پودمان ۴

گرده سازی

تولید یک اتصال مستحکم و قوی بین دو جزء از یک سازه یا محصول فلزی، وابسته به شکل، ابعاد و سلامت گرده جوش تشکیل شده است. در این پودمان عوامل موثر بر ذوب الکترود، تکنیکهای رسوب فلز مذاب در محل اتصال و امتزاج با فلز پایه و نیز شرایط ایجاد گرده سالم و مناسب معرفی و بررسی شده است.

واحد یادگیری ۴

شایستگی گرده‌سازی با الکترود دستی

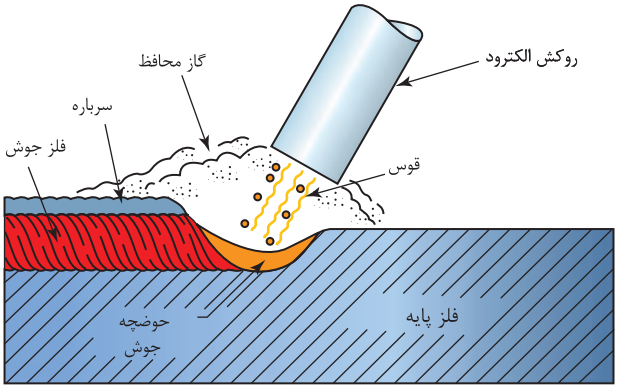
جوشکاری یکی از روش‌های تولید می‌باشد. هدف آن اتصال دائمی مواد مهندسی به‌یکدیگر است؛ به‌گونه‌ای که خواص اتصال نزدیک به خواص ماده پایه باشد. همانطور که آموخته‌اید، دو نوع اتصال وجود دارد - اتصال دائم و موقت - که جوشکاری جزء اتصالات دائم به شمار می‌رود. یکی از شایستگی‌های بسیار مهم در جوشکاری، ایجاد خط جوش یا عبارت دیگر گرده سازی است. در ابتدای این واحد یادگیری، اصول و مفاهیم جوشکاری الکترود دستی، انواع جریان‌های جوشکاری، منابع تأمین انرژی، تجهیزات و دستگاه‌های جوشکاری الکترود دستی ارائه می‌شود، سپس در ادامه تکنیک‌های جوشکاری و روش گرده‌سازی و نیز اتصال دو پلیت به صورت اتصال مربعی بیان می‌گردد.

استاندارد عملکرد

تنظیم و راه اندازی دستگاه جوشکاری و گرده سازی بر روی پلیت‌های فولادی با فرایند الکترود دستی براساس نقشه و استاندارد.

جوشکاری با الکترود دستی (SMAW[1]) یک فرایند ذوبی است

فرایندی است که در آن جریان الکتریکی توسط یک الکترود فلزی روکش دار حمل می‌شود، این جریان قوس الکتریکی تشکیل می‌دهد که از فاصله هوایی بین الکترود و قطعه کار عبور می‌کند. این جریان، قوس الکتریکی در این ناحیه ایجاد می‌کند، که به موجب آن گرما تولید شده و این گرما باعث ذوب الکترود و قطعه کار می‌شود. الکترود ذوب شده از میان قوس الکتریکی به حوضچه مذاب روی فلز پایه انتقال می‌یابد. نوک الکترود و حوضچه فلز با یک ابر گازی که در نتیجه سوختن روکش الکترود ایجاد می شود، محافظت می‌گردد.



شکل ۴-۱ : شماتیک فرایند الکترود دستی

زمانی‌که قوس الکتریکی قطع می شود، مخلوط فلز پایه و الکترود مذاب به‌طور آهسته سرد شده و انجماد صورت می‌گیرد، و به یک جزء یکپارچه تبدیل می‌شود. به‌طور همزمان مذاب فلاکس به شکل یک سرباره روی فلزی جوش منجمد می‌شود.

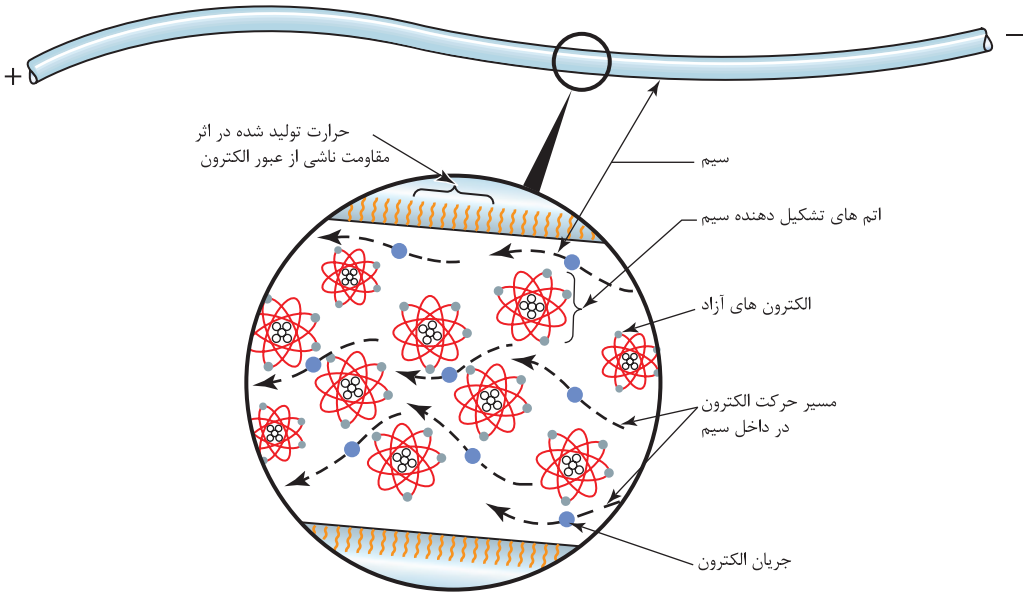
به فرایند SMAW به دلیل هزینه پایین، قابلیت حمل و نقل آسان و انعطاف پذیری به طور گسترده مورد استفاده قرارمی‌گیرد.

این فرایند از لحاظ ضخامت قطعات مورد اتصال نیز بسیار انعطاف پذیر می باشد، و در حالت‌های مختلف جوش کاری می‌توان از آن بهره برد.

جریان جوشکاری (WELDING CURRENT) چیست؟

منبع گرما برای جوشکاری قوسی، جریان الکتریکی است. جریان الکتریکی، حاصل حرکت الکترون هاست. همانطور که در شکل ۴-۲ نشان داده شده است، در یک رسانا الکترون‌ها از قطب منفی (-) به سمت قطب مثبت (+) حرکت می کنند که با مقاومت در برابر حرکت الکترون‌ها، گرما تولید می شود. هر چقدر مقاومت بیشترباشد، گرما تولیدی بیشتر خواهد شد.

1. Shielded Metal Arc Welding



شکل ۴-۲: حرکت الکترون در یک رسانا

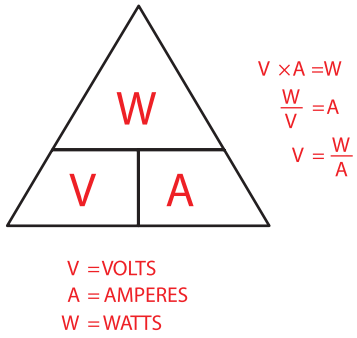
از شکاف بین الکترود و قطعه کار الکترون ها باید پرش کنند، به دلیل مقاومت هوا این مسئله باعث تولید گرما می‌شود. همچنین جریان پیوسته الکترون‌ها از این شکاف باعث ایجاد قوس الکتریکی می‌شود.

اندازه‌گیری جریان (Measurement)

از سه واحد ولتاژ (V)، آمپر (A) و وات (W) برای اندازه گیری جریان جوشکاری استفاده می شود. ولتاژ یا ولت برای اندازه گیری فشار الکتریکی استفاده می شود.

نکته: هرچه ولتاژ بالاتر باشد مقدار پرش از شکاف بالاتر خواهد بود. به عبارت دیگر ولتاژ کنترل کننده تعداد الکترون هایی است که از این فاصله هوایی پرش می‌کنند.

آمپر، یکای اندازه‌گیری شدت جریان براساس تعداد کل الکترون‌های در حال حرکت در واحد زمان را اندازه‌گیری می‌کند.



شکل ۴-۳: رابطه بین توان، ولتاژ و جریان

وات یکای اندازه گیری توان قوس الکتریکی است. مقدار توان تعیین کننده پهنا و عمق جوش هستند.

شکل ۴-۴: وابستگی اندازه حوضچه جوش به مقدار انرژی (W)

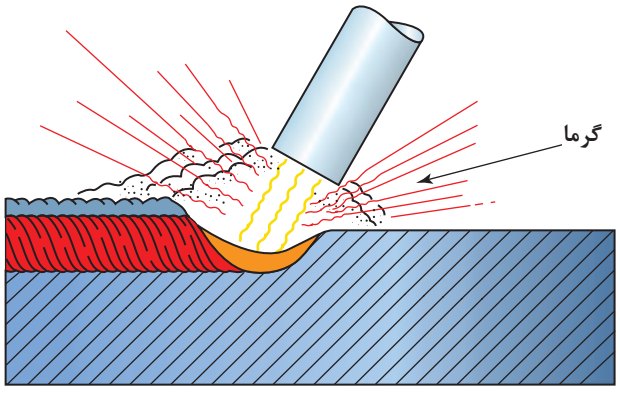
دما (Temperature)

دمای قوس الکتریکی بیش از $6000^{\circ}C$ می‌باشد. در حقیقت دما به مقاومت در برابر حرکت جریان الکتریکی وابسته است. عواملی که باعث مقاومت الکتریکی می‌شود شامل طول قوس و ترکیب شیمیایی گازهایی است که در حین سوختن روکش الکترودها ایجاد می‌شود، می‌باشند.

به‌طور مثال زمانی‌که طول قوس بیشتر می‌شود، مقاومت افزایش می‌یابد، در نتیجه ولتاژ قوس و دما افزایش می‌یابد - طول قوس کوچکتر گرمای قوس کمتری ایجاد می‌کند. - در اکثر الکترودها موادی وجود دارد که باعث پایداری قوس الکتریکی می‌شود. نقش این پایدار کننده‌ها، کاهش مقاومت الکتریکی است که به موجب آن پایداری قوس افزایش می‌یابد.

نکته

کل گرمای تولید شده در ایجاد اتصال نقش ندارد به خاطر اینکه مقداری از گرما به صورت تابشی با گازهای داغ تشکیل شده توسط روکش الکترود هدر می‌رود.



شکل ۴-۵: هدر رفتن انرژی در جوش با تشکیل تابش و هدایت

همچنین بخشی از گرما به روش رسانش (هدایت) به قطعه کار هدر می‌رود. به‌طور کلی تقریباً نیمی از کل گرما در تولید یک اتصال هدر می‌رود. باقی‌مانده گرما قوس، به‌صورت برابر بین الکترود و قطعه کار توزیع می‌شود. این توزیع به نوع جریان جوشکاری، پلاریزاسیون و (قطبیت) روکش الکترود بستگی دارد.

تحقیق

پلاریزاسیون چیست؟ تحقیق کنید، اثر پلاریزاسیون بر هدر رفت گرما چگونه است؟

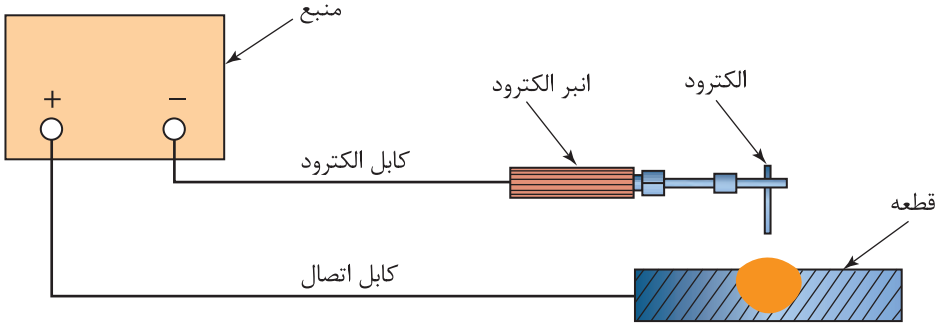
سه نوع جریان‌ها (Currents) جوشکاری وجود دارد

سه نوع جریان برای جوشکاری استفاده می‌شود که شامل:

- جریان متناوب (AC)
- جریان مستقیم الکترود منفی (DCEN)
- جریان مستقیم الکترود مثبت (DCEP)

جریان DCEN[1]

همانطور که در شکل ۴-۶ نشان داده شده است در این جریان DCEN الکترود به قطب منفی و قطعه کار به قطب مثبت متصل می‌شود، این جریان نرخ ذوب الکترود بالایی تولید می‌کند.

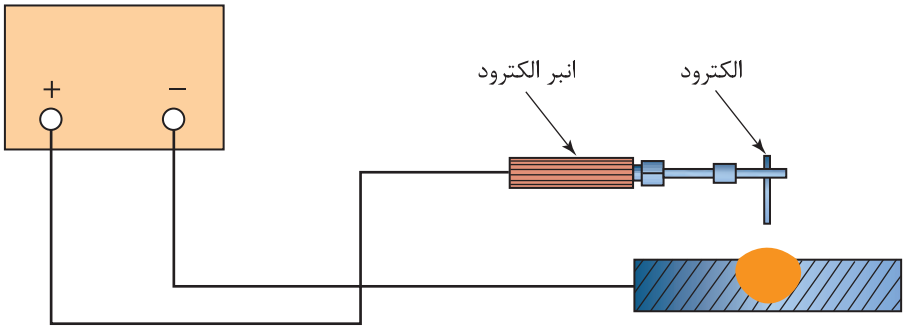


شکل ۴-۶: جریان الکترود منفی (DCEN)، پلاریزاسیون مستقیم (DCSP[2])

1. direct current electrode negative
2. direct current straight polarity

جریان DCEP[1]

در این جریان الکترود به قطب مثبت و قطعه کار به قطب منفی متصل می‌شود (شکل ۴-۷). جریان DECP قوسی با قدرت نفوذ عمیق‌تری تولید می‌کند.



شکل ۴-۷: جریان الکترود مثبت (DCEP)، پلاریزاسیون معکوس (DCRP[2])

جریان AC[3]

در این جریان الکترون‌ها در هر ۱/۱۰۰ ثانیه جهت خود را تغییر می‌دهند. به عبارت دیگر الکترود و قطعه کار به‌صورت متناوب از آند به کاتد تغییر می‌یابند. به قطب مثبت الکترود آند و قطب منفی الکترود کاتد می‌گویند.

نکته

تغییر سریع جهت جریان باعث توزیع برابر گرما بین الکترود و قطعه کار می شود (۱/۲ الکترود و ۱/۲ قطعه کار).

