۱-۲ مقدمه

فرآیندهای اتصال مواد صنعتی(فلزی، پلیمری و سرامیکی) را می‌توان مطابق شکل (۱-۲) به دو دسته اصلی تقسیم کرد.

شکل (۱-۲)

الف) اتصال موقت - مثل: چسب، میخ، پرچ و پیچ

شکل (۱-۲)

ب) اتصال دائم - مثل: جوشکاری و لحیم‌کاری

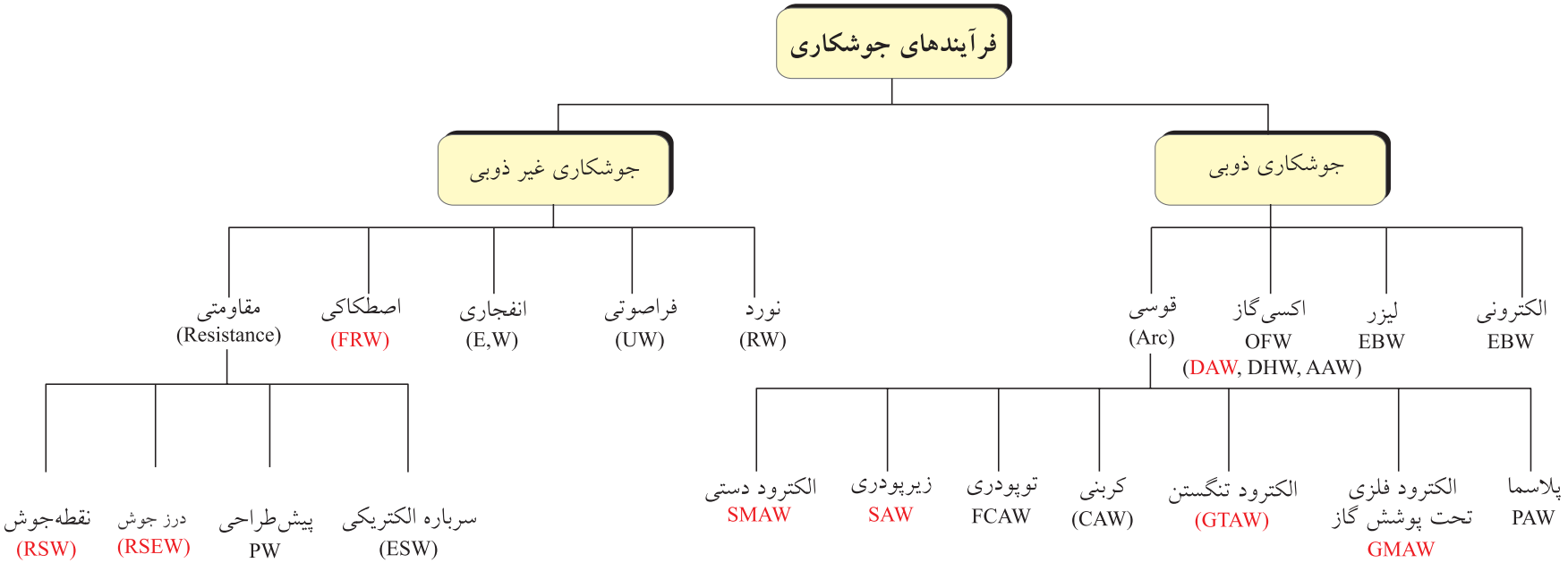
تقسیم بندی کلی روش‌های متداول اتصال در مواد صنعتی

اگرچه هنوز هم تمام روش‌های مذکور در صنایع مختلف کاربرد دارند، ولی اختراع روش جوشکاری توانست تحول بزرگی در اتصال مواد ایجاد کند. در حال حاضر فرآیندهای جوشکاری به عنوان روشی قابل اعتماد، مؤثر، پرکاربرد و اقتصادی برای اتصال مواد صنعتی، به‌خصوص فلزات مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۲-۲- فرآیندهای جوشکاری

تعریف: درحالت کلی حذف فاصله بین اتم‌های دو قطعه در محل تماس به منظور ایجاد جاذبه بین اتم‌های آن‌ها را جوشکاری می‌گویند.

براین اساس روش‌های مختلف جوشکاری مطابق نمودار(۱-۲) به دو دسته کلی شامل: فرآیندهای جوشکاری ذوبی و غیرذوبی تقسیم‌بندی می‌شوند که در این نمودار موارد مهم و متداول جوشکاری مورد استفاده در صنعت به‌صورت رنگی آمده است. در فرآیندهای جوشکاری ذوبی لبه‌های دو قطعه ذوب می‌شوند و با مذاب حاصل از الکترود یا فلز پرکننده درز، مخلوط شده و پس از انجماد موجب اتصال دو قطعه می‌گردد. ولی در فرآیندهای جوشکاری غیرذوبی لبه‌های دو قطعه در تماس با هم ذوب نمی‌شود، بلکه به‌طور معمول نیروی فشار مکانیکی سبب حذف فاصله اتم‌ها در محل تماس و اتصال آنها می‌گردد.



جوشکاری نقطه جوش مقاومتی	(RSW) Resistance stope welding	جوشکاری قوسی الکترود روپوش دار (SMAW) shield metal Arc welding
جوشکاری درز جوش مقاومتی	(RSEW) Resisance seam stope	جوشکاری قوسی زیر پودری (SAW) Submerged Arc welding
جوشکاری پیش طرحی	(PW) Projection welding	جوشکاری قوسی سیستم تو پودری (FCAW) Flux cored Arc welding
جوشکاری سرپاره‌الکتریکی	(ESW) Electro slag welding	جوشکاری اکسی گاز (OFW) oxy – fule welding
جوشکاری پرتو الکترونی	(EBW) Electron Beam welding	جوشکاری قوسی کربنی (CAW) Carbon Arc welding
جوشکاری اصطکاکی	(FRW) Friction welding	جوشکاری قوسی تحت گاز محافظ با الکترو تنگستنی (GTAW) Gas Tungsten Arc welding
جوشکاری انفجاری	(EW) Explosive welding	جوشکاری قوسی تحت گاز محافظ با الکترود مصرف شدنی (GMAW) Gas metal Arc welding
جوشکاری فراصوتی	(uw) Ultrasonic welding	جوشکاری قوسی پلاسما (PAW) Plasma Arc welding

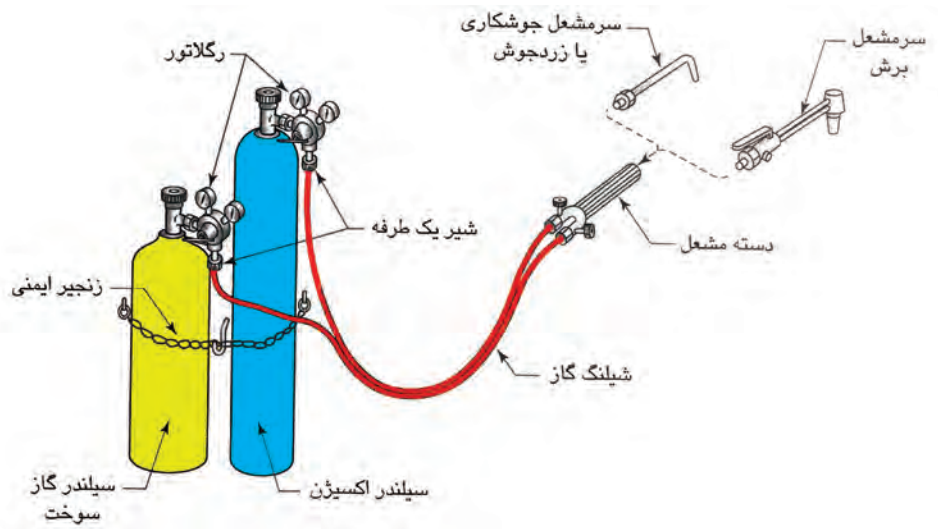
نمودار ۲-۱ روش‌های متداول جوشکاری در صنعت

۱-۲-۲ جوشکاری اکسی استیلن (OAW)[۱]

جوشکاری اکسی‌استیلن فرآیندی است که از انرژی حرارتی ناشی از سوختن یک گاز سوختنی مثل استیلن برای ذوب کردن درز اتصال و سیم جوش فلزی بدون روپوش استفاده می‌شود. در شکل (۲-۲) تجهیزات جوشکاری اکسی‌استیلن مثل: کپسول اکسیژن، کپسول استیلن، مشعل جوشکاری، رگلاتور، شیلنگ و اتصالات مربوط به آن نشان داده شده است. درکپسول‌ها گاز اکسیژن و استیلن به‌صورت فشرده وجود دارد. فشار گازها توسط رگلاتورها کاهش یافته و تنظیم می‌شود و از طریق دو شیلنگ لاستیکی به طرف مشعل هدایت می‌شوند.

علاوه بر سه‌راهی و رگلاتور، شیر یک طرفه نیز در مسیر گازها نصب می‌شود تا مانع از برگشت گاز و شعله به طرف کپسول شود.

شکل(۲-۲)

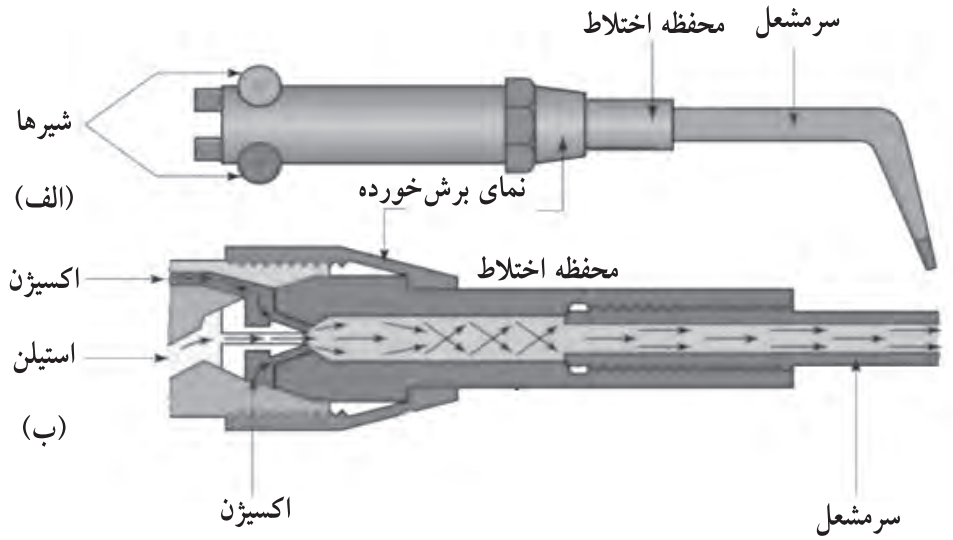


تجهیزات فرآیند جوشکاری اکسی استیلن

۱- Oxy- Acetylene welding

هم‌چنین مطابق شکل(۳-۲) روی دسته مشعل جوشکاری یا برشکاری اکسی‌استیلن شیرهای کنترل جریان گاز وجود دارد که مقدار جریان گاز خروجی به طرف سرمشعل را کنترل می‌کنند. مشعل‌های جوشکاری و برشکاری حرارتی دارای محفظه‌ای به منظور مخلوط شدن گازها می‌باشند که در قسمت ب نشان داده شده است. سرمشعل نیز همگرا است که باعث تمرکز شعله و گرما در سطح کوچکی از محل درز اتصال دو قطعه می‌شود. این موضوع سبب می‌شود تا سریع‌تر به درجه حرارت ذوب برسیم.

شکل(۳-۲)



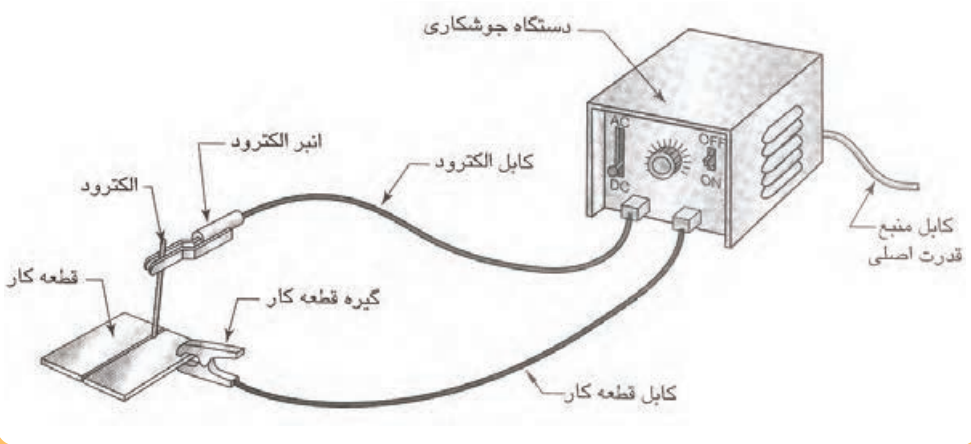
الف: اجزاء مشعل اکسی استیلن ب: نمایش بخش مخلوط کننده گاز در مشعل

اجزا مختلف مشعل در فرآیند جوشکاری اکسی‌استیلن

۲-۲-۲ جوشکاری قوسی با الکترود روپوش دار (SMAW)[1]

در فرآیند جوشکاری قوس الکترودستی از الکترود فلزی روپوش‌دار برای انتقال جریان الکتریکی و تشکیل قوس استفاده می‌شود به‌طوری‌که قوس در فاصله بین نوک الکترود و قطعه کار تشکیل می‌شود. شکل (۲-٤) فرآیند جوشکاری قوسی با الکترود روپوش‌دار را نشان می‌دهد.

شکل(۲-۴)

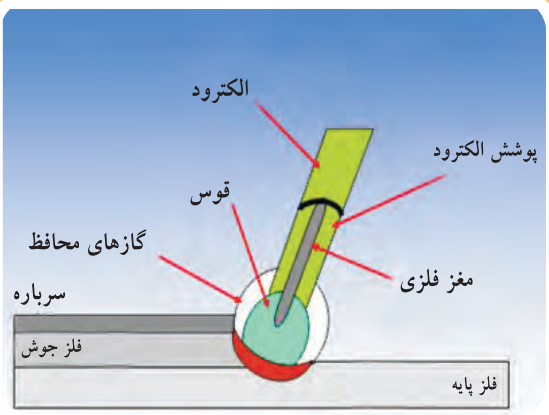


فرآیند جوشکاری قوسی با الکترود روپوش دار

قوس الکتریکی، حرارت کافی برای ذوب کردن منطقه کوچکی از سطح فلز پایه و الکترود را تأمین می‌کند. فلز مذاب الکترود از میان قوس به حوضچه مذاب روی فلز پایه انتقال می‌یابد و در آنجا با فلز پایه مخلوط می‌شود. با دور شدن قوس از محل حوضچه مذاب، مخلوط فلز مذاب ناشی از الکترود و فلز پایه شروع به سرد شدن و انجماد می‌نماید و اتصال کامل می‌شود.

روپوش الکترود ضمن تولید گازهای محافظ جهت محافظت از قوس و حوضچه مذاب، سرباره‌سازی هم می‌کند. شکل (۲-۵) منطقه قوس را درفرآیند جوشکاری با الکترود روپوش‌دار نشان می‌دهد.

شکل(۲-۵)



منطقه قوس درفرآیند جوشکاری با الکترود روپوش دار و تشکیل فلز جوش

1- **Shielded Metal Arc Welding**

جوشکاری با الکترود روپوش‌دار رایج‌ترین فرآیند جوشکاری است. زیرا به‌دلیل استفاده از تجهیزات نسبتاً ساده و ارزان از قابلیت انعطاف‌پذیری بالایی نیز برای کاربردهای مختلف برخوردار می‌باشد.

به‌طوری‌که در جوشکاری اکثر فلزات به‌خصوص فولادهای ساختمانی کاربرد فراوانی دارد. این روش در صنایع به نام‌های جوشکاری برق، الکترود دستی یا قوس الکترود دستی نیز شناخته می‌شود.

شکل (٦-٢) دستگاه فرآیند جوشکاری قوسی با الکترود روپوش دار را همراه با کابل‌های اتصال نشان می‌دهد.

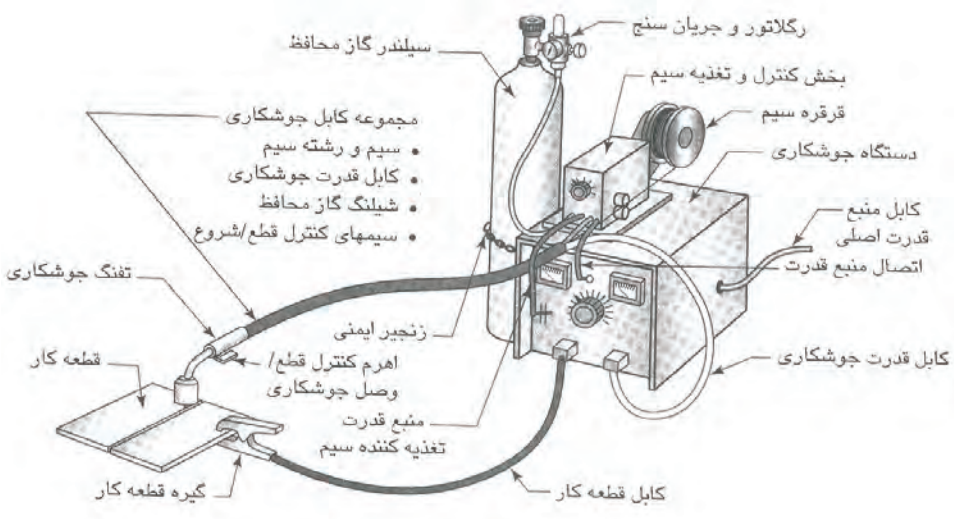
شکل(۶-۲)

دستگاه فرآیند جوشکاری قوسی با الکترود روپوش‌دار

۳-۲-۲ جوشکاری قوسی با الکترود فلزی تحت پوشش گاز محافظ (GMAW)[1]

در فرآیند جوشکاری قوسی با الکترود مصرفی تحت پوشش گاز محافظ که در شکل(۷-۲) تجهیزات و چگونگی انجام جوشکاری نشان داده شده است، به‌جای الکترود روپوش‌دار از الکترود بدون روپوش استفاده می‌شود. برای جلوگیری از آسیب دیدن به مذاب فلز جوش به‌دلیل اثرات سوء اتمسفر (اکسیژن و ازت)، یک گاز کم اثر یا بی‌اثر در فضای قوس و اطراف حوضچه مذاب جایگزین اتمسفر می‌گردد گاز محافظ از طریق کپسول و لوله‌های انتقال به آرامی به اطراف قوس هدایت شده و حفاظت مناسب را ایجاد می‌کند.

