

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



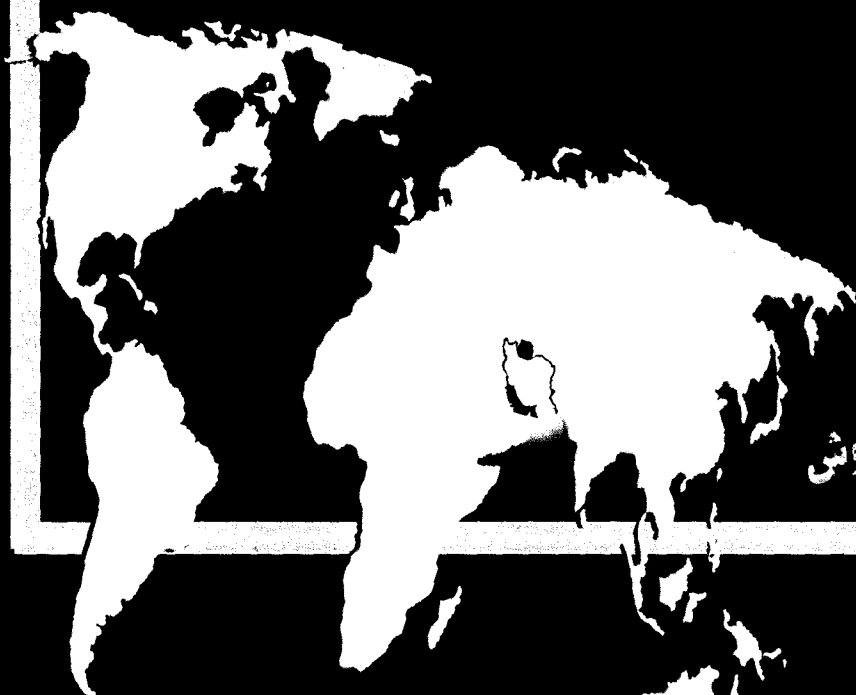


مرکز پژوهش و مهندسی جوش ایران

تابع سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران

مجموعه ۱: فرآیندها و تجهیزات جوشکاری

قوس الکتریکی



مجموعه منابع تخصصی مهندسی جوش

مجموعه منابع تخصصی مهندسی جوش

مرکز پژوهش و مهندسی جوش ایران

مجموعه ۱: فرآیندها و تجهیزات جوشکاری

جلد ۴: قوس الکتریکی

حق چاپ و تکثیر برای مرکز پژوهش و مهندسی جوش ایران محفوظ می باشد.

مجموعه منابع تخصصی مهندسی جوش

مرکز پژوهش و مهندسی جوش ایران

کمیته راهبری و نظارت :

عباس زارعی هنزکی
فریبا نصرتی
امید گل محله
محمود پارسا
کوروش قدر قدر جهرمی

گروه تدوین و گردآوری :

مسعود وطن آرا
محمد رضا وطن آرا
میثم حق شناس

گروه بازخوانی علمی :

رامز وقار
عباس زارعی هنزکی

پیش‌گفتار

جوشکاری یکی از مهمترین فرایندهای ساخت و تولید در صنعت می‌باشد و در صنایع مختلف نظیر خودرو سازی، نفت و گاز، پتروشیمی، تأسیسات و ساختمان و پل‌ها، حمل و نقل، کشتی سازی، صنایع ریلی، نیروگاه‌ها، صنایع دفاعی و هوا و فضا، محصولات پزشکی، الکترونیکی و تجهیزات دقیق و... کاربردهای فراوانی دارد. کشور ایران در حال پیمودن مسیر توسعه صنعتی بوده و ازین رو صنعت جوش برای کشور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین آموزش منسجم و هماهنگ با جهان در این صنعت، یکی از نیازهای مهم کشور تلقی می‌گردد.

در طول جنگ جهانی دوم و پس از آن، نظر به افزایش حجم تولیدات و به تبع آن افزایش حجم جوشکاری به عنوان یکی از اصلی‌ترین روش‌های ساخت، با بروز مشکلات متعدد در این زمینه، هر یک از کشورهای صنعتی در کشورهای خود، اقدام به ساماندهی صنعت جوش و برش نمودند که این امر از طریق استاندارد سازی فعالیت‌های جوشکاری صورت گرفت. با توجه به تعدد استانداردها و مشکلات ناشی از آن و نیز روند جهانی شدن بازارها، کشورهای صنعتی اروپایی اقدام به تاسیس مرکزی متشکل از نمایندگان کشورهای خود به عنوان فدراسیون جوش اروپا (EWF)^۱ نمودند. بعدها با حضور نمایندگان کشورهای صنعتی نظیر آمریکا و ژاپن و به دنبال آن کشورهای در حال توسعه، سازمان جدیدی تحت عنوان انستیتو بین‌المللی جوش (IIW)^۲ تاسیس گردید. در حال حاضر انستیتو بین‌المللی جوش در تمام کشورهای عضو از جمله ایران دارای نماینده‌ای می‌باشد. این نماینده علاوه بر وظیفه انتقال مشکلات صنعت جوش و برش در کشور خود، جهت بحث و بررسی و ارائه راه حل و نیز انتقال دانش روز جهان و استانداردهای جدید، وظیفه فراهم سازی امکان بهره‌گیری از سیستم آموزش و تایید کیفی هماهنگ IIW را در کشور خود بر عهده دارد.

مرکز پژوهش و مهندسی جوش ایران (IWREC)، وابسته به سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران در سال ۱۳۷۱ با هدف انجام فعالیت‌های پژوهشی و ارائه خدمات علمی، فنی و مهندسی، مشاوره و آموزش در زمینه‌های جوشکاری، بازرسی و کنترل کیفیت تاسیس گردیده است. این مرکز با اخذ نمایندگی انستیتو بین‌المللی جوش (IIW) و فدراسیون جوش اروپا (EWF) و همچنین به عنوان مرجع ملی اعطای مجوز و اعتبار (ANB)^۳ در ایران و اولین مرکز آموزش معتبر بین‌المللی

۱-European Welding Federation

۲-International Institute of Welding

۳-Authorized National Body

جوش در سطح کشور(ATB)^۱، اقدام به چاپ مجموعه کتابهای آموزش تخصصی جوش و برش در سطح مهندسی بین‌المللی جوش(IWE)^۲ نموده‌است.

گردآوری و تالیف این مجموعه کتابها بر اساس راهنمای انستیتو بین‌المللی جوش، در خصوص آموزش‌های هماهنگ جهانی، تحت عنوان ۲۰۰۵ Copyright Rev.۲/۴۰۹ EWF/۲۰۰۰-۰۰۲ Doc.IAB، بوده است و تلاش شده است تا استاندارد آموزشی انستیتو بین‌المللی جوش بر مبنای داشتن خصوصیات زیر در آنها تحقق یابد: ۱- جامع بودن و در برگرفتن تمامی فعالیتهای صنعت جوش و برش ۲- بر مبنای نظام آموزش هماهنگ جهانی ۳- بهره‌وری بالای آموزش ۴- قابلیت ارزیابی منسجم و هماهنگ.

کتاب حاضر بر اساس مفاد جزوه ۴- ۱ در راهنمای ۲/۴۰۹ EWF/۲۰۰۰-۰۰۲ Doc.IAB انستیتو بین‌المللی جوش، در خصوص قوس الکتریکی، تدوین شده است. همچنین مطالبی فراتر از مفاد جزوه مذکور، جهت تکمیل شدن هر چه بیشتر مبحث، در این کتاب ارائه شده است و به‌عنوان مرجعی جامع و معتبر برای تمامی کسانی که در حال گذراندن دوره‌های مختلف جوش می‌باشند، توصیه می‌شود.

بدیهی است پیشنهادات و انتقادات سازنده خوانندگان گرامی، این مرکز را در بهبود هر چه بیشتر این مجموعه یاری خواهد رساند.

۱- Approved Training Body

۲- International Welding Engineer



فهرست مطالب

۱- مقدمه	۱
۲- تعاریف	۱
۳- قوس الکتریکی	۳
۴- انواع قوس الکتریکی	۱۳
۵- شروع یا روشن کردن قوس الکتریکی	۱۴
۶- نگه داشتن قوس الکتریکی	۱۶
۷- پایداری قوس الکتریکی	۱۹
۸- قطبیت الکتروود	۱۹
۹- انحراف قوس	۲۲
۹-۱- انحراف قوس در فولاد	۲۳
۹-۲- روش های کنترل انحراف قوس	۲۷
۱۰- ایمنی	۲۹
مراجع	۳۳





۱- مقدمه

قوس الکتریکی منبع حرارتی مناسبی برای مهمترین فرایندهای جوشکاری است و می‌توان آنرا با شدت حرارت زیاد تولید کرد. علاوه بر منبع حرارت، قوس الکتریکی می‌تواند انتقال فلز مذاب از الکتروود به محل جوش را نیز انجام دهد. از طرف دیگر امکان دارد جهت برطرف نمودن لایه اکسید سطحی فلز هم به کار گرفته شود. در محفظه یا هاله قوس با حوضچه جوش تعدادی واکنش‌های پیچیده "گاز- سرباره- فلز مذاب" و برخی تغییرات متالورژیکی دیگر انجام می‌گیرد [۱].

۲- تعاریف

• ولتاژ مدار باز (ولتاژ آزاد)

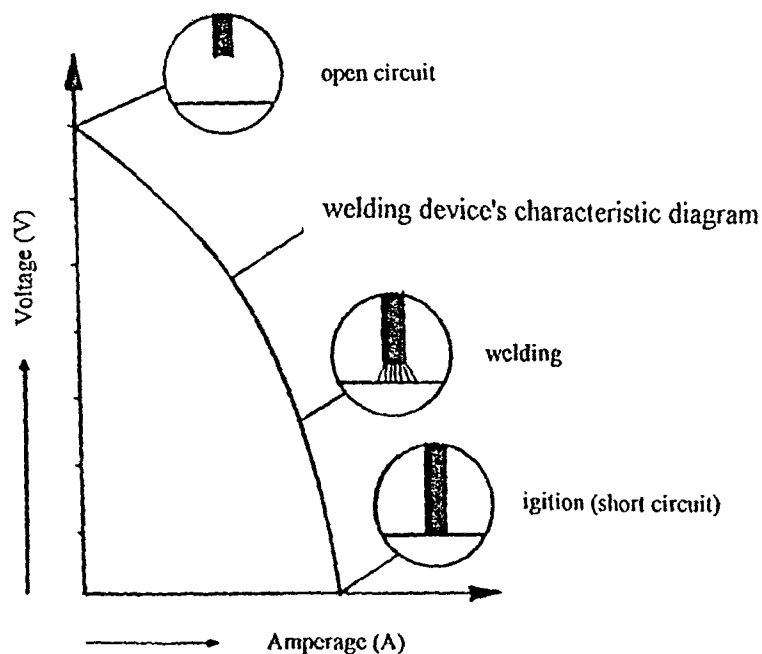
ولتاژ بین خروجی ترمینال‌های ماشین جوشکاری در حالی که جریانی از مشعل عبور نمی‌کند یا ولتاژ در حالت بی‌باری (زمانی که قوس زده نمی‌شود)، ولتاژ مدار باز نامیده می‌شود (شکل ۱). به منظور رعایت مسایل ایمنی ولتاژ مدار باز نباید از مقدار مشخصی تجاوز کند (جدول ۱).

