هدف کلی

ایجاد تغییرات رفتاری در دانش‌آموزان (هنرجویان) رشته تأسیسات به‌نحوی که قادر باشند با بهره‌گیری از اصول و فناوری روز ورقه‌های فولادی و لوله‌های فولادی را با ایجاد قوس الکتریکی به روش دستی جوشکاری نمایند.

مقدمه

جوش‌کاری علاوه‌بر این که نقش ارزنده‌ای در تولید دارد، در توسعه و گسترش صنایع و مرمّت قطعات نیز، اثر بسیار مطلوبی دارد. امروزه برای تولید اتومبیل‌های جدید، کارخانه‌های سازنده میلیون‌ها دلار صرف دستگاه و ابزارهای مدرن جوش‌کاری و نیز تحقیقات می‌نمایند.

بسیاری از پل‌ها، ساختمان‌های فلزی، کشتی‌ها و خطوط لوله‌ی ماشین‌های راه‌سازی و کشاورزی را از طریق جوش‌کاری می‌سازند و تولید می‌کنند. صنایع فضایی بدون استفاده از روش‌های مختلف جوش‌کاری، قادر به تولید هواپیماهای غول‌پیکر، راکت‌ها و غیره نخواهند بود. با توسعه و پیشرفت این علم در عصر حاضر، امکان جوش‌کاری در خارج از جوّ و در فضا نیز میسّر شده است.

کاربرد جوش‌کاری در صنایع سبک هم مانند تولید تلویزیون ــ یخچال ــ کابینت‌های آشپزخانه ــ ماشین‌های ظرف‌شویی و لباس‌شویی و ... غیرقابل انکار است.

در حال حاضر کشورهای پیشرفته‌ی جهان از روش‌های بسیار متنوع جوش‌کاری مانند لیزر ــ الکترون بیم ــ اولتراسونیک ــ انفجاری و اصطکاکی استفاده می‌کنند.

فصل اوّل

جوش‌کاری با قوس الکتریکی

در پایان این فصل هنرجو باید بتواند :

۱ــ قوانین الکتریسیته در استفاده صحیح از دستگاه‌های جوش‌کاری را شرح دهد.

۲ــ ساختمان ماشین‌های جوش‌کاری را از نظر نوع شدت جریان برق توضیح دهد.

۳ــ ساختمان ترانسفورماتور جوش‌کاری را تشریح نماید.

۴ــ نحوه کنترل بازده و یکسو کردن شدت جریان را توضیح دهد.

۵ــ نحوه یکسو کردن شدت جریان را شرح دهد.

۶ــ ویژگی ژنراتور جوش‌کاری را از نظر وضعیت شدت جریان الکتریکی توضیح دهد.

۷ــ اصول اولیه جوش کاری با استفاده از قوس الکتریکی و الکترود دستی و جریان الکتریکی مستقیم را تشریح کند.

۸ــ جوش‌کاری با قطب مستقیم و معکوس را توضیح دهد.

۹ــ ملاک‌هایی که در گزینش قطب (مستقیم و معکوس) جوش‌کاری اهمیت دارد، توضیح دهد.

۱۰ــ مشخصات ماشین‌های جوش‌کاری را توضیح دهد.

۱۱ــ مشخصات کابل جوش‌کاری و ترمینال‌های آن را توضیح دهد.

۱۲ــ مشخصات دستگاه‌ها و ابزار تمیزکننده جوش‌کاری را شرح دهد.

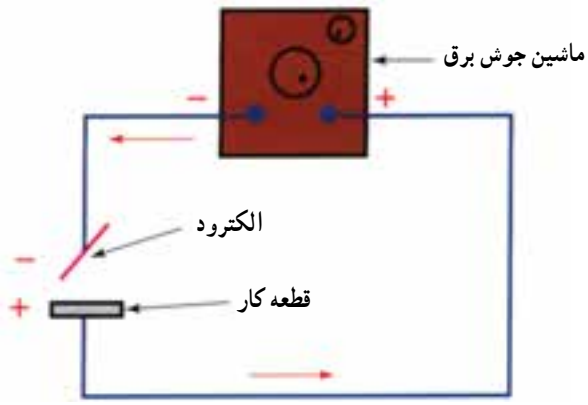
۱۳ــ مشخصات انبر الکترود را شرح دهد.

۱۴ــ ویژگی‌ها و انواع ماسک جوش‌کاری و لباس ایمنی را توضیح دهد.

۱ــ جوش‌کاری با قوس الکتریکی

۱ــ۱ــ تعاریف و مقدمات

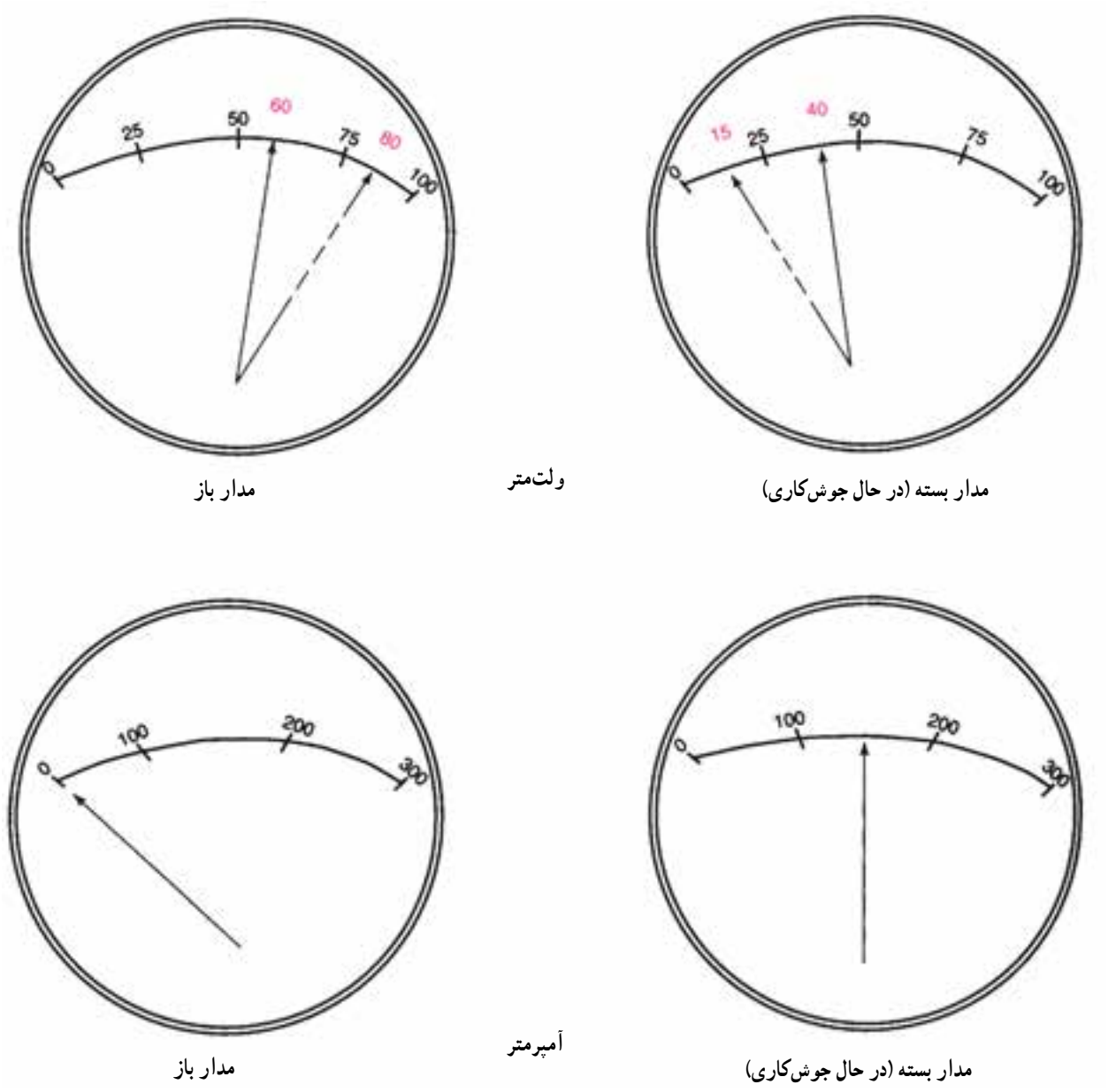
۱ــ۱ــ۱ــ مدار الکتریکی: مدار الکتریکی مسیری است که جریان الکتریسیته (الکترون‌ها) در آن جاری می‌شود و این مسیر از ترمینال منفی ژنراتور (جایی که شدت جریان تولید می‌شود) شروع شده به‌وسیله‌ی سیم یا کابل به‌طرف ترمینال مثبت هدایت می‌شود (شکل ۱ــ۱).



شکل ۱ــ۱ــ مدار الکتریکی ماشین جوش‌کاری

۲ــ۱ــ۱ــ شدت جریان: شدت جریان تعداد الکترون‌هایی است که در یک ثانیه از یک نقطه از مدار می‌گذرد و واحد آن آمپر است که به‌طور اختصار «amps یا amp» نوشته می‌شود. (یک آمپر یعنی $۶/۸\times۱۰^{۱۸}$ عدد الکترون) دستگاه اندازه‌گیری آمپر «آمپرمتر» (ampermeter) است.

۳ــ۱ــ۱ــ ولتاژ: نیرویی (emf)[۱] که باعث می‌شود الکترون‌ها در مدار جریان یابند «ولتاژ» نامیده می‌شود. این نیرو مانند فشاری‌است که باعث جریان آب در لوله می‌شود. در سیستم آب پمپ باعث فشار است درحالی که در مدار الکتریکی ژنراتور یا ترانسفورماتور مولد فشار است که الکترون‌ها را در سیم به حرکت وا می‌دارد واحد این فشار «ولت» است و دستگاهی که آن‌را اندازه گیری می‌کند «ولت متر» نامیده می‌شود (شکل ۲ــ۱).



شکل ۲ــ۱ــ ولت‌متر و آمپرمتر در دستگاه جوش‌کاری

۱ــ Electromotive force

۴ــ۱ــ۱ــ اُفت ولتاژ: هم‌چنان که در سیستم آب هر چه طول لوله نسبت به پمپ بیش‌تر باشد فشار آب کم می‌شود در یک مدار الکتریکی هم هرچه فاصله نسبت به ژنراتور زیادتر شود ولتاژ کم‌تر می‌گردد که به آن «افت ولتاژ»[1] می‌گویند.

۵ــ۱ــ۱ــ جریان مستقیم و متناوب (AC و DC): در جوش‌کاری قوس الکتریکی به‌طور مستقیم از انرژی الکتریکی استفاده نمی‌شود ولی آن‌را تبدیل به انرژی حرارتی می‌کنند و به‌کار می‌برند.

انرژی الکتریکی را در مقیاس بزرگ از محرک‌های مکانیکی (مانند توربین بخار ــ توربین آبی) و در مقیاس‌های کوچک‌تر از موتورهای دیزلی که به‌وسیله کوپلینگ به ژنراتور وصل می‌شود به‌دست می‌آورند.

دو نوع انرژی الکتریکی وجود دارد

الف ــ جریان مستقیم یا DC

ب ــ جریان متناوب یا AC

در جریان مستقیم الکترون‌ها در یک هادی فقط در یک جهت جابه‌جا می‌گردند ولی در جریان متناوب الکترون‌ها در پریودهایی جهت خود را تعویض می‌کنند.

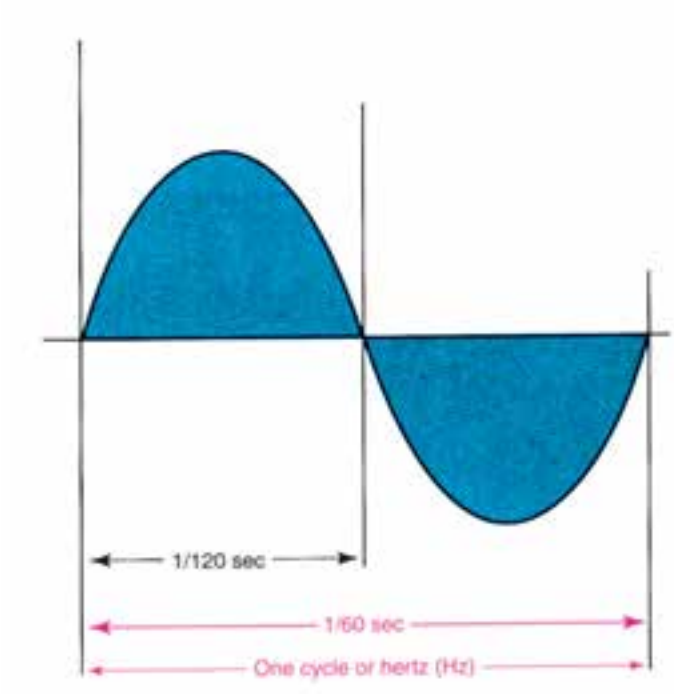
بعضی از ژنراتورها مانند باطری و ترموکوپل، مستقیماً جریان DC تهیه می‌کنند اما بیش‌ترین روش تهیه‌ی جریان مستقیم، از طریق جریان متناوب، به‌وسیله‌ی یک‌سوکننده‌ها (رکتی فایر) انجام می‌شود.

منحنی جریان متناوب، سینوسی‌شکل است که یک سیکل کامل آن محتوی یک نیم‌سیکل مثبت و یک نیم‌سیکل منفی است. که در هر نیم‌سیکل جهت جابه‌جایی الکترون‌ها برعکس یک‌دیگر است.

۶ــ۱ــ۱ــ فرکانس: فرکانس یعنی تعداد سیکل‌های کامل در زمان یک ثانیه.

در بسیاری از کشورها فرکانس جریان الکتریسیته، ۶۰ سیکل است و در کشور ایران فرکانس ۵۰ سیکل متداول است. به‌وسیله‌ی دستگاه‌هایی می‌توان تعداد سیکل‌ها را در واحد زمان زیاد کرد. برای مثال از این دستگاه در روش جوش‌کاری با گاز آرگون برای شروع ایجاد قوس الکتریکی استفاده می‌شود. هم‌چنین در روش برنج جوش القایی، در دستگاه‌های اولتراسوییک و غیره از آن استفاده می‌شود. یک سیکل کامل شدت جریان « 360 » است، بنابراین حداکثر ولتاژ مثبت در زاویه‌ی ۹۰ و حداکثر ولتاژ منفی در زاویه‌ی ۲۷۰ است و در زوایای ۰ و ۱۸۰، جهت ولتاژ تعویض شده، ازصفر می‌گذرد (شکل ۳ــ۱).

در جوش‌کاری بهتر است که یک نیم‌سیکل جریان متناوب را «DCSP»[2] و نیم‌سیکل دیگر را «DCRP»[3] بنامیم.



شکل ۳ــ۱ــ جریان متناوب یک سیکل یا هرتس

چون ولتاژ در جریان متناوب تغییر می‌کند، بنابراین در جوش‌کاری با مشکلاتی همراه است که مقدار و اندازه‌ی ولتاژ در هر نقطه از منحنی از آن جمله است ؛ برای مثال اگر صحبت از ولتاژ «۲۲۰» ولت متناوب می‌شود، لازم است بدانیم که ولتاژ در طول موج منحنی سینوسی و یا هر نقطه در روی منحنی چه‌قدر است.

۱ــ افت ولتاژ در جوش‌کاری اهمیت خاصی دارد که در فصل‌های آینده در مورد آن بحث خواهد شد.

۲ــ DCSP = Direct current straight Polarity

۳ــ DCRP = Direct current Reverse Polarity

فرض کنید یک مقاومت الکتریکی مانند اجاق الکتریکی، که به برق ۲۲۰ ولت «d.c» وصل می‌شود، یک مقدار مشخص توان برحسب وات ایجاد می‌کند.

حال اگر همین اجاق را به برق ۲۲۰ ولت «a.c» وصل کنیم، باز هم همان مقدار توان ایجاد خواهد شد.

منبع متناوب ۲۲۰ ولت در زیر نظام این قاعده است که :

ولتاژ اسمی یک جریان «a.c»، حداکثر ولتاژ نیست بلکه ولتاژ مؤثر آن است. ولتاژ اسمی یا ولتاژ مؤثر برابر است با

(حداکثر ولتاژ) پیک ولتاژ ×۰/۷۰۷ = ولتاژ مؤثر

ولتاژ اسمی ×۱/۴۱۴ = پیک ولتاژ

برای ولتاژ a-c، ۲۲۰ ولت ماکزیمم ولتاژ مثبت لازم است و حداکثر ولتاژ منفی برابر است با

۲۲۰×۱/۴۱۴ = ۳۱۱V

از گفته‌های فوق نتیجه می‌گیریم که اگر شخصی در معرض برق‌گرفتگی با جریان «a.c» قرار گیرد، ۱۴۱ درصد خطرناک‌تر از برق ۲۲۰ ولت «d.c» است ؛ بنابراین عایق‌های الکتریسیته برای جریان «a.c» باید ۱۴۱ درصد ولتاژ مؤثر باشند.

در اکثر ماشین‌های جوش‌کاری «a.c» «d.c»، جریان مستقیم را از طریق رکتی‌فایرکردن یا یک‌سوکردن جریان متناوب به‌دست می‌آورند ؛ چنین جریان مستقیمی دارای «۱۰۰» سیکل جریان مستقیم است. شکل ۴ــ۱ یک جریان «d.c» فول رکتی‌فایر را نشان می‌دهد.

اگر نیم‌سیکل‌های منفی جریان «a.c» به طرف دیگر منتقل شود چنین جریانی تبدیل به «dc» شده و آن‌را «نیم‌سیکل‌های یک‌سو»شده می‌نامند و دستگاهی که این عمل را انجام می‌دهد رکتی‌فایر یا یک‌سوکننده می‌نامند. دستگاه‌های جوش‌کاری بزرگ از یک جریان «dc» و سه فاز تغذیه می‌کنند.

سه فاز یعنی سه منبع توان که ولتاژ آن‌ها یکسان است و ولتاژ از طریق سه سیم گرفته می‌شود. سه فاز به‌طور مجزا از نقطه نظر الکتریکی « ۱۲۰» هستند. معنی فاز در الکتریسیته با معنی فاز در متالورژی با هم تفاوت دارد.

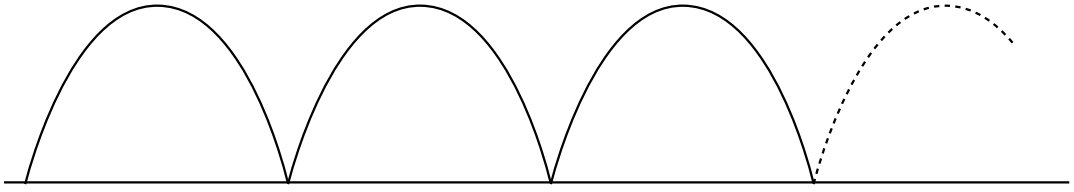
فاز در جریان الکتریسیته یعنی اگر شدت جریان و یا ولتاژ در فاز باشند با فاصله ولی با هم از صفر می‌گذرند و اگر خارج از فاز باشند، یکی از آن‌ها در زمان متفاوت نسبت به دیگری از صفر عبور می‌کند.

به هر حال عمل جوش‌کاری با دستگاه‌های سه‌فاز ساده‌تر و ضربان قوس یک‌نواخت‌تر است. رکتی‌فایر (یک‌سوکننده) سیستمی است که جریان «a.c» را به «d.c» تبدیل می‌کند. به‌طورکلی دستگاه‌های جوش‌کاری «DC» را برای سه فاکتور مهم طراحی می‌کنند :

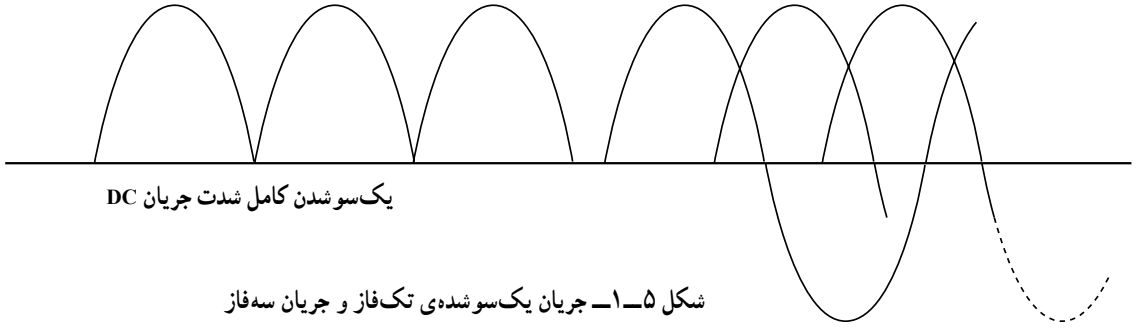
۱ــ تولید یک رنج وسیع شدت جریان برای جوش‌کاری ضخامت‌های مختلف در آلیاژها ؛

۲ــ ثابت نگه‌داشتن خصوصیات ولت ــ آمپر ؛

۳ــ تغییریافتن ولتاژ در زمان بسیار کوتاه، برای ولتاژ مورد نیاز قوس.

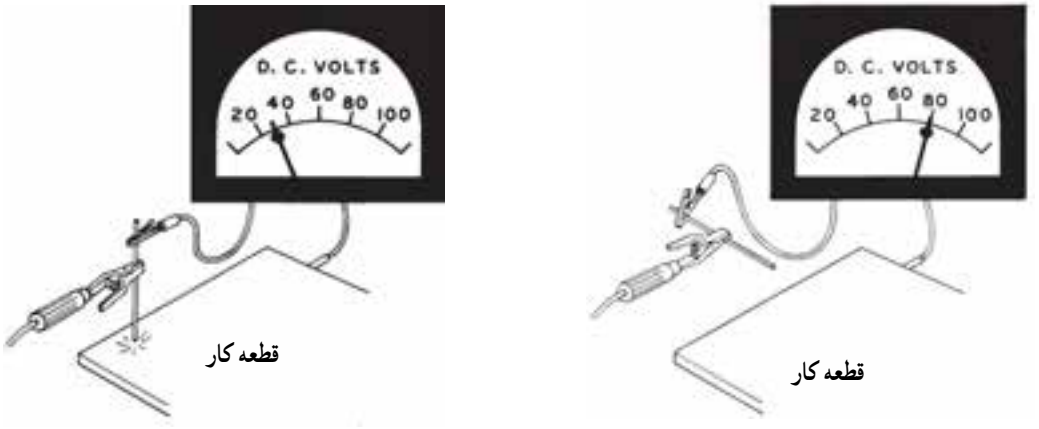


شکل۴ــ۱ــ جریان یک‌سوشده



شکل ۵ــ۱ــ جریان یک‌سوشده‌ی تک‌فاز و جریان سه‌فاز

۷ــ۱ــ۱ــ ولتاژ مدار باز و ولتاژ قوس: ولتاژ مدار باز ولتاژی است که در موقع کارکردن ماشین جوش‌کاری وجود دارد بدون این که عمل جوش‌کاری صورت گیرد. تغییرات این ولتاژ در سیستم ماشین متفاوت و در حدود ۵۰ تا ۱۰۰ ولت است. بعد از این که قوس ایجاد شد، مقدار ولتاژ افت کرده، اندازه‌ی آن به حدود ۱۸ تا ۳۶ ولت می‌رسد. (شکل ۶ــ۱) و این ولتاژ را ولتاژ «قوس» یا «ولتاژ کاری» می‌نامند. امروزه در دستگاه‌های جدید، مقدار افت ولتاژ فرق می‌کند در صفحات بعد به آن اشاره می‌شود.



(ب) (الف)

شکل ۶ــ۱ــ الف ــ ولتاژ مدار باز ب ــ ولتاژ کار(قوس)

۲ــ۱ــ ایجاد قوس الکتریکی با الکترود دستی

اگر بتوانیم جریان الکتریکی را از دو الکترود که نسبت به هم فاصله‌ی کوتاهی دارند عبور دهیم، قوس الکتریکی ایجاد خواهد شد.

اولاً باید به فاصله‌ی بین دو الکترود یعنی فضای موجود یا هوای بین آن‌ها توجه کرد. ثانیاً هم‌چنان که می‌دانیم هوا عایق است و رسانا نیست.

حال اگر بخواهیم الکترون‌ها را از فضای مابین الکترودها که عایق است عبور دهیم، می‌توانیم ولتاژ را زیاد کنیم امّا، ولتاژ زیاد می‌تواند برای جوش‌کار خطرناک باشد و یا به‌عبارت دیگر، در روش‌های متداول جوش‌کاری، نمی‌توان از ولتاژ زیاد استفاده کرد مگر در شرایط خاصّی مانند شروع قوس در روش جوش آرگون ؛

بنابراین باید روش دیگری انتخاب شود که بتوان الکترون‌ها را از این فاصله که عایق است عبور داد.

روشی که می‌توان اتخاذ نمود این است که هوا را از حالت عایق‌بودن خارج کرده، آن‌را رسانا کنیم. هم‌چنان که می‌دانیم هوا مخلوطی است از اکسیژن و ازت که باید آن‌ها را یونیزه[1] کرد.

پس از آن دو مرتبه اتم‌ها را به یون و الکترون تجزیه کنیم. در این صورت الکترون می‌تواند از فاصله‌ی بین الکترودها (فضای رسانا شده) عبور کند و چون مقاومت هوای رسانا شده زیاد است، به ناچار الکترون انرژی خود را تبدیل به انرژی حرارتی می‌کند. برای انجام این عمل لازم است که نوک الکترود را برای یک لحظه یا زمان بسیار کوتاه به پلیت یا قطعه‌ی کار تماس داد و سپس

۱ــ یونیزه‌کردن یعنی مولکول‌های اکسیژن و ازت را تجزیه کرده، تبدیل به اتم اکسیژن و اتم ازت می‌نماییم.

$O_2 \rightarrow O + O$

$N_2 \rightarrow N + N$

آن‌را به اندازه‌ی ۳ تا ۴ میلی‌متر از سطح قطعه کار دور کرد.

هنگامی که الکترود تماس پیدا می‌کند، الکترون‌ها جریان پیدا می‌کنند و وقتی که نوک الکترود نسبت به سطح فلز فاصله پیدا می‌کند، شدت جریان به‌طور مداوم از این فاصله‌ی کم به‌صورت جرقه می‌گذرد و باعث یونیزه‌شدن یا به اصطلاح رساناشدن فضا می‌شود.

قوس به‌وسیله‌ی الکترون‌ها تولید می‌شود و جهت آن‌ها از قطب «Ve−» به قطب «Ve+» است و انرژی الکتریکی به انرژی حرارتی و نور تبدیل می‌شود.

تقریباً $\frac{۲}{۳}$ از حرارت در نزدیکی قطب مثبت به وجود می‌آید که به شکل دهانه‌ی آتشفشان می‌سوزد و درجه حرارت در مجاورت این دهانه در حدود ۶۰۰۰ C تا ۷۰۰۰ C است و $\frac{۱}{۳}$ از کل حرارت در نزدیک قطب منفی ایجاد می‌شود، درنتیجه اگر الکترود به قطب مثبت وصل شود، سرعت ذوب آن پنجاه درصد بیش‌تر از این است که الکترود به قطب منفی وصل شود.

براساس مقدار حرارت تولیدشده در قطب‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که اگر ضخامت پوشش الکترودی در حد متوسط باشد، باید آن را به قطب منفی وصل نمود تا به سرعت ذوب نشود. الکترودهایی که دارای پوسته‌ی ضخیم هستند، چون نیاز به حرارت بیش‌تری دارند، می‌توان آن‌ها را به قطب مثبت وصل کرد.

هنگامی که از جریان متناوب استفاده می‌شود، مقدار حرارتی که درقطعه کار و الکترود ایجاد می‌شود، مساوی است زیراقطعه کار و الکترود قطب‌های خود را متناسب با فرکانس برق تغییر می‌دهند.

اگر از یک مفتول به‌جای الکترود استفاده کنیم، مشاهده می‌شود که کنترل قوس مشکل می‌گردد و هاله‌ی قوس ملتهب شده، بر روی مذاب به این سو و آن سو کشیده می‌شود.

در هنگامی که ذرات مذاب از مفتول جدا شده، به طرف قطعه‌ی کار می‌روند، در تماس با آتمسفر می‌باشند ؛ از این رو اکسیژن و ازت هوا را جذب کرده، تولید اکسید آهن و نیتریت آهن می‌کنند ؛ درنتیجه جوشی که از مفتول بدون پوشش ایجاد می‌شود، شکننده و ترد شده و متخلخل خواهد بود.

۳ــ۱ــ ماشین‌های جوش‌کاری

دستگاه‌های جوش‌کاری که به آن‌ها ماشین‌های جوش‌کاری هم گفته می‌شود، ممکن است به یکی از سه صورت «ac» ــ «dc» یا ترکیب «ac/dc» باشد. این دستگاه‌ها طوری طراحی می‌شوند که در آن‌ها یا شدت جریان ثابت است و یا ولتاژ.

سیستم ماشین های «ac» ممکن است به یکی از صورت‌های زیر باشد :

۱ــ ترانسفورماتور ؛

۲ــ موتور آلترناتور (موتور الکتریکی) ؛

۳ــ اینجین[۱] آلترناتور (اینجین دیزلی یا بنزینی) ؛

۴ــ اینورتر[۲] (معکوس‌کننده‌ها).

سیستم دستگاه‌های «dc» ممکن است به یکی از صورت‌های زیر باشد :

۱ــ ترانسفورماتور همراه با یک‌سوکننده‌ی «dc» ؛

۲ــ موتور ژنراتور (موتور الکتریکی) ؛

۳ــ اینجین ژنراتور (موتورهای گازوئیلی یا بنزینی) ؛

۴ــ رکتی فایر ؛

۵ــ اینورتر

ــ سیستم دستگاه‌های «ac/dc» به‌صورت زیر است :

۱ــ ترانسفورماتور با یک‌سوکننده‌ی «dc» ؛

۲ــ موتور آلترناتور[۳] با رکتی‌فایر[۴] «dc» (موتور الکتریکی) ؛

۳ــ اینجین آلترناتور با رکتی‌فایر «dc» (موتور بنزینی یا گازوئیلی) ؛

۴ــ اینورتر (معکوس‌کننده).

۱ــ۳ــ۱ــ ماشین‌های ac: دستگاه‌های «ac» یا به‌صورت ترانسفورماتور (شکل ۷ــ۱) و یا به شکل آلترناتور (شکل ۸ــ۱) هستند.

هدف از کاربرد ترانسفورماتور در جوش‌کاری تغییردادن ولتاژ زیاد و شدت جریان کم، به ولتاژ کم و شدت جریان زیاد

۱ــ Engine ۲ــ Inveter ۳ــ Alternator ۴ــ Rectifier

است که به‌نام ترانسفورماتور کاهنده(Step - down transformer) نامیده می‌شود. (شکل ۷ــ۱)

ترانسفورماتور محتوی سه سیستم الکتریکی است :

۱ــ سیم پیچ اولیه ؛

۲ــ سیم پیچ ثانویه ؛

۳ــ هسته‌ی آهنی.

شکل ۷ــ۱ــ یک دستگاه ترانسفورماتور با ظرفیت جوش ۲۳۰A

(ب)

(الف)

شکل ۸ــ۱ــ (الف) دستگاه جوش‌کاری سیار سیستم آلترناتور ac/dc (ب) موتور ژنراتور

قطر سیم، سیم‌پیچ اولیه نسبت به سیم‌پیچ ثانویه کوچک‌تر است زیرا سیم‌پیچ اولیه، شدت جریان کمی را از خود عبور می‌دهد و تعداد حلقه‌ها در سیم‌پیچ اولیه نیز نسبت به سیم‌پیچ ثانویه خیلی بیش‌تر است.

هنگامی که شدت جریان از یک سیم عبور کند، در اطراف آن حوزه‌ی مغناطیسی تشکیل می‌شود و وقتی که شدت جریان در سیم متوقف شود، حوزه‌ی مغناطیسی متلاشی می‌شود.