شکل(۷-۲)



فرآیند جوشکاری قوسی با الکترود مصرفی تحت پوشش گاز محافظ

۱- Gas Metal Arc Welding

در این فرآیندچنانچه گاز محافظ، خنثی یا بی‌اثر باشد مثل: گاز آرگون یا هلیوم به آن روش MIG[1] می‌گویند و اگر از گاز نیمه فعال مانند CO_2 استفاده شود به آن روش MAG[2] می‌گویند. در جوشکاری بعضی از فلزات مانند آلومینیم و فولاد زنگ نزن که در مقابل اتمسفر حساسیت زیادی دارند از گازهای بی‌اثر مانند: آرگون و هلیم و یا مخلوط آنها استفاده می‌شود و در سایر موارد از گاز محافظ کم‌اثر(نیمه فعال) مانند: CO_2 و یا مخلوط آرگون و اکسیژن استفاده می‌شود. گاز محافظ از کپسول به کمک رگلاتور و شیلنگ به مشعل جوشکاری منتقل می‌شود. دستگاه جوشکاری یک رکتیفایر (ترانسفورماتور همراه با یکسوکننده) است که با برق شهر کار می‌کند و جریان لازم را برای جوشکاری تامین می‌کند که توسط کابل به مشعل جوشکاری (تورچ) هدایت می‌شود.

شکل(۸-۲) تجهیزات فرآیند جوشکاری قوسی با الکترود فلزی تحت پوشش گاز محافظ را نشان می‌دهد.

شکل(۸-۲)

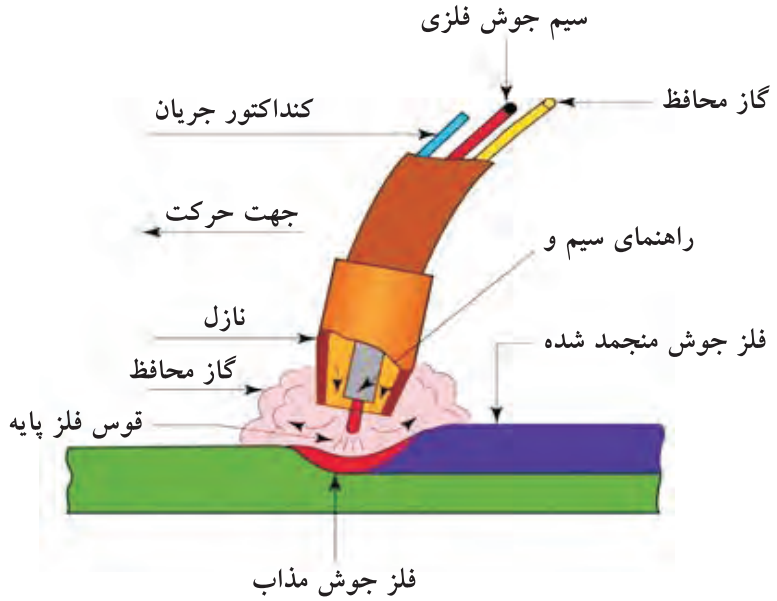
دستگاه فرآیند جوشکاری قوسی با الکترود فلزی تحت پوشش گاز محافظ

۱- Metal Inert Gas

۲- Metal Active Gas

در این فرآیند جوشکاری، الکترود لخت یا سیم‌جوش که به طور مداوم از قرقره به طرف تورچ جوشکاری هدایت می‌شود؛ ضمن برقراری قوس با سطح قطعه کار، ذوب می‌شود. هم‌چنین در اثر گرمای قوس سطح قطعه کار در محل اتصال نیز به صورت موضعی ذوب می‌شود و از اختلاط مذاب حاصل از سیم جوش و قطعه کار، فلز جوش ایجاد می‌شود. شکل (۹-۲) منطقه ایجاد قوس و تشکیل حوضچه مذاب را که نشان‌دهنده تشکیل فلز جوش است و نیز چگونگی ایفای نقش حفاظتی گاز محافظ را نشان می‌دهد.

شکل(۹-۲)



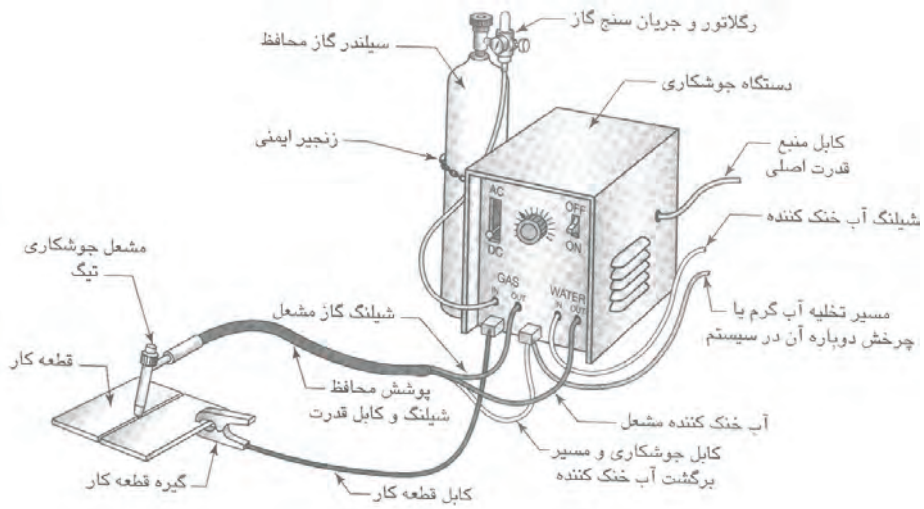
منطقه ایجاد قوس و تشکیل فلز جوش در فرآیند جوشکاری قوسی تحت پوشش گاز محافظ

این روش جوشکاری بدلیل تداوم جوشکاری و عدم توقف ناشی از تعویض الکترود به صورت اتومات و با استفاده از ربات‌ها در صنایع مختلف مثل: اتومبیل سازی، واگن سازی، کشتی‌سازی و سایر سازه‌های فلزی کاربرد وسیعی دارد.

۲-۲-٤ جوشکاری قوسی با الکترود تنگستن تحت پوشش گاز خنثی (TIG)[۱]

این فرآیند یکی دیگر از فرآیندهای جوشکاری قوسی است که در آن قوس بین الکترود غیرمصرفی دیرذوب مانند تنگستن و قطعه کار برقرار می‌گردد و باعث ذوب فلز پایه و ایجاد حوضچه مذاب روی قطعه کار می‌شود، اصول کلی این فرآیند جوشکاری در شکل (۱۰-۲) نشان داده شده است.

شکل(۱۰-۲)



اصول فرآیند جوشکاری قوس با الکترود تنگستن

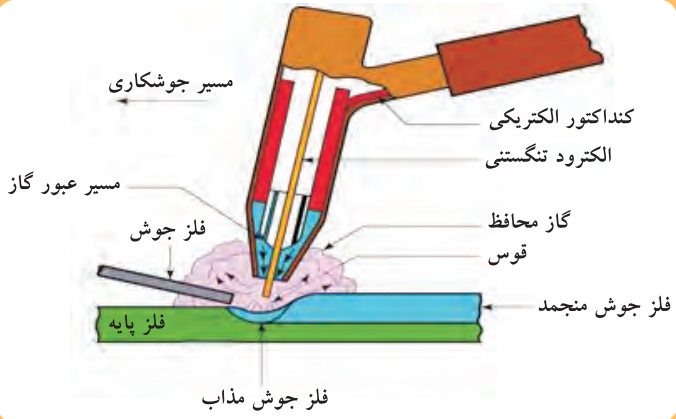
در این فرآیند جوشکاری مطابق شکل(۱۱-۲)منبع تغذیه یک رکتیفایر تولیدکننده جریان مستقیم (DC) است که با برق شهر تغذیه شده و جریان مناسب جوشکاری را تامین می‌کند. گاز محافظ خنثی نیز از کپسول توسط رگلاتور و شیلنگ‌های مخصوص به طرف تورچ جوشکاری هدایت می‌شود

شکل(۱۱-۲)

دستگاه فرآیند جوشکاری قوسی با الکترود تنگستنی تحت پوششی گاز خنثی

۱- Tungsten Inert Gas

شکل(۱۲-۲)



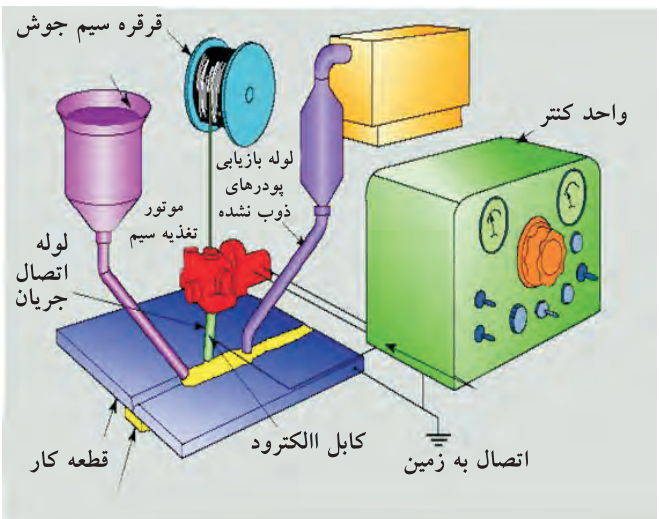
منطقه ایجاد قوس و تشکیل فلز جوش در فرآیند جوشکاری TIG

شکل (۱۲-۲) منطقه ایجاد قوس و تشکیل فلز جوش را نشان می‌دهد. در این فرآیند جوشکاری حفاظت از قوس و حوضچه مذاب توسط گاز محافظ خنثی(بی‌اثر) مثل آرگون یا هلیوم صورت می‌گیرد. فلز پرکننده یا سیم جوش، سیم نازکی است که از سمت دیگر با دست یا به‌طور اتومات وارد حوضچه مذاب شده و ذوب می‌گردد.

فلز جوش از امتزاج مذاب فلز حاصل از ذوب شدن لبه‌های کار و ذوب شدن سیم جوش ایجاد می‌گردد. هم‌چنین برای حفاظت حوضچه مذاب و نوک داغ الکترود تنگستن از گازهای محافظ خنثی مثل: هلیم و آرگون و یا مخلوط آنها استفاده می‌شود. از ویژگی‌های مهم این فرآیند جوشکاری تشکیل فلز جوش با کیفیت بالا می‌باشد.

۲-۲-۵ جوشکاری قوسی زیرپودری (SAW)[1]

شکل(۱۳-۲)



تجهیزات و اصول کلی فرآیند جوشکاری قوس زیرپودری

جوشکاری قوس زیرپودری یک فرآیند جوشکاری ذوبی است که حرارت لازم برای جوشکاری توسط قوس ایجاد شده بین قطعه کار و سیم‌جوشی که به‌صورت پیوسته تغذیه می‌گردد در زیر توده پودر محافظ ایجاد می‌شود.

شکل(۱۳-۲) اصول کلی اجرای این فرآیند جوشکاری را نشان می‌دهد.

۱- Submerged Arc Welding

در این فرآیند حوضچه مذاب جوش بوسیله یک لایه ضخیم از پودر با دانه‌های نسبتاً ریز پوشیده می‌شود. بنابراین عمل حفاظت حوضچه مذاب در این فرآیند برعهده دانه‌های نسبتاً ریز و مواد تشکیل دهنده پودر است که در حین جوشکاری بخشی از آن ذوب می‌شود و باعث تشکیل سرباره روی فلز مذاب جوش می‌گردد و بقیه جمع آوری می‌شود و مجددا استفاده می‌شود.

شکل(۱۴-۲)

اتصال دو لوله فولادی با استفاده از فرآیند جوشکاری زیر پودری

شکل (۱٤-۲) اجرای جوشکاری روی لوله فولادی قطور را با استفاده از این فرآیند جوشکاری نشان می‌دهد.

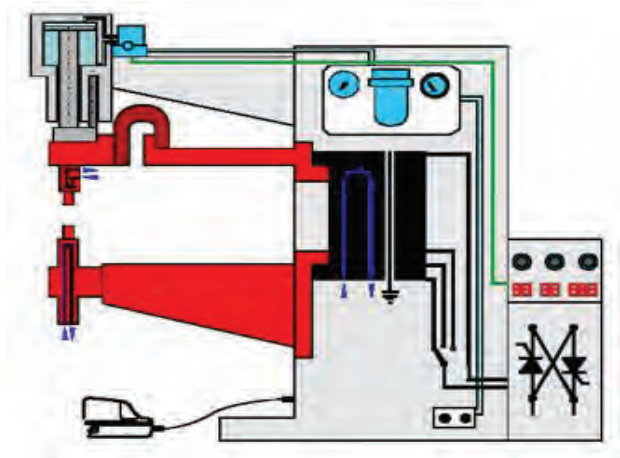
از فرآیند جوشکاری قوس زیرپودری بیشتر برای جوشکاری قطعات ضخیم، خط جوش‌های طویل مثل صنایع لوله‌سازی، کشتی‌سازی، جوشکاری اسکلت‌های فلزی و ساخت مخازن استفاده می‌شود. هم‌چنین به‌دلیل لزوم وجود پودر در محل جوش اجرای جوشکاری محدود به حالت سطحی یا افقی می‌باشد.

٦-۲-۲ جوشکاری مقاومتی[1] (RW)

فرآیند جوشکاری مقاومتی جزء فرآیندهای جوشکاری غیر ذوبی است که لبه‌های قطعه کار در حین جوشکاری در اثر مقاومت الکتریکی ذوب نمی‌شود.

شکل (۱۵-۲) تصویر شماتیک از دستگاه جوشکاری نقطه جوش را نشان می‌دهد.

شکل(۱۵-۲)



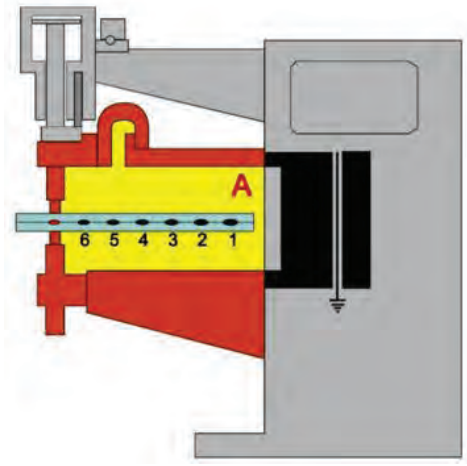
دستگاه جوشکاری نقطه جوش هوا خنک

۱ - Resistance Welding

دراین فرآیند، اتصال دو سطح در اثر حرارت ناشی از اعمال جریان الکتریکی و فشار مکانیکی به‌صورت هم زمان ایجاد می‌شود. بالا بودن مقاومت الکتریکی و عبور جریان الکتریسیته در محل تماس دو سطح باعث گرم شدن و خمیدگی گردیدن محل تماس دو ورق می‌شود. سپس فشار لازم نیز از طریق الکترودها به محل اتصال وارد می‌شود و فصل مشترک که در اثر عبور جریان برق با آمپر زیاد خمیری شده را درهم ادغام می‌کند.

فرآیند جوشکاری مقاومتی به روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد که جوشکاری نقطه‌ای متداول‌ترین آن است.در شکل(۱۶-۲) چگونگی ایجاد اتصال و نقطه جوش‌های ایجاد شده بین دو ورق فلزی به کمک دستگاه جوشکاری نقطه‌ای نشان داده شده است.

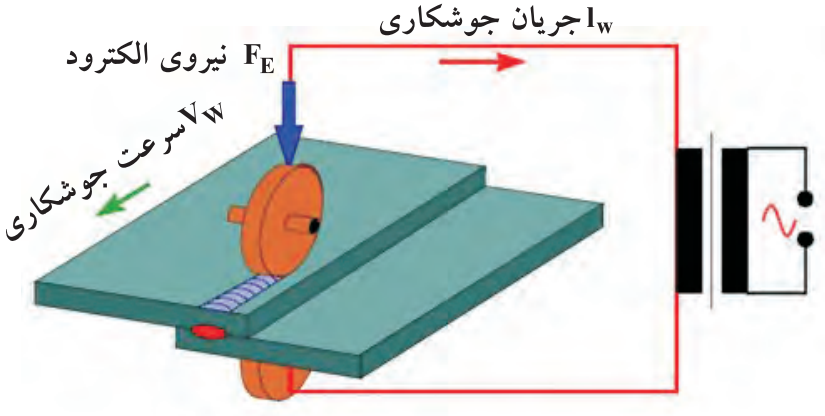
شکل(۱۶-۲)



اجرای جوشکاری نقطه‌ای و اتصّال دو ورق فلزی

هم‌چنین برای اتصال پیوسته لبه ورق‌های فلزی، به کمک فرآیند جوشکاری مقاومتی می‌توان از دستگاه جوشکاری مقاومتی درزی، مطابق شکل (۱۷-۲) استفاده کرد. در اینجا از الکترودهای غلتکی‌شکل استفاده می‌شود که ضمن اعمال فشار، جریان برق با آمپر بالا را به قطعه کار هدایت می‌کنند.

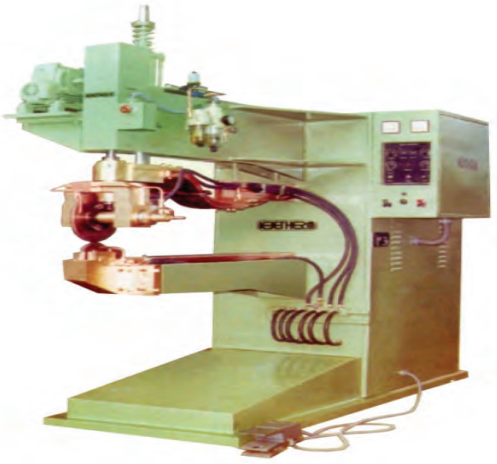
شکل(۱۷-۲)



اجرای درز جوش روی دو ورق فلزی

اجرای جوشکاری مقاومتی از سرعت بالایی برخوردار است و در این فرآیند از ماده مصرفی مثل: سیم جوش یا الکترود مصرفی استفاده نمی‌شود. هم‌چنین فرآیند جوشکاری مقاومتی از قابلیت اتوماسیون بالایی برخوردار می‌باشد و برای جوشکاری ورق‌های بسیار نازک و متوسط عملکرد خوبی دارد. شکل (۱۸-۲) دستگاه جوشکاری مقاومتی درزی را نشان می‌دهد.