• ولتاژ مدار کوتاه

هنگامی که نوک الکتروود به قطعه کار می‌چسبد و شروع به جرقه‌زنی می‌کند، این ولتاژ حاصل می‌گردد. عملاً این ولتاژ به صفر میل می‌کند و در همین زمان جریان اتصال کوتاه افزایش می‌یابد (شکل ۱) [۲].

• ولتاژ قوس

ولتاژ قوس عبارت است از مجموع ولتاژ بین نگه دارنده الکتروود و فلز پایه که در واقع مجموع افت ولتاژ کاتد، افت ولتاژ آند و افت ولتاژ جریان قوس می‌باشد. این ولتاژ در سرتاسر قوس الکتریکی هنگام جوشکاری قوسی برقرار است. ولتاژ قوس ممکن است با طول قوس، درجه حرارت و احتراق گازی قوس تغییر کند. معمولاً زمانی که جریان جوشکاری ثابت است، با افزایش طول قوس، ولتاژ افزایش و با کاهش آن، ولتاژ کاهش می‌یابد. هرچند رابطه خطی مشخصی بین تغییرات ولتاژ و طول قوس وجود ندارد.



شکل ۱: منحنی جریان ولتاژ در جوشکاری SMAW [۲]

در صورت ثابت بودن طول قوس نیز با تغییر شدت جریان، ولتاژ تغییر می‌نماید [۳]. منبع جریان جوشکاری باید جریان مناسب استاندارد شده‌ای را به هنگام برقراری ولتاژ قوس مهیا کند که با توجه به نوع فرآیند جوشکاری مطابق با فرمول های زیر تعریف می‌گردد:

• جوشکاری قوسی با الکتروود فلزی روپوش دار

$$J_s < 600A$$

$$U_A = 20 + 0.004 J_s$$

بعد از ۴۴ ولت در ۶۰۰ آمپر، U_A ثابت می‌ماند.

• جوشکاری TIG

$$J_s < 600A$$

$$U_A = 10 + 0.004 J_s$$

• جوشکاری MIG

$$J_s < 600A$$

$$U_A = 14 + 0.05 J_s$$

در این فرمول ها U_A ولتاژ جوشکاری و J_s شدت جریان جوشکاری می‌باشد [۲].



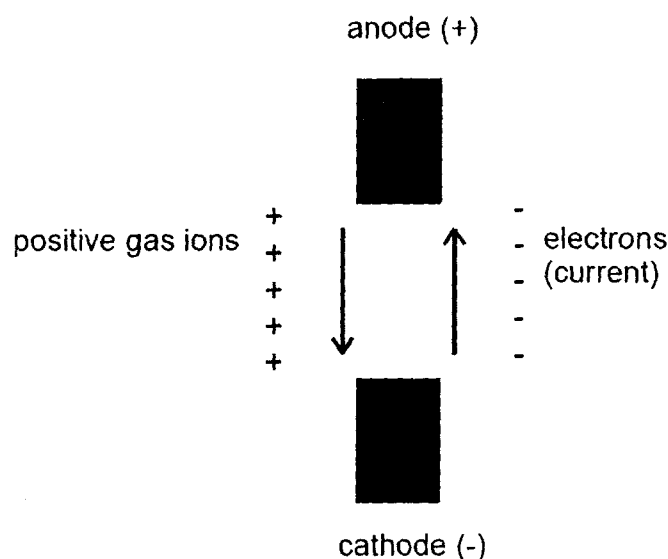
جدول ۱: مقادیر مجاز ولتاژ مدار باز (مطابق با EN 60974-1) [۲]

شرایط عملیاتی	ولتاژ مدار باز
احتمال خطر الکتریکی زیاد است	مقدار ماکزیمم DC=113V مقدار ماکزیمم AC=68 V مقدار مؤثر 48 V
احتمال خطر الکتریکی زیاد نیست	مقدار ماکزیمم DC=113V مقدار ماکزیمم AC=113V مقدار مؤثر 80 V
استفاده از مشعل های مکانیزه به منظور محافظت بیشتر از جوشکار	مقدار ماکزیمم DC=141V مقدار ماکزیمم AC=141V مقدار مؤثر 100 V
فرآیندهای خاص	مقدار ماکزیمم DC=710V مقدار ماکزیمم AC=710V مقدار مؤثر 500 V

۳- قوس الکتریکی

خالی شدن بار الکتریکی بین دو الکترود در میان گاز یونیزه شده قوس الکتریکی نامیده می شود. این گاز یونیزه شده پلاسما نامیده می شود [۱]. ستون قوس متشکل از ذرات خنثی (اتم ها و مولکول ها در حالت برانگیخته شده و برانگیخته نشده)، الکترون ها و یون های باردار می باشد. بنابراین جریان، دو قطبی و شامل حرکت الکترون ها به سمت آند و یون های مثبت به سمت کاتد می باشد (شکل ۲). تعداد الکترون ها و یون های مثبت در واحد حجم ستون قوس برابر بوده و بدین ترتیب ستون قوس از نظر الکتریکی خنثی می باشد که نتیجه آن ثابت بودن میدان الکتریکی است. الکترون ها با سائز کوچکتر و جرم کمتر، بسیار متحرک تر از یون های مثبت بوده و بخش عمده جریان قوس را برقرار می سازند. تنها حدود ۰/۱٪ از جریان قوس توسط یون های مثبت کم تحرک ایجاد می گردد و

مابقی توسط الکترونها ایجاد می شود. طول مسیر آزاد متوسط^۱ الکترونها حدود 10^{-6} cm بوده و الکترونها در هر ثانیه 10^{11} برخورد انجام می دهند و به دلیل تعداد زیاد برخوردها، دمای قوس بسیار بالا می باشد. در قوس جوشکاری، یک یا هر دو الکترود مایع بوده و انتقال فلز و در نتیجه تبدیل قوس جوشکاری به قوس بخار فلز ممکن است رخ دهد. این پدیده به علت انرژی یونیزاسیون نسبتاً پایین فلزات در مقایسه با گازهاست که تأثیر بسزائی در دمای قوس خواهد داشت.



شکل ۲: مسیر جریان ذرات شارژ شده در قوس الکتریکی [۵]

هنگامی که یک عنصر با انرژی یونیزاسیون کمتر از فلز مورد جوشکاری به قوس اضافه می شود، جریان ثابت باقی مانده، اما دمای قوس کاهش می یابد. برای قوس های با جریان نسبتاً بالا، دمای قوس تابع خطی انرژی مؤثر یونیزاسیون می باشد. علاوه بر آن، دمای قوس به شدت وابسته به هدایت حرارتی^۲ می باشد. هرچه هدایت حرارتی در یک جریان قوس و انرژی یونیزاسیون ثابت، پائین تر باشد، دمای قوس بالاتر خواهد بود.

پایداری ستون قوس به شدت به هدایت الکتریکی آن، انرژی یونیزاسیون پایین، هدایت حرارتی پایین و دمای قوس بالا بستگی دارد. پایداری قوس جوشکاری با اضافه شدن عناصر با انرژی یونیزاسیون

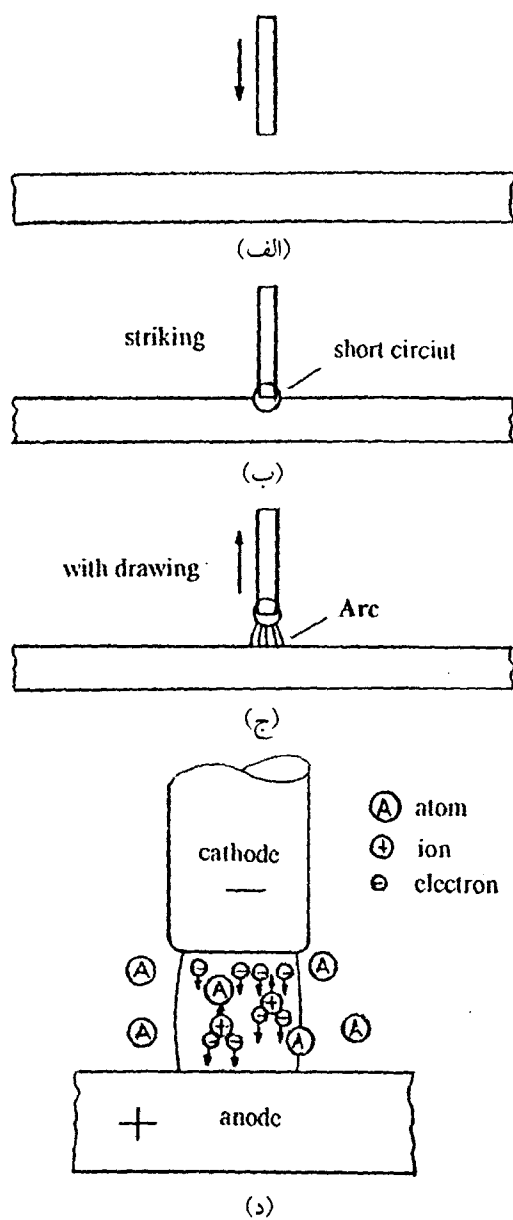
۱-Mean Free Path

۲-Thermal Conductivity

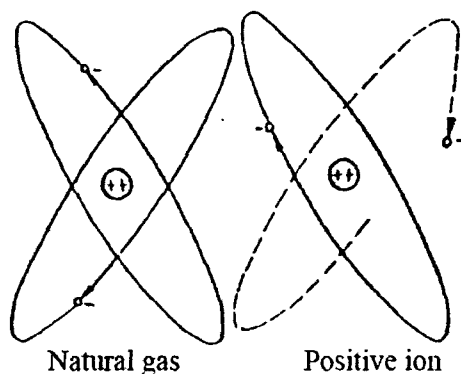


پائین همچون کلسیم و سدیم افزایش می یابد. قوس های پایدار در گازهای با هدایت حرارتی نسبتاً پائین همانند آرگون مشاهده می شوند در حالیکه قوس های حاوی گازهای با هدایت حرارتی نسبتاً بالا همانند هلیوم، هیدروژن، نیتروژن و دی اکسید کربن نسبتاً ناپایدارترند [۴].
در قوس الکتریکی فرآیند یونیزاسیون به صورت زیر اتفاق می افتد:

- ۱- هنگامی که جریان الکتریکی برقرار است و تماس بین الکترود و قطعه کار وجود ندارد، ولتاژ مدار باز بین الکترود و قطعه کار وجود دارد (شکل ۳ الف).
- ۲- زمانی که نوک الکترود با فلز پایه تماس برقرار می کند اتصال کوتاه برقرار می گردد (شکل ۳ ب).
- ۳- به علت جریان بالای اتصال کوتاه، نقطه ای که در آن الکترود با فلز پایه تماس پیدا می کند، از حرارت سفید می شود. سپس الکترونهای موجود در اتم آزاد می شوند و در اثر حرارت، سرعت چرخش آنها تا حدی افزایش می یابد که از مدار خود خارج می شوند (شکل ۴). سپس الکترود کمی از فلز پایه دور می شود (شکل ۳ ج) و الکترونهای آزاد تحت تأثیر ولتاژ مدار باز باقی می ماند. ولتاژ بالاتر سبب می شود که الکترونها از میان فاصله هوایی که عایق الکتریسته است، با سرعت بالایی به سمت قطب مثبت، جذب شوند و در این زمان شار جریان الکتریکی آغاز می شود (قوس ایجاد می گردد).
- ۴- اتمهای باقیمانده که دارای بار مثبت هستند و به سمت قطب منفی جذب می شوند (شکل ۳ د) [۲].



شکل ۳: یونیزاسیون فاصله هوایی قوس [۲]



شکل ۴: تشکیل یک یون اتمی [۲]

ناحیه بین الکترودها را می‌توان به سه قسمت تقسیم نمود:

قسمت میانی که یک شیب یکسان و یکنواخت پتانسیل در آن وجود دارد و دو ناحیه نزدیک به الکترودها که به علت اثر سرد شدن توسط الکترودها یک افت سریع پتانسیل در آن دیده می‌شود که به افت پتانسیل کاتدی^۱ و آندی^۲ شناخته شده است. می‌توان نقاط کاتد و آند را هم بخشی از قوس فرض کرد [۱]. ناحیه افت پتانسیل کاتدی منطقه بسیار باریکی است (حدود 10^{-6} cm) که توسط فضای بار مثبتی^۳ که باعث افزایش شدید ولتاژ و ایجاد یک میدان الکتریکی قوی می‌گردد، قابل تشخیص است. در نزدیکی الکترودها که دما کمتر می‌باشد، یونیزاسیون حرارتی رخ نداده و بنابراین گاز، دیگر از نظر الکتریکی خنثی نبوده و بار الکتریکی در فضا وجود خواهد داشت. در این نواحی گرادیان های شدید پتانسیلی وجود دارد. ناحیه افت آندی خواص مشابه ناحیه افت کاتدی داشته با فضای بار منفی که منجر به افت شدید ولتاژ و میدان الکتریکی قوی می‌گردد [۴]. شکل ۵ این مناطق قوس را نشان می‌دهد.

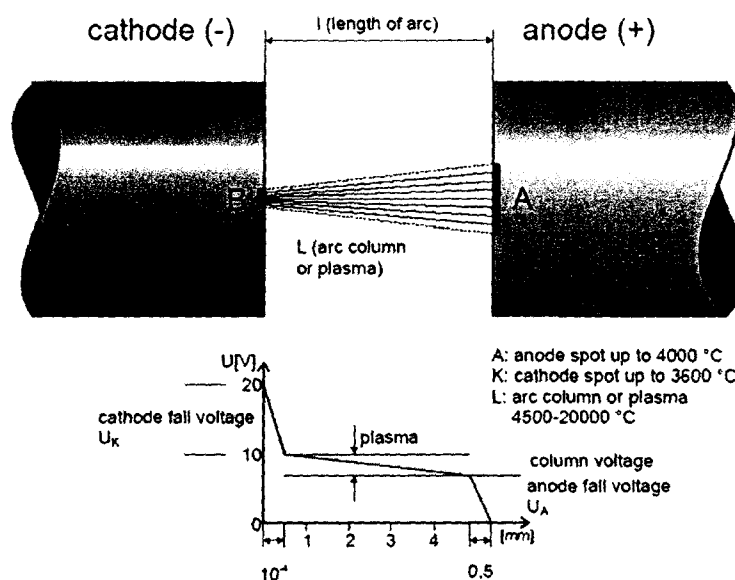
شدت جریان بالا در فشار اتمسفری، موجب ایجاد درجه حرارت حدود 6000°C (در بخار آهن) تا 20000°C (برای قوس تنگستن) در ستون قوس (قسمت میانی) می‌گردد که تمام عناصر و ترکیبات را به صورت اتمهای تشکیل دهنده تجزیه و یونیزه می‌نماید. درجه حرارت به طرف خارج این هسته مرکزی کاهش می‌یابد. در جدول ۲ تجزیه برخی از مولکولها و یونیزاسیون بعضی از اتمها و انرژی یونیزاسیون آنها به عنوان نمونه ذکر شده است. در شکل ۶ نیز فرم و توزیع درجه حرارت در ستون ایجاد شده توسط الکتروود تنگستن بر روی ورقه مسی نشان داده شده است. درجه حرارت و

۱-Cathode Fall Voltage

۲-Anode Fall Voltage

۳-Positive Space Charge

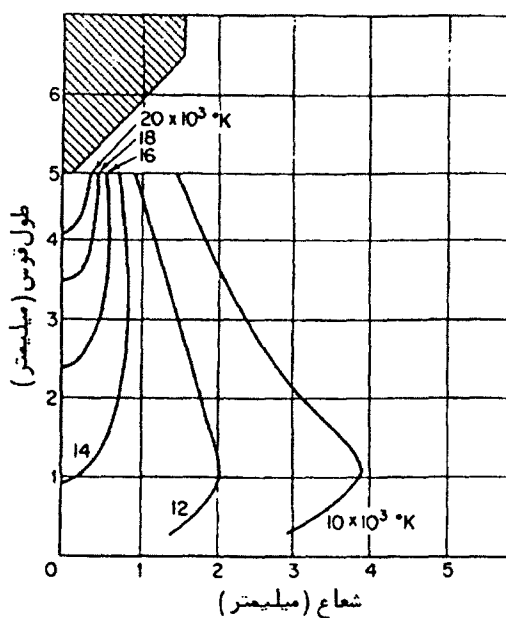
قطر ستون قوس به شدت جریانی که از آن عبور می‌کند بستگی دارد، به دلیل اینکه بیشتر شدت جریان از قسمت مرکزی این هسته عبور می‌کند رابطه بین جریان الکتریکی و پتانسیل با قانون اهم مطابقت نمی‌کند.



شکل ۵: مناطق مربوط به قوس و منحنی ولتاژ [۵]

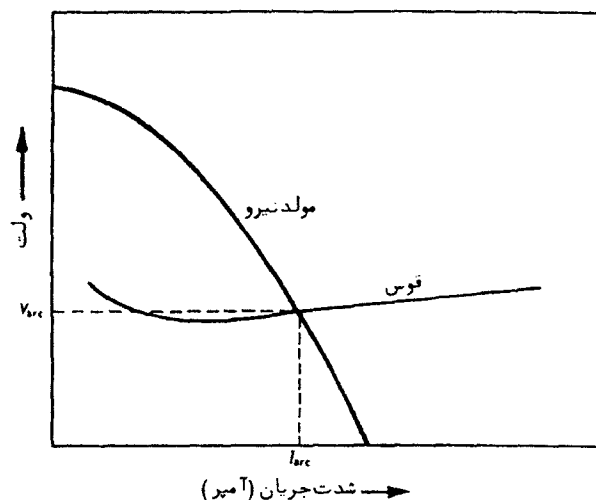
جدول ۲: مثال هایی از انرژی یونیزاسیون و تجزیه در منطقه قوس جوشکاری [۵]

1. Charged particles from singular molecules/atoms:	
1. Dissociation	2. Ionisation
$N_2 \rightarrow N + N$	$N \rightarrow N^+ + e^-$
$H_2 \rightarrow H + H$	$H \rightarrow H^+ + e^-$
$CO_2 \rightarrow CO + O$	$Ar \rightarrow Ar^+ + e^- + 16 \text{ eV}$
	$K \rightarrow K^+ + e^- + 4 \text{ eV}$
	$Fe \rightarrow Fe^+ + e^- + 7 \text{ eV}$
2. Ionisation energy of charged particles of the metal structure under welding conditions	
	$Fe \rightarrow Fe^+ + e^- + 4,8 \text{ eV}$
	$Al \rightarrow Al^+ + e^- + 4,0 \text{ eV}$
	$Cu \rightarrow Cu^+ + e^- + 4,8 \text{ eV}$
mechanism during welding:	
shock emission	
thermal emission	
field emission	



شکل ۶: توزیع درجه حرارت در قوس الکتروود تنگستن محفوظ در گاز آرگون و شدت جریان ۲۰۰ آمپر [۱]

همزمان با افزایش شدت جریان، این کانال (ستون قوس) بزرگتر شده و درجه حرارت آن بیشتر می گردد و همزمان با آن پتانسیل کاهش می یابد تا به یک حد مینیمم می رسد. پتانسیل از این پس تقریباً ثابت یا با افزایش شدت جریان، کمی افزایش می یابد (شکل ۷). جوشکاری با قوس الکتریکی عموماً در قسمت شدت جریان زیاد منحنی انجام می گیرد.



شکل ۷: مشخصات ولت آمپر از قوس و مولد نیرو در جوشکاری [۱]



تمایل شیب شعاعی درجه حرارت همراه با اثر حوزه مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی در "ستون پلاسما" (گازهای یونیزه شده در ستون قوس) باعث می‌شود تا ستون قوس الکتریکی تحت اثر فشاری^۱ و به شکل خاصی درمی‌آید که غالباً به صورت زنگی شکل یا نقطه به سطح می‌باشد. پخش جریان الکتروود (نقطه) به سطح کار باعث یک ترکیب محوری اثر فشاری شده که این فشار بدون توجه به جهت عبور جریان الکتریکی از نقطه به سطح است و در نتیجه آن گازهای یونیزه شده ستون قوس الکتریکی به طور مداوم در حال جنبش و حرکت می‌باشند. این نیرو یا فشار با مجذور شدت جریان (I^2) متناسب است. بنابراین می‌توان انتظار داشت که حرکت گازها یا پلاسما جت هم با افزایش شدت جریان افزایش یابد.