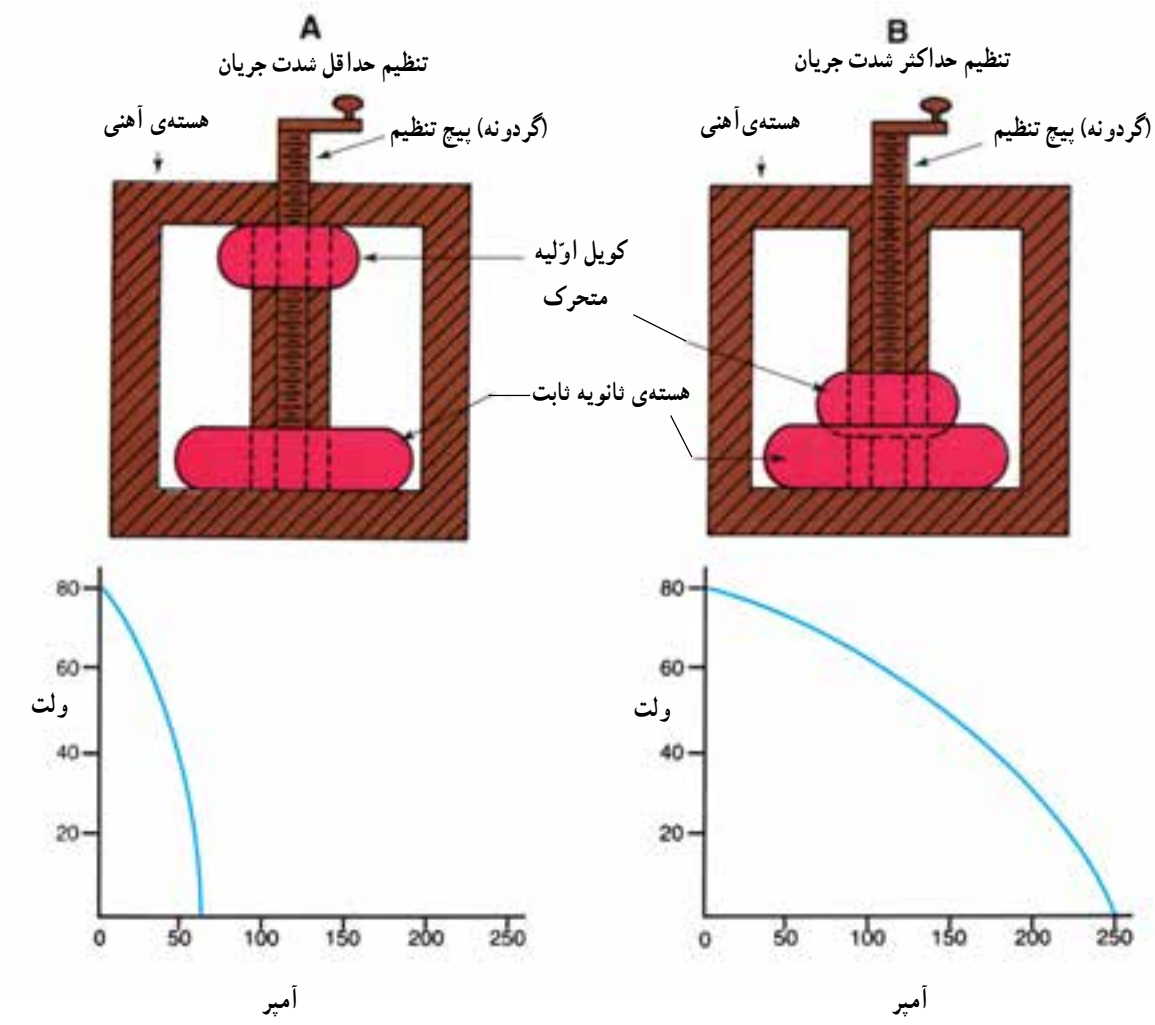
در ماشین‌های جوش‌کاری کاهنده، تعداد حلقه در سیم‌پیچ اولیه زیاد است و به همین علت حوزه‌ی مغناطیسی نیز در آن بسیار قوی می‌باشد و سیم‌پیچ ثانویه با تعداد حلقه‌های کم در

نزدیکی سیم پیچ اولیه قرار دارد چون در سیم‌پیچ اولیه، جریان متناوب است، در مواقعی که جهت جریان عوض می‌شود، حوزه‌ی مغناطیسی در سیم‌پیچ ثانویه القا می‌گردد و شدت جریان در یک جهت جاری می‌شود و وقتی که جهت شدت جریان در سیم‌پیچ اولیه تغییر جهت داد، دوباره در سیم‌پیچ ثانویه حوزه‌ی مغناطیسی القاشده، جهت جریان برخلاف جهت جریان قبل در سیم‌پیچ اولیه به‌راه می‌افتد.

پروسه‌ی القا شدن حوزه‌ی مغناطیسی باعث می‌شود که در سیم‌پیچ ثانویه شدت جریان با نرخ ۱۰۰مرتبه در ثانیه القا شود و درنتیجه یک شدت جریان متناوب تشکیل شود.

لایه‌های هسته‌ی آهنی که مابین دو سیم‌پیچ قرار دارد به دو سیم‌پیچ اولیه و ثانویه، مرکزیت می‌دهد و هدف از وجود آن، نگه‌داری و ثبات حوزه‌ی مغناطیسی است.

اگر سیم‌پیچ اولیه و ثانویه از یک‌دیگر دور شوند، مقدار شدت جریانی که در سیم‌پیچ ثانویه القا می‌شود کاهش می‌یابد زیرا حوزه‌ی مغناطیسی ضعیف‌تری، سیم‌پیچ ثانویه را قطع می‌کند (شکل ۹ــ۱).



شکل ۹ــ۱ــ کویل متحرک یک ترانسفورماتور

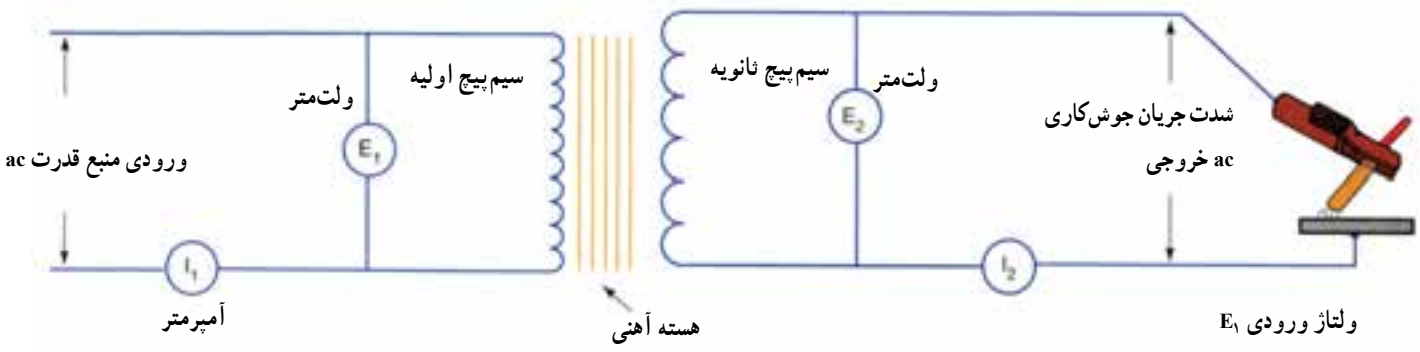
A ــ تنظیم شدت جریان برای حداقل آمپر

B ــ تنظیم شدت جریان برای حداکثر آمپر

در شکل ۱۰ــ۱مدارهای الکتریکی یک ترانسفورماتور «ac» نشان داده شده است.

فرض کنیم لازم است که کویل‌های یک ترانسفورمر جوش‌کاری برای ولتاژ خروجی مدار باز ۵۵ ولت سیم‌پیچی شود (۵۵ ولت برای سهولت محاسبه در نظر گرفته شده) و ولتاژ ورودی ۵۵۰ ولت است یعنی ۱۰ برابر ولتاژ خروجی ماشین. از رابطه‌ی زیر می‌توان تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ اولیه و سیم پیچ ثانویه را به‌دست آورد.

$$\frac{\text{تعداد حلقه در سیم‌پیچ اولیه}}{\text{تعداد حلقه در سیم‌پیچ ثانویه}} = \frac{\text{ولتاژ در سیم‌پیچ اولیه}}{\text{ولتاژ در سیم‌پیچ ثانویه}}$$



ولتاژ ورودی E_1

شدت جریان اولیه I_1

ولتاژ ثانویه E_2

شدت جریان ثانویه I_2

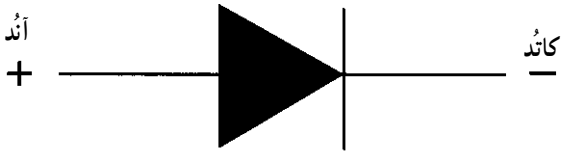
شکل ۱۰ــ۱ــ مدار الکتریکی یک ترانسفورماتور جوش‌کاری

۲ــ۳ــ۱ــ کنترل بازده و یک‌سوکردن شدت جریان:

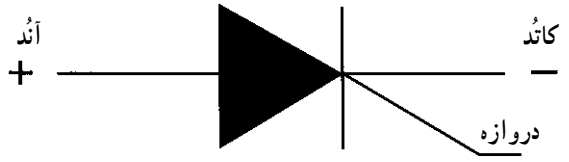
برای کنترل‌کردن کارایی شدت جریان در دستگاه‌های جوش‌کاری از شیوه‌های متفاوتی (مانند کویل‌های متحرک، حوزه‌ی مغناطیسی و غیره) برای مقدار شدت جریان خروجی استفاده می‌کنند، اما امروزه در ماشین‌های جدید جوش‌کاری از روش‌های الکترونیکی استفاده می‌نمایند. «دیود» (diode) وسیله‌ای است که فقط در یک جهت، شدت جریان داشته باشد و در جهت مخالف نمی‌تواند جاری گردد. از «دیود» برای تبدیل جریان متناوب به مستقیم استفاده می‌شود (شکل ۱۱ــ۱ــ الف).

«SCR»[1] مانند دیود است و اختلاف آن‌ها در این است که دیود مانند یک خیابان یک‌طرفه است که در آن شدت جریان فقط می‌تواند در یک جهت از «آند» (+) به طرف «کاتد» (–) برود. در «SCR» شدت جریان مانند دیود می‌تواند در یک جهت جاری شود اما مشروط بر این‌که این مسیر به‌وسیله‌ی یک دروازه (gate) باز شود.

در شکل (۱۱ــ۱ــ ب) دیاگرام یک «دیود» و «SCR» نشان داده شده است.



شکل ۱۱ــ۱ــ الف ــ دیاگرام یک دیود

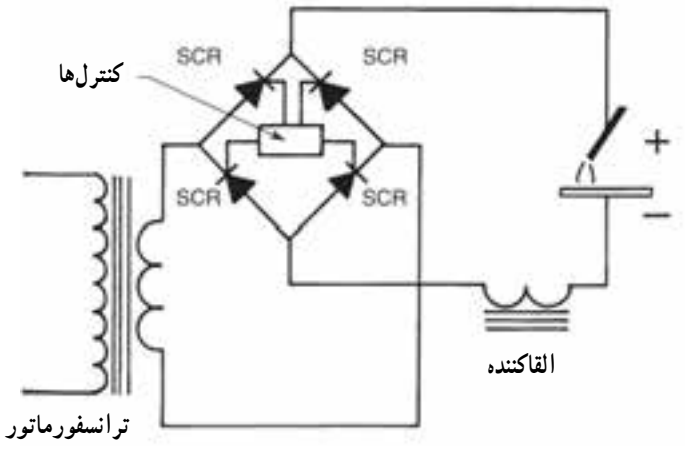


شکل ۱۱ــ۱ــ ب ــ دیاگرام یک SCR با دروازه

۱ــ Silicon-Controlled Rectifiers

دروازه یا gate در «SCR» یک کلید است که در هنگام چرخش مسیر صحیح و درست جاری‌شدن شدت جریان را باز می‌کند و اگر مسیر شدت جریان بخواهد تغییر کند، «SCR» شدت جریان را متوقف می‌کند.

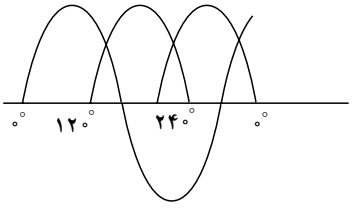
کاربرد «SCR» در مدار ثانویه ماشین‌های جوش‌کاری است و هر موقع که نیاز به شدت جریان زیاد باشد، «SCR» در هر نیم‌سیکل شدت جریان، در یک لحظه‌ی بسیار کوتاه، مسیر را باز می‌کند و اگر به شدت جریان کم نیاز باشد «SCR» در هرنیم سیکل مسیر را دیرتر باز می‌کند ؛ یعنی شدت جریان خروجی به‌صورت الکترونیکی کنترل می‌شود. به این ترتیب لزوم حرکت‌کردن سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه از بین می‌رود(شکل ۱۲ــ۱).



شکل ۱۲ــ۱ــ دیاگرام یک ماشین «dc» تک فاز (رکتی‌فایر) که در آن از «SCR» استفاده شده است.

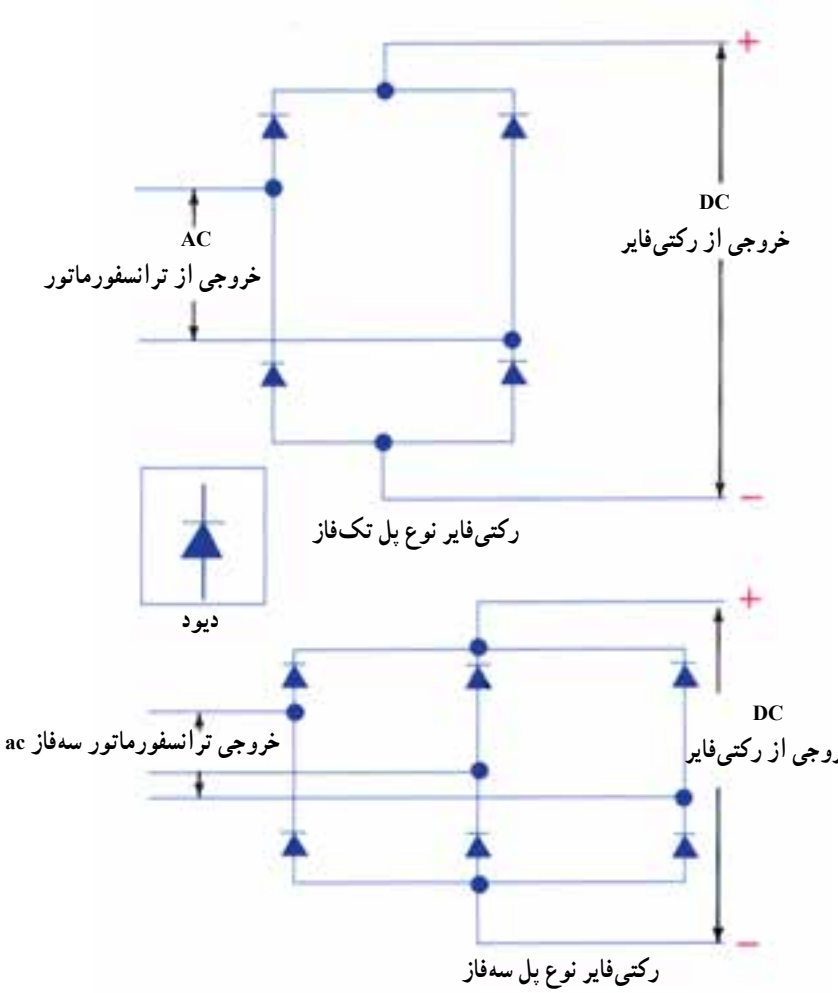
۳ــ۳ــ۱ــ رکتی‌فایر: در اکثر ماشین‌های جوش‌کاری، «ac/dc» شدت جریان مستقیم را از طریق جریان متناوب ایجاد می‌کنند این نوع شدت جریان، دارای «۱۰۰» سیکل جریان مستقیم است.

این شدت جریان را «فول dc» می‌نامند و اگر نیم سیکل‌های منفی شدت جریان به‌وسیله‌ی رکتی فایر شدن متوقف گردند، چنین شدت جریانی را «نیم‌سیکل‌های یک‌سو» می‌نامند. در ماشین‌های جوش‌کاری بزرگ (ظرفیت بالا)، جریان سه فاز «ac» تبدیل به «dc» می‌شود. قوس الکتریکی در جریان‌های سه فاز نرم‌تر و ضربان آن کم‌تر از تک‌فاز می‌باشد ؛ زیرا در جریان سه فاز، نیم‌سیکل‌ها روی هم قرار می‌گیرند و از رسیدن نیم‌سیکل‌های شدت جریان و ولتاژ به صفر جلوگیری می‌شود (شکل ۱۳ــ۱).



شکل ۱۳ــ۱ــ جریان سه فاز یک‌سوشده.

در شکل ۱۴ــ۱ مدارهای رکتی‌فایر یک فاز و سه‌فاز نشان داده شده است.



شکل ۱۴ــ۱ــ دیاگرام رکتی‌فایر تک‌فاز و سه‌فاز با استفاده از دیودها فقط جهت جریان را با علامت پیکان نشان می‌دهند. AC تبدیل به DC می‌گردد.

۴ــ۳ــ۱ــ ماشین‌های جوش‌کاری «DC»: دستگاه‌های جوش‌کاری جریان مستقیم، بیش‌تر از نوع ژنراتور یا رکتی‌فایر است.

ژنراتور مولّد شدت جریان برای جوش‌کاری است مانند دینام اتومبیل که شدت جریان را برای جرقه‌زدن سر شمع‌ها و روشنایی تولید می‌کند.

ژنراتور به‌وسیله‌ی یک موتور الکتریکی یا به‌وسیله‌ی یک موتور بنزینی یا دیزلی (محرک) می‌چرخد از موتورهای بنزینی یا دیزلی در مکان‌هایی استفاده می‌شود که جریان الکتریسیته وجود نداشته باشد.

طرح ژنراتور جوش‌کاری بر مبنای سه فاکتور مهم است :

۱ــ تولید شدت جریان در یک رِنج (دامنه) وسیع برای جوش‌کاری ضخامت‌های مختلف ؛

۲ــ تولید شدت جریان و یا ولتاژ در حدّ تقریباً ثابت ؛

۳ــ تغییر شدت جریان در یک لحظه‌ی بسیار کوتاه برای قوس الکتریکی[1].

۱ــ سومین فاکتور در جوش‌کاری اهمیت بسیار زیادی دارد.

در هنگام جوش‌کاری گلبول یا ذرات فلز مذاب از نوک الکترود جدا شده، پشت سرهم به‌طرف قطعه‌ی کار، رها می‌شوند و یک مدار بسته را ایجاد می‌کند. به محض شکل‌گرفتن مدار بسته تغییرات ولتاژ هم وسیع می‌شود. تغییرات ولتاژ در حدّ بالا اثرات نامطلوبی در جوش‌کاری دارد.

اگر تغییر در جهت افزایش ولتاژ باشد شدت جریان هم زیاد شده در این صورت اولاً کنترل مذاب مشکل‌تر می‌گردد و در ثانی جرقه‌های بسیار زیادی شکل می‌گیرد. اگر ولتاژ در جهت کم‌شدن باشد شدت جریان هم کم شده در این صورت قوس از یک عدم ثبات برخوردار می‌شود از این رو لازم است که ولتاژ ژنراتور با ولتاژ قوس هم‌آهنگ باشد.

۵ــ۳ــ۱ــ رابطه‌ی ولت و آمپر در جوش‌کاری: در دستگاه‌های «DC» هنگامی که دستگاه روشن است ولی جوش‌کاری انجام نمی‌شود (مدار باز) ولتاژ در حدود ۶۰ ولت یا ۸۰ ولت است و شدت جریان مساوی ۰ آمپر است در هنگام بسته‌شدن مدار (ایجاد قوس) شدت جریان از صفر شروع به افزایش می‌کند و ولتاژ برعکس کاهش می‌یابد. و به حدود ۴۰V ــ۱۵ می‌رسد (ولتاژ بیش از ۴۰V خطرناک است)

شکل ۱۵ــ۱ــ الف ــ ماشین جوش‌کاری اینورتر با توان زیاد و سبک (۲۶cm × ۴۳cm × ۴۹cm)

شکل ۱۵ــ۱ــ ب ــ ماشین جوش‌کاری «ac/dc»

قانون اهم در الکتریسیته نشان می‌دهد که مقدار ولتاژ در یک مدار بسته رابطه‌ی ثابتی نسبت به شدت جریان و مقاومت دارد.

$V = I.R$

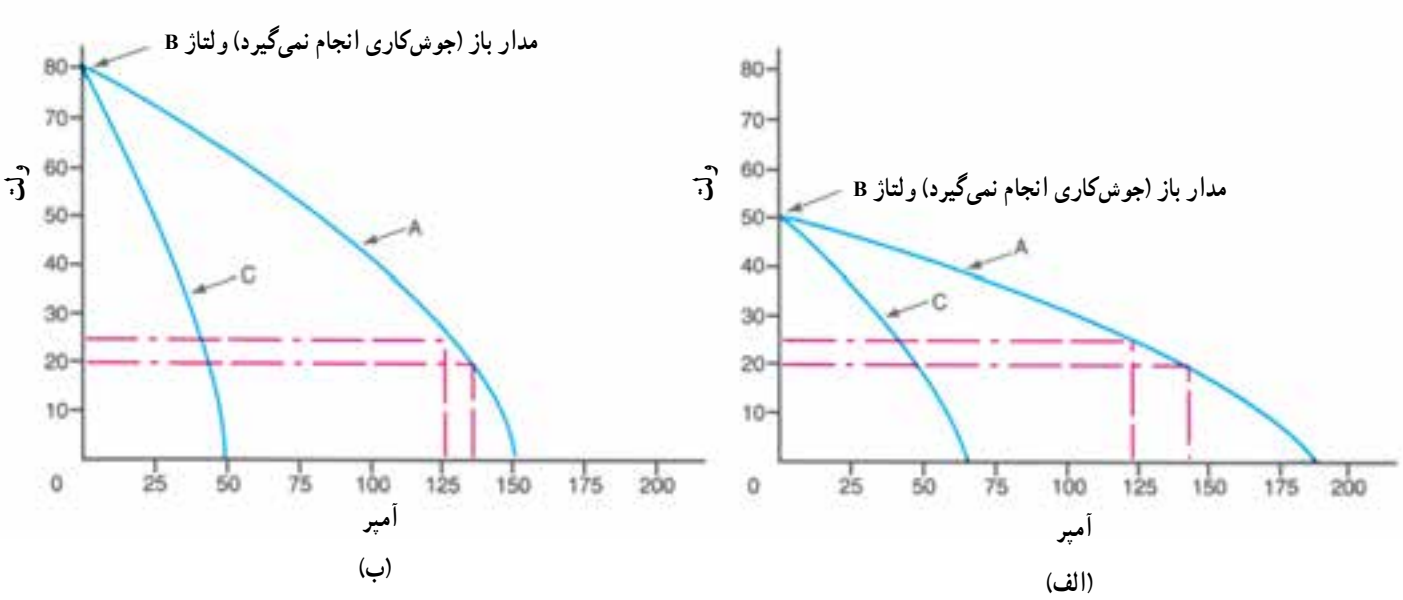
ولتاژ = V

شدت جریان = I

مقاومت = R

در ماشین‌های جوش‌کاری با شدت جریان ثابت (شکل۱۵ــ۱) تنظیم‌کننده‌ای که روی ماشین تعبیه می‌کنند، فقط برای تنظیم شدت جریان است.

اگر فاصله‌ی الکترود نسبت به سطح کار ثابت نگه داشته شود، یعنی اندازه‌ی مقاومت (R) ثابت باشد، از رابطه‌ی $V = IR$ می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش ولتاژ، شدت جریان هم زیاد می‌شود.



شکل ۱۶ــ۱ــ رابطه‌ی ولت ــ آمپر در ماشین‌های شدت جریان ثابت

بازده توان یا راندمان در ماشین‌های جوش‌کاری به این صورت است که در آن‌ها یا ولتاژ ثابت است و یا شدت جریان و بازده توان خروجی از روی مقدار شدت جریان و ولتاژ به‌کار رفته تعیین می‌شود ؛ این نوع ماشین‌ها را «drooper» می‌نامند.

ولتاژ قوس متناسب با طول قوس تغییر می‌کند. در دیاگرام شکل ۱۶ــ۱ــ ب مشاهده می‌شود که ولتاژ مدار باز ۸۰ ولت است. در موقع جوش‌کاری مدار بسته شده، اندازه‌ی ولتاژ به ۲۰ ولت می‌رسد. اگر جوش‌کار طول قوس را زیاد کند، به فرض ولتاژ از ۲۰ به۲۵ ولت برسد،مشاهده می‌شود که شدت جریان ۱۳۵A به ۱۲۶ آمپر می‌رسد یعنی با افزایش ٪۲۵ ولتاژ قوس، فقط ٪۶/۷ شدت جریان تغییر می‌کند.

این مقدار کم تغییرات در اندازه‌ی شدت جریان (٪۶/۷) را، شدت جریان ثابت می‌نامند.

$$\text{درصد تغییرات ولتاژ} \frac{۲۵-۲۰V}{۲۰V}\times ۱۰۰ = ٪۲۵$$

$$\text{درصد تغییرات شدت جریان} \frac{-۱۲۶+۱۳۵}{۱۳۵}\times ۱۰۰ = ۶/۶۶ \sim ۶/۷ \,٪$$

طرح ماشین‌های با جریان ثابت، برای جوش‌کاری با الکترود دستی است (SMAW). در دیاگرام سمت راست (شکل ۱ــ۱۵ــ الف) ولتاژ مدار باز ۵۰ ولت است اگر مقدار ولتاژ از ۲۰ ولت به ۲۵ ولت در مدار بسته برسد، شدت جریان از ۱۴۳A به ۱۲۴A می‌رسد، یعنی در برابر ٪۲۵ تغییر ولتاژ، تغییرات شدت جریان ٪۱۳/۳ است ؛ در این صورت نوع ماشین از گروه ماشین‌های با شدت جریان ثابت نیست اما کنترل مذاب و نرخ مذاب الکترود در جوش‌کاری افقی ــ قائم و بالای سر با این نوع ماشین بهتر انجام می‌شود.

۶ــ۳ــ۱ــ قطب‌های جوش‌کاری (Polarity): در جریان مستقیم نوع قطب نشان می‌دهد که جهت جریان در مدار چگونه می‌باشد اگر الکترود به ترمینال منفی ماشین و قطعه‌ی کار یا فلز مبنا به ترمینال مثبت، وصل شود، جهت عبور الکترون‌ها از الکترود به طرف قطعه‌ی کار است و «قطب مستقیم» نامیده می‌شود (DCSP)[۱]. اگر برعکس الکترود به ترمینال مثبت و قطعه‌ی کار به ترمینال منفی وصل شود، جهت عبور الکترون‌ها (شدت جریان) از قطعه‌ی کار به سمت الکترود است که آن‌را «قطب معکوس» می‌نامند (DCRP)[۲].

۱ــ DCSP: Direct- Current Straight Polarity

۲ــ DCRP: Direct -Current Revese Polarity

انتخاب نوع قطب در جوش‌کاری اولاً در ارتباط با نوع الکترودی است که به‌کار برده می‌شود و در ثانی باید با شرایط متالورژیکی قطعه کار هم‌آهنگ باشد.

در کارهای تولیدی انتخاب نوع الکترود و نوع قطب را در«WPS»[1] تعیین می‌کنند.

قطب‌های «DCSP» و «DCRP» با موارد زیر ارتباط دارند :

۱ــ عمق و نفوذ جوش ؛

۲ــ مقدار مذاب الکترود در واحد زمان ؛

۳ــ نوع درز یا شیار و پخ ؛

۴ــ ضخامت فلز جوش‌دادنی ؛

۵ــ جنس قطعه کار.

۷ــ۳ــ۱ــ مشخصات ماشین‌های جوش‌کاری: یک ماشین جوشکاری براساس مشخصات زیر تعریف می‌شود :

۱ــ حداکثر ظرفیت ماشین برحسب شدت جریان ؛

۲ــ توان خروجی ماشین ؛

۳ــ سیکل کاری ماشین.

حداکثر ظرفیت ماشین: ظرفیت ماکزیمم برحسب شدت جریان، مقدار جریانی است که دستگاه می‌تواند تولید کند، بدون این که درجه حرارت درون ماشین از حدّ طراحی شده تجاوز کند.

توان خروجی: توان خروجی یا بازده ماشین براساس شدت جریان برحسب آمپر است که دستگاه می‌تواند با یک ولتاژ مشخص تولید کند.

برای مثال اگر ظرفیت ماکزیمم دستگاه ۳۰۰ Amp باشد، مقدار ولتاژی که تولید می‌شود ۳۲ ولت است (اندازه‌ی ولتاژ براساس محاسبه، مشخص می‌شود) بنابراین توان خروجی دستگاه برابر است با :

$$۳۰۰A \times ۳۲V = ۹۶۰۰W$$

حال اگر همین ماشین با ۲۰۰Amp کار کند، مقدار ولتاژی که تولید می‌شود ۲۸ V است در نتیجه توان برابر است با :

$$۲۰۰Amp \times ۲۸V = ۵۶۰۰W$$

***سیکل کاری* (Duty Cycle) :** همه‌ی ماشین‌های جوش‌کاری با یک مقدار ماکزیمم شدت جریان و یک سیکل کاری مشخص می‌توانند بدون هیچ عارضه‌ای کار کنند. کارخانه‌های تولیدکننده، این نوع ماشین را برای مشخصات فوق تضمین و گارانتی می‌نمایند.

سیکل کاری براین اساس است که ماشین بتواند در پریودهای ۱۰ دقیقه‌ای، زمانی را برحسب دقیقه با حداکثر بار، کار کند و بقیه‌ی دقایق از این پریود را بدون بار باشد و یا خاموش شود.

برای مثال اگر ظرفیت ماکزیمم یک دستگاه ۳۰۰ A با سیکل کاری ٪۶۰ باشد، ماشین می‌تواند ۶ دقیقه را با ظرفیت کامل ۳۰۰ A کار کند و ۴ دقیقه را بدون بار یا خاموش باشد و مجدداً ۶ دقیقه را با ۳۰۰ A و ۴ دقیقه را بدون بار کار کند.

بنابراین ماشین می‌تواند برای یک زمان طولانی، به‌همین نحو کار کند بدون این که دمای درون ماشین از حدّ معین تجاوز کند.

واضح است که ماشین‌هایی با سیکل کاری ٪۳۰ و یا ٪۴۰ و یا ٪۵۰ و ٪۶۰ یا ٪۱۰۰ از لحاظ طراحی ــ جنس قطعات الکتریکی و الکترونیکی ــ وزن حجم و غیره با یک‌دیگر متفاوت می‌باشند.

در دستگاه‌های اتومات، لازم است که سیکل کاری ماشین ٪۱۰۰ باشد (در ماشین‌های غیراتومات نیاز به ٪۱۰۰ سیکل کاری نیست). از طرفی برای ذوب کردن یک الکترود دستی، به ۶ دقیقه وقت نیاز نیست ؛ به مثال‌های زیر توجه شود.

مثال ۱: می‌خواهیم از یک ماشین جوش‌کاری ۳۰۰ A و ٪۶۰ سیکل کاری در برش‌کاری لوله برای یک زمان تقریباً طولانی، به طور مداوم استفاده نماییم، حداکثر شدت جریانی را که می‌توان از دستگاه گرفت محاسبه کنید :

حل: چون انجام کار مداوم می باشد، پس سیکل کاری باید از٪ ۶۰ به ٪۱۰۰ برسد.

برای محاسبه می‌توان از رابطه‌ی زیر استفاده نمود :

$$\frac{t_r}{t_n} = \frac{(I_n)^۲}{(I_r)^۲}$$

t_r = سیکل کاری ماشین

۱ــ WPS: Welding Procedure Specification

t_n = سیکل کاری جدید

I_r = ماکزیمم شدت جریان

I_n = شدت جریان جدید

با استفاده از رابطه‌ی فوق، می‌توان نوشت :

$$\frac{۶۰}{۱۰۰} = \frac{(I_n)^۲}{۳۰۰^۲} \Rightarrow I_n = ۲۳۲Amp$$

از دستگاه فوق می‌توان به‌طور مداوم استفاده کرد مشروط بر این که حداکثر شدت جریان از ۲۳۲ آمپر تجاوز نکند.

مثال ۲: در شرایط خاص، لازم است از یک دستگاه جوش‌کاری با ظرفیت ماکزیمم ۲۰۰ A و سیکل کاری ٪۶۰ و مقدار زیادتری شدت جریان، یعنی ۲۷۵ آمپر استفاده کنیم.

تعیین کنید سیکل کاری دستگاه در این شرایط چقدر است؟

$$\frac{۶۰-}{t_n} = \frac{۲۷۵^۲}{۲۰۰^۲} \Rightarrow t_n = ۳۱-$$

مقدار فوق نشان می‌دهد که ماشین می‌تواند برای مدت زمان تقریباً ۳ دقیقه با ۲۷۵ آمپر کار کند و ۷ دقیقه را بدون بار طی کند.

افزایش حرارت در ماشین جوش‌کاری با توان دوم شدت جریان متناسب است.

$$Q = I^۲R$$

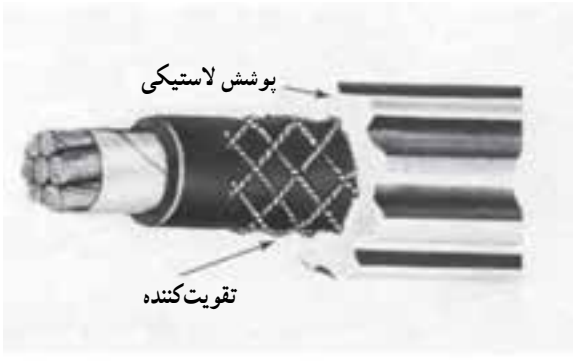
۸ــ۳ــ۱ــ کابل جوش‌کاری: کابل‌های جوش‌کاری باید شدت جریان را از ماشین به کار و برعکس از کار به ماشین عبور دهند. کابل‌های جوش‌کاری به علت قطر زیادی که دارند باید از خاصیت انعطاف‌پذیری خوبی برخوردار باشند. کابلی که از ماشین به الکترود وصل می‌شود به نام electrode Lead و کابلی که از ماشین به کار وصل می‌شود، به ground Lead معروف است.

کابل‌های جوش‌کاری به بهترین وجه عایق می‌شوند. رشته‌های فلزی کابل با لاستیک عایق می‌شود و برای تقویت عایق از یک نوع کنف دریایی به نام Woven استفاده کرده، آن را به صورت زیگزاگ بر روی عایق می‌پیچند ؛ سپس روی آن را با ماده‌ای به نام نئوپرن Neoprene می‌پوشانند (شکل ۱۷ــ۱).

چون کابل‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای درمعرض اصطکاک قرار می‌گیرند، لازم است در زمان‌های متفاوت از آن‌ها بازدید به عمل آید تا اگر در عایق‌ها شکاف ایجاد شده باشد، تعویض شوند ولتاژی که این کابل‌ها از خود عبور می‌دهند، زیاد نیست و بین ۸۰ــ۱۴ ولت است امّا در عوض مقادیر زیادی شدت جریان از آن‌ها عبور می‌کند.

کلفتی کابل براساس شماره نشان داده می‌شود و هرچه شماره کوچک‌تر باشد، قطر کابل زیادتر است جدول ۱ــ۱ اندازه‌ی کابل ــ طول و شدت جریان را نشان می‌دهد.

کابل باید کاملاً انعطاف‌پذیر باشد تا اولاً جوش‌کار بتواند به‌سهولت کار کند و درثانی عمل عایق‌بندی به‌خوبی صورت گیرد. اگر عایق کردن کابل به‌خوبی انجام نشود، در قوس الکتریکی اثر خواهد داشت.



الف ــ کابل با پوشش از لاستیک مضرس

ب ــ کابل با تعداد زیاد رشته سیم‌های ظریف

شکل ۱۷ــ۱ــ کابل جوش‌کاری

برای انعطاف‌پذیری کابل جوش‌کاری لازم است که تعداد رشته‌های سیم زیاد باشد و معمولاً تعداد رشته‌ها بین ۸۰۰ تا ۲۵۰۰ رشته سیم است.

برخلاف روشی که در بین جوش‌کاران عمومیت یافته که کابل انبر الکترود را نازک‌تر انتخاب می‌کنند، در حقیقت باید هردو کابل از لحاظ قطر یکسان و مطابق با قاعده باشند. عدم انتخاب صحیح کابل اولاً در شرایط کار کردن مؤثر است و درثانی باعث کوتاه شدن عمر ماشین می‌شود.

اگر جنس فلز کابل، آلومینیوم باشد، ظرفیت شدت جریان آن ٪۶۱ کابل مسی خواهد بود.

جدول ۱ــ۱ــ طول، قطر و شدت جریان کابل

شدت جریان برحسب آمپر طول برحسب فوت و متر					
طول ۱۰۰ــ۲۵۰ ft ۳۰/۵ــ۷۶/۲ m	طول ۵۰ــ۱۰۰ ft ۱۵/۴ــ۳۰/۵ m	طول ۰ــ۵۰ ft ۰ــ۱۵/۲ m	قطر کابل		نمره کابل
آمپر	آمپر	آمپر	mm	in	
۴۰۰	۶۰۰	۶۰۰	۲۴/۴	.۹۵۹	۴/۰
۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۲۱/۰	.۸۲۷	۳/۰
۳۰۰	۳۵۰	۴۰۰	۱۹/۲	.۷۵۴	۲/۰
۲۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۱۸/۳	.۷۲۰	۱/۰
۱۷۵	۲۰۰	۲۵۰	۱۶/۴	.۶۴۴	۱
۱۵۰	۱۹۵	۲۰۰	۱۵/۳	.۶۰۴	۲
۱۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۴/۴	.۵۶۸	۳
۷۵	۱۰۰	۱۲۵	۱۳/۵	.۵۳۱	۴

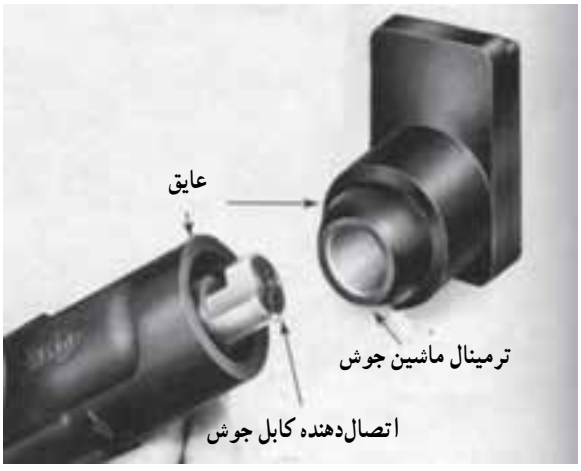
توجه: طول‌های داده شده برای جمع طول کابل‌های الکترود و قطعه کار است.

۹ــ۳ــ۱ــ ترمینال‌های کابل جوش‌کاری: چون قسمت‌هایی از متعلقات ماشین جوش‌کاری درمدار قرار می‌گیرند و باید شدت جریان زیادی را از خود عبور دهند، لازم است که در طراحی ساختن و استفاده‌ی صحیح از آن‌ها دقت شود.

کابل‌های مسی و یا آلومینیومی به‌وسیله‌ی ترمینال‌های عایق شده، یا بدون عایق به دستگاه متصل می‌شوند. (شکل ۱۸ــ۱).

ترمینال‌های بدون عایق که آن‌ها را «Lug » می‌نامند، به‌صورت مکانیکی به کابل و ماشین وصل می‌شوند. علاوه بر این که ترمینال باید بادوام باشد، از لحاظ الکتریکی نیز باید هادی یا رسانای قوی‌ای باشد. اگر اتصال ترمینال به کابل و یا ماشین درست انجام نشود، (شُل باشد) علاوه بر این که عبور شدت جریان از کابل را کم می‌کند، در محل اتصال نیز درجه‌ی حرارت

الف ــ انواع ترمینال‌های بدون عایق



ب ــ ترمینال عایق‌دار

شکل ۱۸ــ۱ــ انواع ترمینال اتصال سریع[۱]

به شدت زیاد می‌شود.

ترمینال‌های عایق شده یا کنکتور در طرح‌های متفاوتی ساخته می‌شوند و نوع اروپایی آن‌ها را «DIN Connector »می‌نامند(شکل ۱۹ــ۱).

ترمینال ممکن است به یکی از سه روش زیر به کابل وصل شود :

۱ــ مکانیکی ؛

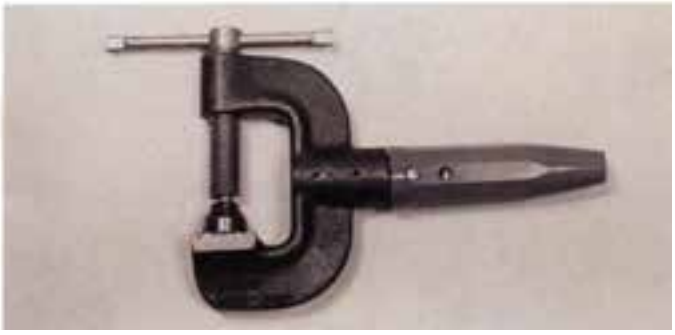
۲ــ لحیم ؛

---

۱ ــ Quick { Connect / Disconnect }

الف ــ انبر فنری اتصال زمین

ب ــ ترمینال‌های امریکایی و اروپایی از نوع اتصال سریع



پ ــ گیره اتصال زمین ازنوع AC برای کابل قطعه کار

شکل ۱۹ــ۱ــ انواع ترمینال

۳ــ بریزینگ یا لحیم سخت.

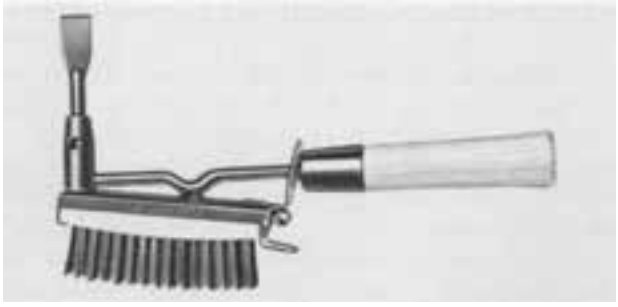
در دستگاه‌های جدید جوش‌کاری شرایط به‌گونه‌ای است که لازم است از ترمینال‌های عایق شده استفاده کرد.

اندازه و مقاومت الکتریکی ترمینال باید متناسب با ظرفیت و سیکل کاری ماشین باشد.

۱۰ــ۳ــ۱ــ دستگاه و ابزار تمیزکننده‌ی جوش: شاید نکته‌ای که کمتر به آن توجه می‌شود، عمل تمیز کردن فلز مبنا برای جوش‌کاری است. سطوحی که محتوی جرم‌های متفاوت از قبیل گردوخاک، روغن، رنگ، لایه‌های اکسید، علایم ماژیک و غیره باشد و تمیز نشوند، در مقطع جوش معایبی ایجاد می‌کنند که شاید در بعضی مواقع قابل جبران نباشد.

تعداد زیادی دستگاه و ابزار برای تمیز کردن سطوح فلز قبل و بعد از جوش‌کاری ساخته شده است. تمیز کردن فلز و آماده نمودن آن برای جوش‌کاری ممکن است از طریق ماشین «سندبلاست» یا «بُرس‌های گردان سیمی» انجام شود و یا از طریق ابزارهایی مانند تیزبر، چکش جوش ، برس سیمی و غیره باشد.

فلزات غیرآهنی را بیش‌تر از طریق شیمیایی (به‌خصوص

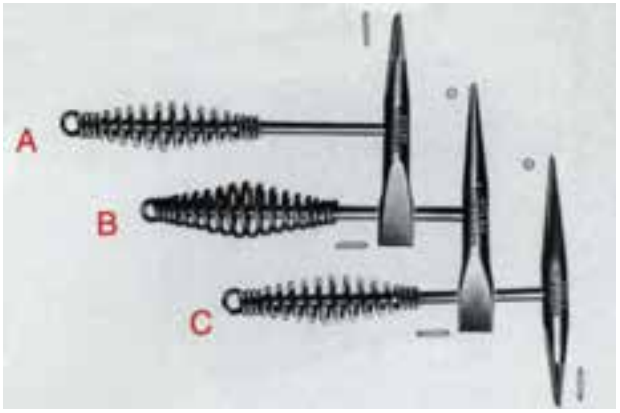


شکل ۲۰ــ۱ــ تمیزکننده‌ی ترکیبی، برس سیمی و چکش سرباره یا چکش جوش‌کاری

در تولید انبوه) تمیز می‌کنند.

سرباره‌ای که در روی جوش شکل می‌گیرد، باید قبل از این که پاس دوم روی آن جوش داده شود، به‌وسیله‌ی چکش جوش تمیز گردد (شکل‌های ۲۰ ــ۱ و ۲۱ــ ۱).

سرباره‌ی آخرین پاس جوش، باید قبل از آزمایش و یا رنگ زدن به‌خوبی تمیز شود. در همه‌ی موارد برای تمیز کردن سرباره و یا زدودن جرم، لازم است که از وسیله‌های ایمنی مانند ماسک شفاف استفاده شود.



شکل ۲۱ــ۱ــ انواع چکش جوش‌کاری یا چکش سرباره

A ــ تیغه‌های این نوع چکش جوش ۹۰ نسبت به هم قابل چرخش هستند. B و C در چکش جوش که دارای یک تیغه و یک سمبه است جهت تیغه‌ها در هر کدام فرق می‌کند.

انبر جوش‌کاری SMAW

250Amp.

شکل بازشده‌ی انبر جوش‌کاری SMAW دسته‌ی عایق و قسمت‌هایی که برای اتصال لازم است.

شکل ۲۲ــ۱ــ انبر الکترود

۱۱ــ۳ــ۱ــ انبر الکترود یا الکترودگیر Electrode holder :

الکترودگیر قسمتی دیگر از متعلقات جوش‌کاری با قوس الکتریکی و الکترود دستی است (شکل۲۲ ــ۱) انبر الکترود در موقع جوش‌کاری در دست اپراتور قرار می‌گیرد بنابراین کار کردن با آن نباید مشکلی ایجاد کند.

انبر الکترود در مدل‌ها و اشکال متفاوتی ساخته می‌شود ولی همه‌ی آن‌ها باید خصوصیات یکسانی داشته باشند. اتصال انبر الکترود به کابل جوش‌کاری به‌صورت مکانیکی است. یک بوشن برنجی یا مسی در داخل دسته وجود دارد که رشته‌های سیم کابل در آن قرار می‌گیرند. اطراف رشته‌های سیم کابل به‌وسیله‌ی یک فویل مسی (لاتون مسی) پوشیده می‌شود تا اولاً رشته‌های سیم را به‌هم فشرده نگه‌دارد و درثانی حالت شل بودن بین کابل و بوشن از بین برود تا افت شدت جریان به وجود نیاید.

قسمت روی انبر از مواد عایق درست شده که در برابر حرارت و جریان الکتریسیته، مقاومت زیادی دارد. فرم انبر باید به‌گونه‌ای باشد که تعادل خوبی را در دست جوش‌کاری برای حالات مختلف جوش داشته باشد. انبر الکترود در اندازه‌های متفاوت متناسب با قطر الکترود و مقدار شدت جریان ساخته می‌شود.

۱۲ــ۳ــ۱ــ ماسک جوش‌کاری: جوش‌کاری با قوس الکتریکی لزوم حفاظت پوست و چشم را در برابر تشعشعات ناشی از قوس ایجاب می‌کند. حفاظت صورت و چشم با وسیله‌ای به‌نام ماسک صورت می‌پذیرد (شکل۲۳ــ۱). ماسک می‌تواند فقط صورت وچشم را محافظت کند و برای حفاظت دست و بدن می‌توان از دست‌کش و لباس‌های مخصوص جوش‌کاری استفاده کرد. ماسک در دو نوع ساخته می‌شود :

الف ــ ماسک کلاهی ؛

ب ــ ماسک دستی.

ماسک کلاهی روی سر قرار می‌گیرد و دارای یک باند تنظیم کننده است که به‌وسیله‌ی یک دکمه جمع یا باز می‌شود تا راحت روی سر قرار گیرد.

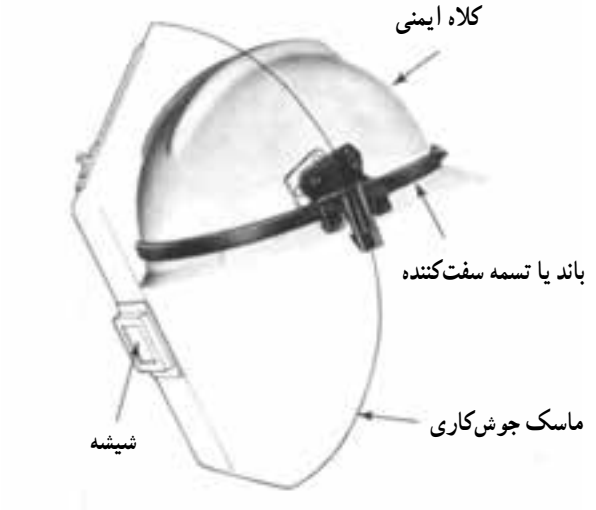
ماسک دستی بیش‌تر مورد استفاده‌ی افراد بازدیدکننده، مهندسین جوش‌کاری، بازرس‌های فنی و سرکارگران است (شکل ۲۳ــ۱).

سازمان «OSHA»[1] استفاده از کلاه ایمنی همراه با ماسک کلاهی را برای مراکز تولیدی اجباری کرده، از این‌رو امروزه از ترکیب کلاه ایمنی و ماسک کلاهی که به تازگی ساخته می‌شود،استفاده می‌کنند.

ماسک دستی

ماسک کلاهی با لنز بزرگ

ماسک کلاهی متداول



شکل ۲۳ــ۱ــ انواع ماسک‌های جوش‌کاری

۱ ــ Occupational Safety and Health Act

جنس ماسک از فیبرفشرده، پلاستیک یا پشم شیشه است. شکل آن به گونه‌ای است که می‌تواند نیمه‌ی کامل جلوسر را بپوشاند. در ماسک به موازات چشم، دریچه‌ای برای تعبیه کردن شیشه وجود دارد، اندازه‌ی این دریچه ۵۱×۱۰۸ میلی‌متر است و حداقل با دو شیشه‌ی مات و روشن پوشیده می‌شود.

گروهی از ماسک‌های کلاهی دارای شیشه‌های بزرگ‌تر از حدّ متداول هستند. اندازه‌ی شیشه‌ی این نوع ماسک‌ها ۱۳۳×۱۱۴ میلی‌متر است. استفاده ازاین ماسک برای جوش‌کارانی است که از عینک‌های طبی استفاده می‌کنند.

شیشه‌ی سیاه ماسک با دو شیشه‌ی شفاف پوشیده می‌شود تا در برابر جرقه، محفوظ باشد. برای نگه‌داری شیشه‌ها از فنر فُرم‌دار تسمه‌ای و گیره مخصوص استفاده می‌شود.

حفاظت جوش‌کار با استفاده از شیشه‌های نوع مرغوب در برابر اشعه‌ی مادون قرمز٪ ۹۹/۵ و در برابر اشعه‌ی ماورای بنفش ٪ ۹۹/۷۵است.

جدول ۲ــ۱ شماره‌ی شیشه را برای روش‌های متفاوت قوس الکتریکی تعیین می‌کند.

اگر چشم در برابر اشعه‌ی ماورای بنفش درست محافظت نشود، چشم درد شدیدی عارض فرد شده که زمان آن طولانی و بین ۸ تا ۱۸ ساعت خواهد بود.

جدول ۲ــ۱ــ شماره‌ی شیشه‌ی ماسک

قوس الکتریکی یا الکترود دستی SMAW	قوس الکتریکی GMAW(CO_2)	قوس الکتریکی جوش آرگون GTAW	شماره‌ی شیشه
تا ۴ میلی‌متر قطر الکترود	–	–	۱۰
از ۴ تا ۶ میلی‌متر قطر	–	–	۱۲
بزرگ‌تر از ۶ میلی‌متر	–	–	۱۴
–	برای فلزات غیرآهنی تا ضخامت ۴ میلی‌متر	–	۱۱
–	برای فلزات آهنی تا ۴ میلی‌متر	–	۱۲
–	–	برای ضخامت‌های مختلف	۱۰ــ۱۴

فصل دوم

الکترودهای پوشش‌دار SMAW

در پایان این فصل هنرجو باید بتواند :

۱ــ ساختمان فیزیکی الکترودها را شرح دهد.

۲ــ مشخصات و ترکیب شیمیایی فلز الکترودها را بیان کند.

۳ــ نقش پوشش شیمیایی الکترود (فلاکس) را در جوش‌کاری توضیح دهد.

۴ــ الکترودها را از لحاظ پوشش گروه‌بندی کرده و توضیح دهد.

۵ــ نحوه‌ی مراقبت از الکترود را مختصراً توضیح دهد.

۶ــ مفتول فلزی الکترودهای فولادی و آلیاژهای فولادی را با توجه به استانداردهای آن طبقه‌بندی کرده و شرح دهد.

۷ــ خواص فولاد و آلیاژهای فولاد را با توجه به نوع و مقدار ترکیب‌های شیمیایی آن توضیح دهد.

۸ــ روش‌های آزمایش و تشخیص نوع فولاد را شرح دهد.

۲ــ الکترودهای پوشش‌دار SMAW[۱]

در روش جوش‌کاری قوس الکتریکی با الکترود دستی (SMAW) مابین الکترود و سطح کار، یک قوس الکتریکی ایجاد می‌شود که از حرارت آن برای عمل ذوب استفاده می‌کنند.

الکترود از یک مفتول فلزی که در اطراف آن پوشش شیمیایی (Flux) است، ساخته می‌شود.

الکترود به‌وسیله قطر فلز آن و یک سری حروف و اعداد معرفی می‌شود. قطر فلز اندازه الکترود حروف و اعداد نوع آلیاژ و روش کاربرد الکترود را نشان می‌دهد.

الکترودها زیر پوشش استانداردهای معتبر معرفی می‌شوند و معتبرترین استاندارد جهان، استاندارد «...ANSI/AWSA5» است.

جدول ۱ــ۲ قطر و طول الکترودها را نشان می‌دهد.

جدول ۱ــ۲ــ طول و قطر الکترودها

قطر فلز الکترود		طول الکترود	
in	mm	in	mm
1/16	1.6	14	360
3/32	2.3	14	360
1/8	3.2	14	360
5/32	4.0	14	360
7/32	5.6	18	460
1/4	6.4	18	460

۱ــ Shieled Metal Arc Welding

الکترود را ممکن است در جعبه‌های مقوایی و یا در قوطی‌های فلزی (برای جلوگیری از تماس الکترود با هوا) به بازار عرضه نمایند.

جنس فلز الکترود از آلیاژهای مختلف است و باید با شرایط فلز جوش‌دادنی هم‌آهنگ باشد.

۱ــ کربن استیل ؛
۲ــ فولادهای آلیاژی با درصد کم ؛
۳ــ فولادهای مقاوم به خورده شدن و زنگ زدن ؛
۴ــ چدن ؛
۵ــ آلومینیوم و آلیاژهای آن ؛
۶ــ مس و آلیاژهای آن ؛
۷ــ نیکل و آلیاژهای آن ؛
۸ــ فولادهای مقاوم به حرارت.

۱ــ۲ــ نگه‌داری الکترود

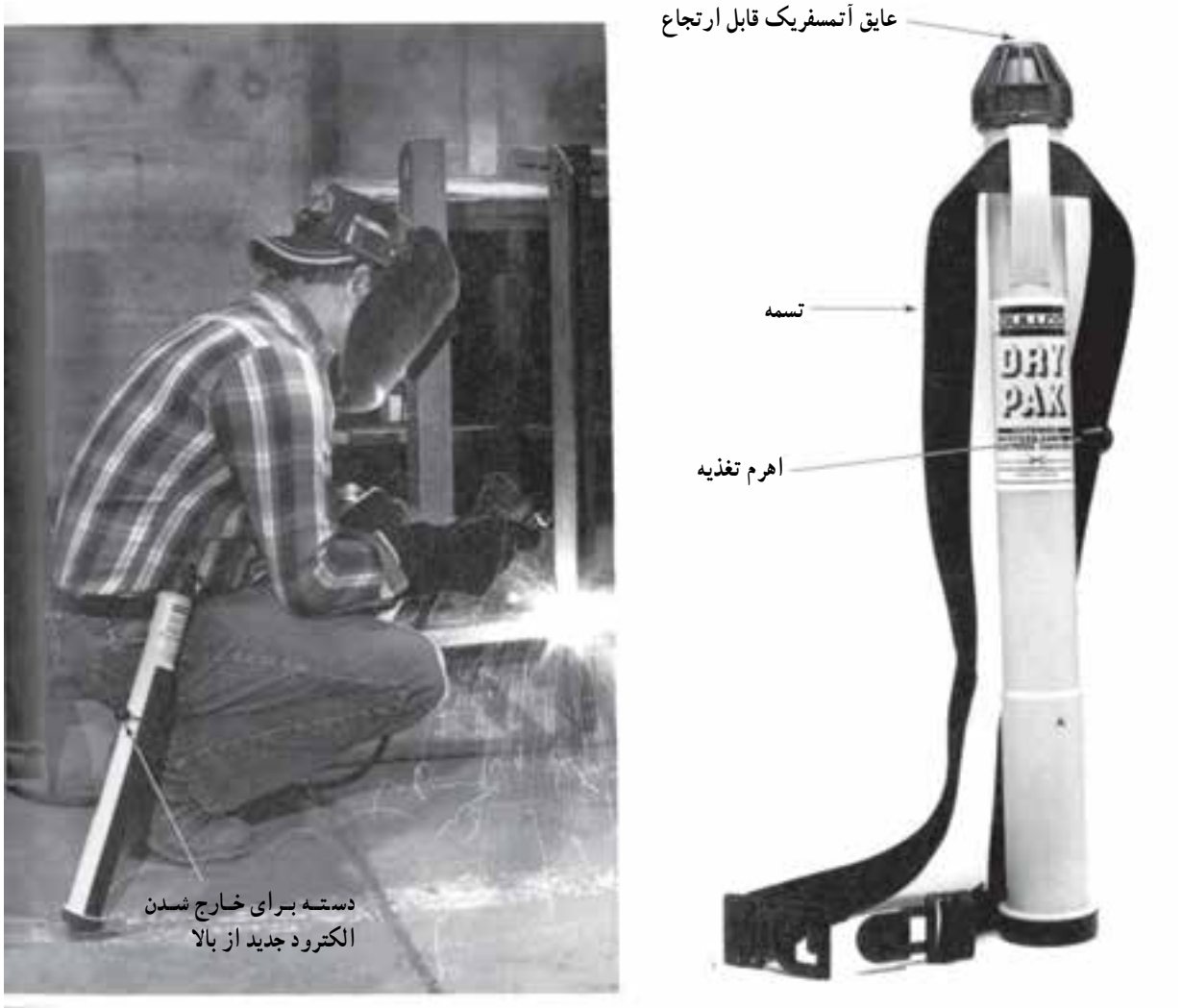
پوشش الکترود همراه با فلز درون آن ذوب شده، وارد حوضچه‌ی مذاب جوش می‌شود. اگر رطوبت به پوشش سرایت کند، اثرات نامطلوبی مانند تَرَک خوردن نواحی مجاور جوش (HAZ) تُرد شدن جوش را ایجاد می‌کند.

هیدروژن از طریق رطوبت، وارد قوس شده، به اتم هیدروژن و سپس به یون و الکترون تبدیل می‌شود. الکترون هیدروژن وارد مرز دانه‌های فلز شده، به هنگام تبدیل مجدد به اتم هیدروژن، فشار زیادی تولید می‌کند ؛ این فشار تَرَک‌هایی را در فلز ایجاد می‌کند. در بسیاری از جوش‌کاری‌ها لازم می‌شود که الکترود را قبل از استفاده کردن، به‌وسیله‌ی کوره‌های الکتریکی خشک کنند. علاوه بر این که درکارخانه‌ها، کوره‌ی الکتریکی ثابت وجود دارد، کوره‌های الکتریکی قابل حمل و نقل نیز موجود است مانند (شکل ۱ــ۲).

شکل ۱ــ۲ــ دو نوع الکترود خشک‌کن قابل حمل و نقل ــ شکل خاکستری رنگ وسط برای کارگاه می‌باشد که گنجایش ۱۶۰ کیلوگرم الکترود دارد. الکترود خشک‌کن‌های با رنگ زرد قابل حمل و نقل‌اند و جوش‌کار می‌تواند آن را به کمر ببندد.

زمانی که برای رطوبت‌زدایی الکترود لازم است، بین ۳۰ دقیقه تا ۴ ساعت است و به نوع پوشش بستگی دارد. در کارخانه‌های تولیدی، زمان رطوبت‌زدایی برای الکترودهای متفاوت، شناخته شده است و به همین دلیل جوش‌کاران به اندازه‌ای الکترود از کوره برمی‌دارند که مصرف کنند.

در حمل و نقل الکترودها و برداشتن آن‌ها از جعبه (شکل ۲ــ۲) یا کوره، به اندازه‌ی مصرف، باید دقت نمود. عدم توجه به حمل و نقل الکترودها، امکان ریختن پوسته‌ها یا ترک خوردن آن‌ها را افزایش می‌دهد. در بسیاری از «WPS» هایی که نوشته می‌شود، اجازه‌ی مصرف کردن الکترودی که پوسته‌ی آن کمی ریخته و یا ترک برداشته باشد، داده نمی‌شود.



جعبه‌ی الکترود قابل حمل و نقل با در عایق رطوبت

در شکل جوش‌کار با استفاده از جعبه‌ی الکترود که به کمر بسته می‌شود، نشان داده شده است.

شکل ۲ــ۲ــ جعبه‌ی الکترود

۲ــ۲ــ نقش فلاکس در جوش‌کاری

پوشش الکترود نقش‌های بسیار ارزنده‌ای را هم در حین عمل جوش‌کاری و هم پس از اتمام آن ایفا می‌کند که به تعدادی از آن‌ها به‌طور خلاصه اشاره می‌شود.

الف ــ تولید گازهای محافظ مانند «CO_2» و «H_2» در اطراف هاله‌ی قوس ؛

ب ــ تغییرات پی‌درپی عناصر فلاکس و هم‌آهنگ شدن با شرایط قوس ؛

ج ــ اکسیژن‌زدایی و نیتریت‌زدایی ؛

د ــ ایجاد سرباره در روی سطح جوش، که فلز جوش آهسته سرد گردد ؛

هـ ــ ایجاد سرباره در روی سطح جوش که فلز جوش با اکسیژن و ازت هوا درتماس نباشد ؛

و ــ جلوگیری از عدم ثبات قوس الکتریکی ؛

ز ــ رساندن عناصر آلیاژی موردنیاز فلز جوش ؛

ح ــ ایجاد انرژی حرارتی علاوه بر انرژی حرارتی قوس ؛

ط ــ ایجاد یون در زمانی که‌شدت جریان در ترانسفورماتورها به صفر می‌رسد.

۳ــ۲ــ گروه‌بندی الکترودها از لحاظ پوشش شیمیایی

پوشش شیمیایی الکترودها بسیار متنوع است اما می‌توان آن‌ها را به پنج گروه اصلی تقسیم کرد. گروه‌بندی آن‌ها براساس مواد شیمیایی و نوع سرباره‌ای است که شکل می‌گیرد.

۱ــ۳ــ۲ــ الکترودهای اکسیدی: مواد اصلی این نوع الکترود از اختلاط اکسید آهن و سیلیکات‌های طبیعی است که می‌تواند همراه با مواد اکسیژن‌زدا و یا بدون آن باشد.

سرباره‌ای که از این نوع پوشش شیمیایی شکل می‌گیرد، سیستم آن «$FeO - SiO_2$» است. نقطه‌ی ذوب و انجماد سرباره یکی است (اُتکتیک) و در حدود C ۱۲۰۰ می‌باشد. این الکترودها از نوع الکترودهای معمولی هستند با خواص مکانیکی کم ؛ اما ظاهر بسیار خوبی را در جوش‌های ماهیچه‌ای دارند.

۲ــ۳ــ۲ــ الکترودهای اسیدی: مواد اصلی این الکترودها شامل اکسید آهن، سیلیکات‌های طبیعی فرومنگانز، فروسیلیکون و فروتیتانیوم است. سیستم سرباره $SiO_2 - FeO - MnO$ است که دارای واکنش اسیدی است و می‌تواند اکسیدهای بازی را در خود حل کند.

به علت وجود منگانز در سرباره، ویسکوزیته‌ی آن کم است از این‌رو الکترود را می‌توان در جوش‌کاری بالای سر،افقی و قائم به‌کار برد.

۳ــ۳ــ۲ــ الکترودهای روتایلی: ماده‌ی اصلی این پوشش شیمیایی درصد بالایی از اکسید تیتانیوم است همراه با سیلیکات‌های طبیعی و فرومنگانز. سیستم سرباره «$FeO - MnO - TiO_2$» است. واکنش سرباره نیز اسیدی است. جوش حاصل از این نوع پوشش شیمیایی علاوه بر ظاهر بسیار خوب خواص مکانیکی بسیار مطلوبی نیز دارد.

۴ــ۳ــ۲ــ الکترودهای سلولزی: درصد عمده‌ی این نوع پوشش، «سلولز» است همراه با سیلیکات‌های طبیعی، فروسیلیکون و فرومنگانز. سرباره‌ی این پوشش شیمیایی نسبت به انواع دیگر بسیار کم است. سلولز در قوس الکتریکی انرژی حرارتی ایجاد می‌کند که با انرژی حاصل از قوس، قدر مطلق انرژی را زیاد می‌کند. کاربرد این الکترود در پاس اول لوله، برای نفوذ زیاد آن است. این الکترود هم‌چنین درحالت‌های متفاوت جوش‌کاری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۵ــ۳ــ۲ــ الکترودهای بازی Low hydrogen : درصد عمده‌ی این نوع پوشش، «کربنات کلسیم» یا «کربنات منیزیم» است. نقطه‌ی ذوب پوشش، بسیار بالا و در حدود C ۲۰۰۰ است و برای پایین آوردن آن از فلورورها استفاده می‌کنند. سرباره دارای واکنش بازی است. کاربرد آن به‌خصوص در پاس اول جوش برای نفوذ خوب و زیاد آن است.

۴ــ۲ــ طبقه‌بندی الکترودهای فولاد و آلیاژهای فولادی

الکترودهای فولادی و نیز آلیاژهای فولاد در رنج بسیار وسیعی ساخته می‌شوند و برای شناسایی آن‌ها علایمی به‌صورت حرف و عدد استاندارد شده است. درحال حاضر معتبرترین استاندارد، استاندارد« AWS »[1] است. برای مثال اگر یک کشور اروپایی سازنده‌ی الکترود بخواهد صادرات داشته باشد، لازم است که علاوه براستاندارد خاص کشور خود، الکترود را با استاندارد «AWS» نیز معرفی کند. علت این امر در این است که سهولت شناسایی الکترود با استاندارد «AWS» بیش‌تر است.

در استاندارد« AWS » مفتول فلزی الکترود که از جنس فولاد است در سری استانداردهای «E - 60XX » و «E - 70XX» معرفی می‌شود.

حرف E که قبل از ۴ یا ۵ عدد دیگر قرار می‌گیرد، معرف الکترودی است که در قوس الکتریکی به‌کار می‌رود. دو عدد اول از سمت چپ و بعد از حرف E حداقل مقاومت کششی جوشی را که از این نوع الکترود حاصل می‌شود، نشان می‌دهد. مقاومت کششی الکترودهای سری ۶۰ برابر است با : Mpa ۴۱۴ یا Psi ۶۰۰۰۰ = ۶۰×۱۰۰۰

و حداقل مقاومت کششی سری ۷۰ مساوی است با : Mpa ۴۸۳ یا Psi ۷۰۰۰۰ = ۷۰×۱۰۰۰

هر کارخانه‌ی سازنده‌ی الکترود، برای ترکیب شیمیایی پوشش الکترود، از فرمول خاص خود استفاده می‌کند و ممکن است ترکیب شیمیایی دو الکترود از سری«E – 60XX» از دو کارخانه‌ی سازنده، یکسان نباشد ولی اثر آن‌ها در جوش، تقریباً مشابه است. (لازم به یادآوری است که بیش‌ترین درصد ترکیب شیمیایی پوشش الکترود، سرّی است).

---

۱ ــ American Welding Society

سومین عدد از سمت چپ« E-XX1X » معرف حالت‌های جوش‌کاری است ؛ برای مثال عدد (۱) نشان می‌دهد که از این الکترود می‌توان برای تمام حالت‌های جوش‌کاری استفاده کرد. (سطحی ــ افقی ــ قائم ــ بالای سر)

عدد (۲) نشان می‌دهد که از الکترود می‌توان فقط در حالت سطحی یا افقی استفاده کرد ؛ مثل الکترود E–XX2X .

عدد (۴) یا«E - XX4X» نشان دهنده‌ی این است که می‌توان از الکترود در حالت‌های سطحی،افقی، بالای سر، از بالا به پایین (down hille welding) استفاده کرد. در شکل ۳ــ۲ چند نوع مختلف الکترود با اعداد مشخص‌کننده‌ی آن‌ها نشان داده شده است.

تذکر: در تولید و تعمیرات سعی می‌کنند که از روش جوش‌کاری قائم از بالا به پایین استفاده نکنند زیرا احتمال باقی ماندن سرباره در مقطع جوش زیاد است اما اگر الزام به‌وجود آید، الکترود سری«E- XX4X» مناسب‌تر است.

شکل ۳ــ۲ــ چند نوع مختلف الکترود است که اعداد نشان داده شده، معرف آن‌ها است.

عدد چهارم از سمت چپ نوع جریان(DCRP وDCSP - AC) و نوع ترکیب شیمیایی پوشش و نیز درصد پودر آهن را نشان می‌دهد. برای این منظور، لازم است که دو عدد آخر را با هم نگاه کرد. (به جدول ۲ــ۲ توجه شود)

جدول ۲ــ۲ــ مشخصات الکترودهای مختلف

درصد زیاد سلولز ــ سدیم	EXX10
درصد زیاد سلولز ــ پتاسیم	EXX11
درصد زیاد بی‌اکسید تیتانیوم ــ سدیم	EXX12
درصد زیاد بی‌اکسید تیتانیوم ــ پتاسیم	EXX13
پودر آهن ــ بی‌اکسید تیتانیوم	EXX14
Low– hydrogen ــ سدیم	EXX15
Low – hydrogen ــ پتاسیم	EXX16
پودر آهن ــ Low – hydrogen ــ پتاسیم	EXX18
درصد زیاد اکسید آهن	EXX20
پودر آهن ــ Low– hydrogen ــ پتاسیم	EXX48

جدول ۳ــ۲ــ مقدار آمپر لازم برای الکترودها یا پوشش مواد بازی

تنظیم جریان برای الکترودهای کم‌هیدروژن			
ولت	آمپر (قائم و بالاسری)	آمپر(تخت)	قطر الکترود
۲۲ ــ ۲۶	۱۲۰ــ۱۴۰	۱۴۰ــ۱۵۰	$\frac{۱}{۸}''$
۲۲ ــ ۲۶	۱۶۰ــ۱۸۰	۱۷۰ــ۱۹۰	$\frac{۵}{۳۲}''$
۲۲ ــ ۲۶	۲۰۰ــ۲۲۰	۱۹۰ــ۲۵۰	$\frac{۳}{۱۶}''$
۲۴ ــ ۲۷		۲۶۰ــ۳۲۰	$\frac{۷}{۳۲}''$
۲۴ ــ ۲۷		۲۸۰ــ۳۵۰	$\frac{۱}{۴}''$
۲۶ ــ ۲۹		۳۶۰ــ۴۵۰	$\frac{۵}{۱۶}''$

جدول ۳ــ۲ انتخاب آمپر جهت الکترودهای با قطر متفاوت است که نوع پوشش شیمیایی آن‌ها Low– hydrogen (کم هیدروژن) است.

جدول ۴ــ۲ــ مشخصات مکانیکی الکترودهای بازی

نقطه‌ی روانی	60000 psi (414 MPa)
کشش	70000 psi (480 MPa)
ازدیاد طول	22%
مقاومت ضربه	20 ft. lb. (27.1 Nm)

خصوصیات مکانیکی (مقاومت نقطه‌ی روانی جوش، مقاومت حداکثر جوش، ازدیاد طول به ازای ″۲ و مقاومت به ضربه در منهای F ۲۰–) الکترودهای بازی در جدول ۴ــ۲ داده شده است.

در جدول ۵ ــ۲ کاربرد چند نمونه الکترود بازی نشان داده شده است.

۵ــ۲ــ فولاد و آلیاژهای فولاد

اولین مرحله‌ای که برای تولید فولاد انجام می‌شود، خارج کردن ناخالصی‌ها و کربن است (البته همه‌ی کربن موجود را خارج نمی‌کنند) بنابراین اختلاط آهن و کربن را فولاد می‌نامند.

مقدار کربن در فولاد بسیار کم است ولی همین مقدار کم‌کربن می‌تواند خواص فولاد را کاملاً تغییر دهد و آن را به نام فولاد کربنی یا کاربن استیل معرفی کند. اگر مقدار کربن خیلی کم باشد،«mild steel »گفته می‌شود و تولید آن نسبت به سایر فولادها انبوه‌تر است.

فولادهایی که درصد کربن در آن‌ها کم باشد، چکش‌خور هستند و به سهولت جوش‌کاری و ماشین‌کاری می‌شوند. کربن استیل براساس درصد کربن گروه‌بندی می‌شود.

۱ــ فولاد کم‌کربن (mild steel) C -۰/۳–۰/۰۸

۲ــ فولاد با کربن متوسط C -۰/۵۵–۰/۳۱

۳ــ فولاد پرکربن C High - Carbon steel -۱/۵–۰/۵۶

۴ــ چدن بیش از ۲ درصد کربن

فولاد کم‌کربن را برای ساختن پل، کشتی، مخازن، لوله،

جدول ۵ ــ۲ــ ترکیب و کاربرد چند الکترود بازی

کاربرد	ترکیب پوشش الکترود	رقم سمت راست
		5
این الکترود برای فولاد کربنی کم‌آلیاژ مانند ماشین‌های راه‌سازی است. نوع قطب به‌کار رفته باید DCRP باشد.	کم‌هیدروژن نوع سدیم	E - 7015
		6
پوشش این الکترود مانند الکترود فوق است به جز این که می‌توان آن را با قطب«DCRP» به‌کار برد و نیز می‌توان از جریان ac استفاده کرد.		E-7016
		8
این الکترود از گروه «L.H» است و در فولادهای کم‌کربن ضخامت زیاد الکترود در سرعت زیادتر الکترود مؤثر است نوع قطب آن «DCRP» و «ac» است.	پودر آهن (کم‌هیدروژن) فقط وضعیت افقی	E - 7028
	پودر آهن به‌علاوه کم‌هیدروژن پوشش سدیم	E - 7018

بدنه‌ی اتومبیل و غیره به‌کار می‌برند. با افزایش کربن به فولاد خواص آن به‌طور قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌کند :

۱ــ نقطه‌ی ذوب فولاد کاهش می‌یابد ؛

۲ــ فولاد سخت‌تر می‌شود ؛

۳ــ مقاومت فولاد افزایش می‌یابد ؛

۴ــ تُرد و شکننده‌تر می‌شود ؛

۵ــ مقاومت فولاد در برابر خورده‌شدگی افزایش می‌یابد ؛

۶ــ جوش‌کاری فولاد مشکل‌تر می‌شود ؛

۷ــ ماشین‌کاری فولاد سخت می‌شود ؛

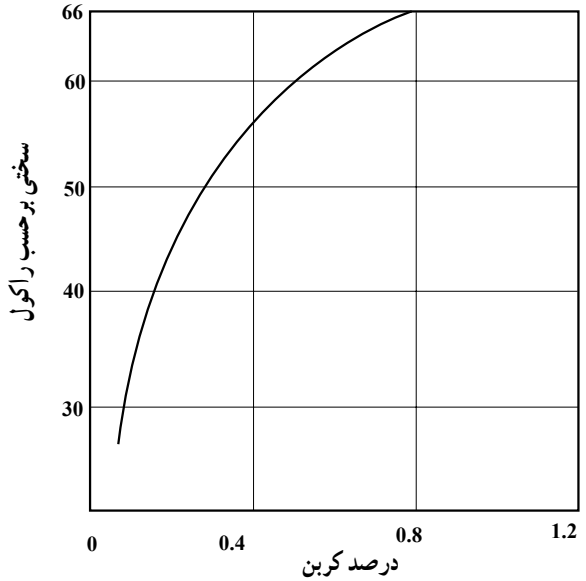
۸ــ سهولت عملیات حرارتی فولاد افزایش می‌یابد ؛

۹ــ مدول الاستیسیته‌ی فولاد تغییر نمی‌کند ؛

۱۰ــ قیمت و هزینه‌ی تولید بالا می‌رود.

هم‌چنان که اشاره شد، کربن در نقطه‌ی ذوب فولاد تأثیر زیادی دارد ؛ برای مثال نقطه‌ی ذوب آهن خالص C ۱۵۳۷ است و اگر درصد کربن در فولاد به ۴/۳ برسد نقطه‌ی ذوب آن به C ۱۱۳۰ می‌رسد و نیز با افزایش کربن سختی فولاد زیاد می‌شود. شکل ۴ــ۲ نشان می‌دهد که با افزایش کربن، سختی فولاد تا ۰/۸ درصد کربن زیاد می‌شود.

فولاد را نیز می‌توان از طریق عملیات حرارتی سخت و یا نرم (چکش‌خور) کرد.



شکل ۴ــ۲ــ ارتباط درصد کربن و سختی فلز

شکل ۴ــ۲ نشان می‌دهد که سختی فولاد تا ۰/۸ درصد زیاد می‌شود بنابراین این سؤال به‌وجود می‌آید که چرا اندازه‌ی کربن در فولاد از این حدّ هم ممکن است بیش‌تر گردد؟

قبلاً اشاره شد که با افزایش کربن، مقاومت فولاد هم در برابر خورده‌شدگی زیاد می‌شود.

از این‌رو در خیلی از ابزار و ادوات، مقدار کربن از ۰/۸ درصد بیش‌تر است مانند تیغه‌ی چاقوی جیبی، تیغه‌های رنده و ماشین‌های درودگری، زنجیرها و غیره.

لازم است بدانیم که ترکیب کربن با آهن جسم جدیدی را به‌وجود می‌آورد که «کاربید آهن» یا «سمانتیت» نامیده می‌شود. (Fe_3C)

سمانتیت یا کاربید آهن در بین ذرات آهن خالص پراکنده می‌شوند (مانند دانه شن دربتون) و هرچه درصد سمانتیت در مقطع فولاد بیش‌تر باشد، سختی و مقاومت آن زیادتر می‌شود.

در زیر به‌صورت فهرست‌وار، به اثرات مطلوب و یا نامطلوب افزایش کربن اشاره می‌شود :

با افزایش کربن در فولاد	
۱ــ فولاد سخت‌تر می‌شود	پارامتر مطلوب
۲ــ مقاومت در برابر خورده شدگی افزایش می‌یابد	پارامتر مطلوب
۳ــ نقطه‌ی ذوب کاهش می‌یابد	پارامتر مطلوب
۴ــ مقاومت افزایش می‌یابد	پارامتر مطلوب
۵ــ فولاد ترد و شکننده‌تر می‌شود	پارامتر نامطلوب

مشاهده می‌شود که افزایش کربن در فولاد، بسیاری از پارامترهای مطلوب را به همراه دارد امّا متأسفانه همیشه این پارامترهای خوب یک پارامتر بد را نیز با خود دارند (تردی و شکنندگی).

حال برای این که دامنه یا وسعت پارامترهای خوب، گسترش یابد و پارامتر نامطلوب محدود شود، از عناصر دیگر کمک می‌گیرند و آن‌ها را به فولاد اضافه می‌کنند. (آلیاژهای فولاد)

۱ــ۵ــ۲ــ آلیاژهای فولاد: قبل از وارد شدن به بحث آلیاژها، لازم است اشاره شود که دو عنصر دیگر همیشه در فولادها وجود دارند، یکی ازاین دو عنصر «گوگرد» و دیگری «فسفر» است و تأثیر هردوی آن‌ها در بیش‌تر مواقع، در جهت منفی است، به همین دلیل در تولید فولادها سعی می‌کنند که آن‌ها

را در حداقل اندازه، نگه دارند.

از طرف دیگر اگر بخواهید که این دو عنصر نام برده شده اصلاً در فولادها وجود نداشته باشند، قیمت و هزینه‌ی تولید بسیار بالا می‌رود و به اجبار درصد آن‌ها را در حدّ بسیار کم نگه می‌دارند.

فولاد آلیاژی فولادی است که غیر از کربن، یک یا چند عنصر دیگر را به همراه داشته باشد مانند : آلومینیوم، سیلیکون، کُرم، نیکل، منگانز، مولیبدنیم، تیتانیوم، کبالت، تنگستن، وانادیوم و ...

با افزایش عناصر نام برده شده در فولاد، خصوصیات آلیاژ تغییر می‌کند.

کُرم : اگر کرم به فولاد اضافه گردد فولاد سخت‌تر شده، مقاومت آن در برابر فرسایش زیاد می‌شود، علاوه بر این ظریف‌تر کردن در اندازه‌ی ذرات فولاد، مؤثر است. کُرم ممکن است به‌تنهایی یا همراه با عناصر دیگر، مانند «نیکل» به فولاد اضافه شود (فولاد ضدزنگ)

منگانز : افزایش منگانز به فولاد، باعث ریزدانه شدن فولاد می‌شود که این حالت در چکش خوردن و تافنس اثر دارد.

مولیبدن : مولیبدن عنصری است که در سختی فولاد (بعد از کربن) مؤثر است و از طرفی جلوی بزرگ شدن دانه‌بندی فلز را می‌گیرد. این عنصر بیش‌تر همراه فلزات دیگر مانند کُرم یا نیکل و یا هردوی آن‌ها در آلیاژها وجود دارد.

نیکل : نیکل در فولاد باعث افزایش مقاومت آلیاژ شده، بدون این که تافنس کم‌شود. اگر مقدار درصد نیکل در فولاد زیاد باشد، (٪ ۳۵ ــ ۲۵) علاوه بر این که تافنس[۱] کاهش می‌یابد، باعث می‌شود که فولاد در برابر خورده شدگی و ضربه مقاوم گردد.

وانادیوم : افزایش وانادیوم به فولاد، از رشد دانه‌ها در حرارت‌های بحرانی، مانند عملیات حرارتی و جوش‌کاری، جلوگیری می‌کند علاوه بر این باعث افزایش مقاومت فولاد می‌شود.

تنگستن : افزایش تنگستن به فولاد اغلب برای ابزارهای برنده است. فولادهایی که در آن‌ها تنگستن وجود داشته باشد، سخت، تاف و مقاوم در برابر فرسایش خواهند بود.

کبالت : تأثیر کبالت در فولاد، حفظ کردن مقاومت فولاد در دماهای پایین است و اگر کبالت همراه با تنگستن باشد، فولاد در درجه حرارت‌های بالا (حرارت قرمز) مقاوم خواهد بود.

آلیاژهای فولاد به گروه‌های متفاوتی، مانند فولاد آلیاژی با درصد کم، تقسیم می‌شوند (فولاد کم آلیاژ). این فولادها فولادهایی هستند که مقدار درصد عنصر آلیاژی در آن‌ها از ٪ ۵ بیش‌تر نشود و یا این که حاصل جمع عناصر آلیاژی از٪ ۵ چندان زیادتر نشود.

۲ــ۵ــ ۲ــ کُد یا رمزشناسایی فولادهای آلیاژی :

دو سیستم اصلی برای طبقه‌بندی فولاد آلیاژی به‌کار می‌رود :

این دو سیستم کُد« SAE»[۲] و کُد« AISI»[۳] هستند. (جدول ۶ــ۲ و ۷ــ۲) حروف و شماره‌ها، روش تولید و نیز ترکیب شیمیایی فولاد را نشان می‌دهند، مانند 1XXX عدد (۱) معرف فولادهای کربنی است و در« 2XXX »، عدد (۲) معرف نیکل است و در «3XXX» عدد (۳) معرف نیکل ــ کُرم است.

جدول ۶ ــ۲ــ روش کدبندی فولادهای آلیاژی

فولاد کربن‌دار	10XX
فولاد نیکل دار با درصد کم نیکل	2XXX
فولاد نیکل ــ کُرم	3XXX
فولاد مولیبدنیم	40XX
فولاد کُرم ــ مولیبدنیم	41XX
فولاد نیکل ــ کُرم ــ مولیبدنیم	43XX
فولاد کُرم دار	5XXX
فولاد کُرم ــ وانادیوم	6XXX
فولاد تنگستن دار	7XXX
فولاد نیکل ــ کُرم ــ مولیبدنیم	8XXX
فولاد منگانز ــ سیلیکون ــ نیکل ــ کُرم ــ مولیبدنیم	9XXX

۱ــ تافنس toughness خاصیتی است که فلز قادر باشد در برابر فشارهای ناگهانی ایستادگی کند بدون این که شکسته شود یا ترک بخورد، به‌عبارت دیگر، ظرفیت یک فلز که بتواند تنش‌های سخت و ناگهانی را جذب کند.

۲ــ SAE = Soc ety of Automot ve Eng neers

۳ــ AISI = Amer can Iron and Stee Inst tute

مثال: فولاد ۲۵۱۲

۱۲ ۵ ۲

درصد کربن درصد نیکل فولاد نیکل‌دار

فولاد آلیاژی فوق محتوی ٪۵ نیکل است و کربن آن در حدود ۰/۱۲ درصد می‌باشد. (توجه شود که اعداد معرف کربن، باید بر ۱۰۰ تقسیم شوند)

جدول ۷ــ۲ــ کُدبندی فولادهای آلیاژی

مقدار عناصر موجود در فولادهای آلیاژی در استانداردهای آمریکایی SAE و AISI					
گوگرد (حداکثر)	فسفر (حداکثر)	حدود منگنز	حدود کربن	AISI	SAE
۰/۰۵۰	۰/۰۴۰	۰/۳۰ ــ ۰/۶۰	۰/۰۸ ــ ۰/۱۸	C ۱۰۱۰	۱۰۱۰
۰/۰۵۰	۰/۰۴۰	۰/۳۰ ــ ۰/۶۰	۰/۱۳ ــ ۰/۱۸	C ۱۰۱۵	۱۰۱۵
۰/۰۵۰	۰/۰۴۰	۰/۳۰ ــ ۰/۶۰	۰/۱۸ ــ ۰/۲۳	C ۱۰۲۰	۱۰۲۰
۰/۰۵۰	۰/۰۴۰	۰/۳۰ ــ ۰/۶۰	۰/۲۲ ــ ۰/۲۸	C ۱۰۲۵	۱۰۲۵
۰/۰۵۰	۰/۰۴۰	۰/۶۰ ــ ۰/۹۰	۰/۲۸ ــ ۰/۳۴	C ۱۰۳۰	۱۰۳۰
۰/۰۵۰	۰/۰۴۰	۰/۶۰ ــ ۰/۹۰	۰/۳۲ ــ ۰/۳۸	C ۱۰۳۵	۱۰۳۵
۰/۰۵۰	۰/۰۴۰	۰/۶۰ ــ ۰/۹۰	۰/۳۷ ــ ۰/۴۴	C ۱۰۴۰	۱۰۴۰
۰/۰۵۰	۰/۰۴۰	۰/۶۰ ــ ۰/۹۰	۰/۴۳ ــ ۰/۵۰	C ۱۰۴۵	۱۰۴۵
۰/۰۵۰	۰/۰۴۰	۰/۶۰ ــ ۰/۹۰	۰/۴۸ ــ ۰/۵۵	C ۱۰۵۰	۱۰۵۰
۰/۰۵۰	۰/۰۴۰	۰/۶۰ ــ ۰/۹۰	۰/۵۰ ــ ۰/۶۰	C ۱۰۵۵	۱۰۵۵
۰/۰۵۰	۰/۰۴۰	۰/۶۰ ــ ۰/۹۰	۰/۵۵ ــ ۰/۶۵	C ۱۰۶۰	۱۰۶۰
۰/۰۵۰	۰/۰۴۰	۰/۶۰ ــ ۰/۹۰	۰/۶۰ ــ ۰/۷۰	C ۱۰۶۵	۱۰۶۵
۰/۰۵۰	۰/۰۴۰	۰/۶۰ ــ ۰/۹۰	۰/۶۵ ــ ۰/۷۵	C ۱۰۷۰	۱۰۷۰
۰/۰۵۰	۰/۰۴۰	۰/۴۰ ــ ۰/۷۰	۰/۷۰ ــ ۰/۸۰	C ۱۰۷۵	۱۰۷۵
۰/۰۵۰	۰/۰۴۰	۰/۶۰ ــ ۰/۹۰	۰/۷۵ ــ ۰/۸۸	C ۱۰۸۰	۱۰۸۰
۰/۰۵۰	۰/۰۴۰	۰/۷۰ ــ ۱/۰۰	۰/۸۰ ــ ۰/۹۳	C ۱۰۸۵	۱۰۸۵
۰/۰۵۰	۰/۰۴۰	۰/۶۰ ــ ۰/۹۰	۰/۸۵ ــ ۰/۹۸	C ۱۰۹۰	۱۰۹۰
۰/۰۵۰	۰/۰۴۰	۰/۳۰ ــ ۰/۵۰	۰/۹۰ ــ ۱/۰۳	C ۱۰۹۵	۱۰۹۵

کربن آلیاژی گوگرددار

گوگرد (حداکثر)	فسفر (حداکثر)	حدود منگنز	حدود کربن	AISI	SAE
۰/۰۸ ــ ۰/۱۳	۰/۰۴۰Max	۰/۶۰ ــ ۰/۹۰	۰/۱۳ ــ ۰/۱۸	C ۱۱۱۵	۱۱۱۵
۰/۰۸ ــ ۰/۱۳	۰/۰۴۰Max	۰/۷۰ ــ ۱/۰۰	۰/۱۸ ــ ۰/۲۳	C ۱۱۲۰	۱۱۲۰
۰/۰۸ ــ ۰/۱۳	۰/۰۴۰Max	۰/۶۰ ــ ۰/۹۰	۰/۲۲ ــ ۰/۲۸	C ۱۱۲۵	۱۱۲۵
۰/۰۸ ــ ۰/۱۳	۰/۰۴۰Max	۰/۷۰ ــ ۱/۰۰	۰/۳۷ ــ ۰/۴۴	C ۱۱۴۰	۱۱۴۰

۳ــ۵ــ۲ــ شناسایی فولادها: لازم است که هر جوش‌کار ماهر بتواند با یک یا چند روش تست‌های عملی ترکیب شیمیایی فولاد را به‌دست آورد.

گاهی اوقات آنالیز فولاد یا در دسترس نمی باشد و یا وصول به آن مشکل و وقت‌گیر است. در کارخانه و یا کارگاه و یا در سایت‌های متفاوت لازم است که نوع فولاد به سرعت مشخص شود ؛ از این‌رو می‌توان آزمایش را با روش‌های زیر انجام داد :

۱ــ آزمایش جرقه به‌وسیله‌ی سنگ سمباده ؛

۲ــ آزمایش با شعله‌ی اکسی‌استیلن ؛

۳ــ آزمایش از طریق انفصال فلز ؛

۴ــ آزمایش رنگ ؛

۵ــ آزمایش صدا ؛

۶ــ آزمایش از طریق وزن مخصوص ؛

۷ــ آزمایش از طریق آهنربا.

آزمایش جرقه: یکی از طرق تعیین ترکیب شیمیایی فولاد، آزمایش جرقه است. برای این منظور می‌توان از یک سنگ سمباده استفاده کرد. (قبل از آزمایش باید سنگ سمباده را بررسی کرد تا در شرایط مناسبی باشد و از وسیله‌های ایمنی مانند عینک نیز باید استفاده شود)

برای آزمایش فولاد موردنظر، کافی است که آن را به سنگ یا چرخ سمباده تماس بدهیم، در اثر تماس و اصطکاک بین فلز و سنگ سمباده، جرقه‌هایی تولید و پرتاب خواهد شد.

با نحوه‌ی پرتاب شدن، رنگ جرقه، طول جرقه و تعدد انفجار در جرقه، می‌توان نوع فولاد را تشخیص داد. هرچه فشار بین فلز و سنگ سمباده کم‌تر باشد، تعیین هویت فولاد بهتر انجام می‌شود. (شکل ۵ــ۲).

تئوری این نوع آزمایش بر مبنای این است که :

هنگامی که فولاد گرم می‌شود، تمایل زیادتری برای جذب اکسیژن دارد و قسمت‌های مختلف از فلز با نرخ های متفاوتی اکسید می‌شوند که رنگ اکسید هر ماده متفاوت است ؛ برای مثال اگر آهن خالص را با سنگ سمباده تماس دهیم، در اثر گرما، آهن به سرعت اکسید نمی‌شود، از این‌رو جرقه‌هایی که از آهن خالص پرتاب می‌شود کم‌رنگ یا سفیدرنگ بوده، طول آن‌ها زیاد است و به سرعت ازبین می‌روند.

دمای جهش جرقه برای فولاد با ترکیب‌های متفاوت فرق می‌کند. چهار فاکتور در جرقه وجود دارد که از روی آن‌ها می‌توان به ترکیب شیمیایی فلز پی‌برد :

۱ــ رنگ جرقه ؛

۲ــ طول جرقه ؛

۳ــ تعداد انفجار در طول جرقه ؛

۴ــ شکل انفجار.

برای مثال، اگر یک فولاد با ۰/۲ درصد کربن را با سنگ سمباده تماس دهیم، طول جهش جرقه‌های آن در حدود ۱/۸ متر است و رنگ آن روشن و سفیدرنگ است. تعدادی از این جرقه‌ها به‌طور ناگهانی منفجر می‌شوند و تشکیل جرقه‌های کوچک‌تری می‌دهند این جرقه‌های کوچک، نسبت به جرقه‌های اولیه، یک زاویه‌ی ۴۵ می‌سازند.

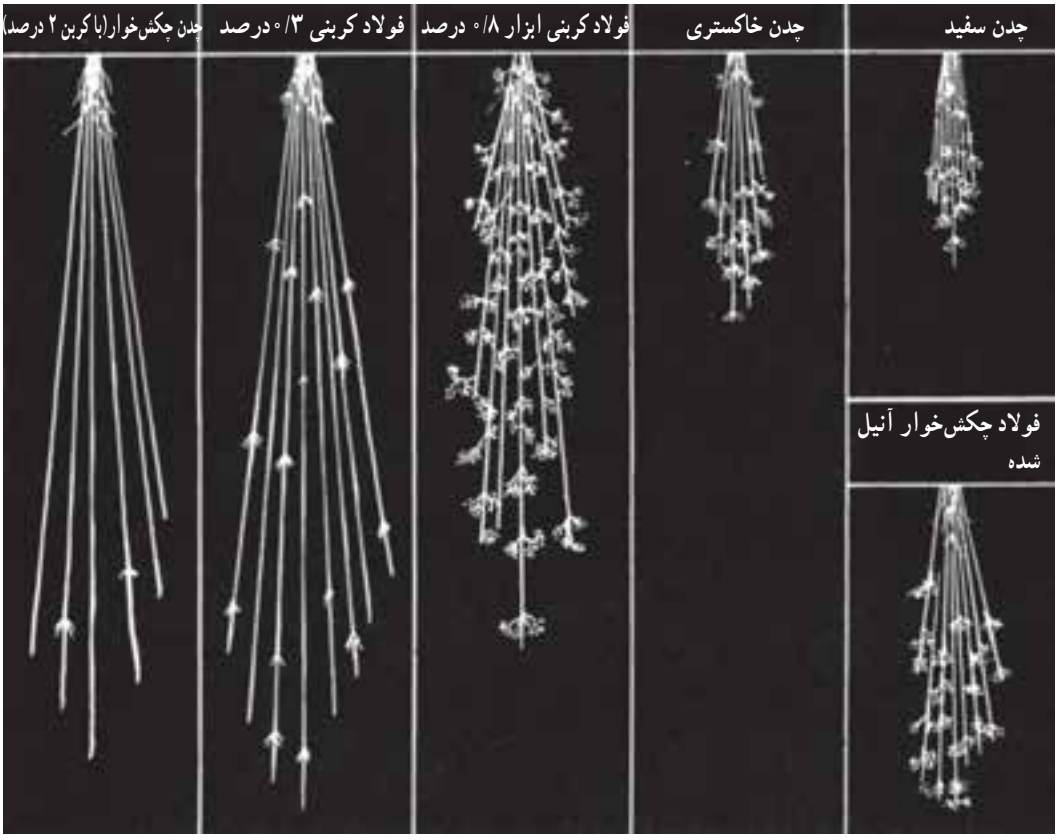
اگر بخواهیم یک فولاد ساده‌ی کربنی را با ۰/۳ درصد کربن آزمایش کنیم، فوران جرقه مانند فولاد قبل است با این تفاوت که در امتداد جرقه‌ها تعداد انفجار بیش‌تر می‌شود و طول پرتاب جرقه کمی کوتاه‌تر می‌گردد.

اگر یک فولاد با ۰/۸ درصد کربن را با سنگ سمباده تماس دهیم، مشاهده خواهد شد که طول فوران جرقه‌ها کوتاه و تعداد انفجار در مسیر هر جرقه زیادتر می‌شود.

عملیات حرارتی که بر روی فولاد انجام می‌شود، در آزمایش جرقه‌ی فولاد اثر می‌گذارد ؛ برای مثال در جرقه‌های چدن خاکستری که از محل تماس با چرخ سمباده فوران می‌کنند، رنگ آن‌ها قرمز تیره و طول جرقه‌های پرتاب شده کوتاه و در حدود ۶۴ــ۵۰ سانتی‌متر است. در مقایسه با این حالت، رنگ جرقه‌های یک فولاد با ۱/۳ درصد کربن در هنگام فوران از سنگ، سفید و طول جرقه‌های آن کمی بلندتر از چدن خاکستری است.

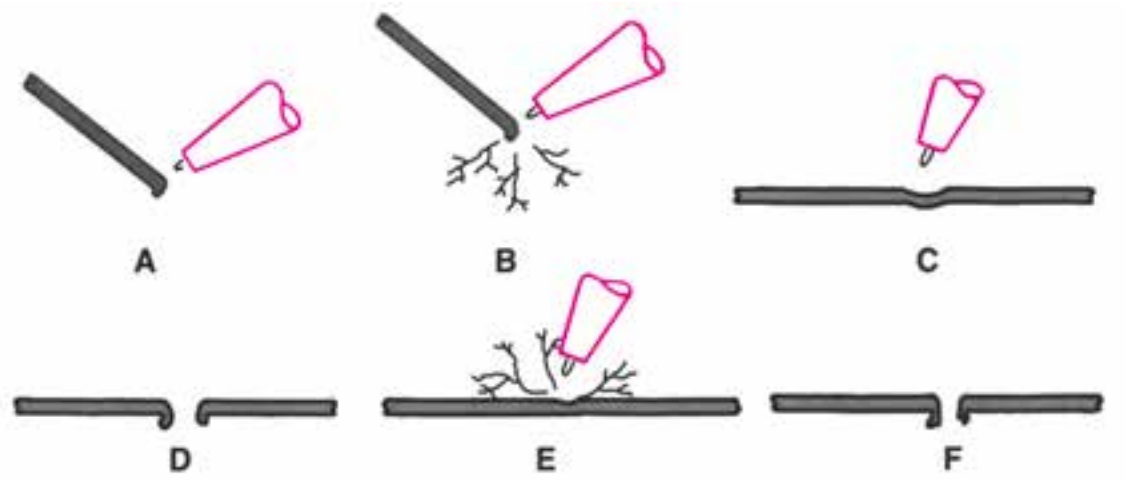
آزمایش با شعله‌ی اکسی‌استیلن: به‌عنوان مقدمه باید گفت، حتی اگر در مورد ترکیب شیمیایی یک فولاد آگاهی داشته باشیم، باز لازم است بدانیم که آیا فلز خاصیت جوش‌پذیری خوبی دارد یا خیر.

برای مثال ورق‌های آهنی که نورد می‌شوند ممکن است خواص شیمیایی و فیزیکی خوبی را برای جوش‌کاری داشته



شکل ۵ــ۲ــ جرقه‌های ایجاد شده به وسیله‌ی فولادهای مختلف

باشند امّا ممکن است تعدادی از این ورق‌ها در حین نورد، اجزایی را که در روی سطح غلطک وجود دارد (سرباره‌ی جرم و کثافت روی غلطک) در اثر فشار، جذب خود کنند و یا این که درصد فسفر و گوگرد آن‌ها زیاد شود ؛ به این جهت برای فرد جوش‌کار لازم است شرایط جوش‌پذیری فولاد را تشخیص دهد.

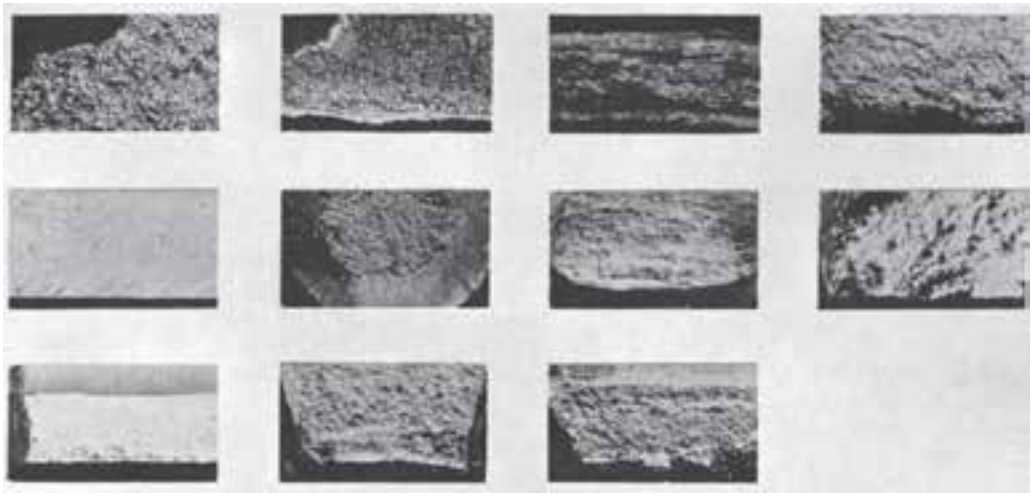


شکل ۶ــ۲ــ آزمایش با شعله اکسی استیلن

برای انجام آزمایش، فقط کافی است که یک حوضچه‌ی مذاب با شعله‌ی اکسی‌استیلن و شعله‌ی خنثی در سطح فلز ایجاد کنیم، در صورت نازک بودن، فرصت دهیم که فلز سوراخ شود.

از حوضچه‌ی مذاب نباید جرقه‌ی زیادی خارج شود و یا جوشش داشته باشد. مذاب باید روانی و کشش سطحی خوبی داشته باشد. لبه‌ی حوضچه پس از انجماد، مضرّس نباشد و در حین منجمد شدن رنگ حوضچه، درخشان باشد در این صورت خاصیت جوش‌پذیری فولاد، بسیار خوب است.

اگر رنگ مذاب در حین انجماد تیره باشد و لبه‌ی حوضچه پس از انجماد مضرّس باشد، جوش‌پذیری فولاد خوب نیست.



شکل ۷ــ۲ــ نداشتن خاصیت جوش‌پذیری