شکل(۱۸-۲)



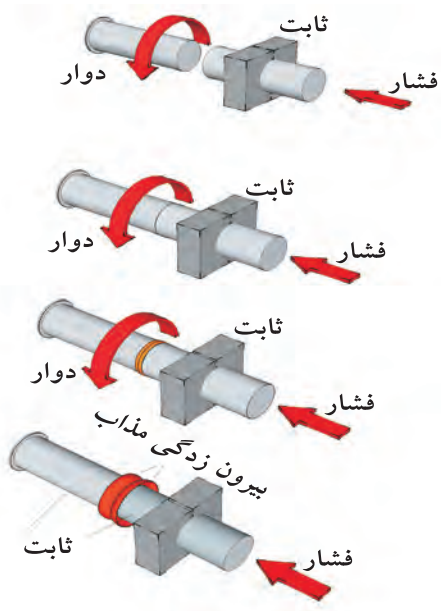
دستگاه جوشکاری مقاومتی درزی جهت اتصال پیوسته لبه ورق‌های فلزی

لازم به ذکر است جوشکاری قطعات بسیار ضخیم و موادی که قابلیت هدایت الکتریکی و حرارتی بالایی دارند مثل: مس و آلومینیوم با این فرآیند مشکل‌تر است. فرآیند جوشکاری مقاومتی در صنایع خودروسازی، کابینت‌سازی، لوازم خانگی کاربرد وسیعی دارد.

۷-۲-۲ جوشکاری اصطکاکی (FW)[1]

اساس فرآیند جوشکاری اصطکاکی درشکل (۱۹-۲) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌کنید، ابتدا یکی از قطعات توسط نیروی مکانیکی در جهت فلش به گردش در می‌آید و قطعه دیگر توسط گیره محکم گرفته می‌شود و حرکت ندارد. سپس در اثر تماس فصل مشترک دو قطعه با یکدیگر و وجود اصطکاک بین سطوح تماس، حرارت تولید می‌شود. گرمای تولید شده توسط اصطکاک سطوح تماس را به حالت خمیری درآورده و در نهایت، اعمال فشار همراه با قطع گردش دورانی موجب اتصال دو قطعه به هم می‌شود.

شکل(۱۹-۲)



مراحل اجرای فرآیند جوشکاری اصطکاکی

در شکل(۲۰-۲) میله رزوه شده‌ای که به روش جوشکاری اصطکاکی به یک قطعه فلز تخت جوش داده شده است مشاهده می‌شود.

شکل(۲۰-۲)

نمونه قطعه جوشکاری شده به روش اصطکاکی

۱- Friction Welding

۴-۱ آشنایی با طبیعت قوس الکتریکی

شکل(۴-۱)

تخلیه بار الکتریکی بین دو توده ابر سبب ایجاد رعد و برق می‌شود.

همه ما پدیده رعد و برق را در آسمان وقتی که هوا بارانی است به‌خاطر داریم(شکل ۴-۱). رعد و برق صدای مهیب ، نور شدید و خیره کننده‌ای دارد. در حقیقت این پدیده حاصل تخلیه بار الکتریکی بین دو توده ابر است. به‌عبارت دیگر تجمع مقدار زیادی الکترون در یک توده ابر و تخلیه این الکترون‌ها در توده ابر مجاور طی لحظه کوتاهی موجب ایجاد نور زیاد و صدای شدید می‌شود. بنابراین اساس کارتخلیه بار الکتریکی بین دو سطح دارای اختلاف پتانسیل است.

امروزه از قوس الکتریکی در زندگی روزمره در موارد زیادی به‌عنوان آتش زنه مثل: اجاق‌های گاز خانگی، فندک‌های دستی و نیز در بخاری‌های گازی برای روشن کردن شعله استفاده می‌شود.

۴-۲ قوس الکتریکی در جوشکاری

شکل(۴-۲)

تخلیه بار الکتریکی بین نوک الکترودو سطح قطعه کار سبب ایجاد قوس می‌شود.

همان‌طور که گفته شد وقتی تخلیه بار الکتریکی یا جابه‌جایی سریع الکترون‌ها بین دو قطب مثبت و منفی صورت می‌پذیرد، قوس الکتریکی ایجاد می‌شود. در این شرایط الکترون‌ها در یک فضای گازی از یک قطب به قطب دیگر جهش می‌کنند و نور، حرارت و صدا تولید می‌شود که به آن قوس الکتریکی می‌گویند.

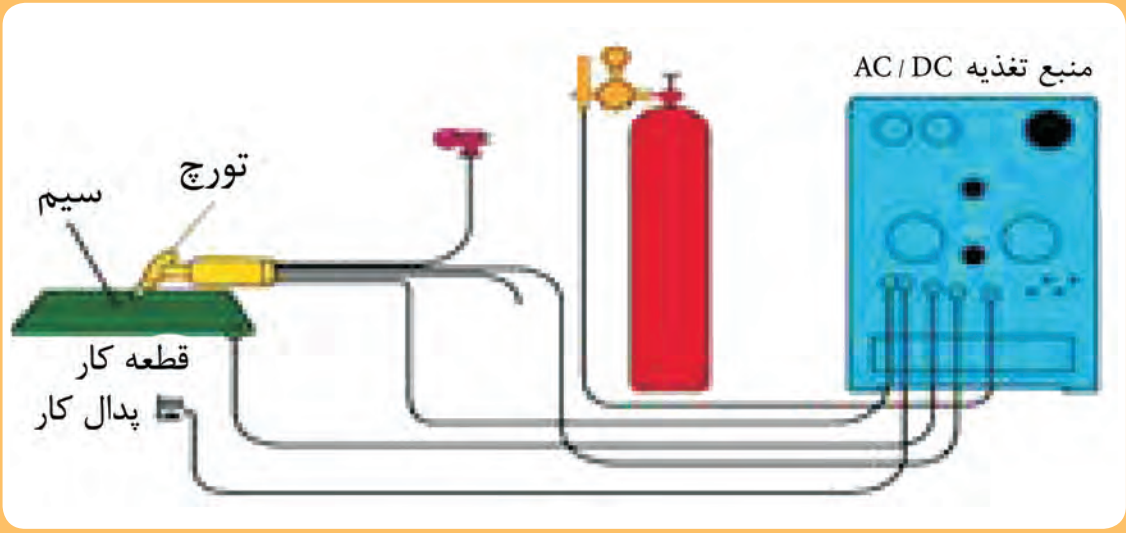
به زبان علمی‌تر تخلیه بار الکتریکی بین دو قطب مثبت و منفی در فضای گاز یونیزه شده[1] قوس الکتریکی نامیده می‌شود. در فرآیندهای جوشکاری‌های قوسی برای ذوب کردن لبه‌های فلز پایه و ماده فلزی پرکننده درز اتصال از گرمای قوس الکتریکی استفاده می‌شود. شکل(۲-٤) قوس الکتریکی را در فرآیند جوشکاری با الکترود روپوش‌دار نشان می‌دهد.

در فرآیندهای جوشکاری قوسی تخلیه الکتریکی بین دو قطب جریان (الکترود و قطعه کار) موجب تشکیل قوس می‌شود که از طرف نوک الکترود به طرف سطح قطعه کار یا درز اتصال می‌وزد. بر این اساس در فرآیندهای متداول جوشکاری دو نوع قوس الکتریکی وجود دارد

الف- ایجاد قوس الکتریکی بین الکترود مصرف نشدنی و قطعه کار

در این حالت انتقال مذاب از الکترود به قطعه کار صورت نمی‌گیرد مثل: فرآیند جوشکاری قوسی با الکترود تنگستن تحت پوشش گاز محافظ که در شکل (۳-٤) نمای شماتیک فرآیند مذکور نشان داده شده است.

شکل(۳-۴)



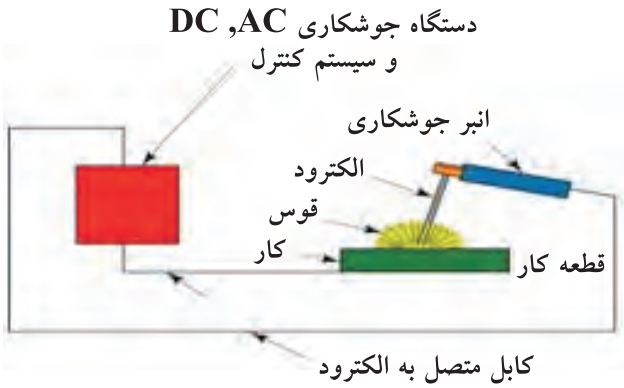
در فرآیند جوشکاری قوسی با الکترود تنگستنی، الکترود ذوب نمی‌شود

۱- گاز یونیزه گازی است که اجزاء تشکیل دهنده آن باردار هستند. این حالت در شرایط قوس جوشکاری بدلیل یونیزه شدن اتم‌ها و مولکول‌های گازی در اثر دمای بالای قوس الکتریکی ایجاد می‌شود.

ب- ایجـاد قـوس الکتریکی بین الکترود مصرف شدنی و قطعه کار

در این حالت مطابق شکل (٤-٤) مذاب جدا شده از الکترود طول قوس را طی می‌کند و به قطعه کار منتقل می‌شود. مثل: فرآیندهای جوشکاری قوس الکترود دستی، MIG/MAG و زیر پودری.

شکل(۴-۴)



ایجاد قوس در اثر تخلیه بار الکتریکی بین نوک الکترود رو پوش‌دار و سطح قطعه کار

۳-٤ قدرت قوس در جوشکاری

دمای قوس در فرآیند جوشکاری قوسی با الکترود تنگستن تا حدود ۲۰/۰۰۰ درجه سانتیگراد و در فرآیند جوشکاری قوس با الکترود روپوش‌دار تا حدود ٦۰۰۰ درجه سانتیگراد می‌رسد. این دما قادر است ترکیبات فلزی و غیر فلزی را به اتم‌های تشکیل دهنده آن تجزیه کند و یا یونیزه نماید.

یاد آوری می‌شود که مرکز ستون قوس بالاترین درجه حرارت را دارا می‌باشد و هرچه از مرکز دور شویم، دما کاهش پیدا می‌کند. با این شرایط می‌توان گفت در مرکز قوس مقداری بخار فلز نیز تشکیل می‌شود که در تماس با الکترون‌های جاری در ستون قوس باعث یونیزه شدن اتم‌های فلزی می‌شود و به آن پلاسمای فلزی می‌گویند. در ستون قوس جوشکاری چون الکترون‌ها از قطب منفی به قطب مثبت منتقل می‌شوند، بنابراین برخورد الکترون‌ها به قطب مثبت باعث تولید حرارت می‌شود از این رو در قطب مثبت گرمای بیشتری توزیع می‌شود. از حرارت تولید شده در قوس، حدود ٦۰ تا ۷۰ درصد صرف گرم شدن و ذوب شدن الکترود و فلز پایه می‌شود و بقیه به صورت‌های مختلف زیر تلف می‌شود:

الف- اشعه‌های مرئی و نامرئی قوس

ب- جابه‌جایی بوسیله گازهای موجود در قوس

ج- تشعشع حرارتی

د- ذوب پوشش الکترود

۱-۳-٤ نیروهای موجود در قوس

در قوس الکتریکی نیروهایی مختلفی مانند: نیروی الکترومغناطیسی و نیروی هیدرودینامیک (در اثر وجود میدان الکترومغناطیسی و حرکت گازها در ستون قوس) وجود دارند که باعث می‌شوند مذاب از الکترود جدا شده و به قطعه کار منتقل شود. در جوشکاری حالت‌های عمودی یا سقفی نقش این نیروها کاملاً مشهود است و جهت این نیروها به طور معمول از طرف نوک الکترود به طرف سطح قطعه کار می‌باشد. به این ترتیب نیروهای فوق در ستون قوس باعث راندن مذاب و سرباره الکترود به طرف جلو قوس می‌شوند و به عملیات جوشکاری کمک می‌کنند.

٤-٤ الکترودهای جوشکاری

به‌طور کلی الکترود به میله‌ای گفته می‌شود که هادی جریان الکتریسیته باشد و جریان برق از آن عبور کند. الکترودهای مربوط به فرآیند جوشکاری قوسی با الکترود روپوش‌دار که در شکل(٥-٤) نشان داده شده است از دو قسمت تشکیل شده‌اند.

شکل(٥-۴)

الکترودهای مورد استفاده در فرآیند جوشکاری قوس الکترودددستی

۱-٤-٤ میله فلزی

وظیفه آن هدایت جریان الکتریکی، تشکیل، تداوم و پایداری قوس است که از آن به عنوان ماده پرکننده درز اتصال یکپارچگی قطعات نیز استفاده می‌گردد.

۲-٤-٤ روپوش الکترود

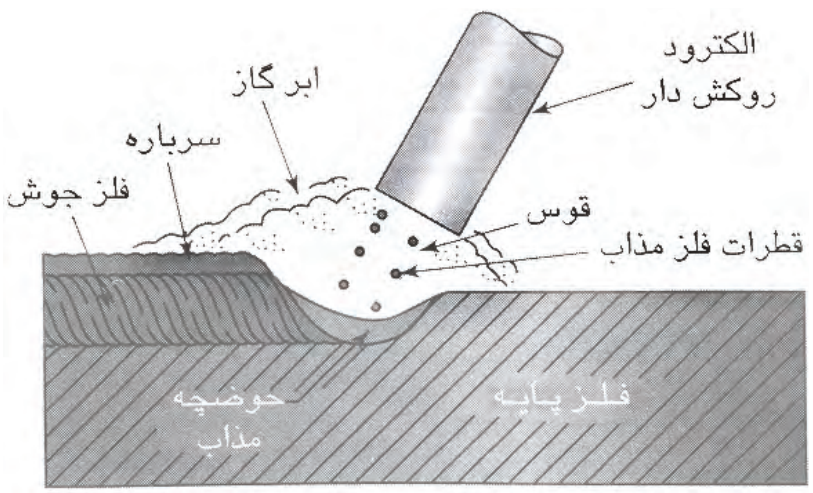
وظیفه روپوش الکترود ایجاد فضای گازی مناسب در قوس و اطراف آن است، به‌طوری‌که در اثر ذوب یا تجزیه شدن از طریق تشکیل فضای گازی یونیزه ضمن کمک به تشکیل و پایداری قوس، حوضچه مذاب، قوس و نوک الکترود را نیز از آسیب در مقابل اتمسفر مصون سازد. ضمن اینکه وظیفه دیگر روپوش الکترود نقش سرباره سازی است که به حذف ناخالصی‌ها از فلز جوش، کنترل سرعت سرد شدن و ظاهر مطلوب فلز جوش کمک می‌کند.

مغز فلزی الکترودهای روپوش دار از جنس متفاوت و در ابعاد مختلف ساخته می‌شوند و دارای دسته‌بندی‌های متنوعی از نظر مواد تشکیل‌دهنده پوشش می‌باشند که برای جوشکاری فلزات و آلیاژهای مختلف در وضعیت‌های متفاوت جوشکاری تولید و در بسته‌بندی‌های گوناگون به بازار عرضه می‌گردد.

۵-٤ انتقال مذاب در قوس جوشکاری

فلز جوش به قسمتی از اتصال گفته می‌شود که از مخلوط شدن مذاب لبه‌های اتصال و مذاب مغز فلزی الکترود بوجود می‌آید و به صورت ترکیب فلزی در درز اتصال رسوب می‌کند. در حین جوشکاری ذرات مذاب مطابق شکل(٦-٤) از الکترود جدا شده و به حوضچه مذاب اضافه می‌شوند.

شکل(۶-۴)



انتقال قطرات فلز مذاب از نوک الکترود به طرف سطح قطعه کار در فضای گازی ستون قوس الکتریکی

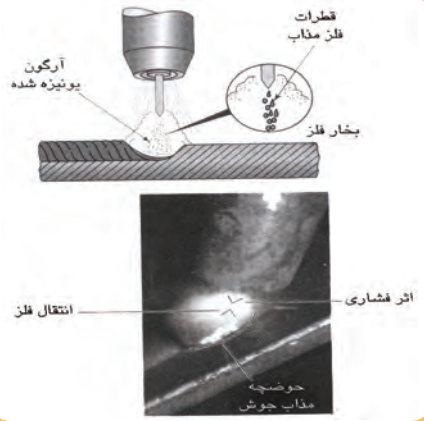
شیوه انتقال فلز مذاب از نوک الکترود مصرفی به طرف حوضچه مذاب در سطح قطعه کار در فرآیندهای مختلف جوشکاری قوسی به حالت‌های مختلفی صورت می‌گیرد که بستگی به نوع گاز محافظ، شدت جریان و ولتاژ دارد که در ادامه به بررسی شیوه‌های متداول‌تر پرداخته می‌شود.

۱-۵-٤ انتقال اسپری یا پرواز آزاد[۱]

در این روش ذرات به صورت اسپری از الکترود جدا شده، ستون قوس را طی می‌کنند و وارد حوضچه مذاب می‌شوند (شکل۷-٤).

در این حالت امکان انتقال فلز مذاب از الکترود به قطعه کار برخلاف نیروی ثقل (جاذبه زمین) عملی است.

شکل(۷-۴)



انتقال ذرات مذاب از نوک الکترود مصرفی به‌طرف حوضچه مذاب به صورت اسپری

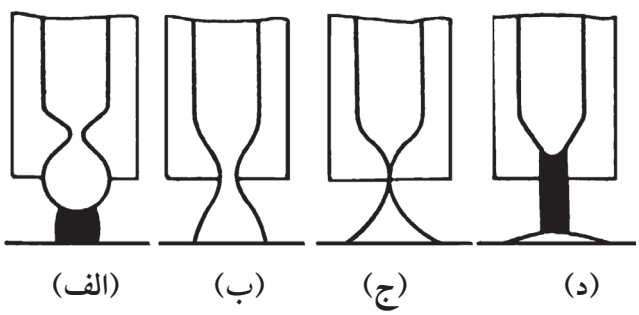
۲-۵-٤ انتقال مدار بسته یا اتصال کوتاه[۲]

در این روش قطره مذاب در نوک الکترود شکل می‌گیرد و ضمن رشد قبل از جدا شدن کامل از الکترود با حوضچه مذاب تماس پیدا می‌کند (شکل ۸-٤).