اندازه‌گیری سرعت این حرکت در گازها بسیار مشکل است، اما به طور تقریبی در حدود 10^5 - 10^6 mm/s برآورد می‌گردد. در جریان متناوب نیز با افزایش شدت جریان الکتریکی، نیروی قوس الکتریکی افزایش می‌یابد زیرا این نیرو به جهت جریان الکتریکی بستگی نداشته، اما ضربان یا فرکانس این نیرو دو برابر فرکانس اصلی است.

جنبش در ستون قوس الکتریکی باعث ایجاد یک جریان مداری گاز نیز می‌شود که در حوالی ریشه قوس الکتریکی یعنی الکتروود اتفاق می‌افتد. این رفتار در قسمت صفحه‌ای قوس الکتریکی نیز انجام می‌گیرد. نیروی وارد بر حوضچه جوش تابع رفتار ریشه قوس الکتریکی، شکل و نحوه پخش آن می‌باشد که خود بستگی به ترکیب شیمیایی الکتروود و اتمسفر گازی اطراف قوس الکتریکی و عوامل دیگر دارد.

کاتد قوس الکتریکی اثر مهمی بر نیروی حاصل از قوس و حتی بر جوشکاری دارد. کاتدها به صورت های مختلفی وجود دارند. گاهی به صورت نقطه‌ای و در بعضی مواقع به صورت شاخه‌ای، ثابت یا در حالت جنبشی می‌باشند که این تنوع به جنس فلز و بعضی عوامل دیگر بستگی دارد. به عنوان مثال بر روی نوک تیز الکترودهای تنگستن با گاز محافظ آرگون یا الکترودهای کربنی، کاتد نقطه‌ای ثابت و بر روی آلومینیم کاتد جنبشی^۲ شاخه‌ای ایجاد می‌گردد.

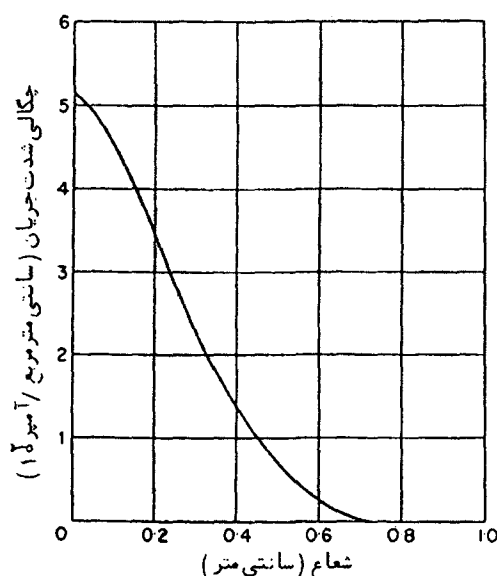
قسمت دیگر منطقه قوس الکتریکی آند می‌باشد. شکل ۸ توزیع چگالی شدت جریان را در آند نشان می‌دهد. سطح انتقال جریان اندکی کمتر از مقطع ستون قوس می‌باشد. حرارت وارد شده در آند ناشی از تمرکز الکترون‌ها و حرارت منتقل و برگشت داده شده از ستون قوس به آن می‌باشد. در قوس های جریان یکنواخت با الکتروود غیرمصرفی، حرارت در آند عموماً بیش از حرارت تولید شده در

۱-Pinch Effect

۲-Mobile Cathode



کاتد است [۱]. این پدیده به علت بمباران سنگین آند توسط الکترونهای شتاب گرفته می‌باشد. کتب مرجع اغلب دمای 4200°C را برای آند و 3800°C را برای کاتد بیان کرده اند. اصولاً دماهای قوس وابسته به نوع فرآیند جوشکاری، الکتروود مورد استفاده، گاز محافظ و محدوده جریان می‌باشد (جدول ۳) [۲].



شکل ۸: توزیع شدت جریان در آند از الکتروود تنگستن بر روی صفحه مسی با شدت جریان ۲۰۰ آمپر و محفوظ در گاز آرگون [۱]

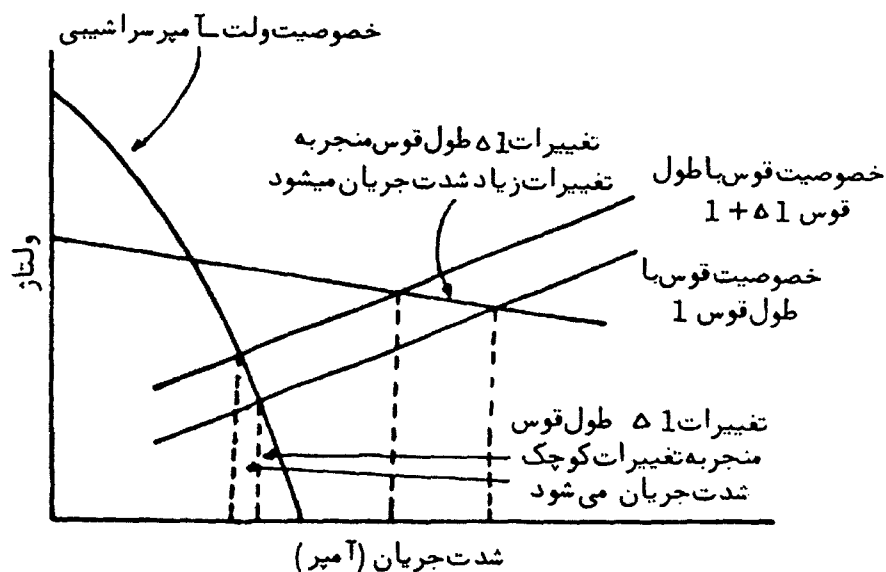
ولتاژ و میزان حرارت منتقل شده از ستون قوس با افزایش طول قوس افزایش می‌یابد، اما در همان زمان چگالی شدت جریان کاهش می‌یابد که این تغییرات بستگی به رفتار یا خصوصیات قوس الکتریکی و منبع قدرت بستگی دارد. شکل ۹ این تغییرات را در دو مشخصه قوس و منبع الکتریکی نشان می‌دهد. اهمیت عملی نیروی قوس الکتریکی، در نحوه جدا سازی و انتقال فلز مذاب از الکتروود به قطعه کار می‌باشد.

قطره‌های فلز مذاب از الکتروود بوسیله نیروی الکترومغناطیسی در نوک الکتروود جمع و توسط کشش پلاسما جت جدا می‌شوند. شتاب ثقل فاکتوری است که در مواقعی که نیرو یا جریان کم باشد نقش مهم‌تری بازی می‌کند [۱].



جدول ۳: دماهای قوس با توجه به نوع فرآیند جوشکاری [۲]

فرآیند جوشکاری	دما در مرکز قوس ($^{\circ}\text{K}$)	burn point روی الکترود ($^{\circ}\text{K}$)	دمای ریزقطرهای ذوب شده ($^{\circ}\text{K}$)
قوس کربنی در هوا نقطه ذوب کربن 4500°K	۷۰۰۰-۱۳۰۰۰	آند ۴۰۰۰ کاتد ۳۲۰۰-۴۰۰۰	
جوشکاری قوسی با الکترود نقطه ذوب آهن 3000°K الکترود لخت الکترود پوشش دار جوشکاری قوس زیرپودری	۶۰۰۰-۱۲۰۰۰ ۵۰۰۰-۶۰۰۰ ۶۰۰۰	۲۵۰۰-۳۰۰۰ ۲۳۰۰-۳۰۰۰	≤ 3000
جوشکاری GMAW سیم جوش فولادی با محافظت آرگون الکترود تنگستن با محافظت هیدروژن الکترود تنگستن با محافظت آرگون	≥ 8000 ۴۰۰۰-۵۰۰۰ ۱۰۰۰۰-۳۰۰۰۰	≤ 3000 ۳۰۰۰ ۳۰۰۰-۳۲۰۰	≤ 2800
جوشکاری پلاسما	≥ 20000	≥ 3000	



شکل ۹: خصوصیات ولت-آمپر مولد در دو حالت "سراسیمی" و "مسطح" و تاثیر تغییرات طول قوس بر شدت جریان و پتانسیل [۱]

۴- انواع قوس الکتریکی

از نظر جوشکاری دو نوع قوس الکتریکی بر حسب ذوب الکتروود یا عدم ذوب آن وجود دارد. اگر الکتروود از جنس کربن یا تنگستن باشد هنگام ایجاد قوس الکتریکی الکتروود ذوب نشده و قوس یا الکتروود را غیرمصرفی^۱ می نامند. اما اگر الکتروود از جنس فلز یا با نقطه ذوب پائین تر باشد همزمان با ایجاد قوس الکتریکی انتهای الکتروود ذوب شده و قطرات فلز مذاب می تواند از الکتروود جدا شده و در فاصله قوس الکتریکی به طرف حوضچه جوش با سرعت زیاد پلاسما جت منتقل شود، در این حالت آنرا مصرفی^۲ یا قوس الکتریکی فلزی^۳ می نامند. چون در روش قوس یا الکتروود مصرفی قسمتی از جوش نتیجه ذوب الکتروود است، معمولا ترکیب شیمیائی الکتروود باید شبیه فلز مورد جوش انتخاب شود.

۱-Non-Consumable

۲-Consumable

۳-Metal-Arc



در الکتروود غیرمصرفی حرارت به وسیله الکترون یا یون‌هایی که در لایه ستون قوس الکتریکی قرار می‌گیرند به طرف قطعه منتقل می‌گردد. بخش کمتری از حرارت نیز توسط تصادم جت گرم پلاسما و ترکیب مجدد گازهای تجزیه یا یونیزه شده در ستون به وجود می‌آید. بخشی از حرارت ایجاد شده به طرق زیر تلف می‌شود:

الف- بوسیله سرباره (در صورت وجود)

ب- تشعشع

ج- گازهایی که ستون قوس را ترک می‌کنند

د- انتقال حرارت در الکتروود (اگر الکتروود مصرفی باشد حرارت دوباره به حوضچه جوش منتقل می‌شود)

عموما قطر الکتروود به نسبت اندازه لازم برای عبور جریان الکتریکی تعیین می‌گردد. از طرف دیگر در الکتروود مصرفی مقداری حرارت مقاومتی در اثر عبور جریان برق در الکتروود تولید می‌شود که این حرارت باعث بالا رفتن نرخ ذوب الکتروود شده و به حوضچه جوش برمی‌گردد. به همین دلیل مقدار بیشتری از حرارت تولید شده در قوس با الکتروود مصرفی به حوضچه جوش منتقل می‌گردد. راندمان حرارتی در الکتروودهای غیرمصرفی (۶۰-۵۰ درصد) کمتر از الکتروودهای مصرفی (۹۰-۷۵ درصد) است. بالا بودن راندمان حرارتی موجب باریک‌تر شدن منطقه متأثر از جوش شده و از نظر سرعت جوشکاری و اقتصادی نیز مقرون به صرفه می‌باشد.

۵- شروع یا روشن کردن قوس الکتریکی^۱

قوس الکتریکی تنها با به کار بردن پتانسیل لازم در الکتروود سرد ایجاد نمی‌گردد. قوس هنگامی می‌تواند ایجاد شود که یک کانال یونیزه شده یا هادی بین الکتروودها موجود باشد. این کانال می‌تواند به دو طریق عمده ذیل آماده شود:

الف- به کار بردن ولتاژ بسیار بالا بین الکتروودها که سبب دشارژ یا خالی شدن بار الکتریکی گردد.

ب- به وسیله لمس کردن و عقب بردن الکتروود بر روی کار

^۱-Arc Initiation



هر دو روش در جوشکاری با قوس متداول بوده و به کار گرفته می‌شوند. روش جرقه‌ دشارژ غالباً در قوس الکتریکی با محافظت گاز به کار برده می‌شود. ولتاژی در حدود 10^4 ولت مورد نیاز است تا در فاصله بین الکترود و قطعه کار جرقه ایجاد شود. به محض ایجاد قوس، ولتاژ کاهش یافته و جریان افزایش می‌یابد. این عمل در زمانی حدود چند ثانیه انجام می‌گیرد. البته برای نگه داشتن قوس، ولتاژ باید برقرار باشد. حالت پایداری که بین شدت جریان و ولتاژ پس از چند ثانیه به وجود می‌آید، به علت گرم شدن الکترود و یا ایجاد حوضچه جوش و تعادل حرارتی می‌باشد. در عمل استفاده از ولتاژ بسیار بالا، خطرناک بوده و معمولاً از دشارژ با فرکانس بالا استفاده می‌گردد.

همانطور که اشاره شد روش دیگری که بیشتر متداول است، لمس کردن یا تماس الکترود به قطعه کار و عقب بردن آن است. با این عمل نوک الکترود گرم و سپس ذوب موضعی می‌شود. با عقب کشیدن الکترود قطره مذاب در نوک آن بین الکترود و قطعه کار پلی ایجاد می‌نماید که همزمان با باریک شدن آن، این پل شکسته شده و بدین ترتیب بخار فلز می‌تواند کانالی برای ایجاد قوس موقت به وجود آورد، اگر نیروی مدار متناسب باشد این قوس پایدار خواهد ماند.

در فرآیند قوس با پوشش گازی در مدار نیروی قسمتی اضافی طراحی می‌شود تا عمل تماس را برای شروع قوس آسانتر کند ضمن آن که در قوس الکتریکی با الکترود تنگستن، قوس با سهولت بیشتری شروع می‌شود تا از وارد شدن ناخالصی تنگستن در مذاب جوش جلوگیری کند. در الکترودهای مصرفی هم پیش‌بینی‌هایی می‌توان در مدار نیرو یا پوشش الکترود در نظر گرفت تا شروع قوس تسهیل گردد.

روش‌های دیگری نظیر قرار دادن گلوله‌ای از پشم فولادی یا اتصال یک سیم نازک با طول و قطر مشخص به نوک الکترود را نیز می‌توان برای شروع قوس الکتریکی مورد استفاده قرار داد [۱].

روش برقراری قوس با توجه به نوع الکترود تغییر می‌یابد. عموماً پوشش برآمده روی نوک الکترود هنگام استفاده رسانا می‌شود و به برقراری مجدد قوس کمک می‌کند، به ویژه اگر در پوشش الکترود از بودر آهن استفاده شده باشد. اما هنگام جوشکاری با الکترودهای کلاس AWS E6020، کم هیدروژن و فولاد زنگ‌نزن ممکن است لازم باشد که پوشش برآمده شکسته شده تا سیم الکترود با قطعه تماس پیدا کند و موجب ایجاد قوس شود [۲].



۶- نگه داشتن قوس الکتریکی^۱

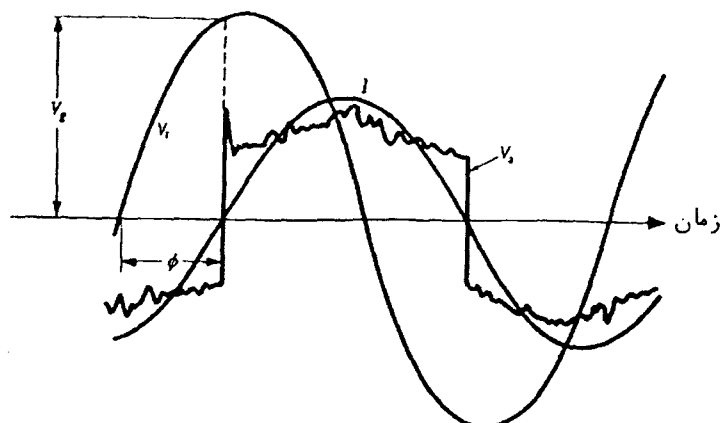
پس از آغاز قوس اولیه و برقراری تعادل حرارتی، چنانچه در ضمن کار قوس به طور موقتی قطع شود، آنرا به مراتب آسانتر از ابتدا می‌توان برقرار کرد. اگر برای شروع قوس اولیه پتانسیلی در حدود چند هزار ولت لازم باشد برای شروع مجدد قوس در حین کار پتانسیلی در حدود چند صد یا چند ده ولت کافی است. وجود برخی مواد در پوشش الکترود می‌تواند کمک کننده شروع مجدد قوس باشد^۲. برقرار کردن مجدد قوس در جوشکاری با جریان AC شرایط خاص خود را دارد، چون در هر سیکل وقتی که جریان به صفر می‌رسد، قوس قطع می‌شود. بدین ترتیب در هر سیکل جریان AC دو بار قوس قطع شده و نیاز به تجدید مجدد خواهد داشت لذا برای این امر در لحظه‌ای که جریان صفر است به یک ولتاژ اضافی احتیاج خواهد بود. به همین دلیل موج جریان الکتریکی در مولد جوشکاری AC به گونه‌ای تنظیم شده است که اختلاف زمانی با امواج ولتاژ داشته باشد. فاکتور نیرو در ترانسفورماتور جوشکاری مطابق رابطه زیر تعریف می‌شود که معمولا حدود ۰/۳ است.

$$Q = \frac{\text{ولتاژ قوس}}{\text{ولتاژ باز مدار}} \quad \text{فاکتور نیرو}$$

همانطور که از شکل ۱۰ مشهود است، هنگامیکه جریان الکتریکی صفر است تقریبا تمام ولتاژ باز مدار ترانسفورماتور قابل دسترسی برای شروع یا روشن شدن مجدد قوس الکتریکی می‌باشد.

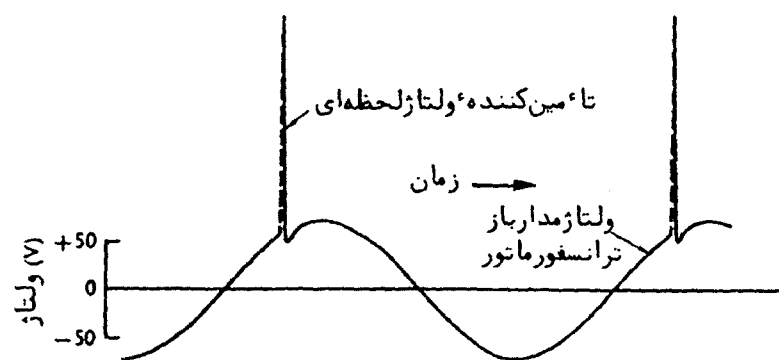
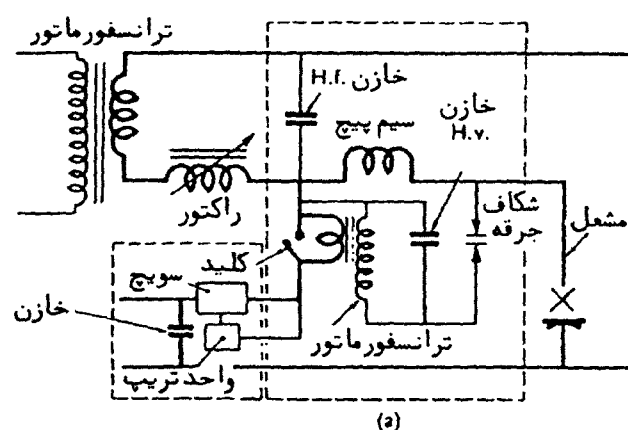
۱-Arc Maintenance

2-Thermal Emitter



شکل ۱۰: موج ولتاژ و شدت جریان برای قوس جوشکاری V_L AC ولتاژ بدون بار ترانسفورماتور، V_g ولتاژ قوس و V_g ولتاژ در فاصله قوس به طور معکوس [۱]

استفاده از برخی تدابیر نظیر فرکانس بالا یا اسیلاتور با ولتاژ بالا، به طوریکه یک ضربه ولتاژ را در لحظه معین در مدار تولید کند، بسیار متداول است. شکل ۱۱ نمونه‌ای از مدار نیرو و موج ولتاژ برای شروع مجدد قوس در لحظه معین را نشان می‌دهد. این نوع طراحی‌ها می‌تواند فاکتور نیرو را بالا برده و ولتاژ باز مدار ترانسفورماتور را کاهش دهد.



شکل ۱۱: نمونه‌ای از مدار نیرو و موج ولتاژ برای تأمین ولتاژ اضافی در لحظه شروع مجدد قوس [۱]

در جریان دائم DC برقراری مجدد قوس تنها در مواقع خاص بوده و کمتر اتفاق می‌افتد. برای مثال در اثر مدار بسته تصادفی در حین انتقال فلز مذاب از الکترود به حوضچه جوش، این واکنش نیاز به خصوصیات دینامیکی معین برای منبع نیرو دارد تا ولتاژ جریان بتواند در اسرع وقت این نقص را پوشش دهد. جوشکار این موضوع را به عنوان آرامی قوس می‌شناسد و یکی از فاکتورهای تعیین کننده در مرغوبیت یک مولد یا دستگاه جوشکاری است.



۷- پایداری قوس الکتریکی^۱

از نقطه نظر عملی، پایداری قوس الکتریکی در حین جوشکاری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. متأسفانه تعریف کاملی برای کمیت پایداری قوس وجود ندارد، زیرا به عواملی مختلفی بستگی دارد. در عمل چند عامل یا حالت برای شناسایی پایداری قوس وجود دارد:

الف: نقطه کاتد یا آند در الکتروود باید ضرورتاً در ضمن روشن بودن قوس حالت ثابتی داشته باشد. با بیان دیگر جهیدن ریشه قوس از یک نقطه به نقطه دیگر یا حرکت از سوئی به سوی دیگر از نوک الکتروود، صحیح نیست.

ب: در الکتروود مصرفی انتقال فلز از الکتروود به جوش باید منظم بوده و قطرات کوچک مذاب در یک امتداد معین بدون پراکندگی به اطراف حرکت کنند.

ج: حوضچه جوش، در حالت ثابتی نسبت به الکتروود داشته باشد و بر روی قطعه کار به آرامی حرکت نماید. در حقیقت هنگامی که قوس بین الکتروود و سطح صاف قرار گرفته پلاسمای قوس باید عمود بر سطح باشد و این موقعیت در هنگام حرکت قوس در سرتاسر مسیر جوش پایدار بماند. تغییر جهت و امتداد پلاسمای سوسو زدن ریشه قوس در گوشه‌های حوضچه جوش نباید اتفاق افتد.

گاهی رفتار غیرعادی قوس در اثر ناهمواری یا مواد اضافی در سطح کار و یا ناخالصی در گاز حفاظت کننده ایجاد می‌شود. جوشکاری با سرعت زیاد و یا با حرارت کم و یا حوضچه جوش کوچک حساسیت بیشتری نسبت به ناپایداری قوس دارد. شدت جریان در روش جوشکاری باید از نظر مقدار و شکل موج پایدار بوده و به گونه‌ای باشد تا قوس بسرعت خاموش نشود. به طور کلی قوس باید دارای آنچنان پایداری باشد که به تغییرات اندک محیطی و موضع جوش حساسیت کمتری نشان دهد.

۸- قطبیت الکتروود^۲

در جوشکاری با قوس الکتریکی ممکن است از جریان متناوب AC و یا جریان DC با الکتروود مثبت یا منفی استفاده شود. انتخاب جریان به روش جوشکاری، نوع الکتروود، اتمسفر قوس و نوع فلزی که جوش داده خواهد شد، بستگی دارد. در مورد اکثر فلزات، انتقال فلز از الکتروود مصرفی به حوضچه جوش با جریان یکنواخت و الکتروود مثبت، یکنواخت تر و بهتر انجام می‌گیرد. قطب مثبت قوس

^۱-Arc Stability

^۲-Electrode Polarity



الکتریکی به علت بمباران الکترون ها گرم ترین قسمت می باشد. بنابراین با جریان یکنواخت به کار بردن الکتروود با قطب منفی (DCEN) یا اتصال مستقیم این امتیاز را دارد که شدت ذوب شدن در قطعه کار بیشتر خواهد بود. از طرف دیگر برای الکتروودهای غیرمصرفی این نکته قابل توجه است که حرارت تولید شده در الکتروود، عملاً توسط انتقال حرارت خارج شده و جزء حرارت تلف شده محسوب و منجر به راندمان حرارتی کمتر می شود.

قوس الکتریکی اگر بتواند ذرات اکسیدی غیرمذاب را از روی سطح کار به اطراف پخش کند بیشتر مفید خواهد بود. این پدیده به عنوان پاک کردن توسط قوس^۱ شناخته شده است. هنگامی این عمل به وقوع می پیوندد که الکتروود قطب مثبت (DCEP)، یا اتصال بصورت معکوس است. با جریان متناوب AC عمل پاک کردن در هر نیم سیکل که الکتروود مثبت است انجام می گیرد. همچنین حرارت خیلی زیاد در الکتروود در نیم سیکلی که الکتروود منفی است ایجاد نمی گردد. علاوه بر پایدار بودن قوس و انتقال یکنواخت تر قطرات فلز در جریان یکنواخت، مزایای دیگری نیز در آن وجود دارد که عبارتند از:

الف: استفاده از جریان با شدت کمتر

ب: کاربرد همه نوع الکتروود در جوشکاری دستی

ج: سهولت شرایط شروع قوس

د: سهولت نگه داری قوس با طول کوتاه

ه: تسهیل شرایط جوشکاری در وضعیت های غیرتخت (قائم، افقی، سقفی یا بالای سر)،

مناسب تر بودن برای جوشکاری ورق های نازک

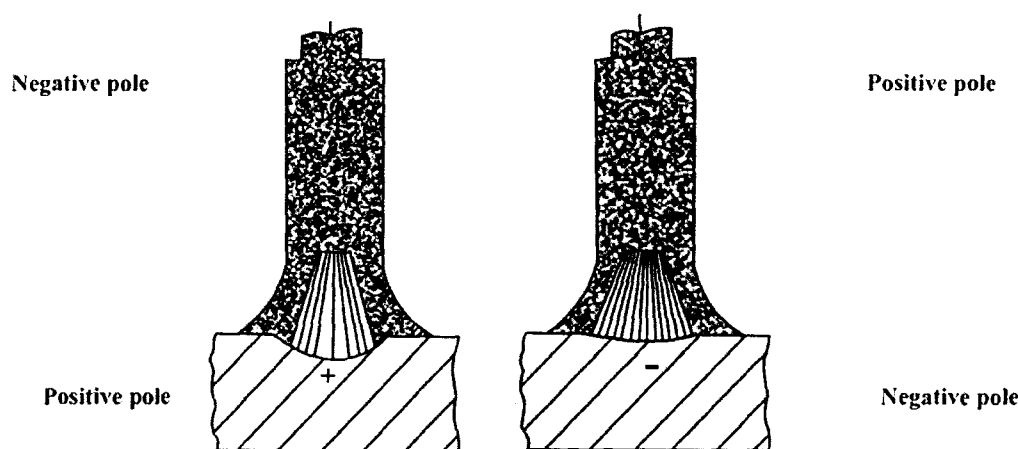
لازم به ذکر است که در جریان یکنواخت طول کابلها باید حتی الامکان کوتاه باشد زیرا مقدار افت ولتاژ در کابل های بلند بیشتر است. از طرف دیگر احتمال ایجاد وزش قوس یا انحراف قوس^۲ با جریان دائم به ویژه در گوشه ها و نزدیک اتصال زمین و شدت جریان بالا زیاد می باشد. شکل ۱۲ نشان دهنده ظاهر قوس به نوع جریان DC می باشد.

جریان AC هنگامی ترجیح داده می شود که شروع مجدد قوس مسئله چندان مهمی نباشد و این مسئله را اغلب می توان به کمک افزایش برخی ترکیبات پایدارکننده قوس در مواد پوشش الکتروود (فلاکس) جبران نمود. این مواد خاصیت یونیزاسیون بالایی دارند [۱]. برای ایجاد یک جریان موجی

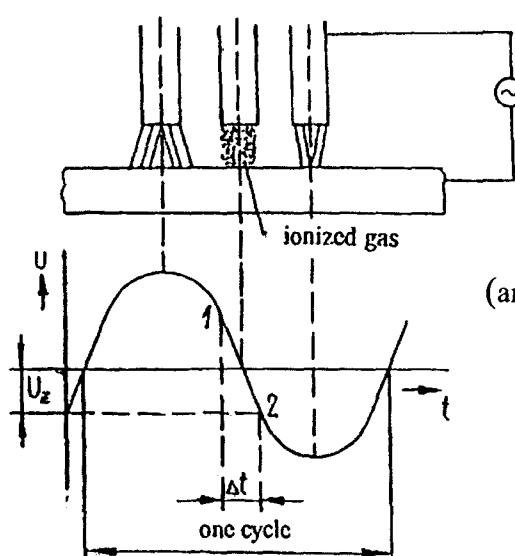
1-Arc-Cleaning

2-Arc Blow

سینوسی و ایجاد قوس یا قوس مجدد نیاز به استفاده از یک ژنراتور فرکانس بالا یا ولتاژ بالای پالسی می‌باشد. اگر تغییر در قطبیت به سرعت، اتفاق افتد، قوس هنگام عبور از نقطه صفر شدن جریان از بین نمی‌رود [۲]. در شکل ۱۳ تغییرات قوس الکتریکی در جریان AC نشان داده شده است. جریان متناوب بیشتر در روش الکتروود تنگستن TIG به کار گرفته می‌شود. اما در روش الکتروود فلزی اغلب از جریان DC استفاده می‌شود، زیرا همانطور که اشاره شد انتقال فلز از الکتروود به حوضچه جوش به مراتب آرام‌تر انجام می‌گیرد [۱].



شکل ۱۲: ظاهر قوس الکتریکی در جریان DC [۲]



شکل ۱۳: تغییرات قوس الکتریکی در جریان AC [۲]

۱- نقطه قطع قوس

۲- نقطه جرقه‌زنی قوس

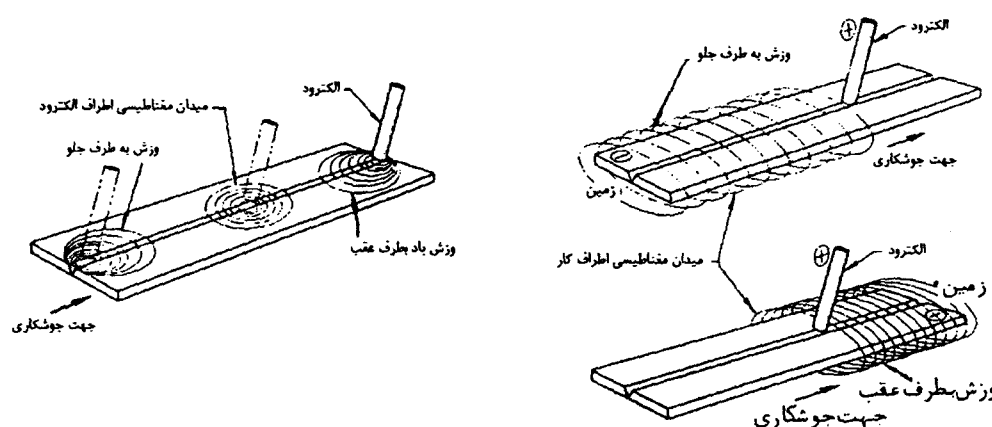
Δt : زمان قطع قوس (arc idle time)

U_z : ولتاژ جرقه‌زنی

۹- انحراف قوس^۱

عبور جریان الکتریکی در الکترود، قطعه کار و کابل زمینی موجب ایجاد یک حوزه مغناطیسی می‌گردد که به صورت دایره‌های متوالی عمود بر عبور جریان می‌باشند. هنگامی که حوزه اطراف قطعه کار یا الکترود نامتعادل باشد قوس به طرفی که تمرکز حوزه بیشتر است انحراف می‌یابد، این انحراف از حالت حقیقی، به وزش قوس موسوم است که بیشتر در جریان یکنواخت رخ می‌دهد، زیرا حوزه مغناطیسی از نظر جهت ثابت است، اما در جریان متناوب به علت تغییر جهت جریان الکتریکی در هر نیم سیکل این عمل کمتر اتفاق افتاده یا ناچیز است.

معمولاً انحراف در جهت حرکت انتقالی الکترود به طرف جلو یا عقب است. وزش به طرف عقب هنگامی اتفاق می‌افتد که جهت جوشکاری به طرف محل اتصال زمین یا انتهای جوش در گوشه‌ای از کار است، اما وزش قوس به طرف جلو برعکس می‌باشد (شکل ۱۴).



شکل ۱۴: حوزه مغناطیسی که موجب وزش قوس می‌شود [۱]

در مواقعی که وزش قوس زیاد باشد، جوش کامل به وجود نیامده و همراه با جرقه‌های زیادی است. (عبور جریان الکتریکی از قطعه کار همانند یک هادی عمل کرده و حوزه مغناطیسی اطراف آنرا احاطه می‌کند که عمود بر سطح کار است). این دایره‌ها بین الکترود و نقطه اتصال زمین بر روی کار قرار دارد. این حالت بیشتر در ورق‌های نازک اتفاق می‌افتد [۱].

^۱-Arc Blow

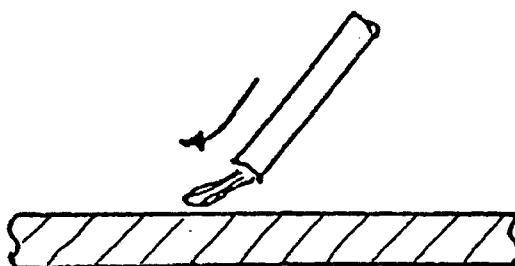


وزش قوس منجر به ناپایداری یا کوتاه و بلند شدن قوس می‌شود که موجب عدم ذوب مناسب فلز می‌گردد. همچنین سوختگی کناره جوش نیز در اثر وزش قوس ممکن است به وجود آید. باید توجه داشت که در هنگام جوشکاری در فضای آزاد وزش قوس ممکن است ناشی از خود قوس نباشد و عوامل محیطی مانند باد می‌تواند در به وجود آمدن این پدیده موثر باشند [۲].

۹-۱- انحراف قوس در فولاد

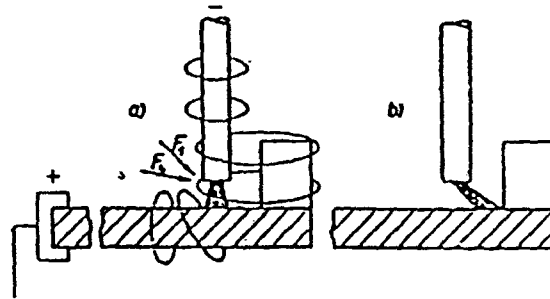
آنچه که اغلب در ارتباط با وزش قوس در فولاد پیش می‌آید، در ذیل ارائه شده است:

(۱) انحراف قوس در جهت شیب الکترودها: در شکل ۱۵ فشردگی خطوط نیروی مغناطیسی به صورتی است که قوس در جهت شیب الکترودها وزش می‌یابد.



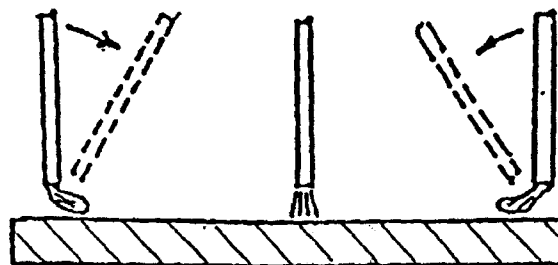
شکل ۱۵: وزش قوس در جهت شیب الکترودها [۲]

(۲) انحراف قوس به سمت قسمت‌هایی که دارای جرم بیشتری از فولاد می‌باشد (شکل ۱۶): زمانی که جوشکاری لبه روی هم انجام می‌گیرد قوس به سمت ورقی که رو قرار گرفته است کشیده می‌شود.



شکل ۱۶: وزش قوس به سمت قسمتی که دارای جرم بیشتری از فولاد است [۲]

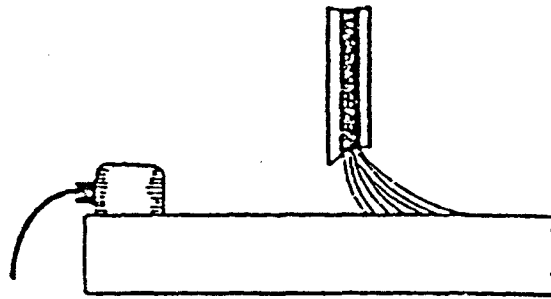
۳) انحراف قوس از سمت کناره فلز پایه به مرکز (شکل ۱۷): نیروهای مغناطیسی در لبه‌ها جمع می‌شوند زیرا در این قسمت‌ها نسبت به فاصله هوایی که هدایت ضعیفی دارد، بهتر می‌توانند توزیع شوند. این انباشتگی نیروها منجر به یک نیروی مغناطیسی می‌شود که سبب اثر لبه‌ای^۱ قوس و در نتیجه وزش آن به سمت مرکز می‌باشد.



شکل ۱۷: وزش قوس از لبه فلز پایه به سمت مرکز آن [۲]

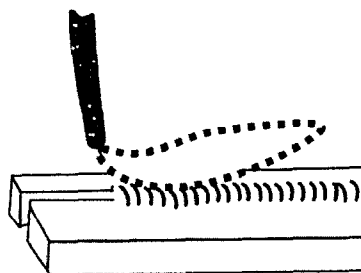
۴) انحراف قوس در جهت مخالف منبع الکتریکی هنگامی که اتصالات منبع الکتریکی به منطقه‌ای که در حال جوشکاری می‌باشد نزدیک باشند (شکل ۱۸).

^۱-Effect Edge



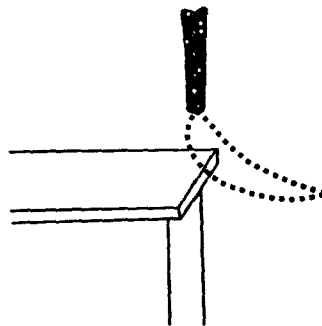
شکل ۱۸: وزش قوس در مجاورت منبع الکتریکی [۲]

- (۵) با افزایش طول قوس، انحراف قوس هم افزایش می‌یابد.
- (۶) انحراف قوس هنگام جوشکاری با الکترو لخت یا مغزه دار نسبت به الکترودهای روپوش دار، بیشتر است.
- (۷) زمانی که جوشکاری با جریان DC انجام می‌گیرد انحراف قوس نسبت به جریان AC بیشتر است زیرا در جریان AC جهت جریان و در نتیجه میدان های مغناطیسی دائما و به طور پیوسته تغییر می‌کنند و سبب ضعیف شدن میدان های مغناطیسی ترکیبی می‌شوند.
- (۸) زمانی که جوشکاری در ابتدای اولین قسمت از یک جوش گوشه‌ای یا ریشه یک اتصال لب به لب انجام می‌گیرد، انحراف قوس به سمت محلی است که همان موقع جوشکاری شده است (شکل ۱۹). زیرا نیروهای مغناطیسی آسانتر می‌توانند در جوش های از قبل ایجاد شده توزیع شوند اما این نیروها در عبور از فاصله هوایی مابین الکترو و فلز پایه مشکل دارند که در نتیجه تجمع خطوط مغناطیسی به وجود خواهد آمد.



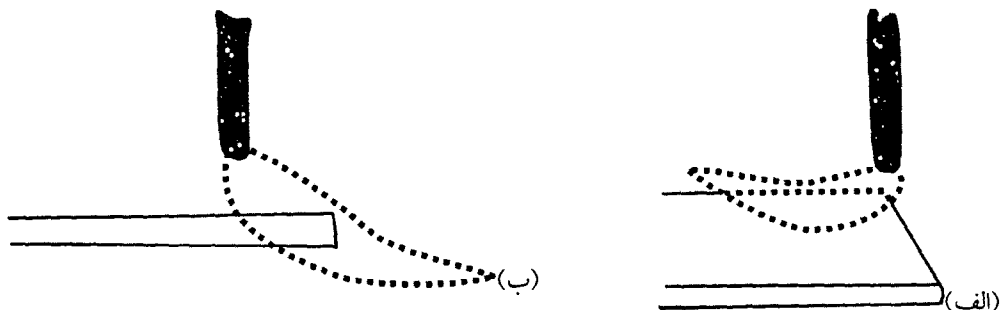
شکل ۱۹: وزش قوس بر سطح منطقه‌ای که جوشکاری شده است [۲]

۹) هنگام جوشکاری فلزات غیرمغناطیسی (فلزات غیرآهنی، فولادهای پرآلیاژ، فولادهای غیرآلیاژی بالای دمای 769°C و شامل 0.18% درصد کربن یا بالای 723°C با درصد کربن بالاتر از 0.18%) قوس از کناره‌های فلز به سمت خارج منحرف می‌شود.
شکل ۲۰ مبین انحراف قوس هنگام جوشکاری مس است. (ماده غیرمغناطیسی)



شکل ۲۰: وزش قوس به سمت لبه ورق مسی [۲]

شکل ۲۱ (الف) نشانگر انحراف قوس هنگام جوشکاری ورقی از فولاد است.
در شکل ۲۱ (ب) قوس به سمت بیرون منحرف شده است زیرا در دماهای بالای 769°C و 723°C با توجه به درصد کربن، فولاد غیرمغناطیسی است.



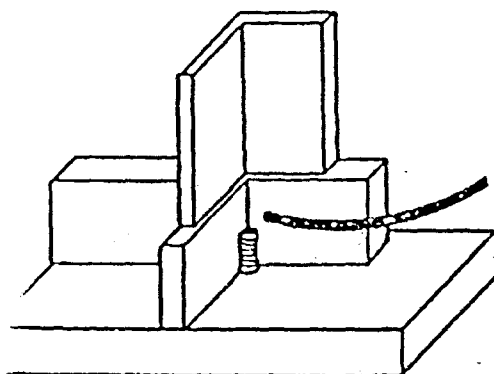
شکل ۲۱: وزش قوس هنگام جوشکاری ورق فولادی (الف): فولاد مغناطیسی (ب): فولاد غیر مغناطیسی



۹-۲- روش های کنترل انحراف قوس

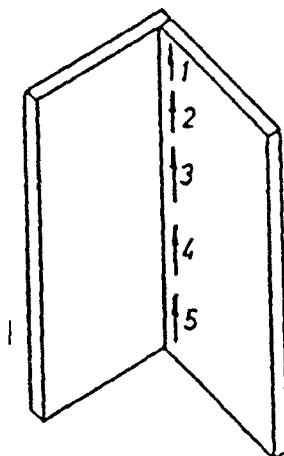
برخی از راه های جلوگیری و کاهش وانحراف قوس عبارتند از:

- (۱) خم کردن الکتروود در هنگام جوشکاری بهترین روش برای جلوگیری از انحراف قوس است. باتوجه به زاویه شیب الکتروود و کم یا زیاد شدن آن، نیروهایی که قوس را منحرف می کند، بی اثر می شوند (شکل ۲۲).



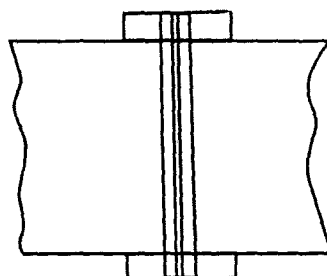
شکل ۲۲: خم کردن الکتروود در هنگام جوشکاری [۲]

- (۲) خال جوش های محکم و زیاد، طول فاصله هوایی را کاهش می دهد و خطوط نیروی مغناطیسی امکان عبور از جلوی قوس را پیدا می کنند، بدون آنکه تجمع زیادی داشته باشند.
- (۳) جوشکاری با روش برگشت به عقب (شکل ۲۳)



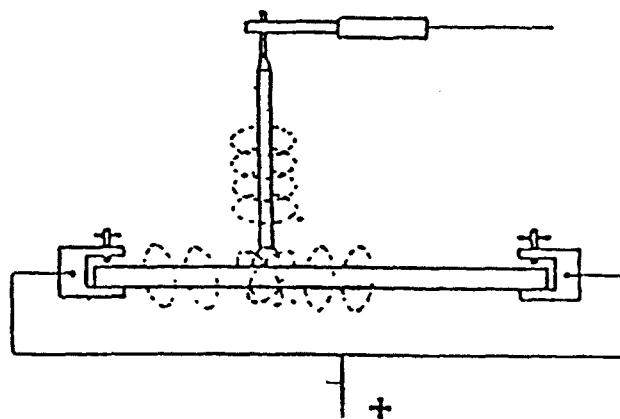
شکل ۲۳: جوشکاری با روش برگشت به عقب [۲]

۴) به کار بردن تکه‌های فلزی که در ابتدا و انتهای محل جوش متصل می‌شوند و انتخاب آنها بر اساس ضخامت قطعه کار می‌باشد (شکل ۲۴).



شکل ۲۴: اتصال تکه‌های فلزی در ابتدا و انتهای محل جوش [۲]

- ۵) استفاده از بلوک‌های اضافی فولادی (شکل ۲۲)
- ۶) استفاده از اتصال الکتریکی در هر دو طرف قطعه (شکل ۲۵)
- ۷) گرم کردن لبه‌های فلز پایه به وسیله یک قوس قبل از جوشکاری
- ۸) جوشکاری به وسیله جریان متناوب AC
- ۹) پیشگرم کردن
- ۱۰) غیرمغناطیسی کردن توسط یک ترانسفورماتور [۲]



شکل ۲۵: اتصال به زمین در هر دو طرف قطعه [۲]

- (۱) کاهش شدت جریان و طول قوس تا حد مجاز
- (۱۲) تغییر دادن محل اتصال کابل زمین تا حد امکان دورتر از محل جوش
- (۱۳) در صورت امکان پیچیدن کابل زمین به قطعه کار تا ایجاد حوزه مغناطیسی دیگری کرده و این حوزه جدید حوزه مغناطیسی قبلی را خنثی کند [۱].

۱۰- ایمنی

قوس الکتریکی انواع مختلفی از پرتوها را از خود ساطع می‌کند که ممکن است مرئی یا نامرئی باشند. شدت پرتوها به نوع فرآیند جوشکاری و جریان مورد استفاده بستگی دارد. مهمترین آنها عبارتند از:

- ۱- پرتوهای مرئی: اگر از چشم‌ها حفاظت کافی به عمل نیاید، این پرتوها می‌توانند منجر به خیرگی^۱ چشم شوند. اگر این پدیده به صورت متوالی و در مدت‌های طولانی اتفاق بیفتد، سبب بروز مشکلات حاد بصری به ویژه در تاریکی می‌گردد.
- ۲- پرتوهای مادون قرمز و پرتوهای حرارتی (نامرئی): این پرتوها موجب گرم شدن دستکش یا بدن جوشکار در حین کار می‌شوند. در صورت عدم محافظت کافی از چشم، این پرتوها بعد از چند سال سبب مات شدن عدسی‌های چشم خواهند شد.

^۱-Dazzling



۳- پرتوهای ماوراء بنفش (نامرئی): این پرتوها می‌توانند باعث سوزش پوست و آسیب دیدگی

چشم‌ها شوند. پرتوهای ماوراء بنفش نه تنها به صورت مستقیم، بلکه از طریق انعکاس از فلز پایه و دیوار نیز موجب آسیب دیدگی چشم‌ها می‌شوند. از اینرو لازم است افرادی که در محل جوشکاری قرار دارند نیز حفاظت لازم را انجام دهند و دیوارها از پوشش مناسب رنگی برخوردار باشند. مالیدن پارچه‌ای خنک بر روی چشم‌هایی که سوخته‌اند و استفاده از قطره‌های چشم مناسب می‌تواند به عنوان یک کمک اولیه در نظر گرفته شود. برای محافظت از چشم‌ها می‌توان از فیلترهایی با حدود حفاظتی مشخص استفاده نمود (جدول ۴).

انتخاب حد حفاظتی معین به فرآیند جوشکاری، جریان جوشکاری، چشم‌های جوشکار و روشنایی محیط بستگی دارد که از اهمیت به سزایی برخوردار می‌باشد. فیلترهای حفاظتی که از خیرگی جلوگیری می‌کنند در مقابل پرتوهای نامرئی نیز حفاظت کافی را به عمل می‌آورند. برای جلوگیری از آسیب دیدن شیشه‌های حفاظتی گران قیمت که ناشی از پاشش جوش می‌باشد و در نتیجه کاهش دید را به همراه خواهد داشت، استفاده از شیشه‌های پوشاننده توصیه می‌شود. این شیشه‌ها معمولی بوده و به دلیل ارزانی به آسانی قابل تعویض می‌باشند.

جدول ۴: حدود حفاظتی فیلترهای محافظ در جوشکاری قوسی مطابق با DIN 4647 [۲]

شماره حد حفاظت	شرایط جوشکاری
۱۰	جوشکاری با الکترودهایی با قطر بالاتر از ۵mm و جوشکاری قوسی با گاز محافظ تا جریانهای ۷۵ آمپر
۱۱	جوشکاری با الکترودهای کربنی با قطر بالاتر از ۵mm و جوشکاری قوسی با گاز محافظ با جریان بین ۷۵ تا ۴۰۰ آمپر
۱۲	جوشکاری با الکترودهایی که روشنایی بالا دارند و جوشکاری قوسی با گاز محافظ در جریانهای بالا

توجه: قوس الکتریکی در هنگام جوشکاری پرتوهایی شامل اشعه X از خود ساطع نمی‌کند.



علاوه بر پرتوهای قوسی، دودها یا گازهایی مانند بخارات فلزی که به طور مستقیم از قوس متصاعد می‌شوند، با توجه به مقدار و ترکیب شیمیایی می‌توانند سلامت جوشکار را تهدید کنند و موجب اختلال دستگاه تنفسی شوند. بنابراین فضای کاری باید تا حدی گسترش یابد که از غلظت گازهای مختلف، بخارات و ذرات معلق کاسته شود. در جدول ۵ حداکثر غلظت مجاز گازهای مختلف و ذرات معلق در هوا در یک روز کاری ۸ ساعته ارائه شده است. هوای محیط کار عملیات جوشکاری باید توسط دستگاه های تهویه تمیز نگه داشته شود. در هنگام جوشکاری فلزاتی نظیر مس، سرب، کادمیم، بریلیم و آلیاژهایشان حتما باید از ماسک تنفسی استفاده شود [۲].



جدول ۵: حداکثر غلظت مجاز گازهای مختلف و ذرات معلق در هوا در یک روز کاری ۸ ساعته [۲]

1. Gas and fumes

Substance	chemical expression	MWC	
		cm ³ /m ³	mg/m ³
carbon dioxide	C O ₂	5000	9000
carbon monoxide	C O	100	110
ozone	O ₃	0,1	0,2
phosgene	C O Cl ₂	0,1	0,4
nitrous oxide	N O ₂	5	9

2. Floating Particles

Substance	chemical expression	MWC mg/m ³
aluminium		not yet certain
beryllium		0,002
lead		0,2
cadmium oxide	Cd O	0,1
calcium oxide	Ca O	5
iron oxide smoke		15
fluorides		2,5
cadmium		not yet certain
cobalt		0,5
copper smoke		0,1
magnesium oxide smoke		15
manganese		5
molybdenum alloys		5
tantalum		5
titanic oxide	Ti O ₂	15
vanadium	V ₂ O ₅ - Staub	0,1
zink oxide (smoke)		5

(Taken from "work protection " 1963, H.9, page 216)

Maximal work place concentrations of different gases and air particles



مراجع

- ۱- امیر حسین کوبی، "تکنولوژی جوشکاری"، انتشارات آزاده، ۱۳۸۲، چاپ پنجم
- 2- "The arc", SZA
- ۳- پرویز فرهنگ، امیر حسین کوبی، عبدالوهاب ادب آوازه، "فرهنگ بزرگ جوشکاری"، انتشارات آزاده، ۱۳۸۳، چاپ اول
- 4- "Introduction to gas-shielded arc welding", SZA
- 5- Eisenbeis, "The arc", SLV, 1999



پیشنهادهای و انتقادات: