نیازی نیست.

در مناطقی که دسترسی به آن مشکل است به راحتی این فرایند کاربرد دارد.

این فرایند برای جوشکاری اغلب فلزات و آلیاژها مناسب است. از الکترودهای SMAW می توان برای جوشکاری فولاد کربنی، فولاد کم آلیاژ، فولادهای آلیاژی و ضد زنگ، چدن، مس، نیکل و آلیاژهای آنها و برخی آلیاژهای آلومینیومی استفاده کرد. از آنجا که حرارت قوس در این فرایند بسیار بالا می باشد، لذا استفاده از این فرایند برای جوشکاری فلزات زود ذوب مانند سرب، قلع، روی و آلیاژهای آنها مناسب نیست. آمپر بیش از حد مجاز سبب بیش از حد گرم شدن الکتروود و شکسته شدن پوشش الکتروود می گردد.

انواع جریان مصرفی

می توان استفاده نمود. انتخاب نوع جریان مصرفی بستگی به DC و جریان مستقیم AC در جوشکاری با قوس الکتریکی دستی از دو جریان متناوب

روپوش الکتروود مصرفی دارد.

جریان مستقیم DC:

جریان مستقیم بطور گسترده ای در این فرایند مورد استفاده قرار می گیرد.

مزایای جریان مستقیم:

امکان جوشکاری با آمپرهای کم وجود دارد.

همه نوع الکترودی با آن قابل جوشکاری می باشد.

امکان تغییر قطب وجود دارد.

برقراری قوس راحتتر است.

معایب جریان مستقیم:

امکان ایجاد وزش قوس وجود دارد.

دستگاههای جریان مستقیم گرانتر و هزینه نگهداری و تعمیرات آن بیشتر است.

تغییر قطب در جریان مستقیم:

از دو نوع قطبیت در جریان مستقیم می توان استفاده نمود

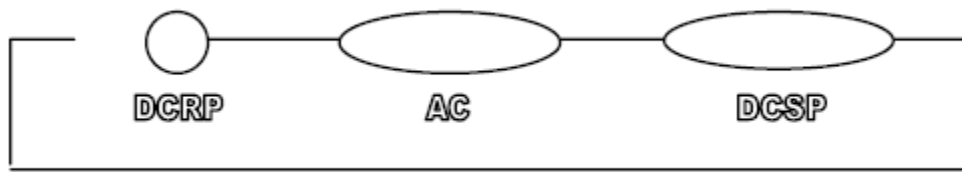
الف - قطب مستقیم ب- قطب معکوس

الف) قطب مستقیم (DCEN)(DCSP)

اگر انبر الکتروود به قطب منفی و انبر اتصال به قطب مثبت دستگاه وصل شود به این حالت قطب مستقیم یا DCSP گفته می شود. حرکت الکترونها از سمت نوک الکتروود به سمت قطعه کار می باشد.

ب) قطب معکوس (DCEP)(DCRP)

اگر انبر الکتروود به قطب مثبت و انبر اتصال به قطب منفی دستگاه وصل شود به این حالت قطب معکوس یا DCRP گفته می شود. حرکت الکترونها از سمت سطح کار به طرف نوک می باشد. انتخاب نوع قطبیت در جوشکاری قوس الکتریکی فقط بستگی به نوع روپوش الکتروود مصرفی دارد. در اکثر کتاب های جوشکاری عنوان شده که در قطب معکوس سرعت ذوب الکتروود سریعتر، نفوذ کمتر و عرض حوضچه جوش بیشتر است و در قطب مستقیم سرعت ذوب الکتروود کمتر، نفوذ بیشتر و عرض حوضچه جوش کمتر است ولی در عمل این تئوری برعکس می باشد. یعنی در قطب معکوس سرعت ذوب الکتروود کمتر و نفوذ بیشتر بوده ولی در قطب مستقیم سرعت ذوب الکتروود بیشتر و نفوذ کمتر می باشد.



این مسئله بخاطر مواد روپوش می باشد. بعنوان مثال وقتی از الکتروود سلولزی با قطب معکوس استفاده می گردد یک شعله ئیدروژنی قوی در نوک الکتروود شکل می گیرد که باعث ذوب سریع قطعه کار می گردد ولی وقتی الکتروود سلولزی را با قطب مستقیم بکار می برید شعله ئیدروژنی تشکیل نشده و ذوب بخوبی انجام نمی شود.

تعریف فرکانس

فرکانس عبارت است از تعداد سیکل های کامل در یک ثانیه

ب) جریان مستقیم D.C , Direct Curent.

در جریان مستقیم جابجایی الکترون ها در هادی فقط در یک جهت بوده و همیشه از منفی به قطب مثبت می باشد ، در حالیکه در جریان متناوب الکترون ها متناوباً جهت جریان خود را عوض می نمایند .

مولدهای جریان مستقیم عبارتند از : باتری ، ژنراتور ، ترموکوپلها ، ولی معمولاً به وسیله رکتی فایر از جریان متناوب گرفته می شود .

دستگاه های مبدل جریان در جوشکاری

رکتی فایر (یکسو کننده)

رکتی فایر دستگاهی است برای تبدیل جریان متناوب به مستقیم و کار آن مانند شیر یک طرفه در سیستم لوله کشی آب می باشد و از انواع آن می توان دیودهای گازی با خلأئی را نام برد .

ترانسفورماتورهای جوشکاری

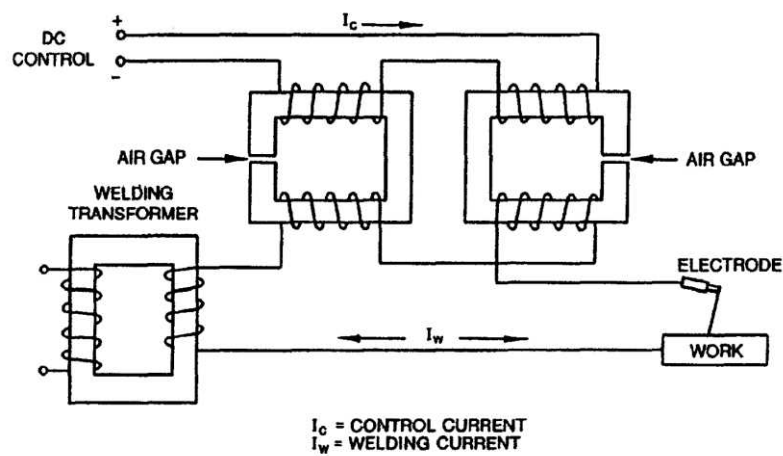
ترانسفورماتورهای جوشکاری دستگاههایی هستند که برق متناوب را گرفته و تبدیل به برق متناوب مورد نیاز جوشکاری می کنند .

مشخصات جریان برق در جوشکاری

جریان برق مورد نیاز در جوشکاری باید آمپر بالا و ولتاژ پایین داشته باشد بنابراین در فرکانس دستگاههای ترانسفورماتور هیچ گونه تغییری ایجاد نمی کند .

اساس ساختمان ترانسفورماتور

اساس ساختمان یک ترانسفورماتور عبارت است از یک هسته و دو سیم پیچ بطوریکه سیم پیچ بالایی را سیم پیچ اولیه و سیم پیچ پایینی را سیم پیچ ثانویه می گویند که سیم پیچ ثانویه متصل به الکترود و فلز مبناء می باشد .



نمای ساده ساختمان یک ترانسفورماتور

تعداد حلقه های هر سیم پیچ با ولتاژ مورد نیاز متناسب است

$V =$ ولتاژ دور سر سیم پیچها

$N =$ تعداد دور سیم پیچها

عوامل انتخاب جریان در جوش

۱- جنس فلز مبناء

۲- جنس پوشش الکترود

۳- جنس فلز الکترود (مغز الکترود)

۴- حالت جوش

۵- ضخامت فلز

۶- نوع درز یا شیار

جوشکاری با جریان مستقیم (موتور ژنراتور)

الف) چنانچه الکتروود به قطب منفی و فلز مبناء را به قطب مثبت وصل نماییم این روش را D.C.S.P. یا جوشکاری با قطب مستقیم می گویند (Direct Current Straight Polarity) از آنجا که حرکت الکترونها از منفی به مثبت می باشد الکترونهای آزاد ضمن حرکت در قطب منفی تولید گرما می نمایند و پس از خروج از قطب منفی با برخورد به قطب مثبت موجب حرکت الکترونهای سطح فلز مبناء می گردند و از طرفی با برخورد به قطب مثبت گرمای خود را به قطب فوق انتقال می دهند بنابراین میزان حرارت در قطب منفی برابر است با حرارت موجود در جوش و در قطب مثبت میزان حرارت برابر است با کل حرارت حاصل از قوس الکتریکی بنابراین عمل ذوب الکتروود نسبت به فلز مبناء آهسته می باشد ولی نفوذ جوش بیشتر می باشد .

ب) چنانچه کابل مثبت به الکتروود و کابل منفی به فلز مبناء متصل شود شرایط عکس حالت قبل می شود و تمرکز حرارت بیشتر در سر الکتروود است و این روش را جوشکاری با قطب معکوس یا روش D.C.R.P. می نامند (Direct Current Reverse Polarity) .

جوشکاری با جریان متناوب

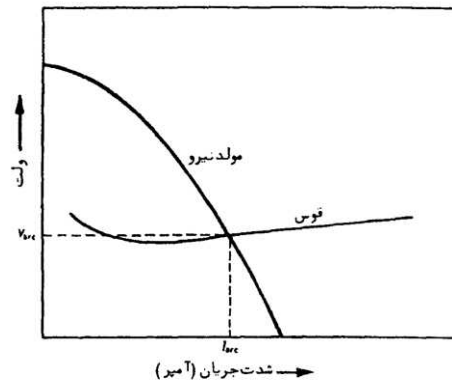
در این روش ماشین جوشکاری یک ترانسفورماتور است که برق شهر را گرفته و تبدیل به برق مورد نیاز جوشکاری می نماید . در این روش ، در یک نیم سیکل مثبت ، الکتروود منفی و در نیم سیکل دیگر ، الکتروود مثبت است و از لحاظ شرایط حرارتی وضعی مابین قطب مستقیم و معکوس در جریان مستقیم دارد ، که در این حالت ۵۰ درصد حرارت در سر الکتروود ۵۰ درصد حرارت در سطح کار متمرکز می شود .

ولتاژ در جوشکاری قوس الکتریکی محافظت شده (SMAW):

وقتی در جوشکاری قوس الکتریکی قوس زده می شود فضای بین الکتروود و قطعه کار یونیزه بوده و دارای بارهای مثبت و منفی است. شکل زیر پلاسما نام دارد. در حقیقت پلاسما دارای بار منفی و مثبت است و در حین تخلیه شدن قوس ایجاد می شود. وقتی قوس ایجاد می شود که به ازای هر ۱,۶mm قطر الکتروود ولتاژی برابر ۱۰ ولت وجود داشته باشد. بنابراین برای فولاد های کربنی و کم آلیاژ که در آنها از الکتروود با قطر حداقل ۳,۲mm استفاده میشود باید ولتاژ برابر استفاده گردد

$$V = (10 * 3,2) / 1,6 = 20$$

در WPS جوشکاری باید قطر الکترود، آمپر، ولتاژ و مقدار حرارت کار گذاشته شده قید گردد. دستورالعمل جوشکاری برای کنترل کیفیت جوش میباشد. در عمل مقدار شدت جریان بطور عملی از شدت جریان متوسط کمتر است.



شکل ۷: مشخصات ولت آمپر از قوس و مولد نیرو در جوشکاری [۱]

سه عامل یونیزه شدن جوش:

۱. سدیم و پتاسیم
 ۲. حرکت ذرات باردار (منفی و مثبت)
 ۳. حرارتی که در اثر قوس ایجاد می شود.
- سدیم و پتاسیم جزء عناصر قلیایی است، عناصر قلیایی در هنگام سوختن باعث یونیزه شدن گازها می شود. خاصیت دوم سدیم و پتاسیم پایداری قوس می باشد

مزایای جوش با جریان مستقیم

- ۱- انتخاب قطبین بدست جوشکار می باشد .
 - ۲- خطراتش کمتر است .
 - ۳- پایداری و ثبات قوس بیشتر است .
 - ۴- فلزات بدون پوشش را می توان با آن جوش داد . (الکترود بدون پوشش)
- خطرات جوشکاری با قوس الکتریکی
- ۱- خطر برق گرفتگی

۲- خطر تشعشع شعله

۳- خطر دود و گازهای زیان آور

۴- خطر سوختگی و آتش سوزی

جریان برق مستقیم

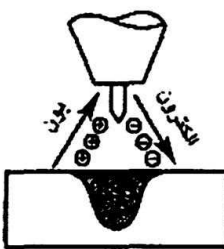
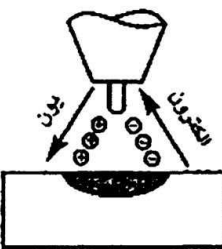
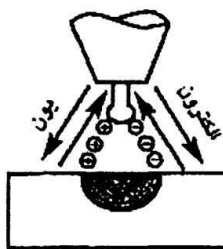
در جوشکاری با الکتروود تنگستن تحت پوشش گاز محافظ (GTAW) قطعه کار را می توان با جریان برق متناوب (AC) و یا برق مستقیم (DC) جوشکاری نمود . چنانچه از برق مستقیم استفاده شود ، می توان جریان برق مستقیم قطب مستقیم (DCSP) و یا جریان برق مستقیم قطب معکوس (DCRP) را انتخاب نمود . در جوشکاری با الکتروود تنگستن تحت پوشش گاز محافظ (GTAW) اکثر قطعات توسط جریان برق مستقیم و قطب مستقیم (DCSP) جوشکاری می شوند .

جریان برق مستقیم قطب مستقیم (DCSP (DCEN)

در جوشکاری با قطب مستقیم ، الکتروود منفی و قطعه کار مثبت است و در این صورت حرارت بیشتر در انتهای قوس (در قطعه کار) ایجاد می شود و حرارت کمتر در انتهای نوک الکتروود حاصل می گردد .

در جوشکاری با قطب مستقیم می توان از الکتروودهای با قطر کمتر استفاده کرد ، بدون این که الکتروود تنگستن خیلی گرم شود . به عنوان مثال ، چنانچه از برق مستقیم و قطب مستقیم استفاده شود الکتروود به قطر قادر به حمل جریان ۱۲۵ آمپر است و برای برق مستقیم قطب معکوس (برق مستقیم انبر مثبت) قطر الکتروود برای چنین شدت جریانی تا دو برابر افزایش می یابد .

در جوشکاری با جریان برق مستقیم و قطب مستقیم، کابل الکتروود به قطب منفی دستگاه جوش و کابل اتصال زمین به قطب مثبت دستگاه متصل می گردد و یک حوضچه مذاب باریک و نفوذ عمیقی ایجاد می شود . دلیل به وجود آمدن نفوذ عمیق و گرده باریک آزاد شدن الکترون های منفی از الکتروود تنگستن داغ و نفوذ در قطعه کار (فلز مبنا) است مطابق تصویر زیر و در نتیجه ناحیه حرارت، باریک نفوذ در قطعه کار متمرکز شده، پیچیدگی کمتر و جوشکاری سریع تر انجام می شود . در تصویر (A) جوشکاری با جریان مستقیم و قطب مستقیم (DCSP) به طور شماتیکی نشان داده شده است ، و متداول ترین جریان برق DC است که جهت جوشکاری TIG تنظیم می گردد . به دلیل این که حرارت بیشتری در قطعه کار مثبت ایجاد می شود حرارت کمتر در الکتروود تنگستن به وجود می آید

نوع جریان قطبیت الکترود	DCEN منفی	DCEP مثبت	AC (بالانس شده)
جریان الکترون ها و یون ها			
خصوصیات نفوذ	انجام نمی شود	انجام می شود	انجام می شود - یکبار در هر نیم سیکل
عملیات تمیز کنندگی اکسیدی	انجام نمی شود	انجام می شود	انجام می شود - یکبار در هر نیم سیکل
بالانس گرما در قوس (تقریبی)	۷۰٪ در انتهای کار ۳۰٪ در انتهای الکترود	۳۰٪ در انتهای کار ۷۰٪ در انتهای الکترود	۵۰٪ در انتهای کار ۵۰٪ در انتهای الکترود
نفوذ	عمیق ، باریک	کم عمق ، پهن	متوسط
ظرفیت الکترود	عالی ۱/۸ اینچ (۳/۲ میلیمتر) ۴۰۰ آمپر	ضعیف ۱/۴ اینچ (۶/۳ میلیمتر) ۱۲۰ آمپر	خوب ۱/۸ اینچ (۳/۲ میلیمتر) ۲۲۵ آمپر

شکل ۲۴ : خصوصیات انواع جریان در GTAW [۱].

جوشکاری با جریان برق مستقیم قطب معکوس (DCRP) و یا DCEP

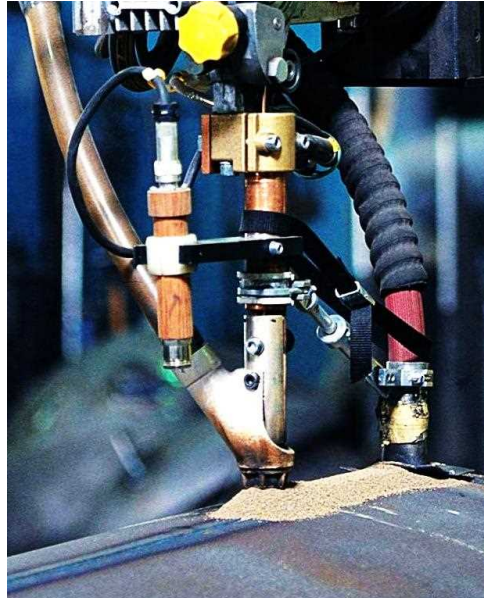
جوشکاری با جریان مستقیم و قطب معکوس در جوشکاری توسط GTAW فقط برای کارهای مخصوص مورد استفاده قرار می گیرد. قطب معکوس، یعنی الکترود مثبت، قطعه کار منفی یک برتری یعنی تمیز کنندگی سطح اکسید را دارد، همیشه سطح اکسید شده فلزات مسائل و مشکلاتی را در اجرای جوشکاری ایجاد می کنند. مثال هایی که در خصوص اینگونه فلزات می توانیم نام ببریم عبارتند از: آلومینیوم، منیزیم، تیتانیوم و آلیاژهای آنها است. در جوشکاری با جریان برق مستقیم و قطب معکوس (DCRP) الکترون ها از قطعه کار منفی می جوشد و از قطعه کار پرتاب شده و به الکترود تنگستن ضربه می زند، و سطح اکسید شده فلز جوشکاری را به حرکت و یا به جنبش در می آورد و بدین ترتیب لایه اکسید شده روی حوضچه مذاب ایجاد نمی شود و این عمل، تمیز کردن به وسیله DCRP نامیده می شود. از آنجایی که در هنگام جوشکاری با جریان A.C عمل

تمیز کنندگی انجام می شود ، بنابراین جهت جوشکاری آلومینیوم ، منیزیم و سایر فلزات که اکسید آنها دیرگداز است در جوشکاری GTAW قطب DCRP را انتخاب کنید (الکترو د مثبت قطعه کار منفی) متوجه خواهید شد که الکترون های منفی پرتاب شده به الکترو د تنگستن ضربه می زند ، و موجب گرم شدن بیش از اندازه آن می شود ، از آنجایی که بخشی از حرارت الکترون های پرتاب شده به جای این که قطعه کار مورد اتصال را گرم کند موجب گرم کردن الکترو د می شود و انرژی حرارتی کمتری به حوضچه مذاب می رسد و در نتیجه حوضچه مذاب کم عمق و پهن خواهد شد . بنابراین چنانچه در جوشکاری TIG از جریان و قطب DCRP استفاده شود جوش حاصله کم عمق با نفوذ کم خواهد بود و ناحیه تأثیر حرارت وسیع بوده و پیچیدگی ناشی از حرارت بیشتر از جوشکاری با DCSP می شود و همین گرم کردن اضافی الکترو د استفاده از روش DCRP را محدود می کند . الکترو د های تنگستن نسبتاً گران هستند ، ظرفیت مجاز جریان برق عبوری جهت یک الکترو د تنگستن به قطر اینچی برابر ۱۲۵ آمپر است و این الکترو د ۲ برابر قطورتر از الکترو دی است که شما برای جوشکاری DCSP با همان شدت جریان ۱۲۵ آمپری نیاز دارد .

تنظیم جریان برق

وقتی که جریان برق A.C و یا DCRP به اندازه کافی قوی باشد انتهای الکترو د تنگستن خالص ذوب شده و فرم یک ساچمه کوچکی تشکیل می شود . چنانچه شدت جریان خیلی زیاد باشد ، ساچمه ذوب شده و به حوضچه مذاب انتقال یافته و آلودگی به وجود می آید . در جوشکاری با الکترو د تنگستن تحت پوشش گاز محافظ (GTAW) تنظیم جریان برق یک اقدام بسیار مهم محسوب می شود . به خاطر تأثیری که الکترو د (مشابه آنچه که عنوان گردید) در جوشکاری دارد . شما می بایستی از میان انواع آلیاژهای الکترو د تنگستن نوع مناسبی را انتخاب کنید . در این بخش با چگونگی انتخاب الکترو د جهت جوشکاری فلزات مختلف آشنا خواهید شد . مقدار تنظیم جریان برق به ضخامت و جنس فلز مورد جوشکاری بستگی دارد . فلزاتی که دارای قدرت انتقال الکتریکی زیادی (هادی خوبی) هستند مانند مس و آلومینیوم حرارت بیشتری (آمپراژ بیشتری) نسبت به بعضی از فلزات از قبیل فولاد زنگ نزن دارد . و همچنین قطعات ضخیم از قطعات نازک تر از جنس همان فلز به حرارت بیشتری نیاز دارد . اکثر مواقع یا تنظیم آمپراژ صحیح به شما داده می شود و یا می توان به کتاب های جوشکاری مراجعه کرد و یا از طریق تجربه و با توجه به جوش حاصله که با چه مقدار جریان برق بهترین جوش ایجاد شده و سریع ترین جوشکاری انجام می گیرد تعیین می گردد .