در این شرایط یک حالت مدار بسته یا اتصال کوتاه به‌وجود می‌آید که به‌صورت لحظه‌ای قوس خاموش می‌شود و شدت جریان افزایش می‌یابد.

شکل(۸-۴)

روند تشکیل قطره مذاب و جدا شدن آن از نوک الکترود در اثر اتصال مدار کوتاه



انتقال مذاب از نوک الکترود به طرف حوضچه جوش از طریق اتصال کوتاه

در نتیجه دما بالا می‌رود و قطره مذاب به داخل حوضچه جوش کشیده می‌شود. در حالت اتصال کوتاه شرایط برای بخار شدن قطره مذاب به‌دلیل افزایش شدت جریان و بالا رفتن دما وجود دارد. لذا در این حالت احتمال ایجاد جرقه و پاشش به اطراف درز اتصال افزایش می‌یابد.

۱- Free Flight

۲- Short Circuit

٤-٦ تشعشعات قوس جوشکاری

اشعه‌هایی که در قوس جوشکاری تولید می‌شوند را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم نمود.

الف- نور قابل دیدن

ب- اشعه ماوراء بنفش

ج- اشعه مادون قرمز

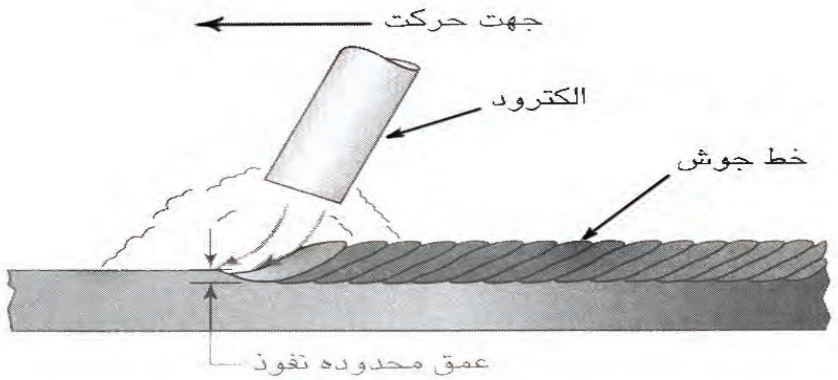
اشعه مادون قرمز مانند اشعه‌هایی است که از اجسام گداخته مثل شیشه یا فولاد گداخته ساطع می‌شود و برای پوست و مو مضر است. اشعه ماوراء بنفش یکی دیگر از اشعه‌هایی است که از قوس ساطع می‌شود و با توجه به انرژی زیاد آن نسبت به اشعه‌های دیگر بیش‌ترین صدمه را به بافت‌های بدن وارد می‌کند. ضمن اینکه موجب تشکیل ذرات خطرناکی مثل اوزن (O_3) می‌گردد که برای انسان زیان‌آور است. هم‌چنین در قوس نور مریی شدید تولید می‌شود که به‌دلیل شدت آن، برای چشم مضر است.

علاوه بر اشعه‌های مذکور به‌دلیل حرارت زیاد قوس، مقداری بخارات فلزی در حوضچه جوش بوجود می‌آید. هم چنین در صورت آلوده بودن قطعه کار به رنگ یا بتونه و یا ناخالصی‌های دیگر بخاراتی تولید می‌شود که برای انسان زیان‌آور است؛ از طرف دیگر پوشش الکترود نیز مقداری گاز و بخارات سمی تولید می‌کند که هم برای جوشکار و هم برای کسانی‌که در کارگاه‌های جوشکاری کار می‌کنند زیان‌بار است. لذا جوشکاران همواره باید نکات ایمنی را رعایت کرده و از و سایل ایمنی استفاده کنند تا خود و دیگران را از آسیب‌های احتمالی مصون سازند.

٤-٧ تشکیل فلز جوش

مغز فلزی الکترود که به دلیل گرمای قوس ذوب می‌شود، به صورت ذرات ریز و درشت به قطعه کار منتقل می‌گردد و با مذاب لبه‌های اتصال درمی‌آمیزد و فلز جوش را تشکیل می‌دهد(شکل ٩-٤). قسمتی از پوشش الکترود نیز در اثر سوختن یا تجزیه شدن گازهای محافظ را تولید می‌کند و بخش دیگر روپوش تشکیل سرباره می‌دهد که روی حوضچه مذاب و گرده جوش را می‌پوشاند.

شکل(۹-۴)



تشکیل فلز جوش در اثر آمیخته شدن مذاب ناشی از مغز فلزی الکترود و سطح قطعه کار

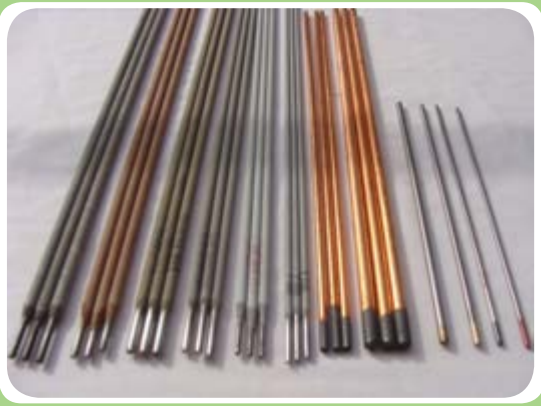
چون جرم حجمی آن از جرم حجمی سرباره مذاب کمتر است در نتیجه روی مذاب قرار می‌گیرد و فرم و شکل مناسبی به گرده جوش می‌دهد. هم‌چنین قسمتی از مغز الکترود به‌صورت جرقه و ذرات ریز به اطراف فلز جوش پاشیده می‌شود که جزء تلفات و ضایعات جوشکاری است. در الکترودهای معمولی حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد از وزن مغز فلزی الکترود، به‌صورت ذرات جرقه و ته الکترود به ضایعات تبدیل می‌شود. بنابراین حدود ۷۰ درصد وزنی مغز الکترود، گرده جوش را تشکیل می‌دهد.

در بعضی از انواع الکترودها به روپوش الکترود مقداری پودر آهن اضافه می‌کنند تا نرخ رسوب افزایش یابد و بازده الکترود بیشتر شود. در مواردی هم بعضی از ترکیبات روپوش الکترود عمل آلیاژسازی را بر عهده دارند و استحکام فلز جوش را بالا می‌برند.

۳-۱ نقش الکترود در فرآیندهای جوشکاری قوسی

منظور از الکترود در فرآیند جوشکاری قوسی عبارت است از یک میله فلزی یا غیرفلزی رسانا (مثل کربن) که ضمن انتقال جریان الکتریکی برای ایجاد قوس استفاده می‌شود. شکل (۱-۳) سه نوع الکترود (تنگستنی، ذغال کربنی و روپوش‌دار) را نشان می‌دهد.

شکل (۱-۳)



سه نوع الکترود(تنگستنی، ذغالی و روپوش‌دار) مورد استفاده در فرآیندهای جوشکاری قوسی

۳-۲ دسته‌بندی الکترودهادر فرآیندهای جوشکاری قوسی

الکترودها در فرآیندهای جوشکاری قوسی به دو نوع تقسیم می‌شوند:

۱- الکترودهای غیرمصرفی: این الکترودها برای ایجاد قوس و ذوب شدن لبه‌های قطعه کار مورد استفاده واقع می‌شوند، ولی خود ذوب نمی‌شوند.

۲- الکترودهای مصرف شدنی: این دسته از الکترودها در حین برقراری قوس ذوب می‌شوند و جزئی از فلز جوش را تشکیل می‌دهند. از آنجائیکه در فرآیند جوشکاری الکترود دستی از الکترودهای مصرف شدنی استفاده می‌شود لذا در این فصل به معرفی بیشتر این نوع الکترودها می‌پردازیم.

الکترودهای مصرف شدنی را می‌توان به دو دسته کوچک‌تر تقسیم کرد:

۳-۲-۱ الکترودهای مصرفی بدون پوشش

در بعضی از فرآیندهای جوشکاری قوسی مثل: جوشکاری قوسی تحت پوشش گاز محافظ (TIG یا MIG / MAG) و یا زیرپودری به جای الکترود روپوش‌دار از الکترودهای بدون روپوش استفاده می‌شود که به آنها سیم جوش[1] گفته می‌شود در این فرآیندها عمل حفاظت از مذاب توسط پودر مخصوص و یا گازهای مختلف که به گاز محافظ معروف هستند صورت می‌پذیرد. در شکل (۲-۳) چند نوع از سیم جوش‌های مورد استفاده در فرآیند جوشکاری MIG/MAG و TIG نشان داده شده است.

شکل (۲-۳)

الف- سیم جوش های مورد استفاده در فرآیند جوشکاری MIG/MAG

شکل (۲-۳)

ب- سیم جوشی های مورد استفاده در فرآیند جوشکاری TIG

چند نوع سیم جوش مصرف شدنی مورد استفاده در فرآیندهای جوشکاری قوسی متداول

۳-۲-۲ الکترودهای مصرفی روپوش‌دار

الکترودهای مصرفی روپوش‌دار که در فرآیند جوشکاری قوس الکترود دستی مورد استفاده قرار می‌گیرند از دو بخش اصلی تشکیل شده‌اند که در شکل (۳-۳) این دو بخش قابل مشاهده است.

الف- میله فلزی یا مغزی الکترود

ب- پوشش الکترود

شکل (۳-۳)

الکترودهای روپوش‌دار مورد استفاده در فرآیند جوشکاری قوس الکترود دستی

1- Filler

الف- مغزی الکترود

میله فلزی الکترودهای روپوش‌دار که مغز الکترود نیز نامیده می‌شود ضمن هدایت جریان الکتریکی و برقراری قوس بین نوک الکترود و سطح قطعه کار خود نیز در اثر گرمای قوس ذوب می‌شود. از مخلوط شدن مذاب مغز الکترود با مذاب لبه‌های قطعه کار، حوضچه مذاب بوجود می‌آید که پس از انجماد فلز جوش را تشکیل دهد.

انتهای الکترودهای پوشش‌دار حدود ۳ سانتی‌متر به منظور قرار گرفتن در دهانه انبر جوشکاری و برقراری اتصال الکتریکی لخت می‌باشند. الکترودهای روپوش‌دار از نظر جنس مغزی، قطر و اندازه مغزی و نیز جنس پودر مورد استفاده در پوشش الکترود در انواع مختلف ساخته می‌شوند که هر یک برای جوشکاری مواد فلزی متفاوت و یا شرایط مختلف جوشکاری کاربرد دارند. در شکل(٤-٣) چند نوع از الکترودهای پرمصرف در فرآیند جوشکاری الکترود دستی نشان داده شده است.

شکل (۴-۳)

چند الکترود روپوش‌دار متداول در جوشکاری قوس الکترود دستی

ب- روپوش الکترود

روپوش الکترودها از اجزاء و مواد مختلفی تشکیل شده‌اند (شکل ۵-۳) و وظایف متعددی را برعهده دارند که وظایف اصلی پوشش الکترودهای روپوش‌دار بشرح زیر می‌باشد.

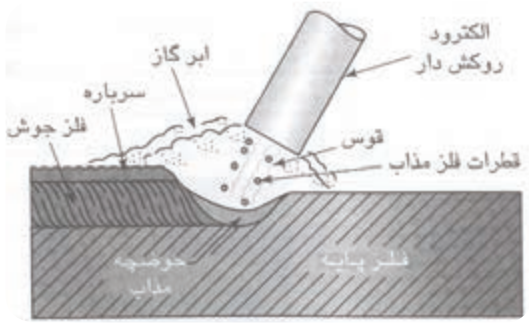
شکل (۵-۳)

مواد پودری تشکیل دهنده روپوش الکترود

۱- محافظت از مذاب فلز جوش در مقابل اتمسفر

پوشش الکترود دارای یک سری مواد مثل: سلولز، گرافیت، چسب تالک، میکا و ترکیبات هیدروکربنی دیگر است که در حرارت بالای قوس تجزیه و بخار می‌شوند. مواد گازی حاصل از سوختن (نظیر: CO_2 و CO و H_2 و ....) همانند گاز محافظ در اطراف قوس عمل می‌کنند و جایگزین اتمسفر آن منطقه می‌شوند شکل(۶-۳).

شکل (۶-۳)



ابر گازی حاصل از تجزیه و بخار شدن پوشش الکترود عمل محافظت از فلز جوش مذاب را بر عهده دارد.

بدین ترتیب مذاب فلز جوش از آسیب دیدن در مقابل گازهای موجود در هوا بخصوص اکسیژن و نیتروژن محافظت می‌شود، زیرا همان‌طور که در جدول (۱-۳) ملاحظه می‌شود هوا محتوی مقداری زیادی اکسیژن و نیتروژن است. این گازها چنانچه در تماس با حوضچه مذاب قرار گیرند با فلز جوش ترکیب شده، سبب تردی و شکنندگی و نیز ایجاد تخلخل یا مک در فلز جوش می‌شوند.

جدول(۱-۳) اجزاء اصلی تشکیل دهنده ترکیب هوا

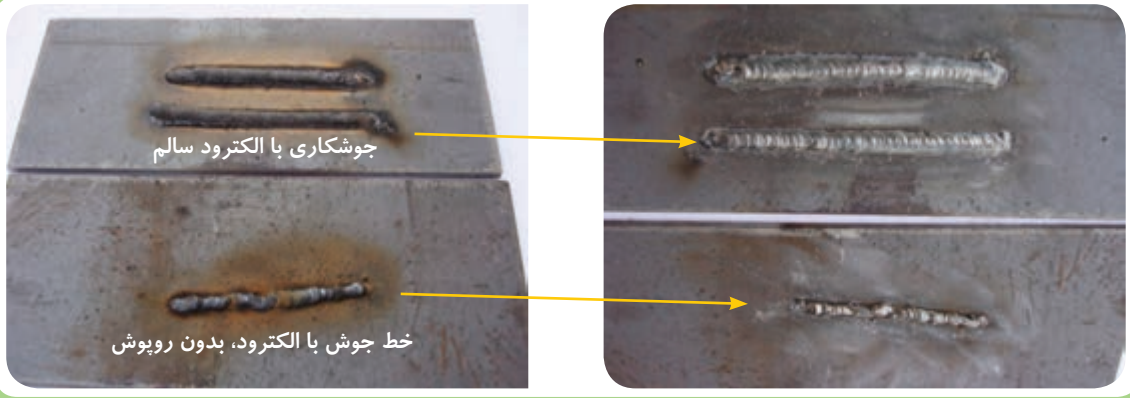
ردیف	عنصر	مقدار (درصد)
۱	نیتروژن[N_2]	۷۸
۲	اکسیژن [O_2]	۲۱
۳	آرگون[Ar]	۰/۹۶
٤	دی اکسید کربن	۰/۰۳
۵	سایز اجزاء	۰/۰۱

۲-ایجاد سرباره برای بهبود کیفیت فلز جوش

در پوشش الکترود موادی وجود دارند مثل: سیلیکات‌های کلسیم و منیزیم وکربنات‌های فلزی که در دمای بالای قوس ذوب می‌شوند این مواد به‌دلیل داشتن چگالی کمتر و سبک بودن روی مذاب فلز جوش قرار می‌گیرند(شکل۶-۳) هم‌چنین چون زودتر از فلز جوش منجمد می‌شوند مثل یک پوسته فلز جوش را می‌پوشانند و از این طریق باعث می‌شوند:

الف) ناخالصی‌های فلز جوش جذب سرباره شود.
ب) از اکسید شدن سطح فلز جوش جلوگیری شود.
ج) سرعت سرد شدن فلز جوش آهسته‌تر شود.
د) سطح گرده جوش صاف‌تر گردد.

شکل (۶-۳)



الف) ظاهر خط جوش بعد از تمیز کاری سطحی

ب- سه خط جوش که تحت شرایط یکسان با الکترود روپوش‌دار و بدون روپوش جوشکاری شده اند (بدون تمیز کاری سطحی)

تاثیر پوشش الکترود روی خصوصیات ظاهری فلز جوش

به سرباره جوش، گل جوش یا شلاکه هم گفته می‌شود که بسیار ترد است و بدلیل انقباض زیاد در هنگام انجماد دچار ترک می‌شود، لذا به راحتی از روی فلز جوش جدا می‌گردد (شکل ۷-۳).

شکل(۷-۳)

گل جوش باضربات چکش جوشکاری به راحتی جدا می شود

۳- کمک به ایجاد و پایداری قوس و نیز کاهش میزان جرقه و پاشش هنگام جوشکاری

بعضی از مواد موجود در پوشش الکترود به محض ایجاد جرقه در ابتدای تشکیل قوس به گاز تبدیل می‌شوند. این موضوع باعث افزایش قابلیت هدایت جریان الکتریکی در ستون قوس و در نتیجه سهولت تشکیل و پایدار ماندن یا تثبیت قوس می‌گردد. ضمن اینکه در چنین حالتی میزان جرقه‌ها و پاشش قطرات مذاب نیز کاهش می یابد(شکل۸-۳).

شکل (۸-۳)

جوشکاری با الکترود بدون روپوش یا صدمه دیده سبب ایجاد مقدار زیادی جرقه و پاشش فلز مذاب می‌گردد.

۴- اضافه کردن عناصر آلیاژی به فلز جوش

گاهی اوقات در پوشش الکترود یک‌سری عناصر یا ترکیبات با هدف آلیاژسازی در فلز جوش یا اکسیژن‌زدایی از فلز جوش و یا افزایش میزان رسوب فلز جوش اضافه می‌شود به‌عنوان مثال: برای آلیاژسازی از ترکیبات منگنز و نیکل، برای اکسیژن‌زدایی از آلومینیوم و سیلیسیم و برای افزایش میزان رسوب فلز جوش از پودر آهن می‌توان نام برد.

۵- تمیز کردن سطح فلز پایه از طریق حل کردن نا خالصی‌ها

بعضی از مواد موجود در پوشش الکترود تحت شرایط قوس جوشکاری با ناخالصی‌ها و ترکیبات اکسیدی موجود روی سطح در محل درز اتصال ترکیب می‌شوند و باعث جلوگیری از ورود آنها به فلز جوش می‌گردند.

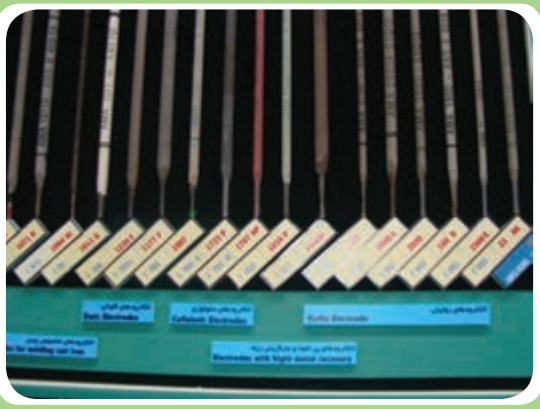
در جدول (۲-۳) بعضی از ترکیبات موجود در پوشش الکترودهای پرکاربرد صنعتی و نقش آنها اشاره شده است.

جدول (۲-۳) برخی از ترکیبات موجود در پوشش الکترودها و تاثیر آنها در جوشکاری		
ماده اولیه	عملکرد اصلی	عملکرد منفی
سلولز	ایجاد گاز محافظ	سرباره سازی
کربنات کلسیم	ایجاد گاز محافظ	تصفیه فلز جوش
فلورین	سرباره سازی	تصفیه فلز جوش
دولومیت	ایجاد گاز محافظ	تصفیه فلز جوش
روتیل	سرباره سازی	پایدار نمودن قوس الکتریکی
تیتانات پتاسیم	پایدار نمودن قوس الکتریکی	سرباره سازی
فلدسپات	سرباره سازی	پایدار نمودن قوس الکتریکی
میکا	تسهیل عمل روکش کردن	پایدار نمودن قوس الکتریکی
خاک رس	تسهیل عمل روکش کردن	سرباره سازی
سیلیس	سرباره سازی	سیال نمودن مذاب
آزبست	سرباره سازی	تسهیل عمل روکش کردن و ایجاد گاز محافظ
اکسید منگنز	سرباره سازی	آلیاژسازی
اکسید آهن	سرباره سازی	افزایش راندمان
پودر آهن	افزایش راندمان	پایدار نمودن قوس الکتریکی
فروسیلیسیم	احیاءکنندگی	سرباره سازی
فرومنگنز	آلیاژسازی	احیاءکنندگی
سیلیکات سدیم	چسب	روان ساز
سیلیکات پتاسیم	پایدار نمودن قوس الکتریکی	چسب

۳-۳ طبقه‌بندی الکترودهای روپوش‌دار

یکی از روش‌های متداول در تقسیم‌بندی الکترودهای روپوش‌دار، دسته‌بندی آنها از نظر نوع پوشش و خصوصیات مواد بکار رفته در آن است. در شکل (۹-۳) چند نوع الکترود روپوش‌دار که بر اساس نوع ترکیب پوشش تفکیک شده‌اند، نشان داده شده است و در ادامه به معرفی مختصر دسته‌های اصلی الکترودهای روپوش‌دار بر اساس نوع پوشش آنها می‌پردازیم.

شکل (۹-۳)



انواع مختلف الکترود روپوش‌دار از نظر نوع ترکیب پوشش

۱-۳-۳ الکترودهای سلولزی

در پوشش این دسته از الکترودها مقدار زیادی (حدود ٤٠ درصد) سلولز وجود دارد. در دمای قوس سلولز می‌سوزد و تولید گازهای CO_2، CO و H_2 می‌کند. از خصوصیات این نوع الکترودها نفوذ بالای فلز جوش می‌باشد به همین دلیل از آنها بیشتر در جوشکاری پاس ریشه استفاده می‌کنند. جوشکاری با الکترودهای سلولزی همراه با تولید مقدار زیادی دود است این الکترودها اگرچه سرباره کمی تولید می‌کنند ولی سرباره آنها چسبندگی زیادی دارد بنابراین تمیزکاری گل جوش آنها مشکل‌تر است. از جمله مهم‌ترین الکترودهای این گروه می‌توان به الکترودهای E 8010، E 7010 ، E 6010 اشاره کرد.

۲-۳-۳ الکترودهای روتیلی

ماده اصلی تشکیل دهنده پوشش این دسته از الکترودها اکسید تیتانیوم است که به نام روتیل معروف می‌باشد. وجود این ماده در ترکیب پوشش الکترود سبب راحتی ایجاد و پایداری قوس می‌گردد. بنابراین کار کردن با این الکترودهای روتیلی نسبتاً راحت‌تر است. هم‌چنین از الکترودهای روتیلی در جوشکاری با جریان AC نیز استفاده می‌نمایند، ضمن اینکه امکان جوشکاری با این الکترودها در تمام وضعیت‌ها وجود دارد، از جمله الکترودهای معروف این خانواده می‌توان به E ٦٠١٣، E ٧٠١٤، E ٧٠٢٤ اشاره کرد. (شکل ۱۰-۳)

شکل (۱۰-۳)

نمونه ای از الکترودهای روتیلی در بازار مصرف

۳-۳-۳ الکترود قلیایی

در پوشش این دسته از الکترودها مقدار زیادی ترکیبات قلیایی نظیر کربنات کلسیم، آهک و ترکیبات فلوریدی وجود دارد. هم‌چنین به دلیل عدم وجود ترکیبات هیدروژن‌دار در پوشش این الکترودها آنها را به نام الکترودهای کم هیدروژن نیز می‌شناسند. وجود ترکیبات قلیایی از یک طرف و عدم وجود ترکیبات هیدروژن‌دار از طرف دیگر سبب شده است فلز جوش حاصل از جوشکاری با این الکترودها از کیفیت خوبی به لحاظ خواص مکانیکی و مقاومت در برابر ضربه برخوردار می‌باشد به همین دلیل از این الکترودها برای جوشکاری فولادهای کم آلیاژ و حساس به ترک خوردن استفاده می‌شود.

الکترودهای قلیایی جاذب‌الرطوبت (آون) هستند. بنابراین قبل از جوشکاری لازم است به مدت ۲ الی ۳ ساعت در دمای حدود ۲۵۰ الی ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد داخل الکترود خشک کن قرار گیرند تا گاز هیدروژن ناشی از تجزیه آب در مذاب فلز جوش حل نشود. از خانواده الکترودهای قلیان می‌توان به الکترودهای E 9016 E 8016 E 7016 اشاره کرد. هم‌چنین الکترودهای E 7018، E 8017 از نوع قلیایی دارای پودر آهن می‌باشند شکل (۱۱-۳).

شکل (۱۱-۳)

نمونه‌ای از الکترود با روپوش قلیایی

۴-۳-۳ الکترود اسیدی

در پوشش این دسته از الکترودها مقداری ترکیبات اسیدی نظیر: اکسیدهای سیلیسیم، آلومینیوم و کربنات منیزیم وجود دارد. سرباره ناشی از جوشکاری با این الکترودها حجیم بوده و به راحتی از فلز جوش جدا می‌شود. هم‌چنین ظاهر گرده جوش حاصل از جوشکاری با این الکترودها صاف است. ولی نفوذ جوش به نسبت کم است. از جمله الکترودهای این گروه می‌توان به الکترود E 7027 اشاره کرد.

۳-۳-۵ الکترودهای اکسیدی

در پوشش این الکترودها مقدار زیادی اکسید و کربنات آهن و منگنز اضافه می‌کنند که باعث می‌شود میزان رسوب فلز جوش و در نتیجه سرعت جوشکاری زیاد شود ولی نفوذ جوش کاهش می‌یابد. از خانواده این دسته از الکترودها می‌توان به الکترود E-7024 اشاره کرد. با توجه به سیالیت بالای مذاب این الکترودها از آنها بیشتر برای جوش‌های گوشه در وضعیت‌های افقی و تخت استفاده می‌شود و به طور کلی بهبود ظاهر جوش حاصل از جوشکاری با این دسته از الکترودها بیش‌تر از بهبود کیفیت خواص مکانیکی فلز جوش می‌باشد.

۳-٤ شناسایی الکترودهای روپوش‌دار بر اساس استاندارد[1] AWS

بر اساس این استاندارد الکترودهای روپوش‌دار توسط یک یا دو حرف به اضافه ٤ یا ٥ عدد معرفی می‌شوند که براساس این حروف و اعداد ویژگی‌های مرتبط با الکترود مشخص می‌گردد مثل:

۱- استحکام کششی فلز جوش حاصل از جوشکاری

۲- وضعیت یا حالتی را که می‌توان با الکترود جوشکاری کرد

۳- نوع پوشش الکترود از نظر جنس و نوع جریان جوشکاری از نظر متناوب یا مستقیم بودن و نیز قطبیت جریان

شکل(۱۲-۳)

شناسایی الکترودهای روپوش‌دار بر اساس استاندارد AWS

1 - American Welding Society

همان‌طور که در شکل(۱۲-۳) ملاحظه می‌شود حرف E که از اول کلمه انگلیسی **Electrode** گرفته شده است و نشان‌دهنده الکترود روپوش‌دار برای جوشکاری با فرآیند قوس الکترود دستی است. دو یا سه رقم اول از سمت چپ (در صورتی‌که چهار رقم داشته باشیم دو رقم اول و چنانچه ۵ رقم داشته باشیم ۳ رقم اول) نشان‌دهنده حداقل استحکام کششی فلز جوش حاصل از جوشکاری بدون عیب با الکترود مذکور است. رقم بعدی که دومین رقم از سمت راست می‌شود نشان دهنده وضعیت یا حالت قابل جوشکاری با الکترود مذکور است که می‌تواند عددهای ۱، ۲، ۳ و ٤ باشند واین اعداد مفهوم زیر را دارند.

عدد ۱: به معنی امکان جوشکاری در وضعیت‌های تخت، افقی، عمودی و بالاسری است.

عدد ۲: به معنی امکان جوشکاری در وضعیت تخت و حالت افقی در جوشکاری گوشه مثل نبشی‌ها می‌باشد.

عدد ۳: که در گذشته تعریف می‌شد ولی در حال حاضر از آن استفاده نمی‌شود و به معنی امکان جوشکاری فقط در حالت تخت بود.

عدد ٤: به معنی امکان جوشکاری در وضعیت‌های تخت، عمودی، بالاسری و عمودی سرپایین می‌باشد.

رقم آخر از سمت چپ یا اولین عدد از سمت راست هم نشان‌دهنده نوع پوشش، جریان و قطعیت جریان جوشکاری می‌باشد و می‌تواند عددهای صفر تا ۸ را شامل شود که معنی و مفهوم این اعداد در جدول (۳-۳) آمده است.

جدول شماره (۳-۳) معرفی نوع پوشش الکترودها بر اساس اولین عدد از سمت راست در استاندارد AWS

اولین عدد از سمت راست	انواع پوشش
۰	سلولزی با جریان مستقیم
۱	سلولزی با جریان مستقیم و متناوب
۲	رتیلی با جریان مستقیم
۳	رتیلی با جریان مستقیم و متناوب
٤	رتیلی
۵	قلیایی با جریان مستقیم
٦	قلیایی با جریان مستقیم و متناوب
۷	اسیدی
۸	قلیایی محتوی پودر آهن و در بعضی موارد پوشش‌های مرکب

در جدول(۴-۳) شماره و مشخصات فنی بعضی از الکترودهای روپوش‌دار از نظر نوع پوشش، وضعیت جوشکاری و نوع جریان مورد استفاده در جوشکاری با این الکترودها آنها آورده شده است.

جدول(۴-۳) مشخصات فنی الکترودهای روپوش‌دار از نظر نوع پوشش، وضعیت جوشکاری و نوع جریان آنها

الکترود	نوع روکش	وضعیت جوشکاری	نوع جریان
E 6010	سلولزی سدیم بالا	F , V, OH, H	DCEP
E 6011	سلولزی پتاسیم بالا	F, V, OH, H	AC یا DCEP
E 6012	اکسید تیتانیومی سدیم بالا	F, V, OH, H	AC یا DCEN
E 6013	اکسید تیتانیومی پتاسیم بالا	F, V, OH, H	AC یا DCEP یا DCEN
E 6019	اکسید تیتانیومی پتاسیم دار با اکسید آهن	F, V, OH, H	AC یا DCEP یا DCEN
E 6020	اکسید آهن زیاد	H-FILLET , F	AC یا DCEN AC یا DCEN یا DCEP
E 6022 (۱)	اکسید آهن زیاد	F , H	AC یا DCEN
E 6027	اکسید آهن زیاد و پودر آهن	H-FILLET , F	AC یا DCEN AC یا DCEP یا DCEN
E 7014	پودر آهن و اکسید تیتانیوم	F, V, OH, H	AC یا DCEP یا DCEN
E 7015 (۲)	کم هیدروژن، سدیمی	F, V, OH, H	DCEP
E 7016 (۲)	کم هیدروژن، پتاسیمی	F, V, OH, H	AC یا DCEP
E 7018 (۲)	کم هیدروژن پتاسیمی و پودر آهن	F, V, OH, H	AC یا DCEP
E 7018M	کم هیدروژن و پودر آهن	F, V, OH, H	DCEP
E 7024 (۲)	پودر آهن و اکسید تیتانیوم	H-FILLET , F	AC یا DCEP یا DCEN
E 7027	اکسید آهن زیاد و پودر آهن	H-FILLET , F	AC یا DCEN AC یا DCEN یا DCEP
E 7028 (۱)	کم هیدروژن پتاسیومی و پودر آهن	H-FILLET , F	AC یا DCEP
E 7048 (۱)	کم هیدروژن پتاسیومی و پودر آهن	F , OH , H-V-DOWN	AC یا DCEP

معنی و مفهوم علائم و حروف در جدول ۴-۳		
F: تخت	H: افقی	H Fillet: افقی گوشه
V- Down: عمودی سرازیر	V: عمودی	OH: بالاسری
AC: جریان متناوب	DCEP: جریان مستقیم الکترود مثبت	DCEN: جریان مستقیم الکترود منفی
(۱): الکترود فقط برای جوشکاری تک پاسی مناسب است		
(۲): این الکترودها انعطاف‌پذیر، مقاوم در برابرضربه، رطوبت ونفوذ هیدروژن هستند		

هم چنین در جدول(۵-۳) محدود، شدت جریان برای الکترودها برحسب قطر هر الکترود آورده شده است

جدول(۵-۳) راهنمای انتخاب شدت جریان جوشکاری برحسب قطر هر الکترود

قطر (mm)	E 6010 E 6011	E 6012	E 6013	E 6019	E 6020	E 6022	E 6027 E 7010	E 7014	E 7015 E 7016	E 7018 M E 7018	E 7020 E 7028	E 7048
1.6	20-40	20-40	20-40	20-50	30-55	30-55	30-55	20-55	20-55	30-50	30-55	30-55
2	25-60	25-60	35-55	35-5	35-55	30-60	35-65	30-55	30-55	35-65	35-70	35-70
2.5	40-80	35-80	45-90	50-90	60-100	60-100	60-100	80-125	65-110	70-100	100-145	100-150
3.2	75-125	80-140	80-130	80-140	100-150	110-160	125-185	110-160	100-150	115-165	140-190	80-140
4	110-170	110-190	105-180	130-190	130-190	140-190	160-240	150-210	140-210	150-220	180-250	150-220
5	140-215	140-240	150-230	190-250	175-250	170-400	210-300	200-275	180-225	200-275	230-305	210-270
6	210-320	250-400	250-350	310-360	275-375	280-300	300-420	330-415	300-390	315-400	335-430	300-430
7	260-360	260-360	260-360	260-360	280-380	280-400	280-400	290-480	280-480	310-410	330-500	330-510
8	375-425	300-500	320-430	360-410	340-450	370-480	375-475	390-500	375-475	375-470	400-525	390-550

۳-۵ نگهداری الکترودهای روپوش‌دار

الکترودهای جوشکاری اعم از الکترودهای روپوش‌دار و الکترودهای بدون پوشش نسبت به شرایط حمل و نقل، نگهداری یا انبارداری حساس هستند و عواملی نظیر رطوبت، صدمات مکانیکی و آلودگی‌های دیگر موجب آسیب دیدن آنها می‌شوند.

به طور معمول روی بسته‌بندی مواد مصرفی جوشکاری و یا برگ‌هایی که همراه مواد مذکور در اختیار مصرف کننده قرار می‌گیرد مشخصات فنی مواد مصرفی و شرایط نگهداری آنها ثبت شده است که باید به توصیه های سازنده توجه شود(شکل۱۳-۳).

شکل(۱۳-۳)

ثبت مشخصات فنی و شرایط نگهداری الکترودها روی جعبه بسته بندی آنها

۳-۵-۱ عوامل فساد الکترودهای روپوش‌دار

الف) مواد چرب

چنانچه الکترودهای جوشکاری به مواد چربی مثل: روغن‌ها، گریس‌ها، مواد نفتی و یا چربی‌های دیگر آغشته شوند، در شرایط قوس مواد چرب می‌سوزند و در اثر تجزیه آنها گازهایی مثل: کربن، CO، H_2O، CO_2 و SO_2 و غیره تولید می‌شود که ورود آنها در فلز جوش باعث ایجاد عیب و شکنندگی آن می‌شود. از این‌رو لازم است اقدامات مقتضی جهت جلوگیری از تماس الکترودها با مواد چربی و آغشته شدن آنها حتی به مقدار کم به عمل آید.

شکل (۱۴-۳)

قرار دادن الکترودها در محل نامناسب خطر آغشته شدن به مواد آلوده کننده را زیاد می کند.

ب) صدمات مکانیکی

لازم است در موقع حمل و نقل، انبارداری و استفاده از الکترودهای روپوش‌دار مراقبت‌های لازم جهت جلوگیری از ترک خوردن و از بین رفتن روپوش الکترودها بعمل آید(شکل ۱۵-۳).

هم‌چنین با توجه به اینکه روپوش الکترودها از مواد متفاوتی تشکیل شده‌اند لذا طبیعی است که از نظر چسبندگی پوشش الکترودها به مغزی، انعطاف‌پذیری یا تردی با یکدیگر تفاوت دارند به عنوان مثال پوشش الکترودهای سلولزی تردتراند. لذا آنها حساسیت بیشتری در مقابل ضربات وارده دارند.

شکل(۱۵-۳)

از وارد آوردن صدمات مکانیکی به الکترودهای روپوش‌دار پرهیز کنید.

