بخش اول

اصول جوشکاری

فصل اول

جوشکاری با قوس الکتریکی و الکترود روپوش‌دار SMAW

هدف‌های رفتاری

پس از پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که:

۱. چگونگی جوشکاری با قوس و الکترود روپوش‌دار را توضیح دهد.

۲. روش‌های مختلف تشکیل قوس را شرح دهد.

۳. جریان الکتریسیته مناسب برای جوشکاری‌های قوسی را معرفی کند.

۴. استفاده از قطب‌های جریان و خصوصیات آنها را شرح دهد.

۵. پارامترهای مؤثر در قوس و نقش آنها را بیان کند.

۶. رابطهٔ پارامترهای قوس و تأثیر آنها بر هم را توضیح دهد.

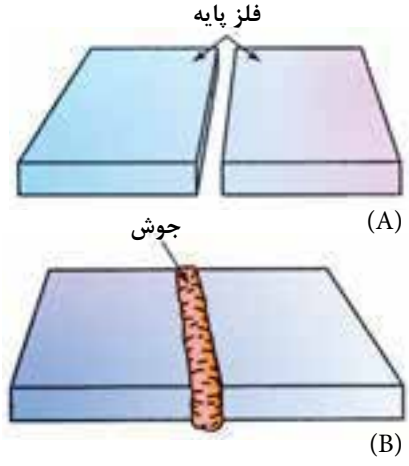
ـ تعریف جوشکاری با قوس الکتریکی و الکترود روپوش‌دار SMAN

این فرایند یک نوع جوشکاری ذوبی است که لبه‌های کار در اثر گرمای قوس الکتریکی ذوب شده و مذاب لبه‌ها به کمک مذاب حاصل از ذوب الکترود با هم مخلوط شده و سپس منجمد شده و قطعات به هم جوش می‌خورند.

ابتدا به وسیله الکترود ذغالی و سپس با الکترود فلزی بدون روپوش فرایند جوشکاری قوس الکتریکی شکل گرفت و در سال ۱۹۰۵ میلادی الکترود روپوش‌دار کشف شد که باعث سادگی شروع کار و بهبود پایداری قوس و کیفیت جوش گردید و کاربرد آن روز به روز گسترش یافت پژوهش‌های مختلف توسط انجمن‌های جوشکاری از جمله انجمن جوشکاری آمریکا AWS و انجمن مهندسین آمریکا ASME صورت گرفته و کماکان ادامه دارد و با عنوان استانداردهای مختلف ارائه می‌گردد.

در این روش به دلیل روپوش الکترود امکان جوشکاری اتوماسیون وجود ندارد و همواره از روش دستی استفاده می‌شود.

از طرفی به دلیل قابلیت‌های زیاد از جمله حمل و نقل راحت و امکان استفاده از کابل‌های بلندتر در صورت نیاز و استفاده از الکترودهای متنوع از نظر آلیاژ در زمینه ساخت و تعمیرات به کار گرفته می‌شود. همچنین به دلیل پایداری قوس و امکان جوشکاری در هوای آزاد و در ارتفاع امروزه در ساخت ساختمان‌های فولادی، پل‌های فلزی، کشتی‌سازی، سازه‌های دریایی، قالب‌های بتن و دریچه‌های سدها، دکل مخابرات، مخازن تحت فشار، جوشکاری لوله گاز و نفت و سایر تأسیسات نفتی و... کاربرد فراوان دارد.



شکل ۱-۱

● چگونگی جوشکاری قوس الکتریکی و الکترود روپوش دار SMAW:

بیشترین اتصالات جوشی، با روش ذوب فلز مبنا در دو طرف خط اتصال ساخته می‌شود، فلز ذوب شده یک حوضچه مذاب بین دو قطعه ایجاد می‌کند[1] حوضچه مذاب جامد شده، پل فلزی پیوسته‌ای تولید می‌کند که قادر به انتقال نیرو بوده و آب بندی نیز می‌باشد. شکل (۱-۱)

با استفاده از جریان برق الکترود فلزی قوس را به وجود آورده و خود در گرمای قوس

۱ - در صورت لزوم برای پر کردن مقطع جوش فلز اضافی نیز به آن افزوده می‌شود.

ذوب شده و روپوش الکترود هم سوخته و ذوب شده و به دلیل کمتر بودن جرم حجمی روی مذاب را می‌پوشاند و پس از انجماد، گل جوش یا سرباره را تشکیل می‌دهد.

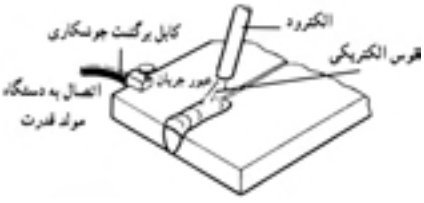
پس می‌توان گفت عوامل لازم برای جوشکاری یعنی انرژی حرارتی برای ذوب و محافظت از مذاب هر دو از طریق الکترود روپوش‌دار عملی می‌شود. (شکل ۲-۱)

بر این اساس این فرایند را جوشکاری قوس الکتریکی با الکترود روپوش‌دار گویند.[1]

شکل ۲-۱

۱-۱ قوس الکتریکی و چگونگی تشکیل آن

قوس الکتریکی در اثر تخلیه بار الکتریکی در فاصله هوایی بین دو قطب جریان به وجود می‌آید که با نور و حرارت همراه است. در حقیقت اگر دو قطب جریان یا الکترود و قطعه کار را به هم تماس داده و سپس در فاصله کمی از یکدیگر قرار گیرند، به‌خاطر فشار الکتریکی الکترون‌ها از قطب منفی به قطب مثبت پرش کرده و جرقه‌های اولیه ایجاد می‌شود. این جرقه ها موجب یونیزه شدن[2] گاز بین دو قطب می‌شود. الکترون‌های جریان برق از فاصله هوایی بین آن دو قطب عبور می‌کنند. این عمل باعث گرم شدن نوک الکترود می‌شود و الکترون‌های آزادِ درون الکترود میل به خروج پیدا کنند. همچنین با توجه به اینکه یون‌ها و الکترون‌ها سریعاً به طرف قطب‌های مخالف خود در قوس حرکت می‌کنند و با برخورد الکترون‌ها با اتم‌های گاز موجود بین دو قطب جریان، موجب افزایش یونیزاسیون و پایداری قوس می‌گردد. (شکل ۳-۱)



شکل ۳-۱

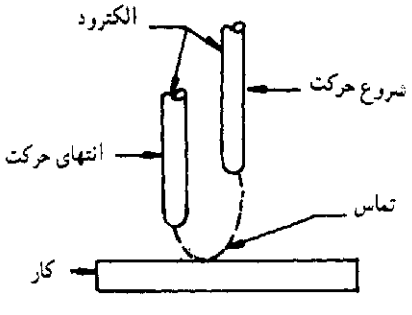
البته برای ایجاد قوس ولتاژ بیشتری لازم است ولی ادامه قوس با ولتاژ کمتری عملی است.

۱-۱-۱ روش‌های تشکیل قوس الکتریکی

برای ایجاد قوس از روش‌های زیر استفاده می‌شود:

- تماس دو قطب جریان به هم (شکل ۴-۱)
- با استفاده از ولتاژ و فرکانس بالا
- روش دور کردن تورچ از کار (Lift Arc)
- با استفاده از واسطهٔ بین الکترود و کار

● در روش تماسی مانند جوشکاری با الکترود روپوش‌دار ابتدا الکترود را به کار



ایجاد قوس با پایین و بالا بردن الکترود (نوک زدن)

شکل ۴-۱

---

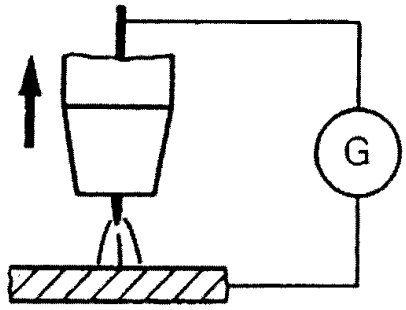
۱ - از روزهای اولیه استفاده این روش، در ایران به نام جوشکاری برق شناخته شده و هنوز هم متداول است.

۲ - گازهای یونیزه دارای یون‌های مثبت و الکترون آزاد هستند و هادی جریان الکتریسیته می باشند.

تماس داده و به آرامی تا فاصله چند میلی‌متری کار دور می‌کنیم یا مانند نوک زدن پرندگان با الکترود به کار ضربه زده و جدا می‌کنیم تا قوس شکل بگیرد. (شکل ۴-۱)

در این روش ولتاژ مدار باز(O.C.V)[1] حدود ۸۰ تا ۹۰ ولت است و در اثر شروع قوس و یونیزه شدن گازهای بین دو قطب به نصف یا کمتر هم خواهد رسید.

- شروع قوس در جوشکاری با گاز محافظ و الکترود بدون روپوش (GMAW یا MIG/MAG) نیز با رسیدن نوک الکترود به کار و ذوب شدن قسمتی از نوک سیم و ایجاد گرمای زیاد، یونیزاسیون گاز محافظ اتفاق می‌افتد و قوس شکل می‌گیرد.
- همچنین در روش SAW یا جوشکاری زیر پودری هم امروزه این روش متداول است. در این روش الکترود به کار رسیده و کمی برگشت کرده تا قوس از طریق تماس الکترود به کار شکل گیرد.
- **روش استفاده از واسطه بین الکترود و کار:** در گذشته به ویژه در جوشکاری زیر پودری یا در روش سرباره الکتریکی[2] متداول بوده در این روش با استفاده از پشم فولادی بین الکترود و کار در لحظه شروع قوس به دلیل اتصال کوتاه، پشم فولادی بین دو قطب جریان ذوب و تبخیر و قوس پایدار تشکیل می‌گردد.
- **ایجاد قوس با ولتاژ و فرکانس بالا:** در جوشکاری با الکترود تنگستن و گاز محافظ یعنی روش GTAW=TIG چون تماس الکترود با کار موجب خراب شدن نوک الکترود شده و از طرف دیگر امکان ورود فلز تنگستن به کار می‌رود، از روش فرکانس زیاد High Frequence استفاده می‌شود.



شکل ۵-۱

روش کار به این صورت است که انرژی الکتریکی در خازن ذخیره است و با فشار دکمه‌ای که روی مشعل - تورچ است بدون تماس در فاصله حدود ۲ سانتی‌متری یا بیشتر الکترون‌ها از الکترود جدا شده و به سمت کار می‌روند این جهش موجب یونیزه شدن گاز محافظ شده و قوس پایدار شکل می‌گیرد. آنگاه ولتاژ و فرکانس اضافی حذف می‌شود. (شکل ۵-۱)

● روش دور کردن تورچ از کار Lift Arc

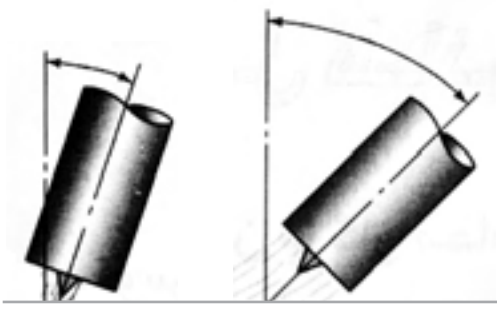
نحوه شروع قوس به این صورت است که الکترود تنگستن به کار تماس داده و دکمه مخصوص قطع و وصل روی تورچ جوشکاری را فشار داده ولی هیچ اتفاقی نمی‌افتد. اگر

---

۱ - ولتاژ مدار باز (Open Circute Voltage): ولتاژ دو سر کابل‌های جوشکاری است زمانی که دستگاه روشن است ولی جوشکاری انجام نمی‌شود.

۲- روش سرباره الکتریکی یکی از روش‌های ذوبی برای جوشکاری قطعات ضخیم است.

