



مرکز پژوهش و مهندسی جوش ایران

تابع سازمان گسترش و توسعه صنعتی ایران

مجموعه ۱: فرآیندها و تجهیزات جوشکاری

جوشکاری با قوس - الکتروود فلزی

تحت گاز محافظ

مجموعه منابع تخصصی مهندسی جوش

مجموعه منابع تخصصی مهندسی جوش

مرکز پژوهش و مهندسی جوش ایران

مجموعه ۱: فرآیندها و تجهیزات جوشکاری 

جلد ۸: جوشکاری با قوس – الکتروود فلزی تحت گاز محافظ 

(MIG/MAG)

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
محمدرضا 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، الکترونیک 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 Doc.IAB - ۰۰۲ - ۲۰۰۰/EFW - ۴۰۹ Rev.۲/Copyright ۲۰۰۵، 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 بر گرفتن 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 ۸- ۱ در راهنمای Doc.IAB - ۰۰۲ - ۲۰۰۰/EFW - ۴۰۹ Rev.۲، تدوین انستیتو بین‌المللی جوش، در خصوص جوشکاری با قوس - الکتروود فلزی تحت گاز محافظ، 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- اصول اجرایی فرآیند	۳
۳- انتقال فلز در فرآیند GMAW	۴
۱-۳- نیروهای موثر بر انتقال فلز	۴
۲-۳- عوامل موثر بر انتقال فلز	۸
۱-۲-۳- انتقال اسپری محوری	۸
۲-۲-۳- انتقال اتصال کوتاه	۱۲
۳-۲-۳- انتقال قطره ای	۱۶
۴-۲-۳- انتقال جریان پالسی	۱۸
۴- تجهیزات	۲۲
۱-۴- مشعل جوشکاری	۲۳
۱-۴-۱- مجرای اتصال	۲۳
۱-۴-۲- نازل گاز	۲۶
۲-۴- واحد تغذیه سیم جوش	۲۸
۳-۴- منبع تغذیه	۳۵
۱-۳-۴- متغیرات منبع تغذیه	۳۸
۴-۴- مخزن گاز محافظ	۴۳
۵-۴- واحد کنترل	۴۵
۶-۴- منبع الکتروود	۴۶
۵- مواد مصرفی	۴۶
۱-۵- سیم جوشها	۴۷
۱-۱-۵- انواع سیم جوشها	۴۸
۲-۱-۵- نگهداری و خشک کردن سیم جوشها	۵۳
۳-۱-۵- طبقه بندی سیم جوشهای توپر	۵۵
۴-۱-۵- طبقه بندی سیم جوشهای توپودری	۶۲
۶- گازهای محافظ	۷۰



۶-۱- ملزومات گازهای محافظ.....	۷۱
۶-۱-۱- ملزومات کلی.....	۷۱
۶-۱-۲- ملزومات فیزیکی.....	۷۱
۶-۱-۳- ملزومات حرارتی.....	۷۱
۶-۱-۴- ملزومات شیمیایی.....	۷۲
۶-۲- گازها و ترکیبات گازی مورد استفاده در GMAW.....	۷۲
۶-۳- شدت جریان گاز محافظ.....	۷۸
۷- متغیرهای فرآیند.....	۸۰
۷-۱- جریان جوشکاری (سرعت تغذیه سیم جوش).....	۸۰
۷-۱-۱- دانسیته جریان و سرعت رسوب دهی.....	۸۲
۷-۲- قطبیت.....	۸۴
۷-۳- ولتاژ قوس (طول قوس).....	۸۵
۷-۳-۱- تنظیم ولتاژ قوس و سرعت تغذیه سیم جوش.....	۸۶
۷-۴- سرعت جوشکاری.....	۹۲
۷-۵- طول موثر الکتروود.....	۹۳
۷-۶- جهت گیری الکتروود نسبت به قطعه کار.....	۹۵
۷-۷- وضعیت اتصال.....	۹۶
۷-۸- قطر الکتروود.....	۹۷
۷-۹- ترکیب گاز محافظ و شدت جریان آن.....	۹۷
۸- تکنیکهای فرآیند GMAW.....	۹۷
۸-۱- برقراری قوس.....	۹۸
۸-۲- زاویه مشعل جوشکاری.....	۹۸
۸-۳- وضعیت قرارگیری مجرای اتصال نسبت به نازل گاز.....	۹۹
۸-۴- طراحی اتصال.....	۱۰۰
۹- جوشکاری قوس نقطه‌ای.....	۱۰۰
۱۰- جوشکاری سیمی دوتایی و پشت سر هم.....	۱۰۲
۱۱- عیوب جوشکاری در GMAW.....	۱۰۳



۱۰۳	۱-۱۱- ترک
۱۰۳	۲-۱۱- ذرات محبوس شده (آخال)
۱۰۴	۳-۱۱- خلل و فرج (مک)
۱۰۴	۴-۱۱- ذوب ناقص
۱۰۶	۵-۱۱- نفوذ ناقص
۱۰۶	۶-۱۱- سوختگی کناره جوش
۱۰۷	۷-۱۱- پاشش
۱۰۷	۱۲- مزایا و محدودیت ها
۱۰۸	۱۳- کاربردها
۱۰۸	۱۴- ایمنی
۱۰۸	۱-۱۴- گازها
۱۱۰	۲-۱۴- بخار فلزی
۱۱۰	۳-۱۴- اشعه فرابنفش
۱۱۲	۴-۱۴- صدا و محافظت از گوش
۱۱۲	۱۵- جوشکاری قوسی الکترودهای توپودری
۱۱۴	۱-۱۵- تجهیزات FCAW
۱۱۸	مراجع





۱- مقدمه

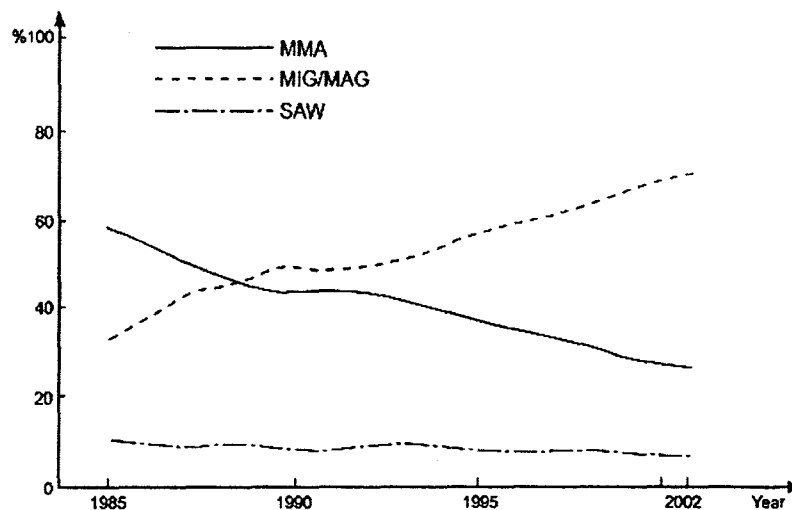
جوشکاری قوس فلزی تحت پوشش گاز محافظ GMAW، اولین بار در سال ۱۹۲۰ میلادی به دنیای صنعت معرفی شد، اما زمان ورود رسمی آن به بازار جوشکاری در سال ۱۹۴۸ میلادی می‌باشد. در ابتدا از این فرآیند به منظور جوشکاری آلومینیم تحت پوشش گاز محافظ خنثی (آرگون و هلیوم) استفاده می‌شد و به همین دلیل به آن MIG (جوشکاری قوس فلزی تحت پوشش گاز خنثی^۱) اطلاق می‌شد. تغییرات زیادی از جمله استفاده از گازهای فعال، مخصوصاً دی‌اکسیدکربن در جوشکاری مواد آهنی در فرآیند اعمال شد و به همین دلیل، از سوی AWS (انجمن جوشکاری آمریکا) واژه GMAW مخفف عبارت Gas Metal Arc Welding، جوشکاری قوس فلزی تحت پوشش گاز محافظ، به عنوان نام این فرآیند معرفی گردید.

در ابتدا جوشکاری با این فرآیند تنها در حالت تخت و برای ایجاد جوش گلوبی افقی، استفاده می‌شد که اجرای آن همراه با مقادیر قابل توجهی ترشحات و جرقه بود. گسترش منابع تغذیه پیشرفته، سیم جوش‌های نازک‌تر و استفاده از ترکیبات گازی شامل آرگون و دی‌اکسیدکربن باعث کاهش مقدار جرقه و ترشحات و قابلیت جوشکاری در تمام وضعیت‌ها شد.

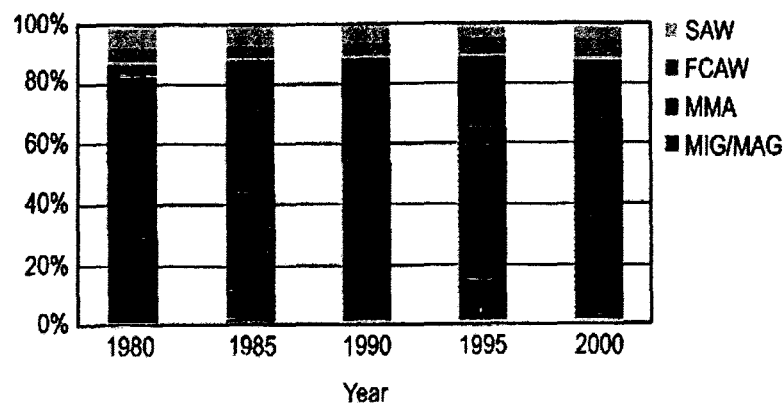
پیشرفت‌های بعدی فرآیند، شامل انتقال فلز به صورت اتصال کوتاه (GMAW-S) بوده است که طی آن، انرژی حرارتی پایین فرآیند به کاربر امکان استفاده از GMAW در شرایط مکانی نامناسب را داده است. جوشکاری صفحات ضخیم فلزی، شیوه کنترل جریان پالس و انتقال قطرات فلزی از الکترود به صورت یکنواخت و اسپری در سطح ولتاژ پایین تر، از دیگر تغییرات اعمال شده در این فرآیند است. GMAW دارای تجهیزات اتوماتیک یا نیمه اتوماتیک است، قابلیت جوشکاری اغلب فلزات را دارا می‌باشد و با سطح انرژی پایین می‌توان در تمام موقعیت‌ها از آن استفاده کرد. GMAW فرآیندی است از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه که نیاز به پاک کردن رسوبات جوشکاری در آن در حد صفر می‌باشد. تاب برداشتن و اعوجاج فلز در این فرآیند کاهش یافته و نیازی به پرداخت کاری فلز، بعد از جوشکاری نمی‌باشد [۱].

با توجه به دلایل ذکر شده میزان استفاده از این فرآیند دائماً در حال افزایش است، به طوریکه این روش جایگزین فرآیند جوشکاری الکترود دستی که قبلاً رایج‌ترین شیوه جوشکاری بوده است، شده و پرکاربردترین فرآیند جوشکاری در تمام اروپا، ژاپن و آمریکا می‌باشد (شکل ۱ و ۲) [۲].

۱- Metal Inert Gas Welding



شکل ۱: مقایسه انواع روش‌های جوشکاری در اروپای غربی [۲].



جوشکاری قوسی زیر پودری (SAW: Submerged Arc Welding)
جوشکاری قوسی با الکتروود توپودری (FCAW: Flux Cored Arc Welding)
جوشکاری با الکتروود دستی (MMA: Manual Metal Arc Welding)
جوشکاری تحت گاز محافظ (MIG/MAG: Metal Inert / Active Gas Welding)

شکل ۲: میزان کاربرد انواع فرآیندهای جوشکاری در اروپای غربی [۲].

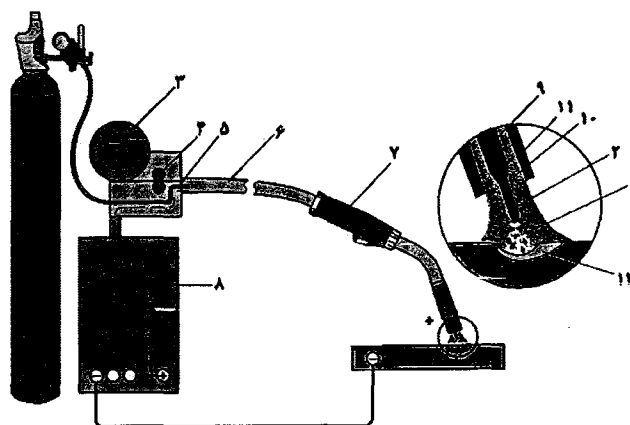


۲- اصول اجرایی فرآیند

فرآیند GMAW، فرآیندی است قوسی، به این معنا که یک قوس الکتریکی، فلز کار و مواد پرکننده را ذوب می‌کند تا جوش نهایی ایجاد شود. در شکل ۳، اجزای فرآیند GMAW نشان داده شده است. قوس (۱) بین قطعه کار و سیم جوش (۲) ایجاد می‌شود. سیم جوش فلزی نقش الکترود و مواد پرکننده را بر عهده دارد که روی قرقره یا درام (۳) قرار دارد و توسط غلتک‌های متحرک (۴) در مشعل تغذیه می‌شود. این غلتک‌ها از طریق یک مجرای سیم قابل انعطاف (۵) سیم جوش را از درون مجموعه شیلنگ خاصی (۶) به سمت مشعل (۷) هدایت می‌کنند. انرژی الکتریکی قوس، توسط منبع تغذیه (۸) تهیه می‌شود. جریان الکتریکی از طریق مجرای اتصال^۱ (۹) در مشعل، به الکترود می‌رسد. معمولاً مجرای اتصال به قطب مثبت منبع تغذیه و قطعه کار به قطب منفی آن متصل می‌شود. با ایجاد قوس، مدار کامل می‌شود. گاز محافظ (۱۰) که وظیفه اولیه آن حفاظت از الکترود (۲)، و حوضچه جوش (۱۲) در مقابل هوای اطراف است، از طریق نازل گاز محافظ (۱۱) که مجرای اتصال را در بر گرفته است، جاری می‌شود. این گاز محافظ ممکن است گاز خنثی یا فعال باشد. جوشکاری MAG/MIG نیز نام خود را از نوع گاز مصرفی اقتباس کرده است:

فرآیند جوشکاری قوسی با گاز خنثی^۲

فرآیند جوشکاری قوسی با گاز فعال^۳ [۲].



شکل ۳: اجزای جوشکاری GMAW [۲].

۱-Contact Tube

۲-MIG: Metal Inert Gas

۳- MAG: Metal Active Gas

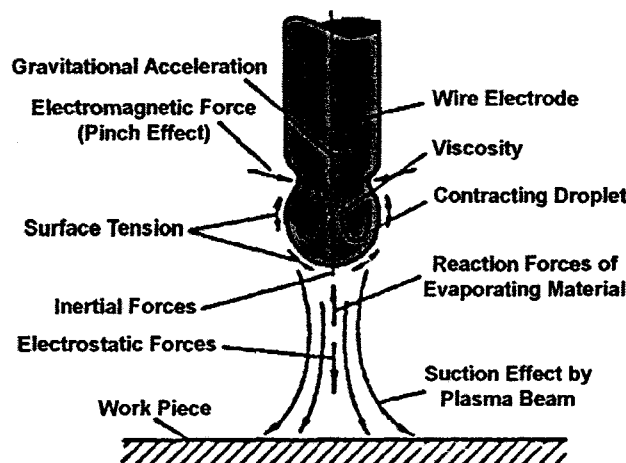
۳- انتقال فلز در فرآیند GMAW

نحوه انتقال فلز پرکننده مذاب به حوضچه جوش، یکی از ارکان مهم فرآیند GMAW می‌باشد. شکل، اندازه، جهت و همچنین شیوه انتقال قطرات به فاکتورهای متفاوتی از جمله نوع گاز محافظ، مشخصات منبع تغذیه، مقدار و نوع جریان جوشکاری، ولتاژ قوس، مواد پرکننده و قطر سیم جوش بستگی دارد. انتقال اسپری محوری، قطره‌ای، اتصال کوتاه و پالسی حالات اصلی انتقال فلز می‌باشند که خصوصیات GMAW را می‌توان توسط این چهار حالت به خوبی توضیح داد.

فیزیک انتقال فلز به خوبی مشخص نیست اما چندین نظریه در مورد نیروهای عامل انتقال وجود دارد. در تمام احتمالات، ترکیبی از چند نیرو، عامل جدایی فلز از الکترود و به جلو بردن آن در طول قوس به سمت فلز پایه می‌باشد. دو نیروی اصلی، نیروی جاذبه زمین و اثر پینچ^۱ می‌باشند که توجیه مناسبی برای چهار حالت اصلی و مکانیزم انتقال‌ها هستند [۱].

۳-۱- نیروهای موثر بر انتقال فلز

مطابق شکل ۴ نحوه انتقال قطرات مذاب، نتیجه تعادل نیروهایی است که بر قطره فلز مذاب عمل می‌کنند.



شکل ۴: نیروهای موثر بر قطره مذاب در هنگام انتقال فلز [۳].

^۱ Pinch Effect



این نیروها عبارتند از:

۱- ویسکوزیته^۱ و کشش سطحی^۲

این دو خاصیت فیزیکی با یکدیگر ارتباط مستقیم دارند بدین صورت که با افزایش ویسکوزیته، کشش سطحی نیز افزایش پیدا می کند. ویسکوزیته و کشش سطحی کمتر، موجب انتقال فلز با قطرات کوچکتر می شود. فاکتورهای مهمی که بر این دو عامل در فلزات آهنی تاثیر دارند عبارتند از: دما و میزان اکسیژن که با افزایش هر یک از آنها کشش سطحی و ویسکوزیته کاهش پیدا می کند. این اثر در مورد الکترودهای پوشش دار هم دیده می شود. به عنوان مثال در الکترودهای نوع روتیلی که دارای پوششی با مقدار زیاد اکسیژن می باشند نسبت به الکترودهای با پوشش بازی که حاوی اکسیژن کمتری هستند، انتقال با قطرات ریزتری صورت می گیرد.

۲- نیروی جاذبه^۳

هنگام جوشکاری نیروی جاذبه عاملی است که باعث می شود قطرات به سمت پایین کشیده شوند. اگر جرم قطره افزایش پیدا کند، نیروی جاذبه نیز زیاد می شود. زمانی که نیروی جاذبه بزرگتر از نیروهایی باشد که قطره را روی الکتروود نگه می دارند (مانند کشش سطحی و نیروی اینرسی)، انتقال قطره به صورت اتوماتیک اتفاق می افتد. در برخی از فرآیندهای جوشکاری، اثر نیروی جاذبه قابل توجه می باشد. این فرآیندها با انتقال فلز به صورت قطره ای^۴ یا با قطرات درشت از یکدیگر تشخیص داده می شوند (مانند فرآیند جوشکاری با گاز CO₂)

۳- جت پلاسما^۵

مستقل از موقعیت قطبهای مثبت و منفی، اندازه قوس در نزدیکی الکتروود نسبت به اندازه آن در نزدیکی سطح فلز همیشه کوچکتر است که علت آن دانسیتههای جریان متفاوت می باشد. به دلیل آنکه مساحت نوک الکتروود نسبت به مساحت قطب مخالف کوچکتر است دانسیته جریان نزدیک الکتروود نسبت به نزدیکی سطح قطعه کار همیشه بیشتر است. این پدیده باعث می شود که فشردگی میدان مغناطیسی در نزدیکی الکتروود زیادتر باشد و یک گرادیان فشاری داخل قوس به وجود آید. گرادیان

۱- Viscosity

۲- Surface Tension

۳- Gravity

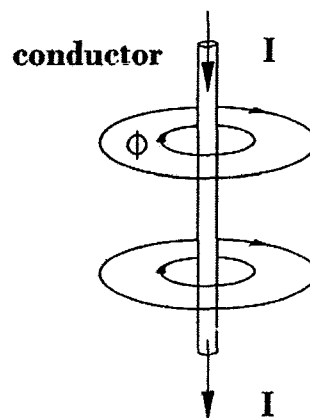
۴- Globular

۵- Plasma Jet

فشاری موجب ایجاد نیرویی محوری و دور شدن قوس از الکتروود می‌شود. این اثر باعث ایجاد جریان سریعی از پلاسمای داغ می‌شود. برخی از گازهایی که به مرکز قوس وارد می‌شوند به سرعت تا دماهایی در حدود 10000 K گرم شده و منبسط می‌شوند و به همین دلیل سرعت جریان پلازما در داخل ستون قوس بسیار زیاد (تقریباً به اندازه سرعت صوت) می‌شود. این جریان پلازما موجب ایجاد جت پلازما داخل قوس می‌شود که برای جداسازی قطره مفید بوده و نقش مهمی در انتقال فلز بر خلاف جهت نیروی جاذبه در جوشکاری بالای سر دارد.

۴- اثر پینچ^۱

اگر جریانی از یک هادی فلزی عبور کند، میدان مغناطیسی در اطراف آن ایجاد می‌شود که شدت این میدان بستگی به دانسیته جریان دارد (شکل ۵). در جوشکاری، الکتروود نقش هادی فلزی را دارد.

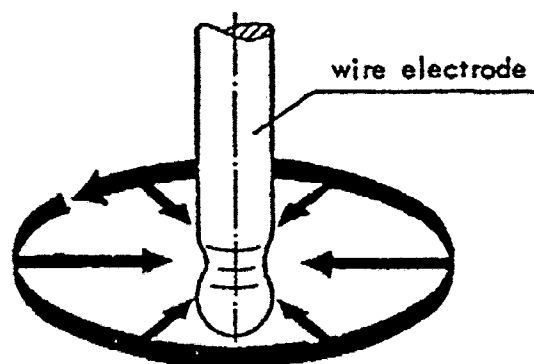


شکل ۵: میدان مغناطیسی اطراف یک هادی [۴].

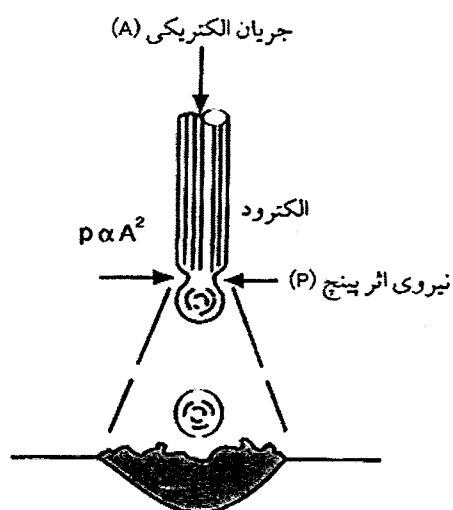
به علاوه برقراری جریان باعث ایجاد نیرویی می‌شود که بر جهت جریان و میدان مغناطیسی عمود بوده و اثر فشاری دارد. این نیرو، نیروی پینچ نامیده می‌شود (شکل ۶).

^۱-Pinch Effect

در تمام رساناها، نیروی پینچ با مربع (توان دوم) جریان جاری در رسانا نسبت مستقیم دارد. به این معنا که اگر جریان دو برابر شود، نیروی پینچ، چهار برابر می‌شود. این نیرو می‌تواند به اندازه‌ای زیاد شود که باعث کاهش قطر الکترود در قسمت نوک آن و در نهایت تشکیل قطره شود (شکل ۷).



شکل ۶: نیروی پینچ [۳].



شکل ۷: اثر پینچ در انتقال فلز [۲].



هنگامی که قطر انتهای الکتروود به مقدار کافی کاهش یافت، نیروی پینچ، مستقل از نیروی جاذبه، به عنوان یک عامل اصلی عمل کرده و موجب افزایش سرعت سقوط قطره در جریان جدا شدن و حرکت به سمت قطب دیگر خواهد شد.

۵- جدایی قطره به دلیل انبساط گازها

حلالیت گازهای مختلف مانند اکسیژن، هیدروژن و نیتروژن در قطره فلزی که در انتهای الکتروود تشکیل می‌شود به دلیل دمای بالایی که دارد زیاد است. اگر دمای قطره بعد از جدا شدن کاهش پیدا کند، حلالیت گازها کم می‌شود و حباب‌های گازی با فشار زیاد، سریعاً بزرگ می‌شوند و در نتیجه انفجار گاز، قطره متمیزه می‌شود. این مکانیزم موجب جداسازی و سرعت بخشیدن قطرات به سمت قطب دیگر می‌شود و نیروی جاذبه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در فلزات آهنی، گاز مونواکسید کربن باعث ایجاد این مکانیزم می‌شود (کربن از سیم جوش و اکسیژن از اتمسفر یا پوشش وارد قطره می‌شوند).

۳-۲- عوامل موثر بر انتقال فلز

شکل، اندازه و جهت قطرات مذاب و نوع انتقال آنها توسط فاکتورهای زیر تعیین می‌شود:

- مقدار و نوع جریان جوشکاری
- دانسیته جریان
- قطر الکتروود
- ترکیب شیمیایی الکتروود (سیم جوش)
- طول موثر الکتروود
- نوع گاز محافظ
- مشخصات منبع تغذیه [۴].

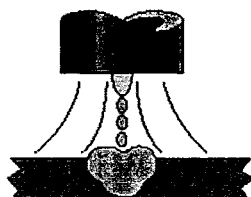
۳-۲-۱- انتقال اسپری محوری^۱

هنگامی که جریان جوشکاری و ولتاژ قوس نسبت به قطر سیم جوش، به اندازه کافی افزایش یابند، فلز مذاب به صورت قطرات نسبتاً ریزی که هم‌اندازه یا کوچک‌تر از قطر سیم جوش می‌باشند و

^۱- Spray Transfer / Free Transfer / Spray Arc Welding

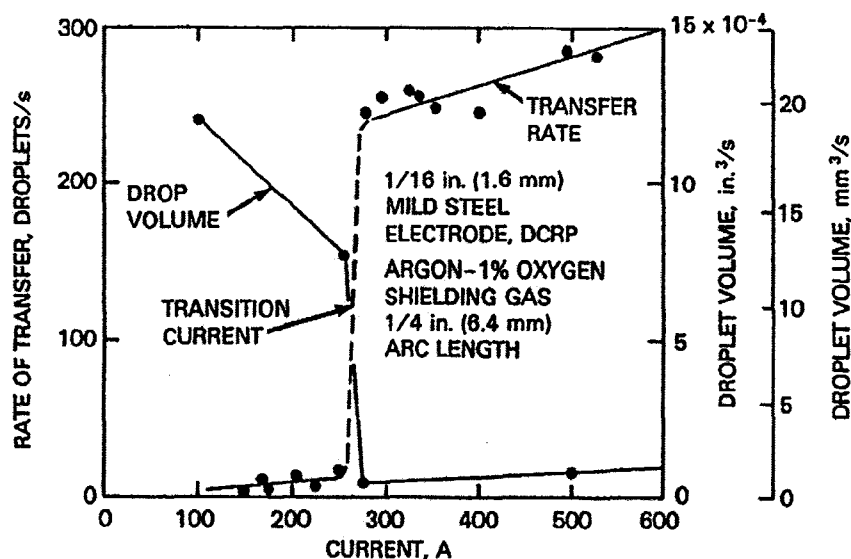


با قوس اتصال کوتاه (اتصال) تشکیل نمی‌دهند، به صورت محوری و در یک مسیر مستقیم (۱۰۰ تا ۳۰۰ قطره در ثانیه)، از الکتروود به حوضچه جوش هدایت می‌شوند.



شکل ۸: انتقال اسپری محوری [۱].

در جوشکاری قوس اسپری - قوسی پایدار، یکنواخت و بدون تولید ترشحات و جرقه و درز جوشی با سطح نسبتاً صیقلی ایجاد می‌شود. حرارت زیادی که به قطعه کار منتقل می‌شود، باعث ایجاد حوضچه بزرگی می‌شود که سیالیت بالایی داشتند دارد و به راحتی جاری می‌گردد و در نتیجه این حالت از انتقال فلز برای جوشکاری در وضعیت‌های تخت و افقی بسیار مناسب می‌باشد. انتقال اسپری محوری با استفاده از جریان مستقیم با قطبیت مثبت و در جریان‌های بالاتر از مقدار جریان بحرانی که "جریان انتقال" نام دارد، ایجاد می‌شود. در مقادیر کمتر از جریان بحرانی، انتقال به صورت قطره‌ای انجام می‌گیرد (شکل ۹). جریان انتقال، به کشش سطحی فلز مذاب بستگی داشته و متناسب با قطر الکتروود می‌باشد. دمای ذوب فلز پرکننده و ترکیب گاز محافظ نیز بر میزان این جریان تاثیرگذار می‌باشد. جریان‌های انتقال برخی از فلزات متداول در جدول ۱ ارائه شده است [۱].



شکل ۹: تغییر در مقدار و سرعت انتقال قطرات نسبت به جریان جوشکاری [۱].

جدول ۱: جریان های انتقال از حالت قطره ای به اسپری برای الکترودهای مختلف [۱]				
Wire Electrode Type	Wire Electrode Diameter		Shielding gas	Minimum Spray Arc Current, A
	in	mm		
Mild Steel	۰.۰۳۰	۰.۸	۹۸٪ argon- ۲٪oxygen	۱۵۰
Mild Steel	۰.۰۳۵	۰.۹	۹۸٪ argon- ۲٪oxygen	۱۶۵
Mild Steel	۰.۰۴۵	۱.۱	۹۸٪ argon- ۲٪oxygen	۲۲۰
Mild Steel	۰.۰۶۲	۱.۶	۹۸٪ argon- ۲٪oxygen	۲۷۵
Stainless Steel	۰.۰۳۵	۰.۹	۹۸٪ argon- ۲٪oxygen	۱۷۰
Stainless Steel	۰.۰۴۵	۱.۱	۹۸٪ argon- ۲٪oxygen	۲۲۵
Stainless Steel	۰.۰۶۲	۱.۶	۹۸٪ argon- ۲٪oxygen	۲۸۵
Aluminum	۰.۰۳۰	۰.۸	Argon	۹۵
Aluminum	۰.۰۴۵	۱.۱	Argon	۱۳۵
Aluminum	۰.۰۶۲	۱.۶	Argon	۱۸۰
Deoxidized Copper	۰.۰۳۵	۰.۹	Argon	۱۸۰
Deoxidized Copper	۰.۰۴۵	۱.۱	Argon	۲۱۰
Deoxidized Copper	۰.۰۶۲	۱.۶	Argon	۳۱۰
Silicon Bronze	۰.۰۳۵	۰.۹	Argon	۱۶۵
Silicon Bronze	۰.۰۴۵	۱.۱	Argon	۲۰۵
Silicon Bronze	۰.۰۶۲	۱.۶	Argon	۲۷۰



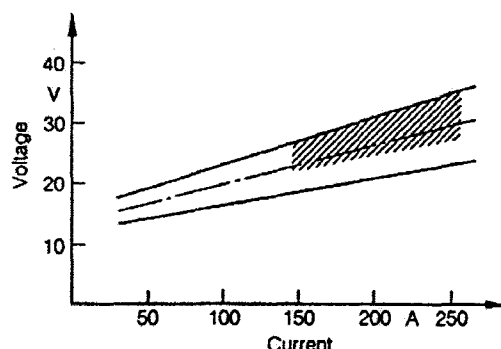
حالت مطلوب انتقال زمانی رخ می دهد که گاز محافظ شامل آرگون و مقدار کمی CO_2 (کمتر از ۲۵٪) یا O_2 باشد. در صورت استفاده از گاز دی اکسید کربن به تنهایی انتقال از حالت قطره ای به اسپری رخ نخواهد داد [۵]. حالت انتقال اسپری را می توان برای جوش دادن تقریباً هر فلز یا آلیاژی به کار برد و علت آن خنثی بودن خواص آرگون می باشد. با این وجود به کار بردن این فرآیند برای اتصال ورق های نازک، با توجه به جریان های بالای مورد نیاز برای تولید این نوع انتقال، می تواند مشکل باشد زیرا نیروی قوس به وجود آمده می تواند به جای جوش دادن ورق های نازک، موجب برش آنها شود. حداقل ضخامتی که با این روش می توان جوشکاری کرد به نوع فلز مورد جوشکاری، شرایط جوشکاری و قطر الکترود بستگی دارد. اگر چه در مراجع متفاوت ضخامت های ۲ تا ۵ میلی متر به عنوان کمترین ضخامت ذکر شده است.

در جدول ۲ مقادیر جریان، ولتاژ، سرعت سیم جوش و سرعت رسوب دهی، با استفاده از قطرهای مختلف سیم جوش در جوشکاری فولادهای کربنی و کم آلیاژ به شیوه انتقال اسپری محوری آمده است. مقادیر متوسط این پارامترها جهت جوشکاری دستی و مقادیر بالاتر در جوشکاری ماشینی انتخاب شده اند. در صورت استفاده از الکترودهای آستنیتی شدت جریان ۱۰ تا ۱۵ درصد کاهش می یابد [۴].

جدول ۲: مقادیر جریان، ولتاژ و راندمان رسوب دهی در جوشکاری با حالت انتقال اسپری فولادهای کربنی و کم آلیاژ [۴]

Diameter [mm]	Amperage [A]	Voltage [V]	Wire Feed [m/min]	Deposition Rate [kg/h]
۰,۸	۱۴۰-۱۹۰	۲۲-۲۶	۴,۰-۱۵,۰	۲,۱-۳,۷
۱,۰	۱۷۰-۲۶۰	۲۳-۲۷	۳,۵-۱۲,۰	۲,۴-۴,۰
۱,۲	۲۲۰-۳۲۰	۲۵-۳۰	۲,۵-۱۰,۰	۲,۸-۴,۶
۱,۶	۲۶۰-۳۹۰	۲۶-۳۴	۲,۰-۶,۰	۳,۰-۶,۲
۲,۴	۳۴۰-۴۹۰	۳۰-۳۶	۲,۵-۳,۵	۳,۲-۸,۰
۳,۲	۴۰۰-۵۸۰	۳۴-۳۸	۱,۲-۲,۲	۴,۵-۸,۵

در شکل ۱۰ نیز منطقه هاشور خورده، نشان دهنده جریان و ولتاژ لازم در روش جوشکاری با انتقال اسپری محوری می باشد.



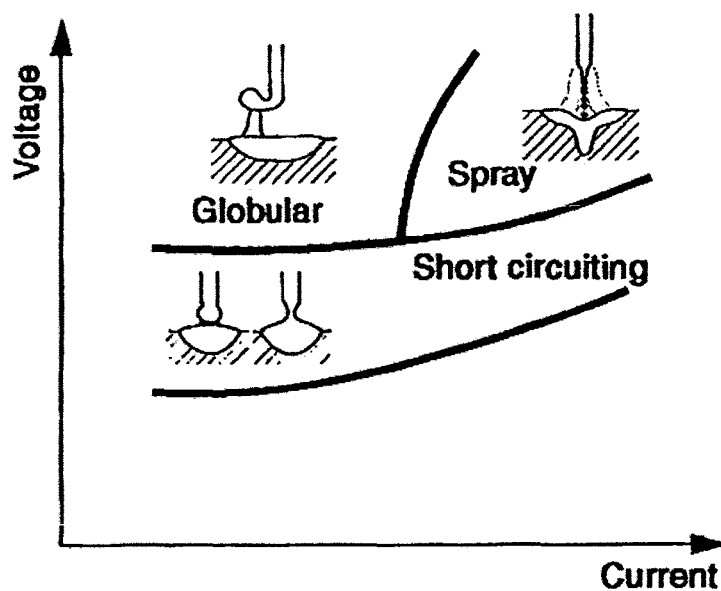
شکل ۱۰: محدوده جریان و ولتاژ لازم در روش جوشکاری با انتقال اسپری محوری (قطر سیم جوش ۱ میلی‌متر، ولتاژ بیش از ۲۵ ولت، گاز محافظ مطابق با DIN EN۴۳۹-M۲ مخلوط گازی) [۳].

۳-۲-۲- انتقال اتصال کوتاه^۱

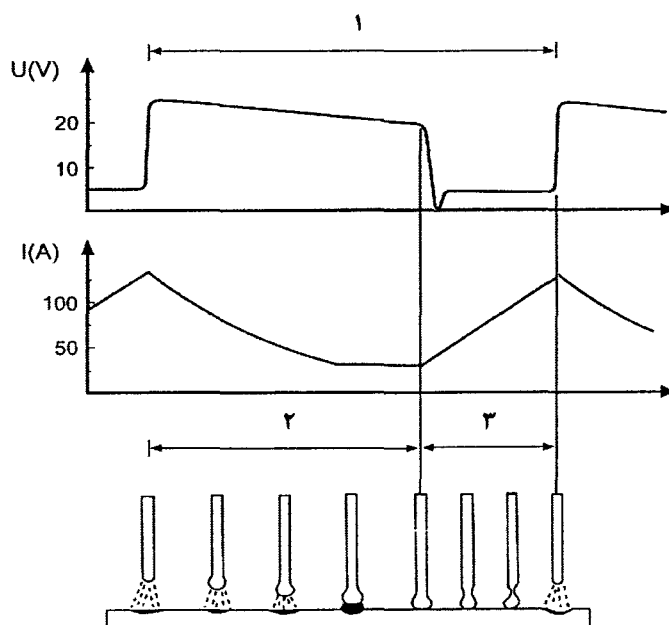
انتقال فلز به صورت اتصال کوتاه در جریان و ولتاژهای نسبتاً ضعیف انجام می‌شود (شکل ۱۱). از آنجا که حرارت ورودی به قطعه کار کم است، نفوذ در جوش، کم عمق می‌باشد و در قطعات سنگین‌تر باید در انتخاب تکنیک دقت کرد تا ذوب مناسب ایجاد شود. استفاده از این حالت انتقال در تمام موقعیت‌های جوشکاری امکان‌پذیر است. این روش برای جوشکاری قطعات نازک، جوشکاری در شرایط نامناسب که حوضچه جوش کوچک است و سریعاً منجمد می‌شود، همچنین جهت جوشکاری پاس ریشه نیز بسیار مناسب است [۱، ۴].

در جوشکاری با قوس کوتاه، قطرات نسبتاً بزرگی از فلز مذاب ایجاد می‌شوند که با حوضچه جوش تماس پیدا می‌کند و اتصال کوتاه لحظه‌ای (اتصال) برقرار می‌شود. تعداد این اتصالات بین ۲۰ تا ۲۰۰ بار در ثانیه می‌باشد. این اتصال‌ها بر پایداری قوس اثر منفی خواهند داشت [۱]. اگر جریان اتصال کوتاه خیلی زیاد باشد، نیروهای پینچ اثر خود را به طور قابل توجهی نشان خواهند داد و باعث ایجاد ترشحات و پاشش خواهند شد. شماتیکی از آنچه که در جوشکاری قوس کوتاه صورت می‌گیرد در شکل ۱۲ نشان داده شده است.

^۱-Dip Transfer/ Short Circuiting Transfer / Short Arc Welding



شکل ۱۱: انواع انتقال فلز در جوشکاری GMAW با توجه به میزان جریان و ولتاژ [۵].

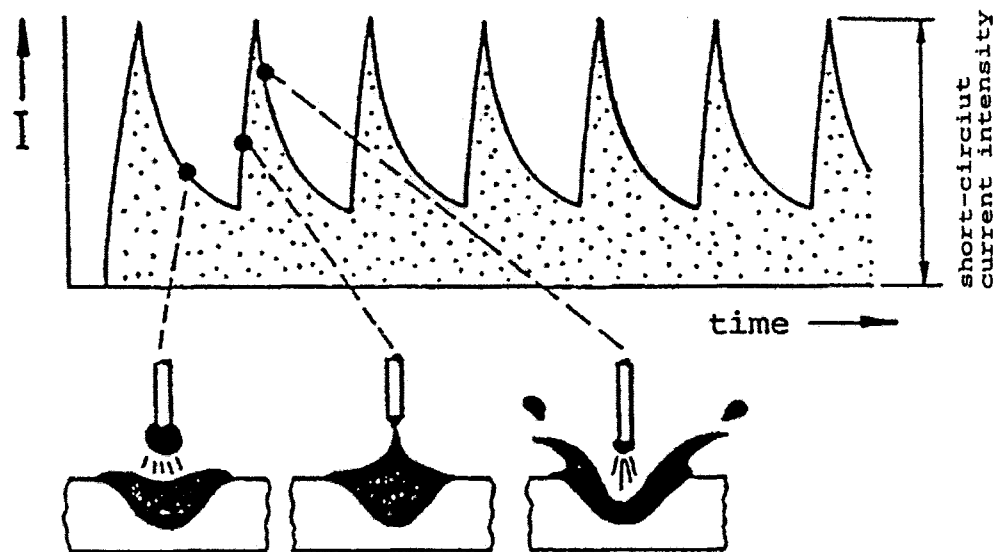


شکل ۱۲: انتقال فلز به صورت اتصال کوتاه. ۱- سیکل اتصال کوتاه (اتصال) ۲- زمان قوس ۳- زمان اتصال کوتاه [۲].
قطره‌ای از فلز مذاب روی انتهای الکترود تشکیل می‌شود. هنگامی که قطره به اندازه کافی برای اتصال با حوضچه جوش بزرگ شد،
اتصال رخ می‌دهد. این اتصال باعث افزایش جریان، جدا شدن قطره و دوباره برقرار شدن قوس می‌شود.

هنگامی که سیم جوش با حوضچه جوش تماس برقرار می کند، قوس خاموش شده تا زمانی که قطره فلز مذاب به حوضچه جوش انتقال یابد، جریان افزایش یافته و قوس مجدداً برقرار می شود. افزایش جریان پس از برقراری قوس همچنان ادامه خواهد داشت. نرخ افزایش جریان باید به اندازه کافی زیاد باشد تا الکتروود گرم شود و انتقال ماده صورت گیرد و درعین حال نباید از حدی که موجب پاشش قطرات فلز شود، تجاوز کند. نرخ افزایش جریان با تنظیم اندوکتانس منبع نیرو کنترل می شود. تنظیم بهینه اندوکتانس به مقاومت الکتریکی مدار جوش، دمای ذوب الکتروود و نوع گاز محافظ بستگی دارد. در اشکال ۱۳ و ۱۴ اثر تنظیمات یک Choke بر مشخصات جوش نشان داده شده است.

• Low Chocking Effect (شکل ۱۳)

- پاشش زیاد
- سطح جوش با مهره های درشت
- جرقه قوس آنی و پایدار
- تعداد اتصالات کوتاه زیاد

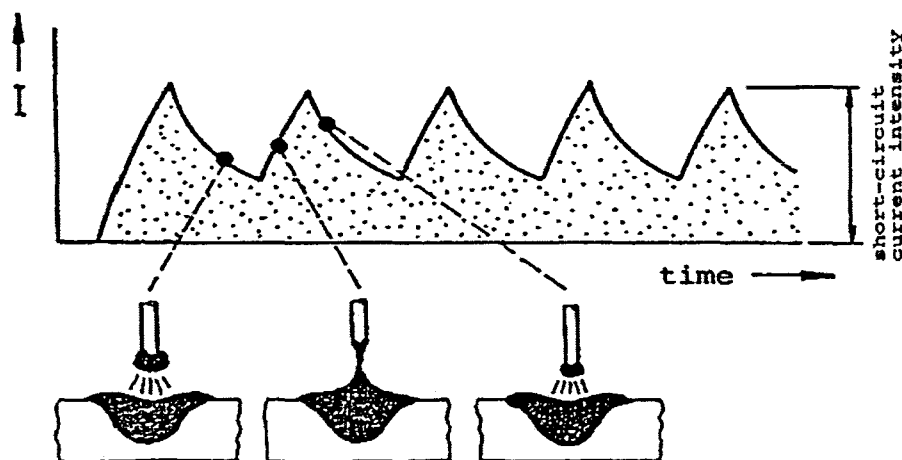


شکل ۱۳: Low Chocking Effect [۳].



• High Chocking Effect (شکل ۱۴)

- پاشش کم
- سطح جوش با مهره های ریز
- جرقه قوس با تاخیر
- تعداد اتصالات کوتاه کم



شکل ۱۴ : High Chocking Effect [۳].

در جدول ۳، پارامترهای جوشکاری مورد نیاز جهت جوشکاری فولادهای کربنی و کم آلیاژ با انتقال فلز به صورت قوس کوتاه آمده است.

با وجودی که انتقال فلز فقط در زمان اتصال کوتاه ایجاد می شود، ترکیب گاز محافظ اثر مهمی بر کشش سطحی فلز مذاب خواهد داشت. تغییر ترکیب گاز محافظ، اندازه قطره و مدت اتصال کوتاه را تحت تاثیر قرار می دهد. به علاوه نوع گاز محافظ بر مشخصات قوس مؤثر می باشد. دی اکسید کربن معمولاً موجب پاشش بیشتری نسبت به گازهای خنثی می شود، با این وجود استفاده از CO_2 نفوذ بیشتری را همراه خواهد داشت. برای رسیدن به حد بهینه پاشش و نفوذ، مخلوطی از CO_2 و آرگون برای جوشکاری فولادهای کربنی و کم آلیاژ به کار می رود. اضافه کردن هلیوم به آرگون نفوذ را در فلزات غیر آهنی افزایش می دهد.



۳-۲-۳- انتقال قطره ای^۱

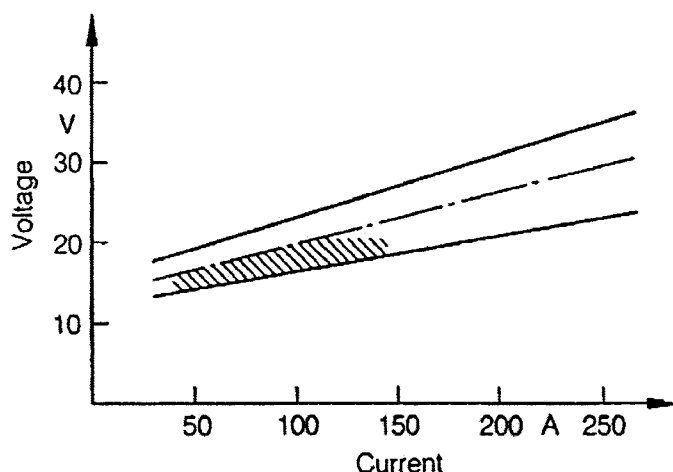
در جریان‌هایی کمتر از جریانهای مورد نیاز برای انتقال فلز به صورت اسپری و ولتاژهایی بالاتر از ولتاژهای مورد نیاز برای انتقال فلز به صورت اتصال کوتاه (شکل ۱۱)، منطقه‌ای وجود دارد که انتقال فلز با قطراتی بزرگتر از اندازه الکتروود و اغلب به شکل نامنظم صورت می‌گیرد. به این نوع انتقال، انتقال قطره‌ای اطلاق می‌شود (شکل ۱۶). قطره ذوب شده تا زمانی که توسط اتصال کوتاه یا نیروی جاذبه جدا شود، بزرگ می‌شود و در اثر انتقال آن، مقدار زیادی پاشش و جرقه ایجاد می‌شود. در این حالت حوضچه جوش از سیالیت بالایی برخوردار است و حدود ۱۰۰ قطره در ثانیه از الکتروود جدا می‌شود [۵].

جدول ۳: مقادیر جریان، ولتاژ و راندمان رسوب دهی در جوشکاری با حالت انتقال اتصال کوتاه فولادهای کربنی و کم آلیاژ [۴]

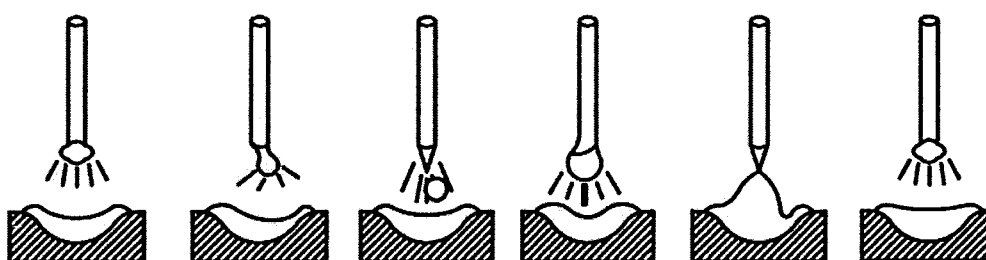
Diameter [mm]	Amperage [A]	Voltage [V]	Wire feed [m/min]	Deposition rate [kg/h]
۰,۸	۸۰-۱۳۰	۱۵-۱۷	۲,۹-۱۳,۰	۰,۷-۲,۹
۱,۰	۷۰-۱۶۰	۱۶-۱۹	۲,۴-۷,۸	۰,۹-۲,۹
۱,۲	۱۰۰-۱۸۰	۱۷-۲۰	۲,۱-۵,۴	۱,۱-۲,۹
۱,۶	۱۵۰-۲۱۰	۱۹-۲۲	۱,۷-۴,۵	۱,۶-۲,۴

در شکل ۱۵، نیز منطقه هاشور خورده، نشان دهنده جریان و ولتاژ لازم برای انتقال فلز به صورت اتصال کوتاه می‌باشد.

^۱-Globular Transfer/Long Arc Welding



شکل ۱۵: محدوده جریان و ولتاژ لازم در روش جوشکاری با انتقال اتصال کوتاه (قطر سیم جوش ۱ میلی متر، ولتاژ کمتر از ۲۰ ولت) گاز محافظ مطابق با DIN EN ۴۳۹-M۲ مخلوط گازی [۳].



شکل ۱۶: انتقال فلز به صورت قطره‌ای [۳].

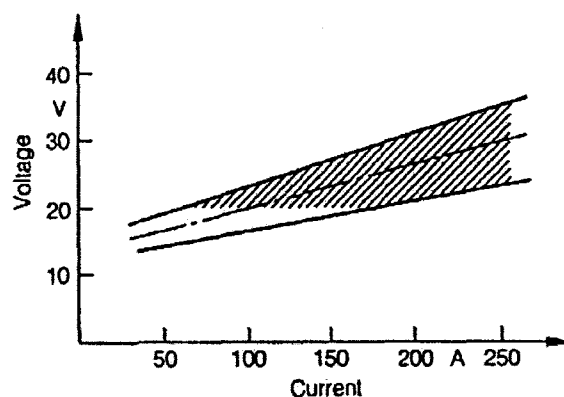
با به کار بردن گاز CO_2 به عنوان گاز محافظ، این نوع انتقال در تمام مقادیر جریان‌های جوشکاری انجام پذیر می‌باشد. ضمن آنکه با افزایش این گاز، احتمال به وجود آمدن حفره کمتر و نفوذ زیادتر می‌شود. با استفاده از پوشش CO_2 و تنظیم شرایط جوشکاری و قرار دادن نوک الکترود زیر حوضچه جوش مذاب، می‌توان مقدار پاشش و جرقه را کاهش داد. طبیعت قوس CO_2 ناپایداری و صدای زنبوری مانند آن می‌باشد. همچنین در صورت استفاده از این گاز، قطرات در یک محور مستقیم منتقل نخواهند شد (نیروی پینچ باعث منحرف شدن قطره می‌شود). در حالی که با محافظت قوس توسط گازهای خنثی، انتقال در یک مسیر مستقیم صورت می‌گیرد اما جوش حاصله به دلیل ذوب و نفوذ ناقص عموماً غیر قابل قبول می‌باشد [۴].

درز جوش انتقال قطره‌ای در مقایسه با درز جوش انتقال اسپری بسیار ناهموارتر است. از آنجا که بیشتر انرژی قوس به سمت پایین و زیر سطح فلز جوش مذاب هدایت می‌شود، برش عرضی درز



جوش دارای نفوذ عمیق‌تری در مقایسه با حالت انتقال اسپری محوری در قسمتهای انتهایی درز جوش می‌باشد. در سطوح بالاتر جریان و با استفاده تکنیک قوس پنهان^۱، دی‌اکسیدکربن نسبتاً پایدار می‌شود. هنگام استفاده از ترکیبات گازی غنی هلیوم، درز جوشی پهن‌تر با عمق نفوذی مشابه آرگون، اما با نمای ظاهری مطلوب‌تر ایجاد می‌گردد[۱].

از کاربردهای جوشکاری با انتقال قطره‌ای می‌توان به اتصالات گوشه‌ای، پاس‌های نهایی جوش در وضعیت‌های تخت، افقی و عمودی و اتصالات فولادهای کم آلیاژ و غیرآلیاژی اشاره کرد. اگر چه با توجه به خصوصیات نامناسب این روش، به طور کلی از انجام آن باید اجتناب گردد[۴]. در شکل ۱۷، قسمت هاشور خورده نشان دهنده محدوده شدت جریان و ولتاژی است که این نوع انتقال رخ می‌دهد.



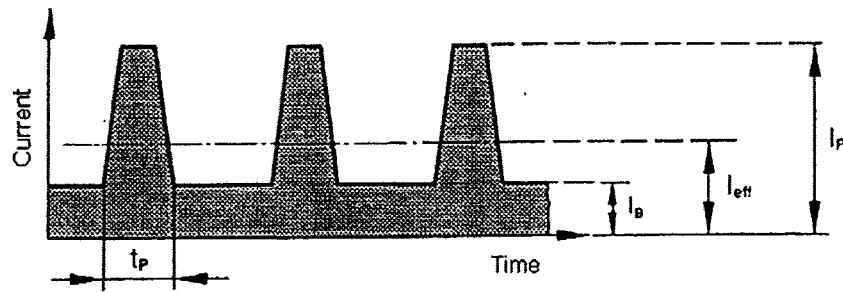
شکل ۱۷: محدوده جریان و ولتاژی که انتقال فلز به صورت قطره‌ای رخ می‌دهد.
(قطر سیم جوش ۱ میلی متر، ولتاژ بیش از ۲۵ ولت، گاز محافظ مطابق با DIN EN ۴۳۹- C۱ دی اکسید کربن) [۳].

۳-۲-۴- انتقال جریان پالسی^۲

هدف از جوشکاری قوس پالسی، ترکیب مزایای جوشکاری قوس کوتاه و جوشکاری قوس اسپری است که باعث ایجاد قوس یکنواخت و پایدار و نیز ورود گرمای کمتر به قطعه کار می‌شود. این مهم با پالسی نمودن جریان جوشکاری حاصل می‌شود (شکل ۱۸).

۱-Buried Arc

۲-Pulsed Spray Transfer / Pulsed Arc Welding



شکل ۱۸: جوشکاری قوس پالسی [۳].

I_B = جریان زمینه (آمپر)

I_p = جریان پیک پالس (آمپر)

t_p = مدت پالس (میلی ثانیه)

f = فرکانس پالس (پالس در ثانیه) (هرتز)

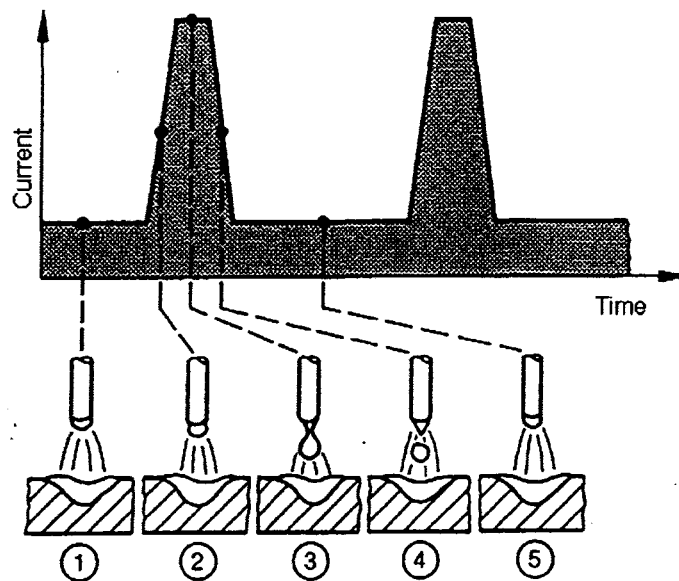
I_{eff} = جریان موثر (آمپر)

روش کنترل انتقال قطرات توسط پالس‌های جریان (۳۰-۳۰۰ Hz) از طریق منبع الکتریکی، محدوده جریان مورد نیاز برای انتقال به صورت اسپری را تا مقادیر کمتری فراهم می‌سازد. ضمن آنکه جوشکاری قوس کوتاه با پاشش بسیار کم نیز، با این روش عملی خواهد شد [۵].

در انتقال به صورت جریان پالسی، جریان زمینه باعث ایجاد قوس و ذوب جزئی سیم جوش می‌شود. سپس پالس جریان موجب می‌شود که اندازه قطره شکل گرفته در انتهای الکتروود بزرگتر شده و در همان زمان اثر پینچ ماهیت قابل توجهی پیدا کرده و قطره آماده جدا شدن خواهد شد. قطره جدا شده، بدون اتصال کوتاه به حوضچه جوش انتقال پیدا می‌کند و پس از آن جریان تا جریان زمینه کاهش پیدا کرده و قوس برقرار شده و مراحل فوق مجدداً در هر پالس رخ خواهد داد (شکل ۱۹) [۳].

در طول جریان پالسی، طول مشخصی از سیم جوش ذوب و به حوضچه جوش منتقل می‌شود. بنابراین فرکانس و دامنه جریان پالسی، سطح انرژی قوس و نرخ ذوب سیم جوش را کنترل می‌کند. در انتقال جریان پالسی، ولتاژ و جریان هم فاز می‌باشند.

Pulsed arc (2)



شکل ۱۹: انتقال جریان پالسی [۳].

پارامترهایی که تنظیم آنها در جوشکاری پالسی از اهمیت به سزایی برخوردار است، عبارتند از:

• جریان زمینه:

این جریان جهت برقراری قوس بین پالس‌ها مورد نیاز است و میزان آن در حدود ۲۵-۴۰ آمپر می‌باشد. اگر جریان زمینه بیش از حد باشد، سیم جوش ذوب شده و قطرات در بین پالس‌ها به حوضچه جوش منتقل می‌شوند. برای ایجاد سطح جریان متوسط، سطح جریان زمینه پایین نگه داشته می‌شود. نتیجه این عمل گرمای ورودی کم به قطعه کار، امکان انجام جوشکاری در تمام وضعیت‌ها و جوشکاری صفحات نازک می‌باشد. اگر چه کاهش بیش از حد جریان زمینه منجر به خاموش شدن قوس و اتصال کوتاه خواهد شد.

• جریان پالس:

این جریان باعث جداسازی قطره بدون اتصال کوتاه خواهد شد. میزان این جریان باید از مقدار بحرانی که به مدت پالس، فلز سیم جوش، قطر سیم جوش و ترکیب گاز محافظ بستگی دارد، عبور کند. حداکثر مقدار جریان پالس در محدوده ۴۵۰-۶۰۰ آمپر می‌باشد.



اگر جریان پالس بیش از حد باشد، سرعت جداسازی قطره، بسیار زیاد خواهد شد که سبب پاشش، نفوذ ناقص، سوختگی کناره جوش و کاهش عمر مجرای اتصال (لوله‌ای که درون آن الکتروود قرار دارد) خواهد شد.

• مدت پالس:

زمان برقراری جریان پالس باید به میزانی باشد که جداسازی قطره بدون اتصال کوتاه انجام شود. حداقل این زمان بین ۱ تا ۳ میلی ثانیه می‌باشد و به منظور جداسازی یک قطره در هر پالس، مدت پالس نباید خیلی طولانی باشد. اگر زمانی در حدود ۵ میلی ثانیه برای جریان پالس در نظر گرفته شود، احتمال جدا شدن بیش از یک قطره فراوان است.

• فرکانس پالس:

تعداد قطرات منتقل شده و نیروی قوس با زیاد شدن فرکانس پالس، افزایش پیدا خواهد کرد. هنگام جوشکاری با فرکانس پالس کم (۵۰-۲۰ Hz)، قوس اثرات مضر بر چشم خواهد گذاشت.

• سرعت تغذیه سیم جوش:

همانطور که اشاره شد، با توجه به اینکه در هر پالس طول مشخصی از الکتروود ذوب می‌شود، نسبت مستقیمی بین فرکانس پالس و سرعت تغذیه سیم جوش وجود دارد [۳،۴].

۳-۲-۴-۱- مزایا و محدودیت های جریان پالسی

- ۱- به دلیل عدم اتصال کوتاه، پاشش و جرقه حتی اگر نیروی موثر قوس کم باشد، ناچیز است.
- ۲- حرارت ورودی کم است و انقباض و اعوجاج قطعه کار کمتر است.
- ۳- جوشکاری می‌تواند با الکترودهای ضخیم‌تر، که ارزان‌تر هستند و پرکنندگی بهتری دارند، انجام شود. این مزیت در جوشکاری آلومینیم که تغذیه سیم جوش باریک، به دلیل نرمی آن، مشکل‌تر است از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.
- ۴- نیروی موثر ناشی از اثر پینچ، میزان گرم شدن قطرات را کاهش می‌دهد و در نتیجه تولید بخار در این فرآیند کمتر است.
- ۵- احتمال به وجود آمدن حفره در فلز جوش کمتر است.



۶- انتقال به صورت اسپری در محدوده وسیع‌تری از پارامترهای جوشکاری (جریان، ولتاژ و ...) تا مقادیر کمتر به خصوص در جوشکاری آلومینیم و فولاد زنگ نزن قابل انجام است. ضمن آنکه در جوشکاری اتصالات نازک نتایج بهتری نسبت به جوشکاری قوس کوتاه حاصل خواهد شد. از جمله محدودیت‌های استفاده از جریان پالسی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- گازهای مورد استفاده برای ایجاد این نوع انتقال محدود است. همانند جوشکاری با انتقال اسپری، غلظت CO_2 در مخلوط Ar/CO_2 نباید خیلی زیاد باشد. معمولاً نسبت آرگون به دی اکسید کربن ۸۰ به ۲۰ می‌باشد.

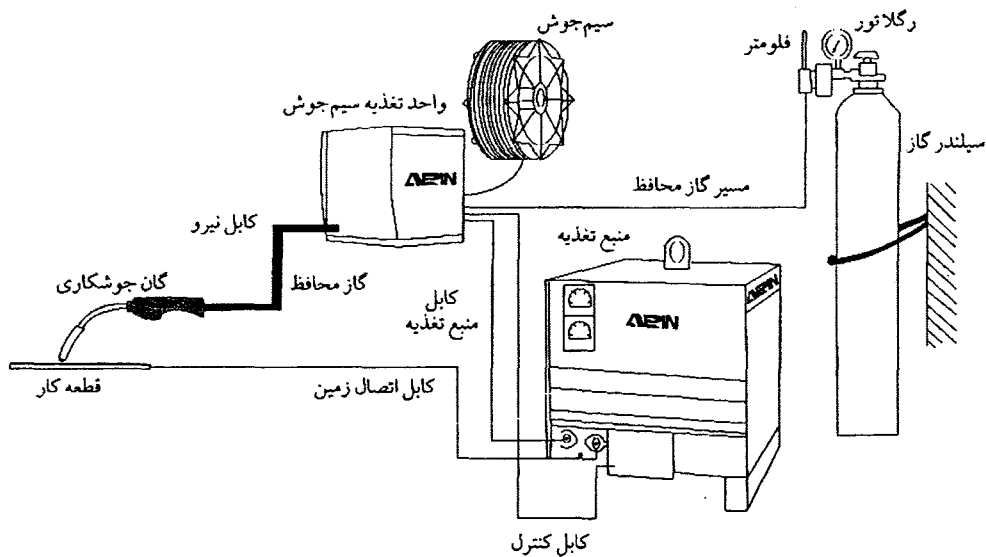
۲- قیمت منابع جریان پالسی در مقایسه با سایر تجهیزات مورد استفاده در فرآیند GMAW بالاتر است [۳، ۵].

انتقال جریان پالسی به طور عمده برای جوشکاری فلزات آلومینیم و فولاد زنگ نزن، کاربرد دارد. هر چند با این روش جوشکاری فولادهای کربنی معمولی نیز قابل انجام می‌باشد.

۴- تجهیزات

در فرآیند GMAW، رابطه نزدیکی بین سرعت تغذیه سیم‌جوش و جریان مورد نیاز برای ذوب سیم‌جوش، به منظور نگهداری طول قوس تعادلی وجود دارد. بدین ترتیب در این روش بر خلاف فرآیند جوشکاری با الکترودهای روپوش دار، می‌توان از سیم جوش‌هایی با قطر مساوی اما در محدوده وسیعی از جریان‌های جوشکاری استفاده کرد و یا بالعکس در جریان ثابت، سیم جوش‌هایی با قطرهای متفاوت به کار برد. به عنوان مثال، هنگام استفاده از سیم‌جوش‌هایی با قطر کمتر، نسبت به سیم جوش‌هایی با قطر بیشتر در یک جریان خاص باید سرعت تغذیه بالاتری در نظر گرفت بنابراین طراحی تجهیزات فرآیند GMAW تعیین کننده اندازه سیم‌جوشی است که مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴]. به طور کلی یک مجموعه کامل تجهیزات GMAW، شامل منبع تغذیه، واحد تغذیه سیم‌جوش، واحد کنترل جوشکاری، مشعل جوشکاری، سیستم تغذیه گاز، کابل‌ها و شیلنگ‌ها می‌باشد (شکل ۲۰).

تجهیزات جوشکاری باید با ملزومات هر فرآیند کاملاً هماهنگ باشند. ولتاژ مدار باز، سرعت تغذیه و خصوصیات استاتیک و دینامیک، همه باید با طرح قطعات جوش و اندازه الکترودهمخوانی داشته باشند. همچنین باید لوازم یدکی و جانبی مورد نیاز برای حالت انتقال فلز انتخابی و اندازه ملزومات نیز مدنظر قرار گیرند [۱].



شکل ۲۰: فرآیند نیمه اتوماتیک GMAW [۲].

۱-۴-۱-۴ مشعل جوشکاری

وظایف اصلی مشعل جوشکاری هدایت الکتروود و گاز محافظ به منطقه جوش و انتقال نیروی الکتریکی (جریان) به الکتروود می‌باشد.

در شکل ۲۱، اجزای اصلی مشعل همراه با مجموعه شیلنگ ها به صورت شماتیک نشان داده شده است. مهمترین قسمت‌های مشعل، مجرای اتصال، نازل گاز محافظ و کلید شروع و پایان جوشکاری می‌باشد.

۱-۴-۱-۴-۱ مجرای اتصال^۱

مجرای اتصال وظیفه انتقال نیروی الکتریکی به الکتروود و هدایت الکتروود به سمت قطعه کار را دارد و از طریق کابل جریان، به منبع تغذیه متصل است. سطح داخلی مجرای اتصال باید شرایط مناسبی داشته باشد، چرا که ضمن ایجاد تماس الکتریکی خوب، الکتروود نیز باید به راحتی از طریق آن تغذیه شود. با توجه به اندازه الکتروود و موادی که جوشکاری می‌شوند، اندازه مناسب مجرای اتصال

^۱-Contact Tube



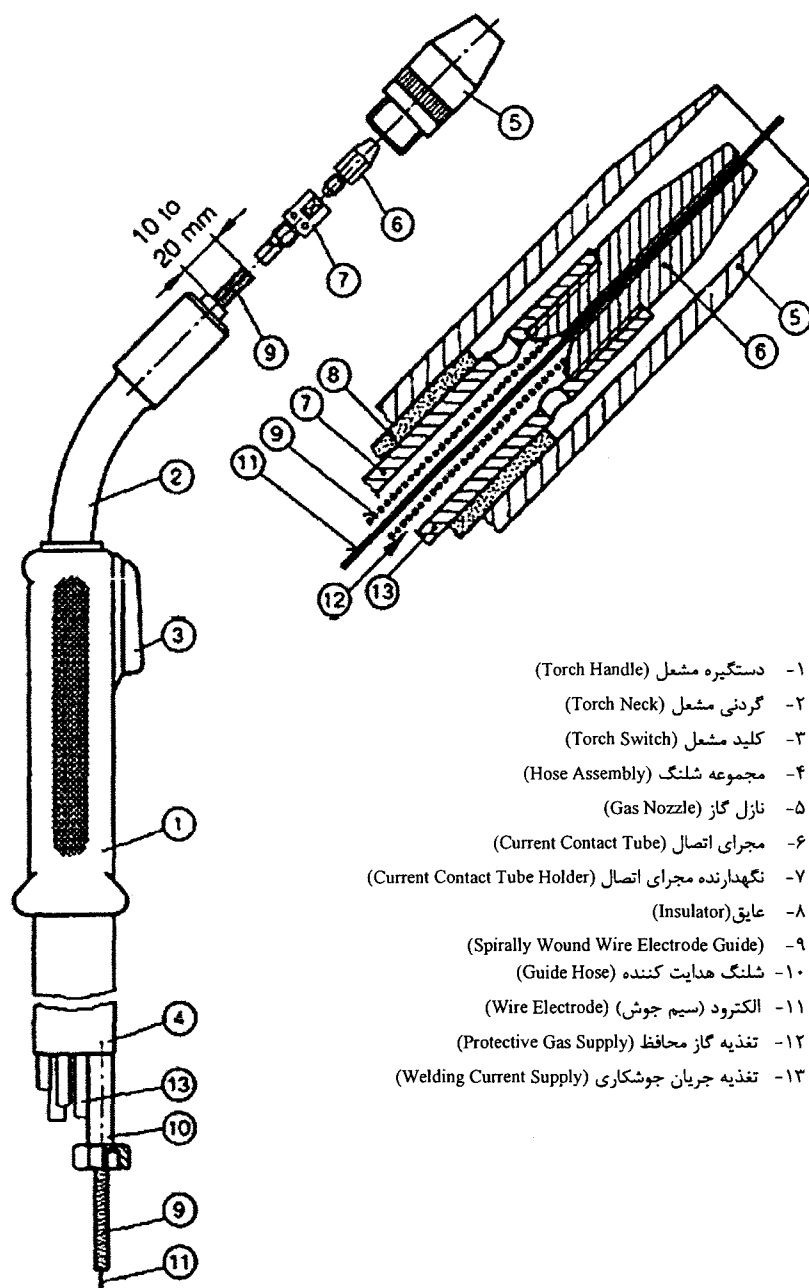
انتخاب می‌شود. مجرای اتصال باید در جای خود کاملاً محکم و دقیقاً در مرکز نازل گاز محافظ قرار گرفته باشد [۱].

کارکرد مناسب مجرای اتصال متأثر از عوامل مختلفی است که به برخی از آنها اشاره خواهد شد:

- طول قوس و فاصله مجرای اتصال از قوس
- دانسیته های جریان بالا
- جرقه و پاشش داخل مجرا و جرقه های چسبیده به بیرون آن
- پوشش ناهمگن سیم جوش و وجود شیار روی سطح آن
- ناخالصی‌هایی که روی سیم جوش در اثر اکسیداسیون، خوردگی، باقیمانده‌های فرآیند ساخت سیم جوش و سایش ناشی از سیستم تغذیه سیم جوش به وجود آمده‌اند.
- تغییر شکل مقطعی از سیم جوش
- خمیدگی و موج دار بودن سیم جوش
- جرقه زنی قوس در نوک مجرای اتصال و سیم جوش به جای سیم جوش و قطعه کار (تماس بین سیم جوش و قطعه کار بهتر از تماس بین سیم جوش و مجرای اتصال است)
- میزان طول موثر الکتروود^۱ (کاهش بیش از اندازه این طول موجب برگشت قوس^۲ و افزایش حرارت قوس می‌شود) [۵].

۱-Electrode Extension

۲-Burn Back Arc



- ۱- دستگیره مشعل (Torch Handle)
- ۲- گردنی مشعل (Torch Neck)
- ۳- کلید مشعل (Torch Switch)
- ۴- مجموعه شلنگ (Hose Assembly)
- ۵- نازل گاز (Gas Nozzle)
- ۶- مجرای اتصال (Current Contact Tube)
- ۷- نگهدارنده مجرای اتصال (Current Contact Tube Holder)
- ۸- عایق (Insulator)
- ۹- (Spirally Wound Wire Electrode Guide)
- ۱۰- شلنگ هدایت کننده (Guide Hose)
- ۱۱- الکتروود (سیم جوش) (Wire Electrode)
- ۱۲- تغذیه گاز محافظ (Protective Gas Supply)
- ۱۳- تغذیه جریان جوشکاری (Welding Current Supply)

شکل ۲۱: مشعل جوشکاری و مجموعه شلنگ [۳].

با توجه به عوامل ذکر شده واضح است که کیفیت سطحی و خلوص سیم جوش، دانسیته جریان و دمایی که در مجرای اتصال ایجاد می شود اثرات مهمی بر پایداری قوس و عمر مجرای اتصال دارد.



موادی که برای ساخت مجرای اتصال استفاده می شوند باید دارای شرایط زیر باشند:

- هدایت الکتریکی بالا
- سختی بالا به منظور کاهش سایش
- مقاوم در برابر سایش الکتریکی
- مقاوم در برابر رسوب مواد خارجی

استفاده از مس یا آلیاژهای آن به خصوص CuCr, CuCrZr, CuBe و یا آلیاژهای ویژه‌ای که فقط توسط فرآیند متالورژی پودر تهیه می‌شوند (CuWAg, CuW) می‌تواند خصوصیتی که مورد نیاز مجرای اتصال است را فراهم کند. از نقطه نظر هندسی بهتر است قطر داخلی مجرای اتصال در حدود ۰/۲۵-۰/۱۳ میلی‌متر بزرگ‌تر از قطر سیم جوش باشد. فقط برای سیم جوش‌های خیلی نرم استفاده از مجرای اتصال با قطر بیشتر توصیه شده است [۴].

۴-۱-۲- نازل گاز

نازل گاز ستونی یکنواخت از گاز محافظ را به منطقه جوش هدایت می‌کند. این جریان یکنواخت اهمیت زیادی در ایجاد محافظت کافی از فلز جوش مذاب در مقابل آلودگی هوا دارد. بنابراین نصب صحیح نازل گاز، آب بندی آن و تمیزکاری دوره‌ای نازل برای حذف جرقه و پاشش ناشی از جوشکاری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نازل‌ها دارای اندازه‌های متنوعی هستند که با توجه به نوع کاربرد، سرعت جریان گاز، مواد پایه، جریان جوشکاری، سرعت رسوب‌دهی و سرعت جوشکاری انتخاب می‌شوند. از نازل‌های بزرگتر هنگامی که میزان جریان، بالا و حوضچه بزرگ است و از نازل‌های کوچک‌تر هنگامی که مقدار جریان کم است و جوشکاری در حالت اتصال کوتاه انجام می‌شود، استفاده می‌گردد [۱،۴].

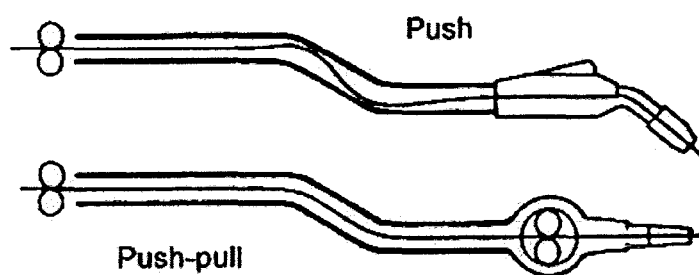
مجرای الکتروود و فنر تورچ به قرقره‌های واحد تغذیه سیم جوش اتصال دارند. مجرای الکتروود و فنر تورچ از سیم‌جوش حفاظت کرده و آن‌را از قرقره‌های تغذیه به سوی مشعل و مجرای اتصال هدایت می‌کنند. برای ایجاد قوسی پایدار، نباید در تغذیه سیم جوش وقفه‌ای ایجاد شود. از تاب برداشتن و کج شدن الکتروود نیز باید جلوگیری شود. اگر از الکتروود به درستی محافظت نشود بین قرقره‌های متحرک و مجرای اتصال مرتباً گیر خواهد کرد. فنر مشعل می‌تواند بخشی از مجرای الکتروود و یا قطعه‌ای مجزا باشد. جنس فنر مشعل و قطر داخلی آن بسیار مهم است. هنگامی که الکتروود از جنس موادی چون فولاد یا مس باشد، توصیه می‌شود از فنر مشعل فولادی استفاده شود.



هنگام استفاده از مواد نرمی چون آلومینیوم یا منیزیم، بهتر است از لوله‌های تفلونی استفاده شود. باید دقت شود که مجرای الکتروود بیش از حد خم نشود، حتی اگر سطح خارجی آن از فولاد باشد. سایر اجزاء، جریان جوشکاری، آب خنک کننده و گاز محافظ را مستقیماً به سمت مشعل می‌برند. این شیلنگ‌ها و کابل‌ها مستقیماً به منابع نیرو، آب و گاز و یا به کنترل جوشکاری متصل هستند. مجموعه شیلنگ شامل یک قاب خارجی دارای مجرای سیم، رساناها و شیلنگ‌های سیم جوش، جریان جوشکاری و گاز محافظ، به علاوه شیلنگ‌های تغذیه و برگشت برای مشعل‌های آب خنک هستند. طول مجموعه شیلنگ معمولاً ۳ تا ۴/۵ متر است.

مشعل از یک تغذیه کننده سیم جوش استفاده می‌کند که این واحد، سیم جوش را از قرقره آن در طول مجرای الکتروود در مسیری به طول حدود ۳/۷ متر به سمت مشعل می‌کشد. طرح‌های متنوع زیاد دیگری نیز موجود هستند. مثلاً یک واحد کوچک با مکانیزم تغذیه الکتروود که روی خود مشعل قرار می‌گیرد.

این سیستم می‌تواند الکتروود را از فاصله بیشتری به سمت مشعل بکشد^۱ و از کاربردهای آن می‌توان در تغذیه سیم جوش‌های آلومینیومی نرم، اشاره کرد. در این سیستم نسبت به سیستم‌های تغذیه جداگانه Push یا Pull، اصطکاک کمتر است (شکل ۲۲) [۱، ۵].



شکل ۲۲: سیستم تغذیه سیم جوش Push - Pull، Push [۵].

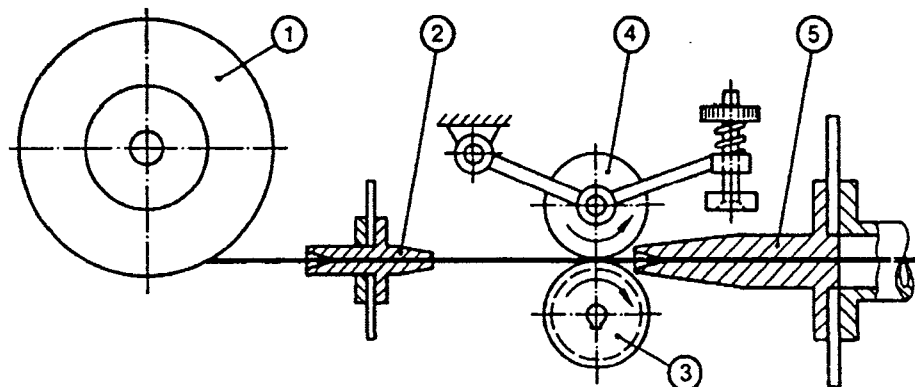
صرف‌نظر از نوع کاربرد، برای ایجاد حداکثر کاربری، انواع مختلف مشعل طراحی و تولید شده‌اند. مشعل‌های سنگین مخصوص کار با جریان بالا و مشعل‌های سبک برای کار با جریان کم و جوشکاری

^۱-Push-Pull Guns

در شرایط و مکان‌های نامناسب می‌باشد. برای هر نوع مشعل، نازل‌های مستقیم یا گلولی خمیده که توسط آب یا هوا خنک می‌شوند موجود است. انواعی که با هوا خنک می‌شوند (هوا-خنک) قابلیت کار تا ۶۰۰ آمپر جریان در سیکل کار مربوطه را دارا می‌باشند. مشعل‌هایی که با آب خنک می‌شوند (آب-خنک) کارایی بیشتری دارند انتخاب یکی از این دو نوع مشعل به فاکتورهایی چون جریان جوشکاری، سیکل کار، نوع جوش و نوع ماده پرکننده بستگی دارد. برای فرآیندهای نیمه اتوماتیک اغلب از مشعل گلولی خمیده استفاده می‌شود. این نوع مشعل در مکان‌هایی که در دسترس جوشکار قرار ندارند باعث تسهیل کار او می‌شوند. برای فرآیندهای اتوماتیک از انواع مستقیم آن استفاده می‌شود [۱،۲].

۲-۴- واحد تغذیه سیم جوش

واحد تغذیه سیم جوش دارای دو بخش اصلی است: قرقره یا درام سیم جوش و واحد تغذیه کننده (شکل ۲۳). قسمت قرقره دارای ترمز قابل تنظیمی است که بلافاصله بعد از توقف سیم جوش، حرکت قرقره را متوقف می‌کند. وظیفه تغذیه کننده، تغذیه سیم الکتروود با سرعت قابل تنظیم از طریق مجرای هدایت سیم، در مجموعه شیلنگ به سمت مشعل جوشکاری می‌باشد.



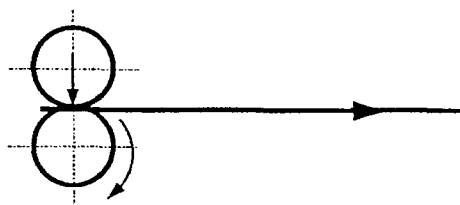
- ۱- قرقره سیم الکتروود (Wire Electrode)
- ۲- هدایت کننده سیم (Wire Guide)
- ۳- غلتک تغذیه کننده سیم (Wire Feed Roller Driver)
- ۴- غلتک فشار دهنده (Pressure Roller)
- ۵- هدایت کننده سیم به نازل (Wire Lead-In Nozzle)

شکل ۲۳: شماتیک یک واحد تغذیه سیم جوش [۳].



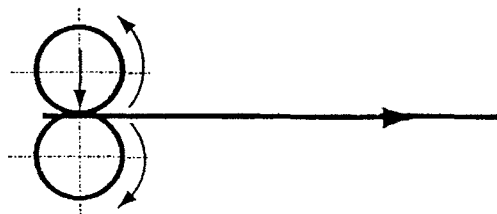
سیستم‌های تغذیه سیم جوش را می‌توان بر اساس تعداد غلتک‌های واقع در واحد تغذیه سیم جوش به صورت زیر طبقه‌بندی کرد:

۱- دو غلتک تغذیه که یکی ثابت و دیگری متحرک است. غلتک ثابت، غلتک فشار دهنده می‌باشد که به غلتک متحرک (غلتک تغذیه کننده) متصل نیست (شکل ۲۴).



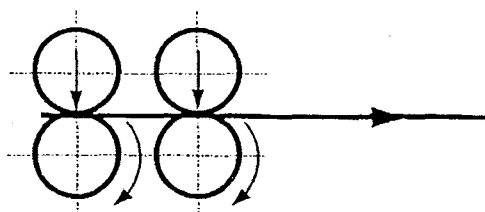
شکل ۲۴: واحد تغذیه سیم جوش با دو غلتک، یکی ثابت و دیگری متحرک [۴].

۲- دو غلتک متحرک که از موتور نیرو می‌گیرند. غلتک فشار دهنده به غلتک متحرک متصل می‌باشد (شکل ۲۵).



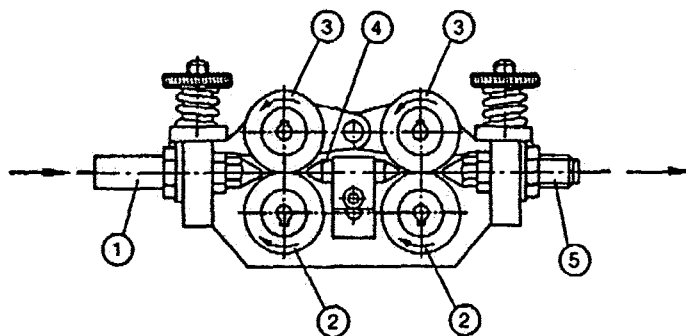
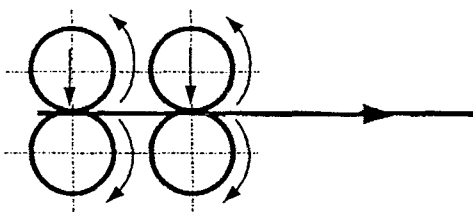
شکل ۲۵: واحد تغذیه سیم جوش با دو غلتک متحرک [۴].

۳- چهار غلتک که دو غلتک ثابت و دو غلتک متحرک می‌باشد. غلتک فشار دهنده به غلتک متحرک متصل نیست (شکل ۲۶).



شکل ۲۶: واحد تغذیه سیم جوش با چهار غلتک، دو تا ثابت و دو تای دیگر متحرک [۴].

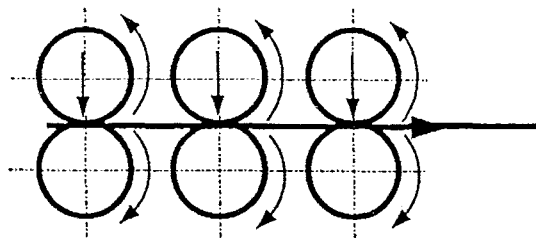
۴- چهار غلتک متحرک که از یک موتور نیرو می گیرند. غلتک فشار دهنده به غلتک متحرک متصل می باشد. (شکل ۲۷)



- ۱- نازل تغذیه کننده سیم
- ۲- غلتک تغذیه کننده سیم
- ۳- غلتک فشار دهنده
- ۴- هدایت کننده سیم
- ۵- هدایت کننده سیم به نازل

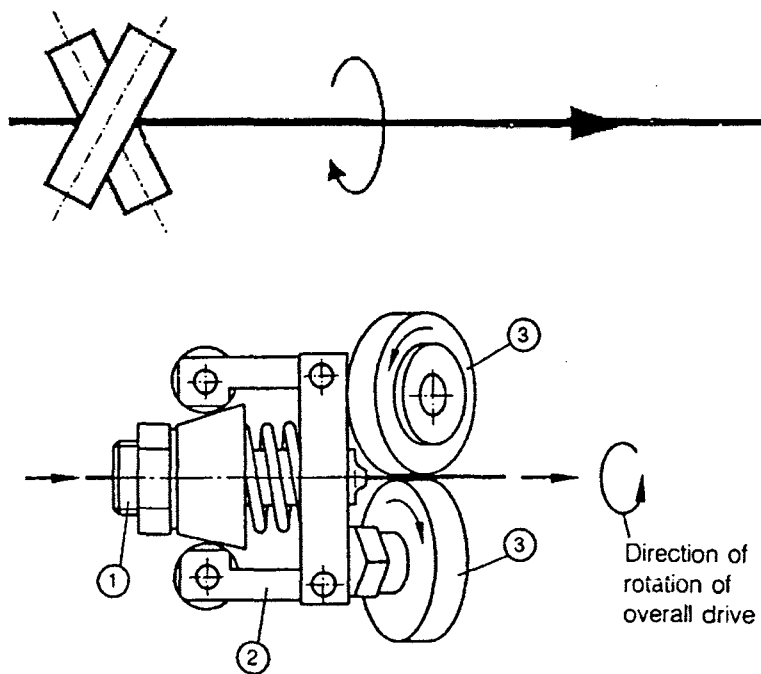
شکل ۲۷: واحد تغذیه سیم جوش با چهار غلتک متحرک [۳، ۴].

۵- شش غلتک متحرک، غلتک فشاردهنده متصل به غلتک متحرک می باشد (شکل ۲۸).



شکل ۲۸: واحد تغذیه سیم جوش با شش غلتک متحرک [۴].

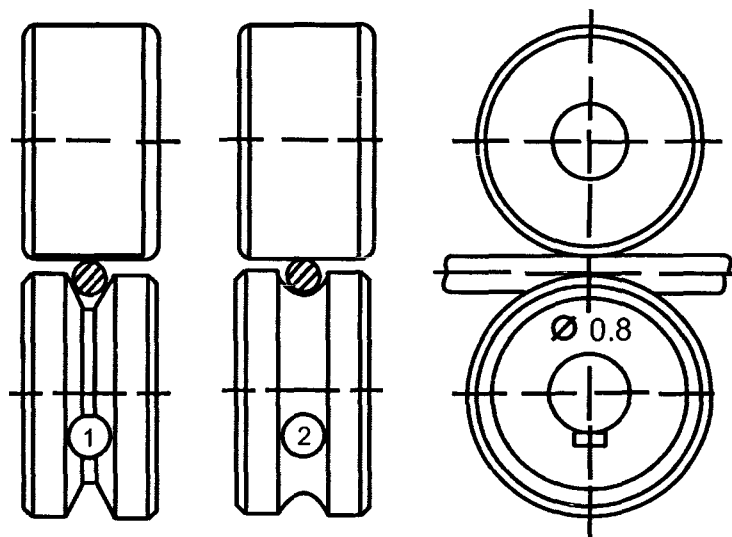
۶- دو غلتک متقاطع (شکل ۲۹)



شکل ۲۹: واحد تغذیه سیم جوش با دو غلتک متقاطع [۳، ۴].

انتقال نیروی تغذیه از غلتک تغذیه^۱ به سیم، توسط اصطکاک یا فک متحرک صورت می‌گیرد. در شکل ۳۰ نمونه هایی از شیارهای روی غلتک‌های تغذیه که نیروی تغذیه را به سیم توسط اصطکاک منتقل می‌کند، نشان داده شده است. غلتک‌هایی با شیار ۷ شکل برای سیم جوش‌های فولادی کاربرد دارند. این غلتک‌ها انتقال نیروی بسیار مناسبی دارند، اما در اثر عبور سیم جوش‌های نرم یا توپر از روی این غلتک‌ها، سطح سیم جوش‌ها آسیب می‌بینند. استفاده از غلتک‌های با شیار ۱۳ شکل راه حل مناسبی برای رفع این مشکل و استفاده از سیم جوش‌های نرمی مانند آلومینیوم می‌باشد [۴].

غلتک‌های تغذیه باید با قطر سیم جوشی که استفاده می‌شود، متناسب باشند، برخی غلتک‌ها دارای دو شیار با دو اندازه متفاوت هستند. لذا برای حصول از اطمینان از قرار گرفتن سیم جوش در شیار مناسب خود، تنها کافی است جای سیم جوش عوض شود و روی شیار دیگری قرار گیرد [۱].



شکل ۳۰: غلتک‌های تغذیه با انواع مختلف شیار [۳].

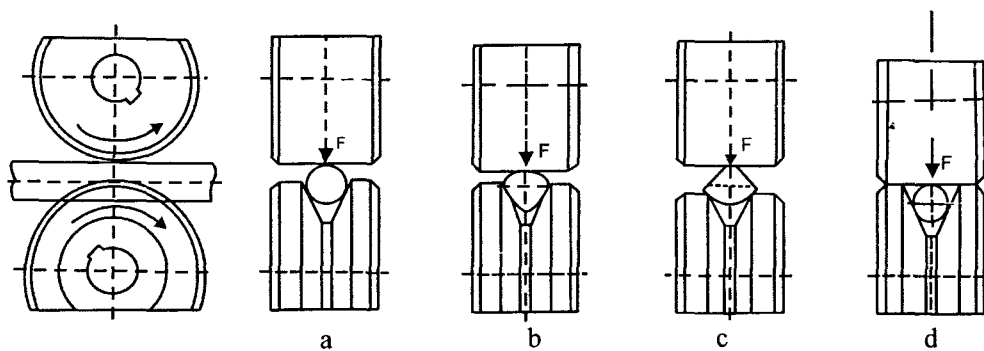
در ارتباط با سیم جوش‌های نرم و توپر، فشار تماسی و سایش ناشی از نیروی غلتک‌های تغذیه که مرتبط با نوع شیار می‌باشد نقش مهمی بر شکل سیم جوش دارد. اگر فشار تماسی زیاد باشد، سیم تغییر شکل می‌دهد (شکل ۳۱b) و در تغذیه سیم جوش و هدایت آن، همچنین در تماس با مجرای

۱-Driver

اتصال، مشکل ایجاد خواهد شد. در صورتی که شیار در مقایسه با قطر الکتروود کوچک باشد، پوسته‌ای تشکیل می‌شود که باعث بروز آسیب در هدایت کننده سیم و مجرای اتصال خواهد شد (شکل ۳۱c). همچنین این عیب موجب جراحات دست بدون محافظ اپراتور خواهد شد. اگر شیار به دلیل سایش یا انتخاب نادرست غلتک تغذیه بیش از حد بزرگ باشد (شکل ۳۱d)، نیروی تغذیه به طور مناسب انتقال پیدا نمی‌کند و سرعت تغذیه سیم ثابت نخواهد بود.

برخی از سیستم‌های تغذیه جهت انتقال نیرو از فک متحرک استفاده می‌کنند. در صورت کاربرد این غلتک‌ها احتمال پیچیدگی سطحی سیم وجود دارد که در نتیجه سرخوردن این سیم‌های موج‌دار در هدایت کننده سیم با مشکل مواجه خواهد شد.

هدایت کننده سیم، سیم جوش را از غلتک تغذیه به سمت مشعل جوشکاری هدایت می‌کند. جنس آن می‌تواند از فنر سیمی فولادی یا یک تیوب پلاستیکی باشد. تیوب پلاستیکی باعث اصطکاک کمتری می‌شود و برای سیم جوش‌های آلومینیومی و فولادهای کروم-نیکل پرایاز به کار می‌رود. اگر فاصله‌ای که سیم جوش از طریق هدایت کننده، باید طی کند زیاد باشد، مقاومت اصطکاکی سیم افزایش پیدا می‌کند و سرعت تغذیه سیم جوش ممکن است ثابت نباشد. به همین منظور سیستم‌های متنوعی تولید شد که موجب برطرف شدن مشکلات فوق گردید. این سیستم‌ها در شکل ۳۲ به صورت شماتیک نشان داده شده‌اند [۴].



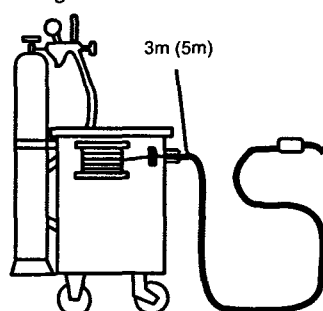
شکل ۳۱: اثر نوع شیار، فشار تماسی و سایش بر شکل سیم جوش [۴].

تغذیه کننده های نیمه اتوماتیک - سرعت ثابت سیم جوش، دارای کنترل کننده های الکتریکی هستند که راه‌اندازی منظم فرآیند، تنظیم اتوماتیک نوسانات ولتاژ و واکنش‌های لحظه‌ای کشیده شدن

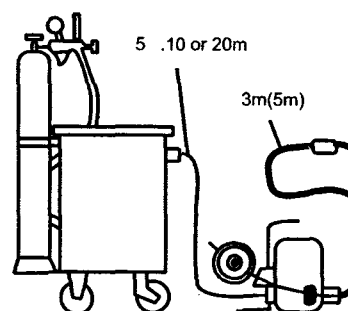
سیم را فراهم می کنند. این امر سبب راه اندازی مناسب قوس، به حداقل رسانیدن مقدار پاشش، جرقه و کنده شدن الکترود و تغذیه یکنواخت سیم جوش در طول جوشکاری می شود. برای محافظت بیشتر تجهیزات در مقابل آلودگی و هوا و افزایش طول عمر تغذیه کننده های سیم جوش، تمام آنها در یک جعبه واحد قرار می گیرند. سرعت تغذیه سیم جوش در تغذیه کننده های مختلف معمولاً بین ۱/۹ تا ۲۵ متر در دقیقه می باشد. مدل هایی وجود دارند که دارای یک ترمز دینامیکی هستند و هنگامی که کلید مشعل رها می شود، برای به حداقل رساندن میزان خمیدگی سیم جوش و سهولت دوباره برقرار شدن قوس، سریعاً تغذیه سیم جوش را متوقف می کند [۱].

Wire feed systems

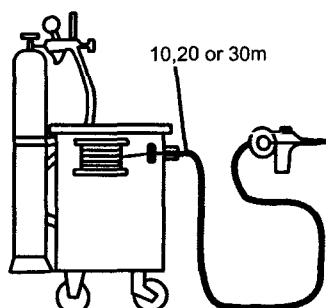
Welding booth unit



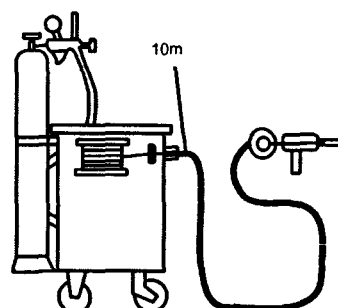
Universal unit



Small-coil unit



Push-pull unit



شکل ۳۲: سیستم های تغذیه سیم جوش [۳].



۳-۴- منبع تغذیه

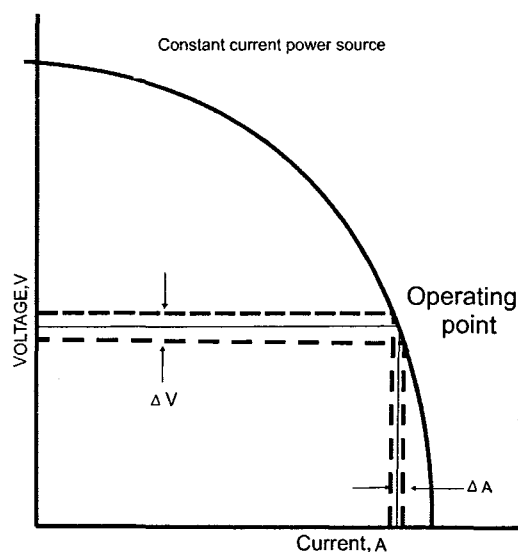
منبع تغذیه، نیروی الکتریکی لازم را برای ایجاد قوس به الکتروود و قطعه کار می‌رساند. در اغلب کاربردهای GMAW، از جریان مستقیم با قطبیت مثبت استفاده می‌شود. بنابر این کابل مثبت به مشعل و کابل منفی به قطعه کار متصل می‌شود. انواع اصلی منابع تغذیه جریان مستقیم عبارتند از:

۱- موتور-ژنراتور (چرخشی)

۲- ترانسفورماتور-رکتیفایر (استاتیک)

معمولاً در کاربردهای کارگاهی که منبع الکتریکی در دسترس قرار دارد، ترانسفورماتور-رکتیفایر ترجیح داده می‌شود. در حالی که از موتور-ژنراتور در کاربردهایی استفاده می‌شود که منبع الکتریکی در دسترس نمی‌باشد.

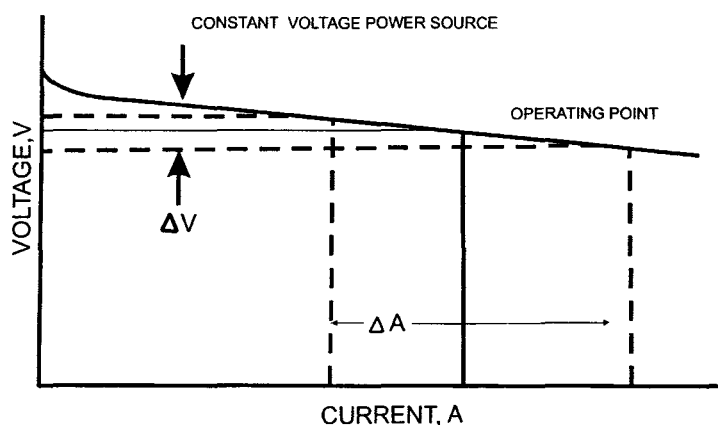
هر دو نوع منبع نیرو را می‌توان برای تامین جریان ثابت یا ولتاژ ثابت به کار برد. در کاربردهای اولیه فرآیند GMAW از منابع نیروی جریان ثابت استفاده می‌شد (که معمولاً به آنها Dooper اطلاق می‌شد). دوپرها در حین جوشکاری جریان تقریباً ثابتی را بدون توجه به تغییرات طول قوس، حفظ می‌کنند (شکل ۳۳). این دستگاه‌ها دارای ولتاژ مدار باز بالا و جریان‌های اتصال کوتاه کم می‌باشند. از آنجا که خروجی جریان این دستگاه‌ها تقریباً ثابت است، طول قوس فقط در حالتی ثابت می‌ماند که فاصله مجرای اتصال تا قطعه کار همراه با نرخ تغذیه سیم جوش، ثابت بماند.



شکل ۳۳: نسبت بین جریان-ولتاژ در منبع تغذیه جریان ثابت (CC) [۱].



با افزایش کاربردهای GMAW مشخص شد که ماشین های ولتاژ ثابت (CV) دارای عملکرد بهتری، مخصوصاً در مورد مواد آهنی می باشند. استفاده از منبع تغذیه ولتاژ ثابت (CV)، به همراه یک تغذیه کننده سیم جوش سرعت ثابت باعث ایجاد ولتاژ تقریباً ثابت در طول جوشکاری می شود. منحنی ولت - آمپر این نوع از منابع تغذیه در شکل ۳۴ نشان داده شده است. دلیل اصلی انتخاب منابع CV، طبیعت اتوماتیک تنظیم طول قوس در سیستم می باشد. در طول جوشکاری به دلیل افزایش یا کاهش جریان الکتریکی در ولتاژ ثابت، فاصله مجرای اتصال تا قطعه کار مرتباً تغییر می کند. سیستم ولتاژ ثابت، این تغییر فاصله را با تغییر طول موثر الکتروود تنظیم می کند. طول قوس مناسب با تنظیم ولتاژ، تثبیت می شود و معمولاً دیگر نیازی به انجام تغییرات بعدی در طول جوشکاری نمی باشد. سرعت تغذیه سیم جوش که نقش کنترل جریان را نیز بر عهده دارد، قبل از شروع جوشکاری توسط جوشکار تنظیم می شود تا مشکلاتی از قبیل پس سوختگی مجرای اتصال (ذوب سیم جوش در جوشکاری قوس خودکار یا نیمه خودکار به علت افزایش طول ناگهانی قوس) رخ ندهد.



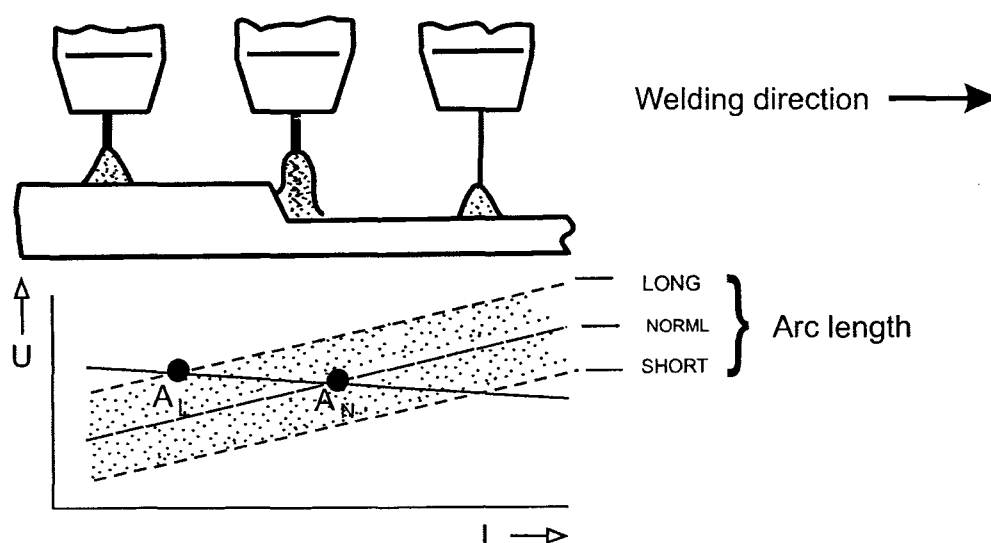
شکل ۳۴: نسبت بین جریان - ولتاژ در منبع تغذیه ولتاژ ثابت (CV) [۱].

در اشکال ۳۵ و ۳۶ مکانیزم خود اصلاحی^۱ منابع تغذیه ولتاژ ثابت نشان داده شده است. با افزایش فاصله مجرای اتصال تا قطعه کار، ولتاژ و طول قوس افزایش و جریان جوشکاری کاهش می یابند. افزایش این فاصله سبب کاهش سرعت مصرف (ذوب) الکتروود نیز می شود. به این دلیل که در این شرایط الکتروود سریعتر از زمان مصرف، تغذیه می شود. در این حالت طول قوس تا رسیدن به

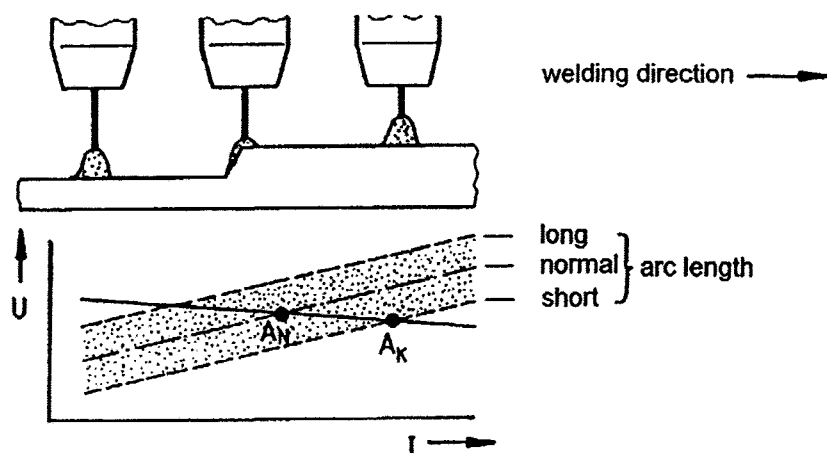
^۱-Self-Correction



طولی کوتاه‌تر از طول از پیش تعیین شده (با افزایش طول مؤثر الکتروود) کاهش می‌یابد. عکس این حالت نیز زمانی که فاصله مجرای اتصال تا قطعه کار کاهش می‌یابد صادق است. تغییرات بزرگتر در جریان و سرعت مصرف الکتروود در منابع تغذیه ولتاژ ثابت (CV) مخصوصاً در مورد الکترودهای آهنی، یک مزیت به شمار می‌رود. از آنجا که ΔA برای هر ΔV در منابع تغذیه جریان ثابت، بسیار کوچک است، این منابع تغذیه دارای سرعت کافی برای انجام این نوع اصلاحات نمی‌باشند.



شکل ۳۵: مکانیزم خود اصلاحی طول قوس در صورت افزایش فاصله مجرای اتصال تا قطعه کار [۳].



شکل ۳۶: مکانیزم خود اصلاحی طول قوس در صورت کاهش فاصله مجرای اتصال تا قطعه کار [۳].

۴-۳-۱- متغیرات منبع تغذیه

خاصیت خود اصلاحی قوس در منبع تغذیه ولتاژ ثابت (CV) اهمیت زیادی در ایجاد شرایط پایدار جوشکاری دارد. اما تنظیمات بعدی دیگری نیز جهت ایجاد بهترین شرایط ممکن جوشکاری ضروری هستند. این تنظیمات در جوشکاری اتصال کوتاه اهمیت بیشتری دارند.

• ولتاژ قوس

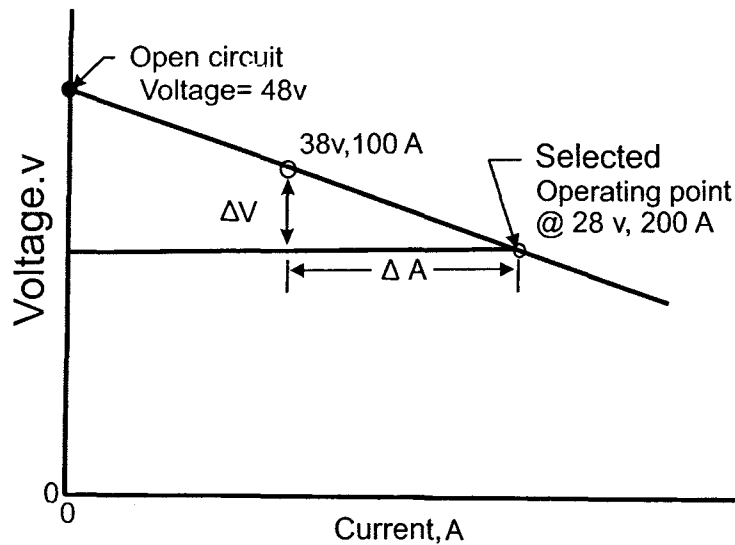
ولتاژ قوس، پتانسیل الکتریکی موجود بین الکترود و قطعه کار است. از آنجا که در سراسر منبع تغذیه افت ولتاژهای زیادی در اتصالات و در طول کابل‌ها صورت می‌گیرد، ولتاژ قوس کمتر از ولتاژ اندازه گیری شده در منبع نیرو می‌باشد. تغییر در ولتاژ قوس، متناسب با تغییر در طول قوس می‌باشد، بنابراین هر گونه افزایش یا کاهش ولتاژ خروجی منبع تغذیه باعث افزایش یا کاهش طول قوس خواهد شد.



• شیب

خواص استاتیک ولت-آمپر (خروجی استاتیک) یک منبع نیروی CV در شکل ۳۴ نشان داده شده است. شیب خروجی، شیب جبری منحنی ولت-آمپر است و به صورت افت ولتاژ در ازای هر ۱۰۰ آمپر افزایش جریان نشان داده می‌شود.

دو نقطه عملیاتی برای محاسبه شیب یک سیستم جوشکاری پتانسیل ثابت مورد نیاز است که در شکل ۳۷ نشان داده شده است. بهتر است از ولتاژ مدار باز به عنوان یکی از نقاط استفاده نشود زیرا افت ولتاژ زیادی در برخی دستگاه‌ها در جریان‌های پایین اتفاق می‌افتد (شکل ۳۴).



$$\text{Slope} = \frac{\Delta V}{\Delta A} = \frac{38 \text{ V} - 28 \text{ V}}{100 \text{ A}} = \frac{10 \text{ V}}{100 \text{ A}}$$

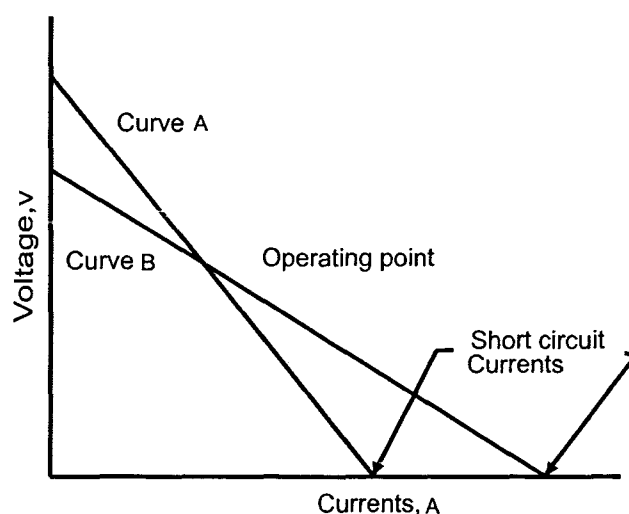
شکل ۳۷: محاسبه شیب یک منبع تغذیه [۱].

شیب عامل مهمی در جوشکاری با انتقال فلز به صورت اتصال کوتاه می‌باشد، بدین صورت که کنترل مقدار جریان اتصال توسط شیب انجام می‌شود. جریان اتصال کوتاه (و در نتیجه اثر نیروی پینچ که جدا شدن قطرات مذاب از الکترود، توسط آن کنترل می‌شود) تابعی از شیب منحنی ولت آمپر منبع نیرو می‌باشد. همانطور که در شکل ۳۸ مشاهده می‌شود، ولتاژ کاری و آمپراژ دو منبع نیرو مشابه است، اما در اتصال کوتاه جریانی که منحنی A نشان می‌دهد کمتر از جریانی است که منحنی B



نشان می‌دهد. منحنی A دارای شیب تندتری است، یا به عبارت دیگر به ازای هر ۱۰۰ آمپر افزایش جریان، افت ولتاژ آن بیشتر است و در نتیجه جریان اتصال کوتاه و اثر پینچ در آن کمتر است. در انتقال اتصال کوتاه مقدار جریان اتصال کوتاه مهم است زیرا اثر پینچ، نوع جدا شدن قطره مذاب از الکتروود را تعیین می‌کند. وقتی شیب کم است یا وجود ندارد، جریان اتصال کوتاه به سرعت افزایش پیدا کرده و به مقدار زیادی می‌رسد. در این حالت اثر نیروی پینچ نیز زیاد خواهد بود و به همین دلیل قطره مذاب، بدون اینکه اتصال کوتاهی صورت گیرد، به طور ناگهانی از سیم جدا می‌شود و در نتیجه پاشش بسیار زیادی حاصل خواهد شد.