ج) رطوبت

پوشش الکترودهای جوشکاری تمایل زیادی به جذب رطوبت دارند (هر چند بعضی از پوشش الکترودها مثل پوشش الکترودهای قلیایی نسبت به رطوبت حساسیت بیشتری دارند و سریع‌تر آن‌را جذب می‌کنند) (شکل ۱۶-۳) به همین دلیل الکترودهای جوشکاری را در بسته‌های با پوشش مقاوم در برابر نفوذ آب قرار می‌دهند و توصیه می‌شود درب بسته‌های الکترود تا قبل از مصرف باز نشود.

شکل (۱۶-۳)

قرار گرفتن الکترودهای روپوش‌دار روی زمین نمناک باعث جذب رطوبت می‌شود.

توجه

شرایط انبار مواد مصرفی جوشکاری باید از نظر رطوبت و دما به منظور جلوگیری از نزدیک شدن به نقطه شبنم[1] و افزایش رطوبت موجود در هوای انبار کنترل شود و سیستم تهویه مناسبی برای آن تعبیه گردد.

در جدول (۶-۳) مقادیر مجاز رطوبت در پوشش الکترودهای جوشکاری روپوش‌دار و شرایط انبارداری و نیز خشک کردن آنها گفته شده است.

جدول (۶-۳) مقدار مجاز رطوبت در الکترودهای روپوش‌دار و شرایط خشک کردن آنها

الکترود	مقدار رطوبت مجاز موجود در روکش (درصد)	رطوبت نسبی هوای انبار در دمای ۲۶°C	حرارت توصیه شده برای OVEN (°C)	درجه حرارت دوباره خشک کردن در زمان ۱ ساعت (°C)
E 6010	3/5 - 5/5	20-60	-	-
E 6011	2 - 4	20-60	-	-
E 6012 , E 6013 , E 6020	< 1	حداکثر 60	37-48	135-5
E 6027 , E 7014 , E 7024	< 0/5	حداکثر 60	37-48	135-5
E 7015 , E 7016	< 0/4	حداکثر 50	55-165	290-10
E 7018 , E 7028	< 0/6	حداکثر 50	55-165	345-10

۶-۳ تشخیص رطوبت در الکترود

چنانچه در کارگاه جوشکاری بخواهیم از وجود رطوبت در پوشش الکترودها و مقدار آن آگاه شویم می‌توان با توزین دقیق الکترودها قبل و بعد از خشک کردن آنها نسبت به برآورد میزان رطوبت جذب شده اقدام کرد.

۱ - نقطه شبنم دمایی است که در آن دما بر حسب مقدار رطوبت موجود در اتمسفر تشکیل قطره آب اتفاق می‌افتد.

هم‌چنین از طریق قرار دادن چند الکترود در بین دو کف است و حرکت دست‌ها در خلاف جهت یک‌دیگر مطابق شکل (۱۷-۳) از طریق صدای ایجاد شده نسبت به ارزیابی احتمال وجود رطوبت در آنها اقدام کرد. لازم به ذکر است صدای ایجاد شده ناشی از مالیده شدن الکترودهای خشک تیز و شبیه به صدای فلز می‌باشد، در حالی‌که صدای مالش الکترودهای رطوبت‌دار خفه یا بم است.

شکل (۱۷-۳)

روش آزمایشی جهت تعیین احتمال وجود رطوبت در پوشش الکترودهای روپوش‌دار

۳-۷ خشک کردن الکترودهای روپوش‌دار

برای حذف رطوبت جذب شده توسط پوشش الکترودها از وسایل خشک‌کننده‌ای به نام آون[1] استفاده می‌شود که در ابعاد و اندازه‌های مختلف ساخته می‌شوند و در شکل (۱۸-۳) نمونه‌ای از آن نمایش داده شده است.

مدت زمان قرار گرفتن در داخل آون و محدوده دمایی به‌طور معمول روی بسته الکترودها و یا دفترچه راهنمای استفاده از الکترودها درج می‌شود.

شکل(۱۸-۳)

آون جهت خشک کردن رطوبت موجود در روپوش الکترودها

1. Oven

۱-۴- پارامترهای جوشکاری و نحوه کنترل آنها

مقدمه

به منظور ایجاد جوش با کیفیت و جهت جلوگیری از بوجود آمدن نقص در جوشکاری لازم است فرد جوشکار از عوامل تأثیر گذار بر کیفیت جوش آگاهی داشته باشد و فاکتور های مؤثر بر آن را بشناسد . لذا در این قسمت به معرفی پارامترهای مهم تأثیر گذار بر جوش و چگونگی کنترل آنها می پردازیم.

۱-۱-۴ شدت جریان و ولتاژ

بدون شک شدت جریان و ولتاژ جوشکاری از جمله مهمترین پارامترها در فرآیندهای جوشکاری ذوبی به حساب می آیند. و عدم انتخاب صحیح یا کنترل آنها به طور مستقیم باعث بوجود آمدن بسیاری از عیوب در جوش می‌شود زیرا مقدار حرارت قوس ارتباط مستقیم با مقدار شدت جریان و ولتاژ دارد. بنابراین روی صفحه کلید دستگاه‌های جوشکاری کلیدهای مخصوصی برای تغییر پیوسته یا پله‌ای این متغیرها در نظر گرفته می‌شود. شکل(۱-۴)

شکل(۱-۴)

صفحه کلید دستگاه های جوشکاری و کلید های مخصوص تغییرشدت جریان

۲-۱-۴ نوع جریان جوشکاری

دستگاه جوشکاری یا منبع الکتریکی، مسأله اصلی در فرآیند SMAW می‌باشد. هدف اولیه‌ی منبع الکتریکی، تأمین توان الکتریکی و جریان ولتاژ مناسب جهت حصول یک قوس قابل کنترل و پایدار می‌باشد.

شکل(۲-۴)

در جوشکاری با الکترود دستی از هر دو نوع جریان متناوب (AC) و مستقیم (DC) می‌توان استفاده کرد. استفاده از منبع تغذیه با جریان متناوب (AC) و یا جریان مستقیم (DC) در فرآیند SMAW به انتخاب الکترود بستگی دارد. نوع جریان مصرفی بر روی عملکرد الکترود تأثیر می‌گذارد هر نوع جریان، مزایا و محدودیت‌هایی دارد که این موارد هنگام انتخاب نوع جریان برای یک کاربرد خاص باید مدنظر قرار گیرند. موارد زیر فاکتورهایی هستند که باید همواره آن‌ها را در نظر داشت.

هنگام استفاده از الکترودهای نازک‌تر و متناسب با آن، جریان‌های جوشکاری کمتر، جریان مستقیم (DC) خصوصیات عملیاتی بهتر و ثبات قوس بیشتری را فراهم می‌کند.

افت ولتاژ

افت ولتاژ در کابل‌های جوشکاری در هنگام استفاده از جریان متناوب کمتر است. پس استفاده از جریان متناوب برای جوشکاری در شرایطی که محل جوشکاری از منبع تغذیه‌ی الکتریکی فاصلهٔ بیشتری دارد، مناسب‌تر است.

۴-۱-۳ شروع قوس

برقراری قوس با جریان مستقیم (DC) معمولاً راحت‌تر انجام می‌شود؛ به‌خصوص اگر از الکترودهای با قطر کوچک استفاده گردد.

۴-۱-۴ طول قوس

طول نوک الکترودها تا سطح کار را طول قوس گویند.

جوشکاری با طول قوس کوتاه (ولتاژ قوس پایین)، در جوشکاری با جریان مستقیم (DC)، آسان‌تر از جریان متناوب (AC) می‌باشد.

۴-۱-۵ وزش قوس

جریان متناوب به ندرت سبب ایجاد وزش در قوس می‌شود، زیرا میدان مغناطیسی به طور مستمر تغییر می‌کند (۱۲۰ بار در ثانیه)؛ در حالی‌که در هنگام کاربرد جریان مستقیم تشکیل میدان‌های مغناطیسی نامتعادل در اطراف قوس می‌تواند سبب وزش قوس و بروز مشکلات زیادی به‌خصوص در مورد فولادهای دارای خاصیت مغناطیسی گردد.

۴-۱-۶ حالت جوشکاری

در موقعیت‌های عمودی و بالاسر، استفاده از جریان مستقیم به کاربرد جریان متناوب ترجیح داده می‌شود، زیرا می‌توان از شدت جریان کمتری استفاده کرد. اما برای جوشکاری در سایر موقعیت‌ها، با جریان متناوب نیز می‌توان اتصال رضایت‌بخشی به دست آورد.

۴-۱-۷ ضخامت فلز

با استفاده از جریان مستقیم می‌توان ورقه‌های فلزی ضخیم و نیز مقاطع سنگین را جوشکاری کرد. استفاده از جریان مستقیم برای جوشکاری ورق‌های فلزی مطلوب‌تر از جریان متناوب می‌باشد. پایداری قوس در سطوح جریان ضعیف‌تر، هنگام استفاده از جریان متناوب پایداری قوس در سطوح جریان ضعیف‌تر، بی‌ثبات‌تر از زمانی است که از جریان مستقیم استفاده می‌شود. معمولاً بررسی دقیق کاربرد جوشکاری در هر مورد خاص، مشخص می‌کند که استفاده از کدام‌یک از جریان‌های متناوب یا مستقیم مطلوب‌تر است.

منابع تغذیهٔالکتریکی نیز، هم که به صورت متناوب (AC) و هم به صورت مستقیم (DC) و هم به صورت واحدهای مرکب AC/DC در دسترس می‌باشند. منبع تغذیهٔ مورد استفاده در فرآیند SMAW می‌بایست از نوع جریان ثابت باشد نه از نوع ولتاژ ثابت؛ چرا که برقراری و تنظیم طول قوس ثابت با استفاده از منبع تغذیهٔ ولتاژ ثابت، برای جوشکار بسیار مشکل‌تر است.

۲-٤- منحنی ولت ـ آمپر

منبع تغذیهٔ ولتاژ ثابت برای فرآیندهای SMAW مناسب نیستند، زیرا هنگامی که منحنی ولت ـ آمپر مسطح می‌شود، حتی کوچکترین تغییر در طول قوس (یا ولتاژ)، سبب ایجاد تغییرات زیادی در شدت جریان می‌گردد.

استفاده از منبع تغذیهٔ جریان ثابت برای جوشکاری‌های دستی مناسب‌تر است، زیرا هرچه شیب منحنی ولت ـ آمپر بیشتر شود (در محدودهٔ جوشکاری). در اثر تغییر در ولتاژ قوس (یا طول قوس) تغییرات کمتری در شدت جریان حاصل می‌گردد. در کاربردهای شامل الکترودهای ضخیم‌تر و جوشکاری با جریان بالا، منحنی ولت ـ آمپر با شیب کمتر، مطلوب می‌باشد.

۳-٤- ولتاژ مدار باز

ولتاژ مدار باز، ولتاژی است که دستگاه جوشکاری، روشن است و جوشکاری انجام نمی‌گیرد، تولید می‌شود. ولتاژ مدار باز با ولتاژ قوس ارتباطی ندارد. ولتاژ قوس، ولتاژی است که بین الکترود و قطعهٔکار حاصل می‌گردد و در هر مورد توسط طول قوس تعیین می‌شود.

ولتاژ مدار باز به‌طور معمول بین ۵۰ تا ۱۰۰ ولت در نظر گرفته می‌شود، در حالی که ولتاژ قوس بین ۱۷ تا ٤۰ ولت می‌باشد. هنگامی که قوس برقرار می‌شود و بار جوشکاری روی ماشین جوش وارد می‌شود، ولتاژ مدار باز تا حد ولتاژ قوس افزایش می‌یابد و جریان جوشکاری کم می‌شود. تغییر در جریان که توسط تغییر در طول قوس ایجاد می‌شود توسط شیب منحنی ولت ـ آمپر در محدودهٔ جوشکاری تعیین می‌گردد.

٤-٤-انتخاب منبع تغذیه

هنگام انتخاب یک منبع تغذیه برای فرآیند SMAW عوامل متعددی باید در نظر گرفته شود:

۱- نوع جریان جوشکاری مورد نیاز

۲- محدودهٔ جریان مورد نیاز

۳- حالت جوشکاری (افقی، عمودی، بالاسری و.....)

انتخاب نوع جریان متناوب و مستقیم یا هردو، تا حد زیادی بر مبنای الکترود مصرفی و نوع جوشکاری مورد نظر انجام می‌پذیرد. برای جریان متناوب ممکن است از یک ترانسفورماتور استفاده شود. برای جریان مستقیم، منابع تغذیهٔ ترانسفورماتور، رکتیفایر یا ژنراتور قابل استفاده هستند. هنگامی که هردو جریان متناوب و مستقیم (AC/DC) مورد نیاز باشد. یک دستگاه رکتی‌فایر AC/DC لازم است.

جریان مورد نیاز برحسب نوع و اندازهٔ الکترود مصرفی تعیین می‌گردد. برای حصول اطمینان از توانایی منبع تغذیه در جریان موردنظر می‌بایست سیکل‌کاری[1] آن در نظر گرفته شود. وضعیتی که در آن جوشکاری صورت می‌پذیرد نیز باید در نظر گرفته شود.

٥-٤-انبر الکترودگیر

انبر نگه‌داری الکترود یک وسیله گیره‌دار است که به جوشکار امکان کنترل و نگه‌داری الکترود را می‌دهد، ضمن اینکه از آن به عنوان وسیله‌ای جهت انتقال جریان از کابل جوشکاری به الکترود نیز استفاده می‌شود.

دستهٔ عایق روی انبر، دست جوشکار را از جریان جوشکاری جدا می‌سازد.

دستگیره باید محکم به الکترود اتصال داشته باشد، به‌طوری که تماس الکتریکی مناسبی بین الکترود و انبر برقرار شود. انبر باید به گونه‌ای باشد تا نصب الکترود سریع و آسان صورت گیرد. انبر باید دارای وزنی کم بوده و به راحتی قابل حمل باشد، ضمن این‌که باید به اندازه کافی استحکام داشته باشد تا در کاربردهای مشکل به خوبی مقاومت کند. نگهداری و بررسی دائم انبرها، جهت حصول اطمینان از حفظ کارآیی حمل جریان، کیفیت عایق‌کاری و عملکرد آنها در گرفتن الکترود، از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد.

انبرها در اندازه‌های مختلفی ساخته می‌شوند همواره کوچک‌ترین سایز انبر با در نظر داشتن اینکه بیش از حد گرم نشود و کارآیی لازم را دارا باشد، بهترین انتخاب شناخته می‌شود. این انبرها سبک بوده و حداکثر راحتی را برای جوشکار فراهم می‌کنند.

۱ Duty Cycle

انبرهای نگهداری الکترود براساس ظرفیت جریان آنها مشخص می‌شوند. انتخاب انبر مناسب به شدت جریان، چرخهٔ کاری و حداکثر اندازهٔ الکترود و اندازهٔ کابل بستگی دارد (جدول ۱).

۶-۴- گیرهٔ اتصال

گیرهٔ اتصال وسیله‌ای برای اتصال کابل اتصال به قطعهٔ کار می‌باشد. این وسیله، ضمن ایجاد اتصال قوی با قطعهٔ کار باید به سهولت قابل اتصال آن باشد. در کارهای سبک‌تر یک گیرهٔ فنری شکل می‌تواند مناسب باشد. اما در کارهای سنگین، به یک گیرهٔ پیچی جهت ایجاد اتصالی قوی، بدون اینکه گیره بیش از حد گرم شود، نیاز است.

۷-۴- کابل‌های جوشکاری

کابل‌های جوشکاری اتصال انبر الکترود و گیرهٔ اتصال را به منبع تغذیه برقرار می‌کنند، که جزئی از مدار جوشکاری را تشکیل می‌دهند. کابل‌ها، مخصوصاً کابل انبر نگه‌داری الکترود طوری ساخته می‌شوند که دارای حداکثر انعطاف باشند تا انجام کار با آنها راحت‌تر شود. کابل‌ها باید در مقابل خراش و پوسیدگی مقاوم باشند.

کابل‌های جوشکاری شامل تعداد زیادی سیم به هم بافته شدهٔ مسی یا آلومینیمی هستند که در یک روکش عایق قابل انعطاف قرار می‌گیرند. این روکش‌ها که از جنس الیاف مصنوعی با پلاستیک‌های مقاومت هستند دارای دوام خوب، مقاومت الکتریکی بالا و مقاومت حرارتی مناسبی می‌باشند. پوششی محافظ بین سیم‌های رسانای بافته‌شده و روکش عایقی روی کابل قرار دارد که سبب حرکت راحت‌تر و انعطاف‌پذیری بیشتر کابل می‌گردد.

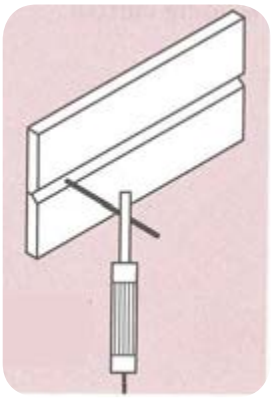
کابل‌های جوشکاری در اندازه‌های مختلفی تولید می‌شوند. قطر کابل جوشکاری به حداکثر جریان مورد مصرف جوشکاری، طول مدارجوشکاری (کابل‌های جوشکاری و کار) و ضریب قدرت ماشین جوشکاری بستگی دارد.

۸-۴- وضعیت جوشکاری

وضعیت جوشکاری یکی دیگر از متغیّرهایی است که به‌طور غیر مستقیم و از طریق تاثیر روی مهارت جوشکار و کنترل مذاب فلز جوش روی اجرای جوشکاری تاثیر می گذارد. بنابراین تا حد امکان سعی می‌شود اجرای جوشکاری در وضعیت های ساده‌تر صورت پذیرد تا احتمال به‌دست آوردن جوش با کیفیت افزایش یابد. در شکل (۳-۴) چهار وضعیت متفاوت جوشکاری نشان داده شده است.

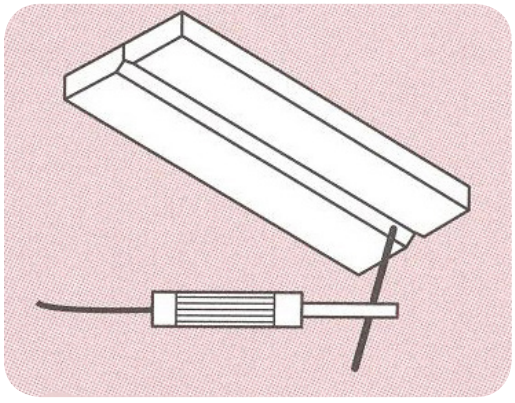
شکل(۳-۴)

ب



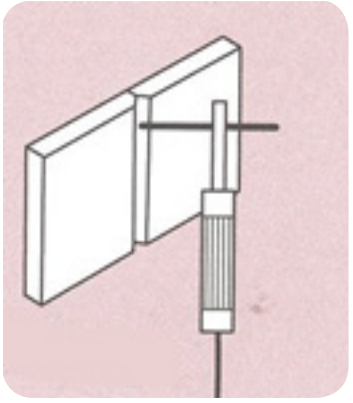
وضعیت افقی

الف



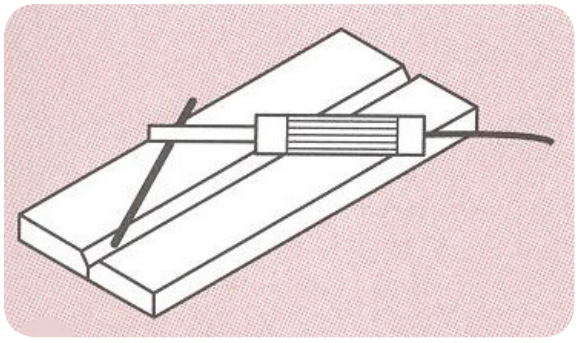
وضعیت بالا سری

د



وضعیت سربالا یا سر پایین

ج

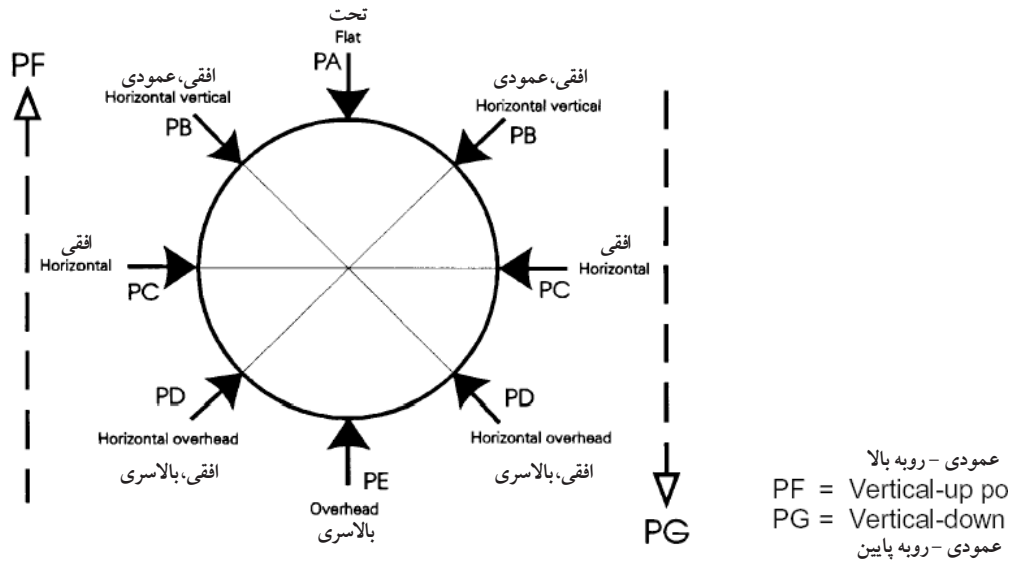


تخت وضعیت

چهار وضعیت متفاوت جوشکاری در اتصالات سر به سر

مطابق استانداردهای ISO یا اروپایی مثل (EN, DIN و ....) وضعیت‌های مختلف جوشکاری را مطابق شکل‌های زیر با حروف لاتین معرفی می‌کنند.

شکل(۴-۴)



وضعیت‌های مختلف جوشکاری مطابق استانداردهای ISO یا اروپایی(EN)

نکته

به طور معمول در جوشکاری سازه‌ها سعی بر این است که اجرای جوشکاری در وضعیت سطحی (PA) انجام شود. به همین منظور از وسایلی استفاده می شود که قطعات کار را گرفته و حول محور افقی بگرداند. به این وسایل که در شکل‌ها و فرم های مختلف ساخته می‌شوند، وضعیت دهنده (جیگ و فیکسچر) می‌گویند. با این وجود در سازه‌های فلزی بزرگ نظیر کشتی، اتومبیل، واگن قطار، اسکلت ساختمان‌های فلزی و ..... امکان جوشکاری تمام اتصالات در وضعیت سطحی غیر ممکن است. لذا جوشکار باید مهارت جوشکاری در وضعیت‌های مختلف را که بطور اختصار معرفی شدند، داشته باشد.

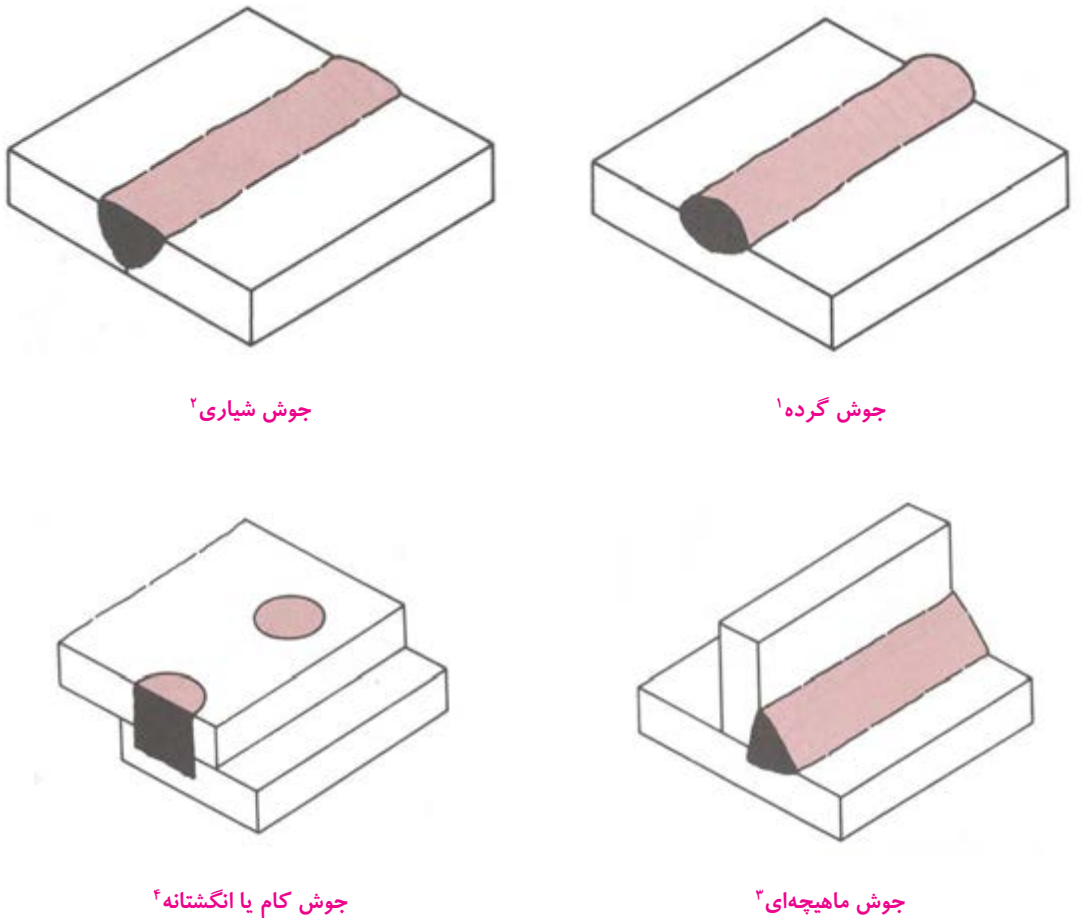
۹- ۴ نوع جوش و اتصال

با توجه به تنوع نوع اتصال قطعات جوشکاری و انواع مختلف جوش که برخی از متداول‌ترین آنها در شکل زیر نشان داده شده است ، انتخاب هر کدام از انواع مذکور روی اجرای جوشکاری و احتمال بوجود آمدن عیوب در جوش تأثیر گذار است لذا این متغیّرها باید متناسب با نوع جنس قطعات، ضخامت آنها، شیار اجرای جوش، نوع فرآیند جوشکاری و غیره دارد.

۱۰- ۴ انواع جوش

انواع مختلف جوش را می توان بطور کلی مطابق شکل (۵-۴) به چهار دسته تقسیم کرد.

شکل(۵-۴)



انواع متداول جوش

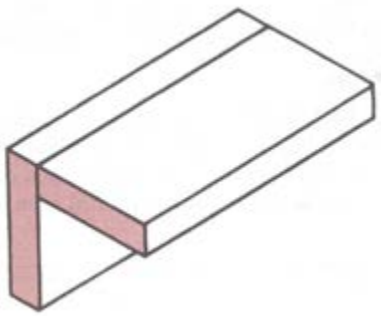
۱ Bead ۲ Groove ۳ Fillet ۴ Plug

۱۱- ٤ اتصالات اصلی در جوشکاری

در حالت کلی ۵ نوع طرح اتصال درسازه های جوشکاری وجود دارد که در شکل(٦-٤) معرفی شده‌اند.

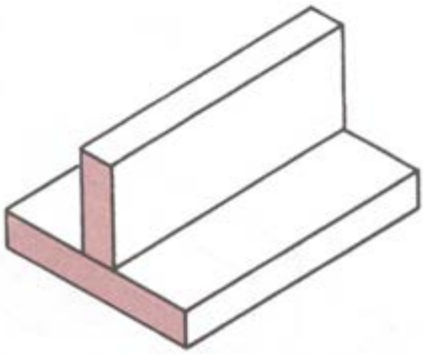
شکل(۶-۴)

ب



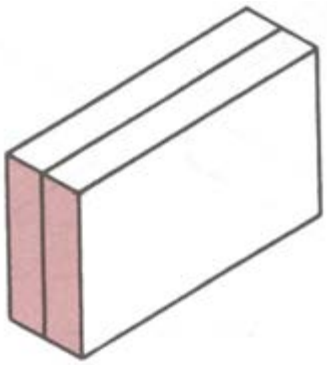
اتصال گوشه[۱]

الف



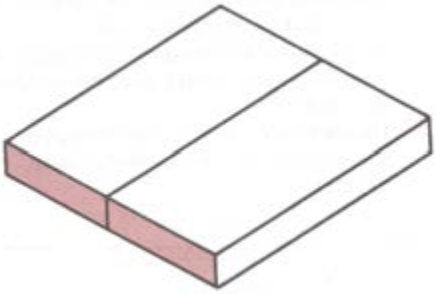
اتصال T[۲]

د



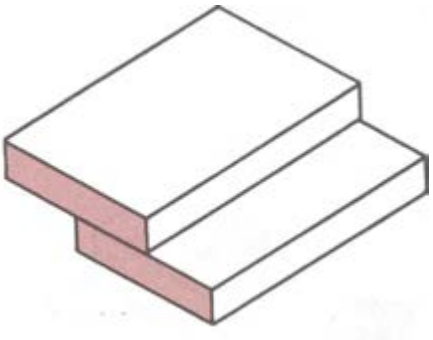
اتصال لب به لب[۴]

ج



اتصال سر به سر[۳]

هـ



اتصال لب روی هم[۵]

انواع مختلف جوش در حالت کلی

اتصالات جوشکاری در نقشه های ساخت دارای نشانه های استانداردی هستند که در جدول (۱-٤) به چند نمونه از مهمترین آنها اشاره شده است.

جدول (۱-۴) علائم و نشانه‌های اتصالات جوشکاری مطابق با استاندارد Iso ۲۵۵۳

نوع درز	نام	شکل نمادین	نمایش: فرم درز	نمایش: مقطع درز	نمای مجسم
درزهای لبه به لب	درز نیم جناغی (یک سویه)				
	درز نیم جناغی دمدار (دو سویه کند)				
	درز نیم لاله‌ای (یک سویه)				
	درز نیم لاله‌ای (دو سویه)				
درزهای پیشانی	درز پیشانی تخت				
	درز پیشانی جناغی				
درزهای گلویی	درز گلویی یا گوشه‌ای				
	درز گلویی یا گوشه‌ای دو سویه				
	درز گوشه‌ای با درز گلویی بیرونی				
	درز نیم جناغی با ریشه‌ی باز				

۱ (Corner-joint) ۲ (T-joint) ۳ (Butt-joint) ٤ (Edge-joint) ٥ (Lap-joint)

حالت‌هایی که دو یا چند جزء برای اتصال می‌توانند در کنار یکدیگر قرار گیرند عبارتند از :

حالت لب به لب یا سر به سر: [۱]در این حالت لبه‌ها می‌توانند صاف و یا پخ‌شده باشند و همانطور که قبلاً اشاره شد نوع، زاویه و شعاع انحنا، پخ، بسته به شرایط کار متفاوت می‌باشد.

حالت نبشی داخلی و خارجی[۲]: در این حالت دو قطعهٔ با زاویه، در کنار هم قرار داشته و همانند حالت قبل در صورت لزوم می‌تواند لبه‌ها پخ یا صاف باشد.

حالت سپری[۳]: این حالت تقریبا شبیه جوش در حالت نبشی داخلی است.

حالت لب روی هم [٤]: در این حالت مقداری از ورق‌ها بر روی هم سوار هستند و تا حدودی شبیه جوش نبشی داخلی است.

حالت جوش لبه‌ای [٥]: در این حالت ورق‌ها بر روی‌هم قرار گرفته و بر روی لبه‌ها که در یک سطح قرار دارند عملیات جوشکاری انجام می‌شود و یا اینکه ورق‌ها مانند حالت اول در یک سطح کنار یکدیگر قرار گرفته، اما لبه‌ها با زاویه ۹۰ درجه با عرض مساوی خم شده و سپس بر روی لبه‌های خم شده جوش داده می‌شود.

جوش جناقی

طرح اتصالات جوش جناقی، به اشکال مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. انتخاب مناسب‌ترین طرح برای یک کاربرد خاص، تحت تاثیر عوامل زیر قراردارد:

۱- تناسب با کاربرد مورد نظر

۲- در دسترس‌بودن طرح اتصال مورد نظر برای جوشکاری

۳- هزینه‌های جوشکاری

٤- وضعیت جوشکاری

---

۱ Butt Weld
۲ Fillet Welding
۳ T-Weld
٤ LapWeld
٥ Edge Weld

پخ لبه مربعی[1]، اقتصادی‌ترین طراحی اتصال از نظر آماده‌سازی اتصال می‌باشد. در این حالت تنها لازم است که لبه هریک از قطعات به همان شکل مربعی حفظ شود. این نوع طرح اتصال محدود به کاربرد در مورد ضخامت‌هایی است که از نظر استحکام و مقاومت در حد مطلوبی قرار داشته باشند. در فرآیند SMAW این ضخامت به‌طور معمول بیش از $\frac{1}{4}$ اینچ (۶ میلی‌متر) نمی‌باشد. این نیز در صورتی است که جوشکاری در وضعیت تخت انجام شود. نوع مواد مورد جوشکاری نیز حتماً باید مورد ملاحظه قرار گیرند. هنگام جوشکاری قطعات ضخیم، لبه یا پخ هر قطعه باید به گونه‌ای آماده شود که قوس مستقیماً روی نقطه‌ای که سیم جوش الکترود باید آنجا رسوب کند، متمرکز گردد. ذوب باید بسته به عمق نفوذ مورد نظر ایجاد شود. جهت صرفه‌جویی بیشتر و کاهش پیچیدگی و تنش پسماند، طرح اتصال باید دارای یک پایهٔ پخ و یک زاویهٔ پخ باشد که استحکام کافی را با رسوب حداقل مقدار سیم جوش تأمین نماید. کلید انجام این کار، در دسترس‌بودن پایه پخ و دیواره‌های کنار پخ می‌باشد. اتصالات پخ V و u شکل برای قطعات ضخیم‌تر ایده‌آل هستند. در جوشکاری مقاطع ضخیم زاویهٔ دیواره‌های کناری باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا از حبس سرباره جلوگیری شود.

۴-۱۲ جوش نبشی

هنگامی که شرایط کاری قطعات جوش خورده اجازه دهند، می‌توان از جوش نبشی به جای جوش جناقی استفاده کرد. در جوش نبشی تقریباً نیازی به آماده‌سازی اتصالات وجود ندارد، در حالی که در جوش جناقی، میزان جوش کمتری مورد نیاز است. در اتصال نبشی، اگر جوشکاری پیوسته، استحکامی بیش از مقدار مورد نیاز برای تحمل بار فراهم کند، می‌توان اتصال را به صورت مقطعی جوشکاری کرد.

جهت کاهش تمرکز تنش و بالا بردن استحکام اتصالات، به‌طور معمول ازترکیبی از دو نوع جوشکاری نبشی و جناقی استفاده می‌گردد. حداقل تمرکز تنش در روی سطح جوش زمانی که سطح جوش به شکل گرده‌دار و مقعر است بدست می‌آید.

۱ Square groove

۱۳- ٤- قطر الکترود

مناسب‌ترین قطر الکترود، قطری است که الکترود با استفاده از جریان و سرعت حرکت مناسب، در حداقل زمان، مکان مورد نظر را جوشکاری نماید. ضخامت الکترود انتخابی، تا حد زیادی به ضخامت موادی که جوشکاری می‌شوند، وضعیت جوشکاری و نوع اتصال بستگی دارد. در جوشکاری مواد ضخیم‌تر و یا جوشکاری در شرایط مسطح جهت استفاده از مزایای سرعت‌های نفوذ بالاتر و زمان کم‌تر از الکترودهای با قطر بیشتر استفاده می‌شود.

همواره باید از ضخیم‌ترین الکترود ممکن، که تاثیر منفی روی محدوده گرمای ورودی یا میزان رسوب جوش ندارد، استفاده شود. جوش‌هایی که از حد نیاز بزرگتر باشند، هزینه‌های بیشتری در برداشته و حتی در برخی موارد باعث زیان می‌شوند.