به آرامی نوک الکترود تنگستن را از کار جدا کنیم (بهتر است به طور مایل) قوس در همان لحظه شکل می‌گیرد، چون گازهای محافظ راحت یونیزه می‌شوند. (شکل ۶-۱)



شکل ۶-۱

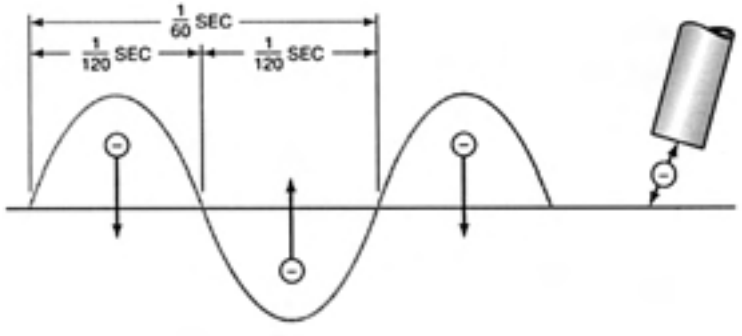
۲-۱ جریان مناسب در جوشکاری‌های قوسی

هر دو جریان AC و DC در جوشکاری‌های قوسی مورد استفاده واقع می‌شود و مواردی هم وجود دارد که فقط یکی از جریان AC یا DC جواب‌گوی نیاز جوشکاری است.

آیا تفاوت این دو جریان را به خاطر دارید و می‌دانید که حرکت الکترون‌ها در یک هادی چگونه است.

جریان مستقیم (DC) یعنی این‌که الکترون‌ها در یک جهت حرکت می‌کنند (یک‌سو هستند) به عبارت دیگر یکی از قطب‌ها مثبت و دیگری قطب منفی است علامت جریان DC (=) است.

جریان متناوب (AC) یعنی جهت حرکت الکترون‌ها دو سویه یا رفت و برگشتی و جای قطب‌های جریان در هر ثانیه ۵۰ تا ۶۰ بار عوض می‌شود و علامت جریان (~) است. (شکل ۷-۱)



شکل ۷-۱

جریان الکتریسیته دارای دو عامل مؤثر است یعنی شدت جریان و فشار الکتریکی عامل سوم به مسیر عبور جریان بستگی دارد که مقاومت الکتریکی معروف است.

این عامل‌ها را یادآوری کرده و تعریف کاربردی را شرح خواهیم داد.

۱-۲-۱ مزایا و معایب جریان AC

جریان AC مطابق آن‌چه که در شکل (۷-۱) مشاهده می‌کنید دارای یک موج سینوسی است و در هر ثانیه ۵۰ تا ۶۰ بار جای قطب‌ها عوض می‌شود و لحظه‌هایی هم به صفر می‌رسد در این لحظه قوس قطع می‌شود و دوباره شکل می‌گیرد در بعضی از دستگاه‌های جوشکاری ولتاژ به سمت ولتاژ مدار باز افزایش می‌یابد که باعث دوباره روشن شدن قوس می‌گردد.

● مزایا

دستگاه‌های تولید کننده جریان AC یا ترانسفورماتورهای جوشکاری:

- ساده‌تر و ارزان‌تر هستند.
- هزینه نگهداری دستگاه‌ها کمتر است.
- گرما در کار و الکترود به طور مساوی تقسیم می‌شود.
- راندمان اقتصادی بالاتری دارد.
- وزش قوس یا انحراف قوس ندارد.

● محدودیت‌ها

- امکان تغییر قطب وجود ندارد.
- برای جوشکاری بعضی از فلزات مناسب نیست.
- استفاده از همه نوع الکترود روپوش‌دار میسر نیست.
- پایداری قوس کمتر است.
- در جوشکاری با آمپرهای کمتر، قوس دچار قطع وصل می‌شود.

۱-۲-۲ مزایا و معایب جریان DC

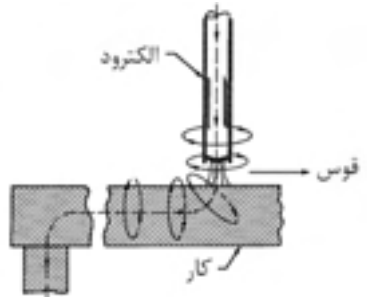
الف) مزایا

- قوس راحت‌تر تشکیل می‌شود و پایدارتر است.

- خطر شوک الکتریکی کمتر است.
- قوس آرام‌تر بوده و پاشش جرقه کمتر است.
- استفاده از همه نوع الکترودها امکان‌پذیر است.
- امکان استفاده از هر دو قطب جریان وجود دارد.
- دو سوم گرمای قوس الکتریکی در قطب مثبت متمرکز است.
- جوشکاری در وضعیت‌های مختلف راحت‌تر است.

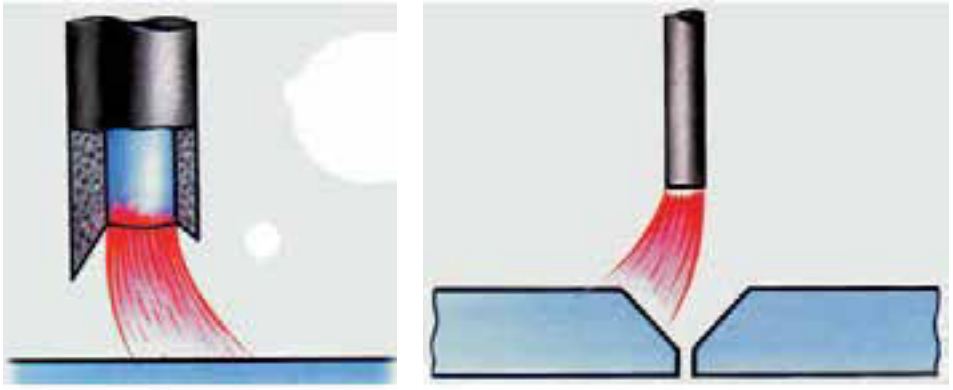
ب) معایب

در جوشکاری با جریان DC گاهی پدیده‌ای به نام وزش قوس یا دمش قوس (Arc blow) وجود دارد که در جریان AC وجود ندارد.



شکل ۸-۱

وزش قوس یا انحراف قوس یعنی این‌که قوس الکتریکی به طرفی کشیده شود، این انحراف قوس به دلیل وجود حوزه مغناطیسی است که در اطراف مسیر عبور جریان و عمود بر آن شکل می‌گیرد به شکل (۸-۱) توجه کنید حوزه مغناطیسی عمود بر الکترود جوشکاری و مسیر عبور جریان از محل اتصال به کابل اتصال تا محل تشکیل قوس شکل می‌گیرد و باعث انحراف قوس می‌شود به شکل (۹-۱) توجه کنید.


شکل ۹-۱

انحراف قوس باعث عیوب زیر می‌شود:

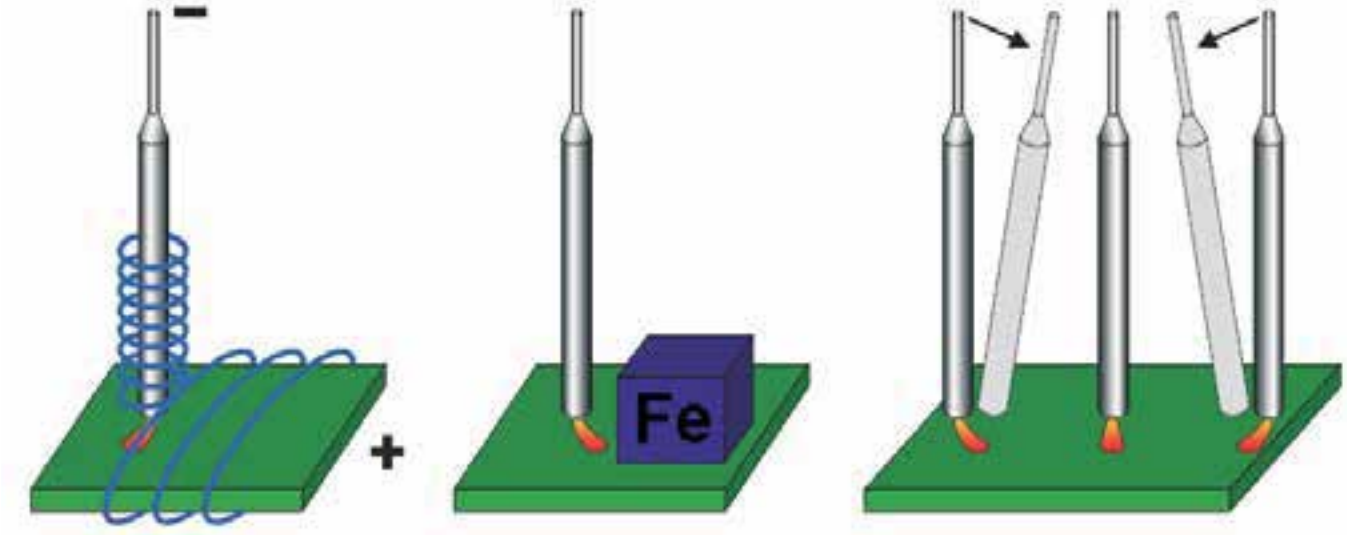
- حفره‌های گازی شکل
- ناموزون شدن گرده جوش
- پاشش زیادتر جرقه در انتهای جوش
- زیر برش یا سوختگی جوش

- ظاهر نامناسب جوش
- هزینه خرید، تعمیر و نگهداری نسبت به دستگاه‌های AC بالاتر است.

● راه‌های جلوگیری از وزش قوس

- به حداقل رساندن طول قوس
- کاهش آمپر جوشکاری
- انجام جوشکاری به طرف قسمتی که قبلاً جوشکاری شده (تغییر جهت جوشکاری)
- دور کردن محل اتصال کابل به قطعه کار
- قرار دادن قطعه کار در وسط حلقه‌ای که توسط کابل انبر یا کابل اتصال درست کرده‌ایم یعنی این‌که در صورت امکان کابل اتصال به دور قطعه کار پیچیده شود. به منظور ایجاد حوزهٔ مغناطیسی جدید و خنثی کردن اثر وزش قوس
- تغییر جریان از DC به AC

در شکل (۱۰-۱) نحوهٔ مقابله با وزش قوس توسط جوشکاری با تغییر زاویه الکترود مشاهده می‌شود.



شکل ۱۰-۱- روش‌های جلوگیری از انحراف قوسی

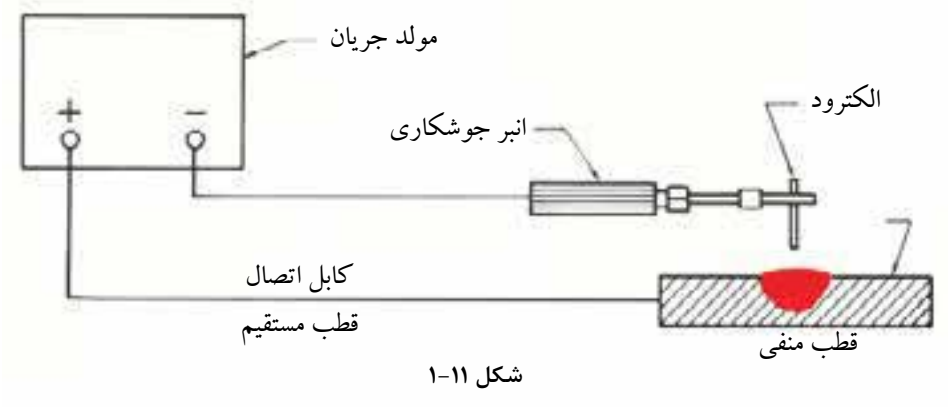
۱-۳ قطب‌های مستقیم و معکوس در جوشکاری

هر دو جریان AC و DC در جوشکاری با الکترود روپوش‌دار مورد استفاده قرار

می‌گیرد با این تفاوت که وقتی با جریان متناوب AC جوشکاری می‌کنیم قطب مثبت و قطب منفی وجود ندارد و انبر جوشکاری به هر کدام از کابل‌های خروجی دستگاه جوش وصل شود نتیجه کار یکسان خواهد بود گرما در الکترود و کار به طور مساوی توزیع می‌شود به دلیل این‌که در جریان متناوب AC در هر ثانیه ۵۰ بار جای قطب‌ها عوض می‌شود، قوس پایداری کمتری دارد و مواردی که ضرورت دارد با آمپر کمتر کار کنیم جوشکاری مشکل‌تر می‌شود مانند جوشکاری افقی عمودی و سقفی و جوشکاری ورق‌های نازکتر.

ولی در به کارگیری جریان مستقیم DC که توسط دستگاه رکتی‌فایر یا دینام جوشکاری تأمین می‌شود و انتخاب قطب در اختیار جوشکار است.