سیستم های تأمین توان در جوشکاری (TYPES OF WELDING POWER)

انواع تأمین کننده توان و انرژی مورد نیاز برای جوشکاری در سه دسته‌اند:

ولتاژ ثابت (CV)

ولتاژ قوس تنظیم شده، ثابت می ماند و با تغییر طول قوس و شدت جریان تغییر نخواهد کرد.

ولتاژ افزایشی (RAV)

ولتاژ قوس با افزایش شدت جریان افزایش می یابد. به عبارت دیگر با افزایش آمپر ولتاژ هم به آرامی افزایش می یابد.

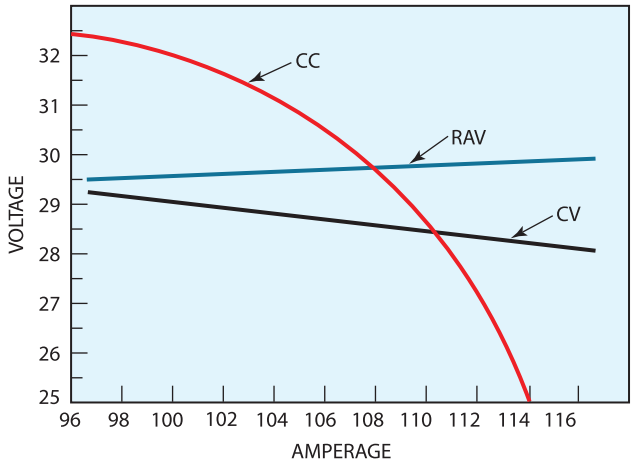
جریان ثابت (CC)

جریان نهایی جوشکاری ثابت می ماند. این سیستم ولتاژ کاهشی نیز می‌نامند زیرا با افزایش شدت جریان ولتاژ قوس کاهش می یابد.

1. direct current electrode positive
2. direct current reverse polarity
3. alternating current

نکته

در فرایند الکترود دستی از نوع جریان ثابت استفاده می شود که در شکل ۴-۹ مشخص شده است.



شکل ۴-۹: نمودار ولت-آمپر برای سیستم‌های تأمین توان

ولتاژ مدار باز[1] بین الکترود و قطعه کار

ولتاژ مدار باز به ولتاژ الکترود قبل از بر قراری قوس می گویند. این ولتاژ معمولاً بین ۵۰ تا ۸۰ ولت می‌باشد. هر چه ولتاژ مدار باز بالاتر باشد، تشکیل قوس الکتریکی آسانتر خواهد بود.

نکته

با افزایش ولتاژ مدار باز، خطر شوک الکتریکی نیز افزایش می‌یابد.

نکته

ماکزیمم ولتاژ ایمن برای ولتاژ مدار باز ۸۰ ولت می‌باشد.

ولتاژ کاری

ولتاژ کاری یا ولتاژ مدار بسته، به ولتاژ قوس در حین جوشکاری گفته می‌شود. این ولتاژ با تغییر طول قوس، نوع الکترود، نوع جریان و مقدار پلاریزاسیون تغییر می‌کند.

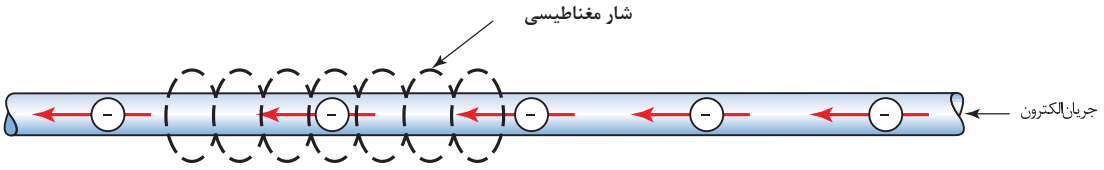
نکته

ولتاژ کاری بین ۱۷ تا ۴۰ ولت می‌باشد.

1. Open circuit voltage

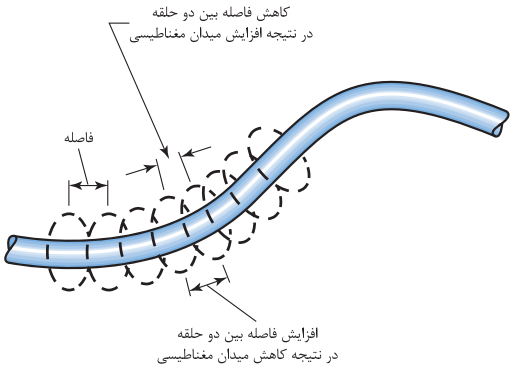
وزش قوس (ARC BLOW)

فقط در جریان DC وجود دارد. هنگامی که الکترون‌ها در داخل سیم رسانا جریان می‌یابند، یک میدان مغناطیسی دایره‌ای شکل در طول مسیر حرکت الکترون ایجاد می‌شود. خطوط میدان مغناطیسی را شار مغناطیسی می‌نامند.

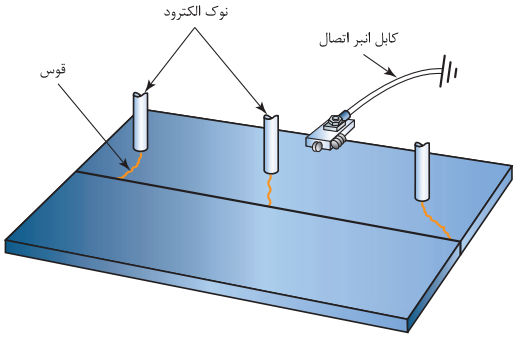


شکل ۴-۱۰: میدان مغناطیسی اطراف سیم رسانا

در یک سیم خم شده، شکل ۴-۱۱ خطوط غیر یکنواخت شار مغناطیسی تلاش می کنند تا سیم را مستقیم کنند به طوری که خطوط می توانند دوباره یکنواخت شوند، با این حال، هنگامی که جوشکاری با آمپر خیلی بالا(۶۰۰- آمپر یا بیشتر) انجام می شود. این نیرو مغناطیسی ممکن است موجب حرکت سیم شود.
جریان جوشکاری از طریق یک پلیت یا میدان مغناطیسی باقی مانده در پلیت که نتیجه آن خطوط شار غیر یکنواخت است جریان می‌یابد. در عوض این خطوط شار غیر یکنواخت باعث می‌شود تا قوس در طول جوشکاری حرکت کند. به این جابه جایی قوس، وزش قوس می گویند. وزش قوس را همانند یک نخ فرض کنید که در مسیر باد قرار دارد به این طرف و آن طرف می‌کشاند. وزش قوس در گوشه‌ها بسیار قابل توجه است، همانطور که در شکل ۴-۱۲ نشان داده شده است، در انتهای قطعه کار، و زمانیکه انبر اتصال در یک طرف پلیت متصل شده است.



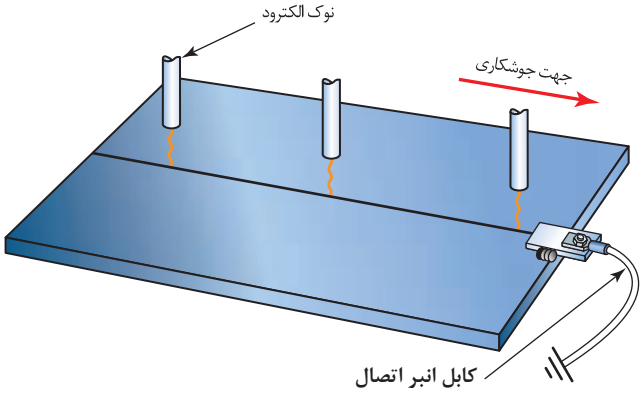
شکل ۴-۱۱: تمرکز میدان مغناطیسی در ناحیه خم



شکل ۴-۱۲: وزش قوس

چگونه وزش قوس را حین جوشکاری کنترل کنیم؟

- برای حل مشکل وزش قوس، می‌توان انبر اتصال را در انتهای پلیت قرار داد، از انتهای دیگر جوشکاری کرد. به شکل ۴-۱۳ نگاه کنید.



شکل ۴-۱۳: میدان مغناطیسی اطراف سیم رسانا

- کنترل وزش قوس استفاده از دو انبر اتصال قطعه است.
- درجریان AC به دلیل تغییر سیکل، فرصت ایجاد میدان مغناطیسی مورد نیاز برای انحراف قوس پدید نمی‌آید.
- در صورتی‌که هیچکدام از روش‌ها در حذف طول قوس موثر نبود، جوشکاری با طول قوس کوتاه راه مناسبی می‌باشد.

انواع منابع قدرت

در فرایندهای قوس الکتریکی دو نوع دستگاه داریم که می توانند آمپر بالا و ولتاژ پایین برای جوشکاری قوسی تولید کنند.

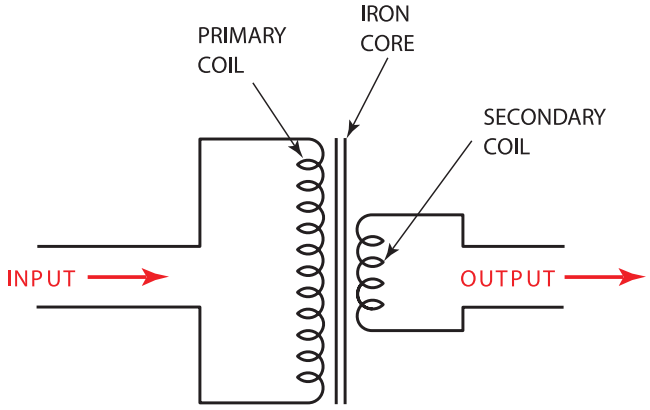
۱- موتورهای الکتریکی یا موتورهای احتراق داخلی (generators)

۲- ترانسفورماتور کاهنده (step-down transformers)

ترانسفورماتور راندمان انرژی بالا، نیاز به نگهداری کمتر و قیمت پایین‌تری دارند، به همین علت در حال حاضر در صنعت کاربرد فراوانی دارد. ولی، ژنراتورها نیز به طور گسترده در جوشکاری برای مکان‌هایی که امکان استفاده از برق شهری نباشد، مثلا در بیابان‌ها برای جوشکاری خطوط لوله استفاده می‌شوند.

ترانسفورماتور (transformer)

ترانسفورماتور جوشکاری از جریان AC با ولتاژ برای تأمین ولتاژ مورد نیاز برای جوشکاری استفاده می‌کند. به دلیل اینکه جریان استفاده شده در ترانسفورماتورها متناوب می باشد، در نتیجه میدان مغناطیسی به طور دائمی ایجاد می شود و از بین می‌رود. در ترانسفورماتورها بواسطه قرار دادن یک سیم ثانویه در میدان مغناطیسی ایجاد شده توسط سیم پیچ اولیه، جریان در سیم پیچ ثانویه القاء خواهد شد. همان‌طور که در شکل ۴-۱۴ نشان داده شده است، با قرار دادن یک هسته آهنی در مرکز دو کویل، تمرکز میدان مغناطیسی افزایش خواهد یافت.



شکل ۴-۱۴: دیاگرام ترانسفورماتور کاهنده

به ترانسفورهایی که در آن تعداد دور سیم پیچ اولیه بیشتر از سیم پیچ ثانویه باشد، ترانسفورماتور نوع کاهنده می‌نامند. این ترانسفورماتور، ولتاژ بالا و جریان آمپر پایین را دریافت می‌کند و آن را به ولتاژ پایین و جریان آمپر بالا تبدیل می‌کند. به علت افزایش گرما در ترانسفورماتور کمی افت توان داریم و در غیر این صورت توان ورودی و خروجی ثابت هستند.

نکته

ترانسفورماتور جوشکاری کاهنده، برق با ولتاژ بالا (۲۲۰ ولت یا ۳۸۰ ولت) و آمپر پایین را دریافت می‌کند و به ولتاژ ۱۷ تا ۴۵ ولت با جریان ۶۰۰ آمپر تبدیل می کند.

شکل ۴-۱۵: ترانسفورماتور نوع سیم پیچ چند هسته ای

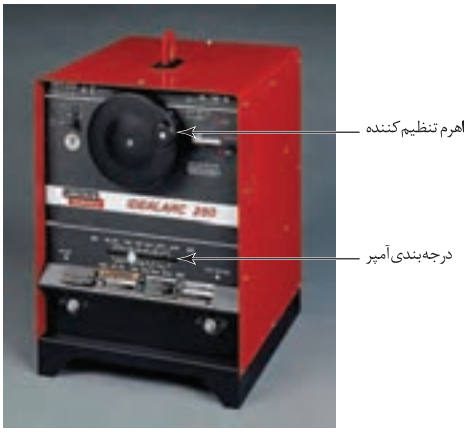
دستگاه‌های جوشکاری را می توان به واسطه روش کنترل و تنظیم جریان جوشکاری دسته بندی نمود، دسته بندی اصلی شامل دستگاه سیم پیچ چند تایی، سیم پیچ متحرک و اینورتور جوشکاری می‌باشد.

دستگاه سیم پیچ چند هسته ای (Multiple-coil Machines)

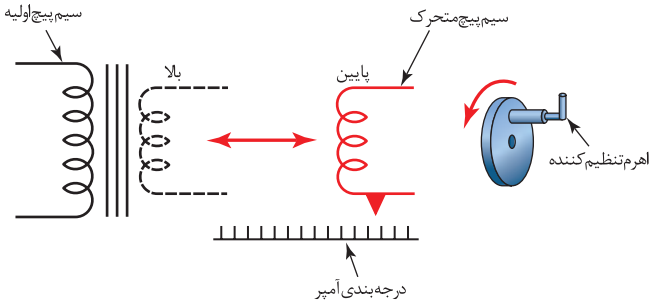
این دستگاه که با تغییر سیم پیچ ثانویه در مقادیر مختلف، می‌توان جریان‌های مختلفی را انتخاب نمود (شکل ۴-۱۵). بزرگ‌ترین شماره چرخش، بالاترین آمپر را ایجاد می‌کند. این دستگاه‌ها ممکن است یک تعداد زیادی از آمپر یا دو یا چند آمپر مشخص می‌باشند، که برای تنظیمات بیشتر می‌توان از درجه‌های تنظیم آمپر کوچکتر استفاده نمود.

دستگاه جوشکاری با سیم پیچ متحرک (Movable-coil or Movable-core Machines)

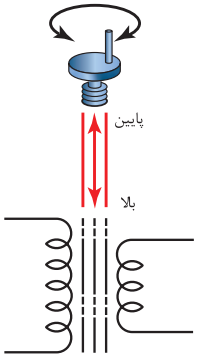
تنظیمات در این نوع دستگاه بواسطه چرخاندن فلکه ای که هسته متحرک داخلی وصل است دور و نزدیک می شود. تنظیمات همچنین ممکن است بواسطه حرکت دادن دسته ای که در شکل ۴-۱۶ می بینید، انجام شود. این دستگاه دارای رنج آمپر بالا و پایین است، بر خلاف دستگاه سیم پیچ چند تایی این دستگاه عقربه تنظیمات درجه های آمپر کوچکتر را ندارد. هنگامی که سیم پیچ اولیه و ثانویه در فاصله نزدیک از هم قرار گیرند، بزرگترین آمپر، و هنگامی که در دورترین فاصله از هم قرار گیرند، کوچکترین آمپر را ایجاد خواهد کرد(۴-۱۷ و ۴-۱۸).



شکل ۴-۱۶: دستگاه جوشکاری با سیم پیچ متحرک



شکل ۴- ۱۷: جابه جایی سیم پیچ



شکل ۴- ۱۸: جابه جایی سیم پیچ

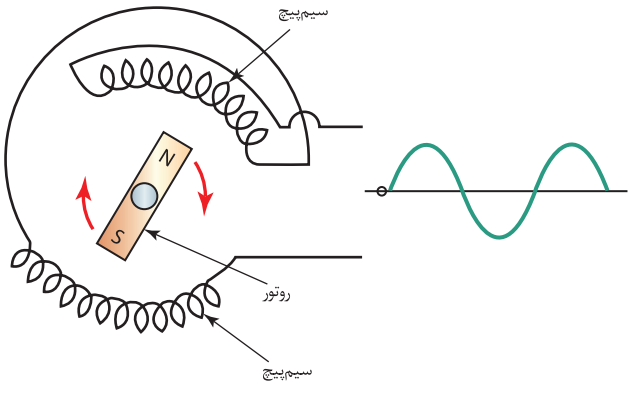
دستگاه اینورتر (Inverter Machines)

این دستگاه در مقایسه با سایر دستگاههای جوشکاری دارای یک رنج آمپر کمتر و سبکتر است، وزن کم آن باعث جابه جایی راحت‌تر شده است، و همچنین راندمان کار را بسیار بالا برده است. در یک ترانسفورماتور استاندارد، از هسته آهنی برای تمرکز میدان الکتریکی استفاده می شود، این هسته دارای یک اندازه مشخص است، و این اندازه بر اساس مقدار زمان صرف شده برای تشکیل و حذف میدان مغناطیسی تعیین می شود. در اینورتورها بجای استفاده از سیم پیچ و هسته با وزن بالا از بردهای الکترونیکی با فرکانس بالا استفاده می‌شود. این دستگاه ها فرکانس برق شهر ۵۰ هرتز را به چند کیلو هرتز تبدیل می کنند. این قابلیت باعث می‌شود که جرم ۵۰ کیلویی دستگاه به کمتر از ۵ کیلوگرم کاهش یابد (۴-۱۹).

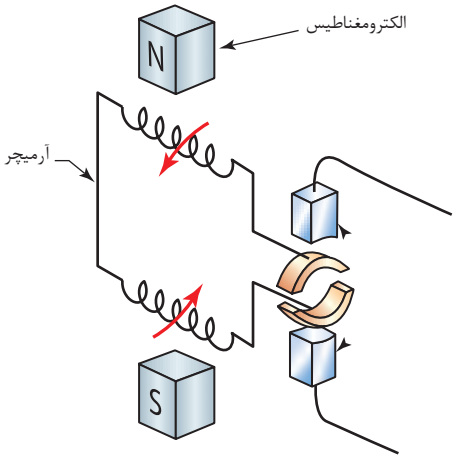
شکل ۴-۱۹: درجه بندی آمپر در عقربه قابل تنظیم

ژنراتور و دینام (GENERATORS AND ALTERNATORS)

این دستگاهها انرژی الکتریکی را از منبع قدرت مکانیکی تولید می کنند. دارای یک روتور و استاتور هستند، در نتیجه حرکت، الکتریسیته تولید می شود. در دینام، نیروی خطوط مغناطیسی در داخل سیم پیچ به چرخش در می آید (شکل ۴-۲۱) و جریان AC را تولید می کنند. در ژنراتور، سیم پیچ در داخل میدان مغناطیسی چرخش می کند و جریان DC تولید می کنند(۴-۲۲). در دینام ها این امکان هم وجود دارد که با استفاده از دیود جریان AC را به جریان DC برای جوشکاری تبدیل کند.



شکل ۴-۲۰: دینام

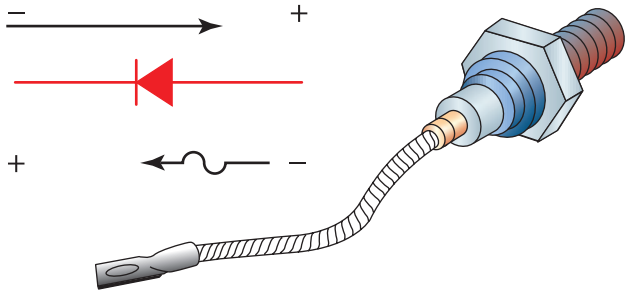


شکل ۴-۲۱: ژنراتور

شکل ۴-۲۲: ژنراتور

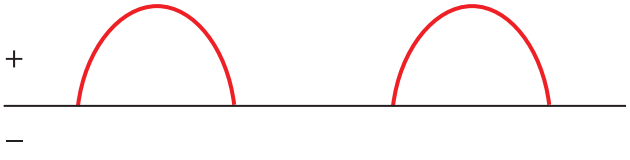
یکسوکننده ها یا رکتی فایر (RECTIFIERS)

جریان جوشکاری متناوب را می توان با استفاده از یک سری رکتی فایر ها (یکسوساز ها) به جریان مستقیم تبدیل کرد. همانطور که در شکل ۴-۲۳ رکتی فایر تنها اجازه می دهد که جریان در یک جهت حرکت کند.



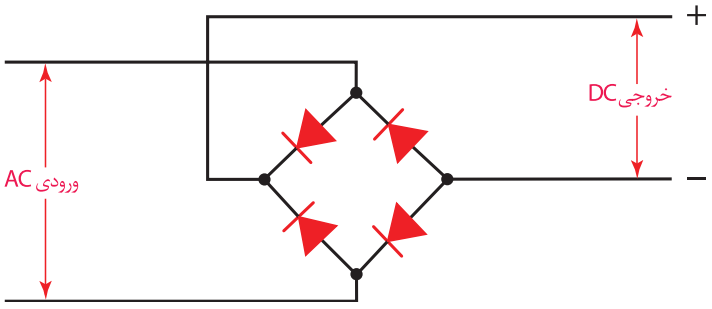
شکل ۴-۲۳: رکتی فایر

اگر یک رکتی فایر اضافه شود، توان جوشکاری همانند شکل ۲-۲۴ ظاهر می شود. البته جوشکاری با منبع پالسی شبیه این دستگاه، بسیار دشوار است.



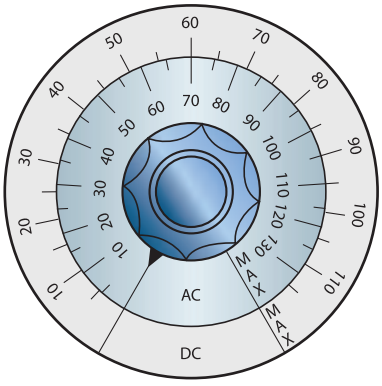
شکل ۴-۲۴: یک رکتی فایر در منبع قدرت جوشکاری در نتیجه تولید جریان پالسی

بنابراین برای تبدیل جریان متناوب AC به جریان مستقیم DC از یک سری رکتی فایر که با نام پل رکتی فایر نیز معروف هستند، استفاده می شود (شکل ۲-۲۵).



شکل ۴-۲۵: پل رکتی فایر

رکتی فایرها هنگامی که جریان AC را به DC تبدیل می کنند، داغ می شوند. از اینرو، باید یک فن خنک‌کننده (heat sink)- وسیله ای برای خنک کاری با هوا- بر روی رکتی فایر ها نصب شود تا عمل خنک کاری را انجام دهد. در غیر این صورت، گرمای تولید شده باعث کاهش راندمان دستگاه جوشکاری می شود. شکل ۴-۲۶ درجه بندی آمپر در یک دستگاه متداول را نشان می دهد.



شکل ۴-۲۶: تغییر آمپر در رکتی فایر ها

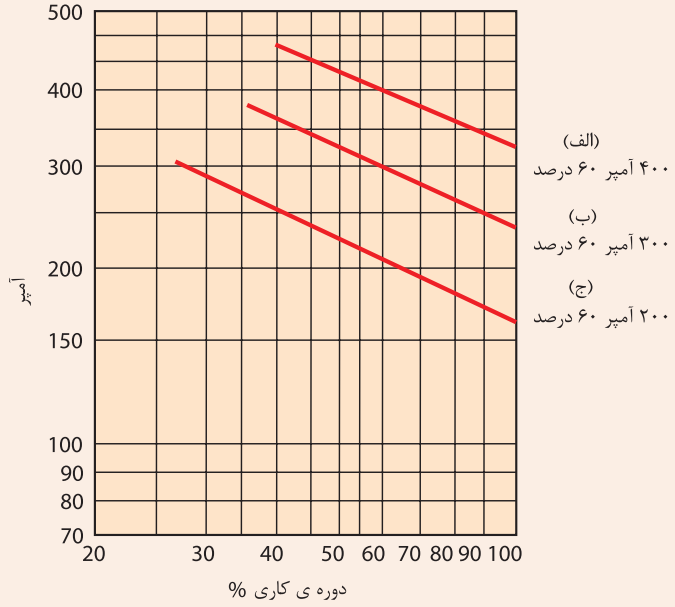
دوره ی کاری (DUTY CYCLE)

در هنگام جوشکاری در داخل دستگاه گرما تولید می شود، در هنگام جوشکاری دستی هنگام تعویض الکترود و تغییر وضعیت جوشکاری و قطعه کار، فرصت برای خنک شدن دستگاه وجود دارد، ولی در دستگاه‌های اتوماتیک این امکان وجود ندارد.

دوره‌ی کاری درصدی از زمان می‌باشد که یک ماشین جوشکاری می‌تواند به طور پیوسته کار کند. به عنوان مثال دوره‌ی کاری ۶۰ درصد به این معنی است که از هر ۱۰ دقیقه، دستگاه جوشکاری حداکثری می‌تواند ۶ دقیقه کار کند. بعد از تامین توان مورد نیاز در این سطح (۶ دقیقه جوشکاری)، باید ۴ دقیقه در هر ۱۰ دقیقه برای خنک شدن دستگاه صرف شود.

فعالیت

شکل ۴-۲۷ نمودار ارتباط بین آمپر و دوره کاری را نشان می دهد، به نظر شما با تغییر آمپر، duty cycle چه تغییری می کند؟



شکل ۴-۲۷: دوره ی کاری فرایند الکترود دستی

فعالیت کارگاهی

خواندن نمودار دوره ی کاری

با استفاده از یک مداد و کاغذ و نمودار دوره ی کاری که در شکل ۴-۲۷ نشان داده شده، به سوالات زیر پاسخ دهید؟

الف: درصد ماکزیمم دوره ی کاری در ماکزیمم آمپر را تعیین کنید؟

ب: ماکزیمم آمپر جوشکاری در ۱۰۰ درصد دوره ی کاری را محاسبه کنید؟

کابل های جوشکاری

کابل‌هایی که برای جوشکاری به کار می‌روند باید انعطاف‌پذیر، عایق خوب و اندازه مناسب برای کار مورد نظر باشند. در اکثر کابل‌های جوشکاری از سیم‌های مسی استاندارد استفاده می‌شود. برخی از کابل‌های تولیدی جدید، از جنس سیم‌های آلومینیوم می‌باشند، سیم‌های آلومینیومی نسبت به مسی سبک تر و ارزان‌تر هستند. به دلیل اینکه هدایت الکتریکی آلومینیوم در یک اندازه مشابه به خوبی مس نمی‌باشد، به عنوان یک نتیجه، سیم‌های آلومینیومی باید یک سایز بزرگتر از سیم‌های مسی در نظر گرفته شود. از آنجایی که کابل‌های جوشکاری در معرض جرقه‌های داغ، گریس، روغن، لبه‌های تیز و ضربه قرار می‌گیرند، باید از مقاومت خوبی برخوردار باشد.

هنگامی که جریان الکتریسیته در کابل جریان می‌یابد، مقاومت در برابر عبور جریان، باعث گرم شدن کابل شده و افت ولتاژ افزایش می‌یابد. برای به حداقل رساندن هدر رفت انرژی (توان) و جلوگیری از گرم شدن بیش از حد، کابل‌های الکترود باید سایز صحیح و دقیقی داشته باشند. جدول زیر حداقل سایز کابل مورد نیاز که برای هر آمپر را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱: سایز کابل های مسی و آلومینیومی

	Amperes		Copper Welding Lead Sizes								
	ft	m	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Length of Cable	50	15	2	2	2	2	1	1/0	1/0	2/0	2/0
	75	23	2	2	1	1/0	2/0	2/0	3/0	3/0	4/0
	100	30	2	1	1/0	2/0	3/0	4/0	4/0		
	125	38	2	1/0	2/0	3/0	4/0				
	150	46	1	2/0	3/0	4/0					
	175	53	1/0	3/0	4/0						
	200	61	1/0	3/0	4/0						
	250	76	2/0	4/0							
	300	91	3/0								
	350	107	3/0								
	400	122	4/0								

	Amperes		Aluminum Welding Lead Sizes								
	ft	m	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Length of Cable	50	15	2	2	1/0	2/0	2/0	3/0	4/0		
	75	23	2	1/0	2/0	3/0	4/0				
	100	30	1/0	2/0	4/0						
	125	38	2/0	3/0							
	150	46	2/0	3/0							
	175	53	3/0								
	200	61	4/0								
	225	69	4/0								

تمرین

تعیین سایز کابل جوشکاری

با استفاده از یک مداد و کاغذ و جدول سایز کابل که در شکل ۴-۱ نشان داده شده، به سؤالات زیر پاسخ دهید؟

۱- حداقل سایز کابل جوشکاری مسی برای ۲۰۰ آمپر و یک کابل با طول ۳۰ متر را محاسبه کنید؟

۲- حداقل سایز کابل جوشکاری مسی برای ۱۲۵ آمپر و یک کابل با طول ۶۹ متر را محاسبه کنید؟

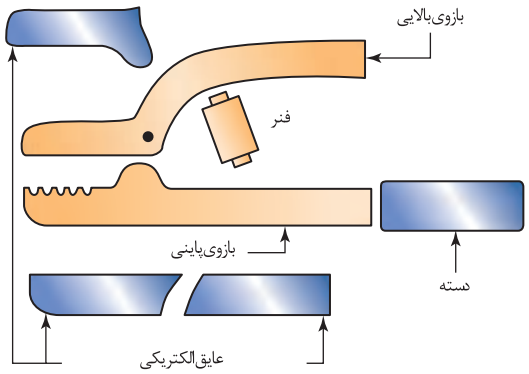
۳- حداکثر طول کابل آلومینیومی جوشکاری که می تواند ۳۰۰ آمپر را حمل کند، تعیین کنید؟

انبر الکترود (ELECTRODE HOLDERS)

انبر های الکترود (نگهدارنده الکترود) جوشکاری باید در نرخ آمپر مناسب طراحی شوند و دارای عایق خوب برای جوشکاری ایمن باشند. اینها طوری طراحی می شوند که در بیشترین و کمترین نرخ آمپر، استفاده شوند. آمپر بسیار بالا باعث داغ شدن و سوختن نگهدارنده می شود. اگر نگهدارنده در رنج های آمپری که استفاده می شود، بسیار بزرگ باشد، جابه جایی سخت می شود و باعث خستگی اپراتور می شود. معمولاً بر روی انبر الکترود مقدار ظرفیت آمپر را درج می کنند (شکل ۴-۲۸).

شکل ۴-۲۸: انبر الکترود

همانطور که در شکل ۴-۲۹ نشان داده شده است، فنرها، فک ها، عایق ها دسته ها و پیچ ها بخش هایی از انبر الکترود هستند که قابل تعویض می باشند.



شکل ۴-۲۹: قسمت قابل تعویض انبر الکترود

نکته

هرگز انبر الکترودی که در اثر آمپر زیاد بیش از حد داغ شده است را در داخل آب برای سرد شدن نگذارید.

فعالیت کارگاهی

تعمیر انبر الکترود

با استفاده از دستورالعمل های شرکت های تولید کننده انبر، بر اساس نوع انبر الکترود، ابزارهای دستی و قسمت های قابل جایگزین در انبر الکترود به صورت زیر عمل کنید:

توجه: قبل از شروع هر کاری اطمینان حاصل کنید که دستگاه جوشکاری خاموش است و کابل اتصال به دستگاه قطع شده باشد.

۱. انبر الکترود را از کابل جوشکاری جدا کنید
۲. روکش عایق را فک انبر الکترود خارج کنید
۳. روکش عایق را بر روی انبر الکترود جایگزین کنید
۴. انبر الکترود را به کابل جوشکاری متصل کنید
۵. دستگاه جوشکاری را روشن کنید
۶. جوشکاری کنید و ببینید تعمیر انبر الکترود بدرستی انجام شده است

انبر اتصال (WORK CLAMPS)

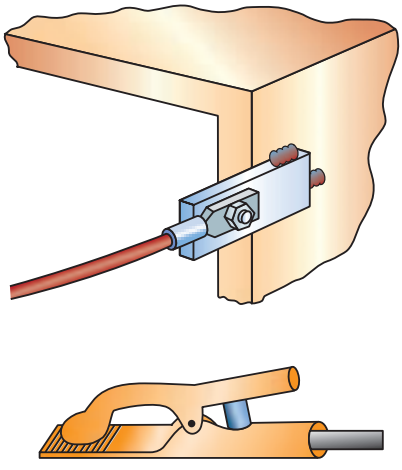
اندازه انبر اتصال باید به درستی بر اساس آمپر انتخاب شود، و همچنین باید هنگام جوشکاری بر روی قطعات مورد اتصال سفت و محکم باشد. تاثیر گرما بر روی انبر اتصال مانند انبر الکترود است و موجب هدر رفت انرژی می شود، قابل توجه است که این هدر رفت اغلب توسط اپراتورها نادیده گرفته می شود. اتصال باید به دقت گاهی اوقات بررسی شود تا از در تماس بودن انبر با قطعه کار اطمینان حاصل شود. علاوه بر این، هدر رفت انرژی به دلیل اتصال ضعیف انبر به بدنه قطعه، باعث تشکیل قوس نامناسب در حین جوشکاری می‌شود. همچنین قرار دادن انبر اتصال در مکان نامناسب باعث وزش قوس می شود.

سؤال

برای جلوگیری از وزش قوس چه راه حلی پیشنهاد می کنید؟

نکته

در مواقعی که قطعه کار حین جوشکاری جابه جا می شود، از انبر اتصال آج دار استفاده کنید.



شکل ۴-۳۰: انبر اتصال

فعالیت کارگاهی

بر قراری قوس الکتریکی

دستور کار:

قبل از شروع کار، ابتدا تجهیزات ایمنی مورد نیاز برای کار جوشکاری که شامل ماسک یا کلاه جوشکاری، محافظ چشم و گوش، دستکش جوشکاری، لباس کار مناسب و پیش بند چرمی است را تهیه کنید و سپس تمرین فوق را انجام دهید:

۱- تجهیزات فنی: دستگاه جوشکاری آماده و تنظیم شده همراه حفاظ ایمنی مناسب

۲- مواد مورد نیاز: الکترود E۶۰۱۰ یا E۶۰۱۳ با قطر ۳ میلیمتر- پلیت فولادی با ضخامت ۶ میلیمتر

۳- نوع کار عملی: بر قرار قوس الکتریکی و گرده سازی بر اساس نقشه ۴-۱ (شکل ۴-۳۱)

نکات فنی

الکترود را نزدیک پلیت قرار دهید، سپس الکترود را بر روی پلیت آرام بکشید، به عبارتی دیگر بر روی آن خراش ایجاد کنید (شکل ۴-۳۲). زمانی که قوس ایجاد شد، به آرامی الکترود را بلند کنید تا یک طول قوس مطلوب برسید، الکترود را در یک نقطه نگه دارید تا اندازه جوش مورد نظر برسید، سپس به آرامی الکترود را به سمت جلو حرکت دهید تا مهره جوش و یا گرده جوش ایجاد شده طویل تر شود.

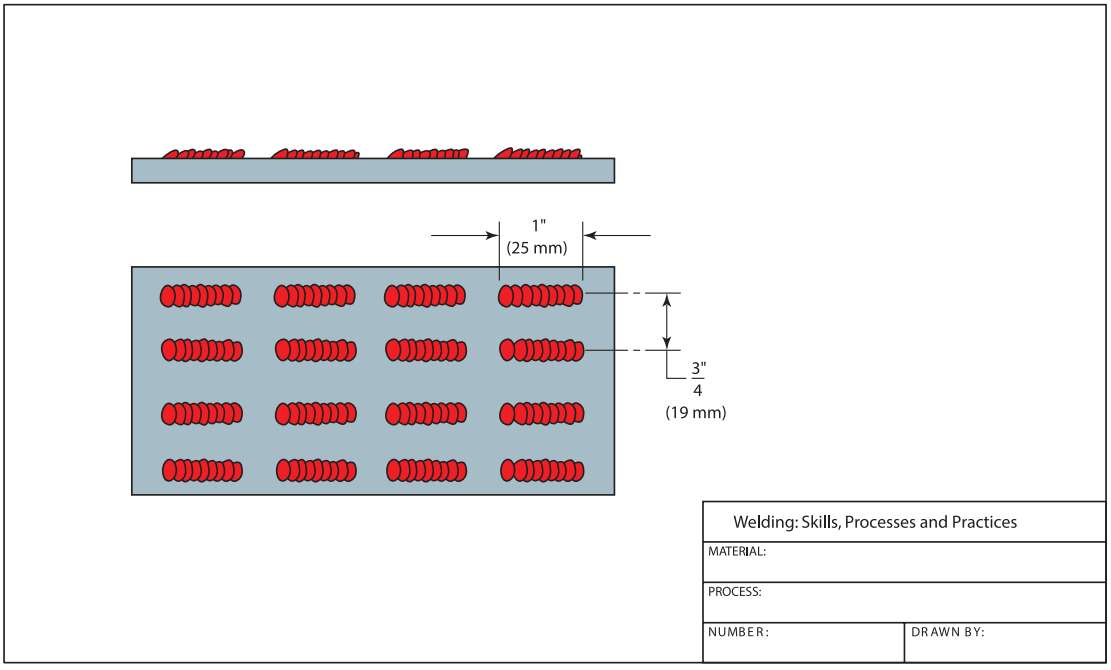
توجه داشته باشید در برخی مواقع به دلیل نزدیک کردن زیاد الکترود به سطح قطعه، الکترود به آن می‌چسبد، در این شرایط، سریعاً انبر الکترود را فشار دهید تا الکترود از آن خارج شود و سپس الکترود را از سطح قطعه جدا کنید. به الکترود بدون دستکش دست نزنید چون هنوز داغ است. اگر فلاکس (پوشش) در قسمت انتهایی الکترود جدا شده، الکترود را تعویض کنید چون با الکترود ی که روکش آن جدا شده نمی توان قوس بر قرار کرد بعداً قسمت بدون روکش را بریده و مجدداً از آن استفاده کنید.

پس از پایان کار، دستگاه جوش را خاموش کنید و محدوده ای که مشغول به کار بودید را تمیز کنید. فلزات دور ریز را در محفظه‌ای که مخصوص جمع آوری آن‌ها ست قرار دهید.

شکل ۴-۳۱: بر قراری قوس

شکل۴-۳۲: برقراری قوس با الکترودی که روکش آن کنده‌شده (عدم برقرار قوس پایدار)

نقشه شماره ۴-۱



فعالیت کارگاهی

خال جوش زدن

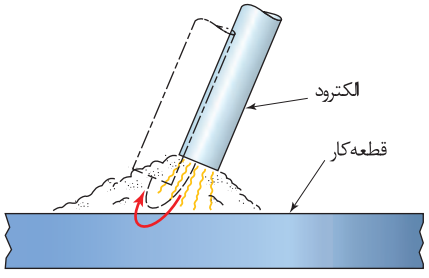
دستور کار:

قبل از شروع کار، ابتدا تجهیزات ایمنی مورد نیاز برای کار جوشکاری که شامل ماسک یا کلاه جوشکاری، محافظ چشم و گوش، دستکش جوشکاری، لباس کار مناسب و پیش بند چرمی است را تهیه کنید و سپس تمرین فوق را انجام دهید:

۱- تجهیزات فنی: دستگاه جوشکاری آماده و تنظیم شده همراه حفاظ ایمنی مناسب

۲- مواد مورد نیاز: الکترود E۶۰۱۱ یا E۶۰۱۳ با قطر ۳,۲۵ میلیمتر- پلیت فولادی با ضخامت ۶ میلیمتر

۳- نوع کار عملی: بر قراری قوس الکتریکی و خال جوش زدن (به جهت حرکت الکترود در شکل ۴-۳۳ توجه کنید)



شکل ۴-۳۳: نحوه الکترود در حین خال جوش زدن

آمپر بسیار کم و زیاد در کیفیت جوش تأثیر دارد

با توجه به جدول ۴-۲ هر الکترود باید در یک آمپر (شدت جریان) مشخص به کار روند. به عنوان مثال، جوشکاری با جریان بسیار پایین نتیجه آن ذوب ناقص و نا پایداری قوس می باشد (شکل ۴- ۳۴). جوش ممکن است دارای ناخالصی سرباره یا گاز شود به دلیل اینکه حوضچه مذاب جوش به اندازه کافی جریان پیدا نکرد و در نتیجه فلاکس هم واکنش خوبی نداشته است. همچنین این جریان بسیار پایین ممکن است موجب عدم نفوذ در پایین پلیت شود.

جدول ۴-۲: رنج آمپر برای الکترودهای جوشکاری متداول در فرایند الکترود دستی

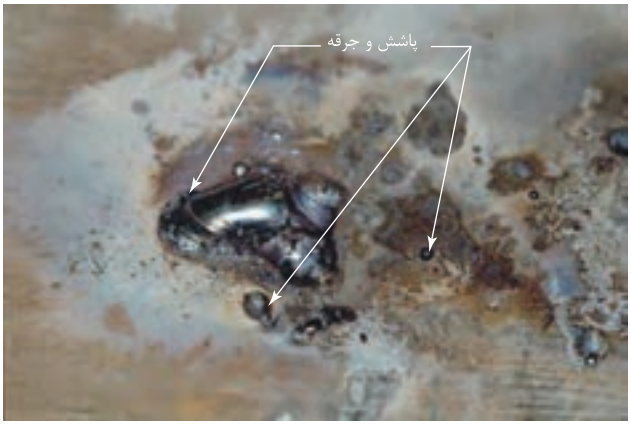
Electrode	Classification					
Size	E6010	E6011	E6012	E6013	E7016	E7018
32/3 in. (2.4 mm)	110–70	105–75	85–40	90–40	70–50	80–40
8/1 in. (3.2 mm)	165–90	150–100	120–70	130–75	125–85	130–70
32/5 in. (4 mm)	220–125	190–140	160–130	200–120	160–130	165–110

باجریان بسیار پایین ، ولتاژ قوس بسیار پایین است. طول قوس پایین نتیجه آن اتصال کوتاه و چسبیدن الکترود بر روی سطح پلیت می باشد.
مغز الکترود در حمل مقدار جریان الکتریکی محدودیت دارد. زمانیکه جریان افزایش می یابد، سیم (مغز الکترود) به دلیل مقاومت الکتریکی داغ می شود این پیش گرمایی سیم موجب می شود که برخی از مواد شیمیایی داخل پوشش الکترود زودتر بسوزند (شکل ۴- ۳۵) در نتیجه ازدست دادن بالانس عناصر شیمیایی از ترکیب الکترود موجب ناپایداری قوس می شود.

شکل ۴-۳۴: جوشکاری با آمپر بسیار پایین

شکل ۴-۳۵: جوشکاری با آمپر بسیار بالا

افزایش طول قوس باعث پاشش جرقه بیش از حد می شود. جوشی که در نتیجه آمپر بالا ایجاد شود یک سطح صاف و پهنی خواهد داشت، و همچنین نفوذ آن عمیق تر خواهد بود. به دلیل بالا بودن دمای جرقه‌ها، هنگام برخورد با سطح قطعه به آن می چسبند و پس از سرد شدن، به راحتی نمی توان آن ها را از سطح فلز جدا کرد(شکل ۴-۳۶).



شکل ۴-۳۶: پاشش سخت شده بر روی فلز پایه

فعالیت کارگاهی

تاثیر تغییرات شدت جریان بر روی جوش

دستور کار:

قبل از شروع کار، ابتدا تجهیزات ایمنی مورد نیاز برای کار جوشکاری که شامل ماسک یا کلاه جوشکاری، محافظ چشم و گوش، دستکش جوشکاری، لباس کار مناسب و پیش بند چرمی است را تهیه کنید و سپس تمرین مربوطه را انجام دهید:

۱- تجهیزات فنی : دستگاه جوشکاری آماده و تنظیم شده همراه حفاظ ایمنی مناسب

۲- مواد مورد نیاز: الکترود E۶۰۱۰ و E۶۰۱۳ با قطر ۳,۲۵ میلیمتر- دو پلیت فولادی یکی با ضخامت ۶ میلیمتر و دیگری با ضخامت ۱۳ میلیمتر (ضخیم)

۳- نوع تمرین عملی: بررسی تاثیر افزایش و کاهش شدت جریان بر روی جوش (مهره جوش، گرده جوش، کیفیت جوش)

۴- حالت اول: دستگاه جوشکاری را روی آمپر ۹۰ با جریان AC یا DCRP تنظیم کنید، سپس قوس را برقرار کنید و در حدود ۲۵ میلیمتر جوشکاری کنید سپس شدت جریان را به اندازه ۱۰ آمپر افزایش دهید، قوس را برقرار کنید و در حدود ۲۵ میلیمتر دیگر جوشکاری کنید, و همین فرآیند تا بالاترین آمپر دستگاه جوشکاری خود ادامه دهید.

۵- حالت دوم: الکترود را عوض کنید و دستگاه جوشکاری را دوباره بر روی ۹۰ آمپر تنظیم کنید و در حدود ۲۵ میلیمتر بر روی پلیت جوش کاری کنید، شدت جریان را به مقدار ۱۰ آمپر کاهش دهید، این فرآیند را تا کمترین آمپر تکرار کنید، سپس دو حالت (دو پلیت) را باهم مقایسه کنید، از لحاظ عرض جوش، اندازه حوضچه ، پاشش، سهولت در برداشتن سرباره و نفوذ بررسی کنید . همچین مقدار الکترود باقی مانده را در دو حالت مقایسه کنید، و در قالب یک گزارش ارائه دهید.

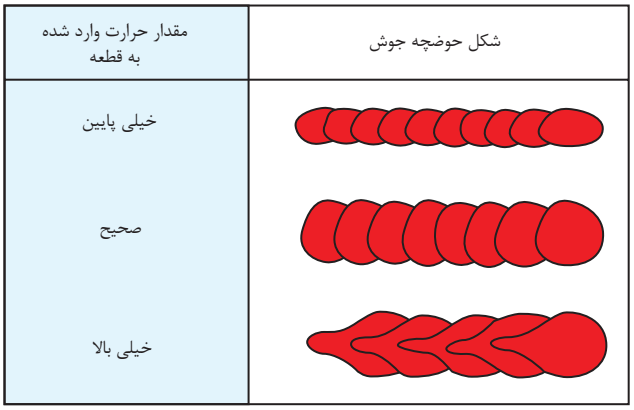
توجه: تنظیم شدت جریان در حین جوشکاری، باعث خراب شدن دستگاه می شود، در نتیجه برای تنظیم دستگاه ابتدا جوشکاری را قطع کنید و سپس دستگاه را تنظیم نمایید و مجدد جوشکاری کنید.

اندازه الکترود و مقدار گرما وارد شده به قطعه رابطه مستقیمی دارند

انتخاب اندازه صحیح الکترود جوش کاری برای یک جوش توسط برخی از عوامل زیر تعیین می شود.

- مهارت جوشکاری،
- ضخامت فلز مورد جوش کاری،
- اندازه فلز،
- کدها و استانداردهای جوش کاری

استفاده از الکترودهایی با قطر کمتر نیاز بر مهارت کمتری نسبت به الکترودهای با قطر بزرگ دارد. همچنین الکترود قطر کمتر نرخ رسوب کمتری نسبت به الکترود بزرگتر دارد. اگر برای اتصال قطعات کوچک و نازک از الکترود با قطر بزرگ استفاده شود، باعث گرم شدن بیش از حد آن می شود و ممکن است به قطعه آسیب وارد شود. به طور کلی برای تعیین اینکه آیا دما گرده جوش یا گرما وارده شده به قطعه زیاد است یا نه به شکل انتهای جوش ها در شکل ۴-۳۷ نگاه کنید.



شکل ۴-۳۷: تاثیر گرما وارد شده به قطعه بر روی شکل حوضچه جوش

موج‌های گرد و یکنواخت همانند شکل ۴-۳۷ نشان می دهد که جوش به صورت یکنواخت سرد شده است و گرما بیش از حد نبوده است اگر موج به صورت نقطه ای ایجاد شود، بیانگر این است که فرآیند سرد شدن جوش بسیار آهسته بوده و زیر گرما وارد شده به قطعه بسیار زیاد بوده است. گرما بیش از حد باعث سوختگی جوش می شود. و هنگامی که سوختگی جوش اتفاق می افتد تعمیر آن سخت است.

برای رفع مشکلات ناشی از گرمای بیش از حد، جوشکاری می توان از راهکارهای زیر استفاده کرد:

۱- کاهش آمپر

۲- استفاده از طول قوس کوتاه

۳- به کار گیری قطعه بزرگتر

۴- به کارگیری الکترود با قطر کمتر

فعالیت کارگاهی

تاثیر گرما بیش از حد بر جوش

دستور کار:

قبل از شروع کار، ابتدا تجهیزات ایمنی مورد نیاز برای کار جوشکاری که شامل ماسک یا کلاه جوشکاری، محافظ چشم و گوش، دستکش جوشکاری، لباس کار مناسب و پیش بند چرمی است را تهیه کنید و سپس تمرین مربوطه را انجام دهید:

۱- تجهیزات فنی: دستگاه جوشکاری آماده و تنظیم شده همراه حفاظ ایمنی مناسب

۲- مواد مورد نیاز: الکترود E۶۰۱۰ یا E۶۰۱۳ با قطر ۳,۲۵ میلیمتر - سه پلیت فولادی با ضخامت‌های متفاوت: پلیت اول: ۳ میلیمتر- پلیت دوم: ۵ میلیمتر- پلیت سوم: ۶ میلیمتر

۳- نوع تمرین عملی: حالت اول- ابتدا بر روی پلیت ها به صورت زنجیره ای جوشکاری کنید. جوشکاری در شرایط آمپر، سرعت پیشروی و طول قوس ثابت در هر سه پلیت انجام شود. در انتها این ۳ پلیت را از لحاظ ظاهر، پهنای مهره جوش تقویتی مقایسه کنید.

۴- حالت دوم- در این مرحله جوشکاری در شرایطی متفاوت از مرحله اول انجام شود، به طوری که آمپر مشابه به حالت قبلی، سرعت پیشروی و طول قوس را تغییر دهید و یک جوش اضافی به روی پلیت اول و پلیت دوم ایجاد کنید، سپس ظاهر جوش، پهنای مهره جوش و .... را با هم مقایسه کنید.

۵- حالت سوم- در این مرحله، یک جوش اضافی روی پلیت اول و دوم در شرایط برابر با ابتدای آزمایش، طول قوس و سرعت پیشروی برابر، اما آمپر را تغییر دهید (آمپر را کاهش دهید)، سپس پهنای مهره جوش (گرده جوش) را از لحاظ ظاهری مقایسه کنید.

طول قوس (ARC LENGTH)

طول قوس به فاصله که قوس باید پرش کند از نوک الکترود روی سطح پلیت یا جوش گفته می‌شود. همانگونه که جوش پیشرفت می کند و ادامه می یابد الکترود کوتاه تر می شود یا به عبارتی دیگر مصرف می‌شود. برای ثابت نگهداشتن طول قوس به الکترود باید به طور پیوسته کاهش یابد یعنی به سمت پلیت پایین آورده شود. پایدار نگهداشتن طول قوس بسیار مهم است، و تغییر بزرگ در طول قوس تاثیر منفی برروی جوش خواهد داشت.

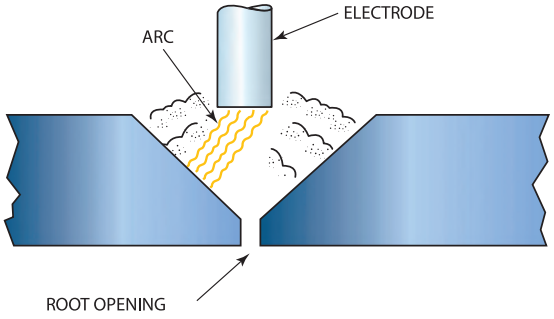
زمانی که طول قوس کم می‌شود فاصله انتقال قطره مذاب کاهش یافته در نتیجه الکترود به قطعه کار می‌چسبد (شکل ۴-۳۸). جوشهایی که در نتیجه طول قوس کوتاه ایجاد می‌شوند، بسیار باریک، محدب و برجسته می باشند (شکل ۴- ۳۹).

فاکتورهایی موثر بر طول قوس؛ نوع الکترود، طرح اتصال ضخامت فلز و جریان جوشکاری می‌باشند.

شکل ۴-۳۸: جوشکاری با طول قوس بسیار کم

شکل ۴-۳۹: جوشکاری با طول قوس بسیار زیاد

اتصالاتی که عمیق و باریک هستند، قوس به یک سمت کشیده می‌شود و به ریشه نمی‌رسد (شکل ۴-۴۰) به عنوان نتیجه ، ذوب ریشه جوش کاهش می یابد یا ممکن است معیوب شود بنابراین موجب ایجاد یک جوش ضعیف خواهد شد، اگر یک طول قوس بسیار کوتاه استفاده شود، قوس به ریشه جوش خواهد رسید و ذوب بهتری اتفاق می‌افتد.

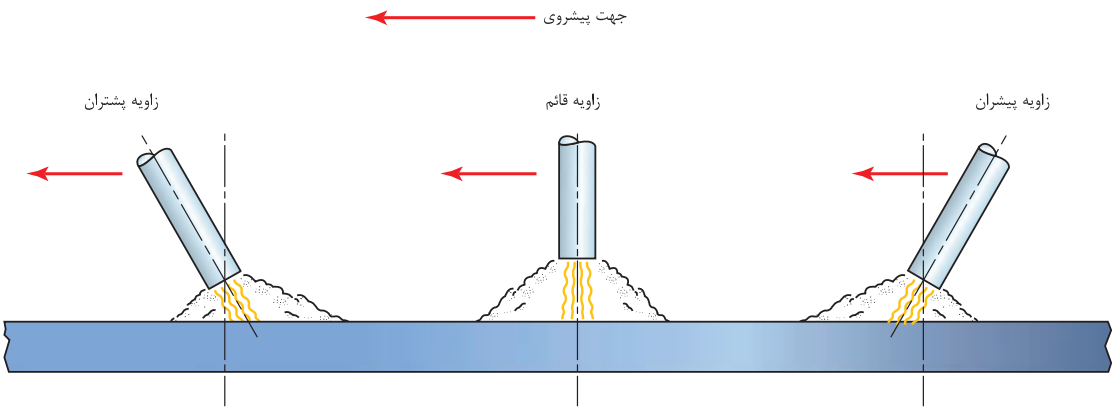


شکل ۴-۴۰: پرش قوس به سمت نزدیکترین جزء، در نتیجه عدم نفوذ در ریشه

به دلیل اینکه قوس های کوتاه، گرما و نفوذ کمتری ایجاد می کنند، آن ها برای جوش کاری فلزات نازک تر و یا اتصال نازک به ضخیم بسیار مناسب هستند. آمپر بالا برای پایدار کردن قوس کوتاه نیاز است تا یک ذوب خوب باحداقل ناخالصی سرباره ای ایجاد کند. بهترین طول قوس مورد نیاز در جوشکاری ۳ میلیمتر است چنانچه وقتی که از الکترود با قطر ۳ میلیمتر استفاده می شود. اما این فاصله متغیر است . هنگامی شرایط جوش کاری تغییر می کند طول قوس نیز باید تغییر کند.

زاویه الکترود (ELECTRODE ANGLE)

به زاویه بین الکترود و سطح فلز مورد اتصال، زاویه الکترود گفته می‌شود. البته این زاویه متاثر از جهت پیشروی الکترود (جهت جوشکاری) می‌باشد. بر این اساس زاویه الکترود به دو صورت زاویه پیشران و زاویه پشتران تقسیم می‌کنند (شکل ۴-۴۱).



شکل ۴-۴۱: جهت پیشروی و زاویه الکترود

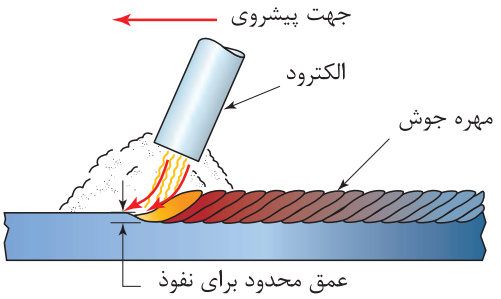
زاویه نسبی مهم است به دلیل اینکه نیروی جت، فلز و سرباره ای را که از انتهای الکترود خارج می شود را به سمت پلیت هدایت می کند.

زاویه پیشروی پیشران(leading angle)

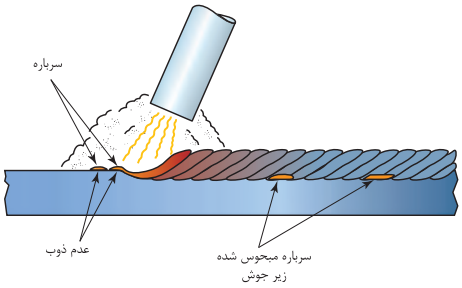
همانطور که در شکل ۴-۴۲ می بینید، این زاویه، فلز مذاب و سرباره را به سمت جلو گرده جوش هدایت می‌کند. اگر جوشکاری در حالت افقی انجام می شود، باید توجه داشت تا عیب روی هم رفتگی و یا ناخالصی سرباره در جوش ایجاد نشود. همانطور که در شکل ۴-۴۲ می بینید فلز جامدی که به جلو جوش هدایت شده، قبل از اینکه سطح فلز پایه ذوب شود، فلز پرکننده و سرباره را سرد و منجمد می کند. این سرد شدن سریع، از ذوب شدن فلزات با یکدیگر (فلز پایه و فلز پر کننده) جلو گیری می کند (شکل ۴-۴۳). در نتیجه مقدار ناخالصی سرباره ای و روی هم رفتگی جوش باقی می ماند. به طور کلی برای جلوگیری از باقی ماندن سرباره و بوجود آمدن عیب روی هم رفتگی جوش می توان مانند زیر عمل کنید.

- استفاده از زاویه پیشران کوچک تا حد ممکن،
- مطمئن شوید که قوس فلزات را کاملا ذوب می کنند (شکل ۴-۴۴)،
- ازالکترود نفوذی برای تشکیل گرده های کوچک استفاده کنند،
- قوس را به سمت جلو و عقب حرکت دهید برای ایجاد حوضچه مذاب کامل در دو لبه اتصال،

به طور کلی از زاویه پیشران در جایی که می خواهیم نفوذ را کاهش دهیم یا از ریزش فلزمذاب حین جوشکاری عمودی جلوگیری کنیم، استفاده می کنیم(شکل ۴-۴۵)

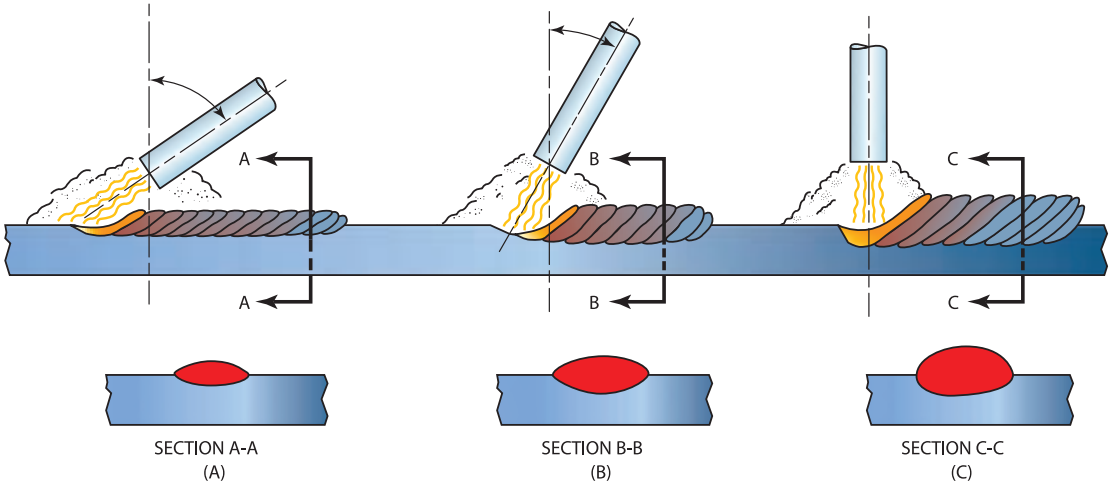


شکل ۴-۴۲: زاویه پیشران



شکل ۴-۴۳: ناخالصی سرباره در جوش

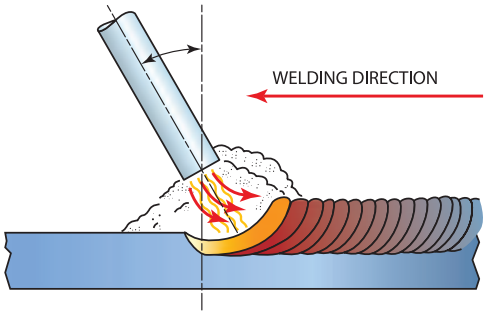
شکل ۴-۴۴: ذوب کامل



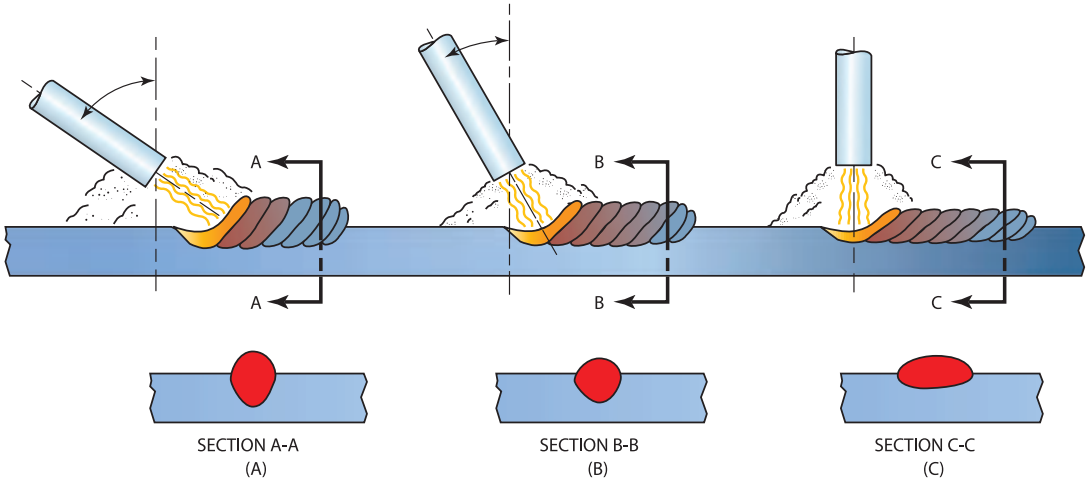
شکل ۴-۴۵: تاثیر زاویه پیشران روی تشکیل مهره جوش (گرده جوش)، پهنا و نفوذ جوش- با افزایش زاویه به سمت زاویه ۹۰ درجه نفوذ افزایش می یابد

زاویه پشتران (Trailing Angle)

همانطور که در شکل ۴-۴۵ می‌بینید، جوشکاری با این زاویه موجب می‌شود که فلز مذاب به سمت عقب (پشت حوضچه مذاب) هدایت می‌کند، جایی که سرد و منجمد می‌شود. در حالیکه فلز ذوب شده به پشت حوضچه هدایت می‌شود، قوس الکتریکی مقدار بیشتری از فلز مذاب را ذوب می‌کند، که موجب نفوذ عمیقتر می‌باشد. فلز مذاب، به سمت پشتی جوش سرد و منجمد شده هدایت می‌شود، که این امر موجب تقویت جوش می‌شود (شکل ۴-۴۶).



شکل ۴-۴۵: زاویه پشتران



شکل ۴-۴۶: تاثیر زاویه پشتران روی مقدار گرده جوش تشکیل شده، پهنا، نفوذ، سطح A-A به دلیل زاویه پیشران بزرگتر الکترود، گرده جوش بیشتر ایجاد شده است

فعالیت کارگاهی

بررسی تاثیر زاویه

دستور کار:

قبل از شروع کار، ابتدا تجهیزات ایمنی مورد نیاز برای کار جوشکاری که شامل ماسک یا کلاه جوشکاری، محافظ چشم و گوش، دستکش جوشکاری، لباس کار مناسب و پیش بند چرمی است را تهیه کنید و سپس تمرین مربوطه را انجام دهید:

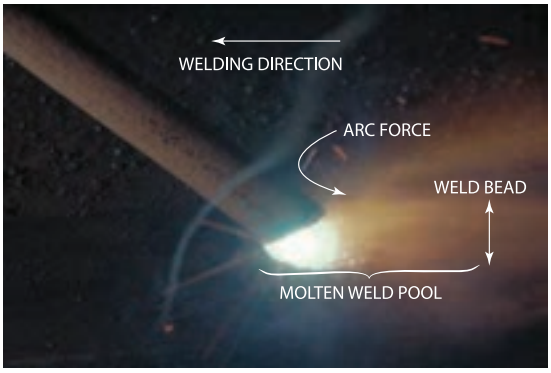
۱- تجهیزات فنی: دستگاه جوشکاری آماده و تنظیم شده همراه حفاظ ایمنی مناسب

۲- مواد مورد نیاز: الکترود E ۶۰۱۳ با قطر ۳,۲۵ میلیمتر- پلیت فولادی با ضخامت ۶ میلیمتر

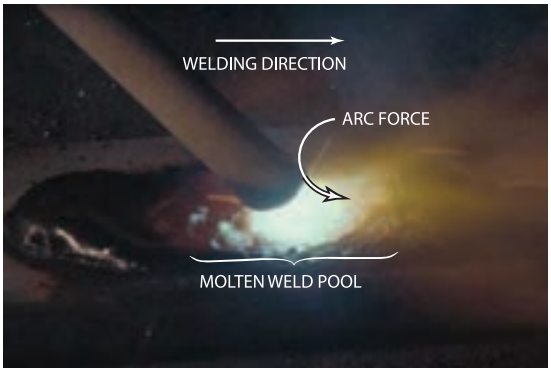
۳- نوع تمرین عملی: بررسی تاثیر تغییرات زاویه الکترود بر روی جوش

۴- جوشکاری را با زاویه پشتران زیاد شروع کنید، در حدود ۲۵ میلیمتر جوشکاری کنید. طوری جوشکاری کنید که حوضچه جوش را با چشم ببینید، به آرامی زاویه الکترود افزایش دهید، و تغییرات را بروی جوش مشاهده کنید(شکل۴-۴۷).

۵- هنگامی که زاویه به ۹۰ درجه رسید، یک جوش در حدود ۲۵ میلیمتر ایجاد کنید جوشکاری را با تغییر زاویه الکترود به پیشران ادامه دهید. به حوضچه جوش در نقاطی که در شکل (شکل ۴-۴۸) آمده است نگاه کنید. در طول جوشکاری، شما باید قوس و سرعت پیشروی را ثابت نگهدارید. در پایان نتایج را تحلیل کنید و به صورت یک گزارش ارائه دهید.



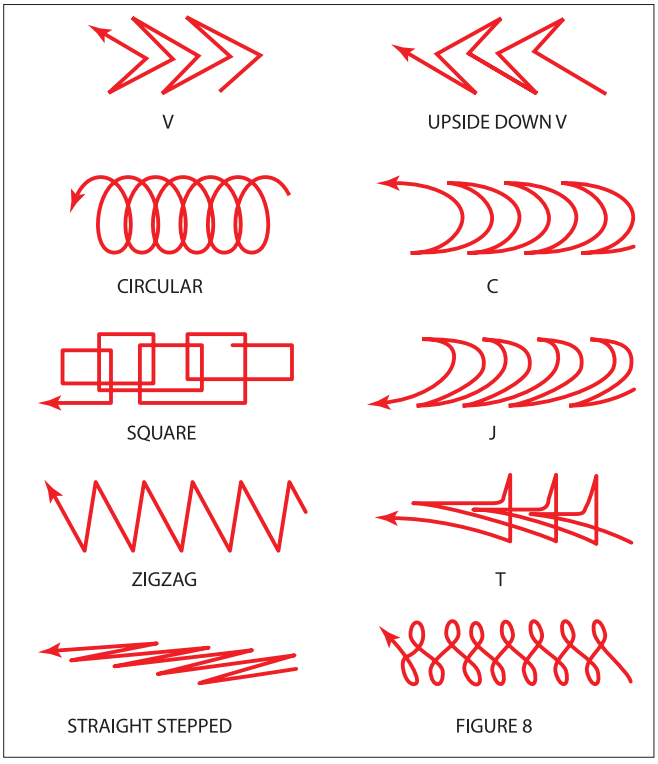
شکل ۴-۴۷: جوشکاری با زاویه پشتران



شکل ۴-۴۸: جوشکاری با زاویه پیشران

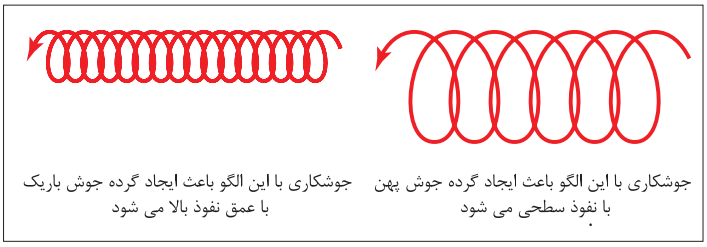
تکنیک‌های جوشکاری (ELECTRODE MANIPULATION)

جابه جایی و حرکت موجی شکل الکترود می تواند مشخصه هایی مانند نفوذ، پاشنه جوش ، عرض جوش، تخلخل، سوختگی کناره جوش، روی هم افتادگی و ناخالصی سرباره را کنترل کند. نوع الگوی حرکتی برای هر جوش به جوشکار بستگی دارد و بر اساس تجربه فرد انتخاب می شود. به هر حال، برخی از الگو ها برای بعضی از وضعیت های جوشکاری مناسب و مفید می باشد. الگو های بسیاری برای جوشکاری وجود دارد که جوشکاران می توانند از آن استفاده کنند (شکل ۴-۴۹).



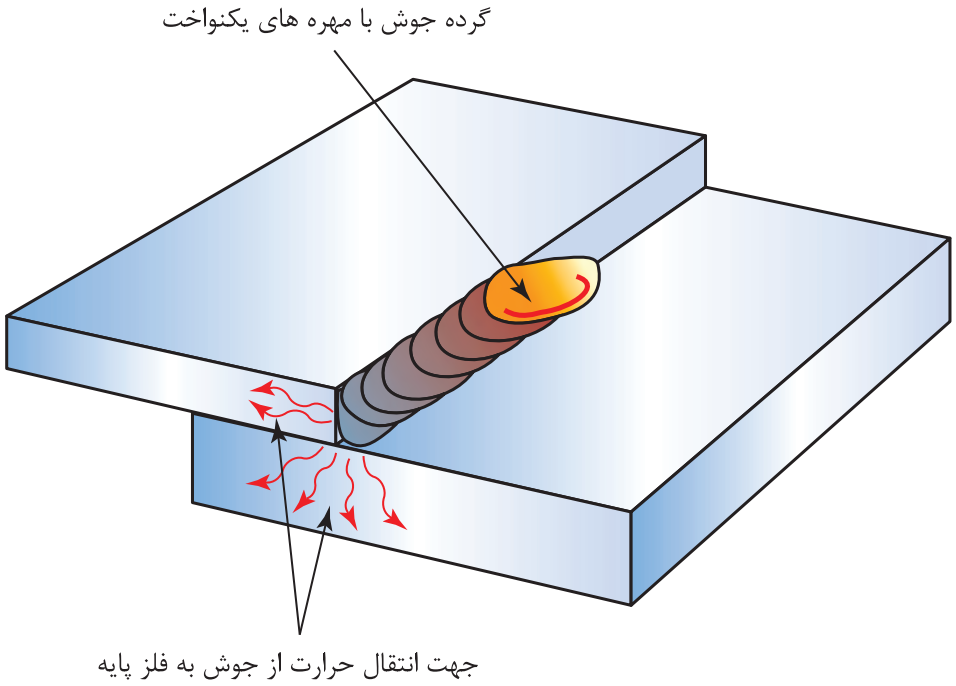
شکل ۴-۴۹: الگوهای حرکتی موجی شکل

ده نوع الگوی جوش کاری که برای اکثر شرایط های جوشکاری می تواند استفاده شود، در شکل ۴-۵۰ آمده است به عنوان مثال ، تکنیک دایره ای اغلب برای جوش کاری در حالت تخت برای اتصال لب به لب و سپری مورد استفاده قرار می گیرد. از این الگو برای گرده سازی و پوشش دهی استفاده می کنند.



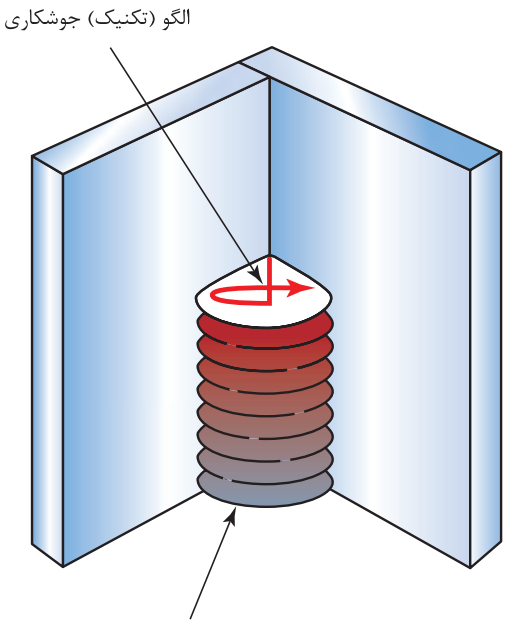
شکل ۴-۵۰: الگوی دایره ای شکل

با افزایش پهنای دایره‌ها می توان گرده ای پهن تر و نیز با نفوذ بالاتر ایجاد کرد(شکل ۴-۵۱). تکنیک دایره‌ای و تخت برای جوشکاری وضعیت تخت مناسب است. همچنین از این الگوها می توان در وضعیت عمودی هم استفاده کرد. قابل توجه است که از این تکنیک برای پر کردن اتصالاتی که دارای فاصله بزرگ (گپ بین دو قطعه) هستند، استفاده می شود. تکنیکJ برای اتصالات لب روی هم (۱F) و همه اتصالات عمودی (۳G) و افقی (۲F) لب روی هم بسیار خوب جواب می‌دهد مانند شکل ۴-۵۱ این تکنیک باعث می‌شود که گرما روی پلیت‌های ضخیم متمرکز می‌شود.

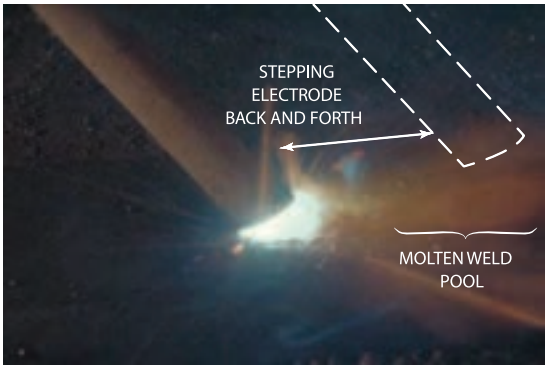


شکل ۴-۵۱: الگو J شکل اجازه می‌دهد تا گرما بروی قطعه ضخیم‌تر متمرکز شود

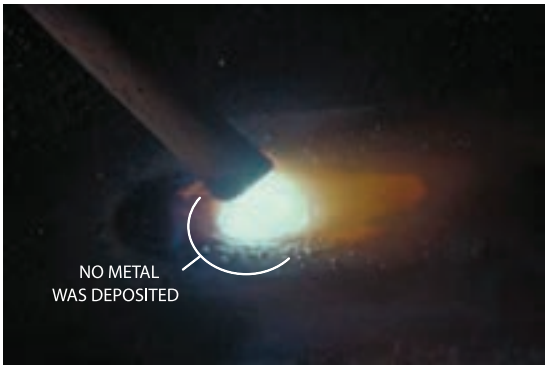
تکنیک (T) در جوش‌های گوشه در حالت های (3F) عمودی و (4F) بالای سر کاربرد دارد (شکل ۴-۵۲). همچنین برای جوش‌های شیاری با نفوذ عمیق کاربرد دارد. قسمت بالای تکنیک T برای پرکردن گلویی جوش به کار می‌رود برای جلوگیری از سوختگی کناره جوش به کار می‌رود. تکنیک مستقیم مرحله ای می‌تواند برای جوش‌های محکم ، پاس ریشه و چند پاسه برای همه وضیعت‌ها استفاده شود. برای این تکنیک کمترین مقدار فلز در یک زمان در مقایسه با سایر تکنیک ها ، ذوب می‌شود. در یک زمان مشابه که الکترود به سمت جلو مرحله به مرحله حرکت می‌کند، طول قوس افزایش می‌یابد. به طوری که هیچ فلزی در جلوی حوضچه جوش رسوب نمی‌کند شکل شکل (۴-۵۳، شکل ۴-۵۴) این عمل اجازه می‌دهد که حوضچه مذاب جوش در یک اندازه قابل کنترل سرد و منجمد شود. علاوه براین، قوس در حالت هر نقطه، روغن، رنگ را از روی سطح فلز می‌سوزاند و از بین می‌برد قبل از اینکه جوش آلوده شود.



شکل ۴-۵۲: الگو T معکوس

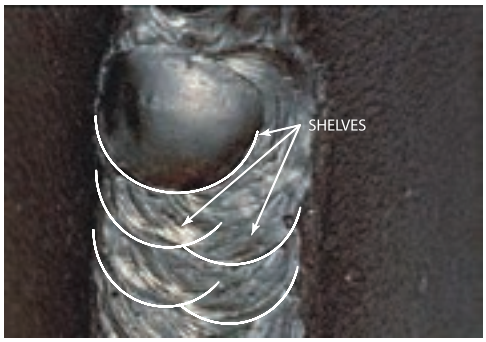


شکل ۴-۵۳: الکترود به آرامی به سمت جلو می رود و دوباره به حوضچه جوش بر می گردد



شکل ۴-۵۴: الکترود نمی تواند فلز پایه را ذوب کند و در جوش رسوب نماید

الگوهای ۸ شکل و زیگزاگ در وضیعت‌های تخت و عمودی، برای پاس‌های پوششی استفاده می‌شود. این تکنیک‌ها دارای نرخ رسوب بالایی می‌باشند و در حین استفاده از آنها نباید تعداد دفعات موج بیشتر از ۱/۲-۲ برابر قطر الکترود شود (شکل ۴-۵۵).



شکل ۴-۵۵-استفاده از شلف (مهره‌های بزرگ) برای محافظ از حوضچه جوش

فعالیت کارگاهی

گرده سازی و ایجاد خط جوش در وضعیت افقی با الکترودهای E۶۰۱۰, E۶۰۱۳, E۷۰۱۸

دستور کار:

قبل از شروع کار، ابتدا تجهیزات ایمنی مورد نیاز برای کار جوشکاری که شامل ماسک یا کلاه جوشکاری، محافظ چشم و گوش، دستکش جوشکاری، لباس کار مناسب و پیش بند چرمی است را تهیه کنید و سپس تمرین مربوطه را انجام دهید:

۱- **تجهیزات فنی:** دستگاه جوشکاری آماده و تنظیم شده همراه حفاظ ایمنی مناسب

۲- **مواد مورد نیاز:** الکترود هایی با قطر ۳,۲۵ میلیمتر- پلیت فولادی با ضخامت ۶ میلیمتر و طول ۱۵۲ میلیمتر

۳- **شروع جوشکاری از انتهای پلیت و ایجاد یک خط جوش مستقیم در طول کل پلیت**

۴- **در حین جوشکاری به حوضچه جوش نگاه کنید** (از ماسک و کلاه جوشکاری استفاده کنید)

۵- **این کار را برای هر یک از الکترودهای بالا تکرار کنید** (گرده سازی و ایجاد خط جوش)

۶- **پلیت را سرد کنید،** سپس به آن نگاه کنید آیا عیبی در آن مشاهده می‌کنید؟

۷- **در انتهای کار، محدوده‌ای که در آن در حال کار بوده‌اید را تمیز کنید** و ته مانده‌های الکترود و پلیت‌های جوشکاری شده را در محفظه‌ای که برای بازیابی در نظر گرفته شده، قرار دهید.

فعالیت کارگاهی

گرده سازی و ایجاد خط جوش در وضعیت عمودی با الکترودهای E۶۰۱۰, E۶۰۱۳, E۷۰۱۸

دستور کار:

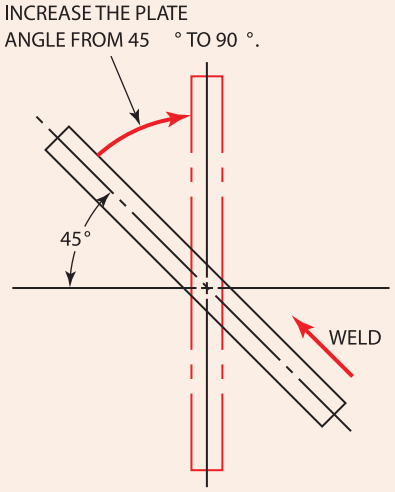
قبل از شروع کار، ابتدا تجهیزات ایمنی مورد نیاز برای کار جوشکاری که شامل ماسک یا کلاه جوشکاری، محافظ چشم و گوش، دستکش جوشکاری، لباس کار مناسب و پیش بند چرمی است را تهیه کنید و سپس تمرین مربوطه را انجام دهید:

۱- **تجهیزات فنی:** دستگاه جوشکاری آماده و تنظیم شده همراه حفاظ ایمنی مناسب

۲- **مواد مورد نیاز:** الکترود هایی با قطر ۳,۲۵ میلیمتر- پلیت فولادی با ضخامت ۶ میلیمتر و طول ۱۵۲ میلیمتر

۳- **گرده سازی و ایجاد خط جوش در وضعیت عمودی**- برای شروع زاویه الکترود را در حالت ۴۵ درجه

قرار دهید و جوشکاری کنید.
این تکنیک شبیه همان جوشکاری در وضعیت عمودی است، با این حال مهارت کمتری نسبت به وضعیت عمودی نیاز دارد، و این روش کمک می کند که مهارتتان را افزایش دهید. پس از کسب مهارت در این حالت، زاویه را به آرامی در چند مرحله افزایش دهید تا به وضعیت عمودی برسید (شکل ۴-۵۶).
۴- پلیت را سرد کنید، سپس به آن نگاه کنید آیا عیبی در آن مشاهده می کنید؟ این کار را برای هر یک از الکترودهای بالا تکرار کنید (گرده سازی و ایجاد خط جوش) تا مهارت در ایجاد خط جوش در وضعیت عمودی را کسب کنید.
۵- در انتهای کار، محدوده ای که در آن در حال کار بوده اید را تمیز کنید و ته مانده‌های الکترود و پلیت‌های جوشکاری شده را در محفظه‌ای که برای بازیابی در نظر گرفته شده، قرار دهید.



شکل ۴-۵۶: افزایش زاویه تمرین ایجاد خط جوش از ۴۵ به ۹۰ درجه

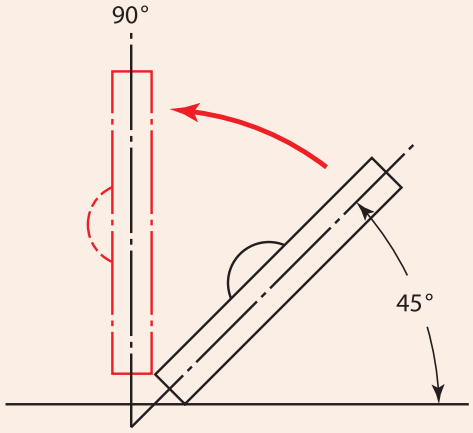
فعالیت کارگاهی

گرده‌سازی و ایجاد خط جوش در وضعیت افقی با الکترودهای E۶۰۱۰, E۶۰۱۳, E۷۰۱۸
دستور کار:
قبل از شروع کار، ابتدا تجهیزات ایمنی مورد نیاز برای کار جوشکاری که شامل ماسک یا کلاه جوشکاری، محافظ چشم و گوش، دستکش جوشکاری، لباس کار مناسب و پیش بند چرمی است را تهیه کنید و سپس تمرین مربوطه را انجام دهید:
۱- تجهیزات فنی: دستگاه جوشکاری آماده و تنظیم شده همراه حفاظ ایمنی مناسب
۲- مواد مورد نیاز: الکترود هایی با قطر ۳,۲۵ میلیمتر- پلیت فولادی با ضخامت ۶ میلیمتر و طول ۱۵۲ میلیمتر

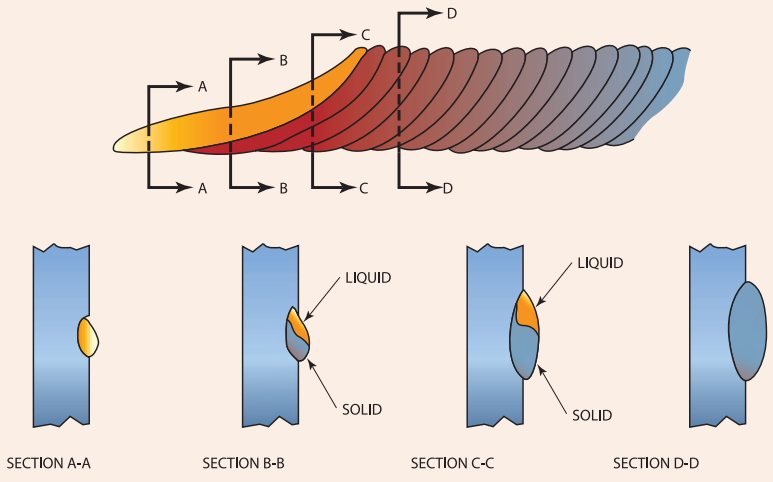
۳- گرده‌سازی و ایجاد خط جوش در وضعت افقی- همانطور که در شکل ۴-۵۷ نشان داده شده، قطعه ابتدا باید در زاویه ۴۵ درجه قرار گیرد و سپس به آرامی به زاویه درجه برسد، سعی می‌کند حداقل سه زاویه متفاوت را تست کنید تا به وضعیت افقی برسید، این تکنیک به شما کمک می‌کند تا به مهارت مورد نیاز برای جوشکاری در حالت افقی برسید. الگو J برای جوشکاری در این حالت بسیار مناسب می‌باشد (شکل ۴-۵۸).

۴- پلیت را سرد کنید، سپس به آن نگاه کنید آیا عیبی در آن مشاهده می‌کنید؟ این کار را برای هر یک از الکترودهای بالا تکرار کنید (گرده سازی و ایجاد خط جوش) تا مهارت در ایجاد خط جوش در وضعیت افقی را کسب کنید.

۵- در انتهای کار، محدوده‌ای که در آن در حال کار بوده‌اید را تمیز کنید و ته مانده‌های الکترود و پلیت‌های جوشکاری شده را در محفظه‌ای که برای بازیابی در نظر گرفته شده، قرار دهید.



شکل ۴-۵۷: تغییر زاویه الکترود همزمان با افزایش مهارت

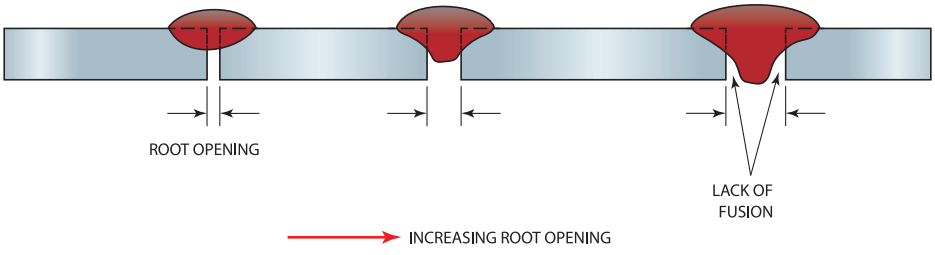


شکل ۴-۵۸: پیشرفت جوشکاری در حالت افقی

اتصال لب به لب مربعی (SQUARE BUTT JOINT)

همانطور که در شکل ۴-۵۹ می‌بینید، دو پلیت بوسیله جوش مقطعی (Tack Weld) به یکدیگر متصل می‌شوند. به فاصله بین دو پلیت ریشه باز یا شکاف ریشه گفته می‌شود. تغییر در اندازه ریشه باز تاثیر بر نفوذ جوش می‌گذارد. با افزایش فاصله بین دو قطعه، مقدار نفوذ نیز افزایش می‌یابد. مقدار ریشه باز برای اکثر اتصالات بین ۰ تا ۳ میلیمتر می‌باشد. ریشه باز بسیار بزرگ باعث سوختگی در ریشه جوش می‌شود (شکل ۴-۶۰).

شکل ۴-۵۹: مقطعی باید کوچک و یکنواخت باشد تا تاثیر به جوش نهایی نداشته باشد



شکل ۴-۶۰: اثر ریشه باز بر روی نفوذ جوش

فعالیت کارگاهی

جوشکاری اتصال لب به لب مربعی در وضعیت تخت با الکترودهای E۶۰۱۰, E۶۰۱۳, E۷۰۱۸

دستور کار:

قبل از شروع کار، ابتدا تجهیزات ایمنی مورد نیاز برای کار جوشکاری که شامل ماسک یا کلاه جوشکاری، محافظ چشم و گوش، دستکش جوشکاری، لباس کار مناسب و پیش بند چرمی است را تهیه کنید و سپس تمرین مربوطه را انجام دهید:

۱- تجهیزات فنی: دستگاه جوشکاری آماده و تنظیم شده همراه حفاظ ایمنی مناسب

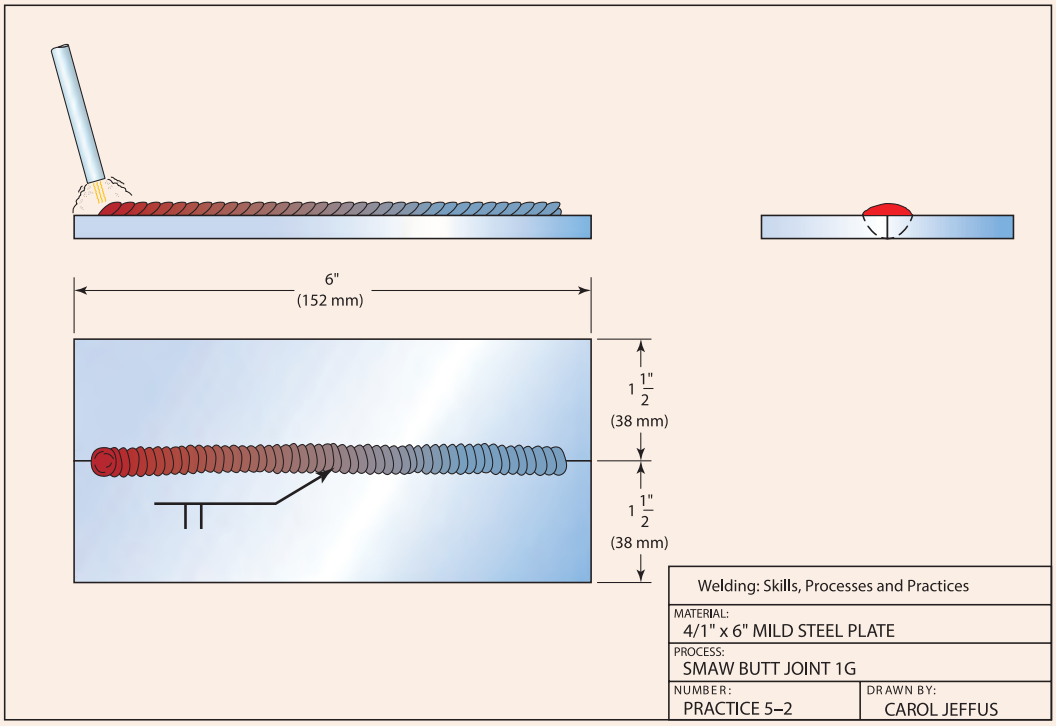
۲- مواد مورد نیاز: الکترود هایی با قطر ۳,۲۵ میلیمتر- پلیت فولادی با ضخامت ۶ میلیمتر و طول ۱۵۲ میلیمتر

۳- ایجاد اتصال لب به لب در حالت تخت (نقشه ۴-۲)

ابتدا دو پلیت را با جوش مقطعی یا خال جوش بر روی میز جوشکاری به یکدیگر به صورت جزیی متصل کنید. قوس را در دو انتهای پلیت قوس را بر قرار کنید و یک حوضچه جوش بین دو پلیت تشکیل دهید، الکترود را در حوضچه نگه دارید تا اتصال بر قرار شود. بعد از ایجاد یک پل ارتباطی بین دو پلیت به واسطه خال جوش زدن، الکترود را به صورت موجی شکل در طول اتصال حرکت دهید.

توجه داشته باشید که حین جوشکاری نباید با صورت الکترود را در عرض اتصال حرکت دهید، در این صورت سرباره در داخل جوش محبوس خواهد شد و عیب ناخالصی ایجاد خواهد شد (شکل ۴-۶۱)

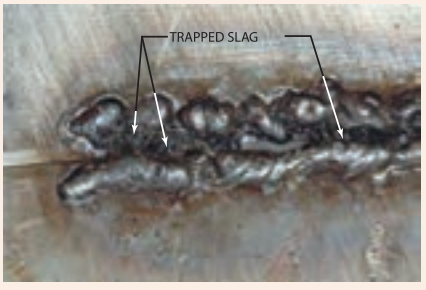
نقشه شماره ۴-۲



کل طول ۱۵۲ میلیمتر پلیت را جوشکاری کنید، معمولاً در این نوع اتصالات نیازی به نفوذ کامل نمی‌باشد. توجه داشته باشید که اگر نیاز به نفوذ عمیق بود، دو راه وجود دارد، ۱- افزایش فاصله بین پلیت ۲- آماده‌سازی لبه‌ها که اصطلاحا پخ سازی می‌نامند، یعنی لبه پلیت را زاویه بدهیم.

۴- پلیت را سرد کنید، سپس به آن نگاه کنید آیا عیبی در آن مشاهده می‌کنید؟ این کار را برای هریک از الکترودهای بالا تکرار کنید (گرده‌سازی و ایجاد خط جوش) تا مهارت در جوشکاری دو پلیت به صورت لب به لب مربعی در وضعیت تخت را کسب کنید.

۵- در انتهای کار، محدوده‌ای که در آن در حال کار بوده‌اید را تمیز کنید و ته مانده‌های الکترود و پلیت‌های جوشکاری شده را در محفظه‌ای که برای بازیابی در نظر گرفته شده، قرار دهید.



شکل ۴-۶۱: عیب ایجاد شده در اثر حرکت سریع الکترود در عرض جوش

فعالیت کارگاهی

جوشکاری اتصال لب به لب مربعی در وضعیت عمودی با الکترودهای E۶۰۱۰, E۶۰۱۳, E۷۰۱۸

دستور کار:

قبل از شروع کار، ابتدا تجهیزات ایمنی مورد نیاز برای کار جوشکاری که شامل ماسک یا کلاه جوشکاری، محافظ چشم و گوش، دستکش جوشکاری، لباس کار مناسب و پیش بند چرمی است را تهیه کنید و سپس تمرین مربوطه را انجام دهید:

۱- تجهیزات فنی: دستگاه جوشکاری آماده و تنظیم شده همراه حفاظ ایمنی مناسب

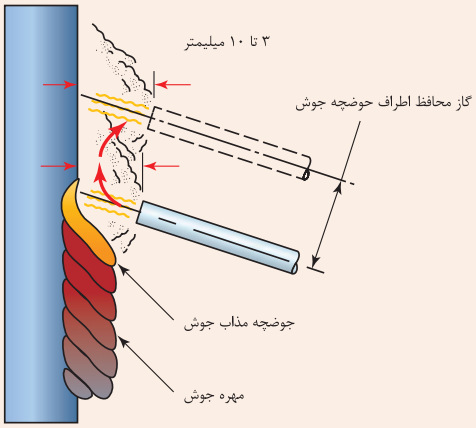
۲- مواد مورد نیاز: الکترود هایی با قطر ۳,۲۵ میلیمتر- پلیت فولادی با ضخامت ۶ میلیمتر و طول ۱۵۲ میلیمتر

۳- ایجاد اتصال لب به لب در حالت در زاویه ۴۵ درجه، جوشکاری را از انتهای لبه پایینی پلیت شروع کنید، قبل از آن انتهای دو پلیت را در ناحیه اتصال خال جوش بزنید تا بهم متصل شوند. در این حالت از الگوهای C و J برای جوشکاری در این حالت استفاده کنید(نقشه شماره ۴-۳).

همانطور که در شکل ۴-۶۲ نشان داده شده، هنگامی که الکترود به سمت بالای جوش حرکت می کند، طول قوس به آرامی افزایش می یابد که نتیجه آن نرخ رسوب که فلز مذاب در ناحیه اتصال می باشد، بنابراین هنگامی که الکترود را مجدد به سمت جوش بر می گردانید، باید طول قوس را کاهش دهید تا فلز مذاب رسوب کند. توجه داشته باشید که جوشکاری در حالت عمودی کمی دشوار است، از اینرو برای افزایش مهارتتان باید پلیت ها در زاویه ۴۵ درجه قرار دهید، و در صورت کسب مهارت در این وضعیت زاویه قرار گیری پلیت را افزایش دهید تا به وضعیت عمودی برسید، و در نهایت تمرین را در وضعیت عمودی را ادامه دهید.

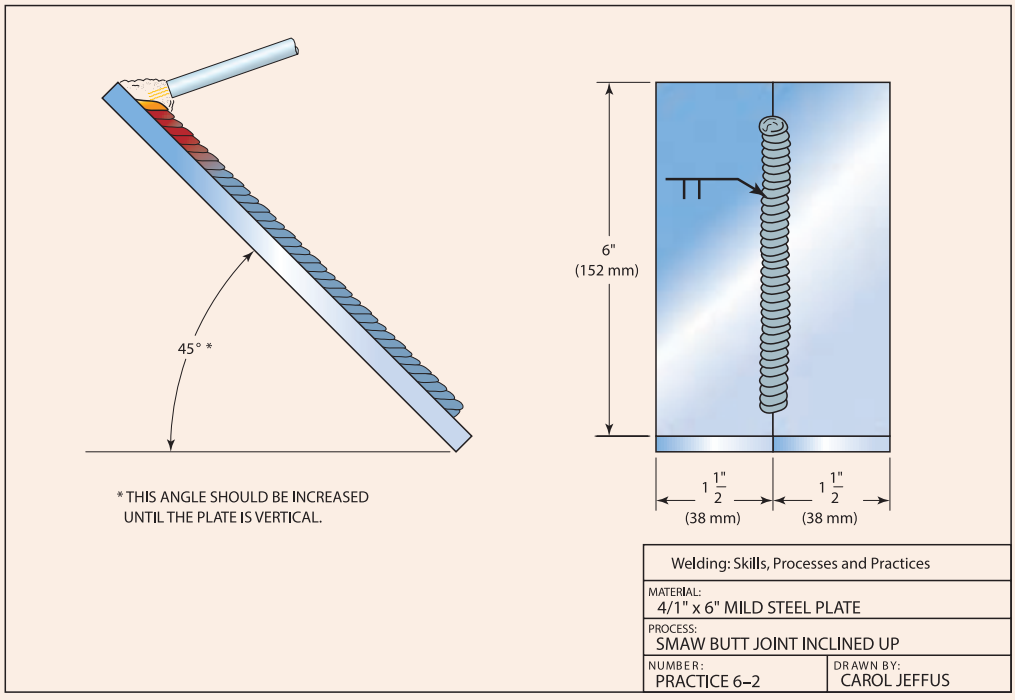
۴- پلیت را سرد کنید، سپس به آن نگاه کنید آیا عیبی در آن مشاهده می کنید؟ این کار را برای هر یک از الکترودهای بالا تکرار کنید (گرده سازی و ایجاد خط جوش) تا مهارت در جوشکاری دو پلیت به صورت لب به لب مربعی در وضعیت عمودی را کسب کنید.

۵- در انتهای کار، محدوده ای که در آن در حال کار بوده اید را تمیز کنید و ته مانده‌های الکترود و پلیت‌های جوشکاری شده را در محفظه ای که برای بازیابی در نظر گرفته شده، قرار دهید.



شکل ۴- ۶۲: تکنیک حرکت دست در حالت عمودی

نقشه شماره ۴-۳



ارزشیابی پایانی

شرح کار:
۱. ایجاد دو گرده جوش خطی موازی با فاصله محوری ۲ میلی متر و پر کردن میان آن دو با تکنیک جوش نوسانی

استاندارد عملکرد:
جوشکاری خطی و یا اتصال دو صفحه با طرح اتصال مربعی با تکنیک خطی یا نوسانی را با کارگیری دستگاه جوش الکترود دستی برابر WPS

شاخص‌ها:
تنظیم شدن جریان برابر جدول – جوشکاری و کنترل آن برابر نقشه
انتخاب الکترود برابر WPS – کنترل ابعاد اندازه ها برابر نقشه

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات: کارگاه جوشکاری الکترود دستی استاندارد با تهویه و نور کافی مجهز به سیستم سرمایشی و گرمایشی

شرایط: زمان: ۱ ساعت

ابزار و تجهیزات: دستگاه جوشکاری، پلیت، الکترود E۶۰۱۳ و لوازم جانبی ایمنی فردی

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	آماده سازی	۱	
۲	گرده سازی	۲	
۳	کنترل نهایی	۱	
۴			
۵			
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: استفاده از لوازم ایمنی کار فردی-رعایت ایمنی در هنگام کار با دستگاه جوشکاری- توجه به نکات زیست محیطی	۲	
	میانگین نمرات		*

* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است .