زمانی که جریان اتصال کوتاه به دلیل شیب زیاد، کم باشد، الکتروود کل جریان را منتقل می‌کند، اما ممکن اثر پینچ برای جدا کردن قطره و برقراری مجدد قوس کم باشد، در این شرایط یا سیم جوش روی قطعه جمع می‌شود یا در حوضچه منجمد می‌شود. بنابراین به مقدار بهینه‌ای از شیب جهت انتقال اتصال کوتاه، نیاز می‌باشد تا جدا شدن قطره مذاب آرام و با بی‌نظمی کمی صورت گیرد.



شکل ۳۸: تاثیر تغییر شیب [۱].

جریان معمول اتصال کوتاه برای انتقال فلز با بهترین پایداری قوس، برای فولادهای کربنی و آلومینیم در جدول ۴ آمده است.



بسیاری از منابع نیروی پتانسیل ثابت مجهز به تنظیمات شیب هستند. در این دستگاه‌ها مقدار مطلوب جریان اتصال کوتاه برای کاربرد مورد نظر تعیین می‌شود.

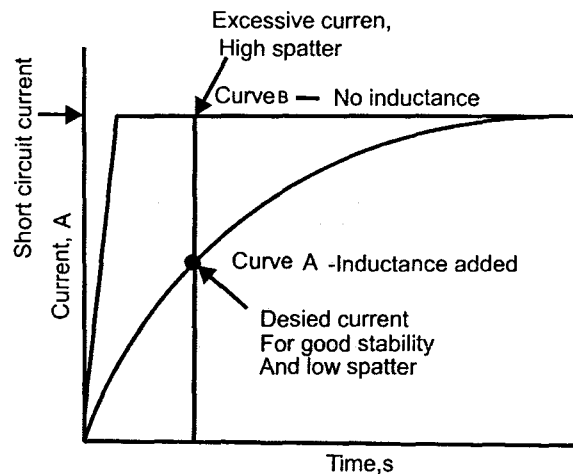
جدول ۴: نمونه هایی از جریان جوشکاری مورد نیاز برای انتقال فلز در حالت اتصال کوتاه [۱].			
Electrode Material	Electrode Diameter		Short Circuit Current, Amperes (dcrp)
	in	mm	
Carbon steel	۰,۰۳۰	۰,۸	۳۰۰
Carbon steel	۰,۰۳۵	۰,۹	۳۲۰
Aluminum	۰,۰۳۰	۰,۸	۱۷۵
Aluminum	۰,۰۳۵	۰,۹	۱۹۵

• اندوکتانس

هنگامی که الکتروود با حوضچه جوش تماس برقرار می‌کند یا بار الکتریکی در یک منبع تغذیه تغییر می‌کند، زمان محدودی صرف می‌شود تا جریان به سطح جدید خود برسد. اولین خصوصیت مدار که عامل این تاخیر زمانی است اندوکتانس می‌باشد. واحد این متغیر منبع تغذیه، هنری^۱ می‌باشد. اثر اندوکتانس در منحنی های شکل ۳۹ نشان داده شده است. در منحنی A، نمونه‌ای از نمودار جریان - زمان هنگام افزایش جریان از صفر به بالاترین حد رسم شده است. افزایش جریان در این منحنی به صورت نمایی است. در منحنی B، مسیر جریان به صورتی است که در مدار اندوکتانس وجود ندارد.

حداکثر میزان اثر پینچ توسط مقدار نهایی جریان اتصال کوتاه تعیین می‌شود. اثر لحظه‌ای نیروی پینچ توسط جریان لحظه ای کنترل می‌شود و در نتیجه شکل منحنی جریان - زمان قابل توجه خواهد بود. اندوکتانس در مدار، نرخ افزایش جریان را کنترل می‌کند.

^۱-Henry



شکل ۳۹: تغییر در نرخ افزایش جریان به علت افزایش اندوکتانس [۱].

بدون اندوکتانس اثر نیروی پینچ به سرعت اعمال می‌شود و قطره مذاب به شدت روی الکتروود فشرده شده، به طور ناگهانی از الکتروود جدا می‌شود و جرقه و پاشش زیادی ایجاد می‌کند. هر چه اندوکتانس بیشتر باشد، تعداد انتقال های اتصال کوتاه فلز در هر ثانیه کاهش و زمان برقراری قوس نیز افزایش می‌یابد. این افزایش زمان برقراری قوس، باعث روان تر شدن حوضچه مذاب و ایجاد یک درز جوش صیقلی تر و هموارتر می شود. عکس آن نیز هنگامی که اندوکتانس کاهش می‌یابد، صادق است. در جوشکاری انتقال اسپری، افزایش اندوکتانس باعث ایجاد قوسی یکنواخت و پایدارتر، بدون کاهش سطح جریان نهایی می‌شود. وجود اندوکتانس بیش از حد در منبع تغذیه باعث کنده شدن الکتروود در راه اندازی کار می‌شود. (مگر اینکه در یک مدار، راه اندازی ویژه برای تغذیه کننده در نظر گرفته شود).

تنظیمات منبع تغذیه برای کاهش پاشش و جرقه، با اندازه و جنس الکتروود تغییر می‌کند. به عنوان یک قانون کلی هم میزان جریان اتصال کوتاه و هم میزان اندوکتانس مورد نیاز برای اثر پینچ ایده آل، با افزایش قطر الکتروود، بیشتر می‌شوند.

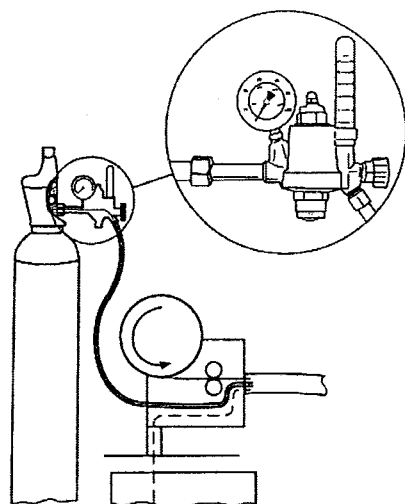


۴-۴- مخزن گاز محافظ

گاز محافظ جوشکاری را از ۳ طریق می توان تامین نمود:

- از یک سیلندر گاز
- از یک انشعاب گاز^۱
- به صورت گاز مایع از تانک گاز

انواع دوم و سوم تامین گاز، مستلزم این هستند که کاربر، یک سیستم توزیع گاز متمرکز در اختیار داشته باشد که از آنجا، گاز از طریق چندین مجرای خروجی قابل دسترسی باشد. در شکل ۴۰، چگونگی تامین گاز از یک سیلندر گاز نشان داده شده است. سیلندر گاز به واحد تغذیه سیم جوش، که از آن گاز محافظ از طریق مجموعه شیلنگ به نازل گاز محافظ روی مشعل منتقل می شود، متصل است. یک شیر برقی مقدار جریان گاز را هنگام آغاز و پایان جوشکاری کنترل می کند.

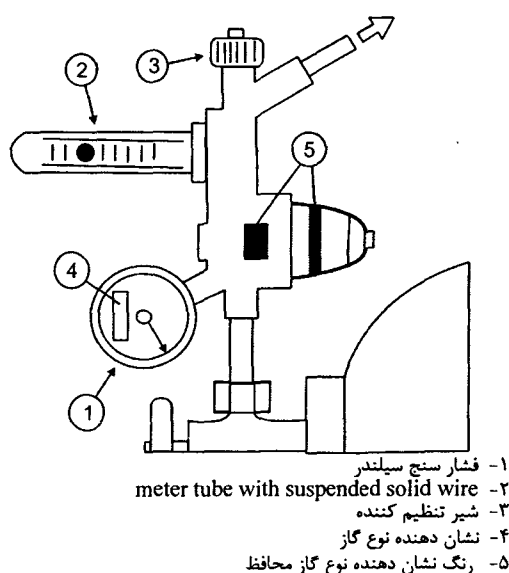


شکل ۴۰ : تغذیه گاز از یک سیلندر گاز [۲].

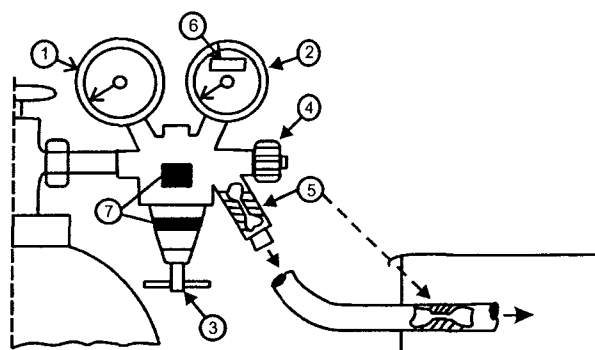
^۱ - Manifold

فشار گاز در یک سیلندر گاز محافظ پر، حدود ۲۰۰ bar می‌باشد. برای کاهش این فشار، تا رسیدن به یک فشار مناسب باید یک رگولاتور روی سیلندر گاز نصب شود (شکل ۴۱). با نصب رگولاتور می‌توان مطمئن شد که سرعت جریان گاز در هر لحظه ثابت است. معمولاً رگولاتورها و فشارسنج‌ها در انواع مختلف و برای گازهای متفاوت طراحی شده‌اند. لذا از آنها باید تنها برای همان گاز مورد نظر استفاده شود. در غیر این صورت، به این دلیل که گازهای مختلف دارای چگالی‌های مختلف هستند، میزان فشار نادرست اعلام می‌شود [۲].

رگولاتورها می‌توانند تک مرحله‌ای یا دو مرحله‌ای و دارای یک جریان‌سنج نیز باشند. رگولاتورهای دو مرحله‌ای، در زمان تغییر فشار در منبع گاز را با فشار دقیق‌تری نسبت به رگولاتورهای تک مرحله‌ای منتقل می‌کنند (شکل ۴۲) [۱].



شکل ۴۱: رگولاتور تک مرحله‌ای [۳].



- ۱- فشارسنج سیلندر
- ۲- فشارسنج جریان گاز
- ۳- پیچ تنظیم فشار
- ۴- شیر قطع کن
- ۵- Pitot Tube
- ۶- نشان دهنده نوع گاز
- ۷- رنگ نشان دهنده نوع گاز محافظ

شکل ۴۲: رگولاتور دو مرحله‌ای [۵].

۴-۵- واحد کنترل

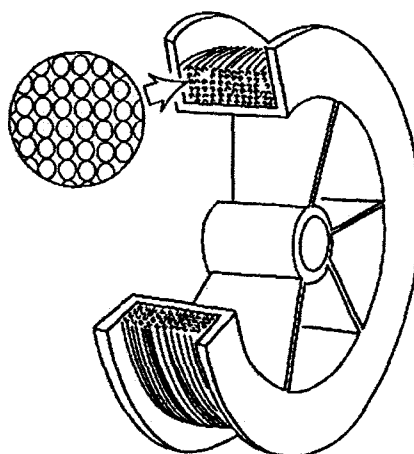
در فرآیندهای نیمه اتوماتیک، کنترل جوشکاری و موتور تغذیه سیم جوش در یک جعبه واحد قرار دارند (شکل ۲۰). وظیفه اصلی کنترل جوشکاری تنظیم سرعت موتور تغذیه سیم جوش از طریق استفاده از سیستم کنترل الکترونیکی می باشد. سرعت موتور به صورت دستی قابل تنظیم است و می توان آن را در سرعت های متنوعی قرار داد که به همراه یک منبع تغذیه ولتاژ ثابت (CV) منجر به ایجاد جریان های الکتریکی متفاوت می شوند. کنترل از طریق سیگنال های دریافتی از کلید، آغاز و پایان جوشکاری را نیز تنظیم می کند. با استفاده از سولونوئیدها، جریان گاز و آب نیز همزمان با آغاز و پایان جوشکاری تنظیم می شود. کنترل همچنین می تواند ضمن تنظیم توالی آغاز و پایان جریان، جهت حفاظت از حوضچه جوش مذاب، مقدار کمی گاز به عنوان گاز بعد از جریان جاری نماید.

۴-۶- منبع الکترو

در فرآیند GMAW از یک الکترو با تغذیه پیوسته استفاده می‌شود که با سرعت نسبتاً زیادی مصرف می‌شود. بنابراین منبع الکترو باید دارای حجم زیادی از سیم آماده تغذیه به مشعل باشد تا فرآیند حداکثر بازدهی را داشته باشد.

این منبع معمولاً به صورت قرقره‌ای است که حدوداً حاوی ۲۷-۴۵ kg سیم می‌باشد (شکل ۴۳).

قرقره‌های بزرگ‌تر با ظرفیت ۱۱۴ kg نیز وجود دارد. در تجهیزاتی که قرقره روی مشعل قرار می‌گیرد، از قرقره‌های کوچک با ظرفیت ۹-۰/۴۵ kg استفاده می‌شود.



شکل ۴۳: بسته بندی سیم جوش روی قرقره به صورت ردیف پیچ [۱].

۵- مواد مصرفی

علاوه بر برخی از قسمت‌های تجهیزات که فرسوده می‌گردند و باید تعویض شوند، الکترودها و گاز محافظ نیز در GMAW جزء مواد مصرف شمرده می‌شوند. ترکیب شیمیایی الکترو، فلز پایه و گاز محافظ، ترکیب شیمیایی فلز جوش را تعیین می‌کند. ترکیب فلز جوش نیز نقش عمده‌ای در تعیین خواص شیمیایی و مکانیکی جوش دارد. عوامل زیر در انتخاب گاز محافظ و سیم جوش مؤثر می‌باشند:



- ۱- فلز پایه
- ۲- خواص مکانیکی مورد نظر فلز جوش
- ۳- شرایط و تمیزی فلز پایه
- ۴- نوع خدمات یا کاربرد مورد نظر
- ۵- موقعیت جوش
- ۶- حالت انتقال فلز

۵-۱- سیم جوش‌ها

در مهندسی جوش، از فلزات پرکننده برای ایجاد رسوب جوش با دو هدف عمده استفاده می‌شود:

- ۱- رسوبی با خصوصیات مکانیکی کاملاً مشابه با فلز پایه
- ۲- رسوب جوش بی عیب، بدون ناپیوستگی

یک رسوب جوش حتی اگر دارای ترکیبی همانند فلز پایه باشد، دارای خصوصیات متالورژیکی متفاوتی است. بنابراین هدف اول، ایجاد رسوب جوشی است که دارای ترکیبی باشد که خصوصیات آن مشابه یا حتی بهتر از خصوصیات فلز پایه باشد. هدف دوم، معمولاً با استفاده از الکتروود پرکننده‌ای که فرمولاسیون آن ایجاد کننده یک رسوب بی عیب باشد حاصل می‌شود.

ترکیب پایه سیم جوش به گونه ای طراحی می‌شود که حداقل با یک یا چند مورد از خصوصیات فلز پایه یعنی:

- ۱- خصوصیات شیمیایی
 - ۲- استحکام
 - ۳- رسانایی
 - ۴- دوام
- سازگار باشد.

موارد دیگری چون خوردگی، عملیات حرارتی، مقاومت به سایش، رنگ و... را نیز می‌توان مد نظر داشت. لیکن تمام این ملاحظات نسبت به سازگاری متالورژیکی فلز پایه و فلز پرکننده در درجه دوم اهمیت قرار دارند.



امروزه از مشخصاتی که AWS (انجمن جوشکاری آمریکا) برای فلزات پرکننده تدوین کرده است، استفاده می شود. جدول ۵ راهنمای مناسبی برای آشنایی با فلز پایه و فلز پرکننده، به همراه کد شناسایی آنها در AWS می باشد.

الکتروود باید ملزومات فرآیند مانند استحکام، رفتار انتقال فلز و خصوصیات انجماد را برآورده کند. اکسیژن زداهای یا سایر عوامل برای جبران واکنش های فلز پایه با اکسیژن، نیتروژن و هیدروژن موجود در هوای اطراف یا فلز پایه اضافه می شوند. اکسیژن زداهایی که به طور متداول در فولاد استفاده می شوند، سیلیسیم و منگنز می باشند. در برخی الکتروودها، از آلومینیوم به عنوان اکسیژن زدا و از تیتانیم و زیرکونیم به عنوان نیتروژن زدا استفاده می شود. در الکتروودهای آلیاژ نیکل معمولاً از تیتانیم و زیرکونیم به عنوان نیتروژن زدا استفاده می شود. الکتروودهای آلیاژ نیکل معمولاً از تیتانیم و سیلیسیم به عنوان اکسیژن زدا و در آلیاژهای مس از تیتانیم یا فسفر به همین منظور استفاده می شود.

الکتروودهای به کار رفته در فرآیند GMAW در مقایسه با الکتروودهای جوشکاری قوس زیرپودری و جوشکاری با الکتروودهای توپودری دارای قطر کمتری هستند. قطر متداول سیم ها 0.9mm تا 1.6mm می باشد. با این وجود الکتروودهایی با قطر 0.5mm و $3/2\text{mm}$ نیز ممکن است مورد استفاده قرار گیرند. از آنجا که قطر الکتروودها کم و میزان جریان نسبتاً بالاست، نرخ تغذیه سیم در GMAW زیاد است. این نرخ برای بیشتر فلزات به جز منیزیم در حدود 40mm/s تا 340mm/s است. نرخ تغذیه منیزیم 590mm/s می باشد.

۵-۱-۱- انواع سیم جوش ها

• سیم جوش های توپر^۱

به طور کلی سیم جوش های توپر برای انجام جوشکاری الکتریکی با گاز محافظ کاربرد فراوانی دارند. این سیم جوش ها توسط فرآیند کشش سیم تولید شده و در اندازه ها، جنس ها و انواع پوشش و بسته بندی های مختلف در اختیار مصرف کنندگان قرار می گیرند. سیم جوش های مورد نیاز در جوشکاری GMAW، در قطرهای مختلف تولید و برای بسته بندی روی قرقره های مخصوص مطابق استانداردهای ویژه و وزن های مختلف پیچیده می شوند. اغلب سیم جوش ها و مفتول های فولاد زنگ نزن را به وسیله لایه نازکی از مس پوشش دهی می کنند. این پوشش علاوه بر حفاظت سطح سیم یا مفتول

^۱-Solid Wire



جوش، از زنگ زدگی و آلودگی نیز جلوگیری کرده، به برقراری بهتر و پایدارتر جریان الکتریسیته و قوس الکتریکی کمک می کند.

جدول ۵: کد شناسایی AWS برای سیم جوشهای GTAW [۱]	
کد شناسایی	عنوان
A۵,۲	مفتول های جوش گازی فولاد و آهن
A۵,۷	الکترودها و مفتول های بدون روکش مس و آلیاژهای مس
A۵,۹	مفتول ها و الکترودهای استاندارد جوشکاری قوسی، هسته فلزی مرکب و فولاد، نیکل، کرم بدون عایق و کرم مقاوم در برابر خوردگی
A۵,۱۰	الکترودهای بدون عایق و مفتول های جوشکاری آلومینیم و آلیاژهای آلومینیم
A۵,۱۳	الکترودها و مفتول های جوشکاری سطحی
A۵,۱۴	الکترودها و مفتول های بدون عایق جوشکاری نیکل و آلیاژهای نیکل
A۵,۱۶	الکترودها و مفتول های بدون عایق جوشکاری تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم
A۵,۱۸	الکترودهای فولاد نرم برای GMAW
A۵,۱۹	الکترودها و مفتول های بدون عایق جوشکاری منیزیم و آلیاژهای آن
A۵,۲۱	الکترودها و مفتول های جوشکاری سطحی مرکب (الکترودهای کمپوزیتی)
A۵,۲۴	الکترودها و مفتول های بدون عایق جوشکاری زیرکونیم و آلیاژهای زیرکونیم

• سیم جوش های توپودری^۱

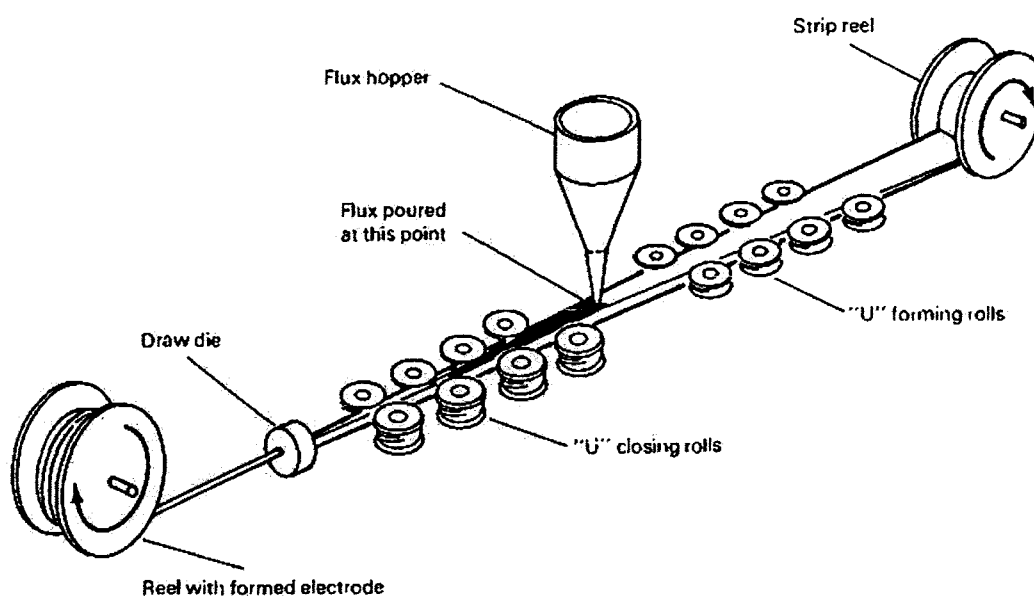
یک سیم جوش توپودری اغلب شامل یک لوله از جنس فولاد کربنی کم کربن و بعضی مواقع نیکل و آلیاژهای پایه نیکل و مقادیری پودر شامل عناصر آلیاژی تکمیلی است که در داخل لوله قرار گرفته و فشرده شده است. برای تولید این سیم جوش ها دو روش موجود است:

در روش اول، ابتدا یک تسمه^۲ از جنس فولاد کربنی کم کربن با غلتک های فرم دهنده شکل داده شده و به شکل U درمی آید (شکل ۴۴). محاسبه اندازه های خم کاری، به قطر مورد نظر نهایی از سیم جوش و مقدار پودری که قرار است در داخل آن قرار گیرد، بستگی دارد. سپس پودر از قبل تهیه شده، درون مقطع U شکل ریخته شده و پس از آن ادامه مراحل شکل دهی لوله پی گرفته شده و به صورت مقطع O شکل در آورده می شود (شکل ۴۵). در بعضی روش ها، پس از تبدیل تسمه به لوله، یک

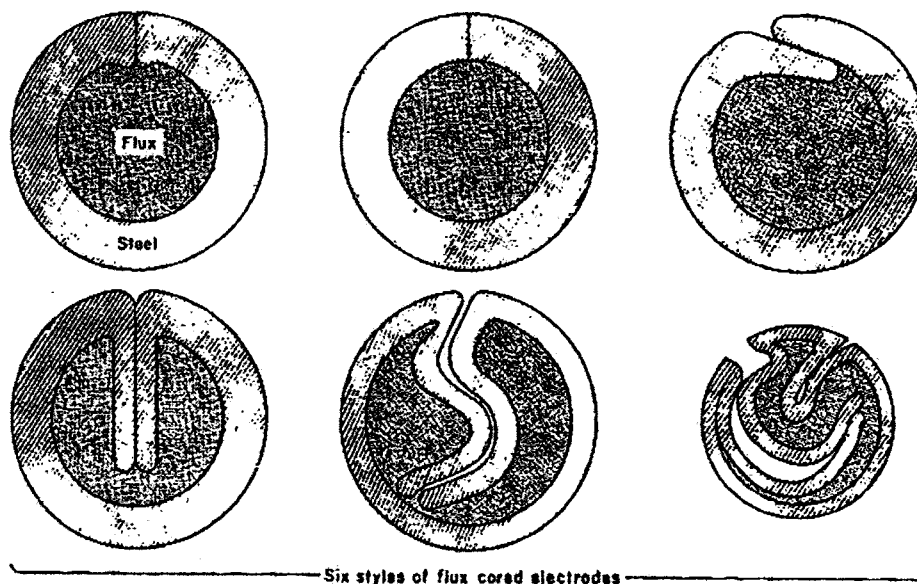
^۱-Flux Cored Wire

^۲-Strip

مرحله عملیات کشش نیز انجام شده و قطر نهایی سیم جوش از این طریق کاهش می‌یابد. قطرهای استاندارد برای سیم جوش‌های توپودری که با این روش تولید می‌گردند اغلب بین ۰/۸ تا ۴ میلی‌متر متغیرند، هر چند که برخی سازنده‌ها سیم جوش‌های توپودری ضخیم‌تری نیز تولید می‌کنند. در انتها، سیم جوش توپودری تولیدی دور قرقره یا به صورت کلاف دایره‌ای پیچیده می‌شود و در پلاستیک‌های ضد رطوبت قرار داده شده و مجموعه آن در کارتن‌های مقوایی قرار داده می‌شود [۶]. این نوع سیم جوش‌ها را نمی‌توان پوشش دهی کرد. زیرا به دلیل وجود درز، مایعات فرآیند پوشش دهی با پودر داخل تیوب مخلوط می‌شود و خواص آن را تغییر می‌دهد [۴].



شکل ۴۴: فرآیند ساخت الکترودهای توپودری [۷].



شکل ۴۵: سطوح مقطع انواع سیم جوش‌های توپودری [۶].

در روش دوم تیوب‌هایی با قطر زیاد توسط فلاکس یا پودر فلزی پر شده سپس تا رسیدن به قطر نهایی سیم جوش کشیده می‌شوند. این سیم جوش‌ها بدون درز بوده و می‌تواند توسط مس پوشش داده شوند [۴]. هسته سیم جوش‌های توپودری توسط پودر فلاکس^۱ یا پودر فلزی^۲ همراه با یک سری مواد پایدارکننده پر می‌شوند، بر اساس استفاده یا عدم استفاده از ماده محافظ اضافی در جریان جوشکاری، سیم جوش‌های توپودری به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند:

۱- سیم جوش‌های توپودری خود حفاظ Self- Shielded Flux Cored Wires

۲- سیم جوش‌های توپودری تحت محافظت گاز Gas-Shielded Flux Cored Wires

۳- سیم جوش‌های توپودری تحت محافظت پودر اضافی Flux-Shielded Cored Flux Wires

سیم جوش‌های توپودری خود محافظ در زمانی که از گاز محافظ استفاده نمی‌شود، کاربرد دارند. محافظت از حوضچه جوش توسط این سیم جوش‌ها با اضافه کردن مواد تشکیل دهنده گازهای ویژه‌ای

۱-Flux Cored Wire

۲-Metal Cored Wire



در پودر، به عمل می‌آید. عیب عمده این نوع سیم جوش‌ها، تولید زیاد ترشحات، جرقه و بخارات جوشکاری است که استفاده از آنها را در موارد خارج کارگاهی محدود می‌کند.

در سیم جوش های توپودری، پودر داخل سیم، مانند روکش الکترودهای دستی دارای مزایا و کاربردهای بسیاری است که مهم ترین آنها عبارتند از:

۱- در اثر سوختن و تولید گاز محافظ، حوضچه جوش را از ورود گازهای محیطی به ویژه اکسیژن و هیدروژن حفاظت می‌نماید.

۲- با تشکیل سرباره روی سطح فلز جوش، از تاثیر گازها و ناخالصی‌های محیطی روی حوضچه جوش در جریان انجماد جلوگیری به عمل آورده و از سریع سرد شدن آن نیز جلوگیری به عمل می‌آورند.

۳- موجب پایداری قوس الکتریکی و کاهش جرقه های جوش می‌شوند.

۴- افزودن عناصر آلیاژی مورد نیاز به ساختار جوش، برای دستیابی به ترکیبات آلیاژی متنوع برای جوشکاری انواع آلیاژها، به منظور رسیدن به خواص مکانیکی مطلوب می‌تواند توسط فلاکس صورت گیرد.

یکی از مهم ترین پارامترهای قابل توجه در بررسی خواص سیم های توپودری، میزان نفوذ جوش می باشد. این پارامتر، همواره به فاکتور $E=I^2.R$ بستگی دارد. بر این اساس، هر چه شدت جریان افزایش پیدا کند، میزان حرارت نیز افزایش یافته و عمق نفوذ بالاتر می‌رود. در سیم جوش‌های معمولی فلزی توپر^۱، تمام سطح مقطع سیم جوش، فلزی و هادی جریان است. در سیم جوش‌های مغزی فلزی روکش‌دار^۲، بخش مغزی هادی جریان است و بالاخره در سیم جوش‌های توپودری، فقط جدار لوله جریان را هدایت می‌کند ولی به دلیل کمتر شدن سطح مقطع فلزی، به همان نسبت، مقاومت الکتریکی نیز کاهش می‌یابد. از این رو، دانسیته جریان در سیم جوش‌های توپودری بیشتر است. در ضمن این رابطه در بین انواع سیم‌های توپودری نیز قابل بررسی است. سیم‌های توپودری که لوله آنها به صورت لب به لب بسته شده^۳ همواره از ضخامت جداره بیشتری برخوردار بوده و تنها ۳۳-۱۸ درصد از سطح مقطع توان عبور جریان را دارد، در حالی که سیم های توپودری که لوله آنها به صورت لب

۱-Solid Wire

۲-Metal Cored Wire

۳-Closed Butt



روی لب^۱ ساخته می‌شود، از جدار نازک تری برخوردار بوده و ۳۰ تا ۵۰ درصد سطح مقطع آنها، هادی جریان بوده بنابراین بیشترین دانسیته جریان را دارا هستند [۶].
عیب الکترودهای توپودری، قیمت بالای آنها به دلیل هزینه‌های تولیدی بیشتر است. سیم جوش‌های توپودری با قطر ۰/۹ تا ۲/۴ میلی‌متر تولید می‌شوند [۱].

• تقسیم بندی انواع سیم جوش های توپودری

بر اساس آن چه تا کنون گفته شد، مهم ترین خواص سیم جوش های توپودری را بر اساس تقسیم بندی انواع آن‌ها، می توان به شرح زیر خلاصه نمود:

۱- سیم جوش های توپودری روتیلی

جوشکاری با این نوع سیم جوش ها به ویژه در وضعیت سرازیر یا بالای سر بسیار آسان است. جوشی با کیفیت سطحی بالا، پروفیل بسیار مناسب و یکنواخت و قوسی پایدار ایجاد نموده و سرباره جوش به آسانی از سطح آن جدا می‌شود.

۲- سیم جوش های توپودری روتیلی چند وضعیتی

این سیم جوش ها با گاز آرگون خالص و در تمامی وضعیت‌های جوشکاری قابل استفاده بوده و جوشکاری با آن ها در تمامی وضعیت ها آسان و بدون مشکل انجام می شود.

۳- سیم جوش های توپودری قلیایی

جوش حاصل از این سیم جوش ها از خواص مکانیکی فوق العاده‌ای برخوردار بوده و نفوذ مناسبی نیز ارائه می‌نماید، به طوری که در تست‌های رادیوگرافی همواره با موفقیت همراه است [۶].

۵-۱-۲- نگهداری و خشک کردن سیم جوش ها

نگهداری و خشک کردن سیم‌جوش‌های مورد استفاده در فرآیند GMAW در مقایسه با الکترودهای روپوش‌دار از اهمیت کمتری برخوردار است. با این وجود توصیه‌های کلی که جهت نگهداری الکترودهای روپوش‌دار ارائه شده است، در ارتباط با نگهداری الکترودهای سیمی نیز کاربرد دارد تا از

^۱-Overlap



خوردگی سطحی سیم جوش‌ها که موجب اثر نامناسب بر تغذیه سیم و پایداری قوس می‌شود، جلوگیری به عمل آید. بنابر این بسیار مهم است که سیم جوش‌ها تا زمان مصرف، در بسته بندی اصلی خود نگهداری شوند و در معرض تماس با رطوبت، آلودگی، گرد و غبار، چربی یا سایر مواد حاوی هیدروژن نباشند.

• سیم جوش‌های توپر

اگر سیم جوش‌ها تحت شرایط خشکی نگهداری شده‌اند، دوباره خشک کردن آنها هنگام جوشکاری ضرورتی ندارد. در صورتی که روی سطح قسمت‌هایی از سیم خوردگی یا زنگ زدگی جزئی اتفاق افتاده باشد، آن قسمت از سیم قبل از جوشکاری باید برداشته شود تا شرایط جوشکاری و کیفیت فلز جوش تغییر نکند اما اگر مساحت زیادی از سیم دچار خوردگی شده است، از قرقره آن سیم نباید استفاده کرد. خشک کردن مجدد اثرات نامطلوب ناشی از خوردگی بر تغذیه سیم جوش را رفع نخواهد کرد.

• سیم جوش‌های توپودری

اثر جذب رطوبت در الکترودهای توپودری همانند الکترودهای روپوش دار نیست، زیرا از این الکترودها توسط فلز خارجی روی آنها در مقابل هوای اطراف محافظت قابل قبولی به عمل می‌آید. با این وجود مشخصه کم هیدروژن بودن الکتروده ممکن است در اثر قرار گرفتن آن در طول شب، بدون محافظت و در هوایی با رطوبت بالا از بین برود. بنابر این بهتر است این نوع سیم جوش‌ها در شرایط خشک نگهداری شوند. اگر این سیم جوش‌ها در شرایطی با رطوبت بیش از ۴۰٪ RF و دمایی کمتر از ۱۵°C قرار گیرند، نگهداری آنها در خشک‌کن‌های الکتروده لازم می‌باشد. در دماهایی کمتر از ۱۰°C خطر تشکیل رسوب روی سطح سیم جوش وجود دارد که موجب تشکیل حفره در مراحل اولیه جوش خواهد شد. برای جلوگیری از این پدیده می‌توان از AC Climatized Wires استفاده کرد [۴].



۵-۱-۳- طبقه بندی سیم جوش های توپر

- استاندارد AWS
- بررسی چگونگی نام گذاری سیم جوش های طبقه بندی A۵,۱۸
به مشخصات زیر توجه کنید:

ER ۷۰ S X N HZ

ER- سیم جوش یا مفتول جوشکاری

۷۰- حداقل استحکام کششی فلز جوش حاصل ۷۰۰۰ Psi است

S- سیم جوش یا مفتول جامد فلزی

X- ترکیب شیمیایی فلز جوش یا سیم جوش مربوطه (یک عدد از ۲ تا ۷ یا حرف G)
(جدول ۶).

N- وجود حرف N در مشخصه نامگذاری سیم جوش، نشان می دهد که این سیم جوش
برای جوشکاری مخازن در رآکتورهای اتمی کاربرد داشته و عناصر آلیاژی آن، به قرار زیر
اندکی فرق کرده اند: (درصد) Cu : ۰/۰۸ و V : ۰/۰۵ و P : ۰/۰۱۲

HZ- ضریبی که مقدار هیدروژن موجود در فلز جوش را نشان می دهد (جدول ۷).

جدول ۷: مقدار هیدروژن موجود در فلز جوش بر حسب ml در هر ۱۰۰ گرم فلز جوش [۷]

ضریب	مقدار هیدروژن بر حسب میلی لیتر در هر ۱۰۰ گرم فلز جوش
H16	۱۶
H8	۸
H4	۴



جدول ۶: آنالیز شیمیایی سیم جوش های طبقه بندی شده در استاندارد A۵.۱۸ [۶]

سیم یا مفتول جوشکاری	عدد UNS	کربن	منگنز	سیلیسیم	فسفر	گوگرد	مس	تیتانیوم	زیرکونیوم	آلومینیم	کروم، نیکل، مولیبدن، وانادیوم
REV-S-۲	K۱۰۷۲۶	۰/۰۷	۰/۹-۱/۴	۰/۰۷ ۰/۴	۰/۰۲۵	۰/۰۳۵	۰/۵	۰/۰۵ -۰/۱۵	۰/۰۲ -۰/۱۲	۰/۰۵ -۰/۱۵	هر یک از این عناصر باید بین صفر تا ۰/۵ درصد باشد.
ERV-S-۳	K۱۱۰۲۲	۰/۰۶ -۰/۱۵	۰/۹-۱/۴	۰/۴۵ -۰/۷۵	۰/۰۲۵	۰/۰۳۵	۰/۵	۰/۵	-	-	هر یک از این عناصر باید بین صفر تا ۰/۵ درصد باشد.
ERV-S-۴	K۱۱۱۳۲	۰/۰۷ -۰/۱۵	۱-۱/۵	۰/۶۵ -۰/۸۵	۰/۰۲۵	۰/۰۳۵	۰/۵	-	-	-	هر یک از این عناصر باید بین صفر تا ۰/۵ درصد باشد.
ERV-S-۵	K۱۱۳۵۷	۰/۰۷ -۰/۱۹	۰/۹-۱/۴	۰/۰۶ ۰/۳	۰/۰۲۵	۰/۰۳۵	۰/۵	-	-	۰/۵ -۰/۹	هر یک از این عناصر باید بین صفر تا ۰/۵ درصد باشد.
ERV-S-۶	K۱۱۱۴۰	۰/۰۶ -۰/۱۵	۱/۴ -۱/۸۵	۰/۸ -۱/۱۵	۰/۰۲۵	۰/۰۳۵	۰/۵	-	-	-	هر یک از این عناصر باید بین صفر تا ۰/۵ درصد باشد.
ERV-S-۷	K۱۱۱۲۵	۰/۰۶ -۰/۱۵	۱/۵-۲	۰/۰۸ ۰/۵	۰/۰۲۵	۰/۰۳۵	۰/۵	-	-	-	هر یک از این عناصر باید بین صفر تا ۰/۵ درصد باشد.
ERV-S-G	-						استاندارد نشده است				



• استاندارد DIN/EN

جدول ۷، راهنمای مناسبی برای آشنایی با فلز پایه و فلز پرکننده براساس استاندارد DIN/EN می‌باشد.

جدول ۷: سیم جوش‌های GTAW, GMAW بر اساس استاندارد DIN/EN [۳]

material group	purpose of welding: joining			
	solid wire gas shielded metal arc welding 131 (MIG) 135 (MAG)		tungsten inert-gas welding 141 (TIG)	gas metal arc flux cored welding 136 (MAG) 137 (MIG)
unalloyed and (low-alloy steels) micro-alloyed steels	DIN 8559 DIN 32526 EN 440 EN 439		DIN 8559 DIN 32526 pr EN 1668 EN 439	DIN 8559 DIN 32526 EN 758 EN 439
high-strength fine-grained steels	DVS 0916 DIN 32526 EN ... EN 439		DIN 32526 EN EN 439	DVS 0916 DIN 32526 EN ... EN 439
creep resistant steels	DIN 8575 DIN 32526 EN ... EN 439		DIN 8575 DIN 32526 EN ... EN 439	- EN 12071 EN 439...
stainless + heat-resistant steels	DIN 8556 DIN 32526 EN ... EN 439		DIN 8556 DIN 32526 EN ... EN 439	- EN 12073 EN 439
lamellar graphite cast iron nodular graphite iron malleable cast iron	-		-	-
copper and copper – alloys	DIN 1733 DIN 32526 EN ... EN 439		DIN 32526 EN ... EN 439	- -
nickel and nickel-alloys	DIN 1736 DIN 32526 EN ... EN 439		DIN 1736 DIN 32526 EN 439	- -
aluminium-materials	DIN 1732 DIN 32526 EN ... EN 439		DIN 1732 DIN 32526 EN ... EN 439	- -

• بررسی چگونگی نامگذاری جوش و مفتول های جوشکاری طبقه بندی EN۴۴۰

به عنوان مثال از مشخصات الکترو د $EN\ 440-G\ 46\ 3\ M\ G\ 3Si1$ چنین دریافت:



EN-۴۴۰: شماره استاندارد (جدول ۸)

جدول ۸: طبقه بندی الکترودها و سیم جوش های مورد استفاده در فرآیندهای مختلف جوشکاری بر اساس استاندارد EN [۴]

EN-Standard	Official Title of Filler Metal Standard
EN ۴۴۰	Welding consumables. Wire electrodes and deposits for gas shielded metal arc welding of non alloy and fine grain steels.
EN ۴۹۹	Welding consumables. Covered electrodes for manual metal arc welding of non alloy and fine grain steels.
EN ۷۵۶	Welding consumables. Wire electrodes and wire flux combinations for submerged arc welding of non alloy and fine grain steels.
EN ۷۵۷	Welding consumables. Covered electrodes for manual metal arc welding of high strength steels Classification.
EN ۷۵۸	Welding consumables. Tubular cored welding with or without a gas shield of non alloy and fine grain steels.
EN ۷۶۰	Welding consumables. Fluxes for submerged welding Classification
EN ۱۵۹۹	Welding consumables. Covered electrodes for manual metal arc welding of creep- resisting steels.
EN ۱۶۰۰	Welding consumables. Covered electrodes for manual arc welding of stainless and heat resisting steels.
EN ۱۶۶۸	Welding consumables. Classification of rods, wires and deposits for tungsten inert gas welding of non alloy and fine grain steels.
EN ۱۲۰۷۰	Welding consumables. Wire electrodes and rods, for arc welding of creep- resisting steels.
EN ۱۲۰۷۱	Welding consumables. Tubular cored electrodes for gas shielded metal arc welding of creep- resisting steels.
EN ۱۲۰۷۲	Welding consumables. Wire electrodes wires and rods, for arc welding of stainless and heat resisting steels.
EN ۱۲۰۷۳	Welding consumables. Tubular cored electrodes for metal arc welding with or without a gas shield of stainless and heat resisting steels.



ادامه جدول ۸

EN ۱۲۵۳۴	Welding consumables. Wire electrodes, wires rods and deposits for gas shielded metal arc welding of high strength steels Classification.
EN ۱۲۵۳۵	Welding consumables. Tubular cored electrodes for gas shielded metal arc welding of high strength steels.
EN ۱۲۵۳۶	Welding consumables. Rods for gas welding of non alloy and creep-resisting steels.

G: جوشکاری قوس فلزی با گاز محافظ (GMAW) (جدول ۹)

جدول ۹: حروف مشخصه طبقه بندی فرآیندهای جوشکاری بر اساس استاندارد EN [۴]

Designator	Description	Related EN Standards
E	Manual Metal Arc Welding	۴۴۹, ۷۵۷, ۱۵۹۹, ۱۶۰۰
G	Gas Shielded Metal Arc Welding With Solid Wires	۴۴۰, ۱۲۰۷۰, ۱۲۰۷۲, ۱۲۵۳۴
W	Tungsten Inert Gas Welding	۱۶۶۸, ۱۲۰۷۰, ۱۲۰۷۲
T	Gas Shielded Metal Arc Welding With Flux Cored Wires	۷۵۸, ۱۲۰۷۱, ۱۲۰۷۳, ۱۲۵۳۵
S	Submerged Arc Welding	۷۵۶, ۱۲۰۷۰, ۱۲۰۷۲
O	Gas Welding	۱۲۵۳۶
P	Plasma Welding	۱۲۰۷۲



۴۶: استحکام و کرنش تا شکست (جدول ۱۰)

جدول ۱۰: استحکام کششی، تنش تسلیم و انعطاف پذیری سیم جوش‌ها [۴]

Short Key	R_{el} [N/mm ²]	R_{m} [N/mm ²]	A_5 [%]	Related EN-Standards
۳۵	۳۵۵	۴۴۰-۵۷۰	۲۲	۴۴۰, ۴۴۹, ۷۵۶, ۷۵۸, ۱۶۶۸
۳۸	۳۸۰	۴۷۰-۶۰۰	۲۰	
۴۲	۴۲۰	۵۰۰-۶۴۰	۲۰	
۴۶	۴۶۰	۵۳۰-۶۸۰	۲۰	
۵۰	۵۰۰	۵۶۰-۷۲۰	۱۸	
۵۵	۵۵۰	۶۱۰-۷۸۰	۱۸	۷۵۷, ۱۲۵۳۴, ۱۲۵۳۵
۶۲	۶۲۰	۶۹۰-۸۹۰	۱۸	
۶۹	۶۹۰	۷۶۰-۹۶۰	۱۷	
۷۹	۷۹۰	۸۸۰-۱۰۸۰	۱۶	
۸۹	۸۹۰	۹۸۰-۱۱۸۰	۱۵	

جدول ۱۱: انرژی ضربه (چقرمگی) سیم جوش‌ها [۴]

Short Key	Temperature [°C] With Average Impact Work > ۴۷ J	Related EN-Standards
	(One Specimen Can Have Lower Values, Minimum > ۲۲ J)	
Z	No Requirements	۴۴۰, ۴۴۹, ۷۵۶, ۷۵۷, ۷۸۸, ۱۶۶۸, ۱۲۵۳۴, ۱۲۵۳۵
A	+۲۰	
۰	۰	
۲	-۲۰	
۳	-۳۰	
۴	-۴۰	
۵	-۵۰	
۶	-۶۰	
۷	-۷۰	۷۵۶, ۷۵۷
۸	-۸۰	



۳: انرژی ضربه (جدول ۱۱)

جدول ۱۲: گازهای محافظ مورد استفاده در جوشکاری و برشکاری بر اساس DIN/EN۴۳۹ [۳]

Symbol ¹⁾	Identification	Components, % (V/V)						Typical applications	Remarks
		Oxidizing		Inert		Reducing	Unreactive		
		CO ₂	O ₂	Ar	He	H ₂	N ₂		
R	1			Balance ²⁾		> 0 to 15		TIG, plasma arc welding, plasma arc cutting, back shielding	Reducing
	2			Balance ²⁾		> 15 to 35			
I	1			100				MIG, TIG, Plasma arc welding, back shielding	Inert
	2				100				
	3			Balance	> 0 to 95				
M 1	1	> 0 to 5		Balance ²⁾		> 0 to 5		MAG	Slightly oxidizing ↓ More pronounced oxidizing
	2	> 0 to 5		Balance ²⁾					
	3		> 0 to 3	Balance ²⁾					
	4	> 0 to 5	> 0 to 3	Balance ²⁾					
M 2	1	> 5 to 25		Balance ²⁾					
	2		> 3 to 10	Balance ²⁾					
	3	> 0 to 5	> 3 to 10	Balance ²⁾					
	4	> 5 to 25	> 0 to 8	Balance ²⁾					
M 3	1	> 25 to 50		Balance ²⁾					
	2		> 10 to 15	Balance ²⁾					
	3	> 5 to 50	> 8 to 15	Balance ²⁾					
C	1	100							
	2	Balance	> 0 to 30						
F	1						100	Plasma arc cutting back shielding	Unreactive
	2					> 0 to 50	Balance		Reducing

1) Where components not listed are added to one of the groups in this table, the gas mixture is designated as a special gas mixture and carries the prefix S.

2) Argon may be replaced by up to 95% helium. The helium content is designated by an additional identification number.

M: گاز محافظ (جدول ۲۱)



جدول ۱۳: ترکیب شیمیایی سیم جوش‌های فرآیند GMAW بر اساس DIN/EN۴۴۰ [۳]

symbol	chemical composition in % (m/m) 1) 2) 3)								
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Al	Ti and Zr
G0	other agreed compositions								
G2Si1	0.06 - 0.14	0.50 - 0.80	0.90 - 1.30	0.025	0.025	0.15	0.15	0.02	0.15
G3Si1	0.06 - 0.14	0.70 - 1.00	1.30 - 1.60	0.025	0.025	0.15	0.15	0.02	0.15
G4Si1	0.06 - 0.14	0.80 - 1.20	1.60 - 1.90	0.025	0.025	0.15	0.15	0.02	0.15
G3Si2	0.06 - 0.14	1.00 - 1.20	1.30 - 1.60	0.025	0.025	0.15	0.15	0.02	0.15
G2Ti	0.04 - 0.14	0.40 - 0.80	0.90 - 1.40	0.025	0.025	0.15	0.15	0.05 - 0.20	0.05 - 0.25
G3Ni1	0.06 - 0.14	0.50 - 0.90	1.00 - 1.60	0.020	0.020	0.80 - 1.50	0.15	0.02	0.15
G2Ni2	0.06 - 0.14	0.40 - 0.80	0.80 - 1.40	0.020	0.020	0.40 - 0.60	0.15	0.02	0.15
G2Mo	0.08 - 0.12	0.30 - 0.70	0.90 - 1.30	0.020	0.020	0.15	0.40 - 0.60	0.02	0.15
G4Mo	0.06 - 0.14	0.50 - 0.80	1.70 - 2.10	0.025	0.025	0.15	0.40 - 0.60	0.02	0.15
G2Al	0.08 - 0.14	0.30 - 0.50	0.90 - 1.30	0.025	0.025	0.15	0.15	0.35 - 0.75	0.15

1) if not fixed: Cr ≤ 0.15, Cu ≤ 0.35 and V ≤ 0.03.
The percentage of copper plus coating in steel must not exceed 0.35 %.

2) Single values in the table are maximum values.

3) The results are to be rounded to the same digit as the fixed values according to ISO 31-0, appendix B, rule A.

G۳Si۱: ترکیب شیمیایی سیم جوش (جدول ۱۳)

۵-۱-۴- طبقه بندی سیم جوش های توپودری

• استاندارد AWS

در استاندارد آمریکایی AWS، سیم جوش‌های توپودری طبقه بندی شده در ۳ بخش زیر مورد بررسی قرار گرفته شده‌اند:

- ۱- AWS A۵,۲۰: سیم جوش‌های توپودری مورد استفاده در جوشکاری فولادهای ساده کربنی
- ۲- AWS A۵,۲۲: سیم جوش‌های توپودری مورد استفاده در جوشکاری فولادهای زنگ نزن
- ۳- AWS A۵,۲۹: سیم جوش‌های توپودری مورد استفاده در جوشکاری فولادهای آلیاژی و کم آلیاژ

• بررسی چگونگی نام گذاری سیم جوش های طبقه بندی A۵,۲۰

به عنوان مثال از مشخصات الکتروود E X X T – X M J HZ می توان چنین دریافت کرد:

E: مخفف کلمه الکتروود و به معنای سیم جوش توپودری است.



X: اولین عدد از سمت چپ (بعد از حرف E)، حداقل استحکام کششی فلز جوش را در مقیاس ۱۰۰۰۰ psi نشان می دهد. در این استاندارد، این رقم می تواند: ۶ به معنای ۶۰۰۰۰ psi و یا: ۷ به معنای ۷۰۰۰۰ psi باشد (۲ انتخاب).

X: دومین رقم از سمت چپ بعد از حرف E، وضعیت جوشکاری ممکن با این سیم جوش را نشان می دهد. رقم ۱ به معنای تمام وضعیت ها، و صفر به معنای وضعیت های تخت و افقی می باشد.

T: به معنای سیم جوش توپودری

X: یک رقم به معنای قابلیت های مورد استفاده و عملی سیم جوش توپودری مورد نظر. این عدد می تواند از ۱ تا ۱۴ متغیر و یا یک حرف G یا GS باشد (جدول ۱۴).

M: حرف M نشان می دهد که سیم جوش توپودری مورد نظر، با گاز مخلوط^۱ شامل ۷۵ تا ۸۰ درصد آرگون و ۲۰ تا ۲۵ درصد CO_۲ حفاظت خواهد شد. اگر حرف M در نام سیم جوش وجود نداشته باشد، به این معنا است که آن سیم جوش توپودری یا با گاز محافظ دیگری (مثلاً CO_۲ به تنهایی) حفاظت می شود و یا نیازی به گاز محافظ نداشته و خود محافظ^۲ است.

J: وجود حرف J در نام سیم جوش توپودری نشان می دهد که جوش حاصل از این سیم جوش دارای مقاومت به ضربه بالاتر نسبت به سیم جوش های فاقد حرف J بوده و انرژی ضربه آن در ۴۰ °C - در حدود ۲۷ J است. اگر حرف J در نام سیم جوش مورد نظر وجود نداشته باشد، به این معنا است که سیم جوش توپودری از نظر چقرمگی معمولی است.

HZ: این علامت در نامگذاری سیم جوش توپودری نشان می دهد که جوش حاصل، به انجام تست نفوذپذیری هیدروژن نیاز دارد. به طوری که مقدار نفوذ یا جذب هیدروژن در هر ۱۰۰ گرم فلز جوش نباید از عدد Z که ۴، ۸ یا ۱۶ میلی لیتر است، بیشتر باشد (جدول ۱۵).

۱-Mixed

۲-Self-Shielded



جدول ۱۴: مشخصات و خواص مکانیکی فلز جوش حاصل از سیم جوش‌های توپودری
طبقه بندی AWS A۵.۲۰ در حالت AS-WELD [۶]

سیم جوش توپودری	استحکام کششی		تنش تسلیم		انعطاف پذیری	انرژی ضربه (تست شارپی)
	ksi	MPa	ksi	MPa		
E7XT-1, 1M	۷۰	۴۸۰	۵۸	۴۰۰	۲۲	۲۷J در -18°C
E7XT-2, 2M	۷۰	۴۸۰	در استاندارد ذکر نشده است			
E7XT-3	۷۰	۴۸۰	در استاندارد ذکر نشده است			
E7XT-4	۷۰	۴۸۰	۵۸	۴۰۰	۲۲	در استاندارد نیامده است
EFXT5, 5M	۷۰	۴۸۰	۵۸	۴۰۰	۲۲	۲۷J در -29°C
E7XT-6	۷۰	۴۸۰	۵۸	۴۰۰	۲۲	۲۷J در -29°C
E7XT-7	۷۰	۴۸۰	۵۸	۴۰۰	۲۲	در استاندارد نیامده است
E7XT-8	۷۰	۴۸۰	۵۸	۴۰۰	۲۲	۲۷J در -29°C
E7XT-9, 9M	۷۰	۴۸۰	۵۸	۴۰۰	۲۲	۲۷J در -29°C
E7XT-10	۷۰	۴۸۰	در استاندارد ذکر نشده است			
E7XT-11	۷۰	۴۸۰	۵۸	۴۰۰	۲۰	در استاندارد نیامده است
E7XT-12, 12M	۷۰-۹۰	۴۸۰-۶۲۰	۵۸	۴۰۰	۲۲	۲۷J در -29°C
E6XT-13	۶۰	۴۱۵	در استاندارد ذکر نشده است			
E7XT-13	۷۰	۴۸۰	در استاندارد ذکر نشده است			
E7XT-14	۷۰	۴۸۰	در استاندارد ذکر نشده است			
E6XT-G	۶۰	۴۱۵	۴۸	۳۳۰	۲۲	در استاندارد نیامده است
E7XT-G	۷۰	۴۸۰	۵۸	۴۰۰	۲۲	در استاندارد نیامده است
E6XT-GS	۶۰	۴۱۵	در استاندارد ذکر نشده است			
E7XT-GS	۷۰	۴۸۰	در استاندارد ذکر نشده است			



جدول ۱۵: علامت مشخصه HZ و مقدار هیدروژن در فلز جوش
حاصل از سیم جوش‌های توپودری در طبقه بندی AWS A۵.۲۰ [۶]

علامت مشخصه	مقدار هیدروژن نفوذی یا جذب شونده برحسب میلی‌لیتر در ۱۰۰ گرم فلز جوش
H16	حداکثر ۱۶
H8	حداکثر ۸
H4	حداکثر ۴

- استاندارد EN
- نامگذاری سیم جوش‌های توپودری موجود در استاندارد اروپایی EN۷۵۸-۹۷

EN XXX T XX X XX X XX X XX HX

XXX: یک عدد سه رقمی (۷۵۸) که شماره استاندارد را نشان می‌دهد

T: سیم جوش توپودری^۱

XX: یک عدد دو رقمی، نشان دهنده مقدار استحکام و انعطاف پذیری (جدول ۱۱)

X: یک حرف یا عدد یک رقمی، نشان دهنده مقدار مقاومت به ضربه (جدول ۱۲)

XX: یک عدد و چند حرف نشان دهنده ترکیب شیمیایی (جدول ۱۷)

^۱-Tubular Electrode



جدول ۱۶: علائم نشان دهنده ترکیب شیمیایی [۳]

alloy symbol	chemical composition 1) (%)			
	Mn	Ni	Cr	Mo
Mn Mo	> 1.4-2.0	-	-	0.3-0.6
Mn 1 Ni	> 1.4-2.0	0.6-1.2	-	0.3
1 Ni Mo	1.4	0.6-1.2	-	0.3-0.6
2 Ni Mo	1.4	1.8-2.6	-	0.3-0.6
Mn 1 Ni Mo	> 1.4-2.0	0.6-1.2	-	0.3-0.6
Mn 2 Ni Mo	> 1.4-2.0	1.8-2.6	-	0.3-0.6
Mn 2 Ni Cr Mo	> 1.4-2.0	1.8-2.6	0.3-0.6	0.3-0.6
Mn 2 Ni 1 Cr Mo	> 1.4-2.0	1.8-2.6	0.6-1.0	0.3-0.6
Z	other agreed compositions			
1) if not fixed: Ni < 0.3; Cr < 0.2; V < 0.05; Nb < 0.05; Cu < 0.3; C 0.03 - 0.10; P < 0.025; S < 0.020 % Single values are maximum values.				

X: یک حرف، نشان دهنده مشخصات و خصوصیات پودر داخلی سیم جوش (جدول ۱۷)



جدول ۱۷: ترکیب پودر موجود درون سیم جوش های توپودری [۴]

Key	Type and Properties	Related EN - Standards
R	Rutile, Slow Freezing Slag, Shielding Gas Necessary	۷۵۸, ۱۲۰۷۱, ۱۲۰۷۳, ۱۲۵۳۵
P	Rutile, Fast Freezing Slag, Shielding Gas Necessary	۷۵۸
B	Basic, Shielding Gas Necessary	۷۵۸, ۱۲۰۷۱, ۱۲۰۷۳, ۱۲۵۳۵
M	Metal Powder, Shielding Gas Necessary	۷۵۸
V	Rutile Or Basic/Fluoride, Shielding Gas Not Necessary	
W	Basic/Fluoride, Slow Freezing Slag, Shielding Gas Not Necessary	
y	Basic/Fluoride, Fast Freezing Slag, Shielding Gas Not Necessary	
s	Other Types	۱۲۰۷۱, ۱۲۰۷۳, ۱۲۵۳۵
z	Other Types	
u	Without Shielding Gas	۱۲۵۳۵

X: یک حرف، نشان دهنده نوع گاز محافظ مورد نیاز (جدول ۱۸)



جدول ۱۸: نشانه های گاز محافظ [۴]

Short Key	Type of shielding gas	Related EN - Standards
M	Shielding Gas EN ۴۳۹- M۲, Yet Without Helium	۴۴۰, ۷۵۸, ۱۲۰۷۱, ۱۲۰۷۳, ۱۲۵۳۴, ۱۲۵۳۵
C	Shielding Gas EN ۴۳۹- C۱, Carbon Dioxide	
N	No Shielding Gas	۱۲۵۳۴, ۱۲۵۳۵

X: یک عدد یک رقمی، نشان دهنده وضعیت جوشکاری ممکن (جدول ۱۹)

جدول ۱۹: وضعیت جوشکاری ممکن با سیم جوش توپودری [۴]

Key	Description	Related EN - Standards
۱	All Welding Positions	۴۴۹, ۷۵۷, ۷۵۸, ۱۵۹۹, ۱۶۰۰, ۱۲۰۷۱, ۱۲۰۷۳, ۱۲۵۳۵
۲	All Welding Positions Except Vertical Down	
۳	Butt Weld In Flat Position, Fillet Weld in Flat and Horizontal Welding Position	
۴	Butt Weld in Flat Position, Fillet Weld in Flat Position	
۵	Vertical Down Position and Positions Described Under Key ۳	

HZ: حرف H به همراه یک عدد یک رقمی یا دو رقمی، نشان دهنده مقدار هیدروژن نفوذ کرده

در فلز جوش (جدول ۲۱).



جدول ۲۰: نشانه های مربوط به مقدار هیدروژن نفوذی در جوشکاری [۴]

Short Key	maximum hydrogen content [ml/100 g deposit]*	Related EN - Standards
H ₅	۵	۴۴۹, ۷۵۷, ۷۵۸, ۷۶۰
H _{۱۰}	۱۰	۱۵۹۹, ۱۲۰۷۱, ۱۲۵۳۵
H _{۱۵}	۱۵	۴۴۹, ۷۵۸, ۷۶۰
* Valid for Ø۴ mm, ۹۰٪ max. amperage, alternating current for recovery – keys ۱.۳.۵.۷		

مثال: معنای نامگذاری سیم جوش توپودری PM ۲Ni ۶۵۰ T در استاندارد EN۷۵۸-۹۷ عبارت است از:

T: سیم جوش توپودری

۵۰: حداقل استحکام کششی ۵۶۰ تا حداکثر ۷۲۰ N/mm^۲، تنش تسلیم ۵۰۰ N/mm^۲ و

انعطاف پذیری حداقل ۱۸ درصد

۶: مقاومت به ضربه، حداقل ۴۷ J در ۶۰°C-

۲Ni: دارای ترکیب شیمیایی شامل ۱/۸-۲/۶ درصد نیکل

P: دارای پودر داخلی روتیلی

M: نیاز به گاز محافظ مخلوط

مثال: معنای نامگذاری سیم جوش توپودری H₅ ۴ M B ۱ Ni ۳۴۶ T در استاندارد EN۷۵۸-۹۷ عبارت است از:

T: سیم جوش توپودری

۴۶: حداقل تنش تسلیم ۴۶۰ N/mm^۲، استحکام کششی ۵۳۰-۶۸۰ N/mm^۲ و انعطاف

پذیری حداقل ۲۰ درصد

۳: دارای انرژی ضربه ۴۷ J در ۳۰°C-

۱Ni: دارای ۱/۴ درصد منگنز و ۱/۲-۰/۶ درصد نیکل در ترکیب شیمیایی

B: دارای سرباره قلیایی

M: نیاز به گاز محافظ آرگون



۴: مناسب برای جوشکاری در وضعیت های تخت برای جوش های لب به لب و گوشه ای

H۵: با حداکثر نفوذ ۵ میلی لیتر هیدروژن در ۱۰۰ گرم فلز جوش آن

در جدول ۲۱: مقایسه بعضی سیم جوش های توپودری مشابه در استانداردهای EN, AWS آمده است [۶].

جدول ۲۱: مقایسه بعضی سیم جوش های توپودری مشابه در استانداردهای EN, AWS [۶]

سیم جوش توپودری AWS: A5.20, A5.29	سیم جوش توپودری EN 758	الکتروود معادل (از نظر خواص جوش) AWS: A5.1 یا A5.5
E70T-1 , E70T-1M	T42 O RC, T42 ORM	E6012, E7024
E71T-1 , E71T-1M	T 46 2 PM, T46 2 PC	E6013
E71T-5 , E71T-5M	T42 3 BM, T42 3 BC	E7018
E81T1-Ni1	T46 41 Ni PM , T46 31 Ni PC	E7016 , E8016 - C3
E80T5-Ni1	T 46 51 Ni BM	E8016-G
E70T5-G	T42 6 2 Ni BM	E8016-C1
E90T5-K2	—	E9018
E80T5-B2, E90T5-B3	—	E8018-B2, E9018-B3
E110 T5-G	—	E11018
E71T-7	T 38 Z W N	
E70T-4	T 38 Z V N	
E81T1Ni2	T 50 6 2Ni PM	

۶ - گازهای محافظ

وظیفه اصلی گاز محافظ در جوشکاری MIG/MAG، محافظت از فلز مذاب یا فلز گرم شده در مقابل اثرات مخرب هوای اطراف و ایجاد شرایط مناسب برای قوس می باشد. اگر هوا به فلز مذاب برسد اکسیژن موجود در هوا باعث اکسید شدن فلز، نیتروژن موجود در هوا باعث ایجاد تردی در فلز جوش و رطوبت هوا باعث ایجاد تخلخل در جوش می گردد.

ترکیب گاز محافظ روی چگونگی انتقال مواد از الکتروود مذاب به حوضچه جوش که ارتباط مستقیم با میزان تولید سرباره و جرقه دارد، تاثیرگذار است. همچنین ترکیب گاز محافظ بر شکل



ظاهری درز جوش، هندسه جوش و سرعت جوشکاری نیز اثر دارد و نقشی کلیدی در ارتباط با احتمال ذوب اجزای آلیاژی یا تشکیل اکسید روی سطح درز جوش بر عهده دارد [۱].

۱-۶- ملزومات گازهای محافظ

۱-۱-۶- ملزومات کلی

- مناسب بودن برای فرآیند جوشکاری مورد نظر (PAW/GTAW/GMAW)
- مناسب بودن برای انواع مختلف انتقال فلز
- حفاظت از حوضچه مذاب جوش در برابر اتمسفر
- غیر حساس در برابر سطح کاری کثیف
- کاهش جرقه و پاشش

۲-۱-۶- ملزومات فیزیکی

- انرژی یونیزاسیون
- رفتار جرقه زنی قوس در ابتدای عملیات جوشکاری
- تشکیل یک جریان پلاسما
- هدایت الکتریکی پلاسمای گاز
- پایداری قوس

۳-۱-۶- ملزومات حرارتی

- انتقال حرارت توسط پلاسما و گاز یونیزه شده
- ظرفیت حرارتی
- هدایت حرارتی



۴-۱-۶- ملزومات شیمیایی

- سوزاندن عناصر آلیاژی
- کم بودن حلالیت گاز در حوضچه مذاب جوش
- تمایل کم برای تشکیل سرباره
- اکسیداسیون سطحی کم
- عدم کاهش خواص مکانیکی فلز جوش (مثلاً چقرمگی)
- عدم کاهش خواص مقاومت به خوردگی فلز جوش

۴-۲- گازها و ترکیبات گازی مورد استفاده در GMAW

گازهای محافظ جوشکاری، در دو نوع فعال یا خنثی وجود دارند. گازهای خنثی در واکنش‌های شیمیایی که در قوس و حوضچه جوش اتفاق می‌افتد، شرکت نمی‌کنند. درحالی که گازهای فعال در این واکنش‌ها شرکت می‌کنند. در جوشکاری MIG از یک گاز خنثی (آرگون، هلیوم یا ترکیبات این دو) استفاده می‌شود و در جوشکاری MAG یک ترکیب گاز فعال که در آن یک یا دو عامل فعال به گاز محافظ خنثی افزوده شده است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این عوامل گازی اکسیدکننده می‌تواند CO_2 یا O_2 باشند. فرآیند MAG می‌تواند با گاز دی‌اکسیدکربن خالص به منظور اتصالات فولادهای کربنی به کار رود [۱].

ترکیبات زیادی از گازهای محافظ جهت کاربرد در فرآیند GMAW، به خصوص در جوشکاری فولادهای کربنی، توسعه پیدا کرد که به چهار گروه تقسیم می‌شوند:

- گازهای خالص
- مخلوط آرگون-اکسیژن
- مخلوط‌های سه گازی که شامل سه گاز از گازهای آرگون، هلیوم، اکسیژن، دی‌اکسیدکربن یا هیدروژن می‌باشد.

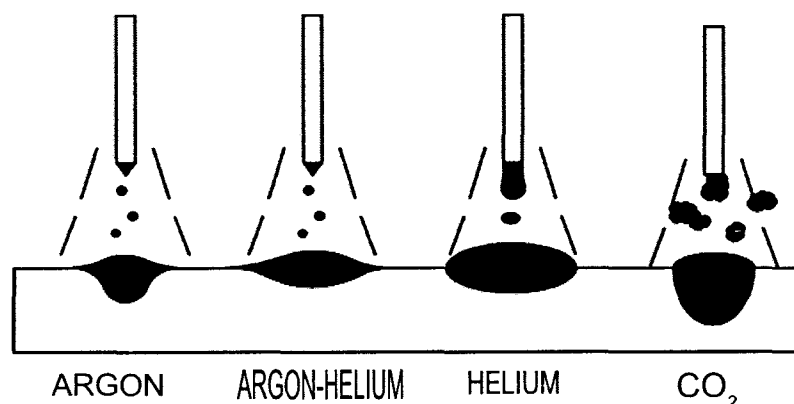
در جدول ۲۲ گازهای محافظ مورد استفاده در فرآیند GMAW آمده است.

• آرگون

آرگون خالص اغلب در جوشکاری مواد غیرآهنی نظیر آلیاژهای آلومینیم، نیکل، مس، منیزیم و مواد فعال مانند تیتانیوم کاربرد دارد. مزیت استفاده از آرگون در جوشکاری این مواد، پایداری بسیار خوب قوس، نفوذ و شکل هندسی مناسب جوش است. انرژی یونیزاسیون پایین این گاز، موجب آسانی شروع قوس می‌شود. انتقال اسپری محوری از شاخصه‌های محافظت توسط آرگون می‌باشد.

• دی اکسید کربن

دی اکسید کربن گازی است فعال که نوع خالص آن کاربرد وسیعی در جوشکاری GMAW فولاد کربنی و کم آلیاژ دارد. این گاز به آسانی در دسترس و نسبتاً ارزان است. با محافظت توسط CO_2 انتقال فلز به صورت اتصال کوتاه یا قطره‌ای صورت می‌گیرد و انتقال اسپری محوری انجام نخواهد شد (شکل ۴۶). در نتیجه راندمان رسوبدهی کمتر و پاشش و بخار نسبت به ترکیبات آرگون بیشتر است.



شکل ۴۶: نمای درز جوش و الگوی نفوذ برای انواع گازهای محافظ [۱].

همچنین سطح مهره جوش اکسید شده و از نظر هندسی نامنظم می‌باشد. پتانسیل یونیزاسیون بالاتر دی اکسید کربن، باعث می‌شود نفوذ جوش بیشتر باشد.

• هلیوم

به دلیل هدایت حرارتی بالای هلیوم، ضمن اینکه عمل محافظت توسط یک اتمسفر خنثی انجام می‌شود، حرارت اضافی به فلز پایه انتقال پیدا می‌کند. عملیات ترکندگی، عمق ذوب و سرعت



جوشکاری در مقایسه با آرگون می‌تواند بهبود پیدا کند. این مزایا به خصوص در جوشکاری مقاطع ضخیم آلیاژهای آلومینیوم، منیزیم و مس اهمیت بیشتری دارد.

• آرگون - اکسیژن

افزودن مقادیر کمی از اکسیژن به آرگون، باعث بهبود پایداری قوس جوشکاری، سرعت بیشتر قطرات فلز پرکننده و کاهش جریان انتقال اسپری خواهد شد. ضمن اینکه شکل هندسی جوش نیز تحت تاثیر قرار خواهد گرفت. فلز جوش در این حالت سیالیت بیشتری دارد و زمان بیشتری به صورت مذاب باقی خواهد ماند. در نتیجه جریان فلز مذاب به سمت لبه‌های جوش بهتر صورت می‌گیرد (شکل ۴۷a).

معمولاً مخلوط‌های مورد استفاده حاوی ۱، ۲، ۵ یا ۸ درصد اکسیژن در آرگون می‌باشد. افزایش اکسیژن سبب پایداری قوس و سرعت‌های حرکت بالاتر به دلیل سیالیت حوضچه جوش خواهد شد. از طرفی از بین رفتن عناصر آلیاژی و ایجاد سوختگی کناره جوش در صورت افزایش میزان اکسیژن، به خصوص بالاتر از ۵ درصد، احتمال زیادی دارد. از ترکیب آرگون، اکسیژن می‌توان در جوشکاری فولاد زنگ نزن استفاده کرد.

• آرگون - دی‌اکسید کربن

این مخلوط در ابتدا به منظور جوشکاری فولادهای کربنی و کم آلیاژ استفاده می‌شد و سپس کاربرد آن محدود به جوشکاری فولاد زنگ نزن شد. افزودن CO_2 به آرگون نتایجی مشابه با اکسیژن دارد در صورت اضافه کردن این گاز، الگوی نفوذ جوش پهن‌تر خواهد شد (شکل ۴۷b). در محدوده‌های بالاتر از ۱۸ تا ۲۰ درصد CO_2 ، انتقال فلز به صورت اسپری نخواهد بود و به صورت اتصال کوتاه یا قطره‌ای همراه با پاشش زیاد تا مقادیر ۵۰ درصد CO_2 در آرگون، خواهد بود.

مخلوط‌هایی که جهت انتقال اسپری محوری لازمند، شامل آرگون همراه با ۵، ۸، ۱۰ یا ۱۳-۱۸ درصد CO_2 موجب سرعت بالاتر حرکت مشعل به دلیل سیالیت بیشتر حوضچه جوش خواهد شد. مخلوط‌هایی با مقادیر بالای CO_2 (آرگون و ۲۰ یا ۲۵ درصد CO_2)، جهت اتصال کوتاه به کار می‌روند. در این حالت فرکانس بهینه انتقال قطرات همراه با حداقل پاشش، در صورت استفاده از سیم جوش‌هایی با قطر کم (۰/۹ و ۱/۲ میلی‌متر) به دست خواهد آمد.



• آرگون - هلیم

این مخلوط جهت جوشکاری مواد غیر آهنی نظیر آلیاژهای آلومینیم، مس و نیکل به کار می‌رود. هلیم حرارت ورودی به فلز پایه را افزایش داده و در نتیجه برای اتصال مقاطع ضخیم و ورق‌هایی با هدایت حرارتی بالا کاربرد زیادی دارد. با افزایش درصد هلیم، ولتاژ قوس، پاشش و نسبت عرض به عمق جوش، افزایش می‌یابد (شکل ۴۷C).

مخلوط‌هایی که معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرند، شامل ۲۵، ۵۰ یا ۷۵ درصد هلیم در آرگون می‌باشد. جهت اتصال مقطعی با ضخامت بالاتر از ۵۰ میلی‌متر به خصوص در جوشکاری فلزات، آلومینیم، مس، هلیم با بیشترین درصد به گاز آرگون افزوده می‌شود. در صورت استفاده از مخلوط‌های هلیم دار، سرعت حرکت جوشکاری بالاتر خواهد بود.

• آرگون - اکسیژن - دی‌اکسیدکربن

با کاربرد این مخلوط سه گازی قابلیت انتقال فلز به سه صورت، اتصال کوتاه، قطره‌ای و اسپری محوری فراهم خواهد شد. این ترکیبات عموماً جهت جوشکاری فولادهای کربنی و آلیاژی به کار می‌رود.

• آرگون - هلیم - دی‌اکسیدکربن

افزودن هلیم و دی‌اکسیدکربن به آرگون موجب افزایش حرارت ورودی به فلز پایه و در نتیجه بهبود ترکنندگی، سیالیت حوضچه جوش و شکل هندسی جوش خواهد شد. هلیم همراه با مقادیر CO_2 کمتر از ۴۰ درصد موجب انتقال فلز به صورت اسپری در جوشکاری فولادهای کربنی و کم آلیاژ خواهد شد. البته در این حالت حذف آلودگی‌های فلز پایه باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد. هنگامی که میزان هلیم از ۵۰ تا ۶۰ درصد تجاوز کند، انتقال فلز محدود به اتصال کوتاه و قطره‌ای می‌شود. مخلوط‌هایی با CO_2 نسبتاً کم (کمتر از ۵ درصد) عموماً به منظور جوشکاری اتصالات فولادهای زنگ نزن بدون کاهش مقاومت خوردگی این آلیاژها به کار می‌رود.

• آرگون - دی‌اکسیدکربن - هیدروژن

این ترکیب جهت جوشکاری فولادهای زنگ نزن آستنیتی در حالت‌های انتقال اسپری یا اتصال کوتاه به کار می‌رود.

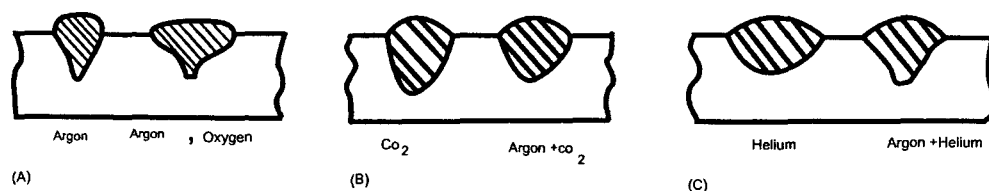


به دلیل افزایش هیدروژن، این مخلوط را نمی توان برای فولاد کربنی به کار برد. دی اکسید کربن و هیدروژن موجب افزایش حرارت ورودی به فلز پایه، بهبود مشخصات شکل جوش و سرعت های بالاتر جوشکاری خواهد شد [۷].



جدول ۲۲: گازهای محافظ مورد استفاده در GMAW [۷]

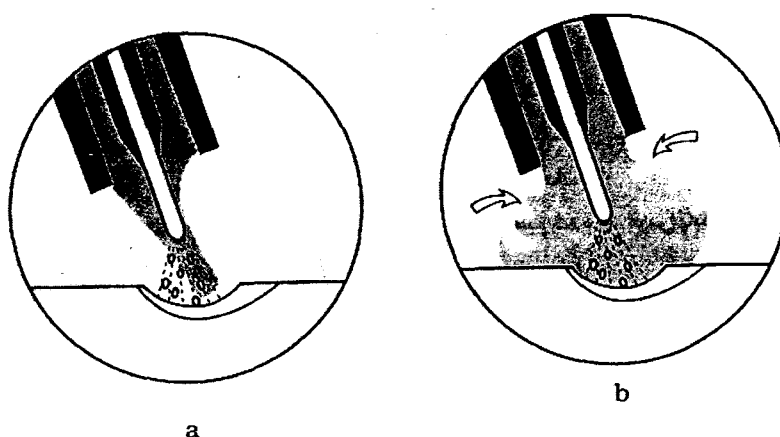
Material	Thickness		Transfer mode	Recommended shielding gas	Advantages and limitations
	mm	in.			
Carbon steel	<2.0	<0.080	Short circuiting	Ar-25CO ₂ Ar-15CO ₂ Ar-8CO ₂	Good penetration and distortion control to reduce potential burnthrough
			Short circuiting	Ar-8CO ₂ Ar-15CO ₂ Ar-25CO ₂	Higher deposition rates without burnthrough; minimum distortion and spatter; good puddle control for out-of-position welding
	2.0-3.2	0.080-0.125	Short circuiting	Ar-15CO ₂ Ar-25CO ₂ CO ₂	High welding speeds; good penetration and puddle control; applicable for out-of-position welds
			Globular	Ar-25CO ₂ CO ₂	Suitable for high-current and high-speed welding; deep penetration and fast travel speeds, but with greater burnthrough potential
	>3.2	>0.125	Conventional spray arc	Ar-10 ₂ Ar-20 ₂ Ar-30 ₂ Ar-8CO ₂ Ar-10CO ₂ Ar-15CO ₂ Ar-CO ₂ -O ₂ blends	Good arc stability; produces a more fluid puddle as O ₂ increases; good coalescence and bead contour; good weld appearance and puddle control
			Pulsed spray	Argon-50CO ₂ Ar-He-CO ₂ blends Ar-CO ₂ -O ₂ blends	Used for both gage and out-of-position weldments; achieves good pulsed spray stability over a wide range of arc characteristics and deposition ranges
			Short circuiting	Ar-8CO ₂ Ar-15CO ₂ Ar-CO ₂ -O ₂ blend	High welding speeds; good penetration and puddle control; applicable for out-of-position welds; suitable for high-current and high-speed welding
			Spray arc (high-current density and rotational)	Ar-20 ₂ Ar-50 ₂ Ar-CO ₂ -O ₂ blends Ar-He-CO ₂ blends	Reduces undercutting; higher deposition rates and improved bead wetting; deep penetration and good mechanical properties
			Pulsed spray	Ar-50CO ₂ Ar-8CO ₂ Ar-20 ₂	Used for both light-gage and heavy out-of-position weldments; achieves good pulsed spray stability over a wide range of arc characteristics and deposition ranges
Alloy steel	All sizes		Short circuiting	Ar-8CO ₂ Ar-15CO ₂ Ar-CO ₂ -O ₂ blend	High welding speeds; good penetration and puddle control; applicable for out-of-position welds; suitable for high-current and high-speed welding
			Spray arc (high-current density and rotational)	Ar-20 ₂ Ar-50 ₂ Ar-CO ₂ -O ₂ blends Ar-He-CO ₂ blends	Reduces undercutting; higher deposition rates and improved bead wetting; deep penetration and good mechanical properties
			Pulsed spray	Ar-50CO ₂ Ar-8CO ₂ Ar-20 ₂	Used for both light-gage and heavy out-of-position weldments; achieves good pulsed spray stability over a wide range of arc characteristics and deposition ranges
			Short-circuiting transfer	Ar-He-CO ₂ blends He-Ar-CO ₂ blends Ar-10 ₂ Ar-20 ₂	Low CO ₂ contents in helium mix minimize carbon pickup, which can cause intergranular corrosion with some alloys; helium improves wetting action; CO ₂ contents >5% should be used with caution on some alloys; applicable for all position welding
			Spray arc	Ar-He-CO ₂ blends Ar-10 ₂ Ar-20 ₂	Good arc stability; produces a fluid but controllable weld puddle; good coalescence and bead contour; minimizes undercutting on heavier thicknesses
			Pulsed spray	Ar-He-CO ₂ blends Ar-10 ₂ Ar-20 ₂	Used for both light-gage and heavy out-of-position weldments; achieves good pulsed spray stability over a wide range of arc characteristics and deposition ranges
Stainless steel, copper, nickel, and Cu-Ni alloys	All sizes		Short-circuiting transfer	Ar-He-CO ₂ blends He-Ar-CO ₂ blends Ar-10 ₂ Ar-20 ₂	Low CO ₂ contents in helium mix minimize carbon pickup, which can cause intergranular corrosion with some alloys; helium improves wetting action; CO ₂ contents >5% should be used with caution on some alloys; applicable for all position welding
			Spray arc	Ar-He-CO ₂ blends Ar-10 ₂ Ar-20 ₂	Good arc stability; produces a fluid but controllable weld puddle; good coalescence and bead contour; minimizes undercutting on heavier thicknesses
			Pulsed spray	Ar-He-CO ₂ blends Ar-10 ₂ Ar-20 ₂	Used for both light-gage and heavy out-of-position weldments; achieves good pulsed spray stability over a wide range of arc characteristics and deposition ranges
			Short-circuiting transfer	Ar-He-CO ₂ blends He-Ar-CO ₂ blends Ar-10 ₂ Ar-20 ₂	Low CO ₂ contents in helium mix minimize carbon pickup, which can cause intergranular corrosion with some alloys; helium improves wetting action; CO ₂ contents >5% should be used with caution on some alloys; applicable for all position welding
Aluminum, titanium, and other reactive metals	≤13	≤½	Spray arc	Argon	Best metal transfer, arc stability, and plate cleaning; little or no spatter; removes oxides when used with DCEP (reverse polarity)
			Spray arc	75He-25Ar 50He-50Ar	High heat input; produces fluid puddle, flat bead contour, and deep penetration; minimizes porosity
	>13	>½	Spray arc	Helium 75He-25Ar	High heat input; good for mechanized welding and overhead; applicable to heavy section welding
			Pulsed spray	Argon	Good wetting; good puddle control



شکل ۴۷: اثر مخلوط های گاز محافظ بر هندسه جوش (جریان DCEP) [۷].

۶-۳- شدت جریان گاز محافظ

در کنار انتخاب صحیح گاز محافظ، تنظیم سرعت جریان گاز نیز مهم است. سرعت جریان بسیار پایین خطر جایگزینی هوای اطراف با گاز را به دنبال دارد (شکل ۴۸a). از سوی دیگر سرعت جریان بسیار بالا نیز باعث آشفته گی و تلاطم می شود که در نهایت احتمال مکش و وارد شدن هوا به داخل گاز محافظ وجود دارد (شکل ۴۸b).



شکل ۴۸: اثر شدت جریان گاز محافظ بر شرایط محافظت آن [۲].

میزان شدت جریان گاز محافظ به عوامل زیر بستگی دارد:

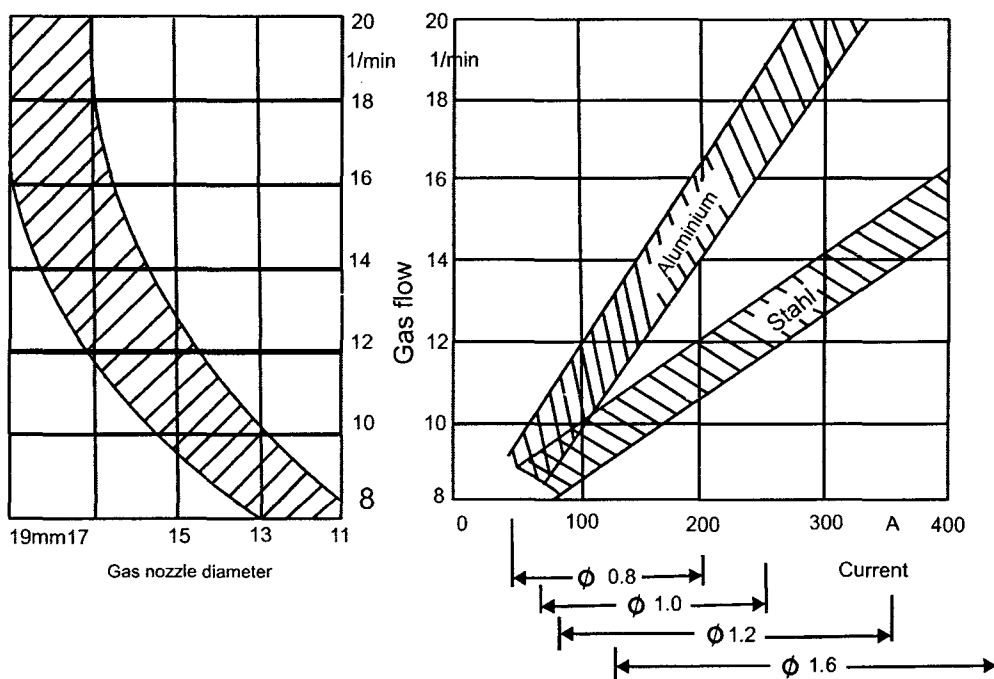
- دانسیته گاز محافظ
- نوع فلز پایه
- میزان بخار فلز



- پایداری قوس
- قطر نازل گاز و فاصله نازل تا قطعه کار
- طراحی اتصال
- سرعت حرکت جوشکاری
- سرعت هوای محیط (باد) [۴].

سرعت جریان گاز توسط رگولاتورهای نصب شده روی مخزن گاز کنترل می‌شود. مقادیر مناسب برای جوشکاری فولاد $5-12 \text{ lit/min}$ در جوشکاری قوس کوتاه و $12-20 \text{ lit/min}$ برای جوشکاری قوس اسپری می‌باشد [۴].

در شکل ۴۹، نسبت بین قطر نازل و شدت جریان گاز نشان داده شده است. همچنین مقادیر مناسب شدت جریان گاز با توجه به شدت جریان و نوع فلز پایه (آلومینیم و فولاد) در شکل آمده است.



شکل ۴۹: نسبت بین قطر نازل، نوع فلز پایه، شدت جریان الکتریکی به کار رفته و شدت جریان گاز محافظ [۴].



۷- متغیرهای فرآیند

برقراری صحیح پارامترهای جوشکاری، در کیفیت جوشکاری اهمیت به‌سزایی دارد. برخی از پارامترها توسط تجهیزات و برخی دیگر توسط اپراتور تنظیم می‌شوند. متغیرات فرآیند روی نفوذ جوش، شکل درز جوش و به طور کلی کیفیت جوشکاری تاثیر گذارند. این متغیرها عبارتند از:

- جریان جوشکاری (سرعت تغذیه سیم جوش)

- قطبیت

- ولتاژ قوس (طول قوس)

- سرعت جوشکاری

- طول موثر الکترود^۱

- جهت الکترود نسبت به قطعه کار

- وضعیت اتصال

- قطر الکترود

- ترکیب گاز محافظ و شدت جریان آن

دانستن و کنترل این متغیرها برای ایجاد جوشی با کیفیت مناسب ضروری است. این متغیرها به طور کامل مستقل نیستند و تغییر یکی از آنها معمولاً مستلزم تغییر دیگری است تا نتایج دلخواه به دست آید. مهارت و تجربه زیادی برای انتخاب حالت بهینه که متاثر از عوامل مختلفی است، مورد نیاز می‌باشد. این عوامل عبارتند از:

۱- نوع فلز پایه ۲- ترکیب شیمیایی الکترود ۳- حالت جوشکاری ۴- کیفیت مورد نظر.

۷-۱- جریان جوشکاری (سرعت تغذیه سیم جوش)

با ثابت در نظر گرفتن تمام متغیرها، جریان جوشکاری با سرعت تغذیه الکترود یا سرعت ذوب رابطه‌ای غیر خطی خواهد داشت. در صورت استفاده از منبع تغذیه جریان ثابت (CC)، با تغییر سرعت تغذیه الکترود، جریان نیز به همان صورت تغییر می‌کند. رابطه بین جریان و سرعت تغذیه سیم برای الکترودهای فولاد کربنی در شکل ۵۰ نشان داده شده است. در جریان‌های کم به ازاء هر اندازه الکترود،

^۱-Electrode Stick-Out

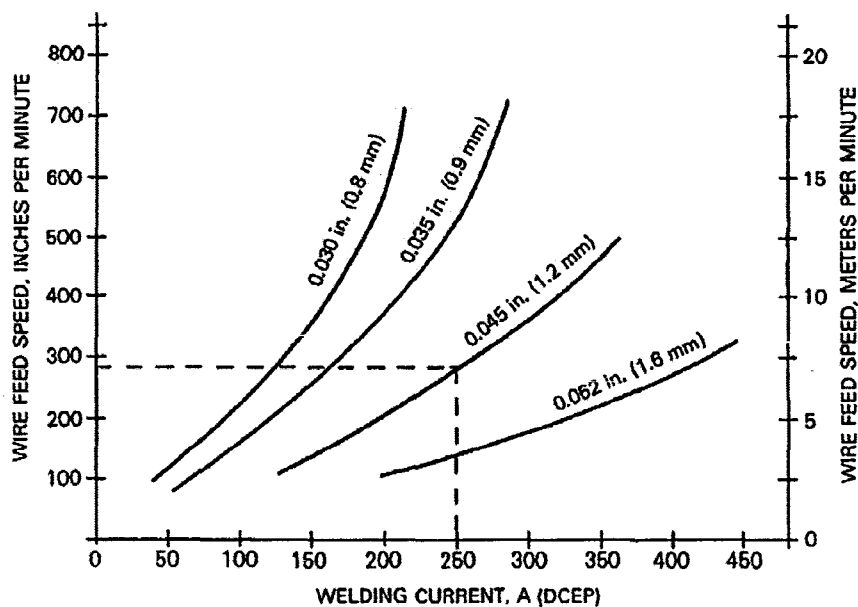


منحنی تقریباً خطی خواهد بود، در حالی که در جریان‌های بالاتر به خصوص هنگام استفاده از الکترودهای با قطر کمتر منحنی غیرخطی می‌شود و سرعت تغذیه با افزایش جریان با سرعت بیشتری افزایش می‌یابد. همانطور که در شکل‌های ۵۲، ۵۰، ۵۱ و ۵۳ نیز مشاهده می‌شود با افزایش قطر الکتروود (با در نظر گرفتن سرعت ثابت تغذیه الکتروود جریان بالاتری مورد نیاز می‌باشد، رابطه بین سرعت تغذیه الکتروود و جریان، تأثیر پذیر از ترکیب شیمیایی الکتروود نیز می‌باشد. این اثر را می‌توان با مقایسه شکل‌های ۵۰، ۵۱، ۵۲ و ۵۳ که رابطه بین سرعت تغذیه الکتروود و جریان را به ترتیب برای الکترودهای فولاد کربنی، آلومینیم، فولاد زنگ نزن و مس نشان می‌دهد، مورد بررسی قرار داد. تفاوت بین منحنی‌ها و شیب آنها به دلیل اختلاف دمای ذوب و مقاومت الکتریکی این فلزات می‌باشد. ضمن آنکه امتداد الکتروود نیز بر این نسبتها تأثیر گذار می‌باشد. با در نظر گرفتن تمام متغیرها افزایش جریان (افزایش سرعت تغذیه الکتروود) نتایج زیر را به همراه خواهد داشت:

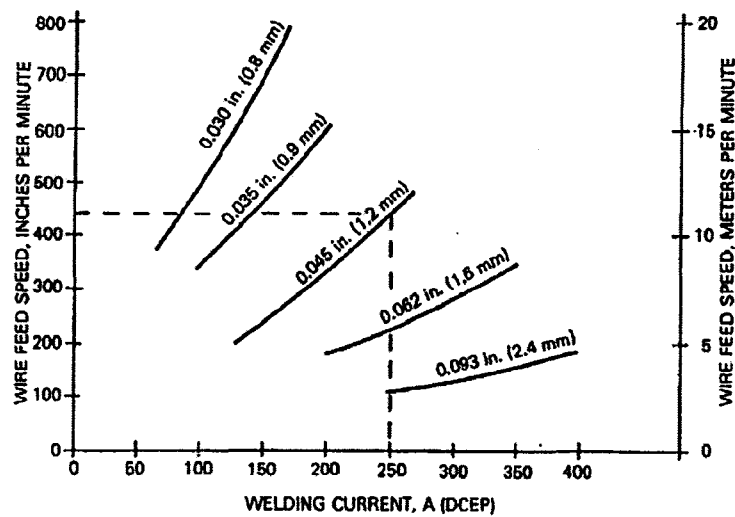
۱- افزایش عمق و عرض نفوذ جوش

۲- افزایش نرخ رسوب

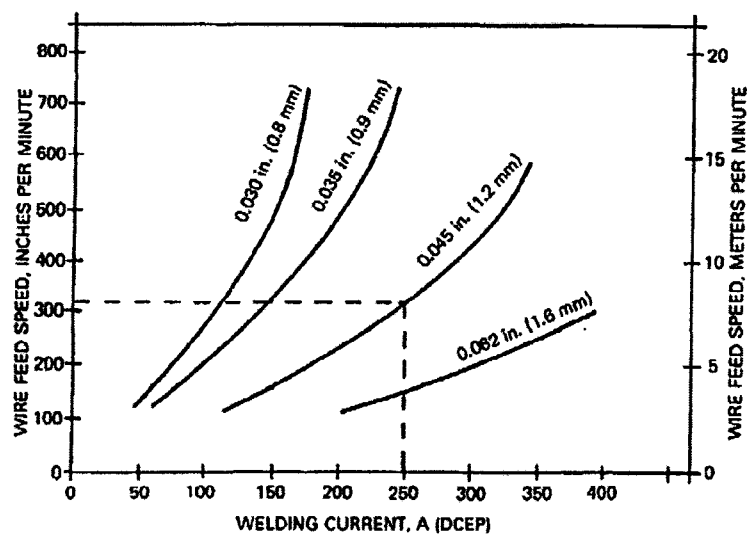
۳- افزایش اندازه مهره جوش



شکل ۵۰: نسبت بین جریان جوشکاری و سرعت تغذیه سیم جوش در سیم جوش‌های فولاد کربنی [۱].



شکل ۵۱: نسبت بین جریان جوشکاری و سرعت تغذیه سیم جوش در سیم جوش‌های آلومینیوم ۴۰۴۳ ER [۱].



شکل ۵۲: نسبت بین جریان جوشکاری و سرعت تغذیه سیم جوش در سیم جوش‌های فولاد زنگ نزن سری ۳۰۰ [۱].

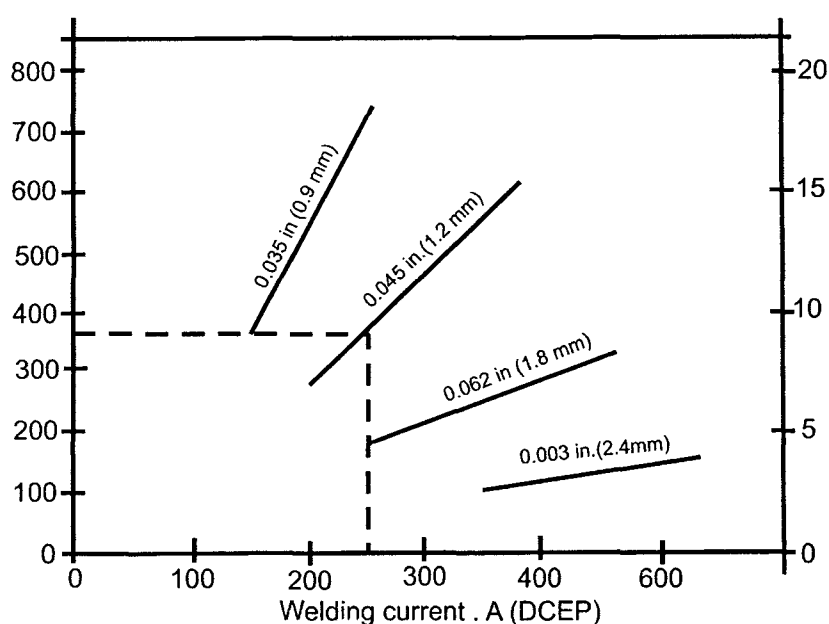
۱-۱-۷- دانسیته جریان و سرعت رسوب دهی

به منظور بررسی رابطه بین دانسیته جریان و رسوب دهی ابتدا مفاهیم بازدهی الکتروود و سرعت رسوب دهی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.



• بازدهی الکتروود

نسبت فلز جوش به سیم جوش ذوب شده بر حسب درصد، به عنوان بازدهی الکتروود، تعریف می‌شود. در الکتروودهای Stick، بازدهی الکتروود در حدود ۱۰۰٪ است اما در بعضی مواقع این مقدار بیش از ۱۰۵٪ می‌باشد. این الکتروودها، الکترودهایی با بازدهی بالا^۱ نامیده می‌شوند. بازدهی الکتروود بیش از ۱۰۰٪ با اضافه کردن پودر آهن به پوشش الکتروود به دست خواهد آمد. البته این مزیت می‌تواند همراه با پاشش و ناخالصی‌های سرباره باشد [۴].



شکل ۵۳: نسبت بین جریان جوشکاری و سرعت تغذیه سیم جوش در سیم جوش‌های مسی [۱].

• سرعت رسوب دهی

برای مقایسه اقتصادی یک الکتروود نمی‌توان مقدار بازدهی الکتروود را مورد بررسی قرار داد. از این رو نرخ رسوب، به عنوان میزان واقعی فلز جوش رسوب یافته در واحد زمان (برحسب کیلوگرم) تعریف می‌شود. ضروری است که بین نرخ رسوب در مقابل سرعت حرکت، تعادل وجود داشته باشد، چرا که تعادل مناسب باعث ایجاد نرخ بهینه رسوب اتصال جوش می‌شود. این امر خصوصاً در جوشکاری

^۱-High Efficiency Electrodes



نیمه اتوماتیک، که کیفیت جوشکاری به قابلیت حرکت فیزیکی جوشکار بستگی دارد، اهمیت خاصی دارد. فاکتورهای زیر روی این رابطه تعادل تاثیر گذارند:

۱- اندازه جوش

۲- طرح اتصال جوش

۳- تعداد پاس های جوش

۴- محدودیت فیزیکی جوشکار (در جوشکاری نیمه اتوماتیک)

مهمترین عاملی که بر سرعت رسوب دهی تاثیر گذار می باشد، دانسیته جریان است. هر چه الکتروند نازکتر باشد به دلیل دانسیته جریان بالاتر نرخ رسوب بیشتر است. در فرآیند GMAW نیز به دلیل کاربرد الکترودهای نسبتاً باریک، سرعت رسوب دهی بالا است [۲].

۷-۲- قطبیت

در اغلب کاربردهای GMAW از جریان مستقیم همراه با الکتروند مثبت (DCEP) استفاده می شود. کاربرد این نوع جریان، قوس پایدار، انتقال فلز یکنواخت، پاشش نسبتاً کم، خواص مناسب جوش و بیشترین عمق نفوذ را برای محدوده وسیعی از جریان های جوشکاری به همراه خواهد داشت. از جریان مستقیم با الکتروند منفی (DCEN) به ندرت استفاده می شود. زیرا انتقال اسپری محوری با این نوع جریان مستلزم تنظیمات و اصلاحاتی است که از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست. اگر چه کاربرد این نوع جریان، سرعت ذوب بالای سیم جوش را همراه خواهد داشت. اما انتقال فلز به صورت قطره ای، شرایط مطلوبی را به وجود نخواهد آورد. در جوشکاری فولادها، با افزودن حداقل ۵٪ اکسیژن به آرگون یا عملیات ترمیونیک کردن سیم جوش، می توان انتقال فلز را بهبود بخشید. اگر چه انجام هر دو عمل منجر به کاهش سرعت رسوب دهی، که تنها مزیت این قطبیت به شمار می رود، خواهد شد. با این وجود به دلیل سرعت رسوب دهی بالا و نفوذ کمتر، در کاربردهای عملیات سطحی می توان از جریان DCEN استفاده کرد.

تلاش برای استفاده از جریان متناوب در فرآیند GMAW به طور کلی ناموفق بوده است. موجی بودن سیکل جریان، موجب ناپایداری قوس (در زمانی که جریان از نقطه صفر عبور می کند و قوس تمایل به خاموش شدن دارد)، خواهد شد.



۷-۳- ولتاژ قوس (طول قوس)

ولتاژ قوس و طول قوس اگر چه پارامترهای مختلفی هستند اما به یکدیگر مربوط می‌باشند و عبارات آنها اغلب به جای هم به کار برده می‌شود. در فرآیند GMAW طول قوس متغیر بحرانی است که باید به دقت کنترل شود. برای مثال در انتقال اسپری محوری با محافظت آرگون، در صورت ایجاد طول قوس خیلی کوتاه، اتصالات کوتاه لحظه‌ای به وجود خواهد آمد که نتیجه آن نوسانات فشار می‌باشد که منجر به ورود هوا به داخل جریان قوس خواهد شد. همچنین تولید حفرات و تردی فلز جوش به دلیل جذب نیتروژن نیز حاصل این اتصالات کوتاه خواهد بود. بلند بودن بیش از حد طول قوس نیز موجب انحراف قوس و تاثیر منفی بر نفوذ، پروفیل سطحی جوش و بی‌نظمی در حفاظت گازی خواهد شد.

در حالت قوس پنهان^۱ با محافظت CO₂ طول قوس بلند، پاشش و تخلخل بیش از حد و طول قوس بسیار کوتاه، ناپایداری قوس به دلیل اتصالات کوتاه نوک الکترود با حوضچه جوش را به همراه خواهد داشت. طول قوس یک متغیر مستقل است در حالی که ولتاژ قوس به طول قوس و متغیرهای دیگری مانند ترکیب شیمیایی و قطر الکترود، گاز محافظ، تکنیک جوشکاری و در زمانی که توسط منبع تغذیه اندازه گیری می‌شود به کابل جوشکاری نیز بستگی دارد.

با ثابت در نظر گرفتن تمام متغیرها ولتاژ قوس به طور مستقیم متناسب با طول قوس می‌باشد. اگر چه طول قوس متغیری است که باید کنترل شود، اما بررسی مقدار ولتاژ آسان‌تر است. از این رو در دستورالعمل‌های جوشکاری به طور معمول مقدار ولتاژ ثبت می‌شود. تنظیم ولتاژ بر اساس نوع گاز محافظ و حالت انتقال فلز صورت می‌گیرد. در جدول ۲۳ مقادیر معمول این پارامترها برای برخی از فلزات ارائه شده است. به منظور به دست آوردن بهترین مشخصات قوس و ظاهر جوش لازم است که ولتاژ با چند بار تست کردن، به طور مناسب تنظیم شود، زیرا تنظیم بهینه ولتاژ به فاکتورهای مختلفی مانند ضخامت ورق، نوع اتصال، وضعیت جوشکاری، اندازه الکترود، ترکیب شیمیایی گاز محافظ و نوع جوش بستگی دارد. به ازاء هر مقدار مشخص ولتاژ قوس، افزایش ولتاژ، مسطح شدن مهره جوش و افزایش عرض منطقه ذوب^۲ را به همراه خواهد داشت. ولتاژ بیش از حد نیز ممکن است منجر به تولید تخلخل، پاشش و بریدگی کناره جوش^۳ شود.

۱-Burried Arc

۲-Fusion Zone

۳-Undercut



کاهش ولتاژ موجب تشکیل مهره جوش باریکتر با عمق و نفوذ بیشتر خواهد شد اگر چه کاهش بیش از حد این پارامتر موجب Stubbing الکتروود خواهد شد.

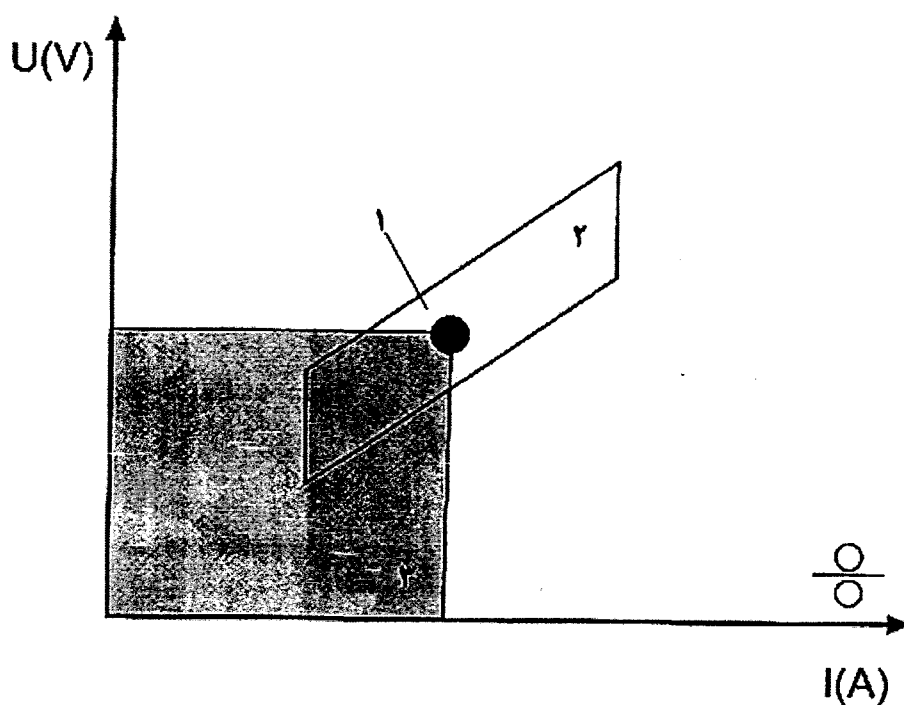
جدول ۲۳: ولتاژهای جوشکاری برای اتصال فلزات مختلف توسط فرآیند GMAW [۱]									
Metal	Sbray ^b Globular Transfer 1/16 in. (1.6mm) Diameter Electrode					Short Circuiting Transfer Diameter Electrode			
	Argon	Helium	۲۵%Ar-۷۵%He	Ar-۰.۲(۱-۰.۵%۰.۲)	Co _۲	Argon	۲۵%Ar-۷۵%He	Ar-۰.۲(۱-۰.۵%۰.۲)	Co _۲
Aluminum	۲۵	۳۰	۲۹	-	-	۱۹	-	-	-
Magnesium	۲۶	-	۲۸	-	-	۱۶	-	-	-
Carbon steel	-	-	-	۲۸	۳۰	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
Low alloy steel	-	-	-	۲۸	۳۰	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
Stainless steel	۲۴	-	-	۲۶	-	۱۸	۱۹	۲۱	-
Nickel	۲۶	۳۰	۲۸	-	-	۲۲	-	-	-
Nickel-copper alloy	۲۶	۳۰	۲۸	-	-	۲۲	-	-	-
Nickel-chromium-iron alloy	۲۶	۳۰	۲۸	-	-	۲۲	-	-	-
Copper	۳۰	۳۶	۳۳	-	-	۲۴	۲۲	-	-
Copper-nickel alloy	۲۸	۳۲	۳۰	۲۸	-	۲۳	-	-	-
Aluminum bronze	۲۸	۳۲	۳۰	-	-	۲۳	-	-	-
Phosphor bronze	۲۸	۳۲	۳۰	۲۳	-	۲۳	-	-	-

۷-۳-۱- تنظیم ولتاژ قوس و سرعت تغذیه سیم جوش

تنظیم صحیح سرعت تغذیه سیم جوش (که در ادامه جریان جوشکاری را کنترل می‌کند) و ولتاژ قوس به جنس قطعه کار، ضخامت قطعه کار، نوع اتصالات، موقعیت جوشکاری، نوع مواد پرکننده و گاز محافظ مصرفی بستگی دارد. مقادیر راهنما برای تمام این پارامترها را می‌توان از جداول اطلاعات

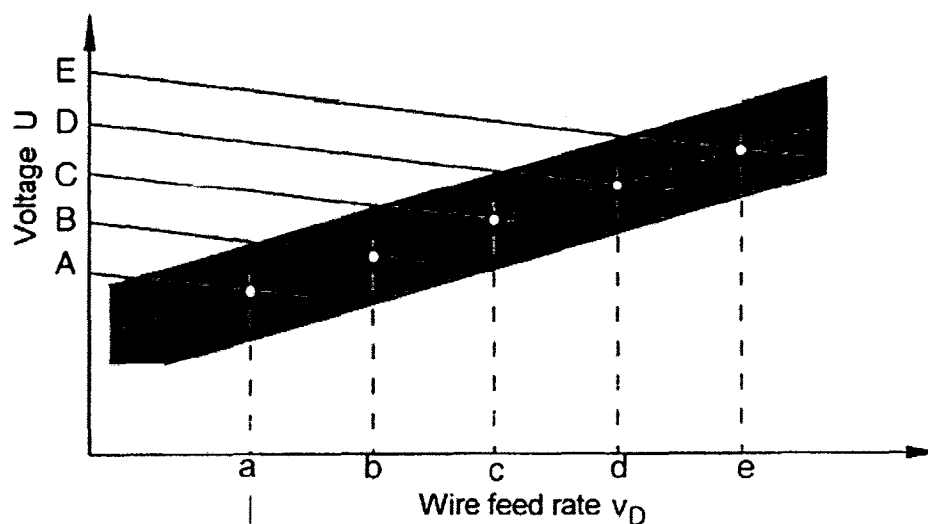


جوشکاری استخراج نمود. در این جداول نقطه کاری مناسب را نیز می‌توان یافت (شکل ۵۴). نقطه کار باید واقع در محدوده کار و در سطحی باشد که گرمای ورودی کافی برای قطعه کار موجود باشد. در طول جوشکاری امکان بررسی اینکه آیا پارامترها در محدوده کار قرار گرفته‌اند یا نه، وجود ندارد. البته با مشاهده قوس و کیفیت جوشکاری می‌توان تخمینی در این مورد زد. تنظیم صحیح پارامترها سبب ایجاد قوسی استوار و پایدار با طولی مناسب می‌شود، میزان گرمای ورودی به قطعه کار متناسب می‌گردد و مقدار ترشحات و جرقه به حداقل می‌رسد. درز جوش نیز صاف و صیقلی بوده و به طور یکنواخت با بدنه فلز پایه ادغام می‌شود [۲].



شکل ۵۴: ۱- نقطه مناسب کار ۲- محدوده کار ۳- حرارت ورودی از قوس [۲].

در شکل ۵۵، اثر تنظیمات ولتاژ و سرعت تغذیه سیم جوش بر شکل هندسی جوش نشان داده شده است.



Rate of deposition:

Lower

Medium

Higher

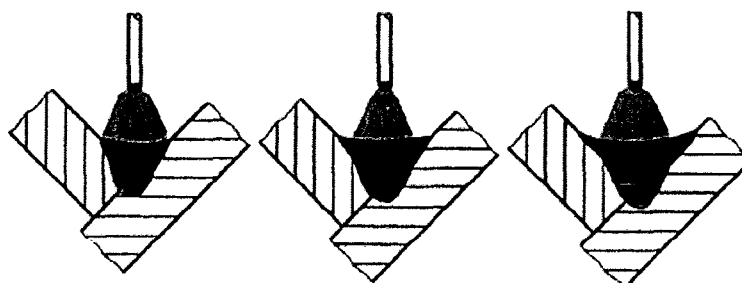
Length of arc:

Medium

Medium

Medium

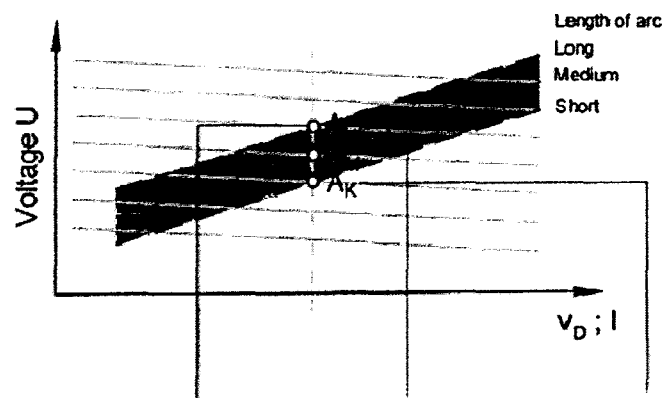
Weld profile:



شکل ۵۵: اثر تنظیمات ولتاژ و سرعت تغذیه سیم جوش بر شکل هندسی جوش [۳].

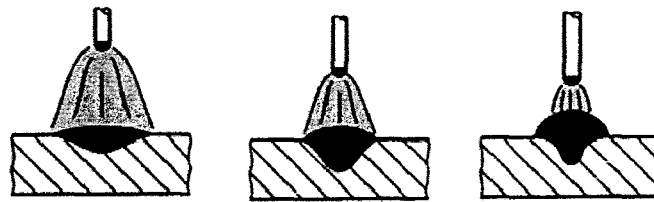
در شکل ۵۶، اثر تغییر ولتاژ در سرعت تغذیه سیم جوش ثابت روی شکل هندسی جوش لب به لب

و گوشه‌ای نشان داده شده است.

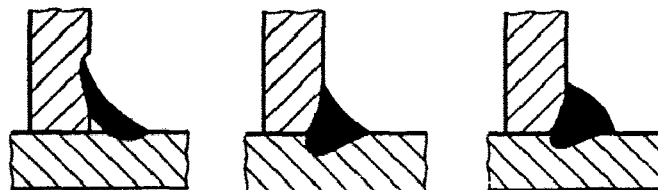


Voltage	High	Medium	Low
Working point:	A_L	A_M	A_S
Arc length:	Long	Medium	Short

Weld profile
butt weld:

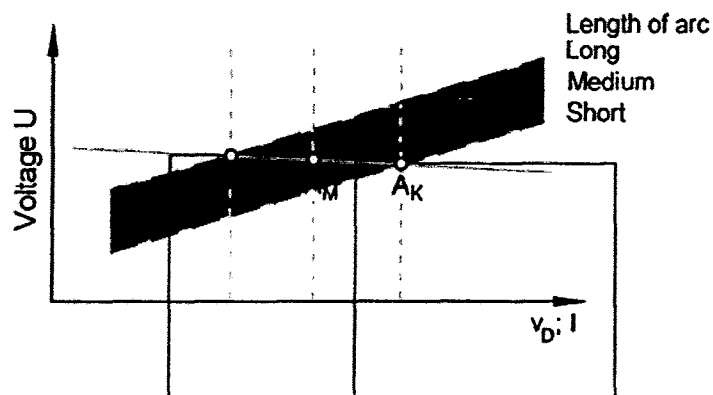


Weld profile
fillet weld:



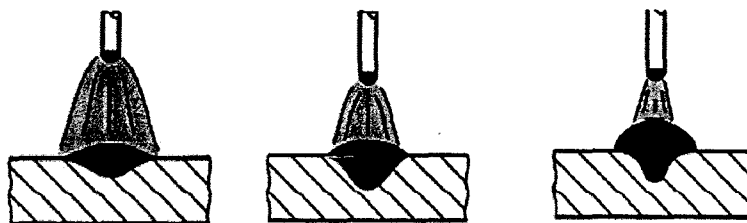
شکل ۵۶: اثر تغییر ولتاژ در سرعت تغذیه سیم جوش ثابت روی شکل هندسی جوش [۳].

در شکل ۵۷، نیز اثر تغییرات سرعت تغذیه سیم جوش در ولتاژ ثابت روی شکل هندسی جوش نشان داده شده است.



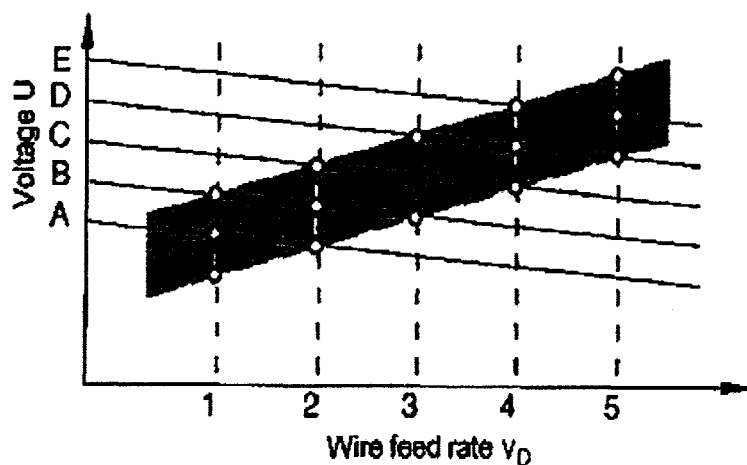
Wire feed rate:	Slower	Medium	Faster
Working point:	A_L	A_M	A_S
Arc length:	Longer	Medium	Shorter
Current:	Lower	Medium	Higher
Rate of deposition:	Lower	Medium	Higher

Weld profile:



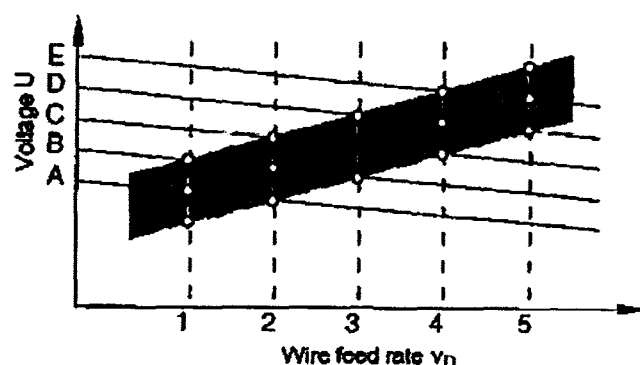
شکل ۵۷: اثر تغییرات سرعت تغذیه سیم جوش در ولتاژ ثابت روی هندسه جوش [۳].

در اشکال ۵۸ و ۵۹، نقطه کاری C_3 در ولتاژ C و سرعت تغذیه ۳ قرار دارد. در شکل ۵۸، تغییرات سرعت تغذیه سیم جوش و ولتاژ و اثر آنها بر طول قوس و سرعت رسوب دهی و در شکل ۵۹ تغییرات طول قوس و سرعت رسوب دهی و اثر آنها بر ولتاژ و سرعت تغذیه سیم جوش نسبت به نقطه C ، مورد بررسی قرار گرفته است.



	Arc length				Rate of deposition		
	shorter	constant	longer	extin- guished	lower	constant	greater
Increased rate of wire feed to level 4	X						X
Reduced rate of wire feed to level 2			X		X		
Increased rate of wire feed to level 5				X			
Reduced voltage to level B	X					X	
Increased voltage to level D			X			X	
Reduced voltage to level A				X			

شکل ۵۸: تغییرات سرعت تغذیه سیم جوش و ولتاژ و اثر آنها بر طول قوس و سرعت رسوب دهی [۳].



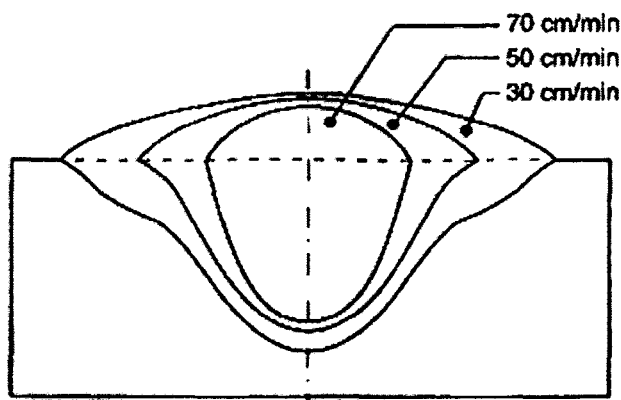
	Voltage					Wire feed rate				
	A	B	C	D	E	1	2	3	4	5
Reduced length of arc while retaining same rate of deposition		x						x		
Reduced rate of deposition while retaining same length of arc		x					x			
Increased rate of deposition and reduced length of arc			x						x	
Reduced width of seam while retaining same rate of deposition		x						x		

شکل ۵۹: تغییرات طول قوس و سرعت رسوب دهی و اثر آنها بر ولتاژ و سرعت تغذیه سیم جوش [۵].

۴-۷- سرعت جوشکاری

سرعت جوشکاری نیز تاثیر قابل توجهی روی شکل و نفوذ جوش دارد. اگر سرعت جوشکاری نسبت به ولتاژ و سرعت تغذیه بسیار بالا باشد، حرارت ورودی نسبت به واحد طول جوش ناکافی خواهد بود. ضمن اینکه عرض حوضچه جوش کم و نفوذ نیز ضعیف خواهد بود. از سویی دیگر، اگر سرعت جوشکاری بسیار کم باشد، حرارت ورودی و حجم مواد مذاب در واحد طول جوش بسیار بزرگ خواهد بود. این امر نیز باعث ایجاد حوضچه جوشی بزرگ و منطقه متاثر از گرمای گسترده در اطراف جوش می شود.

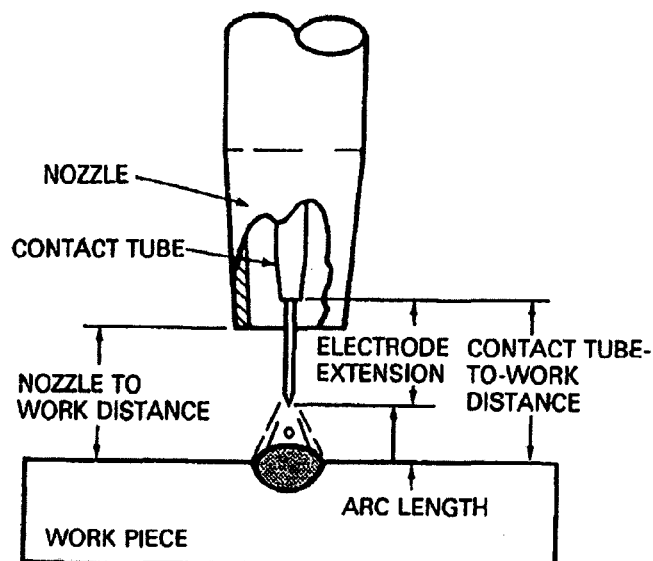
شکل ۶۰، اثر تغییرات سرعت جوشکاری بر پروفیل جوش را نشان می‌دهد.



شکل ۶۰: اثر سرعت جوشکاری بر ظاهر جوش در مقادیر ولتاژ و جریان ثابت [۵].

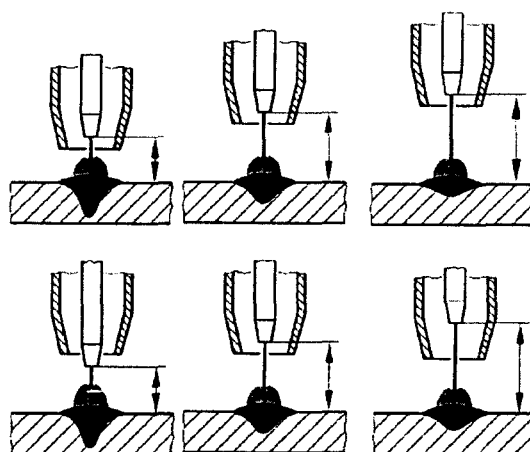
۵-۷ - طول موثر الکتروود

طول موثر الکتروود، فاصله بین آخرین نقطه تماس الکتریکی که معمولاً انتهای مجرای اتصال می‌باشد تا انتهای الکتروود نامیده می‌شود (شکل ۶۱) و می‌توان جهت بررسی تغییرات این پارامتر بر خصوصیات جوش، فاصله مجرای اتصال تا سطح قطعه کار را نیز مد نظر قرار داد. افزایش طول موثر الکتروود موجب افزایش مقاومت گرمایی (RI^2) الکتروود، بالا رفتن دمای الکتروود، و افزایش کم نرخ ذوب سیم جوش خواهد شد. از طرفی افزایش مقاومت الکتریکی، موجب افت ولتاژ بیشتر، از مجرای اتصال تا قطعه کار خواهد شد که این عامل باعث کاهش جریان توسط منبع تغذیه می‌گردد. در نتیجه حرارت ورودی و سرعت ذوب الکتروود فوراً کاهش پیدا می‌کنند.



شکل ۶۱: ترمینولوژی فرایند GMAW [۱].

در شکل ۶۲، تغییرات فاصله مجرای اتصال و طول مؤثر الکتروود و اثر آنها بر خصوصیات جوش نشان داده شده است.



Contact tube distance	Smaller	Medium about 10 mm	Larger
Resistive heating	Less	Medium	More
Arc power	More	Medium	Less
Penetration	Deeper	Medium	More shallow
Spattering	Little	Medium	Increased

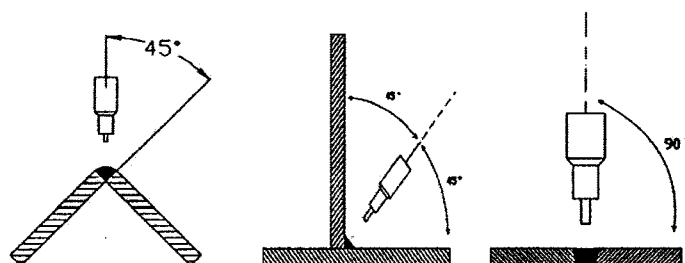
شکل ۶۲: تغییرات فاصله مجرای اتصال و اثر آن بر خصوصیات جوش [۳].



مقدار بهینه طول موثر در حدود $6/4$ تا 13 میلی متر برای انتقال اتصال کوتاه و 13 تا 25 میلی متر برای انتقال های قطره ای و اسپری می باشد [۷].

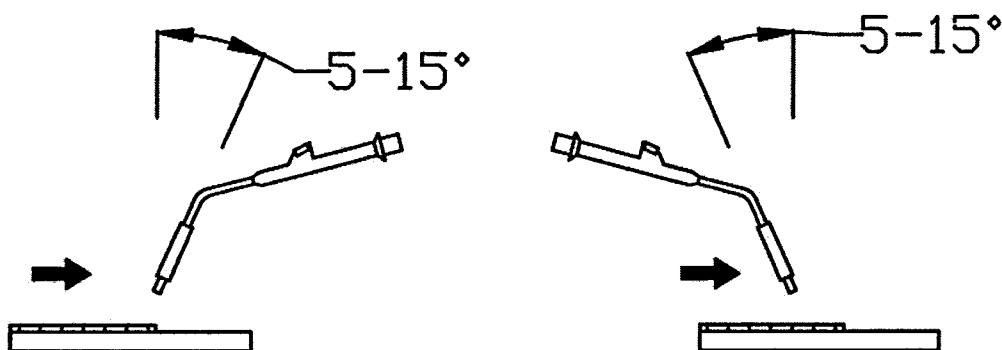
۶-۷- جهت گیری الکتروود نسبت به قطعه کار

زاویه مشعل نسبت به قطعه کار، تاثیر اساسی روی شکل جوش و عمق نفوذ دارد. در شکل ۶۳، یک مقطع عرضی از قرارگیری صحیح مشعل نسبت به انواع مختلف اتصالات نشان داده شده است.



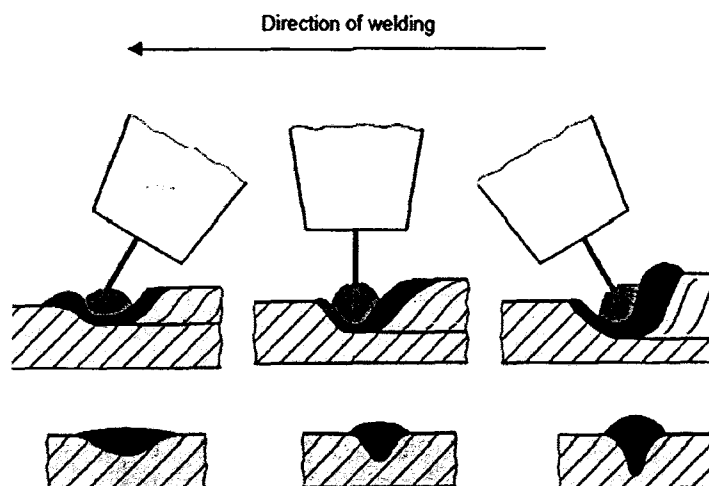
شکل ۶۳: زاویه مناسب مشعل نسبت به مسیر جوش برای اتصالات مختلف [۲].

زاویه ای که مشعل باید در طول مسیر جوش خم شود، بستگی به موقعیت جوشکاری دارد، همانطور که در شکل ۶۴، مشاهده می شود با یک محاسبه ساده می توان گفت که مشعل نباید بیش از 15° درجه از حد عمود نسبت به قطعه کار خم شود [۲].



شکل ۶۴: زاویه مناسب مشعل نسبت به راستای جوش [۲].

در شکل ۶۵، نیز اثر تغییرات زاویه مشعل نسبت به قطعه کار بر خصوصیات جوش نشان داده شده است.



Position of welding torch	Directed away from finished part of weld	Vertical	Directed towards finished part of weld
Penetration	More shallow	Medium	Deeper
Gap bridging	Better	Medium	Worse
Arc stability	Worse	Medium	Better
Spattering	More	Medium	Less
Seam width	Wider	Medium	Narrower

شکل ۶۵: تغییرات زاویه مشعل و تاثیر آن بر خصوصیات جوش [۳].

۷-۷- وضعیت اتصال

جوشکاری در وضعیت‌های تخت و افقی اغلب با انتقال فلز به صورت اسپری محوری انجام می‌گیرد. در حالی که در سطوح جریان‌های پایین‌تر انتقال فلز به صورت پالسی و اتصال کوتاه می‌تواند برای تمام وضعیت‌ها مورد استفاده قرار گیرد. در جوشکاری اتصالات گوشه‌ای در وضعیت تخت، همراه با انتقال فلز به صورت اسپری نسبت به جوشکاری همین اتصالات در وضعیت افقی، جوش‌های یکنواخت‌تر و غیر مستعدتر نسبت به ایجاد بریدگی کناره جوش، حاصل خواهد شد.



به منظور غلبه بر نیروی جاذبه وضعیت های عمودی و بالای سر اغلب از الکترودهای با قطر کمتر، همراه با انتقال فلز به صورت اتصال کوتاه یا اسپری محوری با جریان مستقیم پالسی استفاده می‌شود. الکترودهایی با قطر ۱/۱ mm و کوچکتر، جهت جوشکاری در تمام وضعیت‌ها مناسب می‌باشند. حرارت ورودی کم نیز اجازه می‌دهد تا حوضچه سریعاً منجمد شده و فرو نریزد.

۸-۷- قطر الکترود

قطر الکترود بر شکل مهره‌های جوش تاثیرگذار می‌باشد. برای یک نوع انتقال فلز، الکترودهای با قطر بیشتر نیازمند حداقل جریان بالاتری نسبت به الکترودهای کوچکتر می‌باشند. جریان‌های بالاتر، موجب ذوب بیشتر الکترود، حوضچه جوشی بزرگ‌تر و با سیالیت بیشتر و نرخ رسوب دهی و نفوذ بالاتری خواهد شد. از جریان‌های پایین‌تر و الکترودهای کوچکتر معمولاً در جوشکاری‌های عمودی و بالای سر استفاده می‌شود.

۹-۷- ترکیب گاز محافظ و شدت جریان آن

مخلوط آرگون همراه با ۲۰-۵ درصد دی‌اکسیدکربن، عموماً برای جوشکاری فولادهای کربنی و کم آلیاژ کاربرد دارد. جهت جوشکاری اسپری و پالسی میزان کمتری از CO_2 می‌تواند مفید باشد. CO_2 خالص به عنوان یک انتخاب جهت جوشکاری قوس کوتاه همراه با نفوذ خوب جوش و ذوب کافی اما همراه با پاشش می‌تواند در نظر گرفته شود. در جوشکاری فولادهای زنگ نزن می‌توان از گاز آرگون همراه با مقادیر کمی از CO_2 و O_2 استفاده نمود. همچنین به منظور جوشکاری فلزات آلومینیم و مس و آلیاژهای مس معمولاً از آرگون خالص یا مخلوط‌های آرگون و هلیوم استفاده می‌شود [۵].

۸- تکنیک های فرآیند GMAW

به طور کلی تکنیک جوشکاری در فرآیند GMAW شبیه دیگر روش‌های جوشکاری قوس الکتریکی می‌باشد. تمیز کردن، محکم کردن و سوار کردن اجزاء مورد اتصال و استفاده از نگهدارنده‌ها و وضعیت دهنده‌ها به تقلیل پیچیدگی کمک نموده و عملیات جوشکاری را تسهیل و کیفیت جوش را مطلوب می‌سازد. اتصال صحیح کابل زمین به قطعه کار یا نگهدارنده به ویژه در مورد فلزات



فرو مغناطیسی حائز اهمیت است (تقلیل وزش قوس). عموماً بهترین جهت برای جوشکاری، دور شدن از محل اتصال زمین است. وضعیت الکتروود نسبت به محل اتصال از نظر عمق نفوذ جوش، عمل ذوب و ظاهر باند جوش حائز اهمیت است. هنگامی که اتصال با نفوذ کامل مورد نظر باشد از روش‌های مختلف «پشت نگهدارنده» استفاده می‌شود.

قبل از شروع عملیات جوشکاری باید کلیه محل‌های اتصال گاز و سیستم آبگرد به دستگاه و مشعل بازبینی شود تا احتمال نشت گاز یا آب بررسی شود اندازه نازل و دبی عبور گاز محافظ باید متناسب با روش و طرح محل اتصال و سایر پارامترهای جوشکاری باشد. دبی یا نرخ عبور گاز به نوع طرح اتصال و فاصله نازل تا سطح کار بستگی دارد. از طرف دیگر همانطور که اشاره شد نرخ عبور گاز و اندازه نازل باید به طریقی باشد تا سطح پوشش کافی در موضع جوش به وجود آورد.

مجرای اتصال و غلتک‌های هادی سیم باید متناسب با نوع و قطر سیم الکتروود انتخاب شود، زیرا مجرای اتصال به مرور زمان ساییده می‌شود. برای جلوگیری از اتصال ناقص جریان الکتریکی و گرم شدن مشعل باید هر چند یک بار آن را تعویض کرد.

۸-۱- برقراری قوس

سیم جوش در حدود ۱۵ میلی متر بیرون از مجرای اتصال قرار می‌گیرد. فاصله بین مجرای اتصال و قطعه کار تقریباً ۲۰ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود. در این حالت جوشکاری می‌تواند آغاز شود. هنگامی که سیم جوش با قطعه کار تماس پیدا می‌کند، یک اتصال کوتاه برقرار شده و قوس جرقه می‌زند. طول قوس به صورت اتوماتیک مطابق با پارامترهای جوشکاری تنظیم شده برقرار می‌شود [۴].

۸-۲- زاویه مشعل جوشکاری

• تکنیک پس دستی^۱

در صورتی که شیب مشعل در جهت مسیر جوشکاری باشد (مشعل به سمت قسمت جوش نداده خم شده باشد)، فلز مذاب توسط نیروی قوس به عقب بر می‌گردد. در این حالت قوس به آسانی فلز پایه را ذوب می‌کند و گرمای زیادی در حوضچه جوش ایجاد می‌گردد که باعث ایجاد نفوذی عمیق و درز جوشی باریک می‌شود (شکل ۶۶). قابلیت مشاهده حوضچه جوش بسیار مناسب و کنترل آن آسان

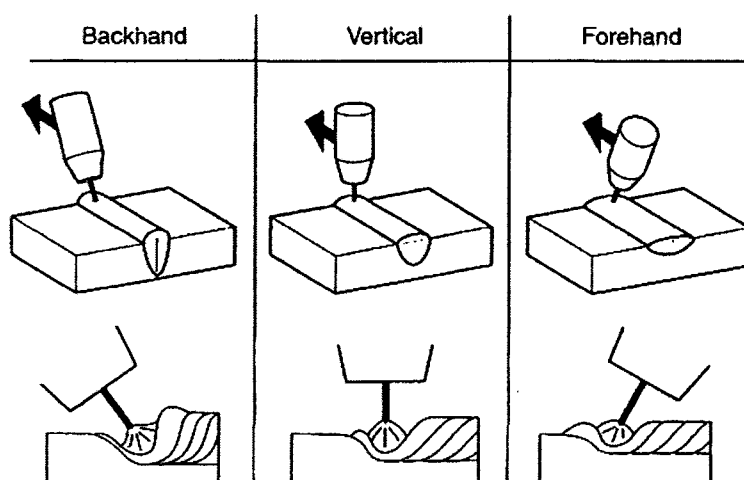
^۱-Pulling, Backhand Welding



است. این تکنیک به تکنیک پس دستی موسوم است و رایج‌ترین شیوه جوشکاری می‌باشد. از کاربردهای مهم تکنیک پس دستی می‌توان به جوشکاری صفحات ضخیم و نیمه ضخیم فولادی اشاره کرد.

• تکنیک پیش دستی^۱

در تکنیک پیش دستی، شیب مشعل در خلاف جهت مسیر جوشکاری است (مشعل به سمت قسمت جوش داده شده خم شده است)، در این حالت فشار قوس بر حوضچه جوش متمرکز است. حوضچه جوش بزرگتر است اما فلزات پایه سخت‌تر ذوب می‌شوند در نتیجه نفوذ جوش کمتر و عرض درز جوش بیشتر می‌باشد. افزایش شیب مشعل موجب جوشی با عرض بیشتر و عمق کمتر خواهد شد. در این تکنیک سرعت جوشکاری بالاتر است اما احتمال عدم ذوب کافی نیز وجود دارد [۴].



شکل ۶۶: تکنیک‌های جوشکاری [۵].

۸-۳- وضعیت قرارگیری مجرای اتصال نسبت به نازل گاز

فاصله بین مجرای اتصال و نازل گاز تأثیر قابل توجهی بر نوع انتقال فلز دارد. در جوشکاری اسپری محوری، این فاصله باید در حدود ۸-۵ میلی‌متر باشد. در این حالت محافظت کافی از قوس به

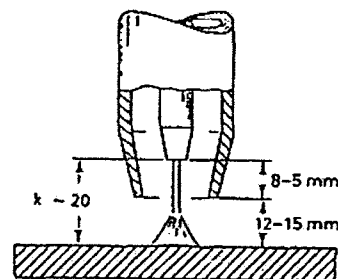
^۱-Pushing, Forehand Welding

عمل می‌آید و حوضچه جوش به راحتی قابل مشاهده است. در جوشکاری قوس کوتاه فاصله بین مجرای اتصال و نازل گاز کمتر و مجرای اتصال در حدود ۲mm کوتاه‌تر یا بلندتر از نازل می‌باشد (شکل ۶۷).

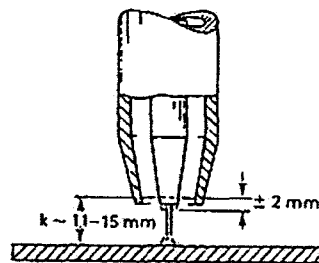
۸-۴- طراحی اتصال

طراحی اتصال و ابعاد مربوط به آن در فرآیند GMAW مورد استفاده در جوشکاری فولادها در شکل ۶۸ نشان داده شده است. استفاده از این ابعاد و دستور العمل مناسب جوشکاری، اتصالی با نفوذ کامل و گرده جوشی قابل قبول به همراه خواهد داشت. برای جوشکاری دیگر فلزات نیز می‌توان از این طراحی اتصال استفاده کرد، اگر چه در انواع فلزاتی که هدایت حرارتی بالایی دارند (مانند آلومینیوم و مس) لازم است که زوایای شیارها بازتر باشد تا مشکل عدم ذوب کافی به وجود نیاید. مشخصه نفوذ عمیق در فرآیند جوشکاری اسپری محوری موجب می‌شود که استفاده از اتصالاتی با زاویه کمتر مقدور باشد. در نتیجه مصرف سیم جوش و زمان جوشکاری اتصال کاهش پیدا می‌کند [۱].

Spray arc welding



short arc welding



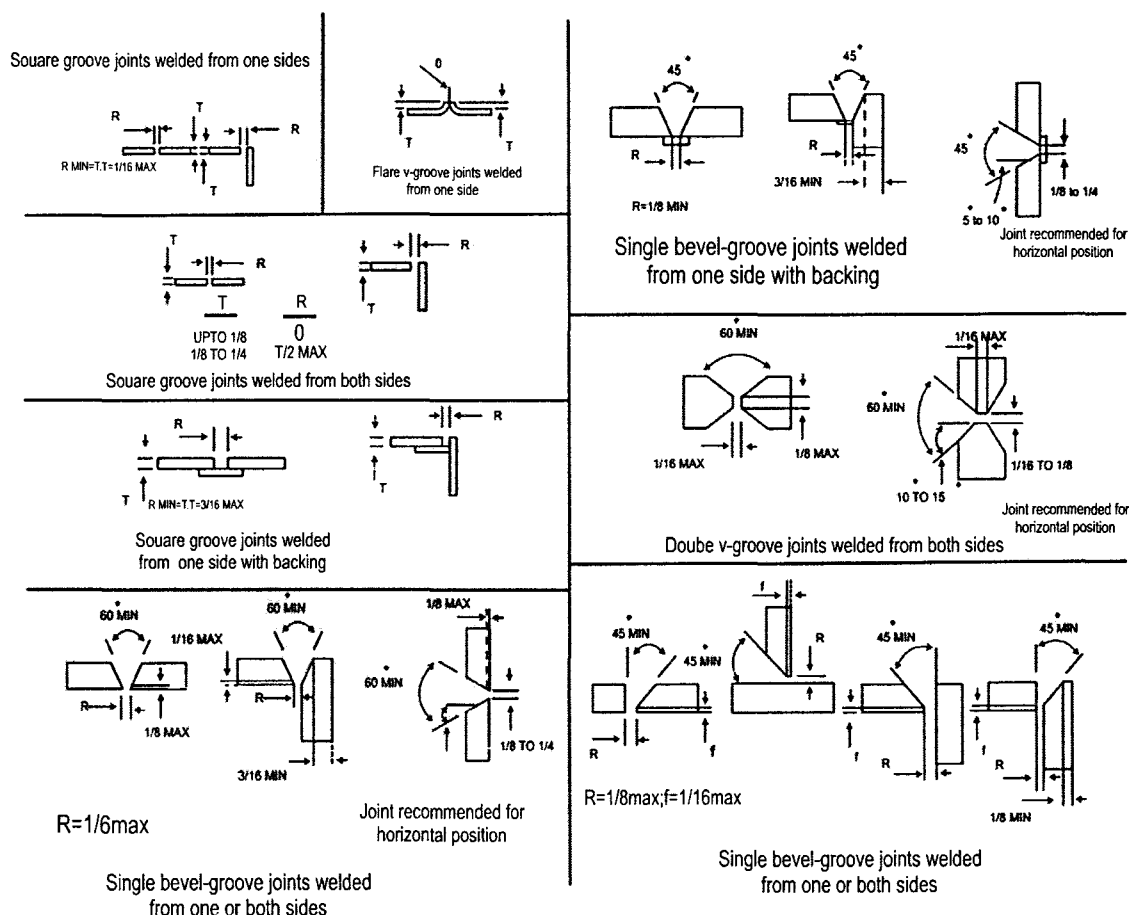
شکل ۶۷: فاصله بین مجرای اتصال و نازل گاز و اثر آن بر نوع انتقال فلز [۴].

۹- جوشکاری قوس نقطه ای

جوشکاری قوس نقطه‌ای یکی از انواع مختلف فرآیندهای GMAW می‌باشد. در این نوع جوشکاری دو نقطه از فلز پایه گداخته شده و یکی از آنها کاملاً در دیگری نفوذ می‌کند. این فرآیند در



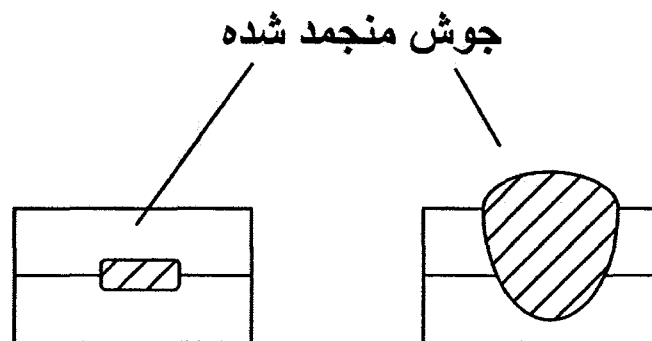
کارهای سبک (با حداکثر ضخامت ۵ میلی‌متر)، نظیر ساخت بدنه اتومبیل و دستگاه‌های الکتریکی به کار می‌رود. قبل از شروع جوشکاری، به غیر از تمیز کردن لبه‌های کار، به عملیات آماده سازی خاص دیگری نیاز نیست. برای جوشکاری قوس نقطه‌ای قطعات سنگین‌تر، می‌توان قطعه بالایی را دریل یا پانچ کرد. قوس از طریق این سوراخ عبور کرده و به قطعه پایینی می‌رسد و جوشکاری انجام می‌شود. به این تکنیک جوشکاری پرچی نیز گفته می‌شود.



شکل ۶۸: نمونه هایی از طراحی اتصالات و ابعاد مربوط به آن در فرآیند GMAW [۱].

شکل ۶۹ مقایسه بین جوشکاری قوس نقطه‌ای تحت پوشش گاز و جوشکاری مقاومتی نقطه‌ای را نشان می‌دهد. در جوشکاری مقاومتی نقطه‌ای، جوش از طریق مقاومت گرمایی و فشار الکتروود حاصل می‌شود، اما در جوشکاری قوس نقطه‌ای تحت پوشش گاز، قوس از قطعه بالایی عبور کرده و

قطعه پایینی را در حوضچه جوش ذوب می‌کند. یکی از مزیت‌های قابل توجه جوشکاری قوس نقطه‌ای این است که در دسترس بودن تنها یک وجه قطعه کار برای جوشکاری کفایت می‌کند [۱].



جوش نقطه‌ای مقاومتی

جوش نقطه‌ای GMA

شکل ۶۹: مقایسه جوشکاری قوس نقطه‌ای تحت پوشش گاز و جوشکاری مقاومتی نقطه‌ای [۱].

در این روش ساعت یا زمان سنج بر روی نازل گاز نصب و تنظیم شده‌است و در زمان‌های معین قوس به تناوب ایجاد و خاموش می‌شود [۸].

۱۰- جوشکاری سیمی دوتایی و پشت سر هم

یکی از روش‌های افزایش بازدهی و افزایش سرعت جوشکاری در فرآیند GMAW استفاده از سیم‌های پرکننده دوتایی است. هر دو سیم را می‌توان به یک منبع نیرو متصل کرد. یعنی قوس آنها مشترک خواهد بود. این روش، قوس دوتایی یا قوس دوقلویی^۱ نامیده می‌شود. اگر از دو منبع نیرو استفاده شود، به این روش، جوشکاری پشت سر هم^۲ گفته می‌شود، یعنی دو سیم پشت سر هم هستند و در یک حوضچه قرار می‌گیرند. جوشکاری با دو سیم سرعت را حداقل دو برابر روش‌های معمول افزایش می‌دهد و این افزایش سرعت در جوشکاری ورق‌های نازک بیشتر نیز خواهد بود. در برخی کاربردها، سرعت خطی جوشکاری می‌تواند به 6 m/min نیز برسد.

تنظیم جریان و ولتاژ جوشکاری، در روش دو سیمی بسیار مشکل‌تر است، به خصوص در جوشکاری پشت سر هم لازم است که داده‌های مربوط به هر سیم جداگانه تنظیم شود. از آنجا که دو

۱-Twin Arc

۲-Tandem Welding



قوس بسیار به یکدیگر نزدیک هستند، گاهی در اثر وزش قوس مغناطیسی با یکدیگر تداخل پیدا می‌کنند. در نتیجه معمولاً در این روش از جوشکاری پالسی استفاده می‌شود که در آن پالس هر سیم جدا از فاز سیم دیگر است [۵].

۱۱- عیوب جوشکاری در GMAW

۱۱-۱- ترک

- عواملی که می‌تواند موجب بروز ترک در فلز جوش شود عبارتند از:
- بالا بودن نسبت عمق به پهنای مقطع جوش که با افزایش ولتاژ یا کاهش شدت جریان می‌توان کرده جوش را پهن‌تر و کم عمق‌تر نمود.
- مقطع جوش خیلی کوچک باشد، به‌ویژه در مورد جوش نبشی یا جوش ریشه‌ای در ورق‌های ضخیم پخ شده که با کاهش سرعت پیشرفت یا افزایش حرارت داده شده می‌توان جوش بزرگ‌تری ایجاد کرد.
- سرد شدن سریع دهانه انتهایی جوش، که با کاهش سرعت سرد شدن و کنترل جهت حرکت مشعل در خاتمه نوار جوش از ایجاد دهانه انتهایی، می‌توان جلوگیری کرد.