۱- کابل انبر الکترود گیر را به قطب منفی دستگاه و کابل اتصال را به قطب مثبت دستگاه وصل کنیم. شکل (۱۱-۱)

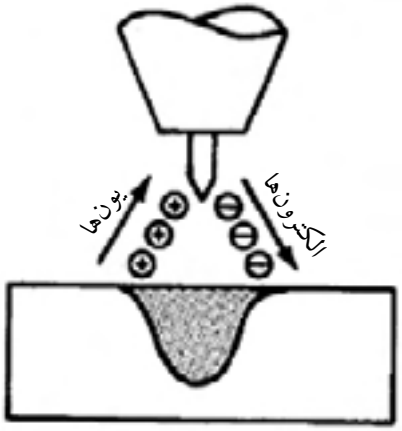


شکل ۱۱-۱

این حالت را جوشکاری با قطب مستقیم (DC SP) و یا (DC EN) گویند.

همان‌طور که در شکل (۱۱-۱) مشاهده می‌کنید جهت حرکت الکترون‌ها از الکترود به کار است و الکترون‌ها با سرعت زیاد به کار برخورد می‌کنند و به دلیل بمباران الکترونی گرمای زیادی در کار (قطب مثبت) به وجود می‌آید.

در جوشکاری قوس با الکترود تنگستن الکترود تنگستن به قطب منفی دستگاه وصل است گرما بیشتر در کار یعنی $\frac{۲}{۳}$ در کار و $\frac{۱}{۳}$ در الکترود توزیع می‌شود (شکل ۱۲-۱) و این امر از ذوب شدن الکترود تنگستن جلوگیری می‌کند.



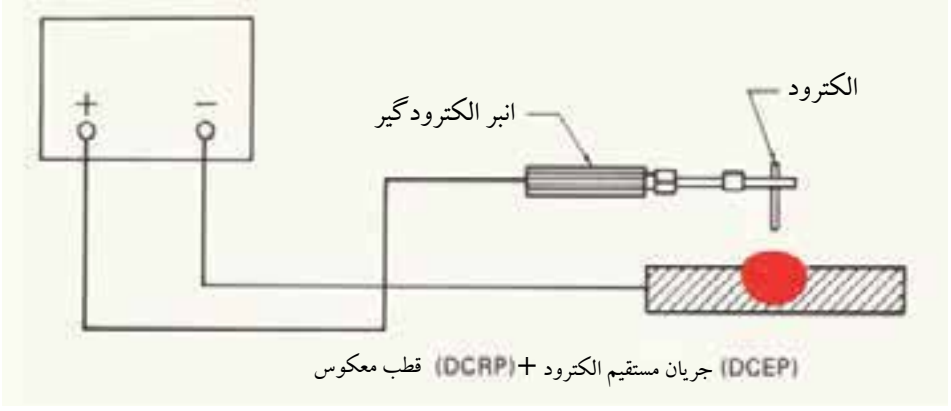
شکل ۱۲-۱

در جوشکاری با الکترود روپوش‌دار هم گرما در قطب مثبت بیشتر از قطب منفی است ولی به علت وجود روپوش و بخارات و گازهای حاصل از آن گرما متعادل‌تر توزیع می‌شود.

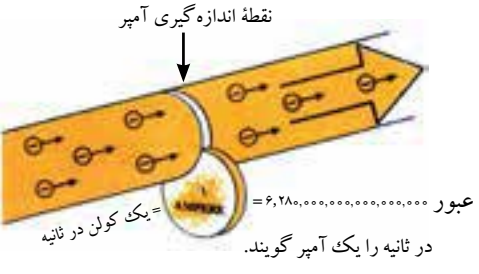
۲- در به کارگیری قطب معکوس (DC RP) یا الکترود مثبت + = (DC EP) در جوشکاری گرما بیشتر در الکترود توزیع می‌شود در نتیجه سرعت ذوب الکترود بیشتر است در روش GMAW یا MIG/MAG و زیر پودری الکترود به قطب مثبت وصل است زیرا سرعت ذوب بالاتر و راندمان بیشتر لازم است.

همچنین آن دسته از الکترودها هم که روپوش دیر ذوب‌تر دارند با این قطب جوشکاری می‌شوند مثل الکترود قلیایی در جوشکاری با این قطب (DC RP) عمل تمیزکاری قوس (Arc Cleaning) وجود دارد.

یعنی چون الکترون‌ها از کار جدا شده و یون‌ها از الکترود به کار برخورد می‌کنند اکسیدهای فلزی در محل تشکیل قوس خرد شده و یا به صورت یک‌پارچه تشکیل نمی‌شوند و برای جوشکاری فلزاتی که اکسید دیر ذوب و یک‌پارچه تشکیل می‌دهند مثل آلومینیوم و منیزیم بسیار مناسب است. (شکل ۱۳-۱)



شکل ۱۳-۱



شکل ۱۴-۱ نماد عبور الکترون

۱-۴ شدت جریان جوشکاری

تعداد الکترون‌های عبوری در واحد زمان از یک نقطه از مدار را شدت جریان گویند و با حرف (I) نشان می‌دهند.

چنانچه تعداد $۶/۲۸\times۱۰^{۱۸}$ الکترون در یک ثانیه از یک نقطه از مدار عبور کند شدت جریان یک آمپر است که معادل یک کولن در ثانیه است شکل. (۱۴-۱)

۱-۵ فشار الکتریکی یا اختلاف پتانسیل

در جریان برق اختلاف سطح الکتریکی موجب جاری شدن الکترون‌ها در سیم شده و هرچه این اختلاف سطح بیشتر باشد فشار الکتریکی هم بیشتر است همان‌طور که می‌دانیم برق فشار قوی در شبکه بین شهرها جاری است برق شهر ۲۲۰ ولت و برق صنعتی بین دو فاز ۳۸۰ ولت اختلاف پتانسیل دارد برق باطری اتومبیل ۱۲ ولت مستقیم است که توسط پلاتین قطع و وصل شده به جریان متناوب تبدیل می‌شود و با عبور از کویل ولتاژ افزایش یافته و از طریق چکش برق و وایر در سر شمع‌های اتومبیل جرقه ایجاد می‌شود همین‌طور در فندک اجاق گاز خانگی با استفاده از ولتاژ بالا جرقه ایجاد می‌شود.

هرچه ولتاژ بین دو قطب جریان زیادتر باشد تخلیه الکتریکی (جهش الکترون‌ها) بین دو قطب از فاصله دورتر انجام می‌شود.

برای این‌که موقع جوشکاری گرما پخش نشود و حفاظت از حوضچه مذاب راحت‌تر باشد. همچنین الکترود نزدیک به کار ذوب شده و انتقال مذاب به کار راحت‌تر و قابل کنترل باشد. در ضمن جوشکاری با ولتاژ پایین از نظر ایمنی مناسب‌تر است. از جریان الکتریسیته با ولتاژ کم و شدت جریان زیاد[۱] استفاده می‌کنیم که هم طول قوس بلند نباشد و هم انرژی لازم برای قوس[۲] فراهم آید و سرعت جوشکاری کافی باشد انرژی مصرفی در جوشکاری از حاصل ضرب اختلاف پتانسیل در شدت جریان به دست می‌آید.

$W = V.I$ توان الکتریکی

توان الکتریکی(W) بر حسب وات (W)، اختلاف پتانسیل(V) بر حسب ولت (V) و شدت جریان (I) بر حسب آمپر (A).

۱-۶ مقاومت الکتریکی

چنانچه مسیر برای عبور الکترون‌ها در یک هادی (سیم مسی) باز باشد و یا در مقابل

---

۱ - شدت جریان ۲۵ تا ۳۰۰ آمپر

۲ - گرمای ورودی ۵/۰ تا ۱۵ کیلو ژول در ثانیه

شکل ۱۵-۱

عبور الکترون‌ها مانعی نباشد می‌گوییم مقاومت الکتریکی کم و هدایت الکتریکی زیاد است فلزات هادی خوبی برای جریان الکتریسیته هستند انبر الکترود گیر و کابل‌های حامل جریان به راحتی شدت جریان‌های زیاد را از خود عبور می‌دهند بدون آن‌که گرم شوند ولی سیم اجاق و بخاری برقی مقاومت الکتریکی زیاد دارند و در اثر عبور جریان گرم می‌شوند. شکل (۱۵-۱)

در یک مدار الکتریکی رابطه زیر برقرار است:

$$V = I.R \quad \text{یا} \quad I = \frac{V}{R} \quad \text{و} \quad R = \frac{V}{I}$$

واحد مقاومت الکتریکی (R) اهم است، اگر شدت جریان یک آمپر از سیمی که مقاومت آن یک اهم است عبور کند اختلاف پتانسیل دو سر سیم یک ولت خواهد بود در فرایند نقطه جوش و سایر جوش‌های مقاومتی از مقاومت الکتریکی فلزات استفاده می‌شود.

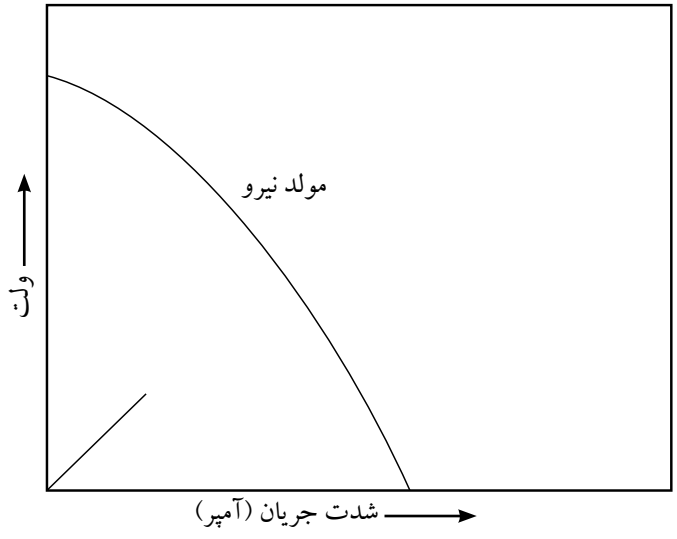
در جوشکاری SMAW با وجود یونیزه شدن قوس باز هم مقاومت زیادی جهت عبور جریان وجود دارد و گرمای زیادی بین $^{\circ}C$ ۶۰۰۰ – $^{\circ}C$ ۵۰۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد تولید می‌شود ولی در اتصالات کابل به دستگاه و کابل به انبر و به الکترود نباید مقاومت الکتریکی زیادی وجود داشته باشد زیرا باعث افت ولتاژ در قوس می‌شود.

همچنین شدت جریان برای هر الکترود روپوش‌دار محدوده مشخص دارد که توسط سازنده الکترود تعیین می‌شود و باید رعایت شود تا از حدّ مجاز بیشتر نباشد در غیر این صورت الکترود مصرف شدنی سرخ شده و روپوش آن آسیب می‌بیند.

● نمودار ولت آمپر قوس الکتریکی

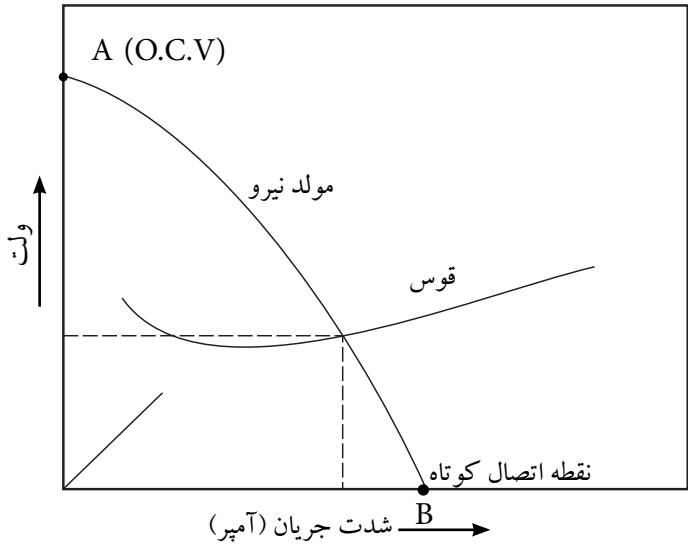
زمان استفاده از قوس، جوشکار سرعت پیشروی را برای ایجاد جوش یکنواخت تنظیم می‌کند و نیاز به قوس الکتریکی با ولتاژ و شدت جریان ثابت دارد چون ولتاژ و شدت جریان با هم ارتباط دارند، به‌ازای مقادیر مختلف جریان این رابطه به صورت یک منحنی شکل می‌گیرد که به منحنی قوس معروف است.

اگر منحنی ولت آمپر با توجه به قانون اهم $V = I.R$ ترسیم شود که در آن با افزایش جریان به صورت تابع خطی ولتاژ افزایش یابد منحنی به شکل خط صاف در می‌آمد ولی شیب منحنی نمودار قوس الکتریکی تابعی از نوع فلز الکترود و آتمسفر موجود در فضای گازی قوس الکتریکی می‌باشد به شکل (۱۶-۱) توجه کنید.



شکل ۱۶-۱

اگر نمودار شدت جریان و ولتاژ خروجی دستگاه جوشکاری ترسیم شود مطابق شکل (۱۷-۱) یعنی روی ستون عمودی ولتاژ مدار باز و ستون افقی شدت جریان‌های جوشکاری علامت‌گذاری شود این منحنی با منحی قوس در نقطه‌ای به هم می‌رسند که آن نقطه شدت جریان و ولتاژ جوشکاری را نشان می‌دهد.

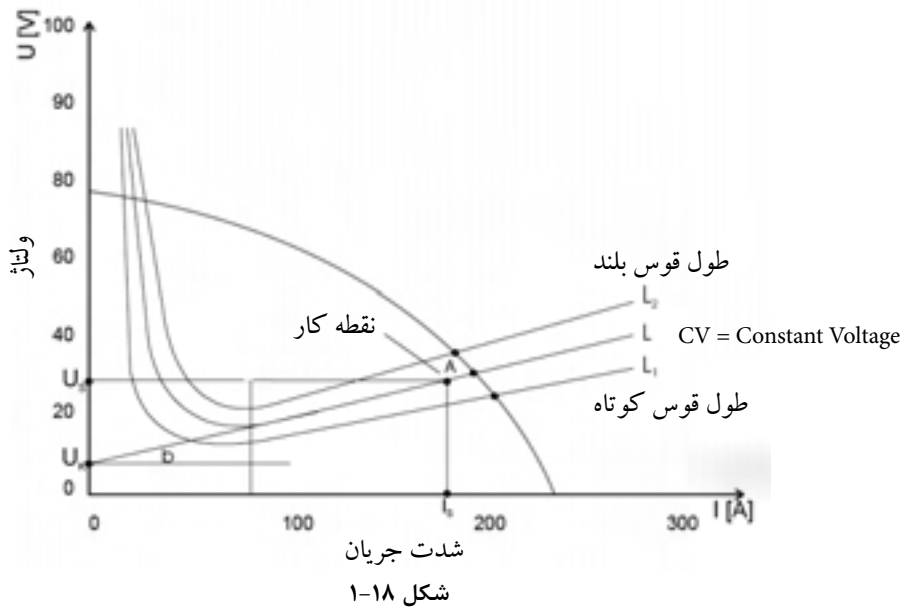


شکل ۱۷-۱

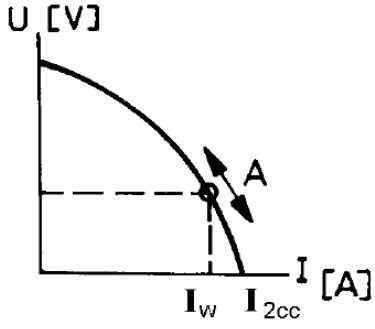
زمانی که شدت جریان حداکثر است یعنی اتصال کوتاه بین الکترود و کار برقرار شده ولتاژ بین الکترود و کار به صفر نزدیک است ادامه این اتصال کوتاه باعث سوختن دستگاه جوشکاری خواهد شد.

و زمانی دستگاه روشن است و جوشکاری انجام نمی‌شود ولتاژ حداکثر است که به ولتاژ مدار باز یا (O.C.V) معروف است.

با افزایش طول قوس ولتاژ افزایش یافته و شدت جریان کاهش می‌یابد و بر عکس. (شکل ۱۸-۱)



شکل ۱۸-۱

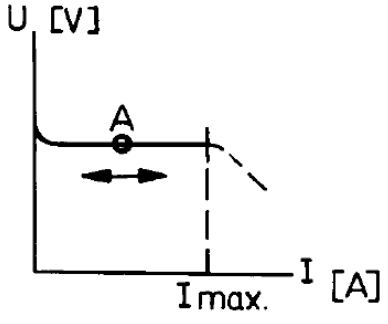


نمودار دستگاه جریان ثابت

ولتاژ قوس و شدت جریان مصرفی زمانی است که قوس الکتریکی برقرار است و در شکل ۱۸-۱ مشاهده می‌شود و ولت‌متر در حدود نصف ولتاژ مدار باز و آمپر متر میزان آمپر مصرفی را نشان می‌دهد.

دستگاه‌های مولد قدرت با این نوع خروجی به عنوان نمودار نزولی یا دستگاه‌های «جریان ثابت» می‌نامند ولی این نام‌گذاری کاملاً دقیق نیست زیرا جریان خروجی در اثر تغییر شدت جریان جزیی تغییر ولتاژ را نشان می‌دهد در جوشکاری SMAW و GTAW دستگاه مولد قدرت این گونه‌اند.

در فرایند زیر پودری SAW و جوشکاری با گاز محافظ و الکترود مصرفی GMAW



نمودار دستگاه ولتاژ ثابت

شکل ۱۹-۱- منحنی ولت آمپر در جریان CV

دستگاه مولد قدرت دارای سیستم ولتاژ ثابت است و جوشکار با تغییرات ولتاژ توسط کلید گردان سرعت ذوب را کم و زیاد می‌کند و با تغییرات سرعت سیم شدت جریان به میزان لازم کاهش یا افزایش می‌یابد. (شکل ۱۹-۱)

۱-۷ اثر پارامترهای متفاوت در ولتاژ قوس فرایند SMAW

پارامترهای شدت جریان و ولتاژ قوس با توجه به نوع پوشش، ضخامت پوشش، جنس فلز الکترود و طول قوس در ارتباط است.

مطابق قانون اهم شدت جریان و ولتاژ عکس یکدیگرند این موضوع در دستگاه جوشکاری صادق است ولی در قوس الکتریکی ممکن است در شدت جریان‌های پایین بر خلاف قانون اهم اتفاق افتد و طبق رابطه زیر خواهد بود.

$$ur = k + \frac{L \times d}{10 \times S} \times I$$

ur = ولتاژ قوس (ولت)	K = ضریب ثابت ماده
L = طول قوس (میلی متر)	I = شدت جریان (آمپر)
d = قطر الکترود (میلی متر)	S = سطح مقطع الکترود (برحسب میلی متر مربع)

ضریب K به جنس الکترود و میزان افت ولتاژ در کاتد (-) یا آند (+) بستگی دارد و برای فولادها در این روش عدد ۱۲ منظور می‌شود.

۱- در این فرمول چنانچه پارامترها ثابت باشد و فقط جریان افزایش پیدا کند ولتاژ هم افزایش می‌یابد.

۲- چنانچه فقط قطر الکترود افزایش یابد ولتاژ قوس کاهش می‌یابد.

۳- چنانچه طول قوس افزایش یابد ولتاژ قوس هم افزایش می‌یابد.

مثال: در جوشکاری با الکترود $d = 4mm$ شدت جریان ۱۵۰ آمپر و طول قوس ۳/۰۰ میلی‌متری باشد. مطلوب است؟

الف. ولتاژ قوس را حساب کرده و با ولتاژ حاصل از فرض‌های (ب،ج ود) مقایسه کنید.

ب. شدت جریان را ۲۰۰ آمپر فرض کنید.

ج. قطر الکترود $d = 5mm$ آمپر فرض شود.

د. طول قوس را ۴ میلی‌متر فرض کنید.

سؤالات پایانی فصل اول

۱- یکی از مشکلاتی که روپوش الکترود به وجود می‌آورد کدام است؟

الف) عایق بودن　　ب) سبک‌تر بودن از مذاب

ج) مانع اتوماسیون شدن　　د) فاصله کم دست تا حوضچه مذاب

۲- در کدام روش شروع قوس، الکترود با کار اتصال برقرار نمی‌کند؟

الف) تماس　　ب) استفاده از فرکانس بالا

ج) روش دور کردن تورچ از کار　　د) با استفاده از واسطه بین الکترود و کار

۳- ولتاژ مدار باز یعنی ولتاژ بین انبر الکترودگیر و انبر اتصال وقتی که ..... .

الف) الکترود به انبر اتصال وصل شده است ..... .

ب) دستگاه خاموش است ..... .

ج) در حال جوشکاری هستیم ..... .

د) وقتی دستگاه روشن و جوشکاری انجام نمی‌شود ..... .

۴- به غیر از شدت جریان و فشار الکتریکی عامل سوم که در عبور جریان از هادی نقش دارد کدام است؟

الف) نوع جریان　　ب) فرکانس جریان

ج) مقاومت الکتریکی هادی　　د) سیکل جریان

۵- جا به جا کردن کابل انبر و اتصال در کدام دستگاه تفاوتی ایجاد نمی‌کند؟

الف) رکتی‌فایر　　ب) ترانسفورماتور

ج) دینام کارگاهی　　د) دینام جوش سیار

۶- شدت جریان مناسب برای هر الکترود توسط ..... تعیین می شود.

الف) کارخانه سازنده الکترود　　ب) فروشنده الکترود

ج) جوشکار　　د) ضخامت قطعه جوش دادنی

۷- چرا استفاده از طول قوس بلند در جوشکاری مطلوب نیست؟

پاسخ:.....

.....

.....

۸- در جوشکاری‌های قوسی بالاترین تغییر حالت فلز کدام است؟

الف) گرم شدن و افزایش حجم　　ب) بخار شدن

ج) ذوب شدن　　د) یونیزه شدن

۹- در جوشکاری آلومینیوم از کدام گزینه استفاده می شود؟

الف) AC/DC　　ب) DCRP

ج) DCSP　　د) AC

۱۰ - دستگاه جوشکاری با الکترود روپوش دار دارای کدام نوع منحنی است؟

الف) نزولی　　ب) خطی با زاویه 45°

ج) خطی و افقی　　د) همه موارد

فصل دوم

ایمنی در جوشکاری

هدف‌های رفتاری

پس از پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که:

۱. مخاطرات اصلی در جوشکاری با قوس الکتریکی را نام ببرد.

۲. اشعه‌ها و تأثیرات زیان‌بار هر کدام را تشریح کند.

۳. گازها و بخاراتی که برای جوشکار زیان‌بار است نام ببرد.

۴. روش‌های مختلف تهویه گازهای حاصل از جوشکاری را نام ببرد.

۵. مزایای رعایت دستورالعمل‌های ایمنی را تشریح کند.

ـــ تعریف ایمنی در جوشکاری

در سال گذشته در خصوص ایمنی عمومی و ایمنی در خصوص جوشکاری با شعله گاز مطالبی یادآور شدیم در این بخش در مورد جوشکاری با قوس الکتریکی مطالبی فرا خواهید گرفت.

جوشکاری هم مانند سایر عملیات که در صنایع فلزی به کار گرفته می‌شود دارای مخاطراتی مربوط به خود است که اگر مورد مطالعه و توجه نباشد برای خود جوشکار و کارگرانی که در مجاورت او به کار اشتغال دارند تهدید جدی وجود دارد سرپیچی از تدابیر ایمنی و بی توجهی به مقررات خطراتی را در بر خواهد داشت و حتی ممکن است منجر به از دست دادن جان انسان‌ها شود.

حوادث حین کار موجب خسارات مادی یا جانی شده و عواقب و پیامدهای ناگواری را به همراه دارد، به طور کلی جوشکاری حرفه مخاطره آمیزی نیست به شرط اینکه همیشه اقدامات احتیاطی و ضروری معمول گردد مزایای توجه به مقررات ایمنی عبارتند از:

● برای کارگران

۱- کاهش فشار ناشی از کار

۲- کاهش جراحات و صدمات

۳- کاهش حوادث

۴- افزایش راحتی

۵- افزایش رفاه و تندرستی

۶- افزایش بهداشت کار

۷- افزایش روحیه

● برای کارفرما

۱- افزایش کیفیت محصول

۲- افزایش کارآیی کارکنان

۳- استفاده بهتر از نیروی انسانی

۴- کاهش حوادث

۵- کاهش خطاها

۶- کاهش مخارج درمانی

۷- کاهش مخارج تولید

۸- داشتن آرامش بیشتر

۱-۲ مخاطرات اصلی در جوشکاری با قوس الکتریکی عبارتند از:

۱- شوک الکتریکی

۲- تشعشع پرتوها

۳- استشمام دود و گاز

۴- پاشیدن جرقه از مذاب

۱-۱-۲ شوک الکتریکی

شوک الکتریکی زمانی حادث می‌شود که جریان الکتریسیته از مسیر قلب بگذرد و یک واکنش ماهیچه‌ای را باعث شود.

به طور کلی عبور جریان بیشتراز یک میلی‌آمپر از بدن، باعث احساس یک شوک می‌شود.

عبور جریان‌های بالاتر از ۲۵ میلی آمپر از بدن باعث از کار افتادن قلب می شود.

جوشکار نباید با ولتاژی که بتواند جریانی بیشتر از یک میلی‌آمپر را از بدن عبور دهد کار کند.

برق جوشکاری دارای ولتاژ پایین است و از نظر برق گرفتگی هم کم خطر است ولی کابل‌های ورودی به دستگاه دارای ولتاژ بالا حداکثر تا ۴۱۵ ولت هستند که بسیار خطرناک بوده و باید کاملاً محافظت شوند تا در تماس با اجسام داغ، تیز و بُرنده نباشند.

ولتاژ مدار باز دستگاه‌های جوشکاری به طور معمول باید زیر ۹۰ ولت باشند. دستگاه‌های جوشکاری امروزی طوری طراحی شده‌اند که وقتی روشن می‌شوند ابتدا ولتاژ کمی در دو سر کابل وجود دارد و موقع تماس الکترود به کار ولتاژ مدار باز مناسب به طور اتومات جریان می‌یابد.

به نکات زیر توجه و در اجرا به آن عمل کنید:

۱- اتصال کابل تغذیه دستگاه و تابلو برق باید توسط کلید و فیوز مناسب انجام شده باشد.

۲- اطمینان حاصل کنید که کابل ورودی به دستگاه دارای عایق‌بندی خوب بوده و برای ولتاژ تا ۴۱۵ ولت مناسب باشد.

۳- مطمئن شوید که دستگاه به سیستم اِرت و اتصال به زمین مجهز باشد.

۴- هنگام کار با دست کش خشک کار کنید.

۵- هنگام جوشکاری از کفش‌های مناسب که دارای کف عایق بوده و یا از یک عایق زیر پا مانند تخته‌چوب استفاده کنید.

۶- توجه داشته باشید تجهیزات برق‌رسانی و سیم‌کشی برق قادر به عبور جریان لازم برای کار مورد نظر باشد.

۷- هنگام برق گرفتگی به شخص برق گرفته دست نزنید و کلید اصلی برق ورودی را قطع کنید.

۸- وصل کابل‌های جوشکاری باید زمان خاموش بودن دستگاه صورت گیرد.

۹- تعویض الکترود خصوصاً در ارتفاع باید با دست‌کش انجام شود.

در جداول (۱-۲) و (۲-۲) مخاطرات جریان برق در کارگاه جوشکاری را ملاحظه کنید.

جدول ۱-۲ مخاطرات جریان برق در جوشکاری مدارهای ولتاژ بالا (کابل برق ورودی و مدارهای مربوط به آن)

خطا یا اشتباه	مخاطرات
۱- نصب و راه‌اندازی غلط	آتش‌سوزی، شوک الکتریکی، خط مرگ، آسیب دیدن تجهیزات
۲- استفاده از فیوز با ظرفیت بالا	بالا رفتن دمای وسایل و تجهیزات، آسیب رسیدن به تجهزات و آتش‌سوزی
۳- نداشتن اتصال زمین دستگاه جوشکاری و سیستم مربوط	شوک الکتریکی، در شرایط حاد سوختگی یا مرگ

جدول ۲-۲ مدارهای ولتاژ کم جریان خروجی دستگاه با شدت جریان زیاد

خطا یا اشتباه	مخاطرات
۱- نبودن اتصال زمین	شوک الکتریکی و در شرایط حاد سوختگی و خطر مرگ
۲- مخدوش بودن کابل و لقّی اتصالات کابلی	برقراری قوس کوچک بین کابل و یا اتصال کابل به قطعات فلزی که به زمین وصل باشند موجب آتش‌سوزی می‌شود.
۳- کابل جوشکاری ضعیف با ظرفیت کم	گرم شدن کابل و بوجود آمدن یک مقاومت بین اتصالات و گرم شدن و صدمه زدن به اتصالات خواهد شد در نتیجه احتمال آتش‌سوزی و آسیب رسیدن به تجهیزات و سوختن دستگاه خواهد شد.
۴- نامناسب بودن اتصالات برقی	گرم شدن اضافی، سوختگی و آتش‌سوزی
۵- نامناسب بودن مسیر جریان برگشت یا کابل اتصال	هدر رفتن جریان، افت ولتاژ جریان جوشکاری، گرم شدن اضافی در اتصالات لق و آتش‌سوزی

۲-۱-۲ تشعشع پرتوها

قوس الکتریک دارای سه نوع اشعه است:

۱- اشعه قابل رؤیت (روشنایی) (VL) Visible Light

۲- اشعه ماوراء بنفش (UV) Ultra Light

۳- اشعه مادون قرمز (IR) Infrared Light

نور مرئی قوس الکتریک بسیار شدید بوده و برای چشم مضر و برای دید مناسب نیست و مانند نور شدید خورشید در روزهای برفی باید از عینک دودی استفاده کرد تا درصد کمتری از آن به چشم برسد. اشعه ماوراء بنفش غیر قابل رؤیت بوده چون دارای طول موج کمتر از ۰/۴ است . برای چشم و پوست و مو و مخاط تنفسی خطر دارد.

عدسی چشم انسان در معرض اشعه ماوراء بنفش باعث برق‌زدگی می‌شود که دردناک بوده و باعث جاری شدن اشک چشم و عدم تحمل نور می‌گردد. اشعه مادون قرمز هم دارای طول موج بیشتر از ۰/۷ می‌باشد موجب آسیب رسیدن به پوست (مثل سوختگی صورت و گردن در کنار دریا) شده و خطر آب مروارید در چشم را به دنبال دارد

و علاوه بر جوشکاران بی توجه افرادی هم که در مجاورت عملیات جوشکاری کار می‌کنند دچار مشکلات برق زدگی در چشم می‌شوند. لذا باید به افرادی که در محدودهٔ قوس جوشکاری کار می‌کنند آگاهی داده شود تا با چشم غیر مسلح به قوس الکتریکی نگاه نکنند. انعکاس قوس از سطوح صیقلی و براق هم مخاطره‌آمیز است جوشکاران باید از ماسک جوشکاری که دارای شیشه تار مناسب است استفاده کنند و اطراف کار جوشکاری هم باید توسط پرده‌های برزنتی نسوز حفاظدار شود.

در جدول (۳-۲) شماره شیشه‌های ماسک و عینک برای جوشکاری‌های مختلف معین گردیده است.

جدول ۳-۲ شمارهٔ شیشه‌های ماسک در شرایط مختلف جوشکاری

شمارهٔ شیشه	موارد استفاده	درصد اشعه‌های عبوری از شیشه		
		نور غیر مضر	مادون قرمز	ماوراء بنفش
شمارهٔ ۲	انعکاس نور شدید و گرمکاری قطعات	٪۲۸	٪۰/۸۷	٪۱/۰۷۵
شمارهٔ ۳	لحیم نرم با شعله	٪۱۶	٪۰/۴۳	٪۱/۰۳۵
شمارهٔ ۴	لحیم سخت با شعلهٔ استیلن	٪۶/۵	هیچ	٪۱/۰۹۷
شمارهٔ ۵	جوشکاری و برشکاری سبک استیلن	٪۲	هیچ	٪۰/۰۴۶
شمارهٔ ۶	استاندارد جوشکاری اکسی‌استیلن	٪۰/۸	هیچ	هیچ
شمارهٔ ۸	جوشکاری سنگین گاز، برشکاری و جوشکاری برق تا ۷۵ آمپر	٪۰/۲۵	هیچ	هیچ
شمارهٔ ۱۰	جوشکاری و برشکاری برق بین ۷۵ تا ۲۵۰ آمپر	٪۰/۰۱۴	هیچ	هیچ
شمارهٔ ۱۲	جوشکاری و برشکاری برق بالاتر از ۲۵۰ آمپر	٪۰/۰۰۲	هیچ	هیچ
شمارهٔ ۱۴	جوشکاری و برشکاری با الکترود کربنی	٪۰/۰۰۰۳	هیچ	هیچ

۳-۱-۲ تولید دود و گاز

دمای زیاد قوس «که از سوختن پوشش فلزات و پوشش الکترود و کثیفی سطح قطعه کار» یا درجه حرارت زیاد قوس باعث سوختن روپوش الکترود شده که موجب دود، گازهای مختلف، گرد و غبار و... می‌شود که موجب تولید دود، گازهای مختلف و گرد و غبار و بخارات فلزی در قوس و اطراف آن می‌شود.

این ذرات معلق و گازها برای مجاری تنفسی جوشکاران زیان‌بخش بوده که به ترکیب شیمیایی آنها بستگی دارد البته حداکثر غلظت مجاز که جوشکار می‌تواند در معرض آن

قرار گیرد توسط سازمان‌های ذی‌ربط تعیین و اعلام می‌شود عمده گازهایی که تولید می‌شوند عبارتند از:

- **منواکسید کربن (CO)** = که از سوختن ناقص کربن و تجزیه ترکیب کربنی شکل می‌گیرد گازی است بی رنگ و بی بو، که از هوا سبک‌تر است و حداکثر میزان مجاز آن ۵۵-۵۰ میلی‌گرم در یک متر مکعب هوا است. در جوشکاری با الکترود روپوش‌دار و از تجزیه گاز در جوشکاری با گاز محافظ CO_2 و همچنین موقع جوشکاری قطعات رنگ شده به وجود می‌آید.

تنفس این گاز موجب سرگیجه، تهوع و استفراغ شده و تاری دید را موجب می‌شود.

- **گاز کربنیک (CO_2):** در جوشکاری SMAW و GMAW روی فولادها با الکترودهای روپوش‌دار از سوختن سلولز، گرافیت و از تجزیه کربنات کلسیم موجود در روپوش مقدار زیادی گاز CO_2 به عنوان گاز محافظ به وجود می‌آید درجوشکاری با گاز CO_2 ناحیه قوس و اطراف آن را پوشش می‌دهد و باعث می‌شود که فضای تنفسی جوشکار را اشغال نموده موجب کاهش شدید اکسیژن شود تراکم بیش از ۵۰۰۰ میلی‌گرم در متر مکعب باعث مسمومیت می‌شود.

- **گازهای N_2O_2 و N_2O** و **NO** = از ترکیب اکسیژن با ازت هوا که در گرمای قوس به وجود می‌آید به ویژه زمانی که با برشکاری پلاسمای هوا کار می‌کنیم به مقدار زیاد تولید می‌شود و حداکثر مجاز این گازها ۹ میلی‌گرم در متر مکعب است و عملیات جوشکاری و برشکاری در فضاهای محدود بدون تهویه مناسب مخاطره‌آمیز است.

- **گاز اوزن O_3** = گازی فعال است و باعث صدمه زدن به مجاری تنفسی می‌شود و اکسیژن هوا در مجاورت اشعه ماورای بنفش تبدیل به اوزون می‌شود. $3O_2 \rightarrow 2O_3$ ناگفته نماند که از برخورد گاز اوزن به جسم جامد واکنش فوق برگشت‌پذیر خواهد بود و خطر رفع می‌شود.

● بخارات فلزی

دمای قوس از دمای غلیان و جوشیدن فلزات بالاتر است لذا در مرکز قوس، فلزات تبخیر شده و بخارات فلزی تولید می‌شود مغز فلزی الکترودها می‌توانند بخارات منگنز، مولیبدن، کروم، نیکل، آلومینیوم، مس، قلع و غیره تولید کنند.

