

### ۲-۳- فرایندهای جوشکاری قوس با گاز محافظ<sup>۱</sup>

#### مقدمه

در این گروه از فرایندهای جوشکاری از انرژی الکتریکی و منبع حرارتی قوس شیبیه فرایندهای قبلی استفاده می شود اما تفاوت عمده، استفاده از گاز محافظ برای محافظت نوک الکتروود گذاخته شده، قطرات ذوب حین انتقال در قوس و حوضچه فلز مذاب در برابر اتمسفر است. در تعدادی از فرایندها از گاز خنثی و در برخی دیگر از گاز غیرفعال با مذاب نظیر CO<sub>2</sub> و در بعضی دیگر از مخلوطی از گازها استفاده می شود. در شرایط خاصی ممکن است به علت کوتاه بودن عملیات حتی از گاز محافظ نیز استفاده نشود. در زیر تعدادی از فرایندهای جوشکاری در این خانواده معرفی می شوند.

### ۱-۲-۳- فرایند جوشکاری گاز -الکتریکی<sup>۲</sup>

این فرایند از نظر تجهیزات و نحوه عملیات شباهت زیادی با روش جوشکاری سرباره الکتریکی دارد و اختلاف اساسی آنها در موارد ذیل می باشد:

الف- در این فرایند حرارت از ابتدا تا انتهای فرایند توسط قوس الکتریکی تولید می شود (نه مقاومت سرباره)

ب- اکثراً از جریان یکنواخت برای دستیابی به پایداری بهتر قوس استفاده می شود.

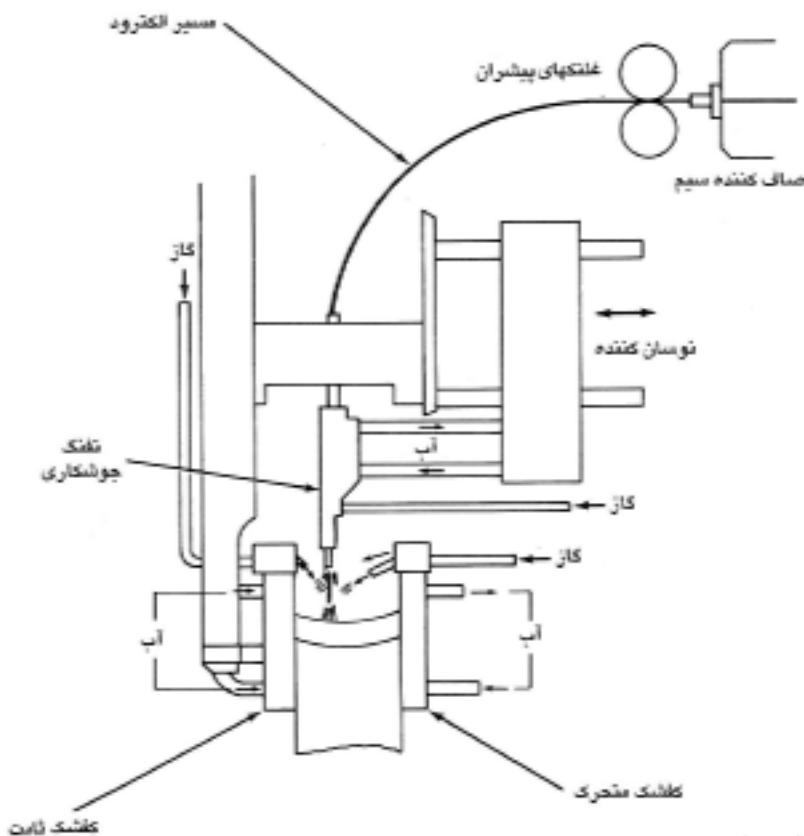
ج- عمل محافظت توسط گاز محافظ انجام می شود هرچند سرباره مختصری نیز بر روی حوضچه مذاب وجود داشته باشد.

همان طور که از نام فرایند استنباط می شود، حوضچه جوش توسط یک گاز خنثی نظیر آرگون و هلیم و یا گازهایی که نسبت به مذاب بی اثر هستند نظیر CO<sub>2</sub> و یا مخلوطی از این گازها (مثلاً ۸۰ درصد آرگون+۲۰ درصد CO<sub>2</sub>) که از اطراف لوله اتصالی و کفشک ها در منطقه ذوب دمیده می شود، محافظت می گردد. امتداد مسیر اتصال به طور قائم بوده و حوضچه مذاب فلز جوش بین سطوح اتصال و کفشک ها قرار می گیرد. این حوضچه همزمان با پیشرفت عملیات جوشکاری به طرف بالا حرکت کرده و جبهه انجماد را به دنبال می کند. الکتروودها ممکن است لخت، یا

<sup>1</sup> - Gas Shielded Arc Welding

<sup>2</sup> - Electro-Gas Welding

پوشیده با روانساز و یا توپودری باشند. شکل (۴-۲۵ کتاب خان) به طور شماتیک فرایند جوشکاری گاز - الکتریکی را نشان می دهد.



شکل (۴-۲۵ کتاب خان) - فرایند جوشکاری گاز الکتریکی با سیم توپر

این روش معمولاً برای اتصال ورقهای با ضخامت ۱۲ الی ۷۵ میلیمتر که در صناعی نظیر کشتی سازی و ساخت مخازن ذخیره ای (تانک) کاربرد دارند به کار گرفته می شود. چون در این روش حرارت توسط قوس الکتریکی ایجاد می گردد، عملیات جوشکاری را می توان با سرعت بالاتری نسبت به روش سرباره الکتریکی انجام داد و در نتیجه منطقه متأثر از جوش باریکتر بوده و خواص بهتری خواهد داشت.

چون این فرایند در صنایع کشور آنچنان کاربردی ندارد، از توضیح بیشتر در مورد

جزئیات آن پرهیز می شود. فقط در چند جمله به مزایا و محدودیت های فرایند اشاره می شود. مهمترین مزایای فرایند عبارت است از:

الف- منطقه جوش ضمن عملیات برای جوشکار بیشتر قابل رؤیت است (در فرایند سرباره الکتریکی حوضچه جوش دیده نمی شود).

ب- شروع عملیات به مراتب راحت تر از فرایند سرباره الکتریکی است.

ج- ساختار و خواص مکانیکی جوش و اطراف آن بهتر از فرایند قبلی است.

د- عملیات جوشکاری در یک پاس انجام شده و مزایای مربوط به هزینه پخ سازی، فلز جوش کمتر و عدم نگرانی از محبوس شدن سرباره نیز وجود دارد.

محدودیت های فرایند نیز عبارت است از:

الف: برای ضخامت های بالای ۷۵ میلیمتر معمولاً جوشکاری سرباره الکتریکی به این روش ترجیح داده می شود، چون با این فرایند محافظت کامل حوضچه جوش و ایجاد جوش بدون تخلخل سخت تر است.

ب: احتمال اینکه جوش ایجاد شده با فرایند سرباره الکتریکی تمیزتر بوده و بدون ترک باشد نسبت به این فرایند بیشتر است.

ج: محدودیت وضعیت جوشکاری در اینجا نیز شبیه فرایند سرباره الکتریکی وجود دارد و می توان فقط در وضعیت قائم عملیات جوشکاری انجام داد.

### ۳-۲-۲- فرایند جوشکاری قوس -الکتروود تنگستنی با گاز محافظ خنثی<sup>۱</sup>

مقدمه

این فرایند را در نقشه ها و علائم نقشه خوانی به صورت مخفف T.I.G , G.T.A.W و یا W.I.G نشان می دهند. این فرایند در بین جوشکاران سنتی تحت عنوان جوش آرگون مصطلح است، که در این کتاب زیاد از این اصطلاح استفاده نمی شود، چون ممکن است از هلیوم و یا مخلوط آرگون و هلیوم نیز استفاده شود. از طرف دیگر غیر از این فرایندها، فرایندهای دیگری نیز هستند که از آرگون استفاده می کنند.

در خانواده فرایندهای جوشکاری قوس با گاز محافظ علاوه بر فرایند "گاز -

الکتریکی" که خیلی نیز متداول نیست و به علت شباهت زیاد با جوشکاری سرباره

<sup>1</sup> - Tungsten-Inert Gas Arc Welding (TIG) or Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)

الکتریکی در ابتدا آورده شد، فرایندهای دیگری نیز هستند که از گاز برای محافظت قوس و فلز مذاب جوش استفاده می کنند و سابقه ای نسبتاً طولانی نیز دارند و از اهمیت زیادی برخوردار می باشند. یکی از مهمترین این فرایندها فرایند جوشکاری قوس -الکتروود تنگستنی و گاز خنثی می باشد.

توجه بر روی استفاده از گازهای خنثی برای محافظت قوس الکتریکی با الکتروود تنگستنی عملاً از سال ۱۹۴۰ بیشتر شد. دستگاه ابتدایی شامل الکتروود تنگستنی و ژنراتور جریان یکنواخت بود که قوس الکتریکی توسط مالش الکتروود تنگستنی بر روی قطعه کار شروع می شد. این عمل سبب ورود ناخالصی تنگستن به داخل مذاب فلز جوش (در نقطه شروع) می گردید. بعدها "جرقه فرکانس بالا"<sup>۱</sup> به مدار ژنراتور اضافه شد تا قوس بدون نیاز به نوک زدن الکتروود به قطعه کار در لحظه معینی آغاز شود.

استفاده از الکتروود مثبت و یا منفی در بدو پیدایش فرایند متداول بود، ولی الکتروودهای منفی به دلیل ایجاد حرارت کمتر بر روی الکتروود و احتمال کمتر ذوب شدن آن ترجیح داده می شد. برای جوشکاری ورق های ضخیم نیاز به شدت جریان بالاتر از ۱۰۰ آمپر است که با الکتروود مثبت، موجب ذوب الکتروود و اضافه شدن ناخالصی تنگستنی به مذاب فلز جوش می گردد و حتی اگر الکتروود منفی نیز به کار رود سیستم سرد کننده آبگرد برای الکتروود لازم می گردد. بدین ترتیب مشعل های آبگرد ساخته شد.

از طرف دیگر این فرایند تا مدتی تنها برای جوشکاری ورق های منیزیم و برخی فولادهای زنگ نزن استفاده می شد. استفاده از این فرایند برای ورق ها و قطعات آلومینیمی نیازمند استفاده از روانساز مخصوص بود. ضمن کار با الکتروود مثبت متوجه شدند که قوس الکتریکی نقش روانساز را هم انجام داده و لایه اکسیدی را می شکنند (قدرت تمیزکنندگی). (بدین ترتیب در سال ۱۹۴۴ نقش بیشتر قطب مثبت (در جریان یکنواخت یا نیم سیکل از جریان متناوب) شناخته شد. البته در جریان متناوب اگر مینیم "ولتاژ باز" لازم موجود نباشد قوس در هر نیم سیکل که خاموش شود، ادامه عملیات جوشکاری در شروع نیم سیکل بعد با مشکل روبرو خواهد شد. به تدریج توسط تغییراتی در مدار نیرو، پایداری قوس با جریان متناوب

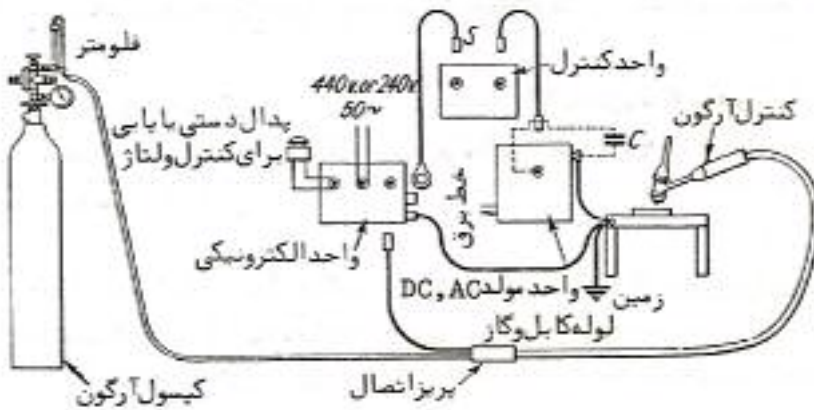
<sup>۱</sup> - High-frequency Spark (H.F.)

نیز تأمین شد.

در ادامه پیشرفت و تکامل این فرایند تحقیقات نشان دادند که گاز آرگون نسبت به هلیوم برتری دارد چون تغییرات ولتاژ قوس در اثر تغییرات طول قوس کمتر است که از نظر جوشکار نکته قابل توجهی است. همچنین موفق به بالا بردن درجه خلوص گاز آرگون مصرفی شدند که برای جوشکاری فلزات فعال حائز اهمیت است. در کاربرد این روش با شدت جریان های بالا نازل (افشانک) گرم می شد، از این جهت آن را از نوع سرامیکی ساختند. بعداً متوجه شدند که عمر نازل های سرامیکی محدود و کوتاه است از اینجهت ساخت نازل فلزی با میردهای آبی و هوایی متداول گردید. سبکی و انعطاف پذیری مشعل در هنگام کار همواره مورد توجه بوده و پیشرفت هایی نیز در این زمینه حاصل شده است. در ادامه تکمیل فرایند آن را به صورت نیمه خودکار و تمام خودکار درآوردند و در صنایع حساس یا تولید انبوه بکار گرفتند.

### تجهیزات جوشکاری T.I.G

تجهیزات و قسمت های مختلف سیستم مطابق شکل (۱-۵۹) که نمایی از مشعل را نشان می دهد عبارتند از:



شکل ۱-۵۹- شمایی از تجهیزات فرایند TIG

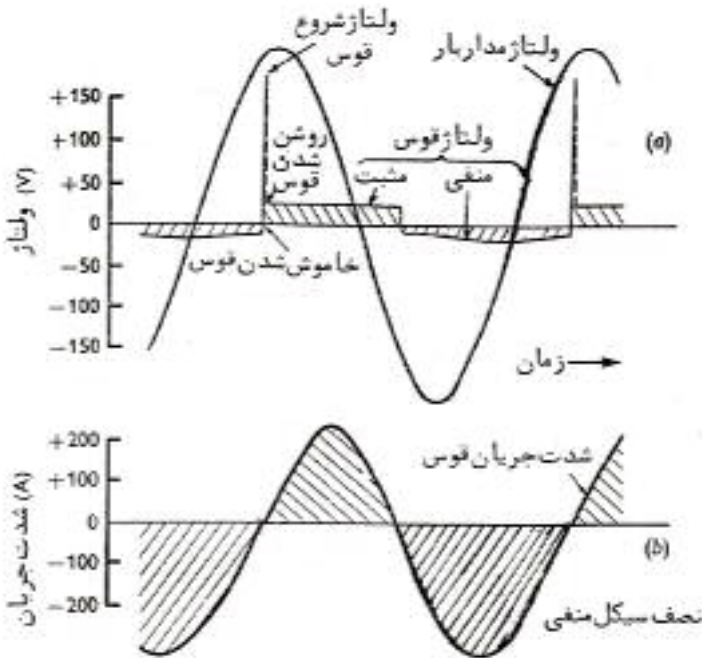
الف: منبع قدرت یا مولد نیرو (P.S.): در این فرایند از ترانسفورماتور، ژنراتورهای احتراقی و حتی دینام کمتر استفاده می شود و اکثراً از ترانسفورماتور + یکسو کننده

استفاده می شود تا بتواند هر دو نوع جریان AC و DC را بدهد. معمولاً ردیف آمپر ۵ تا ۸۰۰ آمپر را می توان در دستگاههای مختلف مورد استفاده در این فرایند پیدا کرد که ردیف پایینی را می توان برای جوشکاری ورقهایی به ضخامت یک زورق و ردیف های بالای آمپر را برای جوشکاری ورق های مسی تا ضخامت ۷-۶ میلیمتر به کار برد.

ب: مجموعه سیستم کنترل کننده: مدارهای مختلفی در این مجموعه طراحی شده است که وظایف مختلفی را بر عهده دارند و با توجه به سادگی یا پیشرفته بودن دستگاه ممکن است بخش هایی در یک دستگاه موجود بوده و در دستگاه دیگر موجود نباشد. به عنوان مثال اگر دستگاه به صورت خودکار باشد واحدی برای تنظیم سرعت پیشروی جوشکاری و کنترل مسیر و نقاط شروع و انتهای جوشکاری وجود خواهد داشت، اما در نوع دستی این قسمت حذف شده و مشعل در دست جوشکار می باشد. مدار جرقه فرکانس بالا (H-F) معمولاً در این مجموعه وجود دارد، چون صحیح نیست برای شروع قوس از تماس الکتروود با کار استفاده شود. دریچه های مخصوص قطع و وصل جریان گاز و همچنین در بعضی دستگاه های دارای مشعل خنک شونده با آب، دریچه های قطع و وصل جریان آب وجود دارد. دریچه های قطع و وصل جریان گاز به گونه ای است که با کلیدی که بر روی مشعل است فرمان گرفته و باز می شوند و چند ثانیه پس از قطع و خاموش شدن قوس (که قابل تنظیم است) قطع می شوند. دریچه های آبگرد به کمک ترموستات و با توجه به دمای آب باز و بسته می شوند. در مجموعه بعضی از دستگاه ها سنسور خاصی وجود دارد که اگر به دلیلی دمای آب و مشعل از حدی بیشتر شود قبل از آسیب رسیدن به مشعل جریان برق قطع می شود. در اغلب موارد با چرخاندن یک کلید ساده می توان جریان را از AC به DC و برعکس تبدیل کرد. توسط کلید دیگری حتی می توان قطبیت جریان را نیز تغییر داد. بدیهی است تنظیم میزان آمپر و در بعضی موارد ولتاژ نیز میسر است.

در جریان متناوب تغییر جهت ولتاژ و جریان الکتریکی در هر نیم سیکل مشکل روشن کردن مجدد قوس را به وجود می آورد، زیرا در هر نیم سیکل یکبار شدت جریان صفر می شود. هنگامی که الکتروود مثبت، منفی می شود روشن شدن مجدد قوس مسأله ای به وجود نمی آورد، اما لحظه ای که الکتروود منفی، مثبت می شود برای ایجاد مجدد قوس یک ولتاژ اضافی نیاز است که به راحتی روی سیکل

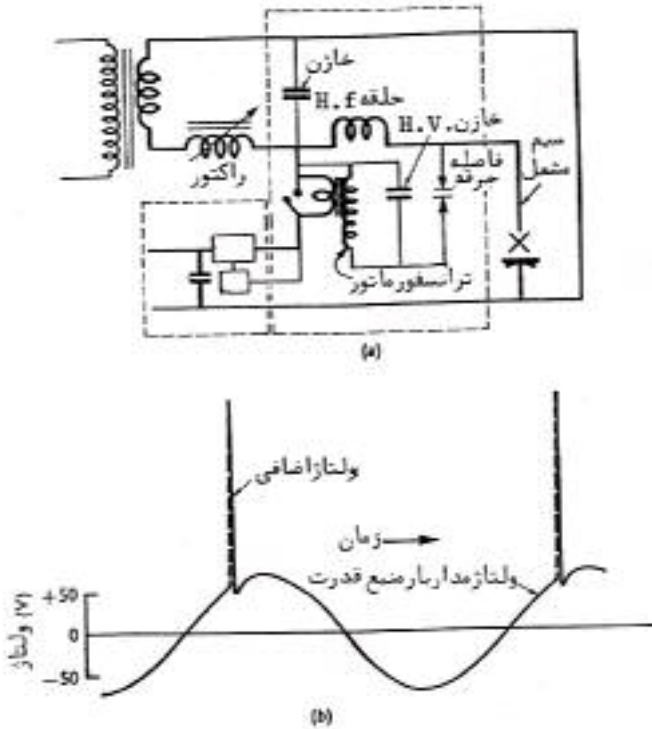
"ولتاژ-آمپر" می توان آن را مشاهده کرد (شکل ۱-۶۱).



شکل ۱-۶۱- سیکل ولتاژ-آمپر قوس در جریان متناوب و الکتروود تنگستن

برای تأمین ولتاژ اضافی در تبدیل منفی به مثبت الکتروود، و شروع مجدد قوس راه‌های مختلفی به ویژه در زمینه طراحی ترانسفورماتورها ارائه شده است. طراحان ترانسفورماتور با قرار دادن خازن‌ها با واحد "جرقه با فرکانس بالا" و مدارهای دیگر در مجموعه سیستم کنترل مدار نیرو این ولتاژ اضافی را تأمین می‌کنند. همان‌طور که قبلاً اشاره شد این واحد به هنگام شروع اولیه قوس نیز ولتاژ چند ده هزار ولت را در چند میلی‌ثانیه به وجود می‌آورد. به عنوان مثال یک یا چند خازن با یک ترانسفورماتور کم‌قدرت، شارژ و سپس در بین شکاف به صورت جرقه خالی می‌شود. انرژی در بین فاصله جرقه منتقل شده و حوزه الکتریکی خازن و حوزه مغناطیسی یک سیم پیچ القایی، جریان نوسانی با فرکانس بالا (در حدود ۳-۴ MHz) در مدار ایجاد می‌کند. این جریان با فرکانس بالا در بین فاصله قوس که حدود نیم

اینچ است عبور کرده و سبب یونیزه شدن گاز آرگون و ایجاد مسیر جریان الکتریکی و در نتیجه ایجاد قوس می شود. نمونه ای از طرح مدار و موج ولتاژ در شکل ۱-۶۲ نشان داده شده است. در موارد بسیار خاص در دستگاه های خودکار، نیاز به غذا دادن سیم جوش است که می بایست بخش ویژه ای در این مجموعه پیش بینی شود تا راندن سیم و کنترل سرعت آن در ارتباط با متغیرهای دیگر را انجام دهد. در اینچنین دستگاه هایی ممکن است ضرورت گرم بودن سیم قبل از رسیدن به حوضچه جوش احساس شود که برای این امر نیز مدار خاصی، طراحی و در مجموعه قرار می گیرد.



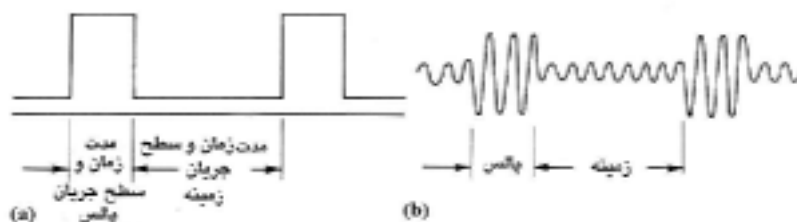
شکل ۱-۶۲- نمونه ای از طرح مدار و موج ولتاژ مربوط به آن برای تأمین ولتاژ اضافی

در دستگاه هایی که لازم است توانایی جوش "قوس -الکتروود تنگستنی نقطه ای"<sup>۱</sup> نیز داشته باشند لازم است بخشی پیش بینی شود که به کمک آن طول زمان

<sup>۱</sup> - Spot T.I.G.



روشن بودن قوس با دقت خوبی قابل تنظیم باشد. برای این هدف نیز راهکارهای مختلفی وجود دارد و موارد ویژه ای در مجموعه سیستم کنترل قرار می گیرد. در دستگاه های پیشرفته TIG لازم است جریان علاوه بر حالت تناوبی سینوسی و خطی یکنواخت، قابلیت های دیگری نیز داشته باشد و بتوان تغییراتی در آن به وجود آورد. به عنوان مثال در برخی موارد از جریان ضربانی استفاده می شود که در این حالت فرایند، تیگ ضربانی<sup>۱</sup> نامیده می شود. در این دستگاه ها مدارهایی طراحی و اضافه می شود که موجب می شوند جریان الکتریکی خروجی به صورت ضربانی باشد (در فرایند بعدی بیشتر توضیح داده می شود). در این حالت می توان جریان مینیمم، ماکزیمم و زمانهای مربوط به جریان مینیمم و ماکزیمم را تنظیم کرد (شکل ۵۷). بدیهی است با توجه به حساسیت کار، میزان تولید، تعداد قطعه و ... می توان دستگاه TIG ساده و یا پیشرفته سفارش داد و به کار گرفت.



شکل ۵۷- شکل موج فرایند قوس تنگستن ضربانی (a) جریان مستقیم (b) جریان متناوب

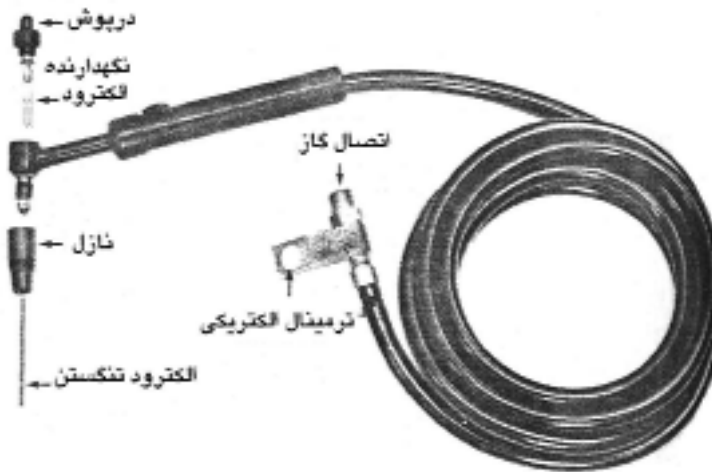
ج: واحد تأمین گاز محافظ: این واحد شامل کپسول گاز، رگولاتور، دبی سنج و شیلنگ گاز است. گاز به مجموعه سیستم کنترل وصل بوده و از طریق این مجموعه به مشعل متصل می شود. بدین ترتیب لازم نیست برای هر دفعه جوشکاری شیر کپسول گاز باز و بسته شود و احیاناً در این اثنا نیز مقداری گاز تلف شود.

د: سیستم سردکننده آبی: در دستگاه های با ردیف آمپر پایین معمولاً مشعل ساده بوده و سیستم سردکننده آبگرد لازم نیست، اما در آمپرهای متوسط یا زیاد لازم است مشعل با آب خنک شود. این سیستم نیز در دستگاه جوش پیش بینی شده است

<sup>۱</sup> - Pulsed T.I.G.

که گاهی اوقات به صورت مدار باز و در برخی موارد به شکل مدار بسته است. در سیستم های مدار بسته شبیه رادیاتور اتومبیل، مخزن آبی وجود دارد که ترجیحاً آب مقطر در آن ریخته و به کمک پمپ خنک می شود. آب به مشعل هدایت شده و مجدداً به مخزن برمی گردد. دریچه های مخصوص و ترموستات، جریان آب و قطع و وصل شدن آن را تنظیم می کنند. در سیستم های مدار باز آب ورودی و آب خروجی وجود دارد و نیاز به لوله کشی آب و فازضلاب است. در مسیر آبگرد ممکن است فیلترهایی نیز پیش بینی شود که لازم است هرچند مدت یکبار تمیز شود.

۵: مشعل تفنگی<sup>۱</sup>: تفاوت جزئی در شکل و طراحی مشعل برای فرایند TIG دستی و خودکار وجود دارد، اما کلیات و اجزای مشعل ها بسیار به هم شباهت دارند. انواع و اقسام نگهدارنده الکتروود یا مشعل در بازار موجود است که هر یک در شرایط خاصی کاربرد دارند، ولی به طور کلی سعی بر این است که مشعل های دستی سبک و به راحتی قابل استفاده باشند و همچنین تعویض نازل و الکتروود و حتی تغییر زاویه الکتروود نیز به سادگی امکان پذیر باشد. مشعل از بخش های زیر تشکیل شده است (شکل):



شکل ۵- یک مشعل فرایند قوس تنگستن خنک شونده با هوا

- بدنه مشعل: معمولاً دو لایه است که قسمت بیرونی از مواد پلیمری عایق ساخته می

<sup>۱</sup> - Gun Torch

شود. لوله ورود گاز محافظ، لوله های رفت و برگشت آب و کابل جریان الکتریکی به انتهای دسته یا بدنه مشعل وارد می شود. در قسمت دیگر بدنه کلاهی قرار گرفته که با چرخاندن آن فشار از روی لوله مسی نگهدارنده الکتروود برداشته می شود و بدین ترتیب می توان الکتروود تنگستن را از مشعل جدا کرد.

- لوله مسی نگهدارنده الکتروود: قطر بیرونی لوله ثابت است اما قطر داخلی آن با توجه به قطر الکتروود تنگستن به کار برده شده تغییر می کند. بنابراین برای هر مشعل می توان تعدادی لوله مسی را متناسب با الکتروودهای مختلف سفارش داد. در نوک لوله مسی شکافهایی تعبیه شده است که حالت کونیک دارند و با فشار کلاهی و جمع شدن نوک لوله مسی، الکتروود در داخل آن محکم نگهداشته می شود.

- نازل سرامیکی (که گاهی فلزی نیز می باشد): قطر دهانه نازل را باید با توجه به قطر الکتروود تنگستنی و طرح اتصال انتخاب کرد و با توجه به شکننده بودن آن، ضمن استفاده از مشعل مواظب ضربه خوردن به آن نیز بود. کلیدی بر روی دسته مشعل است که گاهی به صورت فشاری با انگشت شست و یا به شکل اهرمی با چهار انگشت دیگر عمل کرده و با خاموش و روشن شدن آن چندین عمل (از جمله دریچه های گاز محافظ، مدار H.F. و دریچه های آبگرد) با ترتیب خاصی از طریق مجموعه سیستم کنترل کننده انجام می گیرد. در سیستم های خودکار کلید از روی مشعل جدا شده و به صورت میکروسوییچ جداگانه ای طراحی می شود.

- گاهی بین لوله مسی نگهدارنده الکتروود و نازل توری خاصی قرار می گیرد تا پخش گاز محافظ بهتر انجام شود.

- الکتروود تنگستنی بخش دیگری از مشعل است که به راحتی می توان آن را از مشعل جدا و یا بر روی آن سوار کرد. حال ممکن است این سؤال مطرح شود که آیا می توان از فلزات دیگر به عنوان الکتروود استفاده کرد؟ پاسخ این است که ممکن است از مولیبدن و برخی فلزات با نقطه ذوب بالا نیز بتوان استفاده کرد اما کاربرد تنگستن به صورت خالص یا آلیاژهای آن که دارای ۱-۲ درصد توریا (اکسید توریم) و یا ریزکونیم هستند بیشتر متداول است. وجود این عناصر در داخل الکتروود تنگستن مقاومت آن را در مقابل ذوب شدن، اکسید شدن و ناخالص کردن جوش افزایش می دهد و تا حدی نیز در پتانسیل یونیزاسیون و پایداری قوس نقش دارند.

هر یک از الکتروودهای تنگستن خالص، تنگستن - زیرکونیم و یا تنگستن -

توریم در موارد خاصی مورد استفاده قرار می گیرد. قطر الکتروود تنگستن ممکن است از حدود دهم میلیمتر تا ۸ میلیمتر تغییر کند که بدیهی است الکترودهای باریک برای کارهای ظریف و آمپر کم و برعکس الکترودهای قطور برای آمپرهای بالا و کارهای نسبتاً ضخیم استفاده می شود. تذکر این نکته لازم است که زاویه نوک الکتروود تنگستن تراشیده شده بر روی عمق نفوذ جوش و تمرکز حرارت قوس تأثیر قابل توجهی دارد. همچنین هنگامی که از سیستم کنترل اتوماتیک قوس استفاده می شود زاویه مخروط نوک الکتروود بر روی رابطه طول قوس و ولتاژ قوس تأثیر دارد.

مواد مصرفی: در فرایند جوشکاری قوس - الکتروود تنگستن یکی از مواد مصرفی به کار برده شده گاز محافظ است که گاهی به صورت گاز خالص آرگون یا هلیوم و زمانی به صورت مخلوط چند گاز با درصدهای مختلف مورد استفاده قرار می گیرد. نوع و ترکیب گاز محافظ خصوصیات متفاوتی در فیزیک قوس و در متالورژی جوش بوجود خواهد آورد. الکتروود تنگستن را به عنوان ماده مصرفی نمی توان نام برد اما جزو قطعات مستهلک شونده است و نازل هم تا حدودی همین حالت را دارد.

مفتول یا سیم جوش را نیز می توان جزو مواد مصرفی نام برد، هرچند در بعضی شرایط می توان با فشردن لبه های تخت بهم و یا برگرداندن لبه ها، عملیات جوشکاری را بدون استفاده از فلز پرکننده انجام داد. به هر حال ردیف گسترده ای از مفتولها حتی وسیع تر از الکتروود پوشش دار و سیم چوش زیرپودری را می توان برای این فرایند جهت جوشکاری انواع فولادها و آلیاژهای غیرآهنی تهیه و استفاده کرد. مفتول از قطر دهم میلیمتر تا چند میلیمتر نیز قابل سفارش و دستیابی است.

### متغیرهای فرایند

در این فرایند نیز متغیرهایی هستند که شناخت آنها و تأثیرات کمی و کیفی آنها بر روی خواص جوش برای دستیابی به جوش مطلوب لازم است. در فرایند دستی بخشی از متغیرها در اختیار جوشکار است و او باید ضمن عملیات جوشکاری کنترل لازم را با توجه به مهارتش انجام دهد، اما در فرایند خودکار تقریباً تمام متغیرها بر روی دستگاه قابل تنظیم است. بهینه کردن آنها با توجه به نوع و ضخامت قطعه کار، وضعیت جوشکاری و انتظارات خواسته شده از جوش به کمک بعضی جداول کمکی در مراجع و گاهی نیز با انجام جوش هایی بر روی قطعه آزمایشی و درنهایت تنظیم

آنها صورت می گیرد. تنظیم اولیه متغیرها لازم است اما کافی نیست و باید هرچند وقت یکبار در فواصل زمانی مشخص کنترل مجدد شوند. متغیرهای فرایند جوشکاری قوس -الکتروود تنگستن عبارتند از:

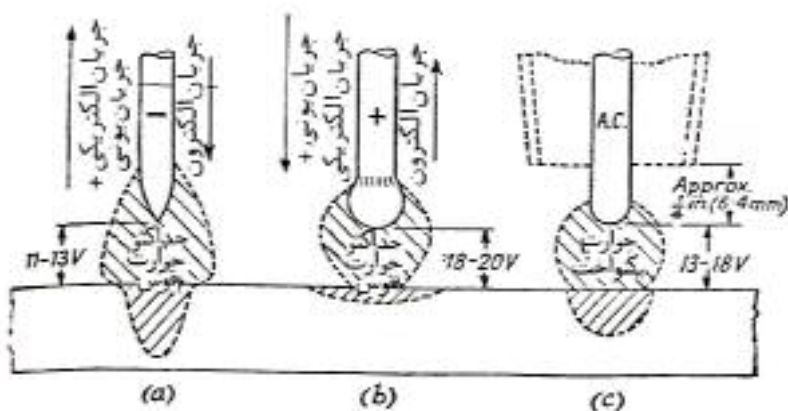
#### الف: شدت جریان الکتریکی (نوع، قطب و میزان جریان الکتریکی)

در این فرایند کمتر از جریان DC و الکتروود مثبت استفاده می شود زیرا حرارت بیشتری در قطب مثبت متمرکز می شود. شدت جریان بیش از ۱۰۰ آمپر با الکتروود مثبت سبب بالا رفتن درجه حرارت نوک الکتروود، کروی شدن و درنهایت ذوب شدن انتهای الکتروود و بزرگ شدن نوک آن می شود. احتمال وقوع این پدیده حتی اگر قطر الکتروود بزرگ هم باشد (مثلاً ۶ میلیمتر) وجود دارد. وقتی الکتروود منفی باشد شدت جریان بحرانی به ۸ برابر حالت قبل می رسد. مزیت مهم الکتروود مثبت با جریان یکنواخت، خاصیت تمیزکاری قوس است. دلیل این امر کاملاً روشن نیست و تئوری های مختلفی برای توضیح آن وجود دارد، از جمله این که بمباران یونها سبب تمیز شدن و پراکنده کردن اکسید در روی سطح حوضچه جوش می شود یا این که جریان الکترون ها از کار به الکتروود باعث عقب راندن اکسید در سطح مذاب می گردد. فیلم برداری با سرعت بالا در قوس پشت فیلترهای مخصوص نشان می دهد که نوسانات و لرزش های شدید و سریعی در نقطه کاتد که محل ذرات اکسید و یا ناخالصی است وجود دارد. البته تعدادی از ناخالصی ها و اکسیدها بخار شده و قسمت دیگر شکسته و به اطراف لبه های حوضچه جوش پراکنده می شود. این فعالیت به ویژه در مورد آلومینیوم و فلزاتی که دارای اکسیدهای دیرگدان هستند حائز اهمیت است.

جریان الکتریکی متناوب تقریباً قسمتی از مزایا و محدودیت های جریان دائم با الکتروود مثبت را دارد. بدین معنی که عمل تمیز کردن را در یک نیم سیکل (هنگامی که الکتروود مثبت است) انجام می دهد و در هر نیم سیکل بعد الکتروود خنک می شود. شکل ۱-۶ اثر جریان و قطب الکتروود را بر روی نوک الکتروود و حوضچه جوش نشان می دهد. با توجه به توضیح فوق واضح است که در این فرایند نوع جریان و قطب جریان اهمیت بیشتری نسبت به فرایندهای دیگر جوشکاری قوس دارد.

علاوه بر نوع و قطب جریان، میزان شدت جریان را نیز باید در نظر گرفت. میزان شدت جریان نباید خیلی زیاد باشد چون موجب ذوب اضافه و ریزش آن از درز اتصال و همچنین افزایش حرارت داده شده و تأثیر بر روی ساختار و خواص

مکانیکی جوش می شود. کاهش شدت جریان به مقدار زیاد نیز موجب ناپایداری قوس و ذوب ناقص جوش می شود. بنابراین شدت جریان در دامنه معینی که تا حدودی به قطر الکترود، طرح مشعل و سیستم سرد کنندگی آن، قطب و نوع جریان و شرایط کار بستگی دارد، تعیین می شود.



شکل ۱-۶ اثر نوع جریان و قطب بر روی نوک الکترود و شکل حوضچه جوش

#### ب: اختلاف پتانسیل

تأثیر ولتاژ از نظر کمی و کیفی مشابه بحثی است که در فرایند زیرپودری مطرح شد. ولتاژ بیشتر بر روی پهنای جوش و همچنین حرارت داده شده از قوس به قطعه کار تأثیر می گذارد.

#### ج: سرعت پیشروی جوشکاری

این متغیر در فرایند دستی توسط جوشکار کنترل شده و برحسب ضرورت شبیه جوشکاری با الکترود دستی، جوشکار می تواند در هر لحظه آن را کم و زیاد نماید، اما توصیه می شود سرعت تقریباً یکنواخت و ثابت نگه داشته شود. در فرایند خودکار اگر مشعل بر روی گاری سوار باشد سرعت جوشکاری با تنظیم سرعت حرکت گاری در مسیر از پیش تعیین شده تنظیم می شود و اگر مشعل ثابت باشد و قطعه کار حرکت کند، سرعت جوشکاری با تنظیم سرعت انتقالی یا چرخشی قطعه کنترل می شود. سرعت جوشکاری هم بر روی کمیت جوش (حجم حوضچه مذاب) و هم بر روی کیفیت جوش (سرعت سرد شدن، ساختار و خواص مکانیکی) تأثیر می گذارد که چون قبلاً در فرایندهای دیگر توضیح داده شده است از تکرار آن پرهیز می

شود.

#### د: گاز محافظ (نوع، خلوص و فشار)

گاز محافظ علاوه بر اینکه حوضچه جوش را محافظت می کند باید نوک الکتروود را هم از اکسید شدن حفظ کند چون در درجه حرارت های بالا احتمال اکسید شدن الکتروود تنگستنی نیز وجود دارد. گاز محافظ می تواند مخلوطی از گازهای بی اثر با گازهای دیگر نظیر هیدروژن و یا ازت باشد، اما هیدروژن چون ولتاژ باز مدار را زیاد می کند و همچنین احتمال جذب در مذاب و ایجاد تردی هیدروژنی و یا خلل و فرج را دارد، کمتر به کار می رود. ازت نیز در همه موارد قابل استفاده نیست. از بین گازهای بی اثر معمولاً آرگون و هلیوم بیشتر استفاده می شوند. به علت گرمای ویژه<sup>۱</sup> بیشتر هلیوم، حرارت بیشتری صرف گرم کردن آن در ضمن جوشکاری می شود. در نتیجه "حرارت مؤثر" کمتری به جوش می رسد که موجب می شود جوش حاصل دارای ساختار میکروسکوپی ریزتر و احتمال پیچیدگی کمتری باشد، اما از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست. همین طور چون هلیوم سبک تر از آرگون است مقدار بیشتری گاز برای محافظت جوش لازم است. البته در وضعیت بالای سر این موضوع صدق نمی کند. قیمت تجارتي گاز هلیوم نیز گرانتر از آرگون است. گاز آرگون دارای ولتاژ یونیزاسیون پایین تری است و در نتیجه به هنگام استفاده از جریان متناوب، روشن کردن مجدد قوس در هر سیکل راحت تر انجام می گیرد و برای جریان AC مناسب تر از هلیوم می باشد. به همین دلیل از گاز آرگون هم برای جوشکاری خودکار و هم جوشکاری دستی استفاده می شود در صورتی که گاز هلیوم معمولاً برای جوشکاری اتوماتیک مورد استفاده قرار می گیرد. البته نوع گاز محافظ بر روی نفوذ جوش و شکل مقطع جوش نیز تأثیر دارد که در فرایند بعدی بیشتر توضیح داده خواهد شد.

علاوه بر نوع گاز محافظ، درجه خلوص آن نیز حائز اهمیت است. چون گاز آرگون و هلیوم از هوا گرفته می شوند ناخالصی همراه با آن عمدتاً شامل اکسیژن، ازت و رطوبت است. در جوشکاری بعضی آلیاژها و فلزات فعال حتی درصد بسیار کم اکسیژن می تواند موجب ایجاد ناخالصی ها یا تغییر در عناصر آلیاژی حساس در

<sup>۱</sup> - Specific Heat

جوش شود که خواص جوش (در بعضی موارد سختی پذیری رسوبی) را تحت تأثیر قرار می دهد. ناخالصی رطوبت عمدتاً به صورت هیدروژن مشکل ساز بوده و اضافه شدن چند PPM هیدروژن می تواند حساسیت به تردی هیدروژنی را زیادتیر کند. ازت هم اثری شبیه اکسیژن دارد و یا در برخی موارد موجب تخلخل می شود. خلوص گازهای محافظ به صورت تعداد ۹ در گازها نشان می دهند (نظیر آرگون سه تا نه و یا آرگون پنج تا نه).

فشار گاز محافظ نیز باید مقدار بهینه ای داشته باشد که با توجه به قطر دهانه نازل، قطر الکتروود تنگستنی، نوع گاز محافظ و حجم و وسعت حوضچه مذاب تنظیم می شود. واضح است که اگر فشار گاز محافظ کم باشد عمل محافظت به طور کامل انجام نخواهد شد و اگر فشار گاز محافظ زیاد باشد. موجب پاشش مذاب از حوضچه جوش به بیرون، مصرف گاز اضافی و صرف هزینه بیشتر می شود که مطلوب نیست. همچنین ممکن است موجب حرکت اغتشاشی گاز در جلو دهانه نازل شده و عمل محافظت نیز به مخاطره بیفتد (بحث منطقه تحت پوشش و قانون رینولد در بخش های بعدی مطرح خواهد شد).

#### ه: الکتروود تنگستن (نوع، قطر، زاویه تراش نوک آن)

همانطور که قبلاً اشاره شد، وجود یک یا دو درصد توریا یا زیرکونیم مقاومت الکتروود تنگستن را در مقابل نوب و یا اکسید شدن و در نتیجه ناخالص کردن جوش افزایش می دهد. معمولاً برای جوشکاری فلزات و آلیاژهای مختلف نوع الکتروود تنگستنی تفاوت می کند. این نکته مهم است که زاویه نوک الکتروود تنگستنی تراشیده شده چقدر است چون بر روی عمق نفوذ و شکل مقطع جوش و همچنین عمر الکتروود تأثیر مستقیم دارد. زاویه مخروط نوک الکتروود بر روی رابطه طول قوس و ولتاژ قوس نیز تأثیر دارد. زاویه مخروط نوک الکتروود برای مقاصد مختلف به شرح زیر پیشنهاد شده است:

- نفوذ کامل با آمپر ۲۰۰-۵۰، زاویه ۶۰-۳۰ درجه
- نفوذ کامل با آمپر ۲۰۰-۵۰ (جایی که نوسان الکتروود لازم است)، زاویه مخروط ۹۰-۱۲۰ درجه
- ردیف پرکننده با شدت جریانی کمتر از ۲۰۰ آمپر، زاویه مخروط ۶۰ درجه
- ردیف پرکننده با شدت جریانی کمتر از ۲۰۰ آمپر، زاویه مخروط ۶۰ درصد



- حالت پرکننده، استفاده از جریان بیش از ۲۰۰ آمپر با کمترین سوختگی کناره جوش، زاویه مخروط ۱۲۰ درجه

قطر الکترود تنگستنی با توجه به میزان شدت جریان، نوع و قطب جریان، طراحی مشعل و شرایط کار انتخاب می شود. بدیهی است اگر این نکات رعایت نشود مشکل کروی شدن نوک الکترود و ذوب شدن آن پیش خواهد آمد که ناخواسته است. اگر قطر الکترود تنگستن بیش از حد بزرگ انتخاب شود تمرکز حرارت که از امتیازات فرایند TIG است تحت تأثیر قرار می گیرد و پهنای باند جوش متناسب با ضخامت و ظرافت کار نخواهد بود.

### و: قطر دهانه نازل

معمولاً بر روی هر مشعل نازل های سرامیکی یا فلزی با قطر دهانه مختلف می توان قرار داد که بر روی سرعت خروجی گاز محافظ و وسعت منطقه تحت پوشش تأثیر دارد. اگر قطر دهانه نازل ثابت باشد با افزایش قطر الکترود تنگستن بدیهی است که مقطع خروجی گاز در دهانه نازل کم می شود و چه بسا ممکن است با فشار گاز خروجی ثابت، سرعت گاز در دهانه نازل آنقدر زیاد شود که جریان گاز در دهانه نازل حالت اغتشاشی پیدا کند و محافظت حوضچه جوش به مخاطره بیفتد (در این مورد نیز در بخش های بعدی بیشتر بحث خواهد شد).

### ز: فلز پرکننده یا مفتول (نوع، قطر و میزان غذا دادن)

در مواردی که ضخامت قطعه کم یا نسبتاً کم باشد ممکن است با گونیایی بودن لبه ها و فاصله درز اتصال<sup>۱</sup> صفر و یا برگرداندن لبه ها مطابق شکل (۱-۶۴) بدون استفاده از فلز پرکننده عملیات جوشکاری را انجام داد، اما در مواردی که ضخامت قطعه زیاد و نیاز به نفوذ کامل است پخ سازی و پیش بینی فاصله ای برای درز اتصال لازم است. در نتیجه در این حالت می بایست فضایی با فلز پرکننده که به صورت مفتول است پر شود. همچنین گاهی به دلایل متالورژیکی برای تغییر ترکیب شیمیایی لایه رسوب داده شده نیز از فلز پرکننده استفاده می شود.

<sup>۱</sup> - Root gap



شکل ۱-۶۴- نمونه ای از طرح اتصال ورقهای نازک برای جوشکاری TIG بدون نیاز به مفتول

ردیف گسترده ای از مفتول با ترکیبات مختلف در گروه فولادها و فلزات غیر آهنی وجود دارد که با توجه به جنبه های متالورژیکی (جنس قطعه کار و خواص خواسته شده از جوش) انتخاب می شود. میزان اضافه کردن فلز پرکننده به حوضچه جوش نیز در محدوده نسبتاً وسیعی قابل تغییر است. به بیان دیگر "میزان رقت" (درصد فلز پایه در فلز جوش) از ۵ تا صد در صد قابل تغییر می باشد چون فلز پرکننده و منبع حرارتی مستقل و منفک از یکدیگر می باشند. قطر مفتول به کار برده شده نیز نکته مهم دیگری است که با توجه به قطر الکتروود تنگستن و ظرافت کار انتخاب می شود. اگر میزان آمپر بالا، الکتروود تنگستنی قطور و حجم جوش زیاد لازم باشد و مفتول باریکی انتخاب شود جوشکار با مشکل تکنیکی روبرو خواهد شد و برای هر طول کوتاه جوش می بایست چندین مرتبه جوشکاری را قطع کند تا از مفتول جدید استفاده نماید. برعکس اگر کار ظریف، آمپر کم و قطر الکتروود تنگستنی باریک باشد و از یک مفتول قطور و نامناسب استفاده شود با تماس نوک مفتول به کناره حوضچه جوش، ذوب مفتول به راحتی انجام نمی شود و حتی ممکن است مفتول به کار بچسبد.

### نکات تکنیکی فرایند جوشکاری قوس -الکتروود تنگستنی و گاز خنثی

آماده سازی قطعات قبل از جوشکاری و چگونگی سوار کردن اجزا در کنار یکدیگر و ترتیب عملیات جوشکاری یکی از نکات تکنیکی مهم و اولیه است که در اینجا به ذکر آن در همین حد اکتفاء شده و برای جلوگیری از تکرار برای هر فرایند جوشکاری در کتاب سوم (بازرسی و طراحی) توضیح داده خواهد شد. توجه به نکات ایمنی عمومی و خاص این فرایند نیز قبل از اجرای عملیات جوشکاری و در حین آن ضروری و

لازم است. در اینجا فرض می شود که جوشکار به این موضوع نیز آشنا است و متغیرهای فرایند نیز در شرایط اپتیمم تنظیم شده است و یا در حین عملیات جوشکاری به صورت دستی تنظیم می شوند.

برای شروع عملیات جوشکاری ابتدا بهتر است جوشکار از سلامت نازل و تمیز بودن نوک الکتروود تنگستن مطمئن شود. بهتر است نوک الکتروود تنگستنی به مقدار کم (حدود ۳-۱ میلیمتر) بیرون از لبه نازل باشد. مشعل به محل شروع جوش نزدیک و کلید مشعل فشار داده می شود. بدین ترتیب یک قوس موقت به وجود می آید که با نزدیک شدن نوک الکتروود به کار حالت پایداری بخود می گیرد. همان طور که قبلاً اشاره شد نیازی به تماس الکتروود تنگستن با کار نیست و این کار صحیح نیز نمی باشد. در وضعیت تخت مشعل زاویه ای نزدیک به ۹۰ درجه نسبت به سطح کار دارد. معمولاً طول قوس در حدود قطر الکتروود است. با ایجاد قوس و پایداری آن حوضچه جوش شکل می گیرد. اگر شدت جریان کافی باشد این زمان بیش از چند ثانیه طول نمی کشد و سطح حوضچه جوش شفاف و روشن پشت شیشه تارماسک ظاهر می گردد. به کنترل حرکت مشعل در راستای الکتروود نیازی نیست، چون الکتروود ذوب نمی شود و کافی است فاصله مشعل نسبت به کار حفظ شود. حرکت مشعل در راستای درز اتصال در فرایند دستی و کنترل این حرکت نیاز به تمرین و تجربه دارد. البته در فرایندهای خودکار یا این کار با ماشین انجام می شود و یا مشعل ثابت است و قطعه کار حرکت می کند. جهت حرکت مشعل به دو صورت می تواند باشد:

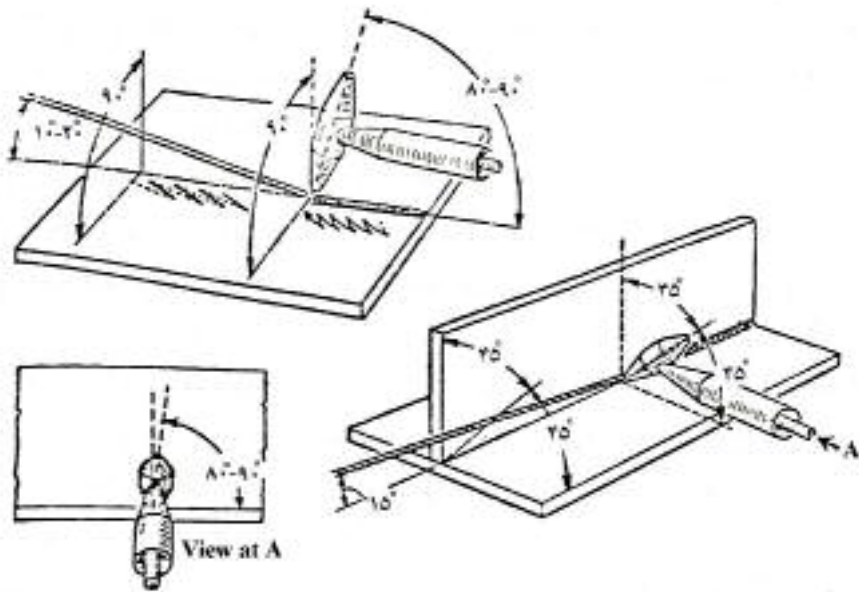
الف: روش "به چپ" یا از راست به چپ<sup>۱</sup>

ب: روش "به راست" یا از چپ به راست<sup>۲</sup>

بهتر است از روش "به چپ" استفاده شود تا حوضچه جوش بهتر قابل رؤیت باشد و در ضمن وزش آرگون جلوی بانده جوش را فراگیرد (شکل ۱-۶۳). سرعت این حرکت باید به گونه ای باشد که موجب ذوب ناقص و سطحی و یا برعکس ذوب اضافی و ریزش ذوب نگردد. اگر لازم باشد فلز پرکننده یا مفتول نیز به حوضچه جوش اضافه می شود. این عمل باید طوری انجام شود تا

<sup>۱</sup> - Left ward

<sup>۲</sup> - Right ward



شکل ۱-۳- تکنیک به طرف چپ با استفاده از مشعل TIG و مفتول

الف- مانع عمل محافظت حوضچه جوش توسط جریان گاز نشود.  
 ب- نوک مفتول نیز تحت جریان گاز قرار گرفته و اکسیده نشود.  
 ج- مفتول به الکترود تنگستنی برخورد نکند چون به محض اینکه الکترود تنگستنی به مفتول و یا حوضچه جوش برخورد کند بخشی از مذاب به الکترود چسبیده و با آن آلیاژ می شود. بدین ترتیب نقطه ذوب تنگستنی پایین می آید، نوک الکترود تغییر شکل می دهد و موجب مصرف ناخواسته الکترود تنگستنی و آلوده شدن جوش با ناخالصی های تنگستنی می شود که ناخواسته است و موجب کاهش خواص جوش می شود. بنابراین چرخاندن نوک الکترود تنگستنی به طرف مفتول و یا فرو بردن نوک مفتول در قوس صحیح نیست و بهتر است به مقداری که لازم است گهگاه نوک مفتول درحالی که در هاله گاز محافظ قرار دارد کناره حوضچه جوش را لمس کرده یا نوک بزند. در هر حال بهتر است از لرزش و حرکات غیرضروری مفتول یا الکترود تنگستنی اجتناب به عمل آید.

مفتول باریک سبب ذوب سریع شده و نوک آن گلوله ای می شود. مفتول کلفت نیز موجب می شود عمل محافظت حوضچه جوش و نوک مفتول به خوبی انجام

نگیرد. در نتیجه اندازه مفتول و جنس آن باید با جنس قطعه مورد اتصال، شرایط کار و خواصی که از اتصال انتظار می رود متناسب باشد. تغذیه خودکار مفتول در روش خودکار جوشکاری TIG نیز رایج می باشد و میزان راندن سیم و محل اضافه شدن آن قابل تنظیم است.

گاهی برای اجتناب از احتمال وقوع ترکیدگی در جوش لازم است که ترکیب شیمیایی جوش کاملاً کنترل شده باشد و در ردیفی از ترکیب شیمیایی قرار گیرد که حساسیت کمتری در مقابل ترکیدگی دارند که این پدیده با اضافه کردن مفتول با عناصر خاص انجام می گیرد (بحث متالورژیکی آن در کتاب دوم خواهد آمد).

هنگام خاموش کردن قوس باید توجه داشت که جریان گاز تا لحظاتی پس از قطع قوس نیز ادامه دارد تا از اکسید شدن سطح جوش حین انجماد در لحظات پایانی و همچنین نوک الکتروود گداخته شده جلوگیری شود. در بسیاری از دستگاه ها از دریچه های کنترل زمانی مخصوص استفاده می شود به طوری که چند لحظه قبل از شروع قوس جریان گاز برقرار می شود و تا چند لحظه پس از خاموش کردن قوس نیز ادامه دارد. بنابراین جوشکار باید توجه داشته باشد که در لحظه ای که با آزاد کردن کلید بر روی مشعل قوس خاموش می شود مشعل عقب کشیده نشود و چند ثانیه ای مکث کند.

نکته دیگر در خاموش کردن قوس توجه به عدم تشکیل دهانه انتهایی عمیق جوش<sup>۱</sup> است، که معمولاً در اثر سرد شدن سریع حوضچه جوش به ویژه هنگامی که از مفتول استفاده نمی شود، به وجود می آید. این قسمت در مقابل نواقص متعددی حساسیت دارد که از آن جمله می توان به "ترکهای دهانه انتهایی"، "حفره دهانه انتهایی"، تجمع ناخالصی ها و حتی ذوب ناقص اشاره کرد. برای اجتناب از ایجاد این موضع، در دستگاه های ساده می توان با اضافه کردن تدریجی طول قوس و بردن آن بر روی گرده جوش (در حد یکی دو میلیمتر) و تغذیه مفتول اضافی تا حدودی موفق شد. در دستگاههای پیشرفته تر پدالی پیش بینی شده است که به کمک آن می توان در لحظه شروع قوس و انتهای جوشکاری به تدریج آمپر را افزایش و یا کاهش داد. با کاهش تدریجی آمپر در لحظه انتهایی، نیروی پلازما جت و به تبع آن فشار بر روی حوضچه مذاب کمتر می شود و در نتیجه این گودی به وجود نمی آید.

<sup>۱</sup> - Weld Crater

عملیات جوشکاری در وضعیت افقی و قائم نسبت به وضعیت تخت نیاز به رعایت دقت و مهارت بیشتری دارد و جوش بالای سر نیز کمتر انجام می شود. اگر نوع، قطب و میزان شدت جریان متناسب با قطر الکتروود تنگستن انتخاب شود، سیستم خنک کننده صحیح کار کند و همچنین تکنیک عملیات جوشکاری نیز مناسب باشد نیازی به تمیز کردن زود به زود نوک الکتروود تنگستنی نیست، اما به هر حال گهگاه لازم است الکتروود تنگستنی از مشعل بیرون آورده شود و نوک آن تمیز و تراش لازم انجام شود.

در جوشکاری فلزات فعال و قطعات حساس لازم است برای جوشکاری اولین پاس تمهیداتی برای محافظت مذاب حوضچه جوش از پشت درز اتصال به کار برد از جمله آنها استفاده از گاز محافظ پشتی می باشد.

### مزایا و محدودیت های فرایند جوشکاری T.I.G

این فرایند جوشکاری نیز دارای نقاط ضعف و قوتی است که در انتخاب فرایند جوشکاری باید به آنها توجه داشت. مهمترین مزایای این فرایند عبارتند از:

الف: تمیز بودن فرایند که از سه جنبه دارای اهمیت است. اولاً جوشکار می تواند منطقه جوش را از پشت ماسک به وضوح رؤیت کند و سرباره و آلودگی های دیگر که ممکن است مانع دید جوشکار شود وجود ندارد. ثانیاً سطح جوش کاملاً تمیز بوده و نیاز به برس زدن ندارد و نگرانی از جهت محبوس شدن سرباره نیست. ثالثاً واکنش بین سرباره - گاز و فلز مذاب جوش وجود ندارد (اگر محافظت صحیح انجام پذیرد) و به بهترین نحو می توان ترکیب شیمیایی و خواص جوش را کنترل کرد.

ب: شدت تمرکز حرارت در فرایند بالا است، به همین دلیل برای فلزات با هدایت حرارتی بالا نظیر مس و آلومینوم فرایند بسیار مناسبی است. پیچیدگی کم و وسعت منطقه متأثر از حرارت باریک نیز ناشی از تمرکز حرارت بالای این فرایند است. همچنین سرعت جوشکاری نیز نسبت به روشهای قبلی بیشتر است.

ج: جدا بودن منبع حرارتی و فلز پرکننده: با توجه به اینکه قوس بر روی الکتروود تنگستنی برقرار و تنها در صورت لزوم از مفتول استفاده می شود می توان به هر مقدار که نیاز باشد مفتول را به حوضچه جوش اضافه کرد. در نتیجه می توان میزان رقت را در یک ردیف گسترده تغییر داد و درجایی که لازم است (بعضی موارد

عملیات سطحی) با ذوب سطحی کار، مفتول با ترکیب متفاوت از قطعه کار را ذوب و به لایه رسوب داده شده اضافه کرد و یا برعکس فقط از ذوب قطعه کار، فلز جوش را به وجود آورد. این درحالی است که مثلاً در فرایند الکتروود دستی اگر در جایی رسوب فلز جوش بیشتری مد نظر باشد اجباراً حرارت بیشتری نیز باید به کار برد.

د: به علت خاصیت تمیزکنندگی قوس در حالت الکتروود مثبت، این فرایند را برای اتصال فلزاتی که اکسیدهای دیرگذار تولید می کنند (نظیر  $Zr, Mg, Al$ ) بسیار مناسب می باشد.

ه: فرایندی است که می توان از آن به صورت دستی، نیمه خودکار و کاملاً خودکار در وضعیت های مختلف استفاده کرد.

از محدودیت های فرایند نیز می توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف: چون حرارت منتقل شده در الکتروود غیرمصرفی، مفید واقع نمی شود، دارای راندمان حرارت مفید کمتری نسبت به روش های دیگر قوس - فلز با محافظت گاز خنثی است.

ب: احتمال آلوده شدن فلز جوش با تنگستن در صورت عدم رعایت نکات تکنیکی وجود دارد که این امر موجب کاهش خواص مهندسی فلز جوش می شود.

ج: چون گاز آرگون و به ویژه هلیوم گران است و سرمایه گذاری وسایل و تجهیزات نیز نسبتاً زیاد است، از نظر اقتصادی قابل مقایسه با بعضی روش های دیگر نیست. بدین جهت کمتر برای جوشکاری فولادهای معمولی و کارهای غیرحساس استفاده می شود و بیشتر برای اتصالات دقیق و فلزات حساس استفاده می شود.

د: توجه به نکات ایمنی در مورد عوارض نور قوس و رعایت آنها ضرورت بیشتری دارد، چون به علت شدت بیشتر نور قوس، عوارض آن نیز در صورت عدم استفاده از ماسک با شیشه مناسب بیشتر از روش قوس - الکتروود دستی است.

ه: به علت عدم وجود سرباره بر روی جوش و حتی عبور جریان گاز از روی جوش، معمولاً حوضچه جوش سریعتر از شرایط معمول جوشکاری سرد می شود و اگر سریع سرد شدن جوش ناخواسته باشد، باید توجه لازم را به این نکته داشت.

یکی از روشهای فرعی منشعب شده از فرایند جوشکاری TIG، جوش نقطه ای الکتروود تنگستن<sup>۱</sup> می باشد. در این روش مشعل بر روی پایه ای قرار می گیرد و

<sup>۱</sup> - Tungsten-Arc Spot welding

در نقطه ای که لازم است جوشکاری انجام شود مستقر می شود، به طوری که نوک الکتروود تنگستن دقیقاً در محلی که قرار است نقطه جوش انجام شود قرار دارد. لبه های قطعه نیز روی هم قرار می گیرد. توسط کلیدی که بر روی مشعل قرار دارد قوس زده می شود و حرارت قوس ابتدا ورق رویی و سپس بخشی از ورق زیری را ذوب می کند. با توجه به زمان معینی که قابل تنظیم و کنترل می باشد قوس روشن و سپس خاموش می شود. بدین ترتیب چون مشعل ثابت است منطقه ای شبیه یک دکمه ذوب می شود. طبیعتاً اگر زمان کوتاه باشد فقط ورق رویی ذوب و سپس منجمد می شود و اتصالی به وجود نمی آید و اگر زمان زیاد باشد حوضچه مذاب ریزش کرده و قطعات سوراخ می شوند. اگر زمان درست تنظیم شده باشد ورق رویی به طور کامل و ورق زیری به صورت جزئی (مثلاً ۶۰ درصد ضخامت ورق) ذوب شده و پس از انجماد، دکمه جوشی به وجود خواهد آمد که موجب اتصال خواهد شد. در اینجا کافی است دسترسی به یکطرف دو قطعه میسر باشد و محدودیت ضخامت ورق یا مقاومت الکتریکی کم جنس قطعه (آنچه به عنوان محدودیت در فرایند جوشکاری مقاومتی نقطه ای است) مطرح نیست.

### ۳-۲-۳- فرایند جوشکاری قوس - الکتروود مصرفی با گاز محافظ<sup>۱</sup>

این فرایند گاهی تحت عنوان جوش MIG/MAG<sup>۲</sup> و یا جوش CO<sub>2</sub> نیز شناخته می شود که در هر مورد اختلافات جزئی با فرایند جوشکاری قوس - الکتروود مصرفی با گاز محافظ وجود دارد که در ادامه بحث اشاره خواهد شد. در سال ۱۹۴۸ برای رفع بعضی محدودیت های روش جوشکاری الکتروود تنگستن، فرایند دیگری از قوس محفوظ در گاز اختراع شد که در آن به جای الکتروود تنگستنی غیرمصرفی از الکتروود فولادی یا آلومینیومی و اصولاً آلیاژ مصرفی استفاده می شد. این الکتروود در ضمن جوشکاری همراه با ایجاد قوس به طور مداوم ذوب شده و به محل جوش اضافه می شود. الکتروود یا سیم مداوم متناسب با نرخ ذوب با سرعت معینی از یک کلاف به طرف جوش هدایت شده و وارد حوضچه جوش می شود.

اگر فلز قطعه کار و سیم مصرفی از فلزات و آلیاژهای فعال در برابر

<sup>۱</sup> - Gas Metal - Arc welding (G.M.A.W.)

<sup>۲</sup> - Metal Inert Gas / Metal Active Gas





**تجهیزات فرایند: MIG/MAG**

تجهیزات فرایند حالتی بین فرایند قوس - الکترو تنگستن و گاز خنثی و فرایند جوشکاری زیرپودری دارد که شامل موارد زیر می باشد:

**الف: منبع قدرت یا مولد نیرو:**

در این فرایند نیز اکثراً از ترانسفورماتور + یکسوکننده و گاهی از ترانسفورماتور استفاده می شود که معمولاً حدود شدت جریان بین ۱۲۰۰-۵۰ آمپر است. در موارد خاص ممکن است آمپرهای پایین تر و بالاتر از ردیفی که گفته شد نیز در دستگاه جوش استفاده شود. چون کنترل طول قوس اکثراً حالت "خود تنظیمی" دارد، خصوصیت "ولت -آمپر" حالت ولتاژ ثابت است.

**ب: سیستم کنترل کننده:**

در این فرایند سیستم کنترل کننده می تواند ساده باشد و تنها چند وظیفه اصلی را انجام داده و یا این که بسیار پیچیده باشد و توانایی کنترل متغیرهای خاصی را داشته باشد. در حالت دستی ساده امکان تغییر شدت جریان، ولتاژ، تنظیم سرعت راندن سیم جوش، (توسط موتور غذا دهنده سیم) دریچه های قطع و وصل گاز محافظ در زمان های خاص که از طریق کلید بر روی مشعل فرمان می گیرند و همچنین کنترل دریچه های قطع و وصل مدار آبگرد وجود دارد. در دستگاه های کمی کامل تر به کمک پدال زیر پای جوشکار یا کلیدی بر روی مشعل می توان در لحظه شروع به تدریج آمپر را به حد تنظیم شده رسانید و در لحظه انتها نیز آمپر را به آرامی به صفر رسانید.

در دستگاه های معمولی MIG/MAG کلاف سیم و موتور راندن سیم در مجموعه سیستم های کنترل کننده و منبع قدرت قرار دارد. اما در دستگاه های بسیار ظریف که سیم نازک و بعضاً از جنس مس و آلومینیوم بوده و نرم است امکان راندن سیم برای چند متر از داخل لوله های خاص عبور سیم وجود ندارد. در این حالت قرقره سیم و موتور غذا دهنده سیم که مجموعاً شاید کمتر از یک کیلوگرم باشد بر روی مشعل قرار می گیرد و کافی است سیم در طول چند سانتی متر به محل قوس فرستاده شود. در دستگاه های جوش CO<sub>2</sub> اتوماتیک که از آمپرهای بالا استفاده می شود، طبیعتاً سیم نیز قطور و قدرت مانور مشعل کم می شود. در این ماشینها سیستم کنترل کننده کلاف سیم و موتور غذا دهنده سیم بر روی گاری و یا چرخ

قرار دارد که یا این چرخ ثابت بوده و قطعه کار زیر آن حرکت می کند و یا قطعه کار ثابت است و این گاری در مسیر تعیین شده (با ریل های مکانیکی یا سنسورهای الکترونیکی) حرکت می نماید. بدیهی است در سیستم های خودکار که مشعل با دست جوشکار هدایت نمی شود در سیستم های کنترل کننده بخشی نیز باید پیش بینی کرد که توسط آن میزان سرعت پیشروی جوشکاری قابل تنظیم باشد و حتی ممکن است آنچنان دستگاه کامل باشد که در این بخش حتی مسیر عملیات جوشکاری و نقطه شروع و انتها را نیز بتوان در حافظه دستگاه برنامه ریزی کرد. در دستگاه های فوق العاده پیشرفته در مجموعه سیستم کنترل کننده بخش ها و مدارهایی طراحی و تعبیه می شود که امکان ایجاد جریان "پالسی" یا ضربانی و همچنین "قوس سینرجیک" و جوش نقطه ای نیز وجود دارد که در ادامه بحث به آن اشاره خواهد شد.

### ج: سیستم تأمین گاز محافظ:

این سیستم شبیه فرایند قبلی از سیلندر گاز محافظ، رگولاتور برای تنظیم فشار و خواندن فشار داخل سیلندر و فشار خروجی، دبی سنج برای کنترل میزان دبی گاز محافظ فرستاده شده به منطقه جوش و شیلنگ که گاز را از کپسول به سیستم کنترل کننده و از آنجا به مشعل هدایت می کند تشکیل شده است. نکته قابل توجه این است که گاهی لازم است از یک مجموعه کوچک حرارت دهندها یک هیتر الکتریکی در کنار رگولاتور به هنگام استفاده از گاز CO<sub>2</sub> استفاده شود. گاز CO<sub>2</sub> تحت فشار در سیلندر به صورت مایع است و هنگام خروج مقدار زیاد گاز CO<sub>2</sub> در یک زمان کوتاه از کپسول، حالتی شبیه یخ زدگی در اطراف شیر و رگولاتور به وجود می آید (تبدیل مایع به بخار و جذب حرارت از اطراف). اگر به این مسأله توجه نشود موجب انجماد CO<sub>2</sub> مایع در این منطقه و بسته شدن مسیر گاز محافظ می شود و از طرف دیگر به علت تردی شدید ایجاد شده خطر آسیب دیدن رگولاتور و شیر کپسول نیز به وجود می آید. در مواقعی که از گازهای محافظی غیر از CO<sub>2</sub> استفاده می شود و یا حجم و تداوم عملیات جوشکاری زیاد نیست ضرورتی برای استفاده از مجموعه حرارت دهنده الکتریکی نیست.

### د: سیستم خنک کننده:

در این فرایند شبیه فرایند TIG نگرانی از جهت ذوب شدن الکتروود وجود ندارد، اما حرارت تشعشعی قوس و گازهای گرم اطراف موجب گرم شدن مشعل و گاهاً آسیب

دیدن آن می شود. در دستگاه های زیر ۲۵۰ آمپر معمولاً عبور گاز محافظ از مشعل و نازل کار خنک کردن را انجام انجام می دهد، اما در دستگاه های بالای ۲۵۰ آمپر نیاز به سیستم سرد کننده آبی (آبگرد) است. این سیستم می تواند مدار بسته (شبیبه رادیاتور اتومبیل) و یا مدار باز باشد. سازنده های دستگاه ممکن است ترموستات و میکروسوییچ هایی نیز در مدار قرار دهند تا کنترل میزان دبی آب و دمای آن و در صورت نیاز قطع جریان الکتریکی امکان پذیر باشد.

#### ۵: مشعل<sup>۱</sup>:

مشعل در این فرایند به صورت دستی یا اتوماتیک می باشد که با یکدیگر یک سری اختلافات جزئی دارند. مشعل معمولی دستی شامل بدنه مشعل است که لوله انتقال گاز محافظ، لوله های رفت و برگشت آب، کابل جریان الکتریکی و لوله های فزرداری که سیم جوش از داخل آن عبور می کند، به آن وصل می شود. کلیدی بر روی مشعل قرار دارد که با روشن و خاموش شدن آن چندین عمل با نظم و ترتیب خاص انجام می گیرد. این اعمال شامل باز شدن دریچه های گاز محافظ، شروع موتور راندن سیم جوش، وصل جریان الکتریکی برای شروع قوس و در نهایت باز شدن دریچه های آبگرد می باشد. همچنین به هنگام خاموش کردن، کلید جریان الکتریکی و موتور راندن سیم قطع می شود، اما جریان گاز محافظ چند لحظه بعد بسته شده و در انتها نیز دریچه های آبگرد بسته می شوند.

همان طور که قبلاً اشاره شد در دستگاه های مورد استفاده در جوشکاری قطعات بسیار ظریف و حساس، موتور و کلاف سیم نیز بر روی مشعل است و در دستگاه های خودکار با آمپرهای بالا، مشعل در کنار کلاف و موتور راندن و مجموعه سیستم کنترل کننده بر روی چرخ یا گاری قرار می گیرد و به کمک کنترلرهای مکانیکی یا الکترونیکی در مسیر از پیش تعیین شده حرکت می کند. مشعل معمولی دستی که کابل جریان الکتریکی، لوله های گاز و آب و سیم الکترود به آن وصل است باید به گونه ای طراحی شود که قابل مانور برای جوشکار در ضمن عملیات جوشکاری باشد. به همین دلیل وقتی قطر سیم از ۱/۲ یا حداکثر ۱/۶ میلیمتر بیشتر شود حرکت مشعل در دست جوشکار و کنترل آن قدری مشکل می شود. تقریباً در همه انواع

<sup>۱</sup> - Torch

دستگاه های MIG/MAG جریان الکتریکی در مشعل از طریق "لوله یا مهره مسی اتصالی" به سیم منتقل می شود. در انواع اولیه، این اتصال الکتریکی همراه با فشار بود اما بعداً متوجه شدند چون سیم به صورت کلاف و حلقه پیچیده شده است هنگام عبور از "لوله مسی اتصالی" کاملاً مستقیم نخواهد ماند و اتصال الکتریکی تنها در چند نقطه از لوله مسی برقرار خواهد شد. فاصله اتصال (محل اتصال تا نوک الکترود) فقط ممکن است به طور جزئی بر روی مقاومت سیم اثر داشته باشد و در نتیجه نرخ ذوب را قدری تغییر دهد. از این رو در مورد فلزات با مقاومت بالا، لوله مسی اتصالی را کمی تنگ تر انتخاب می کنند تا تغییرات فوق ناچیز باشد. به هر حال با تغییر قطر سیم لازم است قرقره های راننده سیم و همچنین لوله یا مهره مسی اتصالی عوض شود. در اینجا نیز پس از مدتی استفاده از لوله مسی اتصالی ممکن است سوراخ آن کمی گشاد شده و انتقال جریان الکتریکی به سیم در آن به طور کامل انجام نشود که لازم است این لوله یا مهره تعویض شود. نازل که در اینجا اکثراً مسی است و قطر داخلی آن و شکل خارجی آن در نازل های مختلف فرق کند بخش دیگر مشعل MIG/MAG است.

### متغیرهای فرایند جوشکاری G.M.A.W:

قبل از وارد شدن در بحث متغیرهای فرایند لازم است چند موضوع مهم در این فرایند مطرح شود.

الف: انتقال قطرات از الکترود به حوضچه جوش:

دو مکانیسم اصلی برای انتقال فلز از الکترود به حوضچه جوش وجود دارد:

ریزش قطرات یا "پرواز آزاد"<sup>۱</sup>

انتقال پلّی یا "مدار بسته"<sup>۲</sup>

مکانیسم اول ممکن است به سه نوع فرعی ثقلی<sup>۳</sup>، ریزش شدید یا تصویری<sup>۴</sup> و دفع

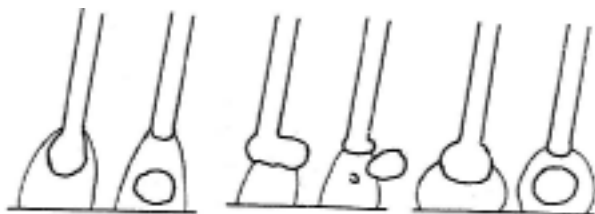
<sup>۱</sup> - Free-Flight

<sup>۲</sup> - Short-Circuiting

<sup>۳</sup> - Gravitational

<sup>۴</sup> - Projection

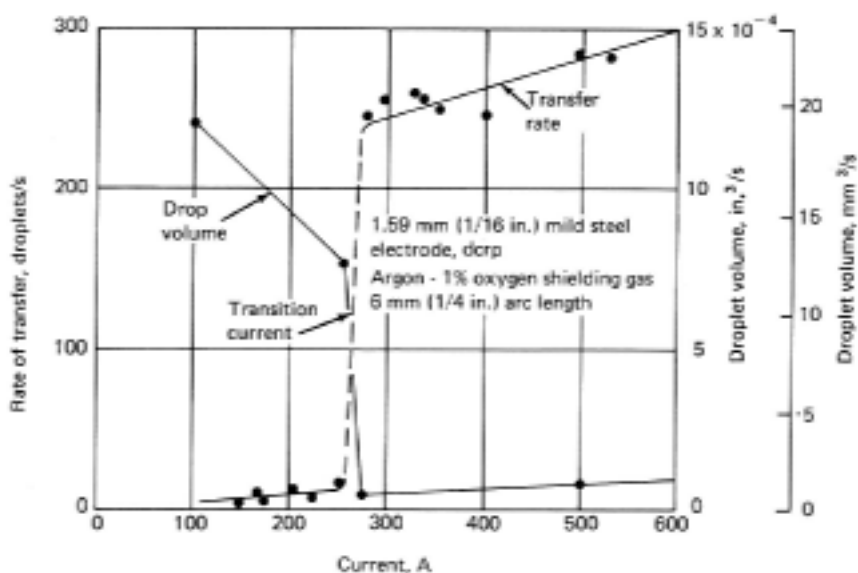
کردنی<sup>۱</sup> تقسیم شود. شکل ۱-۱۸ مکانیسم ریزش قطرات در سه حالت فوق و همچنین مکانیسم مدار بسته را نشان می دهد. همان طور که اشاره شد در مکانیسم اول قطره های مذاب که در نوک الکتروود شکل گرفته اند، جدا شده، به طور آزادانه در سرتاسر فضای بین الکتروود و کار (قوس) عبور کرده و وارد حوضچه جوش می شوند. هنگامی که انتقال ثقلی است قطره های مذاب بزرگ شده و عمدتاً توسط نیروی ثقل از الکتروود جدا می شوند. در نوع ریزش شدید، نیروهای دیگر یک شتاب ابتدایی به قطره می دهند. در نتیجه بدون وابستگی به ثقل به طرف حوضچه جوش پرتاب می شوند. در این حالت حتی قطرات می توانند خلاف جهت نیروی ثقل هم به حوضچه جوش هدایت شوند (جوشکاری در وضعیت بالای سر یا سققی). در نوع دفع کردنی نیروها بر روی قطره مذاب چنان عمل می کنند که در ابتدا سرعتی در جهت دور شدن از حوضچه جوش به قطره می دهند. در مکانیسم مدار بسته نوک قطره در حال رشد، قبل از جدا شدن کامل با حوضچه جوش تماس حاصل می کند. بنابراین یک حالت مدار بسته به وجود می آید و قوس خاموش می شود. سپس قسمت عمده قطره مذاب به داخل حوضچه جوش کشیده شده و تماس الکتروود با مذاب قطع می شود و قوس مجدداً شروع می شود.



شکل ۱-۱۸- مکانیسم های انتقال قطرات مذاب از الکتروود به حوضچه جوش (a) پرواز آزاد (b) مدار بسته

<sup>۱</sup> - Repelled

رابطه بین انواع انتقال معمولاً با جوشکاری آلومینیم در محافظت گاز خنثی مصور می شود. اگر جریان یکنواخت، الکتروود مثبت، اتمسفر گاز آرگون، قطر مفتول ۱/۵ میلیمتر و ورق آلومینیم انتخاب شود، در شدت جریان های کم نوک سیم به آرامی نوب و قطره کروی به تدریج بزرگ می شود و وقتی که نیروی ثقل از نیروی کشش سطحی تجاوز کرد از الکتروود جدا و به حوضچه جوش هدایت می شود. اگر همچنان شدت جریان افزایش یابد نیروی لرنتز<sup>۱</sup> یا الکترومغناطیسی اهمیت پیدا کرده و نیروی جداکننده قطره افزایش می یابد. نرخ تشکیل و جدا شدن قطره ها یا فرکانس آنها با افزایش شدت جریان افزایش می یابد (شکل ۴-۷). همزمان با تغییر مکانیسم انتقال، شکل قوس و قطرات هم تغییر می کند. در شدت جریان متوسط با محافظت گاز CO<sub>2</sub> نوع انتقال دفع کردنی همراه با ایجاد جرقه و ترشح است. اغلب در جوشکاری مکانیسم های انتقال ثقلی و دفع کردنی رضایت بخش نیست.

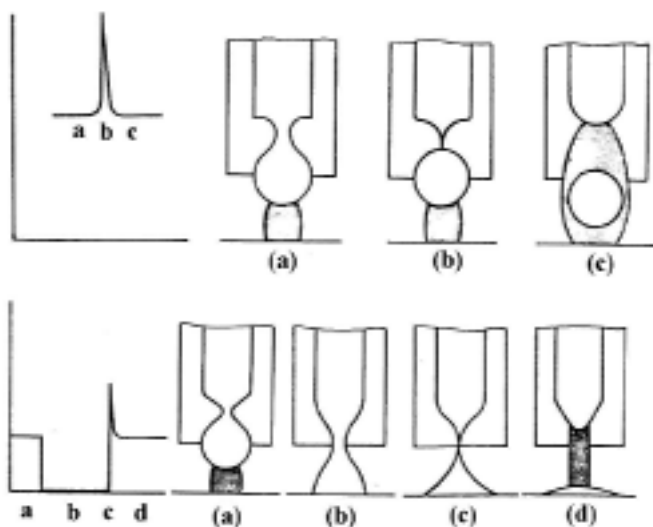


شکل ۴-۷- تغییرات حجم و سرعت انتقال ذرات با شدت جریان برای الکتروود فولادی

خصوصیت و نحوه انتقال قطرات مذاب از نوک الکتروود به حوضچه جوش را می توان با دوربین های مخصوص فیلم برداری سرعت بالا ثبت و مطالعه نمود و

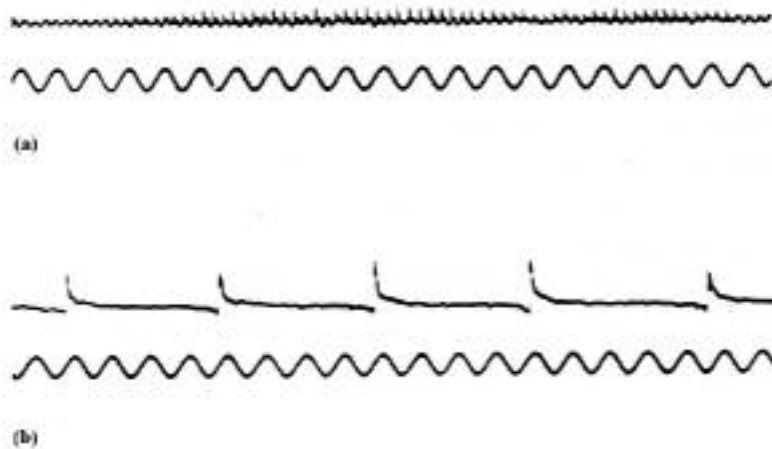
<sup>۱</sup> - Lorents

یا توسط خصوصیت منحنی های ولتاژ و شدت جریان که توسط اسیلوگراف ثبت می شود بررسی کرد. شکل ۱-۱۹ شمایی از تغییرات ولتاژ را در حین انتقال قطره در دو مکانیسم مختلف نشان می دهد. در منحنی های اصلی ثبت شده توسط اسیلوگراف تعداد زیادی نوسان و جهش مشاهده می شود که مقداری بستگی به لرزش های قوس و مذاب در انتهای الکتروود دارد (شکل ۱-۶۸). اندازه قطره و تناوب و نحوه انتقال آن در عرض قوس تابع قطر سیم، شدت جریان، جنس الکتروود و نوع گاز محافظ می باشد (شکل ۱-۶۶). ولتاژ اثر محدودی (بجز حالت مدار بسته) بر روی فرکانس و اندازه قطرات دارد. با افزایش فرکانس قطرات، قطر آنها کوچکتر و همین طور جهت انتقال با افزایش چگالی جریان بهتر می شود. یک روش مناسب برای تسهیل انتقال مطلوب قطرات، انتخاب الکتروود کم قطر است. الکتروود باریک تر کنترل طول قوس و حمل کلاف آن را آسانتر می کند. رفتار قوس - فلز محفوظ در گاز به طور کامل با نرخ ذوب یا فرکانس انتقال شناخته نمی شود، بلکه نوع انتقال نیز حائز اهمیت است.

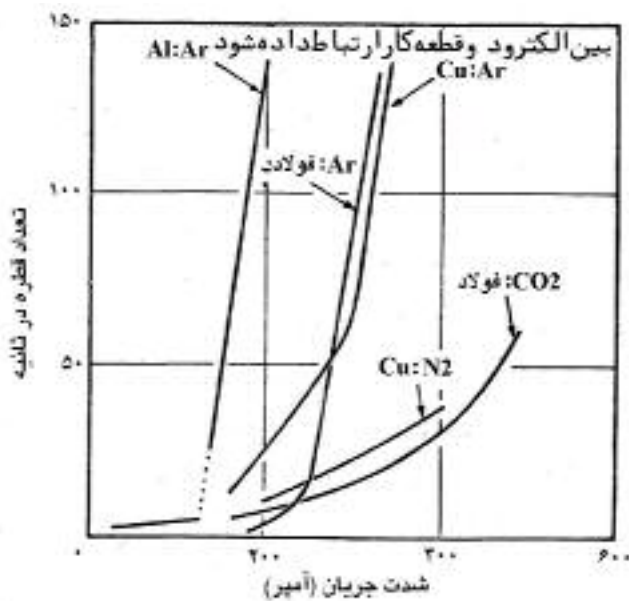


شکل ۱-۱۹- نحوه تغییرات ولتاژ در مراحل مختلف انتقال قطره در دو مکانیسم مختلف



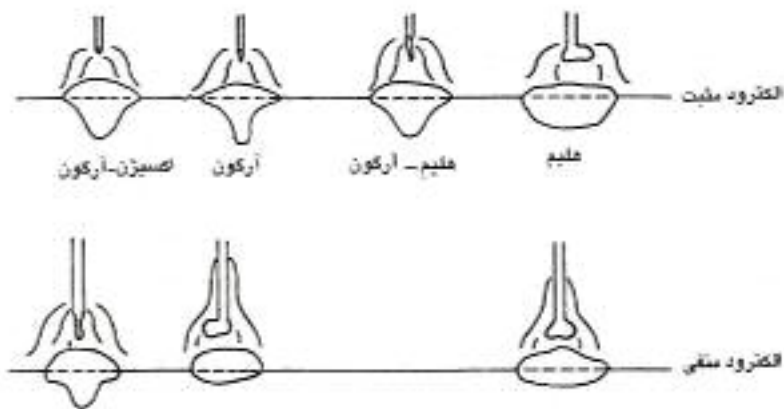


شکل ۱-۶۸ نمونه ای از منحنی به دست آمده از اسیلوگراف که نشان دهنده فرکانس جدا شدن قطرات می باشد



شکل ۱-۶۶ تأثیر شدت جریان، نوع گاز محافظ و جنس فلز بر روی فرکانس انتقال ذرات

همان طور که اشاره شده چند نوع انتقال فلز شناخته شده است که هر یک به فلز یا گروه آلیاژی خاصی اختصاص دارد، با الکتروود آلومینیومی یا فولاد زنگ نزن در گاز آرگون انتقال، توسط باریکه ای از قطرات ریز به صورت محوری که از انتهای سیم الکتروود جاری است، انجام می گیرد. در انتقال قطرات در اتمسفر خنثی بین آلیاژهای آلومینیم، مس و فلزات آهنی تمایزات خاصی وجود دارد. در فلزات غیر آهنی مذاب در انتهای الکتروود متمایل به کروی شدن دارد و ذرات به صورت قطرات کروی شکل منتقل می شوند. در فلزات آهنی در اتمسفر خنثی انتهای الکتروود تیز بوده و قطرات مذاب به صورت باریکه ای از این انتها جدا شده و از میان قوس به طرف حوضچه جوش انتقال می یابند. انتقال قطرات مذاب در مورد استفاده از گازهای ازت و CO<sub>2</sub> کمتر رضایتبخش است، شکل ۱-۶۷ شمایی از اثر گاز محافظ و قطر الکتروود را بر نحوه انتقال و شکل حوضچه جوش نشان می دهد.



شکل ۱-۶۷ اثر گاز محافظ و قطب الکتروود بر روی نحوه انتقال و شکل حوضچه جوش

اگر قطر قطرات بزرگتر از قطر سیم شود عواملی نظیر نیروهای مغناطیسی، فقدان شدت جریان الکتریکی و انحراف پلاسماجت، موجب انتقال نامحوری آنها و در نتیجه ایجاد جرقه می شود. جرقه را می توان توسط انتخاب مناسب ولتاژ قوس و شدت جریان کاهش داد. در جریان کمتر از ۴۰۰ آمپر کاهش ولتاژ به کاهش جرقه می انجامد، چون قطرات بزرگ با احتمال انحراف از حوضچه جوش، نمی توانند رشد

کنند. منحنی های به دست آمده توسط اسیلوگراف با سرعت بالا در مورد ولتاژ و آمپر دارای ناهمواری های لحظه ای است که نشان دهنده باریک شدن و جدا شدن قطره های مذاب از نوک الکتروود است. اگر شرایط جوشکاری مناسب باشد طول قوس به اندازه ای خواهد بود که مانع پل زدن قطرات بر حوضچه جوش می شود. این نوع باران قطرات که پرواز آزاد نیز نامیده می شود دارای فرکانسی معادل چند عدد در ثانیه برای سیم های کلفت و شدت جریان کم تا چند صد عدد در ثانیه برای شدت جریان بالاتر (حدود ۳۰۰ آمپر) می باشد. همزمان با افزایش فرکانس انتقال قطرات، قطر و حجم آنها به تدریج کاهش می یابد. از نظر جوشکاری برای یک انتقال آرام و جوش صاف به فرکانس بیش از ۲۰ مورد نیاز است.

با شدت جریان کم یک حالت غیرمداوم وجود دارد، اما برای شدت جریان های بالاتر شدت جریان "بحرانی" یا نقطه تحول، قطرات به وسیله پلاسماجت، جدا و با سرعت قابل ملاحظه ای منتقل می شوند. نیروی الکترومغناطیسی، قوس را در محور الکتروود نگهداشته و در نتیجه جوش بالای سرو قوائم امکان پذیر می گردد، هرچند عدم حضور فلاکس برای نگهداشتن فلز مذاب یک فقدان است (باستثنای آلومینیم و آلیاژهای آن). همان طور که اشاره شد این نوع انتقال به پرواز آزاد یا نوع اسپری معروف است. در شدت جریان های خیلی بالا (بالای ۴۰۰ آمپر)، قدرت پلازما جت افزایش یافته و اگر مراقبت های خاص انجام نگیرد ممکن است هوا داخل اتمسفر محافظ شده و تولید لایه ای از اکسید در حوضچه متلاطم جوش کند. اگرچه این اتفاق در مورد فلزاتی که اکسیدهای دیرگداز تشکیل نمی دهند کمتر اتفاق می افتد اما شواهدی هست که در شدت جریان های ۷۰۰ آمپر به بالا نیروی پلاسماجت حتی می تواند مقداری از مذاب فلز را به خارج حوضچه جوش بدمد.

در شدت جریان های خیلی کم قطرات بزرگی بر روی الکتروود ایجاد می شود، به طوری که قوس می تواند فقط قسمت پایینی قطره را ببوشاند و انتقال توسط نیروی ثقل انجام می گیرد. این حالت به انتقال گلوله ای<sup>۱</sup> موسوم است و به دلیل عدم تداوم، کمتر مورد توجه قرار می گیرد.

همان طور که اشاره شد قطر و فرکانس جدایش قطرات مذاب از الکتروود به شدت جریان، ولتاژ، قطر و جنس سیم و همچنین نوع گاز محافظ بستگی دارد. شدت

<sup>۱</sup> - Globular Transfer

جریان در نقطه تحول برای آلومینیم نسبت به قطر الکتروود رابطه ای نظیر  $I_C = 68d + 30$  دارد که  $d$  قطر سیم الکتروود به میلیمتر و  $I_C$  شدت جریان بحرانی یا تحول است که شدت جریان بالاتر از آن نیاز است تا انتقال با پرواز آزاد صورت گیرد. جوشکاری بر روی ورق های نازک نیاز به جریان کم و سیم با قطر باریک دارد. در مورد فلزاتی غیر از آلومینیم تغییر از حالت اسپری به گلوله ای کمتر مشخص است، اما به طور کلی خصوصیت انتقال قطرات مذاب هنگامی که قطر قطره بزرگتر از قطر سیم الکتروود شود بدتر خواهد بود.

### ب: جریان ضربانی<sup>۱</sup>

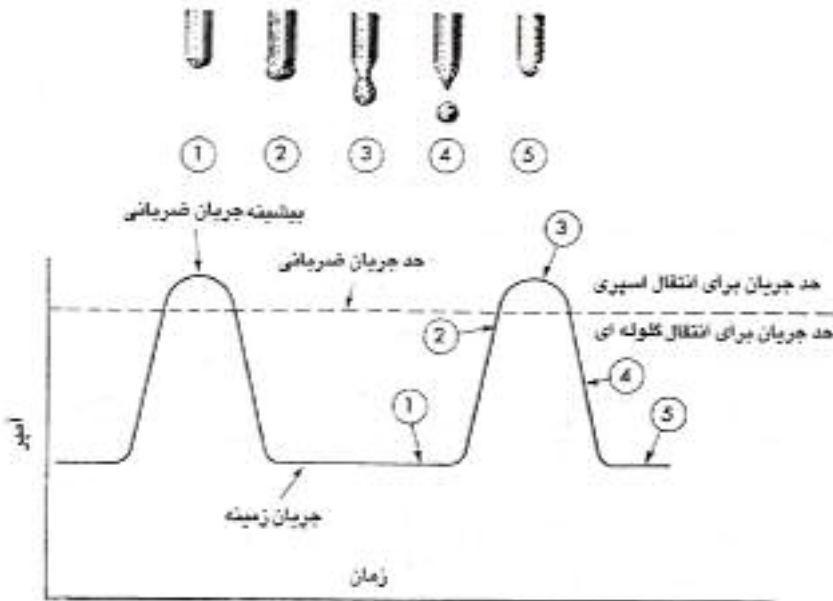
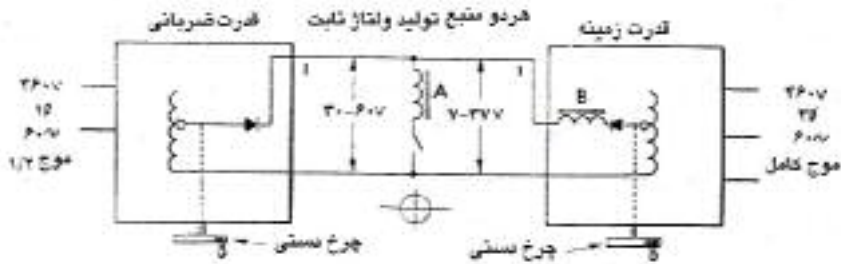
در روش جریان ضربانی انتقال قطرات به صورت اسپری یا پرواز آزاد با شدت جریانی پایین تر از آنچه که برای اسپری مداوم نیاز است، به دست می آید. در جریان ضربانی، میزان آن در قله سیکل در سطح شدت جریان لازم برای انتقال اسپری و در مینیم سیکل برابر با شدت جریان لازم برای انتقال گلوله ای است. شکل ۷۰-۱ سیکل جریان ضربانی و نمونه ای از مدار الکتریکی مربوط به آن را نشان می دهد.  $I_d$  شدت جریان اولیه (مثلاً ۸۰-۵۰ آمپر) برای نگهداری قوس در زمان  $t_b$  و  $I_p$  شدت جریان پالسی است که نیروی الکترومغناطیسی بالایی را تولید می نماید که در زمان  $t_p$  عبور می کند. این پارامترها قابل تنظیم بوده و در نتیجه شدت جریان

متوسط را می توان با رابطه  $I_m = \frac{I_b t_b + I_p t_p}{t_p + t_b}$  محاسبه کرد. بدین ترتیب

پارامترهای پالس مورد نیاز جهت جدا کردن یک قطره فلزی با اندازه ثابت را باید برای هر ترکیبی از اندازه سیم جوش، ترکیب شیمیایی و گاز محافظ تعیین کرد. با این روش می توان به راحتی قدرت یا عمق نفوذ جوش و از همه مهمتر میزان حرارت داده شده را کنترل و در کمترین مقدار لازم تنظیم کرد، چون از جمله محدودیت ها در شدت جریان بالا عدم کنترل حوضچه مذاب در وضعیت های غیرمسطح، سوراخ شدن موضع جوش بر روی ورق های نازک و یا تأثیرات حرارتی بر روی ساختار میکروسکوپی و خواص جوش و مناطق اطراف آن است. سیکل شدت جریان ضربانی امکان عملیات جوشکاری در وضعیت های غیرمسطح بر روی ورق های نازک را

<sup>۱</sup> - Pulsed-Current

فراهم می سازد و اثرات حرارتی از نظر پیچیدگی ساختار و خواص منطقه جوش را به حداقل ممکن می رساند، در حالی که کلیه مزایای انتقال اسپری با کمترین شدت جریان نیز حفظ و پایداری مطلوب قوس با کمترین ترشح و بهترین محافظت منطقه جوش فراهم می شود.



شکل ۱-۷۰- مدار و موج شدت جریان ضریبانی

**ج: کنترل سینرجیک<sup>۱</sup>:**

در تجهیزات سینرجیک در فرایند G.MAW، پارامترهای پالس و الگوریتم های کنترل توسط سازنده از قبل تنظیم و تعیین می شوند. سازنده تجهیزات با سیستم سینرجیک قادر است منبع قدرت را بر طبق شرایط و نیازهای استفاده کننده طراحی کرده و اطلاعاتی در حافظه این سیستم برای موارد مختلف کاری قرار دهد. به عنوان مثال این امکان برای استفاده کننده وجود دارد تا شدت جریان پالس و مدت زمان آن را برای یک ماده مخصوص به طور خودکار تنظیم نماید. بدین ترتیب ممکن است با سیستم های کنترل سینرجیک که بعضاً ممکن است بسیار پیشرفته و کامل باشند بتوان به کمک کامپیوتری که به آن متصل است ۵ تا ۱۰۰ سری پارامتر تعریف شده برای شرایط مختلف کاری در آن ذخیره نمود. بنابراین در هر مورد با توجه به شرایط کاری، دستگاه به طور خودکار برای آن شرایط از نظر سیکل جریان و شکل آن و نحوه انتقال قطرات و بقیه متغیرها تنظیم و آماده استفاده برای عملیات جوشکاری می شود.

**متغیرهای فرایند جوشکاری قوس - الکتروود مصرفی با گاز محافظ****شدت جریان (نوع، قطب و میزان شدت جریان)**

معمولاً از جریان DCEP استفاده می شود اما گاهی از جریان AC نیز برای کاهش مشکل انحراف یا وزش قوس استفاده می شود. میزان شدت جریان از جهات مختلف می تواند در این فرایند تأثیرگذار بوده و مورد توجه باشد. همان طور که قبلاً بحث شد میزان شدت جریان بر نحوه انتقال قطرات، مقدار پاشش، شکل مقطع جوش، نفوذ جوش و همچنین میزان حرارت داده شده به منطقه جوش و در نهایت بر ساختار و خواص جوش تأثیر دارد. در بعضی موارد حتی میزان نوب سیم جوش و مقدار رقت بستگی به میزان شدت جریان دارد.

**ولتاژ:**

میزان ولتاژ نیز به طور غیرمستقیم بر روی نحوه انتقال قطرات از سیم به حوضچه جوش تأثیر دارد. همچنین شبیه فرایندهای قبلی در حرارت ایجاد شده توسط قوس و

<sup>۱</sup> - Synergic Control

حرارت داده شده به منطقه جوش و همچنین پهنای باند جوش و تا حدودی بر کیفیت محافظت منطقه تحت پوشش نیز مؤثر است.

### سرعت جوشکاری:

تأثیر سرعت عملیات جوشکاری در این فرایند نیز شبیه فرایندهای قبلی است یعنی افزایش سرعت موجب کاهش حجم فلز جوش می گردد و نسبت عکس با حرارت داده شده به جوش دارد. به طور کلی سرعت عملیات جوشکاری از بعد بهره وری و افزایش تولید نیز مطرح است و معمولاً لازم است تا آنجا که امکان دارد با سرعت بالاتر کار شود تا حجم تولید افزایش یابد. با افزایش سرعت جوشکاری معمولاً پیچیدگی نیز کاهش می یابد.

### سیم جوش (نوع، قطر و نرخ راندن سیم جوش)

نوع، قطر و نرخ راندن سیم جوش عواملی هستند که به اشکال مختلف می توانند بر روی خواص کمی و کیفی جوش تأثیر بگذارند. سیم جوش در این فرایند مصرفی بوده و فلز جوش آمیزه ای از قطعه کار و سیم جوش است. بنابراین ترکیب شیمیایی سیم جوش (به صورت توپر یا توپودری) می تواند ترکیب شیمیایی فلز جوش را تحت تأثیر قرار دهد، به ویژه مواردی که به دلایل متالورژیکی ترکیب سیم مشابه ترکیب شیمیایی فلز قطعه کار نیست. در بحث های قبلی اشاره شد که نحوه انتقال قطرات، اندازه و فرکانس آنها بستگی به نوع، قطر و سرعت راندن سیم جوش دارد. قطر سیم بر روی چگالی جریان، عمق نفوذ جوش و همچنین پهنای باند جوش تأثیر دارد. میزان غذا دادن سیم نیز می تواند بر روی میزان وقت و نرخ اتصال تأثیر داشته باشد.

### گاز محافظ (نوع، خلوص و فشار گاز)

نوع، خلوص و فشار گاز عوامل تأثیرگذار دیگری در این فرایند هستند. اگر در فرایند جوشکاری TIG، گاز محافظ محدودیت خنثی بودن را داشت در این فرایند ردیف گسترده تری از انواع گازهای خنثی و غیرخنثی به صورت تنها یا مخلوط دوتایی و سه تایی، بسته به شرایط کار می تواند انتخاب و استفاده شود. انتخاب نوع گاز محافظ اهمیت بسیار دارد، زیرا قطرات الکتروود مصرفی مذاب برای انتقال به حوضچه

جوش از محیط گاز عبور می کنند و همچنین خود حوضچه جوش نیز تحت پوشش گاز محافظ است و احتمال تغییر ترکیب شیمیایی در اثر واکنش "فلز-گاز" وجود دارد (البته در حالتی که گاز خنثی نیست).

این روش در ابتدا با استفاده از گاز آرگون و یا هلیوم شروع شد ولی بعداً گازهای ازت، انیدرید کربنیک و مخلوطی از این گازها با گاز خنثی نیز مورد استفاده واقع گردید. گاز محافظ بر روی نرخ ذوب، نوع انتقال قطرات فلز مذاب و عمق نفوذ تأثیر می گذارد و انتخاب گاز محافظ براساس جنس قطعه و این سه عامل و همچنین جنبه های اقتصادی (قیمت واحد حجم گاز و میزان مصرف آن) انجام می گیرد. برای فلزات غیر آهنی گاز آرگون و یا مخلوطی از گازهای آرگون و هلیوم مورد استفاده قرار می گیرد. در محیط گاز آرگون و با شدت جریان بالا، قوس تمایل به ایجاد جوش "انگشتی"<sup>۱</sup> دارد، اما در محیط گاز محافظ هلیوم گرده جوش مسطح تر است. در فلزات آهنی اضافه کردن پنج درصد اکسیژن در گاز محافظ به انتقال آرامتر و محوری تر قطرات مذاب کمک می کند و حوضچه جوش روان تر و خاصیت خیس کنندگی بهتری ایجاد می کند و در نتیجه شکل باند جوش مسطح تر و صاف تر است. استفاده این مقدار اکسیژن در گاز محافظ وجود مواد "اکسیژن زدا"<sup>۲</sup> را در الکتروود ضروری می سازد.

در مواردی که اکسید حاصل از جنس قطعه کار، نسوز و دیرگداز است، استفاده از گازهای ترکیبی نظیر CO<sub>2</sub> که علاوه بر ارزانی مزیت های تکنیکی دیگری نیز دارد متداول است (تجزیه شدن و ترکیب شدن مجدد در سطح کار و ایجاد حرارت بیشتر). در مورد مس مخلوط آرگون و ازت به کار می رود. بدین ترتیب مریت نرخ حرارت داده شده بالاتر ازت و خصوصیت انتقال مورد علاقه در گاز آرگون به صورت توأمان فراهم می شود. گاز CO<sub>2</sub> ممکن است با آرگون و اکسیژن مخلوط و در جوشکاری فولاد های معمولی و کم آلیاژی به کار گرفته شود. تقریباً نصف سیلیسیم، منگنز و یا آلومینیم موجود در سیم جوش صرف واکنش با FeO می شود تا با احیای آن (نظیر واکنش  $3FeO + 2Al \rightarrow Al_2O_3 + 3Fe$ ) از انجام واکنش  $FeO + C \rightarrow Fe + CO$  که منجر به ایجاد خلل و فرج در جوش می شود جلوگیری

<sup>۱</sup> - Fingerring

<sup>۲</sup> - Deoxidiser



به عمل آید. محصول واکنش اکسیژن زدایی به صورت ذرات محبوس شده در داخل جوش یا لایه سرباره در روی جوش باقی می ماند. به طور کلی استفاده از گازهای خنثی با خلوص نه چندان بالا، مستلزم وجود مقداری عناصر اکسیژن زدا در سیم الکترو است.

نسبت مخلوط گازهای محافظ در جوشکاری فولادها علاوه بر اهمیت تکنیکی بر خواص مکانیکی جوش حاصل نیز تأثیر قابل توجهی دارد. برای مثال خاصیت ضربه پذیری جوش متأثر از سرعت سرد شدن و مقدار اکسیژن آن می باشد. اکسیژن جوش حاصل از اکسیژن موجود در سیم الکترو و ورقه قطعه کار و واکنشهای اکسیداسیون و اکسیژن زدایی در قطرات مذاب و حوضچه جوش است که به ترکیب گاز محافظ و منطقه تحت پوشش هاله گاز بستگی دارد. از طرف دیگر، مقداری از قوس گرم کردن گاز محافظ می گردد که تقریباً جزو حرارت‌های تلف شده محسوب می گردد و به گرمای ویژه و چگالی گاز بستگی دارد. بنابراین نوع و ترکیب گاز محافظ بر روی حرارت مؤثر برای ذوب جوش و احتمالاً بر روی سرعت سرد شدن جوش نیز تأثیر می گذارد. البته باید توجه داشت که پتانسیل یونیراسیون گاز محافظ و به تبع آن پایداری قوس و حرارت ایجاد شده در قوس نیز در گازهای مختلف متفاوت است. ردیف گسترده ای از مخلوط گازهای آرگون، هلیم، CO<sub>2</sub> و اکسیژن در صنعت برای فلزات مختلف به کار برده می شود، که برخی از جداول استاندارد نیز در این زمینه وجود دارد (جدول ۱-۸).

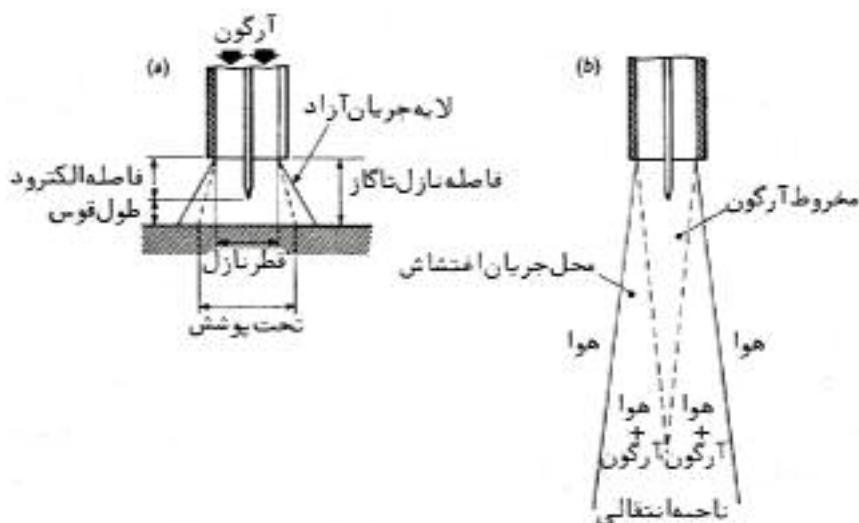
توجه به خلوص گاز نیز مهم می باشد ناخالصی های همراه گازهای محافظ شامل اکسیژن، رطوبت، ازت و احیاناً گازهای فرعی دیگر است. لازم به توضیح است که در برخی موارد افزودن گازهای اکسیژن و ازت به گاز محافظ به دلخواه و بنا بر نیاز صورت می گیرد در حالی که در برخی موارد ناخالصی تلقی می شوند و باید از گاز محافظ زدوده شوند. رطوبت که در نهایت موجب ایجاد هیدروژن می شود بسیار حائز اهمیت است، به ویژه در مواردی که احتمال تردی هیدروژنی وجود دارد. در موارد زیادی گاز محافظ آرگون یا هلیم را قبل از استفاده از محفظه های جاذب الرطوبه عبور می دهند.

جدول ۱-۸- گاز محافظ برای فرایند جوشکاری MIG

مواد	گاز محافظ	ملاحظات
آلیاژهای آلومینیوم	آرگون	با جریان DC قطب معکوس برای پاک کردن اکسید از روی سطح
آلیاژهای آلومینیوم منیزیم	۷۵٪ هلیوم ۲۵٪ آرگون	حرارت داده شده بالا موجب کاهش تمایل به ایجاد تخلخل شده، اکسید نیز تمیز می شود
فولاد زنگ نزن	۱- آرگون با ۱٪ اکسیژن ۲- آرگون با ۵٪ اکسیژن	اکسیژن موجب کاهش بریدگی کنار جوش به ویژه هنگام استفاده از جریان DC با قطب معکوس می شود. هنگام استفاده از جریان DC با قطب مستقیم اکسیژن باعث پایداری قوس می شود.
منیزیم	آرگون	با جریان DC قطب معکوس اکسیدهای سطحی پاک می شود.
مس (اکسیژن زدایی شده)	۱- ۷۵٪ هلیوم ۲۵٪ آرگون ۲- آرگون	خاصیت خیس کنندگی خوب و افزایش حرارت داده شده برای جبران هدایت حرارتی بالا
فولادهای کم کربن	آرگون با ۲٪ اکسیژن	اکسیژن موجب کاهش بریدگی کنار جوش می شود.
فولادهای کربنی	۱- دی اکسید کربن (انتقال اسپری) ۲- دی اکسید کربن (قوس سوزان)	کیفیت خوب با جریان کم و وضعیت غیرتخت با جرقه کم سعت بالا و هزینه کم همراه با جرقه کم
نیکل	آرگون	خاصیت خیس کنندگی خوب و کاهش سیالیت فلز جوش
موتل	آرگون	خاصیت خیس کنندگی خوب و کاهش سیالیت فلز جوش
ایتکونل	آرگون	خاصیت خیس کنندگی خوب و کاهش سیالیت فلز جوش
تیتانیوم	آرگون	کاهش منطقه HAZ و بهبود انتقال فلز
سیلیکون برنز	آرگون	کاهش تمایل به ترکیدگی
آلومینیوم برنز	آرگون	نفوذ کم، معمولاً برای رویه کاری به کار می رود

باید توجه داشت که فشار گاز محافظ نیز در حد بهینه ای باشد. فشار کم عمل محافظت را به مخاطره می اندازد و فشار زیاد نیز علاوه بر افزایش احتمال پاشش مذاب به بیرون، ممکن است باعث ایجاد جریان اغتشاشی در دهانه نازل شود که در این حالت نیز عمل محافظت به مخاطره می افتد. علاوه بر آن به علت مصرف بیش از حد گاز از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه نمی باشد. قطر دهانه نازل نیز متغیر دیگری است که با توجه به فشار گاز محافظ، قطر سیم و موقعیت محلی که نازل باید حرکت کند تعیین می شود. در اینجا لازم است توضیح بیشتری در مورد منطقه تحت پوشش که در فرایندهای TIG, MIG/MAG باید به آن توجه کرد، ارائه شود. گاز محافظ که از دهانه نازل خارج می شود توسط هوای اطراف احاطه و با تخلیه آن از نازل به تدریج پخش می شود (حالت قیفی شکل). در مواردی که سطح

کار نزدیک نازل و شرایط مناسب باشد حالتی شبیه شکل ۱-۶۹ پیش می آید و منطقه ای از سطح کار تحت پوشش حفاظتی گاز قرار می گیرد. منطقه تحت پوشش توسط قطر دهانه نازل و فاصله نازل تا سطح کار و فشار یا سرعت خروج گاز تعیین می شود. به بیان دیگر اگر فاصله نازل تا کار بیشتر شود این منطقه وسیع تر می شود اما باید توجه داشت فشار گاز در سطح منطقه تحت پوشش کاهش یافته و امکان ورود هوا به داخل اتمسفر محافظ وجود دارد. با افزایش فشار یا سرعت خروجی گاز، زاویه پخش شدن گاز بیشتر شده و منطقه وسیع تر می شود (تا مرحله ای که خروجی گاز حالت آرام یا غیرمتلاطم داشته باشد). افزایش قطر نازل نیز می تواند موجب وسیع تر شدن این منطقه شود.



شکل ۱-۶۹- منطقه تحت پوشش گاز در دو حالت

اگر فشار گاز یا سرعت خروج گاز از دهانه نازل زیادتر از حد بحرانی باشد، جریان گاز حالت اغتشاشی پیدا می کند و این امر موجب داخل شدن هوا به منطقه تحت پوشش می شود. در مکانیک سیالات رابطه ای وجود دارد که تغییر جریان سیال از حالت آرام به حالت اغتشاشی را نشان می دهد و به قانون رینولد معروف است. عدد رینولد یک عدد بدون بعد است و برابر با  $R = \frac{\rho V D}{\nu}$  می باشد (  $R$  عدد رینولد،  $D$  قطر دهانه نازل (کانال)،  $V$  سرعت متوسط خروج سیال،  $\rho$  چگالی و  $\nu$

ویسکوزیته یا گرانروی گاز است). اگر عدد رینولدز از ۲۳۰۰ تجاوز کند، جریان متلاطم خواهد شد و در این حالت باید این عدد به نحوی کاهش یابد. هرچند طرح نازل هم عامل مؤثری است ولی فاصله نازل تا کار باید با توجه به جوانب دیگر کنترل شود و معمولاً کمترین مقدار ممکن انتخاب می شود. از طرف دیگر فاصله خیلی کم نازل تا کار باعث گرم شدن زیاد و یا جذب ترشحات مذاب بر روی نازل خواهد شد. اگر فاصله نازل تا کار و قطر لوله ثابت باشد همزمان با افزایش جریان گاز منطقه تحت پوشش وسیع تر می شود. این روند ادامه می یابد تا وقتی که جریان گاز حالت اغتشاشی به خود می گیرد. جریان گاز "بحرانی" برای آرگون با نازل قطر ۱۲ میلیمتر حدود ۱/۱۳ مترمکعب در ساعت است. با گازهای سنگین تر نظیر CO<sub>2</sub> جریان متلاطم با سرعت پایین تر اتفاق می افتد. نسبت نرخ گاز CO<sub>2</sub> در مقایسه با آرگون مانند ۰/۶ به ۱ است.

با توجه به توضیحات فوق اگر عملیات جوشکاری در شرایطی انجام می شود که جریان باد بیشتر از حد معمول است، ممکن است چنین تصور شود برای جلوگیری از دخول هوا به منطقه تحت پوشش بهتر است فشار گاز محافظ بیشتر شود. این ایده درست است به شرطی که جریان خروجی گاز به حالت اغتشاشی نرسد. اگر عملیات جوشکاری به کمک فرایندهای TIG یا MIG با فشار مناسب گاز آرگون انجام و سپس به دلیلی تصمیم گرفته می شود که از گاز هلیوم استفاده شود، ممکن است لازم باشد تا تغییراتی در فشار یا دبی گاز محافظ داده شود. اگر در جایی لازم است به دلیلی با حرارت داده شده بیشتر جوشکاری شود، طبیعتاً وسعت جوش هم بیشتر می شود و نیاز به منطقه تحت پوشش گسترده تری است. افزایش فشار گاز محافظ برای افزایش منطقه تحت پوشش ممکن است محدودیت ایجاد کند. برعکس در مواردی که حجم و وسعت منطقه جوش کوچک است نیازی نیست که منطقه وسیعی تحت پوشش قرار گیرد. در اینجا ممکن است قطر دهانه نازل کوچکتر و یا فشار گاز محافظ را کمتر انتخاب شود.

فاصله نازل تا کار یا طول مؤثر سیم جوش<sup>۱</sup> که تا حدودی برابر با فاصله نوک الکتروود تا محل اتصال جریان الکتریکی به آن است متغیر دیگری است که می تواند بر روی کیفیت و کمیت جوش تأثیر بگذارد. در فرایندهای دستی این متغیر

<sup>۱</sup> - Electrode-Extension or Electrode stick-out

ضمن عملیات جوشکاری باید حتی المقدور ثابت نگهداشته شود، زیرا تغییرات آن موجب تغییر حرارت مقاومتی ایجاد شده در سیم الکتروود و در نتیجه تغییر نرخ ذوب می شود. اگر این طول کم باشد موجب آسیب دیدن مشعل و نازل و کوچک شدن منطقه تحت پوشش و مشکلات دیگر شده و اگر زیاد باشد موجب بالا رفتن نرخ ذوب و چه بسا نیمه ذوب شدن سیم قبل از اینکه حرارت قوس آن را ذوب کند، می شود و تا حدودی محافظت منطقه جوش را به مخاطره می اندازد.

### مواد مصرفی:

مواد مصرفی در فرایند جوشکاری GMAW، گاز محافظ و سیم جوش می باشد. همان طور که قبلاً گفته شد گازهای محافظ مختلفی را با توجه به مشخصات فلز قطعه کار و انتظاراتی که از جوش است، می توان در یک ردیف گسترده از ترکیب و خلوص انتخاب و استفاده کرد. سیم جوش را نیز می توان از انواع فلزات و آلیاژهای آهنی و غیر آهنی برای اهداف اتصال و یا عملیات سطحی با قطرهای مختلف انتخاب و استفاده کرد. سیم جوش برای فولادهای معمولی اکثراً شبیه سیم جوش زیرپودری پوشیده شده از یک لایه نازک مس می باشد که دلیل این امر نیز قبلاً در فرایند زیرپودری توضیح داده شده است. سیم جوش ها باید علاوه بر ترکیب شیمیایی مشخص شده، دارای یکنواختی قطر مطابق با معیارهای مشخص شده در استاندارد نیز باشند. در مواردی که سیم جوش دارای پوش مسی است کیفیت و چسبندگی پوشش مس و یکنواختی آن نیز حائز اهمیت است. معمولاً الکترودهای فرایند GMAW را با کد ER در AWS و کد SG... در DIN همراه با تعدادی شماره و حروف که نشان دهنده نوع ترکیبات آنها است مشخص می نمایند.

### نکات تکنیکی

در این فرایند نیز فرض می شود مراحل و عملیات آماده سازی قطعات قبل از جوشکاری انجام شده و محکم کردن و سوار کردن اجزای مورد اتصال نیز با استفاده از نگهدارنده ها و وضعیت دهنده ها برای تقلیل پیچیدگی و بهبود کیفیت جوش و سهولت کار صورت گرفته است. اتصال صحیح کابل زمین به قطعه کار یا نگهدارنده به ویژه در مورد قطعات فرومغناطیسی حائز اهمیت است (تقلیل وزش قوس در جریان DC). عموماً بهترین جهت برای جوشکاری دور شدن از محل اتصال

زمین است. وضعیت مشعل نسبت به محل اتصال نیز با توجه به تأییراتی که بر عمق نفوذ جوش، عمل ذوب و ظاهر باند جوش دارد دارای اهمیت است. هنگامی که اتصال با نفوذ کامل مد نظر باشد از روشهای مختلف پشت نگهدارنده می توان استفاده کرد. قبل از شروع عملیات جوشکاری باید کلیه محل های اتصال گاز و سیستم آبگرد به دستگاه و مشعل بازبینی شود تا در حین عملیات جوشکاری نشست گاز یا آب اتفاق نیفتد.

اندازه نازل و دبی عبور گاز محافظ باید متناسب با روش و طرح محل اتصال و سایر پارامترهای جوشکاری باشد. همان طور که اشاره شد نرخ عبور گاز (دبی) به نوع طرح اتصال و فاصله نازل تا سطح کار بستگی دارد و باید سطح پوشش کافی در موضع جوش به وجود آورد. لوله اتصالی جریان الکتریکی در مشعل و غلطک های هدایت کننده سیم جوش باید متناسب با نوع و قطر سیم الکتروود انتخاب شود و احیاناً اگر لوله یا مهره مسی اتصال دهنده گشاد شده است تعویض گردد، چون به مرور زمان ساییده می شود. این تعویض برای جلوگیری از اتصال ناقص جریان الکتریکی و گرم شدن مشعل باید هرچند وقت یکبار انجام شود. لازم است اگر جرقه هایی به نازل چسبیده است (به ویژه قسمت داخلی دهانه نازل) تمیز شوند، چون مانع عبور طبیعی جریان گاز محافظ می شوند. چون نازل معمولاً از آلیاژهای مس ساخته می شود این جرقه ها به راحتی کنده می شوند، اما توصیه می شود از اسپری های مخصوص استفاده شود. مواد داخل اسپری بر روی سطح بیرونی و داخلی نازل کمک می کند تا جدا کردن جرقه ها راحت تر انجام شود و آسیبی به نازل نرسد.

معمولاً توصیه می شود اگر نوک سیم حالت گلوله ای پیدا کرده و یا اکسید شده است، چیده شود تا شروع قوس راحت تر انجام شود. بهتر است سیم یکی دو میلیمتر از لبه نازل بیرون باشد و اگر مشعل با دست هدایت می شود مشعل با زاویه ای نزدیک ۸۵ درجه نسبت به سطح کار و فاصله ای حدود ۱۵-۱۰ میلیمتر در نقطه شروع قرار گیرد و سپس کلید روی مشعل فشرده شود. جوشکار مبتدی ممکن است قبل از اینکه مشعل به این فاصله نسبت به کار برسد کلید را ناخود آگاه فشار دهد و سیم با سرعت بیرون آمده و به سطح کار برسد. در این حالت معمولاً به علت افزایش طول مؤثر سیم، مقاومت آن بالا می رود و حرارت زیادی در سیم ایجاد می شود. در

این حالت سیم گداخته می شود و چه بسا ممکن است قبل از این که حرارت قوس آن را ذوب کند به حالت نیمه گداخته درآید و ذوب موضعی در آن ایجاد شود و عملاً اجرای عملیات جوشکاری مقصور نباشد. در این حالت حتی ممکن است سیم به لوله یا مهره اتصال دهنده بچسبد و با فشردن کلید مشعل، سیم رانده شده پشت این لوله یا مهره جمع شود. در این حالت لازم است جوشکار نازل و لوله اتصال دهنده را باز کرده و مقدار سیمی که در پشت آن جمع شده است چیده و سعی کند مجدداً کار جوشکاری را شروع نماید. البته گاهی اوقات به علت تغییرات غیرمعمول قطر سیم و یا کنده شدن پوشش مسی سیم و جمع شدن براده های مسی پشت لوله یا مهره اتصال دهنده، این حالت یعنی عدم عبور سیم از نازل دیده شود.

در این فرایند معمولاً لازم نیست حرکت های زیگزاگی خاص به مشعل داده شود و کافی است فاصله مشعل نسبت به کار حفظ شده و سرعت حرکت آن بر روی کار تا حد امکان ثابت باشد. در فرایند جوشکاری دستی GMAW مهارت اصلی جوشکار کنترل این سرعت است که تعیین کننده حجم حوضچه مذاب است و موجب جلوگیری از ریزش آن به اطراف به ویژه در وضعیت های غیرتخت می شود. بدیهی است در فرایند خودکار یا مشعل بر روی پایه و چرخ قرار گرفته که در یک مسیر از پیش تعیین شده با سرعت خاص در امتداد درز اتصال حرکت می کند و یا مشعل ثابت است و قطعه کار حرکت انتقالی یا چرخشی انجام می دهد.

در این فرایند نیز جوشکار باید به جریان باد درمنطقه جوشکاری توجه داشته باشد چون بر روی جوش بستر سرباره وجود ندارد و اگر از سیم های توپودری هم استفاده شود ممکن است لایه سرباره بسیار نازک باشد. به هر حال ورود هوا در منطقه تحت پوشش می تواند عیوب و عوارضی را در جوش به وجود آورد. در هنگام پایان جوشکاری در درز اتصال، لازم است مشعل شیبی فرایند TIG پس از خاموش شدن قوس چند لحظه ای بر روی محل مکث کند تا حوضچه انتهایی برهنه جوش منجمد شود و این پیش بینی نیز در دستگاه شده است که به هنگام خاموش شدن قوس جریان گاز محافظ تا چند لحظه پس از آن ادامه یابد. در این فرایند نیز جوشکار باید سعی کند از ایجاد حوضچه انتهایی گود جلوگیری کند. برای این هدف می تواند در انتهای کار مشعل را چند میلیمتر بر روی گرده جوش برگرداند و یا از کاهش تدریجی آمپر کمک بگیرد. در وضعیت های غیرتخت نظیر افقی، قائم و

بالای سر عملیات جوشکاری مشکل تر بوده و نیاز به مهارت بیشتر برای کنترل زاویه مشعل می باشد.

معمولاً در این فرایند سطح جوش تمیز بوده و می توان پاس بعدی را بر روی جوش انجام شده رسوب داد، اما هنگامی که از گاز CO<sub>2</sub> استفاده می شود ممکن است سطح یا لبه مورد اتصال کاملاً تمیز نباشد و یک لایه نازک غیر یکنواخت به صورت لکه هایی از اکسید یا سرباره بر روی سطح جوش وجود داشته باشد که برای اطمینان از کیفیت مطلوب جوش بهتر است برس زدن مختصری انجام گیرد.

در این فرایند نیز به علت عدم انتخاب صحیح متغیرهای جوشکاری یا بی دقتی در نکات تکنیکی عیوبی نظیر ذوب ناقص، تخلخل، ترکیدگی، آخالهای محبوس شده، ریزش جوش، سوختگی کناره جوش و ... در جوش به وجود می آید که از بحث علل و عوارض آنها در اینجا پرهیز شده و در کتاب دوم توضیح داده خواهد شد.

**مزایا و محدودیت های فرایند جوشکاری قوس - الکتروود مصرفی با گاز محافظ**  
این فرایند جوشکاری نیز شبیه فرایندهای دیگر دارای نقاط ضعف و قوت مختلفی است که می بایست به آنها اشاره شود تا طراح در انتخاب فرایند با توجه به این مزایا و محدودیت ها و نوع و شرایط کار، آن را در اولویت اول قرار داده یا از فرایندهای دیگر استفاده نماید.

#### الف: مزایا:

- محدودیت طول الکتروود و تعویض الکتروود در یک مسیر جوشکاری که به طور خاص در فرایند جوشکاری با الکتروود دستی و تا حدودی در فرایند TIG دستی وجود داشت در اینجا وجود ندارد و می توان مسیر طولانی را بدون قطع و وصل قوس جوشکاری نمود و حتی نقطه شروع و انتها را نیز از روی قطعه اصلی دور نگهداشت.

- جوشکاری در تمام وضعیت ها امکان پذیر است در صورتی که در فرایند جوشکاری سرباره الکتریکی و زیرپودری این محدودیت وجود داشت.

- سرعت جوشکاری بالاتر از روش جوشکاری با الکتروود دستی و حتی TIG است چون سیم الکتروود مداوم و پیوسته است و زمان برای تعویض الکتروود تلف نمی شود. سرباره نیز وجود ندارد و در نتیجه زمان برای تمیز کردن سرباره صرف نمی شود. همچنین نگرانی بابت محبوس شدن بقایای سرباره نیز وجود ندارد.



- امکان استفاده از این فرایند به صورت دستی، نیمه خودکار و تمام خودکار وجود دارد. بنابراین هم برای کارهای تعمیراتی و خرد و ریز می توان از آن استفاده کرد و هم در کارهای سری سازی قابل کاربرد است.

- با تغییر نوع گاز محافظ و سیم جوش می توان طیف وسیع تری از آلیاژهای آهنی و غیرآهنی را با این روش جوش داد یعنی می تواند با استفاده از گاز CO<sub>2</sub> به عنوان رقیب جوشکاری قوس -الکتروود دستی و قوس مخفی و حتی اکسی استیلن قرار گیرد و با استفاده از گاز خنثی به عنوان رقیب فرایند TIG مطرح شود.

- چون بخشی از حرارت قوس صرف ذوب کردن سرباره نمی شود، معمولاً عمق نفوذ جوش بیشتر از قوس با محافظت سرباره در شرایط یکسان می باشد. در نتیجه می توان با شدت جریان کمتر جوش کوچکتر با استحکام مورد نظر را تولید کرد.

#### ب: محدودیت ها

از محدودیت های این فرایند می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- وسایل و تجهیزات فرایند پیچیده تر، گرانتر و کمتر قابل حمل و نقل می باشد. در مواردی که از گاز خنثی استفاده می شود ممکن است هزینه جوشکاری نیز تا حدودی بیشتر از بعضی فرایندهای دیگر باشد.

- با توجه به این که مشعل باید نزدیک محل اتصال و به فاصله کم از درز قرار گیرد، در مواضع تنگ و جاهایی که دسترسی به موضع جوش به راحتی امکان پذیر نیست، اشکالاتی برای عملیات جوشکاری ایجاد می شود.

- چون سطح مذاب برهنه بوده و فقط تحت پوشش گاز محافظ قرار دارد بنابراین نباید قوس در معرض جریان وزش باد قرار گیرد. این موضوع می تواند محدودیت هایی از نظر جوشکاری در فضای آزاد به وجود آورد. این موضوع بدین معنی نیست که فرایند جوشکاری با الکتروود دستی را می توان در شرایط مختلف آب و هوایی در محیط باز انجام داد بدون این که کیفیت جوش تحت تأثیر قرار گیرد.

- چون سطح جوش برهنه و از طرف دیگر جریان گاز محافظ بر روی آن فرستاده می شود معمولاً سرعت سرد شدن جوش به علت عدم وجود لایه سرباره سریع تر از روش های قوس با محافظت سرباره است و در نتیجه خواص متالورژیکی و مکانیکی

جوش نیز متفاوت از روش های قوس با محافظت سرباره است. در مورد بعضی فلزات و آلیاژهای سختی پذیر این موضوع اهمیت بیشتری دارد و حتی احتمال تردی و ترکیدگی در فلز جوش وجود دارد.

### جوشکاری نقطه ای GMAW:

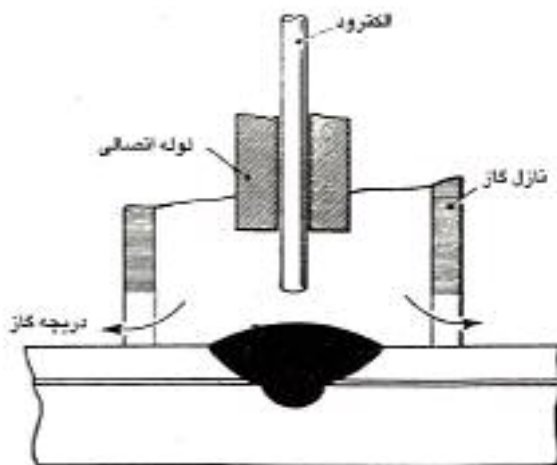
روش جوش نقطه ای قوس - فلز با گاز محافظ یکی از فرایندهایی است که می توان در طراحی یا سفارش دستگاه جوش به آن توجه نمود و امکانات و تجهیزات آن را در دستگاه جوش تعبیه نمود. در این فرایند شبیه فرایند جوشکاری نقطه ای TIG، پایه ای پیش بینی شده که مشعل بر روی آن در نقطه مورد نظر استقرار می یابد و سپس ساعت یا زمان سنجی که بر روی مشعل یا سیستم کنترل کننده نصب شده است زمان روشن بودن قوس را تنظیم می کند. قوس ممکن است در زمان تعیین شده دائم برقرار بوده و یا چند مرتبه خاموش و روشن شود. به هر حال حرارت ایجاد شده به صورت نقطه ای آنقدر اعمال می شود که ورق رویه به طور کامل و ورق زیری به طور جزئی ذوب شود. پس از انجماد مذاب حاصل، عمل اتصال انجام می گیرد (شکل ۱-۷۱). تفاوت این فرایند با جوش نقطه ای TIG این است که در این فرایند به علت استفاده از فلز پرکننده برجستگی ناشی از ذوب شدن سیم جوش وجود دارد. اگر وجود این برجستگی نیز ناخواسته باشد می توان حالتی شبیه سوراخ کردن ناقص بر روی صفحه رویه ایجاد کرد تا ضمن کوتاه کردن زمان روشن بودن قوس و بهبود نفوذ جوش، در نهایت برجستگی نیز بر روی جوش وجود نداشته باشد. مزیت این روش نسبت به جوش مقاومتی نقطه ای این است که محدودیت ضخامت کمتر است، پایین بودن مقاومت الکتریکی جنس قطعه نقش منفی ندارد و ضرورتی به دسترسی به دو طرف قطعه نیست.

### فرایند جوشکاری زائده ای<sup>۱</sup>

به طور کلی به اتصال زائده فلزی (میله ای شکل یا شبیه آن) به سطح قطعه کار جوشکاری زائده ای می گویند. این عمل با روش های مختلف جوشکاری نظیر قوس الکتریکی، مقاومت الکتریکی، اصطکاکی و غیره انجام می گیرد که در بخش های

<sup>۱</sup> - Stud Welding

مربوطه به هر کدام اشاره خواهد شد. در این مبحث روش جوشکاری قوس - زائده ای<sup>۱</sup> توضیح داده خواهد شد.



شکل ۱-۷۱- روش جوشکاری نقطه ای MIG

در این روش انتهای زائده و سطح قطعه کار در اثر حرارت ناشی از قوس الکتریکی ایجاد شده بین آنها به صورت موضعی ذوب و در لحظه معینی، قوس قطع می شود و زائده در اثر فشار وارد بر آن به حوضچه جوش در روی سطح کار فرورفته و پس از انجماد، عمل اتصال انجام می گیرد. شکل ۱-۷۲ مراحل عملیات را نشان می دهد.

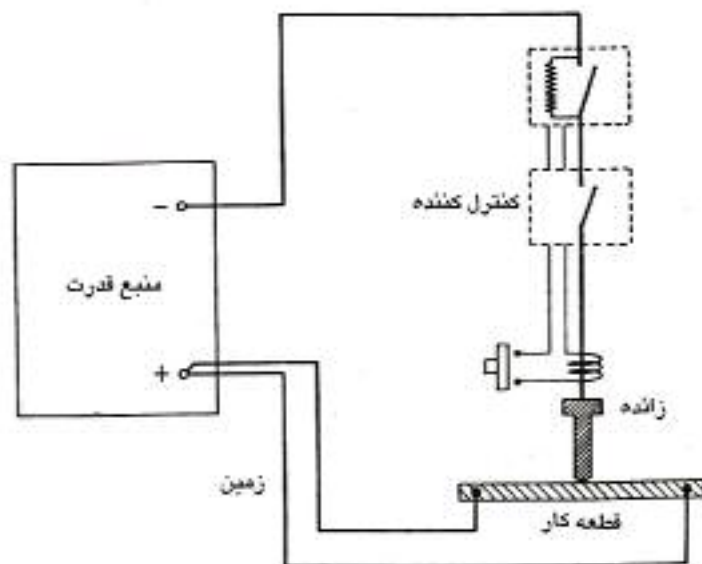


شکل ۱-۷۲- مراحل عملیات جوشکاری زائده ای

<sup>۱</sup> - Arc Stud Welding

تجهیزات این فرایند شامل قسمت های زیر است که در شکل ۱-۷۳ نشان داده شده است:

- الف. مشعل هفت تیری<sup>۱</sup>
- ب. واحد کنترل
- ج. حلقه سرامیکی مخصوص<sup>۲</sup>
- د. کابل و منبع انرژی



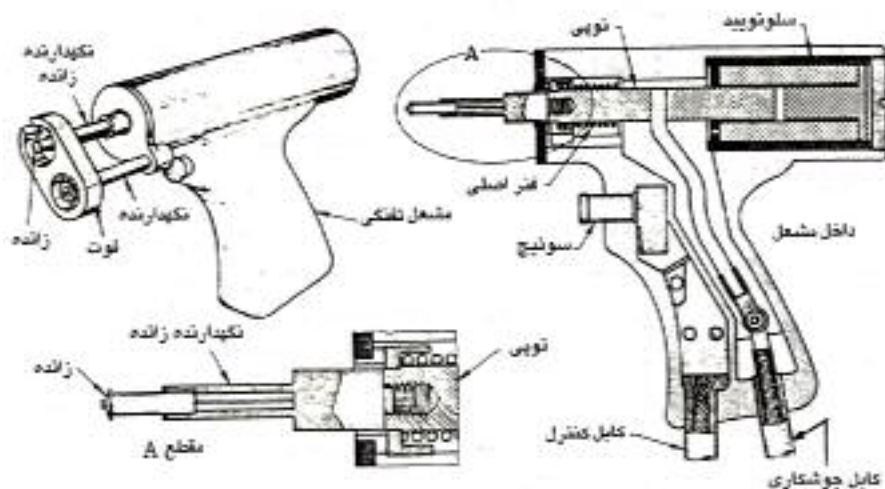
شکل ۱-۷۳- تجهیزات فرایند جوشکاری زائده ای

مشعل هفت تیری وظیفه نگهداشتن زائده و هدایت دقیق آن به طرف محل اتصال را بر عهده دارد. دو نوع مشعل هفت تیری متحرک و ثابت وجود دارد که خود شامل بدنه، مکانیسم بلندکننده زائده (سلونوئید، کلاچ و فنر)، گیره نگهدارنده زائده و حمایت کننده قابل تنظیم برای حلقه سرامیکی می باشند (شکل ۱-۷۴). بدیهی است پوسته مشعل باید حتی المقدور کم حجم و سبک باشد تا جوشکار در حین کار جای

<sup>۱</sup> - Gun Torch

<sup>۲</sup> - Ferrules

مانور داشته باشد و خسته نشود. همچنین باید گنجایش سلونوئید، کلاچ و فنر را داشته و محل مناسب کلید و ورودی کابل و نگهدارنده زائده نیز در آن پیش بینی شده باشد.



شکل ۱-۷-۴- نمونه ای از مشعل تفنگی در جوشکاری زائده ای

کلاچ از چند بخش مجزا تشکیل شده است که شامل توپی، سلونوئید و فنر است. به طور کلی کلاچ بدین صورت عمل می کند که وقتی سوئیچ فشار داده می شود جریانی با ولتاژ معین از سلونوئید گذشته و در توپی خاصیت مغناطیسی القاء و آهنربا می شود. خود توپی از دو قسمت جلویی که به قسمت نگهدارنده زائده متصل شده و قسمت عقبی که به انتهای پوسته ثابت است تشکیل شده است. بدین ترتیب وقتی توپی خاصیت آهنربایی پیدا می کند قسمت جلویی به عقب کشیده شده و زائده را ثابت نگه می دارد تا قوس روشن شود. بعد از گذشت یک زمان مشخص و اتمام عمل و خاموش شدن قوس، جریان الکتریکی قطع شده و توپی خاصیت آهنربایی خود را از دست می دهد و زائده توسط نیروی یک فنر به جلو یعنی در واقع به طرف حوضچه جوش پرتاب می شود. بدیهی است مشخصات توپی، سیم پیچی که خاصیت آهنربایی را در آن القا می کند، جنس توپی که می بایست به سرعت خاصیت آهنربایی را از دست دهد و نیروی فنر که ارتباط با قدرت این آهنربای موقت دارد از نکات فنی

مهم دستگاه می باشد.

نگهدارنده زائده که علاوه بر نگهداشتن زائده، عمل هدایت جریان الکتریکی به نوک زائده و همچنین انتقال فشار فنر به زائده را نیز بر عهده دارد باید خصوصیات ویژه ای داشته باشد. از جمله این که هادی خوب جریان الکتریکی باشد و استحکام و سختی مناسب، سهولت در نصب زائده و جدا شدن از زائده پس از جوشکاری و بعضاً قابلیت تطابق و انعطاف پذیری در صورت تغییر شکل و ابعاد زائده را داشته باشد.

واحد کنترل شامل اتصال دهنده مناسب برای قطع و وصل شدت جریان و یک زمان سنج الکتریکی نسبتاً دقیق است. کنترل دقیق به گونه ای انجام می شود که انرژی حرارتی لازم متناسب با قطر زائده و ضخامت سطح کار بدون توجه به تغییرات منبع قدرت، تولید شود. باید توجه داشت که در بعضی موارد قطعه زائده ممکن است از یک سوزن ظریف تر و قطعه کار نیز از یک زورق نازک تر باشد. بنابراین دقت قدرت ایجاد شده بسیار مهم است. در موارد خاص که از گاز محافظ استفاده می شود تمهیدات و کنترل های جداگانه برای قطع و وصل جریان گاز نیز ضروری است. سوئیچ ها در این واحد می توانند مکانیکی و یا الکتریکی باشند. سوئیچ های مکانیکی دارای مزایایی همچون سادگی استفاده، در دسترس بودن و ارزان بودن و معایبی نظیر جرقه زدن بین کنتاکتها، سرعت عمل کم و حجم زیاد هستند. در عوض سوئیچ های الکترونیکی دارای مزایایی نظیر سرعت عمل زیاد، داشتن عمر تئوری نامحدود و عدم محدودیت در ولتاژها و جریانهای زیاد و معایبی همچون مشکل بودن استفاده از آن، نیاز به مدارهای اضافی، قیمت زیاد و ناشناس بودن برای مصرف کننده ها هستند. در واحد کنترل سوئیچها در حقیقت یک رله هستند. با وصل جریان الکتریکی بوبین داخلی سوئیچ فعال شده و باعث می شود میله داخل بوبین به سمت پایین کشیده شود و کنتاکتها به یکدیگر متصل شوند. با قطع جریان خاصیت آهنربایی از بین رفته و فنر بازگرداننده کنتاکتها را از یکدیگر جدا می نماید.

زمان سنج که می تواند مکانیکی یا الکترونیکی باشد و به ظاهر وظیفه اش روشن است باید به گونه ای در مدار قرار گیرد که با تغییر وضعیت کلید روشن کردن، خروجی زمان سنج که به سوئیچ متصل می باشد فعال گردد و بدین ترتیب

قوس الکتریکی تشکیل شود. بعد از مدت زمان بسیار کوتاهی می بایستی بوبین فعال گردد تا نگهدارنده زائده آن را کمی عقب کشیده و بعد از پایان مدت زمان تنظیم شده باید بوبین قطع و قوس الکتریکی نیز خاموش شود و سیستم آماده استفاده مجدد گردد.

در این فرایند دو نوع منبع قدرت به کار می رود. یکی منبع قدرت D.C است شبیه آن چیزی که در جوشکاری قوس -الکترو دستی استفاده می شود و می تواند ژنراتور یا ترانسفورماتور - یکسوکننده با مشخصات زیر باشد ( در موارد خاص ممکن است از باتری نیز استفاده شود):

- ولتاژ مدار باز بالا (۷۰-۱۰۰ ولت)

- خصوصیت ولت -آمپر سرایشی<sup>۱</sup>

- افزایش شدت جریان سریع

- شدت جریان خروجی بالا در زمان کوتاه

- در این فرایند مولد قدرت دارای شدت جریان خروجی بالاتر و سیکل تناوب<sup>۲</sup> کمتر نسبت به روش های دیگر قوس الکتریکی لازم است.

نوع دوم منبع قدرت شامل تعدادی خازن ذخیره ای است که تخلیه آن، قدرت لازم برای ایجاد قوس را در زمان کوتاه فراهم می کند که اصطلاحاً به تخلیه خازنی<sup>۳</sup> موسوم است. این فرایند در این شکل با نام جوش زائده ای لحظه ای<sup>۴</sup> شناخته شده است و طبیعتاً برای زائده های ظریف تر به کار می رود.

در هر دو حالت، ابتدا قوس در انتهای زائده در اثر ذوب و بخار شدن نوک تیز آن که در تماس با سطح کار است و یا ایجاد یک ولتاژ بسیار بالا در فاصله مشخص بین زائده و سطح کار در لحظه ای بسیار کوتاه در حد میلی ثانیه (نظیر مدار H.F در فرایند TIG) به وجود می آید. پس از ایجاد قوس، زائده مقداری به عقب کشیده می شود و پس از چند لحظه که قطره مذاب در نوک زائده و حوضچه جوش در سطح کار به وجود آمد (قبل از انتقال قطره)، زائده با فشار فنر در حوضچه جوش

<sup>1</sup> - Prooping

<sup>2</sup> - Duty Cycle

<sup>3</sup> - Capacitor Discharge

<sup>4</sup> - Preussive Stud Welding

فرو می رود.

حلقه سرامیکی که در اغلب جوشکاری زائده ای قوسی به کار می رود می تواند در مشعل هفت تیری بر روی زائده و در وضعیت مورد نظر نصب شود که چند عمل را انجام می دهد. تمرکز حرارت قوس در موضع معین بر روی سطح کار، ممانعت از نفوذ جریان هوا به موضع جوش و کمک به جلوگیری از اکسید شدن فلز جوش مذاب، نگه داشتن فلز جوش مذاب در موضع جوش و جلوگیری از جاری شدن و پخش شدن مذاب به اطراف، دادن شکل لازم به اطراف زائده یا همان گرده جوش، محافظت جوشکار در برابر نور قوس (البته بهتر است از عینک های محافظ استفاده شود) و اگر از گاز محافظ استفاده شود هدایت گاز به اطراف زائده و جوش از جمله وظایفی است که حلقه سرامیکی می تواند انجام دهد. حلقه سرامیکی دو نوع است. یکی کوچک و ارزان است که برای هر زائده یک عدد مصرف می شود و قابل استفاده مجدد نیست، چون با شکستن آن از اطراف زائده جدا می شود. نوع دیگر که حلقه هایی است که برای روشهای خودکار به کار برده می شود و قابل کاربرد مجدد است.

همان طور که از توضیح این فرایند مشخص است چون زمان روشن بودن قوس و عملیات کوتاه است از سرباره و یا گاز محافظ کمتر استفاده می شود. گاهی در جوشکاری فلزات غیر آهنی و حساس در برابر اکسیداسیون، از گاز محافظ برای جلوگیری از اکسید شدن حوضچه جوش و نوک زائده استفاده می شود و در حالت خاصی از این فرایند، از نوعی حلقه سرامیکی استفاده می شود که در اثر حرارت قوس ذوب شده و به صورت سرباره اطراف زائده را می گیرد و تقریباً وظایفی را که برای سرباره ها در فرایندهای قبلی گفته شد بر عهده می گیرد. معمولاً در روش خازنی یا لحظه ای و بعضی روش های فرعی دیگر که از شدت جریان بالا و زمان بسیار کوتاه (میلی ثانیه) استفاده می گردد نیازی به حلقه سرامیکی و گاز محافظ نیست.

### مواد مصرفی

همان طور که در توضیحات فوق اشاره شد ماده مصرفی اصلی در این فرایند که در واقع بخشی از اجزای مورد جوش نیز می باشد، زائده است که بخش کوچکی از

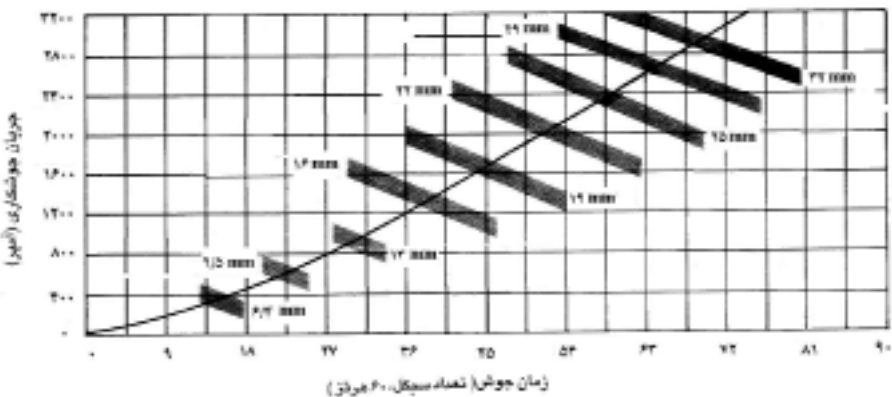


آن ذوب و خمیری شده و در طراحی زائده می بایست آن را در نظر گرفت. از حلقه سرامیکی و گاز محافظ نیز می توان به عنوان مواد مصرفی جنبی نام برد.

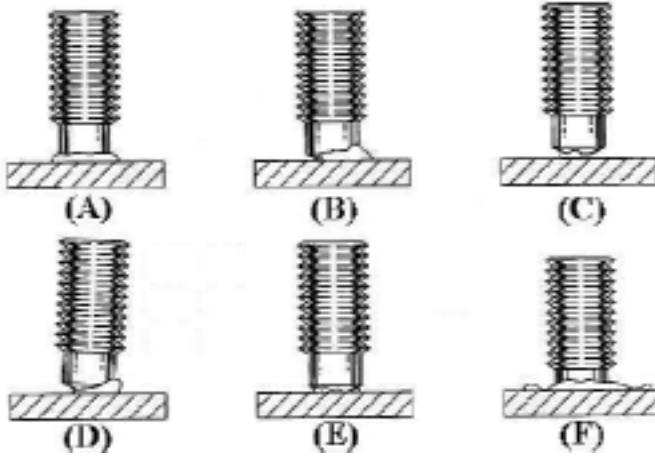
### متغیرهای فرایند

مهمترین متغیرهای این فرایند که براساس قطر و جنس زائده تنظیم می شود شدت جریان و زمان روشن بودن قوس است. کم بودن شدت جریان و زمان، موجب ذوب ناقص و استحکام کم اتصال زائده به کار شده و زیاد بودن این دو متغیر موجب پاشش مذاب به هنگام پرتاب زائده به سمت قطعه کار و کوتاه شدن طول زائده می شود. شکل ۸-۱۱ WH رابطه شدت جریان و زمان را برای قطرهای مختلف زائده از جنس فولاد معمولی نشان می دهد. شکل ۸-۱۵ WH جوش مناسب زائده را در مقایسه با جوشهای نامطلوب نشان می دهد.

فاصله نوک زائده تا سطح کار که اغلب در طراحی زائده پیش بینی شده و یا با تمهیدات دیگر قابل تنظیم است، می تواند بر روی طول قوس و ولتاژ ایجاد شده تأثیر بگذارد. در حالت های خاص ممکن است سیکل جریانی برای پیش گرم کردن محل جوش قبل از ایجاد قوس نیز پیش بینی شود و یا نوک زائده به ویژه هنگامی که از زائده آلومینیومی استفاده می شود با روانساز پوشش داده شود. در مواردی دیگر ممکن است از مواد اکسیژن زدا در نوک زائده استفاده شود.



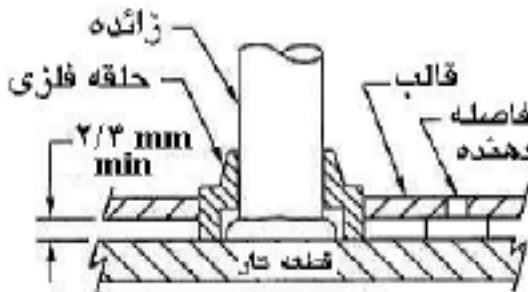
شکل ۸-۱۱ محدوده تغییرات شدت جریان جوشکاری بر حسب زمان برای زائده های فولادی با ابعاد مختلف و منحنی متوسط مقادیر



شکل ۸-۱۵- جوشکاری زائده ای مطلوب (A) و نامطلوب (B تا F)

### نکات تکنیکی

تمیز بودن سطوح کار به ویژه محل استقرار و اتصال زائده به آن بسیار مهم می باشد و اکسید یا چرب بودن آن می تواند موجب بروز مشکلات و معایبی در جوش شود. نکته مهم دیگر استقرار زائده در محل مناسب است. ساده ترین راه، اثر گذاری توسط سمبه بر روی سطح قطعه و قرار دادن نوک زائده در این فرورفتگی می باشد. در جاهایی که دقت های بالاتر و سرعت عمل بیشتر نیاز است و اتصال تعداد زیادی زائده با فاصله های دقیق بر روی سطح قطعه مد نظر می باشد می توان از ورق هایی که بر روی آنها پخ و یا سوراخ هایی ایجاد شده است استفاده نمود و شبیه شابلون، زائده ها از طریق سوراخهای ورق رویه بر روی قطعه اصلی جوش داده شود (شکل ۸-۹).



شکل ۸-۹- یک شابلون ساده که برای موقعیت دادن به زائده استفاده شده است

## مزایا و محدودیت های فرایند جوشکاری زائده ای

مهمترین مزایای فرایند عبارتند از:

۱- با توجه به این که زمان سیکل جوشکاری زائده ای با قوس خیلی کوتاه است فلز جوش و منطقه متأثر از جوش خیلی باریک بوده و در نتیجه مقدار پیچیدگی بسیار کم می باشد. از نقطه نظر دیگر در مورد آلیاژهای آلومینیم رسوب سختی شده، زمان کوتاه سیکل جوشکاری باعث به حد اقل رسیدن میزان نرم شدن نقطه جوش و مجاور آن می شود.

۲- زائده را می توان در وضعیت های مختلف در ضمن ساختن قسمت های دیگر اسکلت به آن جوش داد و زمان کل ساخت را کوتاه کرد. از طرف دیگر نیازی به دسترسی به دو طرف سطح موضع جوش نیست.

۳- عدم نیاز به سوراخ کردن و پیچ کردن برای نصب زائده به ویژه در مورد دیگهای تحت فشار کمکی برای بهتر کردن طرح در مقابل نفوذ انواع گاز یا مایع به بیرون است. علاوه بر آن سوراخ کردن و پیچ کردن زائده گاه مستلزم انتخاب ورق ضخیم تر می باشد تا استحکام کافی ایجاد شود.

۴- برای اتصال زائده های بسیار کوچک به ورق های نازک محدودیتی وجود ندارد و با استفاده از روش خازنی می توان زائده هایی باریکتر از یک سوزن معمولی را به ورق هایی با ضخامت  $0.75$  میلیمتر و کمتر بدون خطر عبور ذوب از ورق جوش داد.

۵- حتی با این روش می توان دو فلز غیرهم جنس نظیر فولاد به فولاد زنگ نزن، برنج به فولاد، آلومینیم به آلیاژ روی ریختگی تحت فشار (زاماک) و برنج به مس را متصل کرد.

۶- معمولاً مواد مصرفی مورد نیاز نیست و سرعت عملیات جوشکاری نسبتاً بالا است.

از محدودیت های فرایند می توان به چند مورد زیر اشاره کرد:

۱- حرارت موضعی در مورد فولادهای پرکربن به دلیل سرعت سرد شدن سریع و تدری حاصل از آن در منطقه جوش مضر است

۲- عدم قابلیت شکل پذیری جوش تحت بعضی از تنش ها

۳- امکان اتصال زائده دو طرفه بسیار کم است و در چنین حالتی باید جوشکاری زائده در دو طرف به طور جداگانه انجام شود.

۴- اندازه و شکل زائده تابع نگهدارنده مشعل تفنگی خواهد بود. همین طور اندازه و قطر زائده برای ورق های نازک محدود است.

جدول ۱-۹ اندازه های مختلف قطر زائده و ضخامت ورق متناسب با آن را در مورد آلومینیوم و فولاد نشان می دهد.

جدول ۱-۹ ضخامت ورق و قطر زائده مناسب با آن برای آلومینیوم و فولاد

آلومینیوم				فولاد بدون ورق		قطر زائده	
با ورق پشتی		بدون ورق پشتی		پشتی		in	mm
in	mm	in	mm	in	mm	in	mm
۰/۱۳	۳/۲	۰/۱۳	۳/۲	۰/۰۴	۰/۹	۰/۱۹	۴/۸
۰/۱۳	۳/۲	۰/۱۳	۳/۲	۰/۰۵	۱/۲	۰/۲۵	۶/۴
۰/۱۳	۳/۲	۰/۱۹	۴/۷	۰/۰۶	۱/۵	۰/۳۱	۷/۹
۰/۱۹	۴/۷	۰/۱۹	۴/۷	۰/۰۸	۱/۹	۰/۳۸	۹/۵
۰/۱۹	۴/۷	۰/۲۵	۶/۴	۰/۰۹	۲/۳	۰/۴۴	۱۱/۱
۰/۲۵	۶/۴	۰/۲۵	۶/۴	۰/۱۲	۳	۰/۵۰	۱۲/۷
-	-	-	-	۰/۱۵	۳/۸	۰/۶۲	۱۵/۹
-	-	-	-	۰/۱۹	۴/۷	۰/۷۵	۱۹/۱
-	-	-	-	۰/۳۸	۹/۵	۱	۲۵/۴

نکته ای که در طراحی زائده علاوه بر قطر و جنس آن باید در نظر گرفت طول آن است، چون در ضمن عملیات اتصال زائده به سطح کار، مقدار کمی از نوک زائده ذوب می شود و ضمناً با فشار به داخل حوضچه جوش در سطح کار فرومی رود. در نتیجه کمی از طول آن کاسته و در شرایطی که زائده باید طول مشخص و دقیق داشته باشد باید به آن توجه نمود.

کاربردهای این فرایند در مهندسی سازه برای ساخت بعضی سازه های بتنی، کشتی سازی و سازه های مهندسی برای اتصال دهنده های لایه های عایق، اتصال روپوش ها و ایجاد صفحات اضافی در مبدل های حرارتی و ... می باشد.

۵-۳-۲- فرایند جوشکاری قوس پلاسما<sup>۱</sup>

اصطلاح قوس پلاسما به قوس الکتریکی فشرده شده ای گفته می شود که معمولاً از عبور قوس از یک شیبوری یا لوله جمع کننده مسی آبرگرد به وجود می آید و به منظور افزایش تمرکز یا چگالی انرژی ستون قوس به کار می رود. فرایند قوس پلاسما در جوشکاری، برشکاری، عملیات سطحی و مواد پاشی کاربرد دارد که فعلاً به کاربرد آن در جوشکاری اشاره می شود.

جوشکاری قوس پلاسما یکی از فرایندهای قوسی بوده که قوس الکتریکی فشرده شده یا بین الکترود غیرمصرفی و کار (قوس مستقیم<sup>۲</sup>) و یا بین الکترود و نازل متمرکزکننده (غیرمستقیم<sup>۳</sup>) به وجود می آید. محافظت عموماً از طریق گاز گرم یونیزه شده که از نازل متمرکز کننده بیرون می آید، انجام می شود اما منبع گاز محافظ دیگری نیز برای حفاظت جوش در برابر هوا به کار می رود که می تواند گاز خنثی یا گازهای مخلوط شده باشد. فلز پرکننده نیز شبیه فرایند قوس -الکترود تنگستن می تواند استفاده شود و یا نشود. در بعضی مراجع، جوشکاری قوس پلاسما را به عنوان فرایند تکمیل شده قوس -الکترود تنگستن معرفی می نمایند که دارای قوس با چگالی انرژی بسیار بالاتری است. همچنین گاز پلاسما دارای سرعت و فشار بیشتری نسبت به فرایند قوس -الکترود تنگستن است. شکل ۹-۱ دو قوس پلاسما و قوس TIG و شکل ۹-۳ دمای مناطق مختلف قوس پلاسما و قوس معمولی TIG را نشان می دهد. در شکل ۹-۴ نیز دو نوع قوس پلاسما مستقیم و غیرمستقیم ملاحظه می شود.

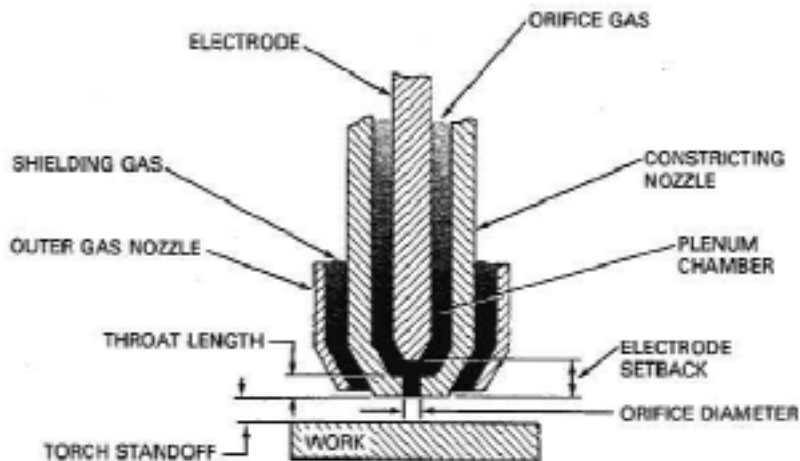
گاز فشرده شده<sup>۴</sup> گازی است که مستقیماً در نازل اطراف الکترود تنگستن جریان می یابد و به علت گرم شدن در یک دهانه تنگ، به صورت یونیزه شده یا پلاسما جت از نازل بیرون می آید (حتی به صورت اتمی نیز درمی آید). برای بعضی عملیات، گاز محافظ اضافه از یک نازل خارجی یا ثانویه شبیه TIG عبور کرده و سطح حوضچه مذاب را از آلودگی محافظت می کند.

<sup>۱</sup> - Plasma-Arc Welding

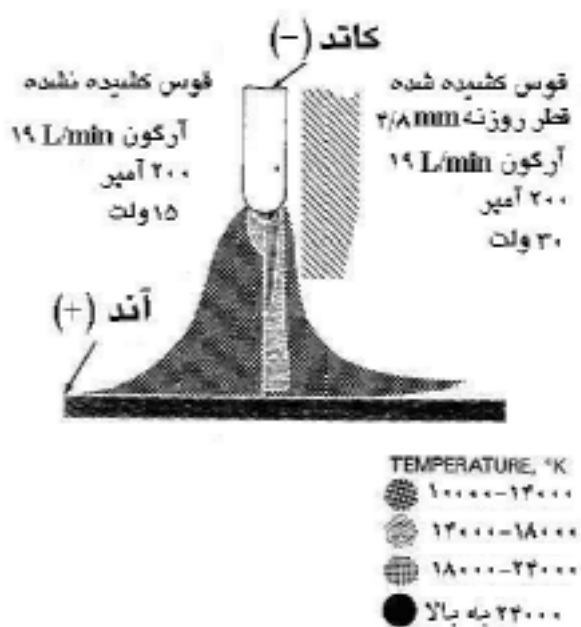
<sup>۲</sup> - Transferred Arc

<sup>۳</sup> - Non-transferred Arc

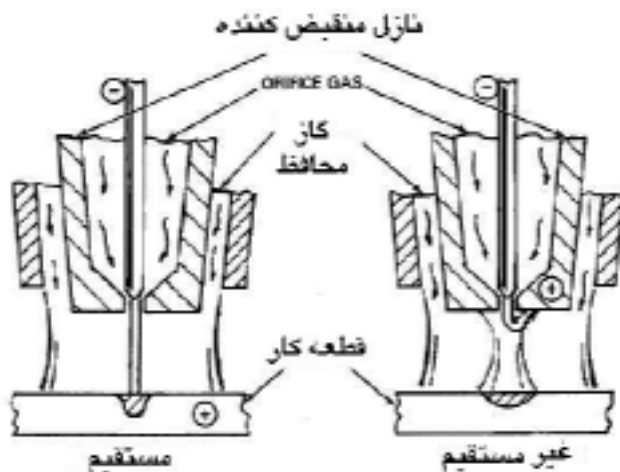
<sup>۴</sup> - Orific Gas



شکل ۹-۱- مشعل جوشکاری پلاسما و اصطلاحات مربوط به آن



شکل ۹-۳- تأثیر کشیدگی (انقباض) قوس بر درجه حرارت و ولتاژ



شکل ۹-۴- فرایند جوشکاری پلاسما با دو نوع قوس مستقیم و غیرمستقیم

نازل جمع کننده که در فرایند قوس پلاسما، گاز از آن عبور می کند دارای دو بعد مهم می باشد که یکی قطر سوراخ و دیگری طول گلوگاه می باشد (شکل ۹-۱). سوراخ جمع کننده می تواند به شکل های استوانه ای، شیبوری و غیره باشد. اندازه های مهم دیگر فاصله نوک الکترود تا سطح بیرونی نازل یا عقب ماندگی الکترود است. اصولاً یکی از تفاوت های عمده ظاهری مشعل پلاسما با مشعل TIG در همین قسمت است که در TIG الکترود تنگستنی قدری از دهانه نازل بیرون آمده در صورتی که در پلاسما الکترود در داخل نازل است که اصطلاحاً عقب افتادگی<sup>۱</sup> گفته می شود. فاصله دهانه نازل تا سطح کار<sup>۲</sup> نیز مهم بوده و در عملیات جوشکاری دستی و یا خودکار این فاصله باید تا حد امکان ثابت باشد. این فاصله در ضمن عملیات جوشکاری باید کنترل شود. فضا یا فاصله دیواره داخلی نازل جمع کننده با سطح الکترود نیز مورد توجه است.

همان طور که اشاره شد دو فرایند جوشکاری قوس پلاسما و TIG علاوه بر

<sup>۱</sup> - Set Back

<sup>۲</sup> - Torch Stand off

تفاوت ظاهری مشعل در شکل قوس الکتریکی نیز متفاوت هستند. قوس در فرایند TIG زنگی شکل بوده اما در پلاسما زنگی شکل کشیده است و حالتی نزدیک به استوانه ای دارد که این امر موجب می شود در TIG، منطقه متأثر از حرارت جوش وسعت بیشتری داشته باشد و حساسیت تغییرات فاصله نازل تا کار و تأثیر آن بر روی کمیت و کیفیت جوش بیشتر از پلاسما باشد. از طرف دیگر احتمال آلودگی فلز جوش با تنگستن (ناشی از برخورد تنگستن با سطح نوب یا مفتول) بیشتر است. عبور گاز جمع شونده در فضای محدود بین الکترود و لوله جمع کننده و همچنین افزایش دما موجب فشار و سرعت بالای پلاسماجت می شود و در نتیجه احتمال عمل برش و ریزش نوب در حین جوشکاری بسیار بالا می باشد. بنابراین می بایست دقت لازم در طراحی لبه های مورد جوش و حرکت مشعل در حین جوشکاری به عمل آید. نرخ عبور گاز جمع شونده ۱۵-۱/۵ لیتر در دقیقه و نرخ عبور گاز محافظ بالاتر و بین ۳۰-۱۰ لیتر در دقیقه است. البته برخورد گازهای یونیزه شده با سطح کار و مجدداً به صورت ملکولی در آمدن آن نیز می تواند موجب افزایش حرارت ایجاد شده در جوش شود.