هرگونه تغییر ناگهانی در اندازهٔ مقاطع مختلف یا در حالت و شکل جوش، مانند آنچه که هنگام جوشکاری بیش از اندازه[1]، شکل می‌گیرد. می‌تواند باعث ایجاد نقاط تمرکز تنش گردد. البته این امر واضح است که بهترین اندازه الکترود، اندازه‌ای است که هنگام استفاده از آن با سرعت و حرکت و جریان مناسب مکان مورد نظر در حداقل زمان، جوشکاری شود

۱٤- ٤- جریان جوشکاری

جریان مستقیم (DC)، همواره قوسی یکنواخت‌تر و در نتیجه انتقال روان‌تر از جریان متناوب (AC) برقرار می‌نماید. زیرا برخلاف جریان AC قطبیت در جریان DC متناوباً تغییر نمی‌کند. اگرچه برخی از الکترودها، هنگام استفاده از قطبیت مستقیم (الکترود منفی) (DCSP) بهتر عمل می‌کنند، اما اکثر الکترودها در قطبیت معکوس (الکترود مثبت) عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهند. قطبیت معکوس (DCRP) عمق نفوذ بیشتری ایجاد می‌کند، در حالی که قطبیت مستقیم سرعت ذوب الکترود را افزایش می‌دهد.

حتی در صورت استفاده از جریان‌های ضعیف، قوس DC خاصیت‌ترکنندگی بهتری با حوضچه جوش از خود نشان داده و نیز مهره‌های جوش یکنواخت‌تری ایجاد می‌کند. به همین دلیل، به خصوص هنگام جوش قطعات نازک‌تر، استفاده از جریان DC مناسب‌تر است. بیشتر الکترودهای ترکیبی AC/DC در جریان

۱ Over Welding

DC عملکرد بهتری دارند. هنگام جوشکاری در موقعیت بالای سر و عمودی و جوشکاری با قوس کوتاه، جریان DC ترجیح داده می‌شود. هنگام انتقال فلز مذاب در طول قوس، احتمال کوتاه‌شدن یا قطع‌شدن حاصله در جریان DC کمتر می‌باشد.

از مشکلاتی که هنگام جوشکاری قوسی فلزات مغناطیسی (آهن و نیکل) با جریان DC ممکن است ایجاد شود، وزش قوس می‌باشد که با تغییر جریان از DC به AC می‌توان بر آن غلبه کرد.

استفاده از جریان AC در فرآیند SMAW، نسبت به جریان DC دو مزیت دارد: یکی عدم وزش قوس و دیگری ارزان‌تر بودن قیمت منبع تغذیه.

۱۵-۴- شدت جریان

الکترودهای روکش‌دار با اندازه و طبقه معین در داخل محدودهٔ خاصی از جریان‌های مختلف، به خوبی ایفای وظیفه می‌کنند. این محدودهٔ جریان تا حدی با تغییر ضخامت و ترکیب شیمیایی پوشش‌های الکترود تغییر می‌کند.

با افزایش جریان، سرعت رسوب نیز افزایش می‌یابد. محدودهٔ جریان و به تبع آن سرعت رسوب از هرنوع و طبقهٔ الکترودی، با الکترود هم‌سایز در طبقهٔ دیگر، متفاوت است.

جریان بهینه در یک نوع و اندازهٔ معین الکترود به فاکتورهای زیادی از جمله موقعیت جوشکاری و نوع اتصال بستگی دارد. جریان جوشکاری باید به اندازه‌ای باشد که باعث ذوب و نفوذ مناسب شده و همچنین قابلیت کنترل مناسب بر روی حوضچهٔ جوش در حین جوشکاری وجود داشته است.

در جوشکاری در وضعیت‌های عمودی و بالای سر، لازم است کمترین جریان مجاز برای جوشکاری انتخاب شود نباید از جریان بالاتر از محدودهٔ توصیه شده استفاده شود. این امر باعث ایجاد گرمای بیش از حد در الکترود، ایجاد جرقه‌های زیاد، وزش قوس، بریدگی کنارهٔ جوش و ترک در فلز جوش می‌شود. شکل ۲۰ تأثیرات جریان روی شکل پهنای جوش را نشان می‌دهند.

۱۶ـ۴ ـ طول قوس

طول قوس، فاصله بین نوک مذاب مفتول الکترود تا سطح حوضچهٔ مذاب جوش می‌باشد. طول قوس مناسب جهت ایجاد اتصالات بی‌نقص، دارای اهمیت می‌باشد. انتقال فلز از نوک الکترود و حوضچه جوش فرایندی یکنواخت و روان نیست؛ حتی هنگامی که طول قوس ثابت است، ولتاژ لحظه‌ای قوس، هنگام انتقال قطرات ریز فلز ذوب شده در طول قوس تغییر می‌کند. ولی چنانچه در جوشکاری از جریان و طول قوس مناسب استفاده شود، هرگونه تغییر در ولتاژ قوس به حداقل خواهد رسید. ایجاد این حالت مستلزم تغذیه ثابت و منظم الکترود می‌باشد.

چنانچه طول قوس بیش از حد زیاد باشد، این امر باعث انحراف مسیر و کاهش قدرت قوس و در نهایت ایجاد جرقه‌هایی از فلز مذاب هنگام حرکت آن از سوی الکترود به سوی جوش، خواهد شد. در صورتی که میزان جرقه‌ها زیاد باشد، بازدهی رسوب‌گذاری کاهش می‌یابد. همچنین گاز و سربارهٔ حاصله از پوشش الکترود تأثیری در محافظت قوس و فلز جوش نخواهد داشت. نهایتاً این امر می‌تواند منجر به ایجاد تخلخل و ورود اکسیژن یا نیتروژن و یا هر دو به فلز جوش گردد.

۱۷ ـ ۴ ـ سرعت حرکت

عبارت از سرعت حرکت الکترود در طول اتصال می‌باشد. مطابق شکل A ـ ۲۰ سرعت مناسب سرعتی است که در آن مهره‌های جوشی با طرح و ظاهر مناسب ایجاد شود. سرعت حرکت تحت‌تأثیر فاکتورهای زیادی قرار دارد. موارد زیر از آن جمله‌اند:

۱- قطبیت جریان جوشکاری

۲- وضعیت جوشکاری

۳- نرخ ذوب الکترود

۴- ضخامت فلز پایه

۵- شرایط سطحی فلز پایه

۶- نوع اتصال

۷- نصب اتصالات

۸- مهارت در بکارگیری الکترود

هنگام جوشکاری، سرعت جوشکاری باید به گونه‌ای تنظیم شود که قوس به آرامی حوضچهٔ جوش مذاب را هدایت می‌نماید. تا رسیدن به یک نقطه خاص، افزایش سرعت حرکت، درز جوش را باریک‌تر می‌کند و نفوذ را افزایش می‌دهد. پس از آن، بیشتر شدن حرکت باعث کاهش نفوذ، بی‌نظمی سطح جوش، ایجاد برش کنارهٔ جوش در لبه‌های جوش، مشکل شدن زدودن سرباره‌ها و محبوس شدن گاز (ایجاد تخلخل) در فلز جوش در لبه‌های جوش، مشکل شدن زدودن شکل ظاهری پهنای جوش در شکل G ـ ۲۰ مشاهده می‌گردد.

مطابق شکل F ـ ۲۰ سرعت حرکت پایین سبب ایجاد درز جوش پهن و مقعر با نفوذی کم‌عمق می‌شود. نفوذ کم، به علت توقف قوس روی حوضچهٔ مذاب به جای هدایت و تمرکز آن روی فلز پایه ایجاد می‌شود. این حالت روی درجهٔ رقت[۱] (نسبت فلز ذوب شده از قطعهٔ کار به کل فلز جوش) تأثیر می‌گذارد.

۱۸ ـ ٤ ـ جهت‌گرفتن الکترود

جهت‌گیری الکترود با در نظر داشتن وضعیت کار و پخ جوش، کنترل کیفیت جوشکاری بسیار مهم است. زاویهٔ نامناسب الکترود می‌تواند باعث حبس سرباره، تخلخل و یا بریدگی کنارهٔ جوش شود. موقعیت مناسب الکترود، وابسته به نوع و اندازه الکترود، موقعیت جوشکاری و شکل هندسی اتصال می‌باشد. یک جوشکار ماهر، به طور خودکار همهٔ این عوامل را هنگام تعیین جهت‌گیری الکترود در نظر می‌گیرد. برای تعریف و تعیین جهت‌گیری الکترود از زاویهٔ کار[۲] و زاویهٔ حرکت[۳] استفاده می‌شود. زاویهٔ حرکت، زاویه‌ای کمتر از ۹۰ درجه، بین سطح الکترود و سطح کار بوده و زاویهٔ کار نیز، زاویه‌ای است کمتر از ۹۰ درجه، بین یک خط عمود بر سطح قطعهٔ کار اصلی و صفحه‌ای که توسط محور الکترود و محور جوشن تعیین می‌گردد. هنگامی که الکترود در مسیر جوشکاری قرار می‌گیرد، از تکنیک جوشکاری پیش‌دستی استفاده می‌گردد. لذا به زاویهٔ حرکت، زاویهٔ فشار[٤] نیز گفته می‌شود.

در تکنیک جوشکاری پس دستی، الکترود برخلاف مسیر جوشکاری حرکت می‌کند. لذا به زاویهٔ حرکت در این حالت، زاویهٔ کشیدن[٥] نیز گفته می‌شود.

۱ Dilution
۲ Work Angle
۳ Travel Angle
٤ Push Angle
٥ Drag Angle

این وضعیت در مورد سایر موارد، متفاوت است. موقعیت صحیح الکترود باعث اعمال کنترل خوب روی حوضچهٔ جوش مذاب، نفوذ مطلوب و ذوب کامل فلز پایه می‌گردد. در حالی که زاویهٔ حرکت بزرگ باعث ایجاد درز جوش مقعر، بد شکل و یا نفوذی ناکافی می‌شود، زاویهٔ حرکت کوچک باعث تجمع سرباره می‌گردد و در حالی که زاویهٔ کار بزرگ می‌تواند باعث سوختن کنارهٔ جوش شود، زاویهٔ کار کوچک می‌تواند باعث ایجاد ذوب ناقص گردد.

زوایا و موقعیت مناسب الکترود در جوشکاری قوس الکترود دستی برای حالت‌های مختلف در شکل ۲۳ نشان داده شده است.

۱۹ـ۴ ـ وزش (انحراف) قوس

هنگام جوشکاری موادمغناطیسی (آهن و نیکل) با جریان مستقیم (DC) وزش قوس رخ می‌دهد. در برخی شرایط خاص، این امر ممکن است در جوشکاری با جریان متناوب (AC) نیز اتفاق بیفتد. اما این شرایط به ندرت رخ می‌دهند و احتمال وزش قوس در جوشکاری با جریان AC کمتر است. جاری شدن جریان DC بین الکترود و فلز پایه، باعث ایجاد میدان‌های مغناطیسی در اطراف الکترود می‌شود که عامل انحراف قوس از مسیر اصلی آن می‌گردد. ممکن است قوس هر بار در جهت‌های متفاوت منحرف شود اما معمولاً قوس یا به سمت جلو یا به سمت عقب در طول مسیر جوش منحرف می‌گردد. هنگامی که جوشکاری به سمت کابل اتصال به قطعهٔ کار انجام می‌شود با نزدیک شدن به قسمت انتهایی یا به یک گوشه، قوس به سمت عقب منحرف می‌شود و هنگامی که جوشکاری از اتصال زمین دور می‌شود، قوس به سمت جلو منحرف می‌شود.

وزش قوس می‌تواند منجر به ذوب ناقص و تولید جرقه‌های زیاد شود. همچنین وجود وزش در قوس می‌تواند مانع از اجرای یک جوشکاری مطلوب گردد. هنگامی که از الکترودهای پودر آهنی و یا سایر الکترودهایی که سربارهٔ زیاد تولید می‌کنند استفاده می‌شود، وزش قوس مخصوصاً وزش به سمت جلو، می‌تواند بسیار مشکل‌ساز باشد. این امر به سرباره‌های مذاب موجود در محدودهٔ داخلی پخ و دهانهٔ جوش، اجازه می‌دهد که به سمت جلو تا زیر قوس حرکت کنند.

وزش قوس در این شرایط به علت تأثیرات میدان مغناطیسی غیریکنواخت به وجود می‌آید. هنگامی که تمرکز میدان مغناطیسی در یک سمت قوس از سمت دیگر قوی‌تر باشد قوس به سمت میدان قوی‌تر، خم می‌شود. منشأ این میدان مغناطیسی در قانون الکتریکی زیر بیان شده است.

براساس این قانون، رسانای حامل جریان الکتریکی در اطراف خود خطوط مدوری از میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند. این خطوط میدان بر صفحهٔ حامل رسانا عمود بوده و مرکز آن محور رسانا می‌باشد. در هنگام جوشکاری، این میدان مغناطیسی، روی قطعهٔ فولادی و در طول شکاف جوش قرار می‌گیرد. میدان مغناطیسی روی صفحه مشکلی ایجاد نمی‌کند اما تمرکز نامساوی آن در طول شکاف یا اطراف قوس باعث خم شدن قوس به سمت تمرکز قوی‌تر می‌گردد.

به جز مواردی که وزش قوس بسیار شدید است مراحل اصلاحی خاصی وجود دارد که می‌تواند وزش را از بین برده یا حداقل، شدت آن را کاهش دهد. برای این کار انجام چند یا تمام اقدامات زیر لازم است:

۱- تا جائی که ممکن است باید اتصال به زمین را دور از درزی که باید جوشکاری شود، قرار داد.

۲- اگر مشکل وزش قوس به سمت عقب وجود داشته باشد، می‌توان کابل اتصال به زمین را در ابتدای جوش قرار داده و جوشکاری را به صورت خال جوش‌های سنگین ادامه داد.

۳- اگر مشکل وزش قوس به سمت جلو وجود داشته باشد، باید اتصال به قطعهٔ کار را در انتهای درز جوش قرار داد.

۴- باید الکترود را طوری قرار داد که نیروی قوس، انحراف قوس را خنثی کند.

۵- باید از کوتاهترین قوس ممکن استفاده شود. این امر به بی‌اثرکردن انحراف قوس توسط نیروهای قوس، کمک می‌کند.

۶- باید جریان جوشکاری کاهش داده شود.

۷- می‌توان جوشکاری را با خال جوش با استفاده از قسمت اضافی انتهایی ادامه داد.

۸- لازم است از جوشکاری مرحله‌ای به صورت چپ‌دستی استفاده شود.

۹- می‌توان از جریان متناوب برای جوشکاری استفاده کرد، که البته ممکن است به این دلیل، لازم باشد الکترود جوشکاری نیز تعویض گردد.

۱۰- پیچیدن سیم اتصال به زمین به دور قطعهٔ کار جهت برقراری میدان مغناطیسی، می‌تواند از انحراف قوس جلوگیری کند.

۲۰ ـ ٤ ـ عیوب جوش

۱ـ ۲۰ ـ ٤ ـ عیوب تکنیکی

پارامترهای جوشکاری نظیر شدت جریان، ولتاژ یا طول قوس و سرعت حرکت متغیرهایی هستند که می‌توانند بر روی ظاهر جوش، راندمان و سهولت عملیات و حتی کیفیت جوش اثر مهمی داشته باشند. شدت جریان کم، گردهٔ جوش بی‌قاعده بوجود آورده و بالای کار قرار می‌گیرد. شدت جریان زیاد، ذوب کامل ایجاد کرده اما توأم با ترشح زیاد ذرات می‌باشد و احتمالاً باعث سوراخ شدن و سوختن موضع جوش نیز می‌شود.

ولتاژ کم، گردهٔ جوش بی‌قاعده و جوشی بدون نفوذ کافی تولید می‌کند و تمایل به محبوس کردن سرباره در جوش افزایش می‌یابد. ولتاژ زیاد، همراه با ترشح بوده و تمایل جوش به جذب نیتروژن از هوا افزایش می‌یابد که نتیجهٔ آن ایجاد حباب یا خلل و فرج در جوش خواهد بود.

سرعت زیاد، گردهٔ جوش باریک و لاغر ایجاد و احتمالاً باعث سوختگی کناره در لبهٔ جوش می‌شود. سرعت کم، تولید حوضچهٔ جوش بزرگ کرده که کنترل آن ساده نخواهد بود و احتمالاً مذاب به اطراف جاری می‌شود.

۲ـ ۲۰ ـ ٤ ـ عیوب متالورژیکی

کیفیت اتصال جوش باید به گونه‌ای باشد که در طول کار و بعد از آن، انتظارات طراح و محاسب را برآورد نماید. جهت رسیدن به این مقصود، اتصال باید خصوصیات مکانیکی موردنیاز را داشته باشد. به این منظور جوش ممکن است نیاز به یک ریزساختار و ترکیب شیمیایی مشخص داشته باشد. اندازه و شکل خاص باشد و همانند استحکام آن به این موارد مقاومت در برابر خوردگی را نیز بایستی اضافه کرد و در نهایت

همه این‌ها تحت‌تأثیر مواد پایه، مواد جوشکاری و روش جوشکاری قرار دارند.

فرآیند SMAW یک فرآیند دستی است و کیفیت جوش به مهارت جوشکار بستگی دارد. بنابراین مواد مصرفی باید به دقت انتخاب شوند، جوشکار باید ماهر و با تجربه بوده و دستورالعمل‌های جوشکاری را نیز صحیح انجام دهد.

طبیعتاً اتصالات جوش خورده دارای انواع و شکل‌های متفاوتی از ناپیوستگی‌ها و عیب‌هایی می‌باشند. اگر این ناپیوستگیها از حد مجاز بیشتر نباشد مشکلی ایجاد نمی‌کنند. اما اگر از سطح مجاز فراتر روند، وجود آنها نقص به شمار می‌رود. این سطوح مجاز با توجه به نوع سفارش، قرارداد، حجم کار، ملزومات کار و ... متفاوت خواهد بود.

موارد ناپیوستگی زیر برخی اوقات در قطعات جوشکاری با فرآیند SMAW دیده می‌شود.

۱- تخلخل

۲- حبس سرباره

۳- ذوب ناقص

٤- ترک‌ها

۲۱-٤ آشنایی با عیوب متداول در جوشکاری

در جوش نقایص و عیب های مختلفی ممکن است بوجود آیند و چنانچه با استاندارد در نظر گرفته شده برای جوش حاصل از نظر اندازه و شکل مطابقت نداشته باشند لازم است عیب برطرف گردد. هم چنین منشاء یا عوامل ایجاد کننده عیوب نیز بسیار متنوع هستند که در این قسمت به مهمترین آنها می پردازیم.