استنشاق بخارات تازه تولید شده در قوس ممکن است منجر به عارضه‌ای به نام تب بخارات فلزی شود بخارات فلز روی که موقع جوشکاری لوله‌ها و ورق‌های گالوانیزه تولید می‌شود یکی از شایع‌ترین موارد ابتلا به تب بخارات فلزی است. نوشیدن شیر و آب‌میوه پس از عملیات جوشکاری برای رفع مشکلات تنفسی توصیه شده است.

شکل ۱-۲

● کنترل و کاهش میزان آلودگی‌های گازی

سه روش برای این منظور به کار گرفته می‌شود:

اول تهویه عمومی کارگاه با تهویه مناسب، تا همه کسانی را که در کارگاه جوشکاری کار می‌کنند از آن بهره‌مند شوند. (شکل ۱-۲)

دوم می‌توان به وسیله قرار دادن یک لوله از محل تشکیل (قوس الکتریکی) دود و گازها را انتقال داد. (تهویه موضعی)

سوم می‌توان هوای داخل ماسک جوشکاری را جا به جا نمود یعنی هوای تازه از طریق لوله‌ها که به ماسک وصل است جهت تنفس جوشکار به ماسک هدایت کرد. شکل (۲-۲)

شکل ۲-۲

۴-۱-۲ پاشش جرقه از مذاب

جرقه‌هایی که از قوس پرتاب می‌شوند و همچنین جرقه‌های ناشی از سنگ سنباده دستی که زمان سنگ‌زنی تولید می‌شود می‌تواند موجب سوختگی بدن جوشکار و آسیب رسیدن به چشم افراد شده و یا آتش‌سوزی را موجب شود لذا رعایت نکات ایمنی زیر ضروری است:

۱) از لباس کار نخی با جیب‌های دربسته و شلوار کار با دمپای مناسب و پابند چرمی نسوز استفاده می‌شود.

۲) از پوشیدن لباس کار چرب و کار در فضای آغشته به چربی و روغن و سایر مواد اشتعال‌زا خودداری کنید.

۳) جوشکاری و برشکاری و سنگ‌زنی در جوار مخازن و انبار مواد سوختنی و محیط‌هایی که امکان نشت گاز سوختنی وجود دارد باید تحت نظارت مسئول بهداشت و ایمنی کارگاه انجام شود.

۴) از پرتاب ته الکترود به اطراف خودداری کنید و آنها را در ظرف مخصوص بریزید.

۵) موقع پاک کردن شلاکه (گل جوش) از روی جوش (خط جوش) از عینک محافظ شیشه سفید استفاده کنید.

۶) موقع جوشکاری غیر از حالت سطحی از کلاه و شانه‌بند نسوز یا سربند چرمی نسوز مناسب استفاده کنید. شکل (۳-۲)

شکل ۳-۲

سؤالات پایانی فصل دوم

۱-کدام گزینه در مورد ایمنی در جوشکاری SMAW نادرست است؟

الف) حتی با رعایت مقررات و دستورات ایمنی باز هم جوشکاری حرفه مخاطره‌آمیزی است.

ب) روحیهٔ جمعی کارکنان یک کارگاه به ایمنی وابسته است.

ج) رعایت مقررات ایمنی باعث افزایش کیفیت محصول می‌شود.

د) عبور جریان برق از بدن انسان باعث واکنش ماهیچه‌ای می‌شود.

۲-کدام گزینه خطرسازتر است؟

الف) کابل اتصال و کابل انبر جوشکاری اگر زخمی شده باشد.

ب) کابل‌های ورودی اگر عایق کافی نداشته باشند.

ج) دستگاه جوشکاری خاموش باشد و کلید اصلی برق قطع باشد.

د) جوشکاری در کابین جوشکاری انجام شود.

۳-کدام اشعه موجب تولید گاز اوزن می‌شود؟

الف) نور شدید　　ب) مادون قرمز

ج) ماوراء بنفش　　د) گزینه ب و ج

۴-بخارات کدام فلزات موجب تب بخارات فلزی می‌شود؟

الف) منگنز　　ب) مولیبدن

ج) روی　　د) آلومینیوم

۵-تنفس کدام گاز موجب سرگیجه، تهوّع و تاری دیده می‌شود؟

الف) CO_2　　ب) N_2

ج) CO　　د) O_2

۶-جوشکاری در کدام محل باید تحت نظارت مسئول ایمنی باشد؟

الف) محیط‌های سرباز و هوای آزاد

ب) مکان‌هایی که تعدادی مشغول به کار هستند.

ج) حوالی خطوط لولهٔ گاز و مواد قابل اشتعال.

د) ارتفاع و روی داربست.

۷-آیا گاز اوزون یک گاز پایدار است؟

الف) بلی ب) خیر

۸-در کدام گزینه گازهای اکسید ازت فراوان تولید می‌شود؟

الف) برشکاری اکسی‌استیلن ب) جوشکاری SMAW

ج) برشکاری پلاسما د) برشکاری لیزری

فصل سوم

تجهیزات مورد استفاده در جوشکاری SMAW

هدف‌های رفتاری

پس از پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که:

۱. تجهیزات مورد استفاده در جوشکاری را نام ببرد.

۲. دستگاه‌های مختلف تأمین قدرت در جوشکاری را تشریح کند.

۳. نحوهٔ تغییر آمپر در رکتی‌فایرها را معرفی کند.

۴. سیکل کاری دستگاه‌ها را به طور کامل شرح دهد.

۵. علت استفاده از وضعیت دهنده‌ها را شرح دهد.

۶. نحوهٔ تغییر آمپر در ترانسفورماتورها را توضیح دهد.

ـــ تجهیزات مورد استفاده در جوشکاری SMAN

ترانسفورماتور، رکتی‌فایر و دینام جوشکاری برای تأمین قدرت در جوشکاری قوسی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

وظیفه این دستگاه‌ها تأمین جریان الکتریسیته مناسب برای جوشکاری است که امکان تنظیم آمپر در آنها فراهم باشد.

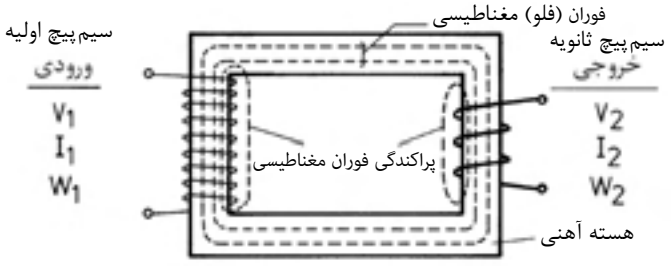
شکل ۱-۳

۱-۳ ترانسفورماتورهای جوشکاری

مبدل جریان هستند یعنی ولتاژ برق ورودی که ۲۲۰ و ۳۸۰ ولت است را به برق ولتاژ پایین برای جوشکاری تبدیل می‌کنند و به آنها ترانسفورماتور کاهنده ولتاژ گویند و دارای قسمت‌های زیر می‌باشد. شکل (۱-۳)

هسته آهنی : که از ورقه‌های نازک فولادی که درصد سیلیسم آنها بیشتر از فولادهای معمولی است استفاده شده است تا خاصیت آهن‌ربایی را در خود ذخیره نکند. همچنین به دلیل لایه‌های نازک عایق که بین ورقه‌ها وجود دارد از گرم شدن بیش از حد آنها جلوگیری می‌کند.

سیم‌پیچ‌ها : یکی سیم‌پیچ اولیه که از سیم عایق‌دار نازک با تعداد حلقه‌های زیاد روی هسته پیچیده شده است مطابق شکل (۲-۳) به برق ورودی وصل می‌شود و حوزه مغناطیس متغیر (یا میدان مغناطیسی) در هسته ایجاد می‌کند.



شکل ۲-۳

و دیگر سیم‌پیچ ثانویه است که دارای تعداد حلقه‌های کمتر و با قطر بیشتر بوده و میدان مغناطیسی از وسط آن عبور می‌کند، میدان مغناطیسی باعث می‌شود الکترون‌های آزاد سیم تحریک شده و جریان الکتریکی در سیم‌پیچ ثانویه به وجود آید که جریان القایی نام دارد که ولتاژ کمتری از ولتاژ اولیه دارد (ترانسفورماتور کاهنده) ولتاژ ثانویه

با نسبت تعداد دورهای سیم‌پیچ اولیه به تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه (ضریب تبدیل) بستگی دارد و روابط زیر برقرار است:

$$\text{تعداد دور سیم اولیه} = N_1 = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$\text{تعداد دور سیم ثانویه} = N_2 = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

که در آن I۱ و V۱ شدت جریان و ولتاژ ورودی دستگاه و I۲ و V۲ شدت جریان و ولتاژ خروجی جوشکاری است.

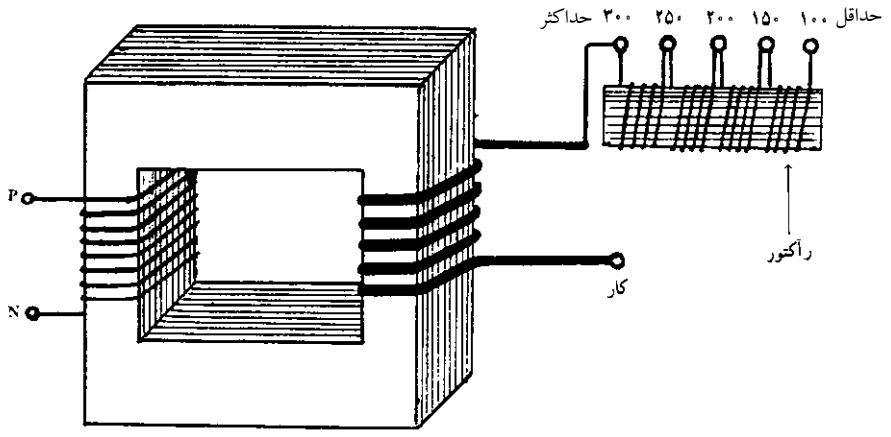
کلید اصلی قطع و وصل دستگاه سر راه جریان ورودی قرار دارد به علاوه دارای یک فن برای خنک شدن هسته سیم‌پیچ‌ها در آن تعبیه شده است.

۱-۱-۳ تغییر آمپر در ترانسفورماتور جوشکاری

برای جوشکاری فلزات مختلف و اتصالات گوناگون با ضخامت‌های متفاوت، ضرورت دارد که الکترودهای روپوش‌دار با جنس مغز فلزی و جنس روپوش و همچنین قطرهای متفاوت به راحتی قابل استفاده باشد، لذا باید آمپر جوشکاری قابل تنظیم باشد، پس لازم است روشی برای کم و زیاد کردن آمپر در دستگاه‌های جوشکاری تدارک شده باشد. در ترانسفورماتورهای جوشکاری به چند طریق تغییر آمپر عملی می‌شود.

● تغییر آمپر پله‌ای

در این روش مطابق شکل (۳-۳) یک سر سیم‌پیچ ثانویه از طریق یک راکتور عبور داده می‌شود، در این راکتور همانطور که در شکل ملاحظه می‌شود ترمینال‌های متعدد برای دریافت جریان جوشکاری وجود دارد و هر چه تعداد دورهای سیم‌پیچ راکتور بیشتر در مدار باشد تأثیر متقابل هسته بر عبور جریان بیشتر بوده و شدت جریان کاهش می‌یابد و بر عکس، مثلاً در ترمینال حداکثر چون جریان القایی (ثانویه) از سیم‌پیچ راکتور عبور نمی‌کند شدت جریان بیشتری در اختیار جوشکار قرار می‌دهد.

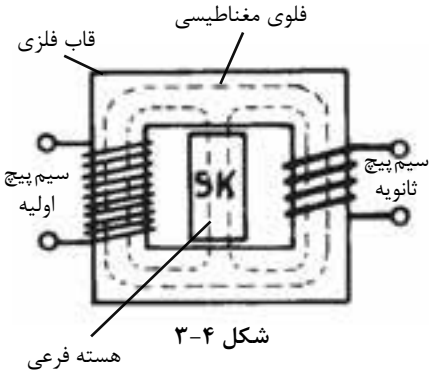


شکل ۳-۳

● تغییر آمپر پیوسته

در این روش از راه‌های مختلف تغییر در میزان میدان مغناطیسی که از وسط سیم‌پیچ ثانویه عبور می‌کند به وجود می‌آورند.

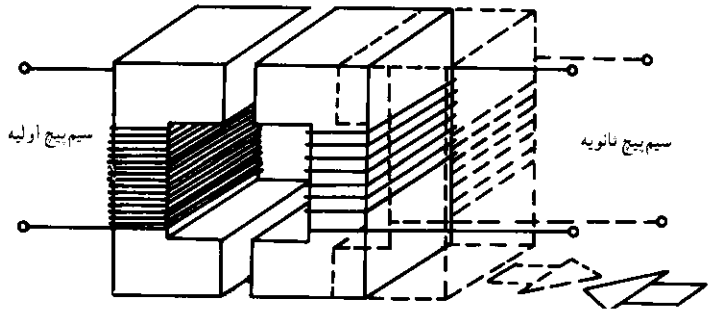
الف) با قرار دادن هسته فرعی درون هسته اصلی، درصدی از خطوط حوزه مغناطیسی از هسته فرعی عبور می‌کند و از شدت میدان مغناطیسی در هسته اصلی کاسته می‌شود. (شکل ۴-۳)



شکل ۴-۳

ب) کم و زیاد کردن دسته سیم‌پیچ‌های مدار ثانویه. همراه با جا به جایی هسته فرعی.

ج) ایجاد فاصله هوایی بین دو قسمت هسته به وسیله دور و نزدیک کردن یک قسمت هسته از قسمت دیگر آن (شکل ۵-۳). که با دور کردن دو قسمت هسته از هم، شدت جریان کاهش و برعکس با نزدیک کردن آنها به هم شدت جریان افزایش می‌یابد.



شکل ۵-۳

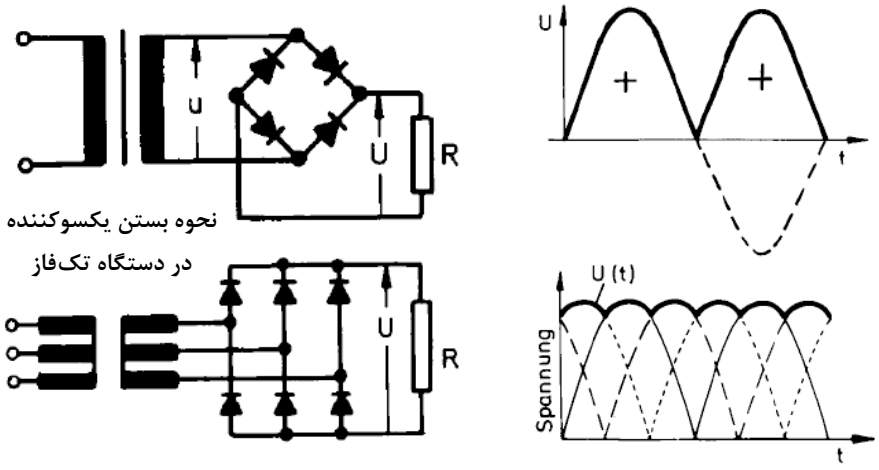
۳-۲ رکتی‌فایر جوشکاری

یک مبدل جریان است که جریان DC برای جوشکاری تأمین می‌کند و علاوه بر قسمت‌های مختلف یک ترانسفورماتور معمولی دارای یک قسمت یک‌سو ساز هم می‌باشد. (شکل ۶-۳)

یکسو کننده را می‌توان به شیر یک طرفه در جوشکاری با شعله گاز تشبیه کرد. جریان فقط در یک جهت می‌تواند از یکسو کننده عبور کند اگر جریان ورودی تک‌فاز AC باشد خروجی یکسو کننده جریان مستقیم بسیار موجی شکل خواهد بود اما اگر جریان ورودی سه‌فاز به یکسو کننده وارد شود چون هر فاز با فاز دیگر ۱۲۰ درجه اختلاف دارند جریان خروجی بسیار هموارتر خواهد بود.

یکسو کننده‌ها چند نوع هستند سیلیکونی و سیلینیومی ولامپی که اجازه می‌دهند الکترون‌ها از یک جهت عبور کنند ولی برگشت از این مسیر امکان‌پذیر نیست. (شکل ۷-۳)

شکل ۶-۳

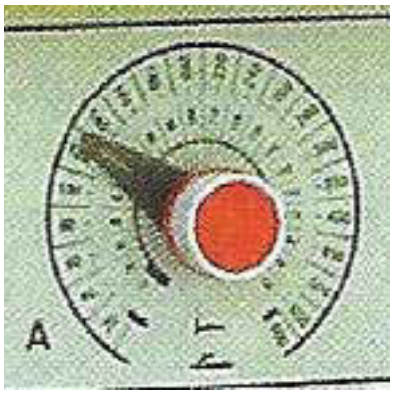


شکل ۷-۳- نحوه بستن یکسوکننده در دستگاه‌های سه‌فاز (~)

۳-۲-۱ تغییر آمپر در رکتی‌فایرها

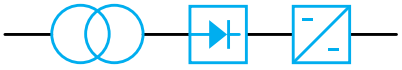
در رکتی فایرهای امروزی به جای یکسو کننده معمولی از تریستور استفاده می‌شود، تریستور یک وسیلهٔ حالت جامد است که فقط اجازه عبور جریان در یک جهت را می‌دهد یعنی مانند یکسو کننده معمولی عمل می‌کند به علاوه می‌توان شدت جریان برق را با استفاده از سیگنال کنترل شونده از راه دور تغییر داد.

نقطه ضعف اساسی تریستور وجود موج‌های چشمگیر در جریان خروجی است این عیب توسط یک سِلف در مدار کاهش می‌یابد پس تغییر آمپر در رکتی‌فایرها به وسیله یک کلید گردشی است که در شکل (۸-۳) مشاهده می‌کنیم.



شکل ۸-۳

در دستگاه‌های جوشکاری که در سیستم‌های جوشکاری اتومات یا رباط کار می‌کند از ترانزیستور به عنوان تقویت کننده استفاده می‌شود و مقدار عبور جریان به عنوان عکس العمل با یک سیگنال تنظیم می‌شود و دیگر موج‌های مزاحم در جریان خروجی کاهش می‌یابد در این دستگاه‌ها برای بالا بردن ظرفیت خروجی جریان تعداد زیادی مثلاً ۱۰۰ تا ۱۵۰ عدد ترانزیستور به صورت موازی به هم بسته می‌شود.



علامت اختصاری اینورتور

ناگفته نماند دستگاه‌های امروزی با استفاده از افزایش فرکانس جریان (از ۵۰ بر ۲۵۰۰۰ هرتز) با فرکانس بالا ساخته شده‌اند که سبک وزن و کوچک هستند و به آنها اینورتور گویند.

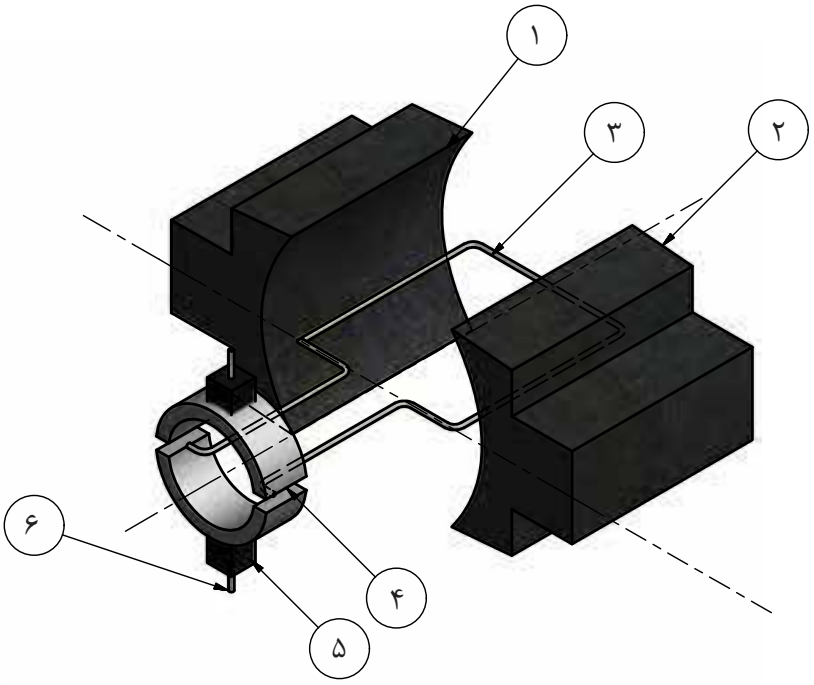
۳-۳ ژنراتورها - مولّدهای جریان جوشکاری

همانطورکه می‌دانیم اگر یک حلقه سیم خطوط مغناطیسی موجود بین دو قطب آهن‌ربا را قطع کند در آن حلقه جریان الکتریکی برقرار می‌شود. شکل (۹-۳) یک دینام جوشکاری را نشان می‌دهد.

شکل ۹-۳

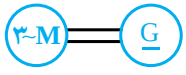
اگر دو سر سیم مذکور به کلکتور (جمع کننده) وصل شود از طریق جاروبک یا ذغال می‌توان جریان الکتریکی را دریافت کرد.

حال چنانچه هر سر سیم به یک حلقه کلکتور مجزا وصل شود جریان متناوب به وجود می‌آید و بر عکس در صورت استفاده از کلکتورهای دو تکه جریان ایجاد شده جریان مستقیم می‌شود. (شکل ۱۰-۳)

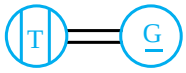


۱ و ۲ - آهن‌ربا (قطب S و N)
۳- حلقه القا شونده (کلاف)
۴- نیم حلقه‌های لغزنده
۵- جاروبک (زغال)
۶- سیم مدار

شکل ۱۰-۳



علامت اختصاری دینام



علامت اختصاری موتور جوش

در صورت افزایش تعداد حلقه‌های کلاف و استفاده از ۴ آهن‌ربا و کلکتورهای چند پارچه می‌توان جریان مستقیم هموارتری را داشته باشیم.

چنانچه حرکت دورانی، توسط یک الکتروموتور که با برق شهر کار می‌کند تأمین شود، دستگاه را دینام جوش کارگاهی گویند و اگر حرکت دورانی توسط یک موتور احتراقی بنزین یا گازوئیل‌سوز تدارک شود، دستگاه را دینام جوش سیار گویند.

دستگاه‌های دینام جوش امروزی، جریان بسیار هموار و پایدار دارند و هیچ گونه نوسان در جریان قوس نداریم در نتیجه پایداری قوس الکتریکی کاملاً رضایت‌بخش است.

۳-۳-۱ تغییر آمپر در دینام‌های جوشکاری

در دستگاه‌های تولید جریان برق جوشکاری (دینام جوشکاری) با تغییر در جریان تحریک بالشتک‌های ایجاد حوزه مغناطیسی، (ایجاد کننده خطوط قوا یا فلوی مغناطیسی) شدت جریان را افزایش یا کاهش می‌دهند که در شکل (۱۱-۳) نحوهٔ تغییر آمپر نشان داده شده است.

شکل ۱۱-۳

در این دستگاه‌ها برای تغییر قطب کلیدی روی دینام جوش تعبیه شده که الکترود را منفی یا الکترود را مثبت می‌کند و به آن کلید تعیین قطب می‌گویند. (شکل ۱۲-۳)

دینام‌های جوشکاری کارگاهی با کلید ستاره، مثلث راه‌اندازی می‌شوند. با ستاره شروع به‌کار می‌کند وقتی که دور دینام به ۷۵٪ رسید آنگاه کلید درحالت مثلث قرار می‌گیرد. هیچ‌گاه نباید درحالت ستاره عمل جوشکاری انجام شود.

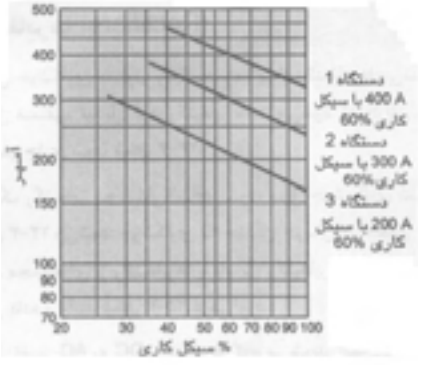
شکل ۱۲-۳

۳-۴ سیکل کاری (Duty Cycle)

در دستگاه‌های تأمین قدرت (ترانسفورماتورها، رکتی‌فایرها و دینام‌های جوشکاری) موقع کار داخل دستگاه گرما ایجاد می‌شود و علاوه بر این‌که توسط فن‌های خود دستگاه خنک می‌شوند، باز هم زمان استراحت برای خنک شدن سیم‌پیچ‌های داخل دستگاه لازم است و زمان‌های تعویض الکترود و تغییر قطب و تغییر قطعات فرصت استراحت دستگاه محسوب می‌شود.

سیکل کاری درصد زمانی است که یک دستگاه جوشکاری به طور پیوسته کار می‌کند و بر اساس زمان ۱۰ دقیقه‌ای محاسبه می‌شود یعنی سیکل کاری ۶۰ درصد به این معنی است که در هر ۱۰ دقیقه دستگاه در کل می‌تواند ۶ دقیقه با تمام ظرفیت کارکند و به مدت ۴ دقیقه از هر ۱۰ دقیقه کار خنک شود.

در جداول روی دستگاه سیکل کاری بر اساس میزان آمپر دریافتی درج شده است. (شکل ۱۳-۳)



شکل ۱۳-۳

ناگفته نماند که یکی از پارامترهای مؤثر در قیمت دستگاه‌های جوشکاری خروجی اسمی و سیکل کاری آنها است.

بعضی از دستگاه‌ها به طور اتومات موقع گرم شدن از مدار سرویس‌دهی خارج شده و پس از سرد شدن آماده به کار می‌شوند به طور اصولی دستگاه‌های جوشکاری باید

مطابق سیکل کاری مورد بهره‌برداری قرار گیرند تا به عایق‌های منبع قدرت آسیب نرسد.

۳-۵ کابل‌های جوشکاری

کابل‌های جوشکاری مدار جریان الکتریکی بین انبر الکترودگیر و اتصال به قطعه کار را تشکیل می‌دهند به علت بالا بودن شدت جریان جوشکاری سطح مقطع کابل باید در حدی باشد تا بتواند به راحتی شدت جریان‌های زیاد را از خود عبور دهد انتخاب سیم مسی و یا آلومینیومی در کابل‌ها به دلیل هدایت الکتریکی خوب این دو فلز است.

کابل‌ها باید انعطاف‌پذیر بوده و وقتی به انبر جوشکاری وصل می‌شوند مانع حرکت‌های دست نشوند تا کار کردن با انبر راحت‌تر باشد به همین منظور کابل‌ها را از سیم‌های رشته‌ای افشان انتخاب کرده و روی آن یک لایه کاغذ کتان و سپس پلاستیک نرم می‌پوشانند و چند دسته از این گروه را با هم در پوشش مناسب و ضد سایش قرار می‌گیرد تا آمپر زیادی از آن عبور کند و گرم نشود. شکل (۱۴-۳)

شکل ۱۴-۳

قطر کابل‌ها با توجه به میزان آمپر و طول مسیر عبور جریان انتخاب می‌شود جدول (۱-۳) را ملاحظه کنید.

جدول ۱-۳ نمره سیم‌های جوشکاری آلومینیومی و مسی

ft	m	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰	۳۵۰	۴۰۰	۴۵۰	۵۰۰
۵۰	۱۵	۲	۲	۲	۲	۱	۱/۰	۱/۰	۲/۰	۲/۰
۷۵	۲۳	۲	۲	۱	۱/۰	۲/۰	۲/۰	۳/۰	۳/۰	۴/۰
۱۰۰	۳۰	۲	۱	۱/۰	۲/۰	۳/۰	۴/۰	۴/۰		
۱۲۵	۳۸	۲	۱/۰	۲/۰	۳/۰	۴/۰				
۱۵۰	۴۶	۱	۲/۰	۳/۰	۴/۰					
۱۷۵	۵۳	۱/۰	۳/۰	۴/۰						
۲۰۰	۶۱	۱/۰	۳/۰	۴/۰						
۲۵۰	۷۶	۲/۰	۴/۰							
۳۰۰	۹۱	۳/۰								
۳۵۰	۱۰۷	۳/۰								
۴۰۰	۱۲۲	۴/۰								

ft	m	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰	۳۵۰	۴۰۰	۴۵۰	۵۰۰
۵۰	۱۵	۲	۲	۱/۰	۲/۰	۲/۰	۳/۰	۴/۰		
۷۵	۲۳	۲	۱/۰	۲/۰	۳/۰	۴/۰				
۱۰۰	۳۰	۱/۰	۲/۰	۴/۰						
۱۲۵	۳۸	۲/۰	۳/۰							
۱۵۰	۴۶	۲/۰	۳/۰							
۱۷۵	۵۳	۳/۰								
۲۰۰	۶۱	۴/۰								
۲۲۵	۶۹	۴/۰								

۳-۶ انبر جوشکاری یا الکترودگیر

شکل ۱۵-۳

قسمت خارجی انبر جوشکاری از جنس عایق و مقاوم به گرما ساخته می‌شود قسمت فلزی انبر را از آلیاژ مس با درصد بالای مس می‌سازند تا هادی خوبی برای جریان برق بوده و گرم نشود. (شکل ۱۵-۳)

الکترود بین فک‌های انبر توسط فنری که در انبر تعبیه شده در شیار مخصوص جای الکترود محکم گرفته می‌شود. (شکل ۱۶-۳)

انبرهای جوشکاری با ظرفیت‌های مختلف مثلاً ۲۰۰ آمپر، ۳۰۰ آمپر و ۵۰۰ آمپر تولید می‌شوند.

شکل ۱۶-۳

۳-۷ ماسک جوشکاری

برای نگاه کردن به قوس هنگام جوشکاری استفاده از فیلتر شیشه‌ای که شدت اشعه‌های مرئی را کاهش داده و از عبور اشعه‌های ماوراء بنفش و مادون قرمز جلوگیری کند ضروری است از طرف دیگر پوست و موی سر و صورت و گردن جوشکار باید از اشعه‌ها در امان باشد لذا استفاده از ماسک جوشکاری برای محافظت ضروری است.

ماسک‌های جوشکاری دارای دریچه‌ای است که شیشه تیره در آن قرار دارد و یک شیشه شفاف روی شیشه تیره قرار می‌گیرد و بقیه قسمت‌های ماسک را از مواد نسوز و سبک در دو نوع دستی و کلاهی می‌سازند نوع دستی برای کارهای ساده و خال‌جوش زدن استفاده می‌شود و ماسک کلاهی در جوشکاری‌های غیر سطحی و یا درزهای جوشکاری طویل و زمانی که هر دو دست جوشکار باید به منظور ایمنی بیشتر و برای

تسلط بیشتر بر روی کار آزاد باشد استفاده می‌شود. (شکل ۱۷-۳)

شکل ۱۷-۳

علاوه بر ماسک وسایل دیگری به عنوان وسائل ایمنی فردی مورد استفاده واقع می‌شوند که عبارتند از: دست‌کش، پیش‌بند، ساق‌بند، آستین، سربند نسوز و بالشتک که در شکل (۱۸-۳) مشاهده می‌کنید.

شکل ۱۸-۳

۸-۳ میز کار جوشکاری

همان‌طور که در شکل (۱۹-۳) مشاهده می‌شود میز کار و کابین جوشکاری برای انجام

شکل ۱۹-۳

جوشکاری‌های تعمیراتی و قطعات کوچک و مکان‌های آموزشی به کار گرفته می‌شود و دارای سطوح مشبک بوده و از زیر یا کنار توسط مکنده‌های مخصوص دودهای حاصل از جوشکاری به خارج هدایت می‌شود این روش تهویه به طور عموم پس از عبور از فیلتر و جذب دود و گازهای مختلف هوای تصفیه شده را دوباره به فضای آزاد بر می‌گرداند.

برای کار در محیط‌های عمومی کارگاه از پاراون (دیوارهای جداکننده) متحرک برای محصور کردن فضای جوشکاری استفاده می‌شود.

۹-۳ وضعیت دهنده‌ها (Positioner)

شکل ۲۰-۳

بهترین حالت جوشکاری اجرای عملیات جوشکاری سطحی است در این وضعیت مذاب با کمک نیروی جاذبه زمین راحت به کار منتقل می‌شود و انجام جوشکاری ساده بوده و با اشکال کمتر اجرا می‌شود و از طرف دیگر الکترودهای متنوّعی می‌توان به کار برد و به طور عموم سعی بر این است که جوشکاری در این وضعیت انجام شود.

به همین دلیل برای جوشکاری تمام قسمت‌های یک مصنوع از وسیله‌ای استفاده می‌شود به‌نام وضعیت دهنده که با توجه به نوع مصنوع دارای شکل‌های متفاوت است. (شکل ۲۰-۳)

کار روی این وضعیت دهنده قرار می‌گیرد و با بست‌های ساده محکم شده و تحت هر زاویه‌ای به گردش در می‌آید تا اجرای جوشکاری زیر دست و با دقت و راحتی کافی انجام پذیرد.وضعیت دهنده‌های خیلی بزرگ هم وجود دارد که حتی یک واگن راه آهن روی دو محور آن بسته شده و با چرخش واگن همه جهات را در حالت زیر دستی یا سطحی جوشکاری می‌کنند. (شکل ۲۱-۳)

شکل ۲۱-۳

سؤالات پایانی فصل سوم

۱- جنس هسته ترانسفورماتور جوش در کدام گزینه معرفی شده است؟

الف) ورقه‌های فولادی که درصد سیلیس کمی دارد.

ب) ورقه‌های نازک فولادی با درصد سیلیس بیشتر از فولاد.

ج) بین ورق‌ها که از جنس آلومینیوم است عایق حرارت وجود دارد.

د) هسته ترانسفورماتور باید به راحتی خاصیت آهن‌ربایی پیدا کند.

۲- قرار گرفتن هسته فرعی داخل هسته اصلی ترانسفورماتور برای ..... .

الف) زیاد کردن حوزه مغناطیس هسته وسط سیم‌پیچ ثانویه است.

ب) حذف کردن خاصیت آهن‌ربایی هسته.

ج) کاهش شدت جریان در سیم‌پیچ اولیه.

د) کاهش حوزه مغناطیس متغیر که وسط سیم‌پیچ ثانویه وجود دارد.

۳- یکسو کننده در رکتی‌فایر مانند ..... در جوشکاری گاز است.

الف) شیلنگ‌ها ب) سوپاپ اطمینان

ج) شیر یک طرفه گاز د) شیر فلکه کپسول‌ها

۴- دستگاه‌های اینورتور جوشکاری چه حسن ویژه‌ای دارند؟

الف) دو کاره وساده ب) AC/DC

ج) سبک و کم مصرف د) زیبا و قابل حمل و نقل

۵- قطع خطوط مغناطیس در دینام‌های جوشکاری موجب ..... می‌شود.

الف) خاموش شدن دستگاه ب) به وجود آمدن جریان الکتریکی

ج) کم شدن آمپر د) زیاد شدن آمپر

۶- کدام یک از دستگاه‌های جوشکاری قوس پایدارتری دارند؟

الف) ترانسفورماتور تک‌فاز ب) رکتی‌فایر

ج) دینام جوش د) ترانسفورماتور دو فاز

۷- چرا از وضعیت‌دهنده استفاده می کنیم؟

الف) تمام جوشکاری‌ها با دست انجام شود.

ب) انجام جوشکاری در حالت سطحی عملی شود.

ج) کار در یک مکان جوشکاری شود.

د) تمام جوشکاری‌های زیر نظر بازرس انجام گیرد.

۸- کار کردن با ماسک کلاهی موجب چه مزیتی می‌شود؟

الف) ایمنی بیشتر

ب) آزاد بودن یک‌دست جوشکار

ب) راحتی کار

د) دوام بیشتر ماسک‌های کلاهی

۹- تغییر آمپر در دستگاه‌های رکتی‌فایر جوشکاری با ..... عملی می‌شود.

الف) گردش دسته

ب) جا به جا کردن ترمینال انبر

ج) جا به جا کردن هسته

د) تریستور