پودری زیر روش به کاری جوش SUBMERGED ARC WELDING



آخرین فرایند جوشکاری ذوبی متداول، فرایند جوشکاری به روش زیر پودری می باشد. این روش بیشترین ضریب راندمان را در ارتباط با نرخ رسوب نشانی فلز جوش در میان سایر روشها دارد. در این روش از طریق تغذیه مداوم سیم جوش فلزی جامد یک قوس پایدار برقرار می شود که همواره حین جوشکاری در زیر لایه ای از سطح پودر محافظ قرار می گیرد و به همین دلیل این فرایند را زیر پودری می نامند. همانگونه که اشاره شد در این روش از داریم انجام می شود. البته بارزترین تفاوت موجود میان FCAW و GMAW طریق دستگاه تغذیه سیم، عمل سیم رسانی مشابه آنچه در فرایندهای این روشها در نحوه حفاظت منطقه جوش می باشد. در روش زیر پودری یک لایه فلاکس (پودر) دانه ای بر روی یا دور سیم جوش ریخته می شود و امکان محافظت از فلز مذاب را فراهم می آورد. با پیشروی عملیات جوشکاری، علاوه بر هر لایه جوش لایه ای از سرباره دانه بندی شده ناشی از پودر محافظ نیز بر روی فلز جوش تشکیل شده و منجمد می شود. این سرباره بایستی کاملاً از روی سطح جوش زدوده شود و در اغلب موارد به دور ریخته شود، اگرچه روشهایی برای استفاده مجدد و یا ترکیب بخشی از سرباره استفاده شده با سرباره های جدید وجود دارد. در بعضی موارد آنجایی که سرباره بایستی کاملاً تمیز باشد، استفاده مجدد از پودرهای محافظ توصیه نمی شود. از آنجاییکه روش زیرپودری از الکترودها و پودرهای جداگانه استفاده می کند، ترکیبات گوناگونی از پودر و سیم جوش برای کاربردهای خاص ایجاد می شود. بطور کلی دو نوع ترکیب برای پودر و سیم جوش وجود دارد که عبارتست از :

۱- الکتروود آلیاژی با پودر خنثی

۲- الکتروود از جنس فولاد ساده کربنی با پودر آلیاژی

برای سهولت انتخاب ترکیبات گوناگون روشی را جهت طراحی و نامگذاری پودرها و الکتروودها ارائه کرده است. از (AWS) بنابراین انجمن جوش امریکا آنجاییکه این روش می تواند بصورت کاملاً مکانیزه و یا نیمه مکانیزه مورد استفاده قرار گیرد، تجهیزاتی که بکار برده می شوند کمی با هم متفاوت هستند. اما در هر دو روش استفاده از منبع نیرو ضروری است. اگرچه اغلب جوشکاری های زیرپودری با منابع نیروی دارای ولتاژ ثابت اجرا می شود، روشهای مخصوصی هم که در آنها از شدت جریان ثابت استفاده می شود وجود دارد که بسته به شرایط می تواند ارجحیت داشته باشد. مشابه فرایندهای یک سیستم تغذیه کننده سیم جوش که سیم ها را از طریق کابلی مستقیم به سر مشعل جوشکاری می رساند، وجود دارد. ، FCAW و GMAW پودر محافظ بایستی به منطقه جوشکاری هدایت شود. برای سیستم های مکانیزه معمولاً محفظه حاوی پودر محافظ بالای مشعل جوشکاری قرار می گیرد و به کمک نیروی گرانش به آرامی حین جوشکاری و مادامی که قوس برقرار است بر روی منطقه مذاب توزیع می شود. در روش های نیمه مکانیزه، پاشش پودر محافظ از طریق هوای فشرده و افزایش سهولت جریان یا اصولاً به طریق دستی و مستقیم حین جوشکاری انجام می شود. سایر متغیرهای دستگاه جوشکاری شامل انتخاب استفاده از جریان متناوب یا مستقیم و حتی نوع قطبیت می تواند باشد. نوع جریان جوشکاری بر روی میزان نفوذ و پهنای جوش بصورت همزمان تاثیر می گذارد. در برخی کاربردها از چند نوع الکتروود می تواند استفاده شود. الکتروودها ممکن است همگی از یک منبع انرژی واحد و یا در صورت لزوم از چند منبع، انرژی دریافت کنند. روش زیرپودری در بسیاری از صنایع و برای اتصال بسیاری از فلزات قابل کاربرد می باشد. بدلیل نرخ رسوب نشانی بالای این روش، برای لایه گذاری و یا انجام ترمیم های سطحی بسیار مناسب می باشد. در شرایطی که افزایش مقاومت به خوردگی سطحی و مقاومت به سایش مورد نیاز است، این روش کاملاً مقرون به صرفه و مورد اطمینان می باشد. شاید مهمترین مزیت روش زیرپودری را بتوان در نرخ رسوب بالای آن خلاصه کرد. این روش راندمان بسیار بالاتری نسبت به سایر فرایندهای متداول تر دارد. روش زیرپودری محافظت بالایی را برای اپراتور تامین می نماید چراکه در حین جوشکاری هیچ قوس قابل رویتی وجود ندارد و بنابراین اپراتور می تواند کنترل جوش را بدون اینکه نیاز به استفاده از لنزهای فیلتر یا لباس های محافظ سنگین داشته باشد، بعهده بگیرد. یکی دیگر از دلایلی که منجر به استفاده گسترده از این روش می شود قابلیت نفوذ بالای آن است. عمده ترین محدودیت روش زیرپودری در این است که فقط در موقعیت هایی قابل اجرا است که پودر محافظ مطابق طرح اتصال بتواند وظیفه خود را بدرستی انجام دهد (وضعیت تخت و افقی). در سایر وضعیت های جوشکاری برای اجرای مناسب این روش نیازمند بکارگیری تجهیزات جانبی هستیم. یکی دیگر از محدودیت های این روش،

A detailed diagram of a semi-automatic gas metal arc welding setup. The diagram shows a welding torch assembly with a contact tip and a contact. Labels include: TO WELDER POWER, TO AUTOMATIC WIRE FEED, TO FLUX HOPPER, FLUX FEED TUBE, FLUX, SOLID SLAG, FLUX SHELF, BEAD OR FINISHED WELD METAL, WELDING WIRE, BASE METAL, WORK CONNECTION, WELD BACKING PLATE, TAB, and WELD TRAVEL. The diagram illustrates the flow of flux and the formation of the weld metal and slag during the welding process.

مزایا و محدودیت ها :

روش های خود کار و نیمه خود کار جوش زیر پودری در مقایسه با سایر روش های جوشکاری مزایا و معایب زیر را دارند: اتصالات را می توان با شیار کم عمق آماده نموده که باعث مصرف کمتر فلز پرکننده می شود. (در برخی کاربردها نیازی به شیار برای اتصالات بین ورق های با ضخامت کمتر از $1/4$ " نیست). پوشش برای حفاظت اپراتور از قوس نیاز نیست، اگرچه حفاظت چشمان اپراتور بخاطر احتمال پرتاب جرقه جوش توصیه می شود. جوش را می توان با سرعت حرکت و نرخ رسوب بالا و بر روی سطح صاف یا استوانه ای یا لوله و از نظر تئوری با هر اندازه و ضخامتی انجام داد. این روش برای سخت کردن سطحی نیز مناسب است. فلاکس به عنوان اکسیدزدا و آخال زدا برای خارج کردن ترکیبات ناخواسته از حوضچه جوش عمل می کند تا جوش سالم و باخواص مکانیکی مناسب ایجاد کند. سیم های الکتروود ارزان برای جوش فولادهای غیرآلیاژی و کم کربن استفاده می شوند. (معمولا) سیم های فولادی کم کربن بدون پوشش یا با پوشش نازک مسی برای هدایت بهتر و جلوگیری از خوردگی می باشند). جوش زیر پودری را می توان در زیر وزش بادهای نسبتا " شدید جوشکاری نمود. ذرات فلاکس حفاظت بهتری انجام می دهند تا پوشش الکتروود در روش جوشکاری الکتروود دستی.

محدودیت های جوش زیر پودری که برخی در روش های دیگر جوشکاری نیز وجود دارند به شرح زیر است:

پودر جوش :

تجهیزات حمل فلاکس و سازه نگهدارنده مخزن پودر، اتصالات دیگر و همچنین صفحه نواری یا حلقه پشتبند نیز مورد نیاز می باشد. *پودر جوش ممکن است به آلودگی هایی آغشته شود که باعث تخلخل جوش شوند. *برای دستیابی به یک جوش خوب فلز پایه باید، یکنواخت بدون پوسته اکسیدی، زنگ، غبار و روغن و سایر آلودگی ها باشد. *جداسدن سرباره از جوش در برخی موارد به سختی صورت می گیرد. در جوش های چند پاس پس از هر عبور باید سرباره جوش برداشته شود تا از باقی ماندنش درون فلز جوش جلوگیری شود. *این روش معمولا " برای جوش فلزات با ضخامت کمتر از $16/3$ "، بخاطر Burn Through مناسب نمی باشد. *مگر در کاربردهای خاص شدیدا " به مسطح بودن وضعیت جوشکاری محدود است، زیرا مسطح بودن و افقی بودن وضعیت برای جلوگیری از ریختن فلاکس لازم است. فلزات مناسب جوش زیر پودری: جوش زیر پودری برای همه فلزات و آلیاژها مناسب نیست. برای سهولت فلزات و آلیاژها را می توان با توجه به مناسب بودن آنها برای جوش زیر پودری به سه دسته تقسیم کرد: فلزات بسیار مناسب، فلزات اندکی مناسب و فلزات غیر مناسب .

فلزات بسیار مناسب:

جوش زیر پودری بیشترین استفاده را در جوش فولادهای غیرآلیاژی (فولاد ساده) کم کربن حاوی کمتر از ۰/۳۰٪ کربن، کمتر از ۰/۰۵٪ فسفر و کمتر از ۰/۰۵٪ گوگرد دارد. اغلب مثال های این مقاله به این فولادها مربوط است، که محدوده تنش تسلیم آنها حدود ۴۵/۰۰۰ تا ۸۵/۰۰۰ Psi است و معمولاً با فلاکس و الکتروود AWS ۱۵،۱۷-۶۹ (مشخصات فنی فلاکس ها و الکتروودهای فولادهای آرام ساده برای جوش قوس زیر پودری) جوش می شوند. فولادهای کربن متوسط و کم آلیاژ ساختمانی در رده فولادهای مناسب جوش زیر پودری هستند اگرچه اغلب به پیشگرم، پس گرم و استفاده از فلاکس و سیم الکتروودهای ویژه نیاز دارند. فولاد ضد زنگ، فولاد کربنی آلیاژی قابل سخت شدن، و فولاد ساختمانی پر استحکام نیز با روش جوش زیر پودری جوشکاری می شوند. روش جوشکاری این فولادها مستقلاً در مقالات دیگر با عنوان جوشکاری فولادهای کربنی قابل سخت شدن، فولادهای آلیاژی و فولادهای ضد زنگ توضیح داده شده است. جوش زیر پودری همچنین برای ایجاد پوشش های مقاوم به سایش برای موقعیت هایی که تحت سایش هستند بکار می رود. ***فلزات اندکی مناسب: برخی فلزات و آلیاژهایی را که می شود به روش جوش زیر پودری جوش داد، بیشتر با روش هایی جوش می دهند که منطقه حرارت داده شده باریک تر باشد. برخی فولادهای ساختمانی پر استحکام کم کربن جزء این گروه هستند زیرا استحکام ضربه و کشش مورد نیاز در روش جوش زیر پودری به سختی بدست می آیند. فولادهای پر کربن، فولادهای مارتنزیتی، و مس و آلیاژهای مس نیز جزء این گروه هستند.

فلزات نامناسب: چدن را معمولاً نمی توان به روش جوش زیر پودری جوش داد، زیرا نمی تواند تنش های حرارتی ناشی از گرمای ورودی را تحمل کند. با این حال مثال ۲۴۱ در مقاله جوش قوس چدن، کاربردی را که در آن چدن مالیل به فولاد کم کربن جوش شده است را تشریح می کند. مسائلی که در جوش فولاد آستنیت منگیزی و فولاد ابزار پر کربن رخ می دهند جوشکاری آنها را با هر روش معمولی دشوار می سازد. آلیاژهای آلومینیوم و آلیاژهای منیزیم را نمی توان به روش زیر پودری جوش داد زیرا فلاکس مناسب برای آن پیدا نمی شود. سرب و روی بخاطر نقطه ذوب پایین مناسب جوش زیر پودری نیستند. تیتانیوم در کاربردهای آزمایشگاهی به روش زیر پودری جوشکاری شده ولی فلاکس مناسب برای جوش آن تاکنون ارائه نشده است.

جنبه های متالورژیک: سه ویژگی جوش زیر پودری در جریان های بالا نیازمند توجه ویژه است: الف) در صد بالای فلز پایه در جوش هنگامی که قطب معکوس جریان مستقیم استفاده شود. ب) مقدار زیاد سرباره تولید شده در عملیات. ج) گرمای ورودی زیاد که ریز ساختار را تحت تاثیر قرار می دهد. %/٪/ هنگامی که درصد فلز پایه در رسوب فلز جوش بالا باشد، به حداقل رساندن ناخالصی های مضر مانند فسفر و گوگرد بسیار اهمیت

دارد. مقدار زیاد سرباره عموماً "منبعی از سیلیسیم یا منگنز است که ممکن است مقداری از آن به رسوب فلز جوش منتقل شود. لذا معمولاً هنگام استفاده از فلاکس های پرسیلیسیم، از سیم الکترو د کم سیلیسیم (حداکثر ۰/۵٪ سیلیسیم) استفاده می شود تا از جذب سیلیسیم اضافی توسط فلز جوش جلوگیری شود. همچنین از سیم الکترو د کم منگنز حاوی کمتر از ۰/۵٪ منگنز معمولاً با فلاکس های پُر منگنز استفاده می شود. سیم الکترو د پرمگنز حاوی ۲٪ منگنز عموماً با فلاکس های کم منگنز استفاده می شوند. گرمای ورودی زیادی که از جوشکاری در جریان زیاد ناشی می شود (تا حدود ۱۵۰۰ آمپر) در سرعت های حرکت پایین باعث تغییر ساختار در منطقه متأثر از حرارت شده و استحکام ضربه را کاهش و استحکام کششی و دمای تبدیل تردی به نرمی را افزایش می دهد. **تغییرات ریز ساختار**: افزایش تغییرات ساختار فلز پایه به چهار عامل وابسته است: // حداکثر دمایی که فلز در آن قرار داده می شود // زمان آن دما // ترکیب شیمیایی فلز پایه // سرعت سرد شدن ساختار فلز جوش ستونی است زیرا از مرز جامد شروع شده و فقط در یک جهت امکان رشد دارد. در فولاد کربنی قابل سخت شدن امکان درشت شدن ساختار منطقه نزدیک قسمت جوش از فلز پایه بخاطر رسیدن به دمای حدود ۲۸۰۰ تا ۲۲۰۰ فارنهایت وجود دارد. فلزی که در دمای ۱۷۰۰ تا ۲۲۰۰ فارنهایت گرم شده نواری از دانه های نازک تر دارد. اگرچه این منطقه در بیشتر از دمای دگرگونی فاز گرم شده، ولی زمان باقی ماندن در این دما برای درشت ساختار شدن کافی نبوده است. منطقه بعدی ۱۷۰۰ تا ۱۴۰۰ فارنهایت، منطقه ای است که فولاد باز پخت شده و به مقدار قابل توجهی نرم تر از منطقه مجاور جوش است. فلز پایه دورتر از این منطقه نیز تغییر نکرده باقی می ماند. اندکی کاربید کروم شده بخاطر باقی ماندن در حدود ۱۳۳۰ فارنهایت، ممکن است ایجاد شود. پیش گرم و پس گرم کردن، اصول پیش گرم کردن و پس گرم کردن برای جوش زیر پودری مشابه سایر روش های جوشکاری است. پیش گرم و پس گرم برای فولادهای سختی پذیر، مخصوصاً فولادهایی که کربن آنها از حدود ۰/۳٪ و ضخامت آنها بیشتر از ۳/۴" باشد بکار می رود. کاهش سرعت سرد شدن که در اثر پیش گرم رخ می دهد، زمان ماندگاری در دمای بالاتر از شروع تغییر حالت مارتنزیتی را افزایش می دهد و لذا تغییر حالت آستنیت به پرلیت ظریف تر بجای مارتنزیت سخت را افزایش می دهد. در منطقه جوشی که پیش گرم شده نسبت به جوش پیش گرم نشده احتمال کمتری وجود دارد که فاز سخت تشکیل شود. همچنین بخاطر سرعت سرد شدن کمتر در فولاد های پیش گرم شده، خطر ترکیدگی جوش و تنش های حرارتی کاهش پیدا می کند. پس گرم کردن هنگام نیاز به تنش زدایی حرارتی، بازپخت، نرمالایز کردن یا تمپر کردن بکار می رود.

منابع تغذیه: منابع تغذیه جوش زیر پودری عبارتند از: الف) موتور ژنراتور و ترانسفورماتور رکتی فایر، با خروجی جریان مستقیم (DC). ب) ترانسفورماتور با خروجی جریان متناوب (AC) هر دو جریان های مستقیم و متناوب در جوش زیر پودری نتایج قابل قبولی ارائه می دهند. اگرچه هر کدام در برخی کاربردهای خاص معایب ناخواسته

ای دارند- بسته به شدت جریان، قطر سیم الکتروود، و سرعت حرکت - که در لیست زیر ذکر شده اند: **جوش نیمه خودکار با الکتروود ۶۴" / ۵ یا ۳/۳۲" در جریان مستقیم ۳۰۰ تا ۳۵۰ آمپر، استفاده از جریان مستقیم ارجح است. جوش خودکار با یک الکتروود در جریان پایین (۳۰۰ تا ۵۰۰ آمپر) و سرعت حرکت بالا (۴۰ تا ۲۰۰ اینچ در دقیقه)، استفاده از جریان مستقیم ارجح است. **جوش خودکار با یک الکتروود و جریان متوسط (۶۰۰ تا ۹۰۰ آمپر) سرعت حرکت ۱۰ تا ۳۰ اینچ در دقیقه، هم جریان مستقیم و هم متناوب استفاده می شوند. **جوش خودکار با یک الکتروود و جریان بالا (۱۲۰۰ تا ۲۱۵۰۰ آمپر) سرعت حرکت ۵ تا ۱۰ اینچ در دقیقه، استفاده از جریان متناوب ارجح است جوش خودکار با بیش از یک الکتروود و در حالت پشت سرهم و جریان هر کدام از الکتروودها ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ آمپر با هم الکتروودها، جریان متناوب (یا جریان مستقیم در الکتروود جلویی) استفاده می شود. جوش خودکار با دو الکتروود در عرض هم، با هر دو جریان مستقیم و جریان متناوب استفاده می شود. سیستم های تغذیه سیم جوش: تجهیز تغذیه سیم الکتروود جوش زیر پودری از دو نوع سیستم کنترلی برای کنترل سرعت تغذیه سیم (سیستم های حساس به ولتاژ و سیستم های سرعت ثابت) استفاده می کنند. سیستم های کنترلی حساس ولتاژ با منبع تغذیه های جریان ثابت و سیستم های کنترل سرعت ثابت با منبع تغذیه های ولتاژ ثابت استفاده می شوند. سیم الکتروود جوش زیر پودری: سیم های الکتروود جوش زیر پودری فولاد در اندازه های مختلف تولید می شوند. پوشش نازکی از مس برای بهبود هدایت الکتریکی و بالا بردن مقاومت در برابر خوردگی بر روی سیم ایجاد می شود. ترکیب شیمیایی سیم الکتروود به ترکیب شیمیایی فلز جوش و خواص مکانیکی و انتخاب نوع خاص الکتروود و ترکیب آن به جنس فلز قطعه و نوع فلاکس وابسته است. برای رسیدن به نرخ رسوب بالاتر می توان از دو یا چند الکتروود نازک تر بجای یک الکتروود ضخیم تر استفاده کرد. کاهش قطر الکتروود باعث افزایش چگالی جریان و فشار پلاسما جت و افزایش عمق نفوذ و باریک شدن باند جوش می شود. الف) همه الکتروودها علاوه بر مقادیر جدول حداکثر دارای ۳۵٪ / ۰/۰ گوگرد، ۰/۰۳۰٪ / ۰/۰ فسفر، ۰/۱۵٪ / ۰/۰ مس (غیر از پوشش) و ۰/۵۰٪ / ۰/۰ سایر عناصر می باشند. ب) به علاوه حاوی ۰/۰۵ - ۰/۱۵٪ / ۰/۰۲ تیتانیوم، ۰/۰۲ - ۰/۱۲٪ / ۰/۰۰۵ زیرکونیوم، ۰/۰۵ تا ۰/۱۵٪ / ۰/۰ آلومینیوم و تا ۰/۵۰ درصد سایر عناصر نیز می باشد. ساده ترین روش برای جلوگیری از تشکیل پرلیت و فریت گوشه دار استفاده از حدود ۰/۵٪ / ۰/۰ مولیبدن و ۰/۲۰٪ / ۰/۰ بُر در ترکیب فولاد است، که با کاهش آهنگ تشکیل محصولات دگرگونی در دمای بالا باعث ایجاد فاز بینیت می شود. لذا استحکام کششی و تسلیم را افزایش می دهد.

پودرهای جوش زیر پودری: پودرهای جوش زیر پودری به سه شکل وجود دارند. *پودرهای ترکیب شده *پودرهای چسبیده شده *پودرهای آگلومره **/پودرهای ترکیب شده: برای تولید پودرهای ترکیب شده ابتدا اجزاء بصورت خشک مخلوط سپس در یک کوره الکتریکی ذوب و با پاشش آب سرد یا ریختن روی صفحه سرد منجمد می شود.

مزایای این نوع پودر عبارت است از: کاملاً توزیع ترکیب شیمیایی یکنواخت دارند. *می توان خاکه آن را بدون تغییر در ترکیب شیمیایی جدا کرد. محصول رطوبت گیر نیست و مسائل ذخیره سازی و نگهداری ساده تر دارد. پودرهای ذوب نشده را می توان چندین دور مورد استفاده قرار داد (بدون تغییر قابل توجه). مناسب برای جوشکاری با بیشترین سرعت است.

محدودیت: محدودیت مهم این پودر ها عدم امکان افزودن اکسید زداها و فرو آلیاژها بخاطر دمای حلالیت بالای آنها است. پودرهای چسبیده شده: برای تولید پودرهای چسبیده شده مواد خام تا اندازه * ۱۰۰D آسیاب می شوند. بصورت خشک با هم مخلوط شده و با افزودن سیلیکات پتاسیم یا سیلیکات سدیم به هم چسبیده می شوند. مخلوط حاصل به شکل گلوله درآمده و در دمای پایین خشک می شوند و بصورت مکانیکی خرد شده و دانه بندی می شوند.

مزایا: بخاطر دمای تولید پایین، اکسید زداها و فرو آلیاژها در این روش قابل افزوده شدن هستند. *چگالی پودر پایین تر است و امکان استفاده از لایه ضخیم تر فلاکس بر روی منطقه جوش وجود دارد. -سرباره ایجاد شده بر روی جوش پس از سرد شدن بهتر جدا می شود

محدودیت: محدودیت های مهم این روش عدم امکان جدا کردن خاکه بدون تغییر در ترکیب شیمیایی و حساسیت بالا به جذب رطوبت است. پودرهای آگلومره: روش تولید مشابه پودرهای چسبیده شده است غیر از اینکه از یک الک سرامیکی استفاده می شود. در این نوع پودر نیز برای استفاده از اکسید زداها و فرو آلیاژها بخاطر دمای Curing بالای الک (۱۴۰۰ °C) مانند پودرهای ترکیب شده محدودیت وجود دارد. دانه بندی: اندازه دانه های پودر جوش بخاطر تاثیر بر مصرف بهینه پودر جوش در جریان های جوش مختلف حائز اهمیت است. در جریان های بیشتر از ۱۵۰۰ آمپر باید از درصد ذرات ریز بیشتر و ذرات درشت کمتر استفاده کرد. پودرهای چسبیده شده که در جریان های کمتر استفاده می شوند بستگی کمتری به اندازه ذرات دارند و عمدتاً "در یک سایز تولید می شوند. حداکثر جریان مناسب برای این نوع پودر ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ آمپر است. در حالی که برخی انواع پودر ترکیب شده (انواع سیلیکات کلسیم اصلاح شده) را تا ۲۰۰۰ آمپر نیز می توان بکار برد.

ترکیب پودرهای جوش: در زمان پیشرفت فرایند جوش زیر پودری در اواسط دهه ۱۹۳۰ پودرهای ترکیب شده حاوی ترکیبات سیلیکاتی استفاده می شدند که عمدتاً "حاوی آلومینا سیلیکات منیزیم، کلسیم و منگنز بودند. ترکیبات مورد مصرف در سراسر دنیا ترکیبات سیلیکات منگنز ارائه شده در جدول ۱ بودند. برای تنظیم محدوده ذوب و ساختار آن از دیاگرام $\text{SiO} - \text{MnO}$ استفاده می شد. نتیجه جوشکاری با پودرهای چسبیده شده تقویت شده، پس از ذوب و انجماد جوش در فلز جوش مشابه پودر ترکیب شده است. فروسیلیم و اکسید منگنز و سیلیسیم

فلاکس ترکیب می شوند. لذا مقدار MnO نسبت به SiO_2 که برای جوش زیر پودری مناسب است در قسمت جوش باقی می ماند. انواع پودرهایی که در جدول ۱ توضیح داده شده برای دستیابی به خواص پیشرفته تر و هزینه اقتصادی تر و ظاهر مناسب تر گرده جوش در مقادیر کمتر مکنز اصلاح شده اند. برخی ترکیبات پودرها با بازیسته بیشتر (که مقادیر CaO و CaF_2 دارند) خواص مکانیکی بهتری در فلز جوش ارائه می دهند و افزودن تیتانیوم پایداری قوس بیشتر و اکسید فلزات خاص ظاهر جوش را در فولادهای آلیاژی بهبود می دهند. برای رسیدن به ظاهر جوش مناسب در جوشکاری پرسرعت ورق ها خواص دمایی گرانشی فلاکس را باید تنظیم کرد. فلاکس های کاربردهای خاص برای منظوره های خاص طراحی می شوند. مقایسه پودر جوش زیر پودری با پوشش الکترو: پودرهای جوش زیر پودری در مقایسه با مواد بکار رفته در پوشش الکتروهای جوشکاری الکترو دستی چند تفاوت عمده دارند. فلاکس های جوش الکترو دستی حاوی ترکیباتی مانند سلولز برای ایجاد گاز محافظ است. همچنین ترکیباتی با تابع کاری پایین مانند اکسید سدیم و اکسید پتاسیم برای کمک به شروع قوس و پایداری آن و مواد دیگری برای تقویت نفوذ، نرخ ذوب و استفاده از قطب های مختلف جریان به پوشش الکترو اضافه شوند. که پودرهای جوش زیر پودری غالباً به این ترکیبات نیازی ندارند، زیرا وجود سرباره مذاب و دانه های کروی پودر از قوس حفاظت کرده و نیازی به گاز محافظ نیست. وجود ترکیبات سیلیس و فلوراید عموماً "پایداری مطلوب قوس را تضمین می کند و حداقل ۱۰٪ فلوراید کلسیم برای بهبود سیالیست فلاکس مذاب به سیلیکات های فلزی پودر اضافه می شوند. پوشش های الکتروهای جوش قوس الکترو دستی بخاطر اینکه باید قابل اکسترو باشد و سایر ملزومات تولید دارای فرمول پیچیده اند و برعکس آن پودرهای جوش زیر پودری از ترکیبات معدنی ساده و از سیستم های دوتایی، سه تایی و یا چهار تایی انتخاب می شوند. رایج ترین فلاکس ها از سیستم $SiO_2 - MnO$ و یا $SiO_2 - CaO$ تشکیل شده اند که می توانند با اکسیدهای آلومینیم، منیزیم، زیرکونیوم و تیتانیوم ترکیب شود و فلاکس های کاربردهای خاص را به وجود آورند. فلاکس های الکتروهای پوشش و فلاکس های جوش زیر پودری به روش های متفاوتی دسته بندی می شوند. استاندارد AWS A5.۱-۵۶ الکتروها را بر حسب نوع مواد پوشش فلاکس دسته بندی می کند. و استاندارد A5.۱-۷۵-۶۹ برای دسته بندی پودر جوش زیر پودری به طبیعت شیمیایی فلاکس ارتباطی ندارد فقط به خواص مکانیکی رسوب جوش که با الکترو مخصوص به وجود می آید مربوط است. در عمل بیشتر الکترو و فلاکس جوش زیر پودری از روی ظاهر جوش انتخاب می شوند تا در نظر گرفتن جنبه های فنی. نقطه ذوب و نرخ ذوب پودرهای جوش: یک پودر جوش موثر باید دردمای بالا به خوبی سیال باشد و لایه روان و محافظ بر روی فلز جوش ایجاد نماید و آنرا از اکسید شدن حفاظت کرده ولی در دمای اتاق ترد باشد و به آسانی از روی جوش جدا شود. نقطه ذوب و چگالی فلاکس نیز باید کمتر از فلز جوش باشد که گازهای تولید شده بین فلز و سرباره بتوانند وارد سرباره شوند و برای

تکمیل وظیفه سرباره سازی باید فلاکس پس از تکمیل انجماد فلز جوش منجمد شود. لذا حد بالایی دامنه ذوب پودر جوش زیر پودری حدود 1300°C می باشد. مقدار فلاکس ذوب شده در هر دقیقه به ولتاژ و جریان جوش بستگی دارد و در جریان ثابت مقدار پودر ذوب شده در هر دقیقه با افزایش ولتاژ جوش افزایش می یابد. در عمل معمولاً "وزن فلاکس ذوب شده و وزن الکتروود ذوب شده برابرند."

تاثیر فلاکس بر ترکیب فلز جوش: واکنش های بین فلز جوش مذاب و پودر جوش ذوب شده در ضمن جوشکاری زیر پودری شبیه واکنش بین مذاب و سرباره در فولاد سازی است. و لذا وظیفه سرباره مذاب کاهش ناخالصی های فلز جوش و تامین عناصری مانند منگنز و سیلیکون برای فلز جوش است. چنانچه در قسمت الف شکل ۴ مشاهده می شود با افزایش MnO در سرباره تا حدود ۱۰ درصد مقدار منگنز فلز جوش افزایش سریع دارد که به تدریج مقدار این افزایش کم می شود. لذا بسیاری از فلاکس ها حاوی حدود ۱۰٪ اکسید منگنز است. رابطه مقدار SiO_2 موجود در فلاکس و مقدار Si فلز جوش متفاوت است و تا هنگامی که SiO_2 موجود در سرباره حدود ۴۰٪ باشد سیلیسم اندکی جذب نمی شود لذا فلاکس های تجاری و مخصوصاً "فلاکس هایی که برای جوش های با چند پاس تولید می شوند مقدار زیاد حدود ۴۰٪ SiO_2 دارند. برخی فلاکس ها می توانند فروآلیاژها را برای جوش تامین کنند. اکسیدهای فلزی موجود در پودر مانند Cr_3NiO , CrO_2 , باعث انتقال عناصر فلزی از سرباره به فلز جوش شوند. مقدار CrO_2Cr فلاکس، ترکیب الکتروود، ترکیب فلز پایه ای که بر روی آن فلز جوش رسوب می کند بر مقدار سیلیسم باقی مانده در فلز جوش تاثیر می گذارند. همه عواملی که زمان واکنش فلز - سرباره یا متوسط دمای حوضچه جوش را تغییر دهد، بر توزیع عناصر آلیاژی باقی مانده در فلز جوش تاثیر خواهد گذاشت. در شرایط طبیعی جوشکاری، سرعت حرکت مهمترین عامل در رسوب عناصر آلیاژی است و نیز افزایش ولتاژ عموماً "باعث افزایش عناصر فلزی منتقل شده به فلز جوش می شود. گرانیروی و هدایت سرباره ها: برای اینکه فلاکس در برابر نفوذ گازهای اتمسفری مقاوم باشد باید گرانیروی آن در منطقه جوش به اندازه کافی بالا باشد که در ضمن بتواند از سرریز شدن فلز مذاب و حرکت آن به سمت جلوی قوس که ممکن است باعث حبس سرباره در زیر فلز جوش مذاب شود جلوگیری کند. از طرف دیگر به اندازه کافی سیال باشد که حل شدن سریع اجزاء غیر فلزی مانند اکسیدها و خارج شدن گازها از فلز مذاب را ممکن سازد. ویسکوزیته فلاکس مذاب در دمای 1400°C در حدود ۲ تا ۷ poises می باشد. دانه های پودر جوش در دمای اتاق عایق الکتریکی هستند و مقاومت آنها با افزایش دما کاهش می یابد و سرباره های مذاب در دمای حوضچه جوش بسیار هادی هستند.

روابط الکتریکی: روابط الکتریکی منطقه جوش توسط نوع فلاکس و روش جوشکاری تعیین می شود.. بررسی های نوسان نگاری، اسپکتوگرافیک و رادیو گرافیک، قوس طبیعی را در هنگام جوشکاری زیر پودری نشان می دهند. برای محاسبه روابط الکتریکی ثبت ولتاژ در بررسی های نوسان نگاری مهمترین عامل است.

شرایط جوش: دانسته جریان الکتریسته در سیم الکتروود جوش زیر پودری در مقایسه با مقدار آن در جوش الکتروود دستی چندین برابر بزرگتر و نرخ ذوب و سرعت جوشکاری نیز بیشتر است. ارتباط بین ولتاژ معمول تجهیزات صنعتی و جریان نشان داده شده است. برای این داده ها فرض شده که هر یک از تنظیمات جریان جوشکاری دامنه ای حدود ۱۰ ولت دارد، که در این محدوده جوش سالم در ولتاژهای بالاتر گرده جوش پهن تر و در ولتاژهای پایین تر گرده جوش باریکتر می دهند. در ولتاژ جوشکاری و مجموع و پتانسیل کاتد و آند با افزایش جریان جوشکاری افزایش می یابند. و در هر جریانی با کاهش ولتاژ و یا مجموع پتانسیل کاتد و آند مقدار پودر ذوب شده کاهش می یابد و به صفر نزدیک می شود. خطی نبودن کاهش پتانسیل کاتد و آند نشان دهنده وجود هدایت الکترولیتی است. حداکثر سرعت جوشکاری قابل استفاده برای جوشکاری بدون عیب و رفتار پایدار، با جریان جوشکاری تغییر می کند. هنگامی Undercut رخ می دهد که جوشکاری در سمت راست خط مورب انجام شود. مثلاً "جوش تک پاس را در ورق های به ضخامت ۱ اینچ را می توان با ۱۵۰۰ آمپر و با سرعت ۱۰ اینچ در دقیقه جوش داد.

فاصله نازل: فاصله بین سطح فلز پایه و نوک لوله تماس (نازل) در گرمای وارده به جوش و لذا نرخ ذوب تاثیر می گذارد. زیرا نرخ ذوب الکتروود جوش مجموع ذوب شدن براثر گرمای قوس و ذوب شدن براثر گرمای مقاومت الکتریکی (R_{۲۱}) در طول الکتروودی که از نازل خارج شده است می باشد. بسته به طرح اتصال و طول قوس، انتهای الکتروود ممکن است بالاتر، هم سطح یا زیر سطح بالایی فلز پایه باشد. نرخ ذوب ناشی از گرمای مقاومتی R_{۲۱} در الکتروود تابع نمایی از طول الکتروود بین نازل و قطعه کار، جریان و قطر الکتروود می باشد. افزایش مقدار ذوب بر اثر گرمای مقاومتی به شدت جریان و طول الکتروود خارج از نازل وابسته است، که هر دو تابعی از قطر الکتروود می باشند

نفوذ: نفوذ، عمق تشکیل رسوب جوش در شیار یا سطح فلز پایه است که معمولاً "فاصله زیر سطح اصلی است، که فلز آن ذوب شده است. ولتاژ کم اهمیت ترین و جریان جوشکاری مهمترین عامل در محاسبه نفوذ و سرعت جوشکاری است. تاثیر متقابل ولتاژ، جریان و سرعت حرکت جوش بر مقدار نفوذ که از چندین آزمایش زیر پودری بدست آمده اند. برای سایر فرایندهای جوش قوس، SMAW و GMAW نیز رابطه خطی مشابهی بدست آمده است. شیب این خط مورب در فرایندهای مختلف متفاوت است و بیشترین مقدار آن مربوط به فرایندهایی

است که از گازهای محافظ هلیوم یا CO_2 استفاده می کنند. ظرفیت حرارتی فلز جوش مذاب برای محاسبات گرمای ورودی و سرعت سرد شدن دارای اهمیت هستند و با مقطع عرضی گرده جوش که نشان دهنده مقدار فلزی است که برای ذوب شدن گرم می شود، متناسب است. بازده تولید برای هر روش جوشکاری به اندازه گیری این ناحیه مربوط می شود. ارتفاع گرده جوش با افزایش جریان جوشکاری و کاهش سرعت حرکت جوشکاری افزایش می یابد و تاثیر ولتاژ بر گرده جوش ناچیز است.

رقت ::نسبت فلز پایه به رسوب فلز جوش عامل مهم در کنترل خواص مکانیکی فلز جوش است. رقت فلز جوش از فلز پایه را می توان از روی نسبت حجم گرده (سطح مقطع عرضی در طول گرده) بر فلز پایه حساب کرد. رقت فلز جوش از فلز پایه با افزایش نسبت جریان به سرعت جوشکاری افزایش می یابد. با افزایش ولتاژ نرخ ذوب الکترود اندکی کمتر شده و لذا باعث افزایش رقت می شود.

بازیسته پودر جوش ::اندیس بازی پودر جوش (BI) معیار دیگری برای طبقه بندی پودرهای جوش است که مقدار اسیدی بودن روش تولید فلاکس را و همچنین فعال، خنثی یا آلیاژی بودن فلاکس را مشخص می کند. اندیس بازی نسبت مجموع اکسیدهای فلزی با پیوند سخت به مجموع اکسیدهای فلزی با پیوند سست است. اندیس بازی برآوردی از مقدار اکسیژن فلز جوش است و لذا می تواند برای بیان خواص فلز جوش بکار رود. پودرهای جوش با بازیسته بیشتر تمایل به داشتن اکسیژن کمتر و استحکام بالاتر در فلز جوش دارند. در حالی که پودرهای جوش اسیدی، جوشی با اکسیژن بیشتر، ریز ساختار درشت تر و با مقاومت کمتر در مقابل تورق تولید می کنند. پودرهای جوشی با اندیس بازی بیشتر از ۱/۵ پودر جوش بازی و با اندیس بازی کمتر از یک، پودر جوش اسیدی شناخته می شوند. پودرهای جوش اسیدی معمولاً برای جوش های تک پاس مناسبند و رفتار جوش مناسب و در گرده جوش خاصیت ترکندگی خوب دارند. علاوه بر آن پودرهای جوش اسیدی در مقایسه با پودرهای جوش بازی مقاومت بیشتری در برابر ایجاد تخلخل ناشی از آلودگی های چون روغن، زنگ و پوسته های نوردی در ورق دارند. پودرهای جوش بازی در مقایسه با پودرهای جوش اسیدی مقاومت به ضربه بهتری نشان می دهند. این مزیت در جوش چند پاس به وضوح مشهود است. پودرهای جوش با بازیسته زیاد در جوش های بزرگ با چند پاس خواص ضربه خیلی خوب و در جوش تک پاس خواص ضعیفتری را در مقایسه با پودرهای جوش اسیدی نشان می دهند. لذا مصرف پودرهای جوش بازی باید به جوش های بزرگ چند پاس که در آن استحکام ضربه خوب برای فلز جوش نیاز باشد محدود شود

منابع عیوب در جوش زیر پودری ::جوش زیرپودری فرایندی با گرمای ورودی بالاست و در زیر لایه محافظ فلاکس انجام می شود و لذا امکان بروز عیوب جوش در این روش بسیار کمتر از سایر روش هاست.

عیوبی که بعضاً در جوش زیرپودری رخ می دهند عبارتند از: ذوب ناقص ، سرباره باقیمانده درون جوش ترک انقباضی ترک هیدروژنی و تخلخل. ذوب ناقص و سرباره باقیمانده درون جوش اغلب ناشی از قرار گرفتن صحیح گرده جوش بر روی درز جوش و یا از فرایند ناشی می شود. انحراف گرده جوش از محل خود باعث ایجاد چرخش و تلاطم فلز مذاب و اکسیژن تکه هایی از سرباره به درون فلز جوش شود. و اگر هم که گرده جوش دور از لب های اتصال باشند باعث عدم نفوذ کافی جوش به فلز پایه شود. گرده جوش تاجی شکل که بر اثر پایین بودن ولتاژ ایجاد می شود نیز احتمال بروز نفوذ ناقص و محبوس شدن سرباره را بخاطر مختل شدن حرکت یکنواخت مذاب تشدید می کند. ترک انقباضی: ترک انقباضی در وسط طول گرده جوش زیر پودری هنگامی رخ می دهد که شکل گرده جوش و یا طرح اتصال مناسب نباشد و یا مواد جوش غلط انتخاب شده باشند. متمایل به ترک انقباضی در جوش با گرده جوش محدب و به شکل گرده ماهی هنگامی که نسبت پهنا به ارتفاع آن بیشتر از یک باشد کمتر است. هنگامی که عمق نفوذ جوش زیاد باشد تنش های انقباضی باعث ترک طولی در وسط جوش می شود و خطر این ترک می تواند بر اثر طرح اتصال نامناسب تشدید شود. مواد مستحکم تر بدلیل تنش بیشتر در جوش تمایل بیشتری به ایجاد ترک دارند. لذا هنگام استفاده از این مواد باید در انتخاب مواد جوش، آماده سازی طرح اتصال، دمای پیش گرمایش و دمای بین پاس ها کاملاً دقت شود.

ترک هیدروژنی: ترک هیدروژنی یک فرایند کند است و برخلاف ترک انقباضی که بلافاصله پس از جوش ظاهر می شود ایجاد آن تا روزها پس از جوش نیز می تواند ادامه یابد. برای کاهش خطر ترک هیدروژنی باید همه منابع هیدروژن مانند آب ، روغن و آلودگی های موجود در فلاکس الکتروود و سطوح اتصال حذف شوند و ورق فلاکس و الکتروود کاملاً تمیز و خشک باشند. فلاکس و الکتروود را باید در محل های خشک و مقاوم به رطوبت نگهداری کرد و چنانچه در معرض رطوبت قرار گرفت باید طبق دستور سازنده مجدداً خشک شوند. انتخاب مواد جوش مناسب برای فولادهای پراستحکام مقاومت جوش را در برابر ترک هیدروژنی افزایش می دهد. مواد جوش ویژه مقاوم در برابر ترک هیدروژنی ساخته می شوند که قابلیت نفوذ هیدروژن در جوش را کاهش می دهند. پیش گرمایش قطعه کار خطر ترک هیدروژنی را باز هم کاهش می دهد. قطعات ضخیم گرمای پیش گرم را تا ساعت ها پس از جوشکاری در قطعه نگه می دارند. لذا خطر ترک هیدروژنی در این قطعات کمتر است. دمای پیش گرم مناسب بیشتر از 100°C است زیرا در این دما هیدروژن درون فولاد کاملاً متحرک است و به خروج بیشترین مقدار هیدروژن از فولاد کمک می کند.

تخلخل: در جوش زیر پودری سرباره حفاظت خوبی از مذاب انجام می دهد و لذا تخلخل ناشی از ورود گاز به مذاب در جوش. زیر پودری معمول نیست. در جوش زیرپودری منشاء تخلخل ممکن است از درون مذاب و یا فشردگی هایی در سطح گرده جوش باشد. برای کاهش تخلخل در جوش زیر پودری باید پوشش فلاکس

کافی باشد و ورق، الکتروود و فلاکس از همه آلودگی ها از جمله رطوبت روغن و غیره پاک باشند. در سرعت های بیش از حد جوش کاری نیز حباب های گاز فرصت خارج شدن از مذاب را پیدا نمی کنند که در صورت وجود حباب ها درست در زیر سرباره برای کنترل آن باید سرعت پیشروی جوشکاری را اندکی کاهش داد.



اصول کاربردی جوشکاری TIG

همانطور که گفته شد، در جریان جوش (Tungsten Inert Gas) TIG از یک الکتروود تنگستن غیر مصرفی، برای فراهم کردن قوس الکتریکی لازم برای عملیات جوشکاری استفاده می شود. یک پوشش از گاز، الکتروود قوس و منطقه جوش را احاطه می کند. فرآیند محافظت این گاز از اکسید شدن جوش جلوگیری می کند و بوجود آمدن یک محصول جوش پاکیزه و تمیز را تصویب می کند. جوشکاری TIG با (MIG Metal Inert Gas) در اینکه الکتروود غیر مصرفی است، متفاوت است. در فرآیند جوشکاری MIG الکتروود به صورت پیوسته مذاب شده و به جوش اضافه می شود. در جوشکاری TIG فلز اضافه نمی شود، مگر آنکه میله (Filler) بصورت جداگانه استفاده شود. جوشکاری TIG می تواند در انواع زیادی از فلزات نقش ایفا کند. دو فلز مهم جوش داده شده به روش TIG، فولاد و آلومینیوم می باشند. جوشکاری TIG برای فولاد نسبتاً راحت است و ایجاد محصول جوش خیلی تمیز و سخت مقدور است. جوشکاری آلومینیوم به یک مهارت و کارآزمودگی کمی در جوشکاری TIG فولاد نیاز دارد، تا موفقیت آمیز گردد. در هر حال تکنیک بنیادی ضروری است و اکثر افراد می توانند به خوبی و آسانی به جوشکاری با آلومینیوم روی آورند. جوشکاری TIG یک روش نیرومند است در جهت ایجاد سریع و راحت جوشهای زیبا، در مقایسه با جوشکاری اکسی استیلن.

جوشکاری با TIG متنوع تر است .

جوشکاری GTAW در میان سایر فرآیندهای جوشکاری ذوبی قابلیت انعطاف بیشتری دارد زیرا به وسیله آن می توان بسیاری از فلزات را جوشکاری کرد . توسط GTAW تقریباً همه فلزات قابل جوشکاری هستند و به وسیله آن می توان ، آلومینیوم ، منیزیم و آلیاژهای آنها، فولادهای کربنی ، فولادهای آلیاژی ، فولادهای زنگ نزن ، مس ، آلیاژهای نیکل ، تیتانیوم ، قلع ، سیلیکون ، آلومینیوم ، برنرها و حتی چدن را جوشکاری نمود . اگرچه به ندرت برای جوشکاری چدن مورد استفاده قرار می گیرد . برخلاف جوشکاری اکسی سوخت دستگاههای مختلف GTAW را می توان به طور دستی و یا اتوماتیک بکار برد . جوشکاری GTAW دارای کیفیتی برابر و یا بیشتر از سایر روش های جوشکاری است و این تنوع و کیفیت مزیتی است که جوشکاری با الکتروود تنگستن و گاز محافظ را به عنوان بهترین روش جهت جوشکاری فولادهای زنگ نزن و آلیاژهای آلومینیوم که جوشکاری آنها نسبتاً مشکل است انتخاب می کند . در اینجا سؤالی مطرح است و آن این که اگر TIG قادر به جوشکاری اکثر فلزات است پس چرا همه جا از آن برای جوشکاری همه فلزات استفاده نمی شود ؟ اغلب جوشکاری های مربوط به تعمیرات توسط اکسی سوخت انجام می گیرد ، زیرا که وسایل و دستگاه مورد نیاز به مراتب ارزانتر از هر نوع دستگاه جوشکاری با قوس الکتریکی از جمله GTAW است . و روش GMAW که شامل MIG و سایر روش های مربوطه است قابلیت و انعطاف پذیری GTAW را در مورد جوشکاری انواع فلزات ندارد ، اما از آنجایی که در این فرآیندها سیم جوش به طور دائم تغذیه می شود نرخ تولید در ساعت بیشتر می شود . در سال ۱۹۶۶ روش جوشکاری GTAW پیوسته (ادامه دار) با سیم داغ (Hot Wire) معرفی شد و این روش توانست مقدار نرخ رسوب در ساعت را افزایش داده و به همین خاطر کاربرد GTAW در تولید و استفاده از آن در جوشکاری فولادهای که داری تنش زیاد هستند و همچنین فولادهای کم آلیاژ نسبت به قبل بیشتر شد . ولی طبیعت بشر به گونه ای است که اغلب به مسئله اقتصادی بیشتر از تکنولوژی می اندیشد و لذا جوشکاری GTAW ، سیم داغ یک فرآیند ویژه محسوب می گردد که در آن به دو منبع نیرو (به دو دستگاه جوش) نیاز است . یکی برای ایجاد قوس TIG و دیگری برای سیم جوش داغ ، و بدین ترتیب این روش خیلی گران تمام می شود . و اصولاً هر شرکتی که کارهای جوشکاری دارد دستگاههای را انتخاب می کند که در مورد آنها اطلاعات فنی بیشتری دارد . اکثر کارخانجات تولیدی با دستگاههای جوشکاری گاز و قوس الکتریکی دستی نسبت به سایر دستگاهها بیشتر آشنا هستند و نیز دستگاههای این دو فرآیند بیشتر در دسترس است . جوشکاران کم مهارت هم کمتر به استفاده از GTAW تمایل دارند . جوشکارانی که چگونگی جوشکاری با قوس الکتریکی را می دانند نمی توانند جوشکار خوب TIG شوند . جوشکاران اکسی سوخت



را راحتتر می توان به عنوان جوشکار TIG آموزش داد. اکثراً جوشکاری TIG در داخل کارگاه انجام می گیرد، زیرا کمترین وزش باد موجب پراکندگی و راندن گاز مورد مصرف جوشکاری از ناحیه مذاب خواهد شد. البته روش هایی برای حل این مشکل وجود دارد مانند کار کردن در اتاقک مخصوص قابل حمل و یا استفاده از پرده های برزنتی.

مزایای فرایند جوشکاری تیگ

- ۲- حاصل این فرایند، جوش با کیفیت بالا و بدون عیب می باشد.
- ۳- این فرایند بدون پاشش جرقه می باشد در صورتیکه فرایندهای دیگر با پاشش جرقه همراه است.
- ۴- در این فرایند قطعات را می توان با استفاده از سیم جوش و یا بدون آن جوشکاری نمود.
- ۵- این فرایند کنترل عالی در نفوذ جوش پاس ریشه را امکان پذیر می سازد.
- ۶- جوشکاری ورقهای نازک را می توان با سرعت بالا انجام داد.
- ۷- این فرایند اجازه کنترل دقیق بر روی شکل گرده جوش را می دهد.
- ۸- این فرایند می تواند برای جوشکاری اکثر فلزات و همچنین جوشکاری فلزات غیر مشابه استفاده شود.
- ۹- از این فرایند منبع گرما و افزودن فلز پر کننده بصورت مستقل کنترل می شود.
- ۱۰- این فرایند در همه حالات قابل اجرا می باشد.
- ۱۱- دود بسیار کمی از فرایند ایجاد می شود.

محدودیت های فرایند تیگ :

موارد زیر برخی از محدودیت های فرایند جوشکاری تیگ می باشد :

- ۱- نرخ رسوب در این فرایند کمتر از روشهای دیگر جوشکاری با الکتروود مصرف شدنی است.
- ۲- این روش نیاز به مهارت بالای جوشکاری نسبت به فرایندهای دیگر دارد.
- ۳- این روش برای جوشکاری ورقهای ضخیم تر از ۱۰ میلیمتر مقرون به صرفه نیست.

۴- در این روش محافظت مناسب از حوضچه مذاب جوش در محیطی که باد می وزد، مشکل است.

عیوب حاصل از این فرایند:

- ۱- اگر الکتروود با حوضچه تماس پیدا کند، باعث ایجاد عیب آخال تنگستنی می شود.
 - ۲- اگر حفاظت مناسب از نوک فلز پر کننده توسط گاز محافظ صورت نگیرد باعث عیب آخال فلزی در جوش می شود.
 - ۳- این فرایند به آلودگی و کثیف بودن فلز پایه و فلز پر کننده خیلی حساس است.
 - ۴- نشت آب از مشعلهای آب خنک باعث اکسید شدن و تخلخل در فلز جوش می شود.
- می تواند باعث ایجاد وزش قوس شود. - ۵DC در این فرایند همانند فرایندهای دیگر، استفاده از جریان

متغیرهای فرایند تیگ:

متغیرهای این روش عبارتند از: ولتاژ قوس (طول قوس)، شدت جریان، سرعت جوشکاری و گاز محافظ. مقدار انرژی حرارتی تولید شده توسط قوس الکتریکی به ولتاژ و شدت جریان بستگی دارد مقدار رسوب فلز جوش در واحد طول با سرعت جوشکاری نسبت عکس دارد. قوس الکتریکی با استفاده از گاز هلیوم نفوذ بیشتری نسبت به گاز آرگون ایجاد می نماید. (بخاطر ولتاژ یونیزاسیون بالاتر گاز هلیوم)

شدت جریان الکتریکی:

بطور کلی شدت جریان در قوس الکتریکی نفوذ جوش را کنترل می نماید. همچنین مقدار جریان بر روی ولتاژ قوس نیز تاثیر می گذارد. ولتاژ این فرایند می تواند با جریان مستقیم و جریان متناوب مورد استفاده قرار بگیرد. البته انتخاب نوع جریان به فلزی که جوشکاری می شود نیز بستگی دارد. جریان مستقیم با الکتروود منفی برای نفوذ زیاد و سرعت جوشکاری بالا استفاده می شود. مخصوصاً هنگامیکه از گاز هلیوم به عنوان گاز محافظ استفاده می شود. هلیوم گزینه مناسبی برای جوشکاری مکانیزه و جوشکاری فلزاتی که دارای قابلیت هدایت حرارتی بالایی هستند می باشد. جریان متناوب عمل تمیزکاری کاتدی را فراهم می کند. اگر اکسیدهای مقاوم و سخت بر روی فلزات مورد جوشکاری وجود داشته باشد توسط تمیزکاری کاتدی برداشته می شود و باعث ایجاد جوش سالم و مناسب می شود. در اینگونه موارد باید از گاز محافظ آرگون استفاده شود. زیرا گاز هلیوم باعث عمل تمیزکاری لایه های اکسیدی نمی شود. گاز آرگون گزینه مناسبی برای جوشکاری دستی با جریان مستقیم و جریان متناوب می باشد. سومین گزینه در منبع نیرو برای جوشکاری استفاده از جریان مستقیم با الکتروود مثبت می باشد. این

قطبیت به ندرت استفاده می شود. زیر باعث گرمای بسیار زیادی در نوک الکتروود می شود که ممکن است منجر به ذوب شدن آن گردد

ولتاژ قوس:

مقدار ولتاژ بین الکتروود تنگستنی و سطح کار، ولتاژ قوس نامیده می شود. ولتاژ قوس متغیری می باشد که تحت تاثیر موارد زیر می باشد:

- ۱- جریان قوس
- ۲- شکل و حالت نوک الکتروود تنگستنی
- ۳- فاصله بین نوک الکتروود و سطح کار
- ۴- نوع گاز محافظ

طول قوس در این فرایند بسیار مهم است زیرا بر روی پهنای و عرض حوضچه جوش تاثیر می گذارد. پهنای حوضچه جوش به طول قوس بستگی دارد به همین خاطر در بیشتر موارد طول قوس مورد نظر باید کوتاهترین حد ممکن باشد. البته اگر طول قوس بسیار کوتاه باشد احتمال برخورد الکتروود و سیم و شدت DCEN جوش با هم و یا با حوضچه مذاب وجود دارد. یک مورد استثنا وجود دارد و آن در جوشکاری مکانیزه با استفاده از گاز هلیوم و جریان جریان زیاد امکان فرو بردن الکتروود در مذاب و مخفی شدن آن جهت تولید نفوذ عمیق امکان پذیر می باشد. اما باید بصورت جوشی با عرض باریک و سرعت زیاد انجام شود که این تکنیک قوس مخفی نامیده می شود. وقتی که از ولتاژ قوس برای کنترل طول قوس در کاربردهای حساس استفاده می شود باید به متغیرهای دیگر که بر روی ولتاژ اثر می گذارند توجه داشته باشیم. در راس همه عیوب، آخالهای توسط الکتروود و گاز محافظ، تغذیه نامناسب سیم جوش و تغییر دمای الکتروود و فرسایش و سائیدگی الکتروود قرار دارد.

سرعت پیشروی:

سرعت پیشروی بر روی نفوذ و عرض گرده جوش در جوشکاری تیگ تاثیر می گذارد. اگرچه تاثیر آن بیشتر بر روی پهنای جوش دیده می شود تا در نفوذ جوش. سرعت پیشروی بخاطر تاثیراتی که بر قیمت و هزینه دارد بیشتر مورد اهمیت می باشد. در بعضی موارد و کاربردها، سرعت پیشروی به عنوان یک هدف با متغیرهای انتخاب شده دیگر، برای بدست آوردن ظاهر جوش مورد نظر در همان سرعت تعریف شده است. در موارد دیگر پیشروی ممکن است یک متغیر وابسته باشد که برای بدست آوردن کیفیت جوش و تناسب مورد نیاز تحت بهترین حالت ممکن با دیگر متغیرها انتخاب شود. صرف نظر از موارد دیگر هنگامی که دیگر متغیرها نظیر جریان یا ولتاژ برای کنترل جوش تغییر می کند سرعت پیشروی عموماً در جوشکاری های مکانیزه ثابت است.

تغذیه سیم جوش:

در جوشکاری دستی، نحوه اضافه کردن فلز پر کننده به حوضچه مذاب بر تعداد پاس های مورد نیاز و ظاهر تمام شده جوش تاثیر می گذارد. در ماشینها و دستگاههای اتوماتیک سرعت تغذیه سیم، مقدار رسوب فلز جوش را به ازای طول جوش تعیین می کند. کم کردن سرعت تغذیه سیم مقدار نفوذ را بالا می برد و حد فاصل مهره ها را پهن و مسطح می کند. تغذیه کردن بسیار کند و آرام سیم جوش می تواند باعث ایجاد خوردگی کناره ترک در خط مرکزی جوش و عدم پر شدن اتصال می شود. بالا بودن سرعت تغذیه سیم، نفوذ را کم نموده و گرده جوش را (Under Cut) جوش محدب می کند.

تجهیزات مورد نیاز:

شامل منبع نیرو، مشعل، الکترود و گاز محافظ می باشد. سیستم مکانیزه ممکن است دارای کنترل های ولتاژ قوس، GTAW تجهیزات مورد نیازنوسان دهنده عرضی قوس و سیستم تغذیه سیم باشد.

شعله های جوشکاری:

مشعل های تیگ، الکترود تنگستنی را که رسانای جریان الکتریکی به قوس است را در خود نگه می دارد همچنین عامل رساندن گاز محافظ به منطقه قوس و حوضچه مذاب می باشد. مشعل ها با توجه به ظرفیت حمل حداکثر جریان جوشکاری بدون گرم شدن زیاد سنجیده می شوند و تقسیم بندی ظرفیت حمل جریان مشعل ها در جدول آمده است. بیشتر مشعل ها با توجه به تطابق آنها با درجه و سایز الکترود در مدل ها و اندازه و سایز مختلفی طراحی شده است. بیشتر مشعلهایی که کاربرد دستی دارند دارای زاویه سر مشعل ۱۲۰ درجه (زاویه بین الکترود و دسته مشعل) می باشند. همچنین مشعل هایی با زاویه سر قابل تنظیم و مشعلهای مستقیم (مدادی) و با زاویه سر ۹۰ درجه نیز وجود دارند. اغلب مشعلهای تیگ دستی دارای کلید یا شیر خروجی گاز بر روی دسته مشعل بوده و برای کنترل جریان الکتریکی و جریان گاز محافظ بکار می روند. مشعلهایی که برای جوشکاری تیگ ماشین یا اتوماتیک هستند معمولاً بر روی دستگاه یا ربات نصب می شوند و در مسیر اتصال به مشعل حرکت طولی و عرضی می دهند و در بعضی موارد فاصله مشعل با سطح کار را نیز تغییر می دهند.

مشعلهای با گاز خنک شونده (هوا خنک):

حرارت تولید شده در مشعل در هنگام جوشکاری توسط سیستمهای آب خنک یا هوا خنک دفع می شود. در این مشعلهای هواخنک عمل خنک شدن توسط گاز محافظ خنکی که از میان مشعل عبور می نماید انجام می



شود. ظرفیت حمل بار الکتریکی مشعلهای گاز خنک پایین بوده و حداکثر تا ۲۰۰ آمپر جریان مورد استفاده قرار می گیرند.

مشعلهای آب خنک :

مشعلهای آب خنک توسط جریان آبی که از داخل سر مشعل جریان دارد خنک می شوند. آب خنک کننده از میان شیلنگ ورودی وارد مشعل می شود و در میان مشعل به گردش در می آید و از شیلنگ خروجی خارج می شود. کابل جریان الکتریکی از منبع نیرو تا مشعل معمولاً از میان شیلنگ خروجی آب خنک کننده می گذرد. مشعلهای آب خنک برای استفاده با جریان جوشکاری بالاتری نسبت به مشعلهای هوا خنک و در یک سیکل کاری مداوم طراحی شده اند. بطور معمول می توان از شدت جریانی تا ۵۰۰ آمپر استفاده نمود هرچند در بعضی مشعلها تا ۱۰۰۰ آمپر ظرفیت حمل بار وجود دارد. در بیشتر جوشکاریهای ماشینی و اتوماتیک از مشعلهای آب خنک استفاده می گردد. مشعلهای آب خنک گرمای خود را به آبی می دهند که از میان آنها جریان دارد و خنک می شوند. آب در یک سیستم بسته که شامل پمپ و یک رادیاتور خنک کننده و مخزن می باشد جریان دارد و گرمای جذب شده از مشعل را به محیط منتقل می نماید. ظرفیت این سیستم تا ۵۰ گالن می باشد. با اضافه کردن ضد یخ می توان از یخ زدگی و خوردگی سیستم جلوگیری نمود. ضد یخ عمل روغنکاری پمپ را نیز فراهم می آورد.

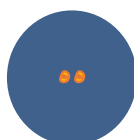
قطعات مشعل :

الکتروود گیر Collet:

الکتروود تنگستنی توسط الکتروود گیر در مشعل نگه داشته می شود. قطر الکتروود گیر باید با قطر الکتروود مصرفی برابر باشد. جنس این گیره ها معمولاً مشعل در جای خود محکم می شود بر روی الکتروود گیر فشار وارد نموده و الکتروود را محکم نگه خواهد داشت. (Cap) از مس می باشد. وقتی که دنباله به منظور انتقال مناسب جریان الکتریکی و خنک شدن الکتروود تنگستنی، اتصال خوب بین الکتروود و قطر خارجی و داخل الکتروود گیر ضروری است.

نازل گاز :

گاز محافظ توسط نازل که بر روی مشعل بسته می شود بر روی منطقه جوش متمرکز می شود. نازل گاز از مواد مختلف ضد حرارت، در شکلهای مختلف، قطر و طولهای مختلف ساخته می شود. نازلها به مشعل پیچیده شده یا به روش اصطکاکی جا زده می شود.



جنس مواد نازلها :

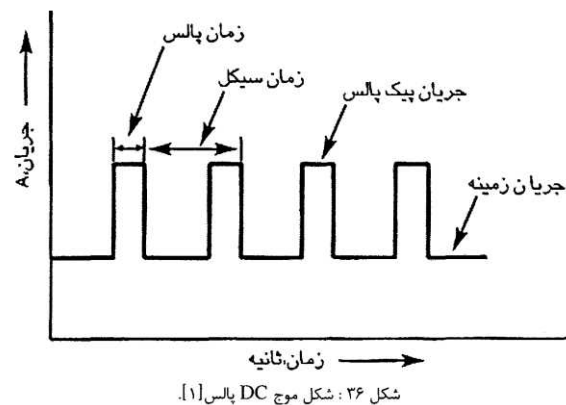
نازلها از سرامیک، فلز، سرامیک با روکش فلزی و کوارتز ممکن است ساخته شوند. نازلهای سرامیکی ارزانترین و پرکاربردترین نازلها هستند. اما شکننده بوده و اغلب بعد از مدتی کارکردن، باید تعویض شوند. نازلهای کوارتزی شفاف و شیشه ای بوده و اجازه دید بهتری از قوس و حوضچه مذاب را می دهند. اگرچه بخار فلزات که از حوضچه جوش بلند می شود می تواند باعث مات شدن نازل شود. نازلهای کوارتزی نیز بسیار شکننده می باشند. نازلهای آب خنک فلزی طول عمر بیشتری دارند و بیشتر برای جوشکاری ماشینی و اتوماتیک و جاییکه جریان جوشکاری از ۲۵۰ آمپر تجاوز می کند، استفاده می شود. نازلهای سرامیکی که دارای یک حلقه آلومینیومی در انتهای سطح بیرونی می باشند حرارت را سریعتر به محیط منتقل نموده و نسبت به نازلهای سرامیکی معمولی دارای طول عمر بیشتری می باشند. قطر نازل با توجه به حجم گاز محافظ و پوشش گازی نیاز به انتخاب می شود. اگر مقدار جریان نسبت به قطر نازل مصرفی بیشتر باشد باعث اغتشاش و تلاطم در گاز خروجی شده و راندمان محافظت کم می شود. مقدار جریان گاز بالا بدون اغتشاش و تلاطم به نازل با قطر بزرگتری نیاز دارد. مقدار گاز خروجی زیاد بر شدت جریان های بالا و وضعیتهای غیر از حالت تحت ضروری می باشد. انتخاب سایز و اندازه نازل، به قطر الکترود، شکل طراحی اتصال، جنس فلز پایه، نوع گاز مصرفی و آمپر مصرفی بستگی دارد. استفاده از نازل کوچکتر برای اتصالات شیار باریک دید بهتری از حوضچه را مهیا می کند. اگر چه استفاده از نازلهای خیلی کوچک ممکن است باعث تلاطم و آشفتهگی و فشار گاز خروجی شود و همچنین استفاده از نازلهای خیلی کوچک در اثر حرارت قوس الکتریکی می تواند باعث ذوب و خوردگی لبه نازل شود. نازلهای بزرگ حفاظت و پوشش گاز محافظ بهتری را نتیجه می دهد. مخصوصا برای جوشکاری فلزات فعال نظیر تیتانیوم بایستی از نازلهای بزرگتر استفاده شود. نازلها از نظر طول به شکل هندسی اتصال جوش و فاصله مورد نیاز بین نازل و جوش بستگی داشته و در اندازه های مختلفی در دسترس می باشد. نازلهای بلندتر عموما جریان گاز محافظ خروجی بهتری بدون تلاطم و متمرکز ایجاد می کنند. اکثر نازلهای گاز به شکل استوانه ای بوده و در بعضی از نازلها در مقطع انتهایی بصورت مخروطی می باشد. برای به حداقل رساندن آشفتهگی و تلاطم گاز محافظ نازلهایی که در قسمت میانی بصورت کروی می باشد، وجود دارد. همچنین نازلهایی وجود دارد که دهانه انتهایی آن بصورت صاف و کشیده بوده که برای جوشکاری تیتانیوم مناسب می باشد.

جوشکاری ضربانی در TIG :

یکی دیگر از سیستمهای مفید در جوشکاری TIG ، سیستم جوش ضربانی (PULSE TIG) می باشد . در این سیستم از دو جریان جوشکاری قابل تنظیم استفاده می شود ، که این دو جریان به نوبت یکی پس از دیگری ظاهر و عمل جوشکاری را انجام می دهند . جریان بالا ، جریان ضربان و جریان پایین جریان تنفس نامیده می شود .

نموداری از جوش ضربانی

توسط جوش ضربانی می توان به راحتی مقدار نفوذ خط جوش را تغییر داد . خط جوش در جریان ضربان بالا ذوب شده و در جریان ضربان پایین سرد می شود و بدین ترتیب خط جوش در هر ضربان بالا و پایین فرم مخصوصی به خود خواهد گرفت . تشکیل این فرم بستگی شدید به حالت جوشکاری و نوع فلز دارد به صورتی که هر چه فلز مورد نظر سریعتر سرد شود . می توان از مدت زمان کمتری در ضربان پایین استفاده نمود و بالعکس .

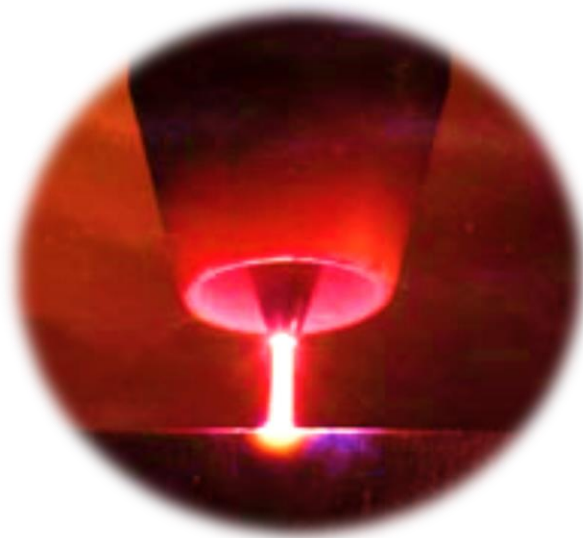


جوش ضربانی در سیستم MINILOGIG برای هرچه بهتر شدن فرم خط جوش باید سرعت مفتول دهی را توسط دست با سرعت ضربان بالا تطبیق داد . یکی دیگر از خصوصیات جوش ضربانی قابلیت جوش ورقهای بسیار نازک می باشد . زیرا در زمان جریان پایین از گرمای ورق کاسته و این عمل از تاب دیدگی ورق جلوگیری می کند .

جدول ۹: راهنمای عیب یابی و رفع نقص در فرآیند GTAW [۱].

نقص	دلیل احتمالی	رفع نقص
مصرف بیش از حد الکترود	۱- سرعت ناکافی گاز ۲- قطبیت معکوس ۳- سایر نامناسب الکترود برای جریان مورد نیاز ۴- گرمای بیش از حد در دستگیره ۵- آلودگی و ناخالصی الکترود ۶- اکسید شدن الکترود هنگام خنک شدن ۷- استفاده از گاز شامل اکسیژن یا دی اکسید کربن	۱- سرعت گاز را افزایش دهید ۲- از الکترود بزرگتر استفاده کنید یا قطبیت را مستقیم نمایید. ۳- از الکترود بزرگتر استفاده کنید. ۴- اتصالات الکترودگیر را بررسی کنید. ۵- قسمت آلوده را از بین ببرید. تا زمانی که مشکل قسمت آلوده برطرف نشود. شاهد بروز مشکلات خواهیم بود. ۶- برای حداقل ۱۰ تا ۱۵ ثانیه پس از توقف قوس، جریان گاز را قطع نکنید. ۷- از گاز مناسب استفاده کنید.
قوس غیر بالانس	۱- فلز پایه، آلوده یا روغنی است. ۲- اتصالات بسیار نازک هستند. ۳- الکترود آلوده است. ۴- طول قوس زیاد است.	۱- از پاک کننده های شیمیایی مناسب، برس سیمی یا سنباده استفاده کنید. ۲- پخی اتصال را باز کنید، الکترود را به کار نزدیک تر کنید. ولتاژ را کاهش دهید. ۳- قسمت آلوده الکترود را از بین ببرید. ۴- برای کوتاه کردن طول قوس، دستگیره الکترود را به کار نزدیکتر کنید.
تخلخل	۱- تجمع ناخالصی های گازی (هیدروژن، نیتروژن، هوا، بخار آب) ۲- شیلنگ گاز معیوب یا اتصال شیلنگ شل است. ۳- غشای روغن روی فلز پایه	۱- قبل از برقراری قوس، هوا و رطوبت داخل شلنگها را برطرف کنید. از گاز خنثی مناسب جوشکاری با ۹۹/۹۹٪ خلوص استفاده کنید. ۲- شیلنگ ها و اتصالات را بررسی کنید. ۳- از تمیزکننده های شیمیایی که آسیبی به قوس نمی رسانند استفاده کنید. هنگامی که فلز پایه مرطوب است هرگز جوشکاری نکنید.
آلودگی قطعه کار با تنگستن	۱- اتصال استارتینگ الکترود ۲- ذوب شدن و آمیختگی الکترود با فلز پایه ۳- اتصال تنگستن به حوضچه مذاب	۱- از استارتر با فرکانس بالا استفاده کنید. از صفحات مسی استفاده کنید. ۲- از جریان ضعیف تر یا الکترود بزرگتر استفاده کنید. از الکترود تنگستن توربوم دار یا زیرکنیم دار استفاده کنید. ۳- تنگستن را از حوضچه مذاب دور نگهدارید.

فرآیند جوشکاری قوس پلاسما Plasma Arc Welding(PAW)



به تناسب کاربرد دستی و اتوماتیک، پلاسماپیشنهادات سودمند زیادی در، تولید درمقیاس کوچک ودقت جوش، حجم زیاد فلز و درمجموع تجهیزات دارد. از سال ۱۹۶۴ که مقدمه ای برای صنعت جوشکاری بود، جوشکاری پلاسما براساس مزایای اصلی، کنترل ودقت باتولید جوشهایی با کیفیت بالا با استفاده از الکترودهای بادوام در کارهایی با حجم زیاد توسعه یافت. اکنون از پلاسما برای جوشکاری هر چیزی استفاده می شود: ازوسایل جراحی و آشپزخانه ازطریق صنایع غذایی گرفته تا تعمیر پره های موتور جت. درواقع پلاسما گازی است که در دمای خیلی زیاد، گرم و یونیزه شده بطوریکه هادی جریان الکتریکی می شود. فرایند جوشکاری قوسی پلاسما شبیه GTAW (جوشکاری بالکتروود تنگستنی به همراه گازمحافظ) است که ازپلاسما برای انتقال جریان الکتریکی لازم برای ایجاد قوس به قطعه کار استفاده می شود. قطعه کار بر اثر گرمای شدید قوس، گداخته و ذوب می شود. انواع فلزاتی که می توانند توسط پلاسما جوش داده شوند عبارتند از: فولاد ضدزنگ فلزات دیرگداز و دیگر فولادها: تیتانیم، تانتالیم، مس، برنج، طلا، نقره، الیازی از آهن و نیکل و کبالت (kovar) و Inconel, zircalloy

روش انجام کار:

پلاسما رسانای است که گاز بسیار گرم به زیاد دما و یونیزه می شود به طوری که آن را الکتریکی. مشابهی به GTAW (تیگ)، فرایند جوش قوس پلاسما با استفاده از این پلاسما انتقال قوس الکتریکی را به قطعه کار. فلز جوش داده شده است به ذوب قوس توسط گرمای شدید و فیوزهای با هم.

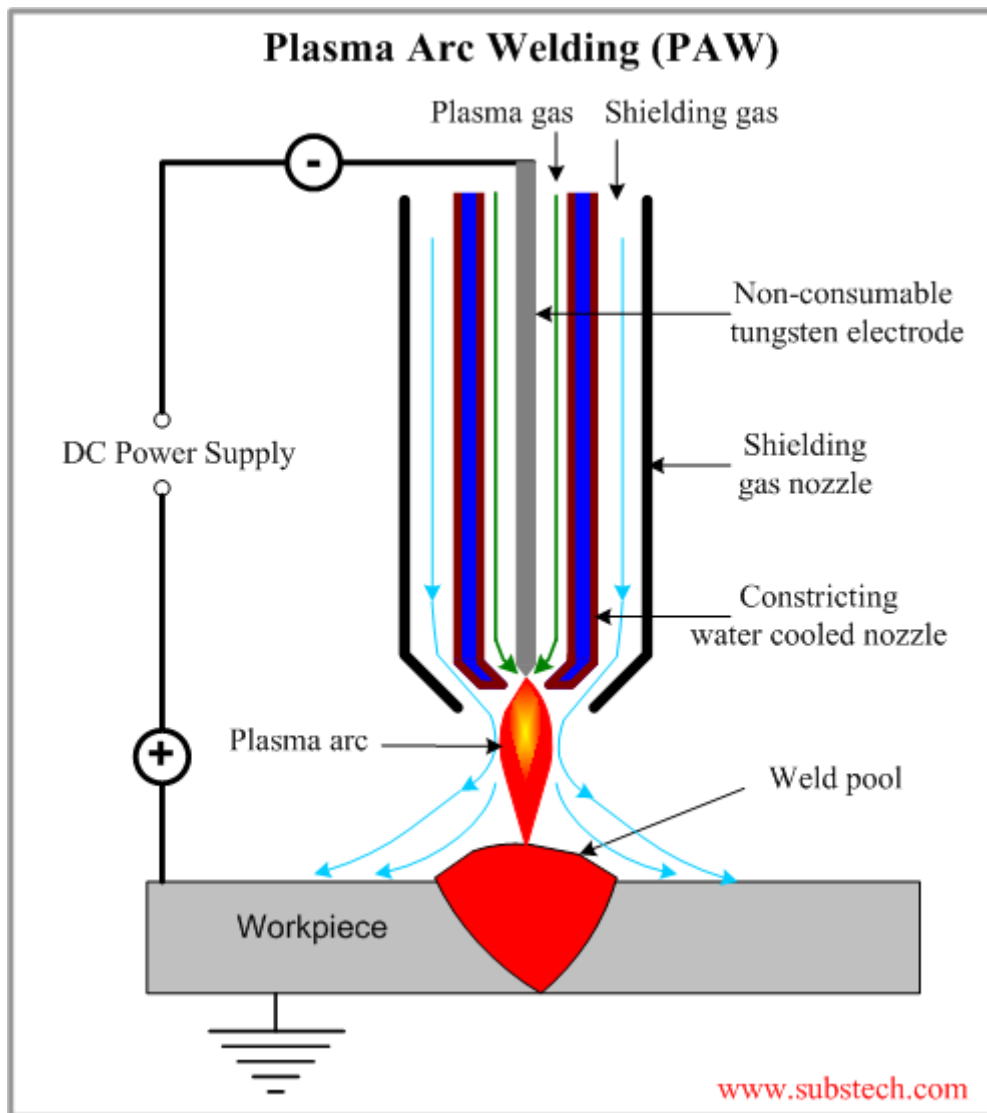
در مشعل جوشکاری پلاسما الکتروود تنگستن در درون نازل مس داشتن باز کوچک در نوک قرار دارد. قوس نوک آغاز فرآیندی است بین مشعل الکتروود و نازل. این قوس سپس به فلز منتقل می شود جوش داده شده.

با مجبور کردن گاز پلاسما و قوس از طریق سوراخ تنگ ، مشعل ارائه می شود با غلظت بالا از گرما به یک منطقه کوچک است. تجهیزات جوشکاری با عملکرد بالا ، فرایند تولید پلاسما welds فوق العاده با کیفیت بالا.

گاز پلاسما معمولاً آرگون. مشعل همچنین از گاز دوم ، آرگون ، آرگون / هیدروژن یا هلیوم که کمک می محافظ در گل آلود کردن جوش مذاب در نتیجه به حداقل رساندن اکسیداسیون جوش.

تجهیزات مورد نیاز جوشکاری پلاسما:

- منبع تغذیه
- پلاسما کنسول (گاهی خارجی ، گاهی در ساخته شده است)
- آب دوباره گردش را (بعضی اوقات خارجی ، گاهی در ساخته شده است)
- مشعل جوشکاری پلاسما
- مشعل لوازم جانبی (نکات ، سرامیک ، collets ، الکتروودها را به بالا gages)



منابع جریان:

از جمله منابع جریان مورد استفاده در جوشکاری پلاسما و یکسوسازهایی هستند که شیب نمودار آن نزولی مستقیم تا نزدیک به عمود است. برنامه های جریان با مزایایی نظیر TIG قابل استفاده است.

به منظور محدود کردن شدت جریان برای قوس کمکی (۲ تا ۱۰ آمپر) که الکتروود به قطب منفی وصل است، از یک منبع جریان مستقیم استفاده شده و یا ضمن استفاده جریان خروجی از مدار قوس اصلی از یک مقاومت نیز استفاده می شود.

تورچ پلاسما:

انواع و اقسام تورچ ها با توان و شکل های متفاوت برای مقاصد مختلف جوشکاری به تعداد زیاد از بازار قابل تهیه است چنانچه الکتروود به قطب منفی وصل شود استفاده از مشعلهایی با جریان بالاتر از A۴۰۰ توصیه می شود به منظور خنک کردن الکتروود های ضخیم تر در جوشکاری آلومینیوم که به قطب مثبت وصل است ، بایستی از تجهیزات خنک کننده استفاده شود .

ویژگی ها:

- ۱ - حفاظت الکتروود که زمان استفاده از آن را طولانی تر می کند
- ۲ - قابلیت جوشکاری با آمپراژ پایین (پایینتر از ۰,۰۵ A)
- ۳- پایداری و یکنواختی قوس و شروع آرام آن جوشهای مستحکمی تولید می کند.
- ۴ - پایداری قوس در هنگام شروع و آمپراژ پایین جوشکاری
- ۵ - حداقل صدای منتشره ، صدای زیاد فقط در هنگام شعله اولیه قوس و نه در تمام جوشها
- ۶ - امکان بالا بردن سرعت جوشکاری و اینکه چگالی انرژی قوس به ۳ برابر چگالی انرژی فرایند GTAW می رسد.
- ۷-زمان جوشکاری به کمتر از ۰,۰۰۵ ثانیه می رسد
- ۸ - چگالی انرژی از HAZ می کاهد و کیفیت جوش را افزایش می دهد.
- ۹ - طول قوس ، شکل و حتی توزیع حرارت آن از ویژگی های مهم آن است
- ۱۰ - قطر وضخامت قوس از طریق سوراخ نازل انتخاب می شود .

مزایا:

دلایل زیادی برای استفاده از جوشکاری پلاسما وجود دارد . اما می توان تمام آن را در سه قسمت اصلی خلاصه کرد:

۱-دقت:

معمولاً دقت جوش پلاسما نسبت به جوشهای معمولی TIG بیشتر است . (بخاطر داشته باشید که افزایش منبع قدرت می تواند قوسی متفاوت با قوس TIG بوجود آورد). پلاسما مزایای زیر را نسبت به جوشهای TIG متداول ارائه میدهد : ← پایداری و تمرکز قوس ← دامنه وسیع تغییر طول قوس ($\pm 5\% \text{ TIG}$ ، $\pm 15\% \text{ plasma}$)

۲- جوشکاری قطعات کوچک :

قابلیت استفاده از آمپراژ پایین (در بسیاری از منابع قدرت شدت جریان تا $A1/0$ پایین آورده می شود . ←
 پایداری قوس در شدت جریان های پایین ← انتقال آرام و آهسته (شروع قوس) بدون ایجاد صدای زیاد ←
 امکان کاهش زمان جوشکاری (برای خال جوشها ، تیوب ها ، guid wire و غیره) .

۳- تولید بالای جوشکاری : ← در این فرایند از الکتروده های با دوام می توان مدت زمان بیشتری نسبت به TIG و قبل از اینکه فاسد شوند از آنها استفاده کرد . در کل فرایند جوشکاری تمام مزایای منحصر بفرد پلاسما قابل مشاهده است .

کاربردها:

۱- جوشکاری قطعات کوچک : در فرایند پلاسما ، قوس می تواند آهسته و آرام و در عین حال ثابت و پیوسته در نوک سیم ها یا دیگر اجزای کوچک شروع شود و دوره زمانی دوباره کاری جوش را بسیار کوتاه کند . این خصوصیت در زمان جوشکاری اجزایی مانند : سوزنها ، سیم ها ، فیلامان های لامپها ، ترموکوپلها ، میله و ستون ها و حتی ابزارهای جراحی سودمند است .

۲- اتصال محکم قطعات : ابزارهای طبی و الکترونیکی اغلب بطور محکمی از طریق جوشکاری متصل می شوند . فرایند پلاسما این توانایی را دارد که : ← Heat in put را کاهش می دهد . ← قطعات حساس و ظریف و نزدیک بهم را جوش دهد . ← قوس را بدون ایجاد صدای الکتریکی ایجاد کند (صدای زیاد میتواند باعث آسیب های درونی الکتریکی شود) پلاسما در سنسورهای فشاری و الکتریکی ، اجزای الکترونیکی ، موتورها ، باتریها ، تیوب های کوچک در اتصالات / لبه دار کردن ، سوپاپها ، تجهیزات لبنیاتی ، میکروسوئیچها و غیره کاربرد دارد .

۳- ابزار برش و تعمیر قالب ها : در حالی که صنعت تعمیر در تلاش است که به شرکت هایی که می خواهند از اجزایی که دارای شکافهای باریک و فرورفتگی های ناشی از استفاده نادرست و فرسودگی ، دوباره استفاده کند کمک نماید ، منبع قدرت میکرو قوس جدید این توانایی را دارد که قوسی آرام با جریان پایین ایجاد کند و راهی موثر برای تعمیرات اصولی و عملیات حرارتی داشته باشد . از فرایند میکرو TIG و هم از میکرو پلاسما بعنوان ابزارهای برشی و تعمیر قالب ها استفاده می شود . برای لبه های بیرونی ، قوس در فرایند پلاسما پایداری بیشتری دارد و مستلزم داشتن مهارت زیادی در کنترل حوضچه مذاب نیست . در هنگام مواجه شدن با گوشه های درونی و شکافها ، الکتروده تنگستنی فرایند GTAW / TIG می تواند دسترسی به آنها را راحت تر کند

۴- جوشکاری تسمه های فلزی: فرایند پلازما این امکان را فراهم می کند که انتقال قوس بین قطعه کار و با کار کردن در لبه های اتصال جوش ثابت و پایدار باشد. در کاربرد های اتوماتیک، کنترل طول قوس در جوشهای بلند ضروری نیست و نیاز کمتری به تعمیر و نگهداری اجزای مشعل دارد. این فرایند مخصوصاً در کارهایی با حجم بالا و در جایی که مواد گازهایی به هوا منتشر می کنند و دارای سطوح آلوده هستند مناسب است

۵- جوشکاری نورد تیوب: تیوبها و لوله ها از نورد تیوب و با گرفتن تسمه های پیوسته و نزدیک کردن لبه های آن تا در محل جوش به هم برخورد کنند تولید می شوند. در این نقطه فرایند جوشکاری ذوبی و گداختن لبه های تیوب انجام می شود. بازده و کارایی نورد تیوب به سرعت و مجموع زمانهای صرف شده در جوشکاری بستگی دارد. در زمان ساخت نوردها همیشه میزان خاصی از آهن قراضه تولید می شود. بنابراین از مهمترین موضوعات برای کاربران نورد تیوب اینها هستند: «حداکثر سرعت قابل حصول در جوشکاری نورد تیوب» «کیفیت و استحکام مناسب جوش بخاطر پایداری قوس» «حداکثر زمان عمر نوک الکتروود جوشکاری تعدادی از نوردهای تیوب در جوشکاری پلازما به منظور بدست آوردن توأماً افزایش سرعت جوشکاری و بهتر کردن نفوذ جوش و افزایش عمر الکتروود بکار گرفته می شوند.

آماده سازی شکاف اتصال:

مناسب ترین شکاف اتصال برای اعمال جوشکاری پلازما شکاف I می باشد بدین ترتیب می توان ورق هایی تا ضخامت 10MM را جوش داد. برای جوشکاری ورق های ضخیم تر، بین دو قطعه به شکل Y آماده شده و طول دنباله آن 5MM محدود می شود. باقیمانده شکاف با استفاده از سایر روش ها نظیر روش TIG با سیم جوش کمکی سرد، روش MIG/MAG و روش زیر پودری پر می شود.

به منظور جلوگیری از ریزش و آویزان شدن مذاب ریشه، فاصله سطوح دنباله باید کم باشد

تکنیک های جوشکاری پلازما:

تکنیک فشار نفوذی:

در جوشکاری ورقها تا ضخامت 2/5mm یا به عبارتی در جوشکاری میکرو پلازما و در بخش پایینی ضخامت از جوشکاری پلازما ورقهای ضخیم، نظیر روش WIG، انرژی فقط در قالب انرژی متمرکز قوس به سطح کار تغذیه می شود. انرژی یاد شده از این نقطه به بعد در اثر پدیده هدایت گرمایی به نقاط پایین تر قطعه کار انتقال می یابد. جهت حوضچه مذاب نیز از بالا به پایین است. به علاوه مذاب حوضچه تحت فشار قوس الکتریکی نیز قرار گرفته که بواسطه آن قسمت ریشه جوش کمی برجسته می شود.

تکنیک سوراخ نفوذ :

در این روش که به سوراخ کلید نیز معروف است در ابتدای کار از ضخامت ورق عبور می کند . در صورتی می توان به این روش رسید که شدت جریان توسط یک برنامه زمان / جریان با تاخیر زمان افزایش یافته و مقدار پلاسما نیز متناسب و همزمان با شدت جریان افزایش یابد . حوضچه مذاب توسط پرتو پلاسما به اطراف پخش می شود . تنش سطحی باعث جلوگیری از ریزش آن می شود و بدین ترتیب مذاب در عقب جوش حلقه ، روان شده و منجمد می گردد . سوراخ ایجاد شده با کاهش شدت جریان و فشار گاز پلاسما مجدداً مسدود می گردد.

روش های مختلف جوشکاری پلاسما:

جوشکاری تشعشعی پلاسما WPS :

جوشکاری WPS با وصل الکتروود به قطب منفی و قوس الکتریکی غیر انتقالی انجام می شود . قوس الکتریکی بین الکتروود و ژینگلور ، گاز پلاسمایی پیشرو و خروجی از ژینگلور را کاملاً داغ می کند . بنابر این جریان گاز پلاسمای قابل دید رسانای جریان برق نبوده و از انرژی نسبتاً کمتری برخوردار است . از این روش بیشتر برای گرم کردن و برش مواد غیر رسانا و همچنین پاشیدن پلاسما و ترمیم سطح قطعات استفاده می شود .

جوشکاری قوسی پلاسما (WPL) :

در این روش به عکس روش بالا ، قوس الکتریکی ایجاد شده بین الکتروود و سطح کار با عبور از ژینگلور پلاسما همگرا و متمرکز می شوند . این قوس از یک طرف انرژی حرارتی خود را به حوضچه مذاب و از طرفی دیگر بواسطه انرژی جنبشی ذرات باردار یک توان اضافی به نقطه تماس قوس الکتریکی تزریق می کند ، به دلیل تمرکز انرژی بالا از این روش در جوشکاری پلاسما استفاده می شود . فلزاتی نظیر مس ، فولاد ، نیکل ، تیتانیوم ، زیر کونیوم را می توان در حالی که الکتروود تنگستن به قطب منفی وصل است از روش قوس پلاسما جوشکاری نمود .

قطب بندی مثبت الکتروود در جریان مستقیم یا در شدت جریانهای بالاتر و همچنین در جریان متناوب یا نمودار مستطیلی در روش جوشکاری پلاسما برای جلوگیری از اکسیداسیون آلومینیوم و منیزیم و برنزه های آلومینیوم استفاده می شود . در قطب بندی مثبت الکتروود به دلیل مشکلات خنک شوندگی استفاده از مشعل و الکتروود ویژه را طلب می کند قوس الکتریکی با قطب بندی بر عکس در لبه های کار بویژه در ابتدای خط جوش همیشه ثابت نیست .

جوشکاری قوس پلاسما - پرتو پلاسما (WPSL)

حاصل ترکیب WPS و WPL میباشد که در جوشکاری میکرو پلاسما و نیز جوشکاری اتصالی آلومینیوم بکار گرفته می شود . در این روش تقریباً از دو قوس موازی استفاده می شود و عمل تمیز کاری تحت گاز آرگون فقط در صورت اتصال قطعه کار به قطب منفی انجام میشود ؛ ژینگلور مسی در جوشکاری آلومینیوم نقش قطب مثبت قوسهای انتقالی و غیر انتقالی ایفا می کند

جوشکاری میکرو پلاسما :

از روش منابع جریان با رنج کاری $A_{0.5/0}$ تا A_{50} استفاده می شود . قطعات با ضخامت 0.1 تا 1 mm تقریباً یک میلیمتر می توانند جوشکاری شوند . بویژه در محدوده شدت جریان زیر یک آمپر استفاده از قوس همگرا از مزایای مطلوبی نسبت به قوس TIG برخوردار است قوس مربوط در شدت جریان خیلی کمتر نیز هنوز پایدار است.

جوشکاری ورق ضخیم پلاسما :

ضخامت های مورد استفاده در این روش از 1 تا 10 mm است ، به عبارتی در شدت جریان A_{40} و A_{350} . البته بکار بردن جوشکاری ورق ضخیم صحیح نیست . البته نامیدن این بخش از جوشکاری به دلیل متمرکز ساختن آن از جوشکاری میکروپلاسما می باشد .

جوشکاری سیم داغ پلاسما :

در این روش از یک تورچ پلاسما توام با قوس انتقالی استفاده شده که مواد کمکی جوشکاری در قالب سیم از سمت عقب مشعل به حوزه جوش تزریق می شود مواد کمکی به صورت دو رشته سیم به قطر $6/1$ mm که روی دو عدد قرقره مجزا پیچیده شده اند ، به روش مقاومتی تا مرز سرخ شدن پیش گرم شه و سپس در حوزه جوش

درون قوس ذوب می شوند . در اینجا تورچ با حرکت پاندولی خود گرده جوشی به عرض ۳۰ تا ۶۰ mm را روی سطح کار ایجاد خواهد کرد . در اینجا ماهیت ذوب و چگونگی اختلاط درون جوش را به دلخواه تحت کنترل در آورد ، زیرا شدت جریان درون مشعل و شدت جریان مورد نیاز مرحله پیش گرم سیم جوش ها بایستی جداگانه تنظیم و رگلاژ شوند.

قوس جوشکاری (TIG / GTAW چپ) و پلاسما (راست)

در مشعل جوشکاری پلاسما الکتروود تنگستنی دریک نازل مسی که در نوک آن دریچه ی کوچکی وجود دارد قرار می گیرد . شعله قوس ابتدا میان مشعل الکتروود و نوک نازل بوجود می آید و سپس قوس ایجاد شده به قطعه کار منتقل می شود. گاز پلاسما و قوس دریک مسیر با یک منفذ محدود شده باهم برخورد می کنند و مشعل یک گرمای فشرده و متمرکز با دمای بالا به قسمت کوچکی اعمال می کند . با این فرایند تجهیزات جوش پلاسما کارایی بالایی دارد که قادر است جوشهایی با کیفیت خیلی خوبی تولید کند . در جوشکاری موادی که در زمانی که گرم می شوند تمایل به خروج گاز دارند، الکترودهایی که محافظت می شوند کمتر در معرض آلودگی و فساد قرار می گیرند . این امر باعث طولانی تر شدن عمر الکتروود و افزایش زمان نگهداری الکتروود می گردد. (معمولاً ۸/۱ ساعت) گاز پلاسما معمولاً از گاز آرگون است و مشعل نیز از گاز دومی (آرگون، آرگون/ هیدروژن و یا هلیوم) برای کمک در محافظت حوضچه جوش استفاده می کند تا اکسیداسیون را کاهش دهد . سوراخ نازل با در نظر گرفتن اندازه مهره جوش انتخاب می شود تا قطر و ضخامت قوس بر اساس آن کنترل شود . تجهیزات اضافی لازم برای جوشکاری پلاسما شامل : ۱- منبع قدرت ۲- consol پلاسما (درونی یا بیرونی) ۳- دستگاه گردش آب (درونی یا بیرونی) ۴- مجموعه مشعل فرعی جوش پلاسما (نوک ها، سرامیک ها، گیره و دستگاه اندازه گیری نصب الکتروود) شروع و انتقال قوس پلاسما آرام و پیوسته و یکنواخت است که این امر در جوش صفحات نازک و سیم های باریک و اجزای کوچک مناسب است . شکل و طول قوس و توزیع حرارت پلاسما، فاصله بحرانی گریز جوش را نسبت به حالت GTAW کمتر می کند . تقریباً در تمام کاربردها به کنترل اتوماتیک ولتاژ (AVC) نیازی نیست . پایداری بالای قوس در طی جوشکاری از وزش و انحراف قوس می کاهد و اپراتور را قادر می سازد از وسایل شروع کننده قوس در نزدیکی و مجاورت محل اتصال جوش برای نفوذ بهتر حرارت استفاده نماید . چگالی انرژی قوس در پلاسما در حدود ۳ برابر انرژی قوس GTAW است که از شکستگی و تغییر شکل جوش واز (H . A . Z) می کاهد که این امر باعث ریزدانه شدن جوش و افزایش سرعت جوشکاری می شود. (این جوش در کمترین ۰,۰۰۵ ثانیه کامل می شود) جریان اولیه کمتر از ۱ آمپر می تواند دقت جوشکاری اجزای کوچک و کنترل بهتر جوش را در جوشکاری لبه ای شیب دار را در بر داشته باشد . در هنگام شروع قوس منبع قدرت پلاسما، کمترین صدا را تولید می کند و پلاسما می تواند از تجهیزات کنترل

عددی (NC) بدون دخالت الکتریکی استفاده کند. این امر همچنین در درز گیری با جوش اجزای الکترونیکی بر خلاف فرایند GTAW که با دخالت الکتریکی ممکن است آسیب هایی به اجزای حساس الکترونیکی درونی وارد کند، استفاده می شود. منبع پلاسما دامنه وسیعی از فرکانس برای کاربردهای پالسی در اختیار ما قرار می دهد که گاهی اوقات این فرکانسها به بالاتر از ۱۰ Khz می رسد. جوشکاری پلاسما کاربردهای فراوان و گوناگونی دارد. بطور کلی برش و تعمیر قالب ها در صنعت با استفاده از پلاسما در حال رشد است. منبع قدرت میکرو قوس این توانایی را دارد که قوسی با جریان پایین ایجاد کند و راهی موثر برای تعمیر و شکافهای کم و جزیی و گودی های ناشی از استفاده نادرست و فرسودگی و تعمیر اصولی و عملیات حرارتی داشته باشد. برای جوش لبه های بیرونی فرایند پلاسما به استفاده از طول قوسی بلندتر و پایدار که به مهارت زیادی در کنترل حوضچه ندارد نیاز توصیه می کند. در مواجهه با گوشه های درونی شکاف ها، الکتروود تنگستنی GTAW/TIG می تواند انجام فرایند جوش را بهتر کند. در جوشکاری تسمه ها توسط پلاسما انتقال قوس به قطعه کار با کار کردن بر روی لبه های اتصال بطور پیوسته صورت می گیرد. در کاربرد های اتوماتیک در جوشهای طویل و بلند نیازی به کنترل فاصله نیست و این فرآیند نیاز کمتری به تعمیر اجزای مشعل دارد. تیوب و لوله از نورد تیوب و بوسیله رولهای فرم دهنده مواد و جوشکاری لبه ای در محل جوش تولید می شوند. کارایی و بازده نورد تیوب به سرعت جوشکاری و مجموع زمان های صرف شده در جوشکاری بستگی دارد. جوشکاری پلاسما ویژگی های مهم و سودمندی دارد. برای مثال: افزایش سرعت جوشکاری تیوب، جوشهایی با کیفیت مناسب بخاطر پایداری و ثبات قوس و افزایش عمر نوک الکتروود را می توان نام برد.

جوشکاری: MIG پلاسما

این پدیده حاصل تلفیق جوشکاری MIG و جوشکاری پلاسماست قوس پلاسمایی ایجاد شده بین الکتروود حلقوی مسی و سطح کار توسط یک ژینگلور مسی اضافه و یک گاز متمرکز کننده (Fokussiergas) همگرا شده و به نقطه مورد نظر هدایت می شود. الکتروود سیم جوش MIG که با ژینگلورها از یک منبع مشترک تغذیه می شوند و هر دو قطب مثبت وصل هستند، از میان هر دو ژینگلور عبور داده می شود. ژینگلور بعدی وظیفه هدایت جریان گاز محافظ به سمت حوزه جوشکاری و محافظت حوضچه مذاب در برابر پدیده اکسیداسیون راعهده دار است. با استفاده از این مکانیزم ژینگلوری، از دو نوع گاز یا به عبارت دیگر از یک مخلوط گازی کمک گرفته می شود. از گاز آرگون به عنوان پلاسما استفاده می شود، زیرا سایر گازها در این راستا از هیچگونه مزایایی برخوردار نبوده اند. از آرگون خالص و همچنین از مخلوط هلیوم و آرگون به عنوان گاز محافظ استفاده می شود.

مزایای جوشکاری MIG پلاسما در مقایسه با جوشکاری پلاسما و جوشکاری MIG :

- ۱ - توان ذوب بالاتر به دلیل مرحله پیش گرم سیم جوش توسط قوس پلاسما
- ۲ - قابلیت کنترل و محتوای انرژی حرارتی درون قطعه کار در رنج معین و جدا از هم
- ۳ - مناسب خیلی خوب از این روش برای =جوشکاری مواد آلومینیومی به واسطه تبخیر حوضچه
- ۴ - اتلاف سوختگی کمتر بواسطه وجود حرارت درجه کمتر

جوشکاری میگ ، مگ

GMAW : Gas metal Arc welding

MIG : metal Inert Gas

MAG : metal Active Gas



مقدمه :

۱۹۷۰ میلادی) توسعه و پیشرفتهای چشمگیری در تکنولوژی جوش کاری و برش کاری رخ داد. فرآیندهای

جوش کاری - در شروع دهه هشتاد (۱۹۸۰

میگ ، مگ بصورت جدی پایه ریزی شد و جایگزین جوش کاری با الکتروود دستی گردید.

با یک نگاه به فرایندهای جوش کاری معمول نظیر جوشکاری زیر پودری ، جوشکاری با قوس الکتریکی دستی و جوشکاری میگ ، مگ راحتی می توان

دریافت که از اواسط دهه ۱۹۷۰ میلادی کاهش چشمگیری در استفاده از جوش کاری قوسی با الکتروود دستی افزایش در استفاده از جوش کاری قوسی

با گاز محافظ میگ ، مگ در سراسر دنیا بوجود آمده است.

هم اکنون جوش کاری میگ ، مگ بیشترین کاربرد را در اروپای غربی ، ژاپن و ایالات متحده آمریکا دارد. استفاده از این فرآیند در آینده نیز توسعه و

پیشرفت خواهد داشت.

تحقیقات در زمینه این فرآیند ، منجر به ابداع روش جوش کاری با نرخ رسوب بالا با نام

FCAW (Flux cored Arc welding) شده است. هم اکنون از سیم های تو پودری بصورت گسترده ای

استفاده می گردد FCAW TIME

جوش کاری قوسی با گاز محافظ و الکتروود مصرف شدنی اغلب به نام جوش کاری GMAW جوش کاری قوسی با گاز محافظ و الکتروود مصرف شدنی

میگ ، مگ معروف است. در این فرآیند ، حرارت لازم برای ذوب فلز پایه و الکتروود از طریق تشکیل قوس الکتریکی بین آنها تأمین می گردد. الکتروود در

این فرآیند سیمی است که بصورت دائم و با یک سرعت معین به حوضچه جوش تغذیه می گردد و بعنوان فلز پر کننده مصرف می گردد.

قوس الکتریکی حوضچه جوش و مناطق حرارت دیده اطراف توسط یک گاز محافظ یا مخلوطی از گازها که از سر مشعل خارج می شود محافظت می

گردد. گاز محافظ باید به طور کامل فلز جوش را محافظت نماید. ورود هوا می تواند باعث آلودگی فلز جوش شود.

مزیت فرآیند میگ ، مگ :

مزیت اصلی این فرآیند نسبت به جوش کاری قوس الکتریکی دستی ، سرعت بیشتر و نرخ رسوب بالاتر می باشد که اساساً مربوط به پارامترهای زیر می باشد

الف) تغذیه سیم بطور مداوم است. بطوری که نیاز به وقف جوش کاری جهت تعویض الکترود نمی باشد. در صورتی که جوش کاری با الکترود دستی نیاز به توقف برای تعویض الکترود می باشد.

ب) (FCAW) در این فرآیند نیاز به برطرف کردن سرباره از سطح جوش نمی باشد (بجز

زیرا سرباره ای وجود ندارد. در صورتی که در جوش کاری با الکترود دستی ، سرباره بایستی از سطح جوش برطرف گردد.

ج) استفاده از سیم جوش با قطر کمتر نسبت به الکترود جوش کاری دستی در این فرآیند به شدت جریان بیشتری نیاز است و در نتیجه نرخ رسوب جوش بیشتری انجام می گیرد.

د) در این روش هیدروژن کمتری جذب فلز جوش می شود که برای فولادهای حساس به ترک هیدروژنی امری مهم می باشد.

و) امکان جوشکاری ورقهای کمتر از ۲ میلیمتر وجود دارد.

ه) این فرآیند قابل اتومات شدن می باشد.

ز) آموزش جوش کاری در این فرآیند نیاز به زمان کمتری دارد.

معایب فرآیند میگ ، مگ :

الف) تجهیزات جوش کاری این فرآیند پیچیده تر بوده ، قیمت بالاتری داشته و کمتر قابل حمل و نقل می باشد.

ب) در این فرآیند مشعل بایستی همواره به سطح قطعه کار نزدیک باشد بنابراین جوش کاری محلی هایی که دسترسی به آن مشکل است ، قابلیت

جوش کاری میگ ، مگ را نسبت به روش الکترود دستی کمتر می نماید.

ج) در این فرآیند احتمال ترک در جوش کاری فولادی قابل سخت شدن وجود دارد چون سرباره ای وجود ندارد تا سرعت سرد شدن را کاهش دهد.

د) در جوش کاری میگ ، مگ نیاز به حفاظت قوس در مقابل جریان باد می باشد. زیرا وزش باد باعث پراکنده شدن گاز محافظ از سطح حوضچه جوش و در نتیجه آلودگی فلز جوش می گردد.

قابلیت کار :

در تمام فرآیندهای میگ ، مگ سیم جوش بطور اتوماتیک از میان مشعل با سرعت از پیش تنظیم شده ای ، خارج می شود. به همین خاطر این فرآیند

نمی تواند بعنوان فرآیند دستی باشد و بیشتر صورت نیمه اتومات و اتوماتیک (با ماشین یا ربات) مورد استفاده قرار می گیرد. در جوش کاری نیمه اتوماتیک ، تجهیزات دستگاه فقط سرعت سیم جوش را کنترل نموده و مشعل توسط جوش کار هدایت می گردد. شروع و توقف سیم جوش ، گاز محافظ ، جریان الکتریکی توسط جوش کار کنترل می شود. در جوش کاری ماشینی ، تجهیزات کاملاً مکانیزه هستند و جوش کار فقط کنترل ظاهری جوش را بر عهده دارد. در جوش کاری اتوماتیک تجهیزات و دستگاه کاملاً مکانیزه بوده و بطور اتوماتیک کنترل می شود. بطوری که جوش کار هیچ نقشی در انجام کار ندارد.

– متغیرات فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ:

متغیرات فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ روی نفوذ جوش ، شکل درز جوش و کلاً کیفیت جوشکاری تأثیر گذارند. این متغیرات عبارتند از:

۱- جریان جوشکاری (سرعت تغذیه سیم جوش)

۲- قطبیت

۳- طول قوس

۴- سرعت حرکت

۵- امتداد الکترود

۶- موقعیت الکترود و اتصالات

۷- ضخامت الکترود

۸- سرعت و ترکیب گاز محافظ

این متغیرات مستقل از یکدیگر نیستند و تغییر در یکی از آنها باعث تغییر در همه عوامل می گردد.

اصول کار :

نحوه جوش کاری میگ ، مگ بطور قابل ملاحظه ای با جوش کاری قوس الکتریکی دستی متفاوت است. روکش الکتروود در جوش کاری قوسی با الکتروود دستی دارای مواد اکسید زدا و بعضی عناصر آلیاژی است که کیفیت و سالم بودن جوش و خواص مکانیکی آن کمک می کند. روپوش الکتروود علاوه بر ایجاد سرباره که سطح جوش را محافظت می کند. در هنگام سوختن ، گاز محافظتی بوجود می آورد که عناصر مضر هوا را از اطراف جوش به کنار می زند. روکش با ایجاد یون های که به پایداری قوس کمک می کند ، می تواند قوس را کنترل نماید و در انتقال فلز در حالات مختلف جوش کاری تأثیر گذار باشد.

در جوش کاری میگ ، مگ تمام اهداف مشترک بوده اما با یک اختلاف جزئی بدست می آید. اولاً قوس مطلوب با کنترل نسبی ولت ، آمپر با گاز محافظ مصرفی بدست می آید. دوم عناصر فلزی که میل ترکیبی بیشتری به عنصر اکسیژن نسبت به فلز آهن دارند ، جهت اکسید زدایی ، خواص مکانیکی و فیزیکی مطلوب و جوش سالم به سیم الکتروود اضافه می شوند. در نهایت اکسیژن توسط عناصر موجود در سیم جوش در فعل و انفعالات قوس و حوضچه مذاب جذب می شود

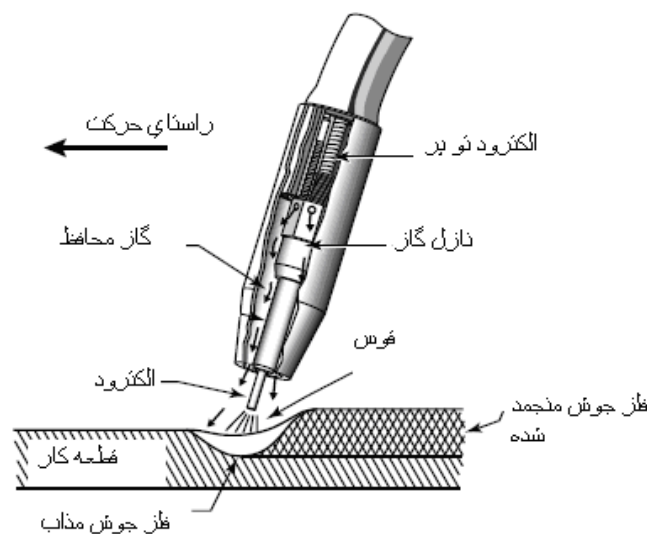
تجهیزات فرایند جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ:

روش جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ توانایی بالایی در انعطاف پذیری برای پذیرش شرایط متفاوت، انواع متنوع آلیاژ و ضخامت مواد اولیه جوش را دارد:

۱- میزان ضخامت ماده اولیه که قرار است جوش داده شود، قطر الکتروود مناسب و محدوده ی جریان مناسب را تعیین می کند.

۲- انتخاب گاز محافظ در انتخاب نوع انتقال مذاب و همچنین شکل پایانی جوش مؤثر است. رابطه نزدیکی بین سرعت تغذیه سیم جوش و جریان مورد نیاز برای ذوب سیم جوش، به منظور نگهداری طول قوس تعادلی وجود دارد. بدین ترتیب در این روش برخلاف فرآیند جوشکاری با الکتروودهای روپوش دار، می توان از سیم جوش هایی با قطر مساوی اما در محدوده وسیعی از جریان های جوشکاری استفاده کرد و یا بالعکس در جریان ثابت، سیم جوش هایی با قطرهای متفاوت به کار برد. به عنوان مثال، هنگام استفاده از سیم جوش هایی با قطر کمتر، نسبت به سیم جوش هایی با قطری بیشتر در یک جریان خاص باید سرعت تغذیه بالاتری در نظر گرفت، بنابراین طراحی تجهیزات فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ تعیین کننده اندازه سیم جوشی است که مورد استفاده

قرار می گیرد . به طور کلی یک مجموعه کامل تجهیزات جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ ، شامل منبع تغذیه، واحد تغذیه سیم جوش، واحد کنترل جوشکاری، مشعل جوشکاری، سیستم تغذیه گاز، کابل ها و شیلنگ ها می باشد. تجهیزات جوشکاری باید با ملزومات هر فرآیند کاملاً هماهنگ باشند. ولتاژ مدار باز، سرعت تغذیه و خصوصیات استاتیک و دینامیک همه باید با طرح قطعات جوش و اندازه الکترود همخوانی داشته باشند. همچنین باید لوازم یدکی و جانبی مورد نیاز برای حالت انتقال فلز انتخابی و اندازه ملزومات نیز مدنظر قرار گیرند.



شکل ۹-۱- نمونه ای از تفنگ گلوبی خمیده نیمه اتوماتیک برای جوشکاری با گاز محافظ

مشعل جوشکاری

وظایف اصلی مشعل جوشکاری هدایت الکترود و گاز محافظ به منطقه جوش و انتقال نیروی الکتریکی (جریان) به الکترود می باشد. مهم ترین قسمت های مشعل، مجرای اتصال، نازل گاز محافظ و کلید شروع و پایان جوشکاری می باشد.

الف) مجرای اتصال:

مجرای اتصال وظیفه انتقال نیروی الکتریکی به الکترود و هدایت الکترود به سمت قطعه کار را دارد و از طریق کابل جریان، به منبع تغذیه متصل است. سطح داخلی مجرای انتقال باید شرایط مناسبی داشته باشد، چرا که ضمن ایجاد تماس الکتریکی خوب، الکترود نیز باید به راحتی از طریق آن تغذیه شود. با توجه به اندازه الکترود و موادی که جوشکاری می شوند، اندازه مناسب مجرای اتصال انتخاب می شود. مجرای اتصال باید در جای خود

کاملاً محکم و دقیقاً در مرکز نازل گاز محافظ قرار گرفته باشد. کارکرد مناسب مجرای اتصال متأثر از عوامل مختلفی است که به برخی از آنها اشاره خواهد شد:

- ۱- طول قوس و فاصله مجرای اتصال از قوس
 - ۲- دانسیته‌های جریان بالا
 - ۳- جرقه و پاشش داخل مجرا و جرقه‌های چسبیده به بیرون آن
 - ۴- پوشش ناهمگن سیم جوش و وجود شیار روی سطح آن
 - ۵- ناخالصی‌هایی که روی سیم جوش در اثر اکسیداسیون، خوردگی، باقیمانده‌های فرآیند ساخت سیم جوش ناشی از سیستم تغذیه سیم جوش به وجود آمده‌اند.
 - ۶- تغییر شکل مقطعی از سیم جوش
 - ۷- خمیدگی و موج دار بودن سیم جوش
 - ۸- جرقه زنی قوس در نوک مجرای اتصال و سیم جوش به جای سیم جوش و قطعه کار (تماس بین سیم جوش و قطعه کار بهتر از تماس بین سیم جوش و مجرای اتصال است).
 - ۹- میزان طول مؤثر الکتروود (کاهش بیش از اندازه این طول موجب برگشت قوس و افزایش حرارت قوس می‌شود).
- با توجه به عوامل ذکر شده واضح است که کیفیت سطحی و خلوص سیم جوش، دانسیته جریان و دمایی که در مجرای اتصال ایجاد می‌شود اثرات مهمی بر پایداری قوس و عمر مجرای اتصال دارد. موادی که برای ساخت مجرای اتصال استفاده می‌شوند باید دارای شرایط زیر باشند:

- ۱- هدایت الکتریکی بالا
- ۲- سختی بالا به منظور کاهش سایش
- ۳- مقاوم در برابر سایش الکتریکی
- ۴- مقاوم در برابر رسوب مواد خارجی استفاده از مس یا آلیاژهای آن به خصوص مس - کروم، مس - بریلیم، مس - کروم - زیرکونیوم و یا آلیاژهای ویژه‌ای که فقط توسط فرآیند متالوژی پودر تهیه می‌شوند (مس - تنگستن، مس - تنگستن - نقره) می‌تواند خصوصیتی که مورد نیاز مجرای اتصال است را فراهم کند، از نقطه

نظر هندسی بهتر است قطر داخلی مجرای اتصال در حدود $0/13-0/25$ میلیمتر بزرگتر از قطر سیم جوش باشد. فقط برای سیم جوش های خیلی نرم استفاده از مجرای اتصال یا قطر بیشتر توصیه شده است.

ب- نازل گاز:

نازل گاز ستونی یکنواخت از گاز محافظ را به منطقه جوش هدایت می کند. این جریان یکنواخت اهمیت زیادی در ایجاد محافظت کافی از فلز جوش مذاب در مقابل آلودگی هوا دارد. بنابراین نصب صحیح نازل گاز، آب بندی و تمیزکاری دوره ای نازل برای حذف جرقه و پاشش ناشی از جوشکاری از اهمیت ویژه ای برخوردار است. نازل ها دارای اندازه های متنوعی هستند که با توجه به نوع کاربرد، سرعت جریان گاز، مواد پایه، جریان جوشکاری، سرعت رسوب دهی و سرعت جوشکاری انتخاب می شوند. از نازل های بزرگتر هنگامی که میزان جریان، بالا و حوضچه بزرگ است و از نازل های کوچکتر هنگامی که مقدار جریان کم است و جوشکاری در حالت اتصال کوتاه انجام می شود، استفاده می گردد. مجرای الکترود و فنر مشعل به قرقره های واحد تغذیه سیم جوش اتصال دارند. مجرای الکترود و فنر مشعل از سیم جوش حفاظت کرده و آن را از قرقره های تغذیه به سوی مشعل و مجرای اتصال هدایت می کنند. برای ایجاد قوسی پایدار، نباید در تغذیه سیم جوش وقفه ای ایجاد شود. از تاب برداشتن الکترود نیز باید جلوگیری شود. اگر از الکترود به درستی محافظت نشود بین قرقره های متحرک و مجرای اتصال مرتباً گیر خواهد کرد. فنر مشعل می تواند بخشی از مجرای الکترود و یا قطعه ای مجزا باشد. جنس فنر مشعل و قطر داخلی آن بسیار مهم است. هنگامی که الکترود از جنس موادی چون فولاد یا مس باشد، توصیه می شود از فنر مشعل فولادی استفاده شود. هنگام استفاده از مواد نرمی چون آلومینیوم یا منیزیم، بهتر است از لوله های تفلونی استفاده شود. باید دقت شود که مجرای الکترود بیش از حد خم نشود، حتی اگر سطح خارجی آن از فولاد باشد. سایر اجزاء، جریان جوشکاری، آب خنک کننده و گاز محافظ را مستقیماً به سمت مشعل می برند. این شیلنگ ها و کابل ها مستقیماً به منابع نیرو، آب و گاز و یا به کنترل جوشکاری متصل هستند. مجموعه شیلنگ شامل یک قاب خارجی دارای مجرای سیم، رساناها و شیلنگ های سیم جوش، جریان جوشکاری و گاز محافظ، به علاوه شیلنگ های تغذیه و برگشت برای مشعل های آب، خنک هستند. طول مجموعه شیلنگ ها معمولاً ۳ تا ۴ متر است. مشعل از یک تغذیه کننده سیم جوش استفاده می کند. این واحد سیم جوش را از قرقره آن در طول مجرای الکترود در مسیری به طول حدود $3/7$ متر به سمت مشعل می کشد. طرح های متنوع زیاد دیگری نیز موجود هستند. مثلاً یک واحد کوچک با مکانیزم تغذیه الکترود که روی خط مشعل قرار می گیرد. این سیستم می تواند الکترود را از فاصله بیشتری به سمت مشعل بکشد و از کاربردهای آن می توان در تغذیه سیم جوش های آلومینیومی نرم، اشاره کرد. در این سیستم نسبت به سیستم های تغذیه

جداگانه فشاری یا کششی اصطکاک کمتر است. صرف نظر از نوع کاربرد، برای ایجاد حداکثر کاربری، انواع مختلف مشعل طراحی و تولید شده اند. مشعل های سنگین مخصوص کار با جریان بالا و مشعل های سبک برای کار با جریان کم و جوشکاری در شرایط و مکان های نامناسب می باشد. برای هر نوع مشعل، نازل های مستقیم یا گلولی خمیده که توسط آب یا هوا خنک می شوند موجود است. انواعی که با هوا خنک می شوند (هواخنک) قابلیت کار تا ۶۰۰ آمپر جریان در سیکل کار مربوطه را دارا می باشند. مشعل هایی که با آب خنک می شوند (آب خنک) کارایی بیشتری دارند انتخاب یکی از دو نوع مشعل به فاکتورهایی چون جریان جوشکاری، سیکل کار، نوع جوش و نوع ماده پرکننده بستگی دارد. برای فرآیندهای نیمه اتوماتیک اغلب از مشعل گلولی خمیده استفاده می شود. این نوع مشعل در مکان هایی که در دسترس جوشکار قرار ندارند باعث تسهیل کار او می شوند. برای فرآیندهای اتوماتیک از انواع مستقیم آن استفاده می شود.

واحد تغذیه سیم جوش:

واحد تغذیه سیم جوش دارای دو بخش اصلی است. قرقره یا درام سیم جوش و واحد تغذیه کننده. قسمت قرقره دارای ترمز قابل تنظیمی است که بلافاصله بعد از توقف سیم جوش، حرکت قرقره را متوقف می کند. وظیفه تغذیه کننده، تغذیه سیم الکتروود با سرعت قابل تنظیم از طریق مجرای هدایت سیم، در مجموعه شیلنگ به سمت مشعل جوشکاری می باشد. سیستم های تغذیه سیم جوش را می توان بر اساس تعداد غلتک های واقع در واحد تغذیه سیم جوش به صورت زیر طبقه بندی کرد:

۱- دو غلتک تغذیه که یکی ثابت و دیگری متحرک است. غلتک ثابت، غلتک فشار دهنده می باشد که به غلتک متحرکی (غلتک تغذیه کننده) متصل نیست.

۲- دو غلتک متحرک که از موتور نیرو می گیرند. غلتک فشار دهنده به غلتک متحرک متصل می باشد.

۳- چهار غلتک که دو غلتک ثابت و دو غلتک متحرک می باشد. غلتک فشار دهنده به غلتک متحرک متصل نیست.

۴- چهار غلتک متحرک که از یک موتور نیرو می گیرند. غلتک فشار دهنده به غلتک متحرک متصل می باشد.

۵- شش غلتک متحرک، غلتک فشار دهنده متصل به غلتک متحرک می باشد.

۶- دو غلتک متقاطع

انتقال نیروی تغذیه از غلتک تغذیه به سیم، توسط اصطکاک یا فک متحرک صورت می گیرد. غلتک هایی با شیار V شکل برای سیم جوش های فولادی کاربرد دارند. این غلتک ها انتقال نیروی بسیار مناسبی دارند، اما در اثر عبور سیم جوش های نرم یا توپر از روی این غلتک ها، سطح سیم جوش ها آسیب می بینند. استفاده از

غلتک‌های با شیار U شکل راه حل مناسبی برای رفع این مشکل و استفاده از سیم جوش‌های نرمی مانند آلومینیوم می‌باشد. غلتک‌های تغذیه باید با قطر سیم جوشی که استفاده می‌شود، متناسب باشند، برخی غلتک‌ها دارای دو شیار با دو اندازه متفاوت هستند. لذا برای حصول از اطمینان از قرار گرفتن سیم جوش در شیار مناسب خود، تنها کافی است جای سیم جوش عوض شود و روی شیار دیگری قرار گیرد.

در ارتباط با سیم جوش‌های نرم و توپر، فشار تماسی و سایش از نیروی غلتک‌های تغذیه که مرتبط با نوع شیار می‌باشد نقش مهمی بر شکل سیم جوش دارد. اگر فشار تماسی زیاد باشد، سیم تغییر شکل می‌دهد و در تغذیه سیم جوش و هدایت آن، همچنین در تماس با مجرای اتصال، مشکل ایجاد خواهد شد. در صورتی که شیار در مقایسه با قطر الکتروود کوچک باشد، پوسته‌ای تشکیل می‌شود که باعث بروز آسیب در هدایت کننده سیم و مجرای اتصال خواهد شد. همچنین این عیب موجب جراحات دست بدون محافظ اپراتور خواهد شد. اگر شیار به دلیل سایش یا انتخاب نادرست غلتک تغذیه بیش از حد بزرگ باشد، نیروی تغذیه به طور مناسب انتقال پیدا نمی‌کند و سرعت تغذیه سیم ثابت نخواهد بود. برخی از سیستم‌های تغذیه جهت انتقال نیرو از فک متحرک استفاده می‌کنند. در صورت کاربرد این غلتک‌ها احتمال پیچیدگی سطحی سیم وجود دارد که در نتیجه سر خوردن این سیم‌های موج‌دار در هدایت کننده سیم با مشکل مواجه خواهد شد. هدایت کننده سیم، سیم جوش را از غلتک تغذیه به سمت مشعل جوشکاری هدایت می‌کند. جنس آن می‌تواند از فنر سیمی فولادی یا یک تیوب پلاستیکی باشد. تیوب پلاستیکی باعث اصطکاک کمتری می‌شود و برای سیم جوش‌های آلومینیومی و فولادهای کروم - نیکل پر آلیاژ به کار می‌رود. اگر فاصله‌ای که سیم جوش از طریق هدایت کننده، باید طی کند زیاد باشد، مقاومت اصطکاکی سیم افزایش پیدا می‌کند و سرعت تغذیه سیم جوش ممکن است ثابت نباشد. به همین منظور سیستم‌های متنوعی تولید شد که موجب برطرف شدن مشکلات فوق گردید.

تغذیه کننده‌های نیمه اتوماتیک:

الف) سرعت ثابت سیم جوش، دارای کنترل کننده‌های الکتریکی هستند که راه‌اندازی منظم فرآیند، تنظیم اتوماتیک نوسانات ولتاژ و واکنش‌های لحظه‌ای کشیده شدن سیم را فراهم می‌کنند. این امر سبب راه‌اندازی مناسب قوس، به حداقل رسانیدن مقدار پاشش، جرقه و کنده شدن الکتروود و تغذیه یکنواخت سیم جوش در طول جوشکاری می‌شود. برای محافظت بیشتر تجهیزات در مقابل آلودگی و هوا و افزایش طول عمر تغذیه کننده‌های سیم جوش، تمام آنها در یک جعبه واحد قرار می‌گیرند. سرعت تغذیه سیم جوش در تغذیه کننده‌های مختلف معمولاً بین ۱/۹ تا ۲۵ متر در دقیقه می‌باشد. مدل‌هایی وجود دارند که دارای یک ترمز

دینامیکی هستند و هنگامی که کلید مشعل رها می شود، برای به حداقل رساندن میزان خمیدگی سیم جوش و سهولت دوباره برقرار شدن قوس، سریعاً تغذیه سیم جوش را متوقف می کند.

منبع تغذیه:

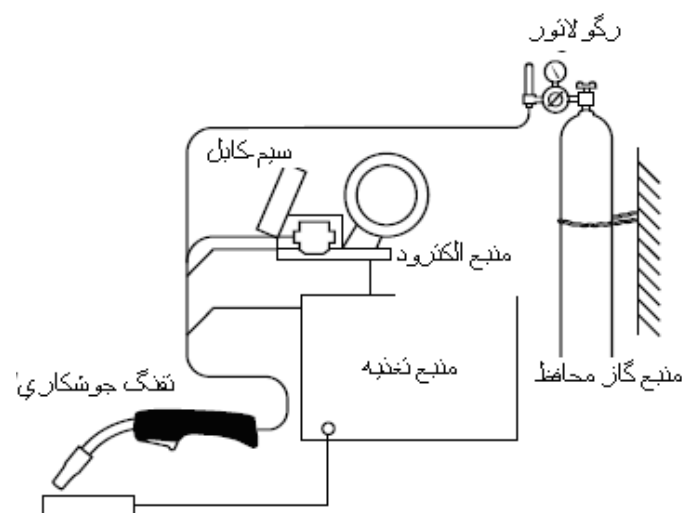
منبع تغذیه نیروی الکتریکی لازم را برای ایجاد قوس به الکتروود و قطعه کار می رساند. در اغلب کاربردهای جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ، از جریان مستقیم با قطبیت مثبت استفاده می شود. بنابراین کابل مثبت به مشعل و کابل منفی به قطعه کار متصل می شود.

انواع اصلی منابع تغذیه جریان مستقیم عبارتند از:

۱- موتور - ژنراتور (چرخشی)

۲- ترانسفورماتور - رکتیفایر (استاتیکی)

معمولاً در کاربردهای کارگاهی که منبع الکتریکی در دسترس قرار دارد، ترانسفورماتور - رکتیفایر ترجیح داده می شود. در حالی که از موتور - ژنراتور در کاربردهایی استفاده می شود که منبع الکتریکی در دسترس نمی باشد. هر دو نوع منبع نیرو را می توان برای تأمین جریان ثابت یا ولتاژ ثابت به کار برد. در کاربردهای اولیه فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ از منابع نیروی جریان ثابت استفاده می شود (که معمولاً به آنها دوپراطلاق می شود). دوپرها در حین جوشکاری جریان تقریباً ثابتی را بدون توجه به تغییرات طول قوس، حفظ می کنند.



شکل - سیستم اصلی جوشکاری قوس الکتریک با گاز خنثی

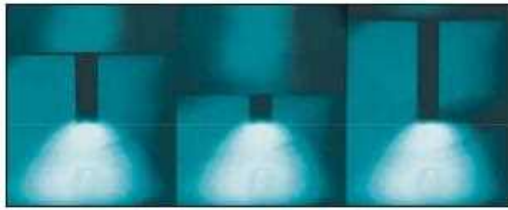
این دستگاه ها دارای ولتاژ مدار باز بالا و جریان های اتصال کوتاه کم می باشند. از آنجا که خروجی جریان این دستگاه ها تقریباً ثابت است، طول قوس فقط در حالتی ثابت می ماند که فاصله مجرای اتصال تا قطعه کار همراه با نرخ تغذیه سیم جوش، ثابت بماند.

با افزایش کاربردهای جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ مشخص شد که ماشین های ولتاژ ثابت (CV) دارای عملکرد بهتری، مخصوصاً در مورد مواد آهنی

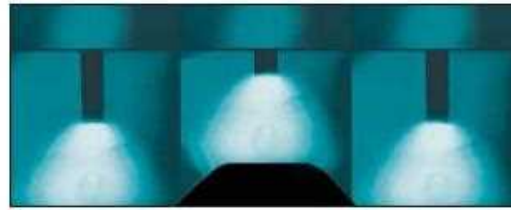
می باشند. استفاده از منبع تغذیه ولتاژ ثابت (CV)، به همراه یک تغذیه کننده سیم جوش سرعت ثابت باعث ایجاد ولتاژ تقریباً ثابت در طول جوشکاری می شود. دلیل اصلی انتخاب منابع CV، طبیعت اتوماتیک تنظیم طول قوس در سیستم می باشد. در طول جوشکاری به دلیل افزایش با کاهش جریان الکتریکی در ولتاژ ثابت، فاصله مجرای اتصال تنظیم می کند. طول قوس مناسب با تنظیم ولتاژ، تثبیت می شود و معمولاً دیگر نیازی به انجام تغییرات بعدی در طول جوشکاری نمی باشد. سرعت تغذیه سیم جوش که نقش کنترل جریان را نیز بر عهده دارد، قبل از شروع جوشکاری توسط جوشکار تنظیم می شود تا مشکلاتی از قبیل پس سوختگی مجرای اتصال (ذوب سیم جوش در جوشکاری قوس خود کار یا نیمه خود کار به علت افزایش طول ناگهانی قوس) رخ ندهد.

با افزایش فاصله مجرای اتصال تا قطعه کار، ولتاژ و طول قوس افزایش و جریان جوشکاری کاهش می یابند. افزایش این فاصله سبب کاهش سرعت مصرف (ذوب) الکتروود نیز می شود. به این دلیل که در این شرایط الکتروود سریع تر از زمان مصرف، تغذیه می شود. در این حالت طول قوس تا رسیدن به طولی کوتاه تر از طول از پیش تعیین شده (با افزایش طول مؤثر الکتروود) کاهش می یابد. عکس این حالت نیز زمانی که فاصله مجرای اتصال تا قطعه کار کاهش می یابد صادق است. تغییرات بزرگ تر در جریان و سرعت مصرف الکتروود در منابع تغذیه ولتاژ ثابت (CV) مخصوصاً در مورد الکتروودهای آهنی، یک مزیت به شمار می رود. از آنجا که برای هر

در منابع تغذیه جریان ثابت، بسیار کوچک است، این منابع تغذیه دارای سرعت کافی برای انجام این نوع اصلاحات نمی‌باشند. در شکل مکانیزم خود اصلاحی راملاحظه می‌کنید.



طول قوس ثابت به دنبال تغییر در امپدانس الکترود



طول قوس ثابت به دنبال تغییر در ارتفاع قطعه

شکل تنظیم اتوماتیک طول قوس

متغیرات منبع تغذیه:

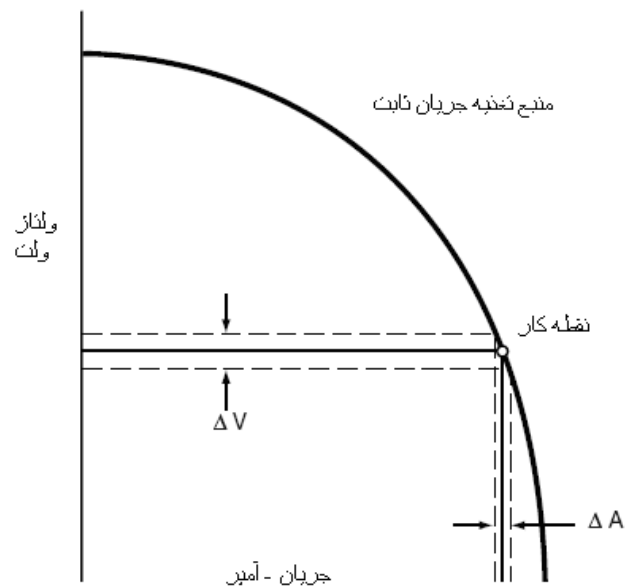
خاصیت خود اصلاحی قوس در منبع تغذیه ولتاژ ثابت (CV) اهمیت زیادی در ایجاد شرایط پایدار جوشکاری دارد. اما تنظیمات بعدی دیگری نیز جهت ایجاد بهترین شرایط ممکن جوشکاری ضروری هستند. این تنظیمات در جوشکاری اتصال کوتاه اهمیت بیشتری دارند.

۱- ولتاژ قوس:

ولتاژ قوس، پتانسیل الکتریکی موجود بین الکترود و قطعه کار است. از آنجا که در سراسر منبع تغذیه افت ولتاژهای زیاد در اتصالات و در طول کابل‌ها صورت می‌گیرد، ولتاژ قوس کمتر از ولتاژ اندازه‌گیری شده در منبع نیرو می‌باشد. تغییر در ولتاژ قوس، متناسب با تغییر در طول قوس می‌باشد، بنابراین هر گونه افزایش یا کاهش ولتاژ خروجی منبع تغذیه باعث افزایش یا کاهش طول قوس خواهد شد.

۲- شیب خواص استاتیک ولت - آمپر:

در شکل، خصوصیات استاتیک ولت - آمپر یک منبع تغذیه جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ را مشاهده می‌کنید.

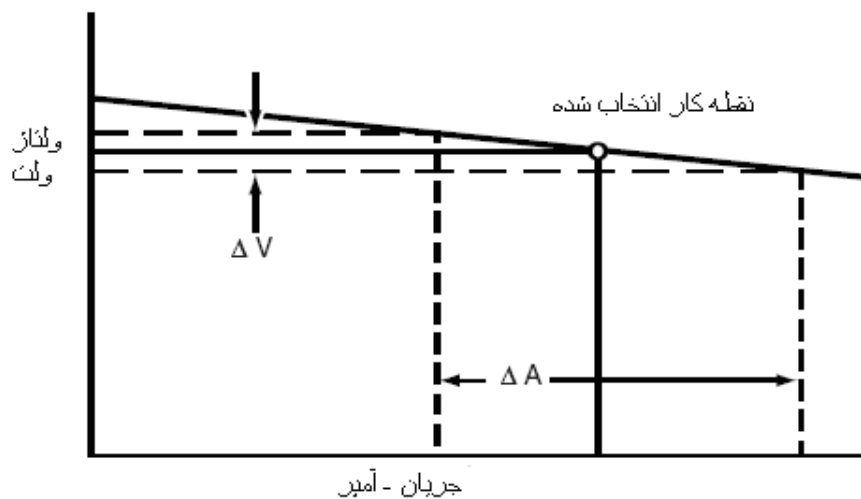


شکل - خصوصیات استاتیک ولت - آمپر

به شیب نمودار ، شیب منبع تغذیه گفته می شود. این شیب بیانگر میزان مقاومت در جریان الکتریکی است. چرا که:

$$(۱-۱) \quad \text{شیب} = \frac{\text{تغییر در ولتاژ}}{\text{تغییر در جریان}} = \frac{\text{ولت}}{\text{آمپر}} = \text{اِم}$$

مطابق شکل با استفاده از مقادیر V و A می توان شیب را محاسبه نمود.



شکل - محاسبه شیب یک منبع تغذیه

شیب خروجی، شیب جبری منحنی ولت - آمپر است و به صورت افت ولتاژ در ازای هر ۱۰۰ آمپر افزایش جریان نشان داده می شود. دو نقطه عملیاتی برای محاسبه شیب یک سیستم جوشکاری پتانسیل ثابت مورد نیاز

است. بهتر است از ولتاژ مدار باز به عنوان یکی از نقاط استفاده نشود زیرا افت ولتاژ زیادی در برخی دستگاهها در جریان های پائین اتفاق می افتد.

شیب عامل مهمی در جوشکاری با انتقال فلز به صورت اتصال کوتاه می باشد، بدین صورت که کنترل مقدار جریان اتصال توسط شیب انجام می شود. جریان اتصال کوتاه و (در نتیجه اثر نیروی فشاری که جدا شدن قطرات مذاب از الکتروود، توسط آن کنترل می شود) تابعی از شیب منحنی ولت آمپر منبع نیرو می باشد. ولتاژ کاری و آمپراژ دو منبع نیرو مشابه است، اما در اتصال کوتاه جریانی که منحنی A نشان می دهد کمتر از جریانی است که منحنی B نشان می دهد. منحنی A دارای شیب تندتری است. یا به عبارت دیگر به ازای هر ۱۰۰ آمپر افزایش جریان، افت ولتاژ آن بیشتر است و در نتیجه جریان اتصال کوتاه و اثر فشاری در آن کمتر است. در انتقال اتصال کوتاه مقدار جریان اتصال کوتاه مهم است زیرا اثر فشاری، نوع جدا شدن قطره مذاب از الکتروود را تعیین می کند. وقتی شیب کم است یا وجود ندارد، جریان اتصال کوتاه به سرعت افزایش پیدا کرده و به مقدار زیادی می رسد. در این حالت اثر نیروی فشاری نیز زیاد خواهد بود و به همین دلیل قطره مذاب، بدون اینکه اتصال کوتاهی صورت گیرد، به طور ناگهانی از سیم جدا می شود و در نتیجه پاشش بسیار زیادی حاصل خواهد شد. زمانی که جریان اتصال کوتاه به دلیل شیب زیاد، کم باشد، الکتروود کل جریان را منتقل می کند، اما ممکن اثر فشاری برای جدا کردن قطره و برقراری مجدد قوس کم باشد، در این شرایط یا سیم جوش روی قطعه جمع می شود یا در حوضچه منجمد می شود. بنابراین به مقدار بهینه ای از شیب جهت انتقال اتصال کوتاه، نیاز می باشد. تا جدا شدن قطره مذاب آرام و با بی نظمی کمی صورت گیرد.

بسیاری از منابع نیروی پتانسیل ثابت مجهز به تنظیمات شیب هستند. در این دستگاهها مقدار مطلوب جریان اتصال کوتاه برای کاربرد مورد نظر تعیین می شود.

۳- اندوکتانس:

هنگامی که الکتروود با حوضچه جوش تماس برقرار می کند یا بار الکتریکی در یک منبع تغذیه تغییر می کند، زمان محدودی صرف می شود تا جریان به سطح جدید خود برسد. اولین خصوصیت مدار که عامل این تأخیر زمانی است اندوکتانس می باشد. واحد این متغیر منبع تغذیه، هنری می باشد اثر لحظه ای نیروی فشاری توسط جریان لحظه ای کنترل می شود و در نتیجه شکل منحنی جریان - زمان قابل توجه خواهد بود. اندوکتانس در مدار، نرخ افزایش جریان را کنترل می کند. بدون اندوکتانس اثر نیروی فشاری به سرعت اعمال می شود و قطره مذاب به شدت روی الکتروود فشرده شده، به طور ناگهانی از الکتروود جدا می شود و جرقه و پاشش زیادی ایجاد می کند. هر چه اندوکتانس بیشتر باشد، تعداد انتقال های اتصال کوتاه فلز در هر ثانیه کاهش و زمان برقراری قوس

نیز افزایش می‌یابد. این افزایش زمان برقراری قوس، باعث روان‌تر شدن حوضچه مذاب و ایجاد یک درز جوش صیقلی‌تر و هموارتر می‌شود. عکس آن نیز هنگامی که اندوکتانس کاهش می‌یابد، صادق است. در جوشکاری انتقال اسپری، افزایش اندوکتانس باعث ایجاد قوسی یکنواخت و پایدارتر، بدون کاهش سطح جریان نهایی می‌شود. وجود اندوکتانس بیش از حد در منبع تغذیه باعث کنده شدن الکتروود در راه‌اندازی کار می‌شود. (مگر اینکه در یک مدار، راه‌اندازی ویژه برای تغذیه کننده در نظر گرفته شود). تنظیمات منبع تغذیه برای کاهش پاشش و جرقه، با اندازه و جنس الکتروود تغییر می‌کند. به عنوان یک قانون کلی هم میزان جریان اتصال کوتاه و هم میزان اندوکتانس مورد نیاز برای اثر فشاری ایده‌آل، با افزایش قطر الکتروود، بیشتر می‌شوند. [۲ و ۹ و ۲۰]

۵-۷-۱- مخزن گاز محافظ:

گاز محافظ جوشکاری را از ۳ طریق می‌توان تأمین نمود:

(۱) از یک سیلندر گاز

(۲) از یک انشعاب گاز

(۳) به صورت گاز مایع از تانک گاز

انواع دوم و سوم تأمین گاز، مستلزم این هستند که کاربر، یک سیستم توزیع گاز متمرکز در اختیار داشته باشد که از آنجا، گاز از طریق چندین مجرای خروجی قابل دسترسی باشد. سیلندر گاز به واحد تغذیه سیم جوش، که از آن محافظ از طریق مجموعه شیلنگ به نازل گاز محافظ روی مشعل منتقل می‌شود، متصل است. یک شیر برقی مقدار جریان گاز را هنگام آغاز و پایان جوشکاری کنترل می‌کند.

فشار گاز در یک سیلندر گاز محافظ پر، حدود ۲۰۰ بار (Bar) می‌باشد. برای کاهش این فشار، تا رسیدن به یک فشار مناسب باید یک رگولاتوروی سیلندر گاز نصب شود. با نصب رگولاتور می‌توان مطمئن شد که سرعت جریان گاز در هر لحظه ثابت است. معمولاً رگولاتورها و فشارسنج‌ها در انواع مختلف و برای گازهای متفاوت طراحی شده‌اند. لذا از آنها باید تنها برای همان گاز موردنظر استفاده شود. در غیر اینصورت، به این دلیل که گازهای مختلف دارای چگالی‌های مختلف هستند، میزان فشار نادرست اعلام می‌شود. رگولاتورها می‌توانند تک مرحله‌ای یا دو مرحله‌ای و دارای یک جریان‌سنج نیز باشند. رگولاتورهای دو مرحله‌ای، در زمان تغییر فشار در منبع گاز را با فشار دقیق‌تری نسبت به رگولاتورهای تک مرحله‌ای منتقل می‌کنند. [۲]

۸-۱- گاز خنثی:

در روش جوشکاری با گاز محافظ خنثی یا MIG^۱ فلز به صورت قطرات مذاب در یک قوس رسانی الکتریکی انتقال می یابد که توسط یک گاز محافظت می شود، این گاز هیچ واکنش شیمیایی با هیچ کدام از عناصر و عوامل موجود در منطقه جوش انجام نمی دهد. در عمل به طور وسیعی از گاز آرگون استفاده می شود اما ترکیب آرگون و هلیوم و یا ترکیب خالص هلیوم نیز استفاده می شود به خصوص در هنگام جوشکاری قطعات ضخیم آلومینیوم. عمده ترین فاکتور تاثیرگذار روی کارایی گاز محافظ چگالی گاز است. آرگون تقریباً ۱/۳ برابر از هوا و ۱۰ برابر از هلیوم سنگین تر است. آرگون، پس از اینکه از نازل مشعل خارج شد، پوششی روی منطقه جوشکاری ایجاد می کند، در حالی که هلیوم، به این خاطر که از آرگون سبک تر است، تمایل به افزایش منطقه محافظت نازل دارد. تجربه اکیداً نشان می دهد که برای ایجاد اثرات حفاظتی معادل، جریان هلیوم باید ۲ تا ۳ برابر جریان آرگون باشد. این رابطه در ترکیبات آرگون - هلیوم که میزان هلیوم بیشتر از میزان آرگون است نیز صادق است. خصوصیت های مهم این گازها رابطه ولتاژ - جریان قوس تنگستن در هلیوم و آرگون می باشد. در همه سطوح جریان، برای قوس های معادل، ولتاژ قوس حاصله از هلیوم، به میزان قابل توجهی بیشتر از آرگون است. از آنجا که گرمای قوس تقریباً توسط میزان جریان و ولتاژ تولیدی (نیروی قوس) اندازه گیری می شود، هلیوم گرمای بیشتری نسبت به آرگون ایجاد می کند.

مزیت این گرما، هنگامی مورد توجه قرار می گیرد که قطعات ضخیم و کلفت جوشکاری می شوند و فلزات دارای رسانایی گرمایی بالا یا درجه ذوب نسبتاً بالا هستند، لیکن باید اشاره نمود در جریان های ضعیف تر، منحنی های ولت - آمپر از میان ولتاژ منیمم در سطح جریان حدود ۹۰ آمپر، بعد از آن که با کاهش جریان، ولتاژ افزایش پیدای می کند، عبور می نمایند.

در هلیوم، این افزایش ولتاژ در محدوده ۵۰ تا ۱۵۰ آمپر هنگامی که بیشتر عملیات جوشکاری مواد نازک انجام شده است، صورت می پذیرد. از آن جایی که افزایش ولتاژ در آرگون، زیر جریان ۵۰ آمپر صورت می گیرد، با استفاده از آرگون در رنج جریان ۵۰ تا ۱۵۰ آمپر، اپراتور هنگام جوشکاری کنترل بیشتری روی طول قوس دارد. واضح است که هنگام کار با آرگون، برای ایجاد ولتاژ مساوی، باید از جریان بسیار بالاتری نسبت به هلیوم استفاده شود. از آنجا که در جریان های مساوی سوختگی کناره جوش در هر دو نوع گاز روی می دهد، لذا هلیوم در سرعت های بالاتر، باعث ایجاد جوش هایی بهتر می شود. دیگر شاخه تاثیر گذار، پایداری قوس است. هر دو گاز با جریان مستقیم قوس پایدار ایجاد می کنند. هنگام کار با جریان متناوب که در جوشکاری آلومینیوم و منیزیم کاربرد وسیعی

دارد، آرگون باعث ایجاد قوس پایدارتر و عملیات تمیزکنندگی بهتری می شود که در این مورد برتری آرگون نسبت به هلیوم کاملاً مشهود است.

۹-۱- الکترودها:

در مهندسی جوش از فلزات پرکننده برای ایجاد رسوب جوش با دو هدف عمده استفاده می شود:

۱- رسوبی با خصوصیات مکانیکی کاملاً مشابه با فلز پایه

۲- رسوب جوش بی عیب، بدون نا پیوستگی

ترکیب سیم جوش:

ترکیب پایه سیم جوش بگونه ای طراحی می شود که حداقل با یک یا چند مورد از خصوصیات فلز پایه یعنی:

۱- خصوصیات شیمیایی

۲- استحکام

۳- رسانایی

۴- دوام

سازگار باشد.

الکتروده باید ملزومات فرایند مانند استواری، رفتار انتقال فلز و خصوصیات انجماد را برآورده کند. دی اکسیدکننده ها یا سایر عوامل برای جبران واکنش های فلز پایه به اکسیژن، هیدروژن و نیتروژن موجود در هوای اطراف یا فلز پایه اضافه می شوند. اکسیدکننده هایی که باید به طور متناوب در فولاد استفاده شوند سیلیکون و منگنز می باشند. برخی الکترودها از آلومینیوم به عنوان دی اکسیدکننده ها و از تیتانیوم و زیرکونیم به عنوان دی نیترات کننده ها استفاده می کنند.

موارد دیگری چون خوردگی، عملیات حرارتی، مقاومت فرسودگی و ... را نیز می توان مد نظر داشت. لیکن تمام این ملاحظات نسبت به سازگاری متالورژیکی فلز پایه و فلز پرکننده در درجه دوم اهمیت قرار دارند.

میزان کارایی الکتروده در GMAW-P بستگی به نوع کاربرد جوش و قدرت منبع جریان دارد. به طور کلی این میزان کارایی در GMAW-P باید در حدود ۹۸ درصد باشد که ممکن است نیاز به سرعت حرکت مشعل بالاتر که خود نیاز به طول قوس های کمتر دارد، داشته باشد.

روش انتقال اسپری پالسی با سرعت بالا معمولاً میزان پاشش بیشتری دارند که خود سبب کاهش کارایی الکتروده می گردد.

تمام اینها به میزان الکترودی که تا پایان جوش مصرف می شود مربوط می شود. راندمان الکتروود ارزشی عددی است که منتصب به نوع خاص انتقال مذاب است.

۱۰-۱- شرایط پایه ای اجرایی:

بعد از انتخاب متغیرات اصلی فرایند، شرایط پایه ای اجرا را نیز باید فراهم نمود:

۱- نرخ رسوب

۲- سرعت تغذیه سیم جوش (جریان جوشکاری)

۳- ولتاژ جوشکاری

۴- امتداد الکتروود

۱-۱۰-۱- نرخ رسوب:

نرخ رسوب به عنوان میزان واقعی فلز جوش رسوب یافته در واحد زمان به میزان کیلوگرم تعریف می شود. قابل اهمیت است که این مقدار به نوعی بیانگر استفاده از فاکتور کارایی الکتروود است. ضروری است که بین نرخ رسوب در مقابل سرعت حرکت تعادل وجود داشته باشد. چرا که تعادل مناسب باعث ایجاد نرخ بهینه رسوب اتصال جوش می شود. این امر خصوصا در جوشکاری نیمه اتوماتیک که کیفیت جوشکاری به قابلیت حرکت فیزیکی جوشکار بستگی دارد، اهمیت خاصی دارد. فاکتورهای زیر روی این رابطه تعادل تأثیر گذارند:

۱- سائز جوش

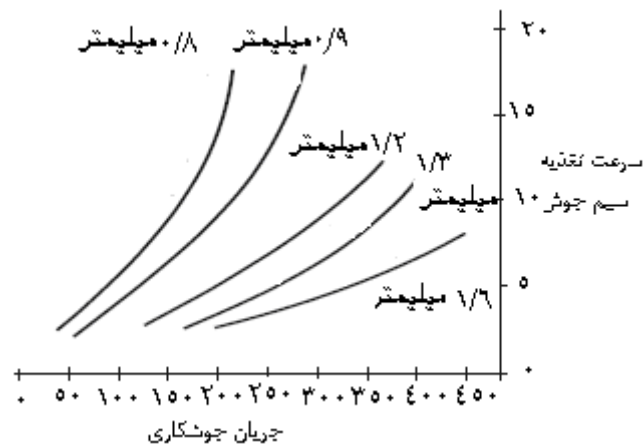
۲- طرح اتصال جوش

۳- تعداد پاس های جوش

۴- محدودیت فیزیکی جوشکار در کنترل حوضچه جوشکاری و ممانعت از تجاوز قوس از فلز جوش هنگامی که سرعت انتقال کاهش می یابد.

- جریان جوشکاری:

بعد از تعیین سرعت رسوب مناسب برای کاربرد، مرحله بعدی تعیین سرعت تغذیه سیم جوش با توجه به امتداد الکتروود و جریان جوشکاری می باشد. در یک کاربرد عملی، با اندازه گیری سرعت تغذیه سیم جوش به جای مقدار جریان جوشکاری نرخ رسوب را با صحت بیشتری می توان محاسبه نمود.



شکل - جریان جوشکاری و سرعت تغذیه سیم جوش برای الکترودهای فولاد کربن

- ولتاژ جوشکاری:

ولتاژ جوشکاری برای ایجاد قوس پایدار در سرعت انتخابی تغذیه الکترود یا سطح جریان جوشکاری و همچنین کاهش میزان پاشش و جرقه برقرار می شود.

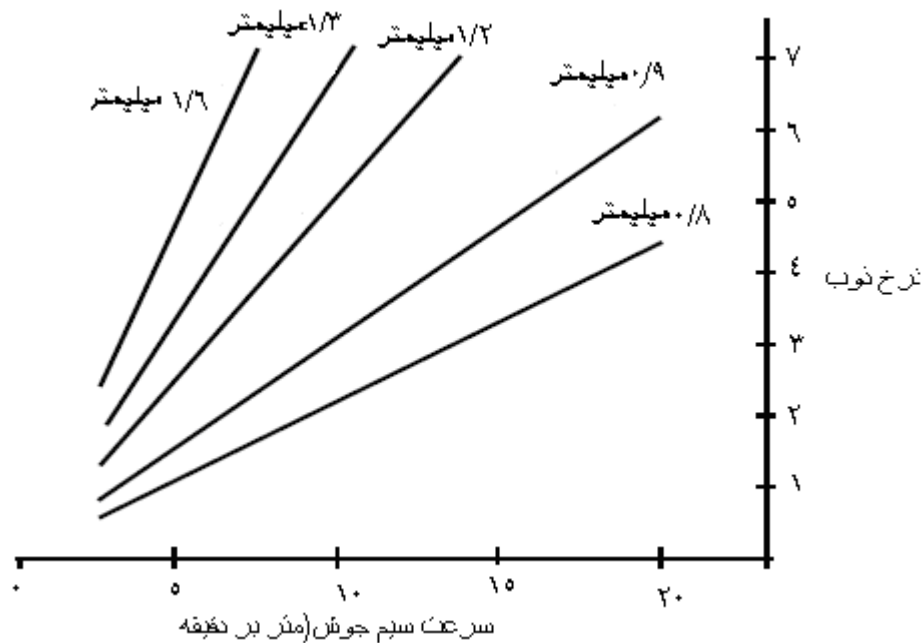
- امتداد الکترود:

به میزان الکترود کشیده شده از انتهای نقطه تماس تا قوس، کشش الکترود می گویند. این مقدار، همان مقدار از الکترود است که برای جوشکار قابل رؤیت است. برقراری کنترل پایه برای الکترودهای فلزی بارسانایی بسیار کم، به میزان بسیار زیادی به امتداد الکترود وابسته است. هرگونه تغییر در این متغیر، باعث ایجاد تغییر در خصوصیات الکتریکی سیستم می شود (شکل).



شکل - شماتیک امتداد الکترود

به عبارت دیگر با افزایش فاصله مجرای اتصال تا قطعه کار اثر گرمایی I^2R نیز افزایش می یابد. در حالی که جریان جوشکاری نیازمند ذوب الکترود می باشد. بالعکس، با کاهش فاصله مجرای اتصال تا قطعه کار اثر گرمایی I^2R کاهش می یابد. بنابراین افزایش جریان جوشکاری لازمه سرعت تغذیه سیم جوش است.



شکل-نرخ ذوب فولاد کربنی معمولی

- مزایا و محدودیت های جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ:

- مزایای جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ:

(۱) سرعت جوشکاری در این روش بالاست.

(۲) نرخ رسوب بالاتر از روش زیرپودری و روش قوس الکتریکی با الکترود روکش دار است.

(۳) استفاده از سیم جوش امکان جوشکاری طویل و بدون توقف را فراهم می سازد.

(۴) امکان نفوذ بیشتر از روش زیرپودری فراهم است که در این صورت امکان ایجاد گرده کوچک تر با استحکام مشابه فراهم است.

(۵) احتیاج به توانایی های شخصی کمتری برای جوشکاری دارد.

(۶) به دلیل عدم وجود سرباره احتیاج به تمیزکاری کمی دارد.

محدودیت های جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ:

(۱) تجهیزات این روش به نسبت گران و حمل و نقل آن مشکل تر از روش قوس الکتریکی با الکتروود روکش دار است.

(۲) استفاده از این روش برای مقاطعی که دسترسی به آنها مشکل است با محدودیت در زمینه محافظت گاز مواجه است.

(۳) استفاده از این روش در فضای باز به دلیل امکان وزش باد و اختلال در محافظت گاز با محدودیت مواجه است.

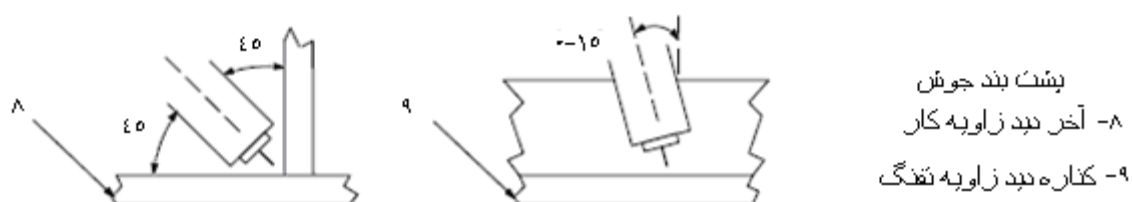
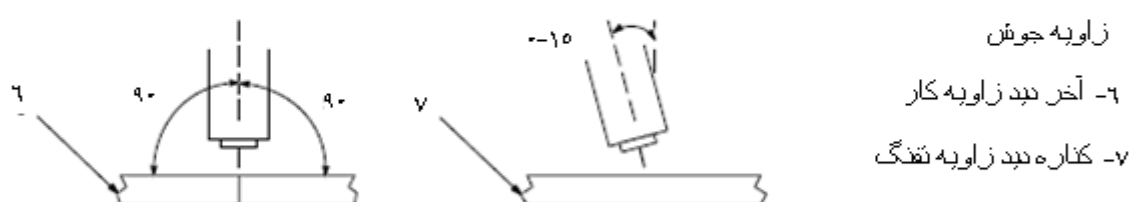
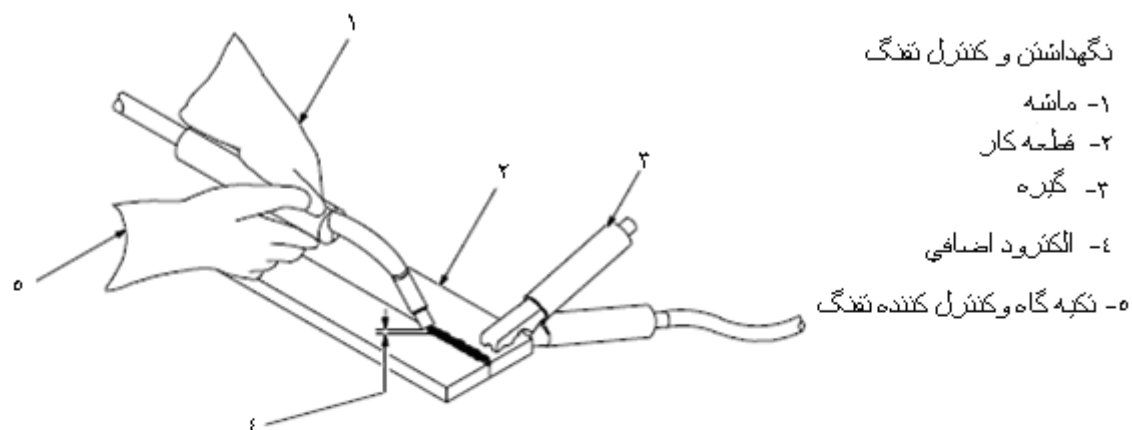
(۴) به دلیل عدم وجود گل جوش و به تبع آن عدم کاهش نرخ انجماد در فولادهای سختی پذیر امکان ترک خوردن در فلز جوش وجود دارد.

کاربردهای جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ:

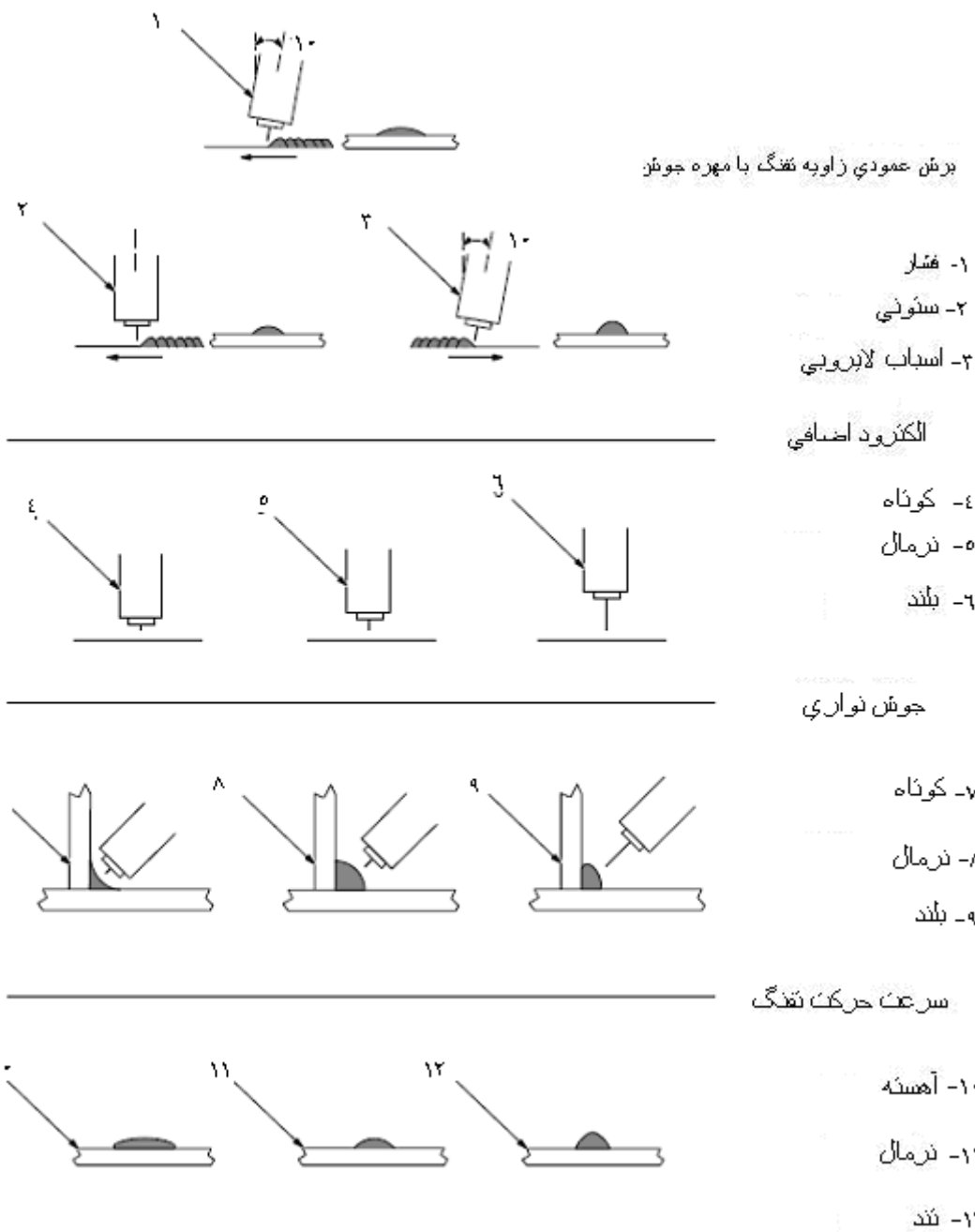
روش های جوشکاری جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ عمدتاً برای جوشکاری ضخامت های نازک (کمتر از ۳ میلیمتر) به عنوان مثال در صنعت خودروسازی به کار می رود. از مزایای این روش پایین بودن انرژی جوش بوده که منجر به محدود شدن تغییر شکل ها و تنش های پسماند جوش می شود و در نتیجه مونتاژ نهایی قطعات را آسان تر می کند. از آنجایی که این روش محدودیت طول سیم جوش که روش جوشکاری الکتروود دستی وجود دارد را ندارد سرعت جوشکاری بالاتری نسبت به روش الکتروود دستی دارا می باشد. برای جوشکاری ضخامت های نازک از تکنیک قوس کوتاه استفاده می شود.

جوشکاری جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ برای جوشکاری ضخامت های متوسط (۳-۸ میلیمتر) در تولید ماشین آلات صنعتی نیز کاربرد گسترده ای داشته و در ای رابطه از تکنیک قوس اسپری استفاده می شود. جوشکاری میگ عمدتاً برای جوشکاری انواع فولادهای زنگ نزن و فلزات غیر آهنی به کار می رود. جوشکاری جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ برای کارگاه های روباز به واسطه امکان وزش باد و تأثیر در جریان گاز محافظ مناسب نمی باشد.

شکل های زیر و صفحه بعد نمایانگر تکنیک های جوشکاری با روش جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ است:



شکل - تکنیک های جوشکاری با روش جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ

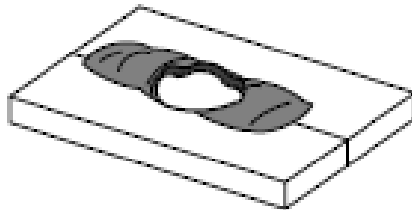


ادامه شکل - تکنیک های جوشکاری با روش جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ

عیوب جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ و روش های جلوگیری از آنها:

عیوب اصلی جوش اختصاص به روش های جوشکاری نداشته و در روش های دیگر نیز ظاهر می شود ولی عیوبی که منشاء آنها را در فرآیند میگ می توان تشخیص و توضیح داد عبارتند از :

الف (ترکیدگی در جوش که می توان در اثر عوامل زیر باشد :



شکل - ترکیدگی در جوش

بالا بودن نسبت عمق به پهنای مقطع جوش که با افزایش ولتاژ یا کاهش شدت جریان می توان گرده جوش را پهن تر و کم عمق تر نمود.

مقطع جوش خیلی کوچک باشد، به ویژه در مورد جوش نبشی یا جوش ریشه ای در ورق های ضخیم پخ شده که با کاهش سرعت پیشرفت یا افزایش حرارت داده شده می توان جوش بزرگتری ایجاد کرد.

سرد شدن سریع دهانه انتهایی جوش ، با کاهش سرعت سرد شدن و کنترل جهت حرکت مشعل در خاتمه باند جوش از ایجاد دهانه انتهایی جلوگیری می کند.

ب (ذرات محبوس شده (آخال) در جوش می تواند به علت یک یا چند دلیل زیر بوجود آید :

استفاده از جوش چند پاسی و یا اتصال کوتاه قوس ضمن عملیات جوشکاری، که با تمیز کردن هر گونه ناخالصی بر روی جوش قبل از انجام پاس بعدی می توان تا حدودی این عیب را کاهش داد.

سرعت پیشرفت بالا نیز می تواند باعث محبوس شدن ذرات به صورت لایه ای در جوش شود که با انتخاب سرعت پیشرفت کمتر و مفتول جوش مقدار بیشتر مواد اکسیژن زدا و افزایش ولتاژ، میزان ذرات محبوس شده را تقلیل داد.

ج (خلل و فرج (مک) در جوش با فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ به چند دلیل اتفاق می افتد که اهم آنها عبارتست از :

کافی نبودن منطقه تحت پوشش گاز محافظ که با افزایش نرخ عبور گاز یا کاهش آن در صورت وقوع تلاطم، تمیز کردن جرقه از اطراف دهانه نازل، کاهش دادن وزش و کاهش فاصله نازل تا سطح کار.

ناخالصی ها در الکتروود که باید تمیز و خشک مصرف شوند.

کثیفی سطح کار، تمیز کردن هرگونه آلودگی برای جبران این امر ضروری است.

ولتاژ قوس زیاد و فاصله زیاد نازل تا سطح کار می تواند سبب ورود اکسیژن و ازت هوا به حوضچه مذاب شود.

در این مورد کاهش ولتاژ و کاهش فاصله نازل تا سطح کار کمک به تقیل این عیب می کند.

د) ذوب ناقص:

دلایل وقوع این عیب در این فرآیند عبارتند از:

۱) عدم تمیزی سطح یا لبه اتصال

۲) عدم کفایت حرارت داده شده

۳) بزرگی حوضچه جوش

۴) نواقص تکنیکی جوشکاری

۵) طراحی نامناسب لبه اتصال

برای جبران و کاهش این علل به ترتیب باید سطح مسیر اتصال از هرگونه پوسته و لایه زنگ زده و آلودگی های

دیگر تمیز شود. نرخ تغذیه الکتروود و ولتاژ را افزایش داد یا سرعت پیشرفت جوشکاری کاهش یابد. موج دادن

قوس کاهش یابد تا در کنترل حوضچه جوش تسهیلی بوجود آید. اگر از تکنیک موج دادن مشعل استفاده می

شود، مکث های کوتاهی در کنار لبه اتصال توصیه می شود و بالاخره تغییر زاویه یا نوع پخ لبه اتصال.

ه) فقدان نفوذ جوش که دلایلی شبیه ذوب ناقص دارد.

و) ذوب زیاد و جاری شدن آن به اطراف موضع جوش، این مورد نیز تقریباً برعکس بند "د" این بحث است

فرآیند جوشکاری قوسی توپودری FCAW

فرایند جوشکاری قوسی توپودری FCAW مشابه با فرایند (GMAW) می باشد.

الکتروود سیمی در این روش به جای آن که توپر باشد، توسط یک پودر پر شده است. در واقع الکتروود یک لوله

فلزی است که درون آن پودر قرار دارد. نقش پودر در این روش مشابه نقش پودر پوششی الکتروود در روش

SMAW و محافظت فلز مذاب از ورود اکسیژن می باشد. استفاده از گاز محافظ در این روش اختیاری است.

انواع سیم توپودری عبارتند از:

- درز دار که دارای روکشی شبیه به گرافیت مایع می باشد.

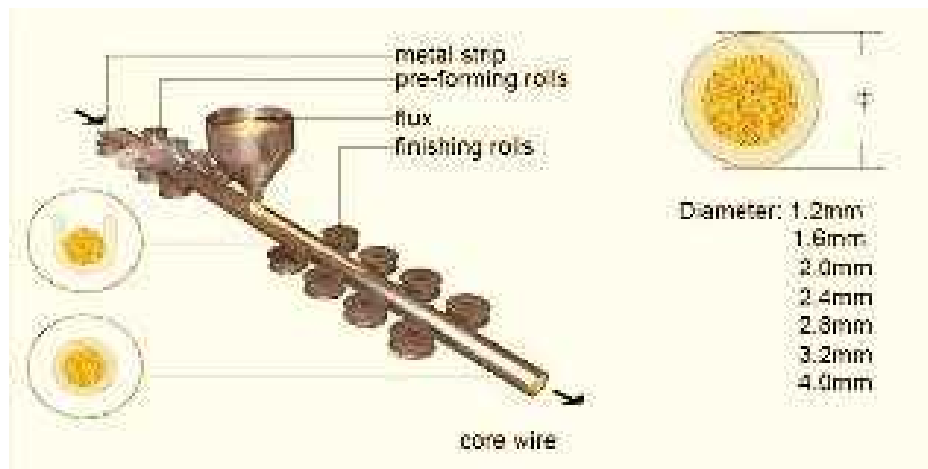
- بدون درز که دارای روکش مس باره می باشد

علاوه بر کیفیت سیم مصرفی و جنس پودر، یکنواختی و اندازه دانه بندی پودر نیز دارای اهمیت است.

و برخی نیز بدون استفاده (Gas Shield) با محافظت گاز محافظ FCAW برخی از فیلرهای مصرفی در فرآیند

بکار می روند که در حالت بدون گاز محافظ، می توان جهت راحتی جوشکاری، (Self Shield) از گاز

محافظ نازل گاز تورچ را جدا نمود.



محاسن جوشکاری FCAW

- امکان جوشکاری انواع فولادهای ساختمانی و آلیاژی

MIG / MAG - کندتر بودن سرعت سرد شدن جوش نسبت به فرآیند

- امکان ارائه سفارش به کارخانه سازنده سیم توپودری در خصوص میزان عناصر موجود در پودر موجود

در سیم

معایب جوشکاری FCAW:

- عدم توانایی جوشکاری فلزات غیر آهنی

- عدم توانایی جوشکاری قطعات نازک (کمتر از ۲ میلیمتر)