۱۱-۲- ذرات محبوس شده (آخال)

- رات محبوس شده (آخال)^۱ در جوش می‌تواند به یک یا چند دلیل زیر به وجود آید:
- استفاده از جوش چند پاسی و یا اتصال کوتاه قوس ضمن عملیات جوشکاری که با تمیز کردن هرگونه ناخالصی بر روی جوش قبل از انجام پاس بعدی می‌توان این عیب را تا حدودی کاهش داد.
- سرعت پیشرفت بالا نیز می‌تواند باعث محبوس شدن ذرات به صورت لایه‌ای در جوش شود که با انتخاب سرعت پیشرفت کمتر و سیم جوشی با مقدار مواد اکسیژن زدای بیشتر و افزایش ولتاژ، می‌توان میزان ذرات محبوس شده را تقلیل داد [۸].
- در جریان‌های بالا، در حالت انتقال به صورت اسپری، ضرورتی برای رفع سرباره وجود ندارد. اما در انتقال اتصال کوتاه در جریان‌های کم بهتر است تجمع سرباره توسط بررسی سیمی از بین رود تا از تشکیل آخال‌های ناشی از سرباره جلوگیری شود [۴].

۱- Inclusion



۱۱-۳- خلل و فرج (مک)

در زمان سرد شدن، حلالیت گازها در فلز جوش کاهش می‌یابد. هنگامی که فلز جوش در حال منجمد شدن است، گازهای محلول از حوضچه خارج می‌شوند. اما گازهایی که نمی‌توانند خارج شوند و در فلز جوش باقی می‌مانند موجب جوانه‌زنی و تشکیل حفره‌های گازی می‌شوند. اگر سرعت سرد شدن بالا باشد حفرات داخل فلز منجمد شده حبس می‌شوند. گازهایی که معمولاً موجب تشکیل حفره می‌شوند، نیتروژن، هیدروژن و دی‌اکسیدکربن می‌باشند. در این میان نیتروژن به دلیل مقدار فراوان آن در هوای اطراف، تولید خلل و فرج می‌کند. هیدروژن می‌تواند از طریق اکسیدهای سطحی (زنگ) و ترکیبات هیدروژن‌دار مانند رنگ، روغن و گریس وارد فلز جوش شود. دی‌اکسیدکربن نیز به دلیل واکنش کربن با اکسیژن در فولاد، به دلیل مقادیر ناکافی مواد اکسیژن‌زدا (Si , Mn , Al , Ti , Zr) در فلز پرکننده، می‌تواند تولید حفره کند [۴].

از دیگر عوامل تشکیل خلل و فرج می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- کافی نبودن منطقه تحت پوشش گاز محافظ؛ که با افزایش نرخ عبور گاز یا کاهش آن در صورت وقوع تلاطم، تمیز کردن جرقه از اطراف دهانه نازل، کاهش دادن وزش و جریان هوا و کاهش فاصله نازل تا سطح کار می‌توان این عیب را رفع کرد.
- وجود ناخالصی‌ها در الکتروود؛
- کثیفی سطح کار؛ تمیز کردن هر گونه آلودگی (روغن، رنگ، رطوبت و...) برای جلوگیری از این عیب ضروری است.
- ولتاژ قوس زیاد و فاصله زیاد نازل تا سطح کار؛ که می‌تواند سبب ورود اکسیژن و ازت هوا به حوضچه جوش مذاب شود. در این مورد کاهش ولتاژ و کاهش فاصله نازل تا سطح کار کمک به تقلیل این عیب می‌کند [۸].

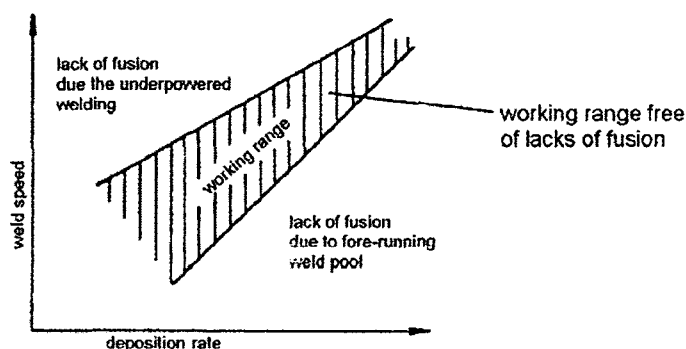
۱۱-۴- ذوب ناقص

ذوب ناقص در بسیاری از مواقع به خصوص در جوشکاری قوس کوتاه با جریان کم در قطعات ضخیم و در وضعیت بالای سر و افقی ایجاد می‌شود. همچنین در جوشکاری در وضعیت مسطح زمانی که فلز جوش جلوتر از قوس حرکت می‌کند احتمال وجود این عیب زیاد است که با تغییر زاویه مشعل و مستقیم نگه داشتن آن نسبت به سمت حوضچه جوش می‌توان از بروز این نقص جلوگیری کرد.



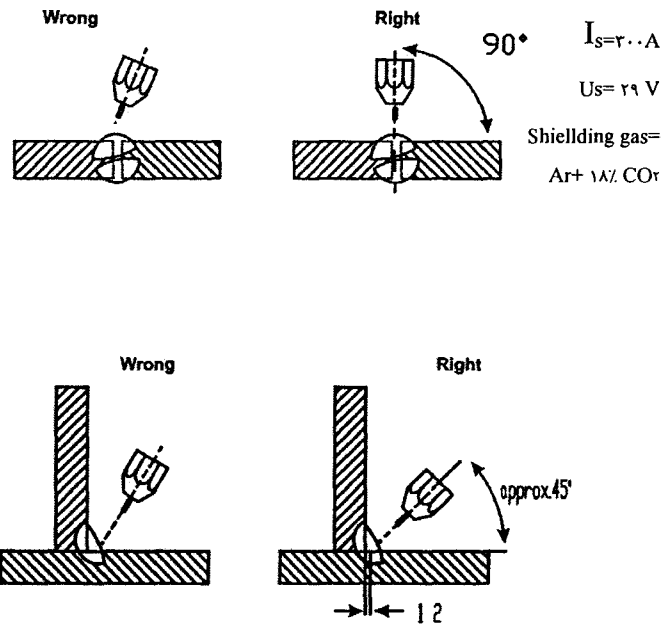
تنظیمات نادرست مانند ولتاژ کم، زیاد بودن طول موثر الکترود که موجب حرارت ورودی نامناسب و غیر متناسب با مقدار مواد پرکننده می‌شود، عدم تمیزی سطح یا لبه اتصال مصرف حرارت بسیار زیاد در قطعات ضخیم، شکل هندسی یا زاویه نامناسب اتصال و بزرگی حوضچه جوش از عوامل به وجود آورنده این عیب می‌باشند. برای جبران و کاهش این علل به ترتیب باید سطح مسیر اتصال، از هر گونه پوسته و لایه زنگ زده و آلودگی‌های دیگر تمیز شود. نرخ تغذیه سیم جوش و ولتاژ باید افزایش یابد یا سرعت جوشکاری کاهش پیدا کند (شکل ۷۰).

Influence of the weld speed



شکل ۷۰: اثر سرعت جوشکاری و احتمال بروز ذوب ناقص [۳].

طرز قرارگیری مشعل جوشکاری نسبت به حوضچه جوش نیز از عوامل تاثیرگذار بر ذوب ناقص می‌باشد (شکل ۷۱).



شکل ۷۱: تاثیر زاویه صحیح مشعل نسبت به قطعه کار [۳].

۵-۱۱- نفوذ ناقص

نفوذ ناقص جوش دلایلی مشابه با ذوب ناقص دارد. بدین ترتیب در این جا هم عواملی چون زاویه مشعل تاثیر گذار است. حداکثر نفوذ، زمانی حاصل می شود که مشعل به صورت عمود بر سطح قطعه کار نگه داشته شود. از آنجایی که میزان جریان به عنوان مهمترین فاکتور تعیین کننده نفوذ است، پارامترهای تاثیر گذار بر جریان نیز بر الگوی نفوذ موثر می باشند.

۶-۱۱- سوختگی کناره جوش

با کاهش سرعت جوشکاری می توان از به وجود آمدن این عیب جلوگیری کرد. همچنین کاهش سرعت تغذیه سیم جوش و تغییر زاویه مشعل نیز در جلوگیری از به وجود آمدن این نقص مؤثر می باشند.



۷-۱۱- پاشش

پاشش عاملی است که می تواند موجب تشکیل حفره، نفوذ ناکافی و اخلاص در سیکل های جوشکاری شود. پاشش ذرات بزرگ که معمولاً بر روی قطعه کار شکل می گیرد، به دلیل کم بودن شدت جریان نسبت به قطر سیم جوش یا طول قوس بسیار زیاد (ولتاژ بسیار بالا) رخ می دهد که موجب می شود قطرات در یک محور مستقیم منتقل نشوند. ذراتی که روی نازل گاز و مجرای اتصال پاشیده می شوند کوچکتر از ذراتی هستند که از اتصال محوری ذرات جلوگیری می کنند. این نوع پاشش بسیار معمول است و موجب تشکیل حفره و خلل و فرج ناشی از ورود هوا، به دلیل ایجاد تلاطم در جریان گاز محافظ، می شود [۴].

۱۲- مزایا و محدودیت ها

مزایای فرآیند GMAW عبارتند از:

- ۱- این روش تنها روش جوشکاری با الکتروود مصرف شدنی است که می توان جهت اتصال تمام فلزات و آلیاژهای تجاری به کار برد.
- ۲- در این فرآیند محدودیت طول الکتروود، که در جوشکاری با الکتروود دستی وجود داشت، وجود ندارد.
- ۳- جوشکاری در تمام وضعیت ها امکان پذیر است، در صورتی که در فرآیند جوشکاری زیرپودری یا جوشکاری سرباره الکتریکی این مزیت وجود ندارد.
- ۴- سرعت رسوب دهی به طور قابل توجهی بالاتر از جوشکاری با الکتروود دستی می باشد.
- ۵- سرعت جوشکاری در این روش به دلیل تغذیه مداوم سیم جوش و سرعت های بالاتر رسوب دهی، بیشتر از روش جوشکاری با الکتروود دستی می باشد.
- ۶- به دلیل تغذیه مداوم سیم جوش در این روش، می توان جوش های طولی را بدون شروع و توقف های متعدد، ایجاد کرد.
- ۷- در انتقال فلز به صورت اسپری محوری، عمق نفوذ در این روش نسبت به جوشکاری با الکتروود دستی بیشتر است. در نتیجه در طراحی جوش می توان جوش های گوشه ای کوچک تر با استحکام معادل را در نظر گرفت.



محدودیت های فرآیند GMAW نیز عبارتند از:

- ۱- وسایل و تجهیزات در این روش پیچیده تر، گران تر و با قابلیت حمل و نقل کمتر می باشند.
- ۲- به دلیل اینکه مشعل باید نزدیک محل اتصال قرار گیرد، در مواضع تنگ اشکالاتی برای عملیات جوشکاری ایجاد می شود.
- ۳- چون باید قوس از وزش باد دور نگه داشته شود، محدودیت هایی از نظر جوشکاری در فضای آزاد به وجود می آید.
- ۴- سرعت سرد شدن جوش به علت عدم وجود لایه سرباره سریع تر از روش های قوس با محافظت سرباره است و در نتیجه خواص متالورژیکی و مکانیکی جوش تغییر می یابد و در مورد برخی فلزات سختی پذیر احتمال تردی فلز جوش نیز وجود دارد [۸].

۱۳- کاربردها

- جوش صفحات فلزی با ضخامت های مختلف (از ۰/۵ میلی متر به بالا).
 - جوش انواع مختلف مواد با ساختارهای متفاوت مانند آلومینیوم و آلیاژهای آن، فولاد زنگ نزن، آلیاژهای سبک فولاد و انواع فلزات غیر آهنی.
- همچنین GMAW دارای کاربردهای زیادی در صنایع سنگین، کارهای حجیم و کارهای سبک تر مانند کاربردهای کارگاهی می باشد. این فرآیند کاربردهای فراوانی در صنایع اتومبیل سازی، کشتی سازی، ساختمان سازی و صنایع دریایی نیز دارد [۲].

۱۴- ایمنی

۱-۱۴- گازها

سمی ترین گازهایی که در GMAW تولید می شوند، ازن، دی اکسید نیتروژن و مونوکسید کربن هستند. در اثر تجزیه حرارتی یا فرابنفشی مواد پاک کننده هیدروکربنی کلردار مانند تری کلرواتیلن یا پروکلرواتیلن موجود در اطراف محل جوشکاری، احتمال ایجاد گاز فسژن نیز وجود دارد. مکان نگهداری مواد پاک کننده یا چربی گیرهایی که دارای هیدروکربن های کلردار هستند باید جایی باشد که امکان تماس بخارات متصاعد شده از آنها و تشعشعات قوس جوشکاری وجود نداشته باشد.



• ازن

اشعه فرابنفش ساطع شده از قوس، در واکنش با اکسیژن موجود در هوای اطراف، باعث تولید گاز ازن می‌شود. میزان گاز تولیدی به شدت و طول موج انرژی فرابنفش، رطوبت و میزان بخار جوشکاری و سایر عوامل بستگی دارد. معمولاً غلظت گاز ازن با افزایش جریان جوشکاری، استفاده از آرگون به عنوان گاز محافظ و هنگام جوشکاری فلزاتی که سطوح صیقلی دارند (انعکاس تشعشع بیشتری دارند)، افزایش می‌یابد. اگر امکان کاهش مقدار ازن تا سطوح استاندارد توسط تهویه یا متغیرات فرآیند وجود نداشته باشد، ضروری است که جوشکار از هوای تازه، به صورت استفاده از کپسول‌های اکسیژن همراه و یا استفاده از سایر وسایل، تنفس کند.

• دی اکسید نیتروژن

نتایج آزمایشات حاکی از آن است که تا فاصله ۱۵۲ میلی‌متری قوس، غلظت بالایی از دی‌اکسید نیتروژن وجود دارد. با تهویه عادی، می‌توان غلظت دی‌اکسید نیتروژن را تا رسیدن به سطح استاندارد تنفسی کاهش داد. تا زمانی که جوشکار، صورت خود را خارج از بخار جوشکاری نگه دارد وجود دی‌اکسید نیتروژن در محل، برای او خطری ندارد.

• مونوکسید کربن

دی‌اکسید کربنی که به عنوان گاز محافظ در فرآیند GMAW مورد مصرف قرار می‌گیرد، توسط حرارت قوس به مونوکسید کربن تجزیه می‌شود. اگر چه مونوکسید کربنی که تولید می‌شود زیاد نیست، اما ابرهای غلیظی از این گاز، که به طور موقت در محل جوشکاری شکل می‌گیرند، برای جوشکار خطرناک هستند. با اکسید شدن مونوکسید کربن، دی‌اکسید کربن تولید می‌شود. بنابراین غلظت مونوکسید کربن در فاصله ۷۶ تا ۱۰۲ میلی‌متری ابرهای جوشکاری، میزان ناچیزی خواهد بود. در نتیجه تحت شرایط معمولی جوشکاری، از این نظر خطری متوجه جوشکار نخواهد بود. هنگامی که جوشکار در محدوده این گازها قرار می‌گیرد، یا هنگامی که جریان طبیعی هوا این گازها را به سمت او می‌آورد و یا زمانی که جوشکاری در یک محیط بسته انجام می‌شود، جوشکار برای خارج کردن این گاز، باید از تهویه استفاده کند. از آنجا که این گازهای محافظ، به راحتی می‌توانند جای هوا را بگیرند، باید دقت شود که منطقه تنفس جوشکار، در هنگام جوشکاری در محیط بسته، در سطح ایمنی قرار داشته باشد.



۱۴-۲- بخار فلزی

بخار فلزی از تبخیر فلز مذاب در طول قوس پدید می‌آید. این بخار فلزی هنگامی که با هوای اطراف تماس پیدا می‌کند متراکم و اکسید می‌شود. ذرات بخار شامل اکسیدهایی از مواد مختلف می‌باشند. عمدتاً همان موادی که در سیم جوش (و مواد گداز آور موجود در سیم جوش‌های توپودری) یافت می‌شوند، ذرات بخار جوشکاری MIG/MAG را نیز تشکیل می‌دهند. مواد موجود در سیم جوش اگر چه روی سطح قطعه کار رسوب کرده یا تشکیل سرباره می‌دهند، اما در ذرات بخار نیز یافت می‌شوند. بسته به نوع مواد موجود در بخار، میزان خطر آن نیز برای سلامتی جوشکار کم یا زیاد است. با تهویه عمومی، تهویه خروجی موضعی یا تجهیزات محافظتی تنفسی می‌توان بخار تولید شده در GMAW را کنترل کرد. روش تهویه برای نگهداشتن ذرات سمی منطقه تنفسی جوشکار در سطح غلظت استاندارد تنفسی، به چند فاکتور بستگی دارد. نوع موادی که جوشکاری می‌شوند، وسعت محل جوشکاری، میزان محدودیت مکانی و مسدود شدن جریان طبیعی هوا از آن جمله‌اند. برای هر کاربردی باید ملاحظه و محاسبات مستقلی انجام شود تا مواردی که آن فرآیند به آن‌ها نیاز دارد مشخص شوند. در جدول ۲۴، ترکیبات اصلی ذرات موجود در منطقه تنفسی جوشکار آمده است.

جدول ۲۴: ذرات موجود در بخارات منطقه تنفسی جوشکار [۲].	
ذرات	موادی که جوشکاری می‌شوند
Al, Mg, Mn, Cr	آلومینیم و آلیاژهای آن
Mg, Al, Zn	آلیاژهای منیزیم
Cu, Be, Zn, Pb	مس و آلیاژهای آن
Ti	نیکل و آلیاژهای آن
Cr, Ni, Fe	فولاد ضد زنگ اوستنیتی
Fe, Cu, Mn	فولاد کربن

۱۴-۳- اشعه فرابنفش

از یک قوس الکتریکی، اشعه‌هایی شامل نور مرئی، اشعه فرابنفش و اشعه مادون قرمز ساطع می‌شود. اشعه فرابنفش می‌تواند به قرنیه چشم آسیب برساند و باعث ایجاد آب مروارید چشم و سوختگی پوستی شود. اشعه فرابنفش و نورهای مرئی شدید می‌توانند به شبکه چشم آسیب رسانند،



لذا بسیار مهم است که جوشکار از چشمان خود با وسایل محافظتی نظیر عینک فیلتردار مراقبت کند. این فیلترها معمولاً در انواع مختلفی وجود دارند. هر چه تیرگی فیلتر بیشتر باشد، اشعه کمتری از آن عبور می‌کند. شدت اشعه به فاکتورهای مختلفی بستگی دارد که شدت جریان جوشکاری یکی از این فاکتورها می‌باشد. درجه مناسب تیرگی فیلتر برای شدت جریان‌های متفاوت در جوشکاری، در جدول ۲۶ آمده است.

جدول ۲۵: فیلترهای مناسب برای جوشکاری GMAW [۲]

شماره لنز	MIG جریان (A)	MAG جریان (A)
۱۰	< ۱۰۰	< ۸۰
۱۱	۱۰۰-۱۷۵	۸۰-۱۲۵
۱۲	۱۷۵-۲۵۰	۱۲۵-۱۷۵
۱۳	۲۵۰-۳۵۰	۱۷۵-۳۰۰
۱۴	۳۵۰-۵۰۰	۳۰۰-۴۵۰
۱۵	> ۵۰۰	> ۴۵۰

در سال های اخیر، نوع جدیدی از فیلتر وارد بازار شده است که با نام عینک سریع شناخته می‌شود. فیلتر این عینک قبل از شروع جوشکاری، فیلتر شفاف است و نور مرئی از آن عبور می‌کند. به محض اینکه قوس ایجاد شد در عرض ۰/۰۰۲ ثانیه، فیلتر خود به خود تیره می‌شود و وقتی که جوشکاری به اتمام رسید، مجدداً فیلتر شفاف می‌شود و نور مرئی از آن عبور می‌کند. کارکردن با این عینک‌ها نه تنها ایمن‌تر و آسان‌تر است بلکه کیفیت کار را نیز بهبود می‌بخشد.

سایر افرادی که در مجاورت فرآیند جوشکاری قرار دارند نیز باید از اشعه های شدید ساطع شده از قوس محافظت شوند. با پرده کشی در اطراف محل جوشکاری توسط پرده‌ها یا صفحات متحرک تا حد زیادی می‌توان به این مهم نائل آمد. نه تنها چشم، بلکه از پوست نیز باید در مقابل اشعه فرابنفش محافظت شود. در غیر این صورت سوختگی‌هایی به صورت تورم و قرمز شدن روی پوست پدید می‌آید، لباس ها باید تمام بدن را بپوشانند و دکمه های بالای لباس باید بسته باشند.



دستکش ها نیز باید دارای آستین های بلند باشند تا کاملاً روی دست ها را فرا گیرند. سر و گردن جوشکار نیز باید توسط کلاه ایمنی جوشکاری محافظت شوند [۲].

۴-۱۴ - صدا و محافظت از گوش

میزان صدای موجود در محل جوشکاری باید به حدی باشد که به شنوایی پرسنل آسیبی نرسد. استفاده از وسایل محافظتی شنوایی مانند گوشی برای پرسنل توصیه می شود.

۱۵ - جوشکاری قوسی الکترودهای توپودری

در جوشکاری قوسی با الکترودهای توپودری^۱، حرارت جوشکاری توسط قوس الکتریکی بین الکتروود پرکننده پیوسته و قطعه کار تامین می شود. خصوصیت منحصر به فرد این فرآیند، استفاده از الکترودهای توپودری می باشد.

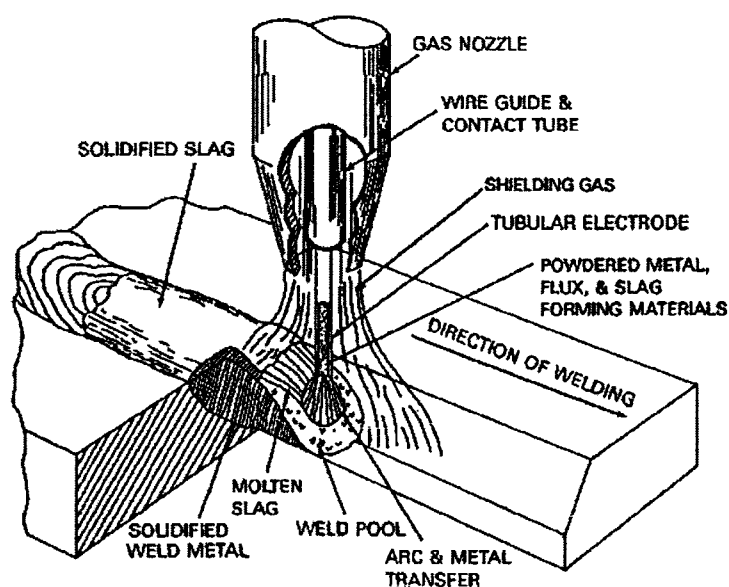
جوشکاری قوسی با الکتروود توپودری دو حالت مختلف دارد. در فرآیند FCAW با حفاظت گازی^۲ (شکل ۷۲)، از یک گاز خارجی برای حفاظت قوس از نیتروژن و اکسیژن موجود در اتمسفر استفاده می شود. به طور کلی قسمت های تشکیل دهنده مرکز الکترودهای مورد استفاده در این روش، حاوی تشکیل دهنده های سرباره، اکسیژن زداهای پایدارکننده های قوس و عناصر آلیاژی می باشند.

در فرآیند FCAW با الکترودهای خود محافظ^۳ (شکل ۷۳)، اجزاء هسته الکتروود، فلز جوش را بدون حفاظت خارجی، از اتمسفر محافظت می کنند. در برخی الکترودهای خود محافظ، گاز حفاظتی از طریق تجزیه اجزاء پودر درون الکتروود ایجاد می شود. در برخی موارد دیگر، حفاظت از طریق سرباره

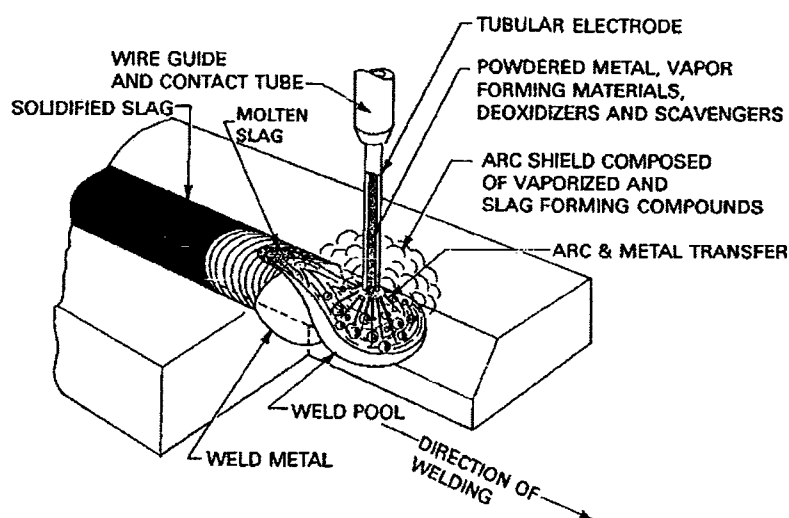
^۱-Flux-Cored Arc Welding (FCAW)

^۲-Gas Shielded FCAW

^۳-Self Shielded FCAW



شکل ۷۲: فرآیند FCAW با حفاظت گازی [۱].



شکل ۷۳: فرآیند FCAW با الکترود خود محافظ [۱].

صورت می‌گیرد و قطره‌های فلز مذاب از قوس عبور می‌کنند و حوضچه جوش توسط پوشش سرباره در مقابل اتمسفر محافظت می‌شود. در بسیاری از الکترودهای خود محافظ، مقداری از مواد اکسیژن‌زدا و نیتروژن‌زدا نیز وجود دارد که به ایجاد فلز جوش بدون عیب کمک می‌کند. الکترودهای خود محافظ می‌توانند حاوی پایدار کننده قوس و عناصر آلیاژی نیز باشند.



فرآیند FCAW با داشتن بازدهی بالا در جوشکاری پیوسته و مزایای وجود فلاکس، نسبت به دیگر فرآیندهای جوشکاری برتری‌هایی دارد. این برتری‌ها عبارتند از:

- سرعت رسوب بالا برای جوشکاری در همه وضعیت‌ها
- نیاز به مهارت کمتر جوشکار نسبت به فرآیند GMAW
- ساده تر بودن نسبت به جوشکاری قوسی زیرپودری (SAW)
- ایجاد نفوذ عمیق‌تر نسبت به فرآیند SMAW
- حساسیت کمتر به آلودگی و زنگ زدن، نسبت به فرآیند GMAW

معایب روش FCAW شامل موارد زیر می‌باشد:

- سرباره باید پس از جوشکاری، از سطح جوش زدوده شود.
- در روش FCAW نسبت به روش‌های SAW و GMAW، دود و بخار بیشتری تولید می‌شود و نیاز به تجهیزاتی جهت حذف آن‌ها می‌باشد.
- در روش FCAW نسبت به روش SMAW به تجهیزات پیچیده‌تری نیاز است و این تجهیزات قابلیت حمل کمتری نیز دارند.

جوشکاری قوسی با الکترودهای توپودری مصارف مختلفی در صنایع دارد. هر دو فرآیند FCAW، با حفاظت گازی و یا به صورت خود محافظ، در تولید سازه‌های فولاد ساده کربنی و کم‌آلیاژ کاربرد دارند. فرآیند FCAW به منظور جوشکاری فولادهای ساده کربنی، کم‌آلیاژ و زنگ نزن در ساخت لوله‌های تحت فشار و لوله‌های مورد استفاده در فرآیندهای شیمیایی، تصفیه سوخت‌ها و تولید نیرو به کار می‌رود. همچنین این فرآیند در صنایع خودروسازی و تجهیزات سنگین و در ساخت قالب‌ها و دیگر قطعات به کار می‌رود. الکترودهای نازک توپودری نیز برای تعمیر بدنه خودرو به کار برده می‌شوند.

۱-۱۵- تجهیزات FCAW

فرآیند FCAW به صورت نیمه‌اتوماتیک، مکانیزه و کاملاً اتوماتیک انجام می‌شود. تجهیزات پایه‌ای آن شامل منبع تغذیه، سیستم تغذیه سیم جوش و مشعل جوشکاری می‌باشد. تجهیزات کمکی مورد نیاز مثل گاز حفاظتی، به نوع فرآیند به کار رفته و درجه اتوماتیک بودن آن بستگی دارد. تجهیزات حذف بخار و دود نیز باید در اکثر کاربردهای فرآیند FCAW مدنظر قرار گیرد.

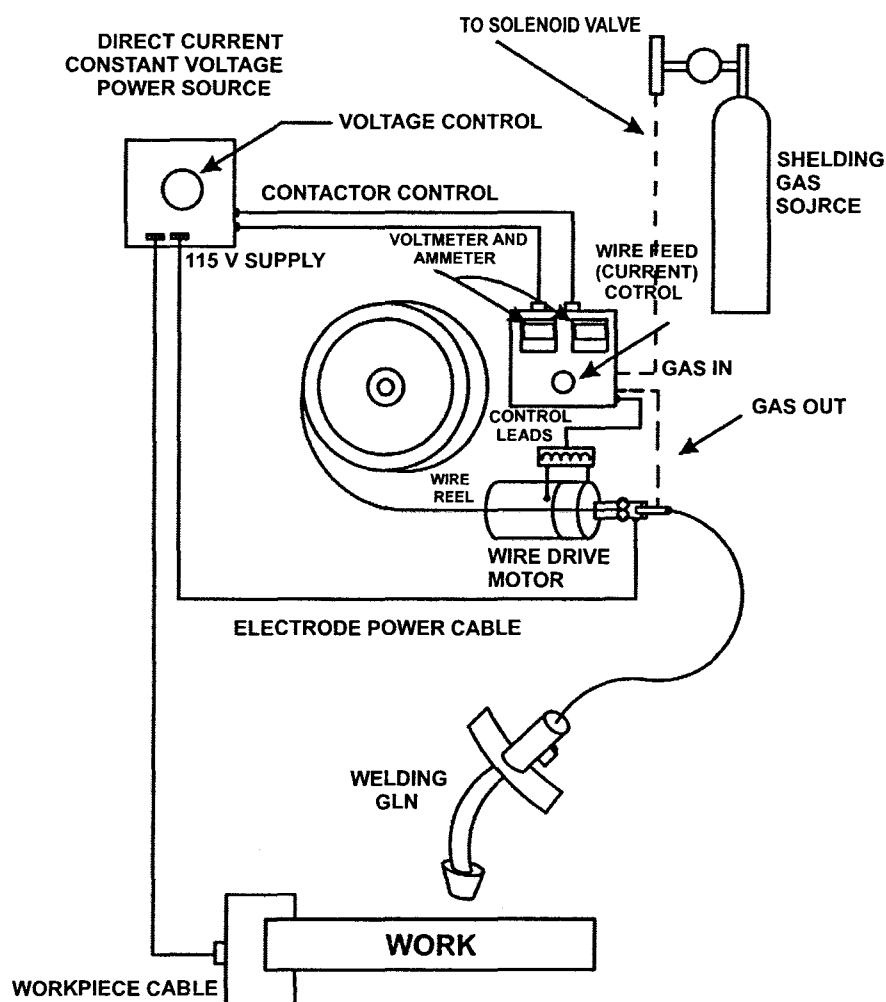


تجهیزات نیمه اتوماتیک معمول، در شکل ۷۴ نشان داده شده است. تجهیزات به کار رفته در فرآیند FCAW با حفاظت گاز، مشابه تجهیزات GMAW می‌باشد.

منبع نیروی پیشنهادی برای فرآیند نیمه اتوماتیک FCAW، دستگاه با جریان مستقیم و ولتاژ ثابت می‌باشد. بیشتر منابع نیروی به کار رفته در فرآیند نیمه اتوماتیک FCAW نرخ خروجی $600A$ یا کمتر را دارند. منبع نیرو با نرخ 60% سیکل کاری^۱ یا بیشتر بهترین انتخاب برای اکثر کاربردهای صنعتی می‌باشد، در حالی که سیکل کاری کمتر از 20% می‌تواند برای تعمیرات کافی باشد.

تغذیه کننده‌های سیم‌های سیستم‌های FCAW ولتاژ ثابت، معمولاً دستگاه‌های ساده‌ای هستند که سرعت تغذیه سیم در آنها ثابت است. منبع نیرو، جریان کافی برای حفظ قوس در ولتاژ معین را تامین می‌کند. تغییر سرعت تغذیه سیم موجب تغییر جریان جوشکاری می‌شود.

۱-Duty Cycle



شکل ۷۴: تجهیزات نیمه اتوماتیک مورد استفاده در فرآیند FCAW [۱].

هر دو مشعل جوشکاری خنک شونده با هوا و آب، در فرآیند نیمه اتوماتیک FCAW به کار می‌روند. معمولاً مشعل‌های خنک شونده با هوا ترجیح داده می‌شوند زیرا نگهداری آنها ساده‌تر و وزن و حجم آنها نیز کمتر است. مشعل‌های خنک شونده با آب وقتی به کار می‌روند که جریان جوشکاری بیش از ۵۰۰A باشد، به خصوص وقتی که گاز محافظ دارای آرگون باشد.

مشعل‌های خنک‌شونده با هوا، طراحی شده برای فرآیند FCAW با حفاظت گازی، نباید برای فرآیند FCAW خود محافظ به کار برده شوند، زیرا سرد شدن مشعل به جریان گاز حفاظتی بستگی دارد. با وجودی که مشعل‌های خمیده کاربرد زیادی دارند انواع مستقیم آنها نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند.



از کلید روی مشعل جوشکاری برای شروع تغذیه سیم، جریان جوشکاری و جریان گاز محافظ استفاده می‌شود. الکتروود از طریق هدایت کننده، از تغذیه کننده سیم به مشعل منتقل می‌شود. طول این هدایت کننده‌ها به طور استاندارد ۳، ۳/۷، ۴/۶ و ۶ متر می‌باشد. تجهیزات فرآیند FCAW اتوماتیک و مکانیزه تفاوت زیادی با تجهیزات فرآیند FCAW نیمه‌اتوماتیک ندارند. منبع نیرو باید دارای نرخ ۱۰۰٪ سیکل کاری باشد. منابع نیرو که قادر به تولید خروجی تا ۱۰۰۰A هستند در برخی کاربردها مورد نیاز می‌باشند. سیستم‌های جریان ثابت به ندرت برای جوشکاری اتوماتیک و مکانیزه به کار می‌روند. سیستم تغذیه سیم، به یک موتور حرکتی و واحد کنترل جوشکاری تقسیم می‌شود.

مشعل جوشکاری در سیستم‌های اتوماتیک و مکانیزه معمولاً مستقیماً روی موتور حرکتی نصب شده و نیاز به رابط ندارد. با آنکه مشعل مورد استفاده معمولاً از نوع مستقیم است اما از مشعل‌های خمیده نیز استفاده می‌شود. همچنین از تفنگ‌های خنک شونده با هوا و یا آب، بسته به شدت جریان جوشکاری و نوع گاز محافظ، می‌توان استفاده نمود.

اکثر مشعل‌های سرد شونده در هوا را می‌توان تا ۵۰۰A با گاز محافظ CO₂ به کار برد. وقتی گاز محافظ غنی از آرگون مورد استفاده قرار می‌گیرد، همان مشعل فقط تا ۳۰۰A قابلیت کاربرد را دارد. مشعل‌های سرد شونده با آب معمولاً برای جریان‌های بیشتر به کار می‌روند.

در بسیاری موارد، مقدار بخارهای تولید شده توسط فرآیند FCAW به حدی است که حتماً باید از محیط خارج شوند. تجهیزات حذف بخار می‌تواند به صورت هودهای جمع کننده یا مشعل‌هایی با قابلیت استخراج بخار باشند. این مشعل‌ها برای حذف بخار مناسب‌ترند ولی سنگین‌تر و حجیم‌تر از مشعل‌های استاندارد جوشکاری هستند. هودهای جمع کننده بخار باید هر بار که محل جوشکاری تغییر می‌کند، تغییر محل داده شوند تا کارایی مناسبی داشته باشند.



مراجع

- ۱-AWS Handbook, "Gas Metal Arc Welding", ۱۹۹۷, Vol. ۲.
- ۲- کاتالوگ‌های تجاری.
- ۳- Boltmann, "MIG/MAG Welding I, II, III, IV", SLV, ۱۹۹۹.
- ۴-"Gas Metal Arc Welding", SZA.
- ۵-Klas Weman, "Welding Processes Handbook", ۲۰۰۳.
- ۶- مهرداد معینیان، "کلید جوشکاری"، انتشارات آزاده، ۱۳۸۲، چاپ اول.
- ۷- ASM Handbook, "Welding, Brazing and Soldering", ۱۹۹۳, Vol. ۶.
- ۸- امیر حسین کوکبی، "تکنولوژی جوشکاری"، انتشارات آزاده، ۱۳۸۲، چاپ پنجم.



پیشنهادهای و انتقادات: