



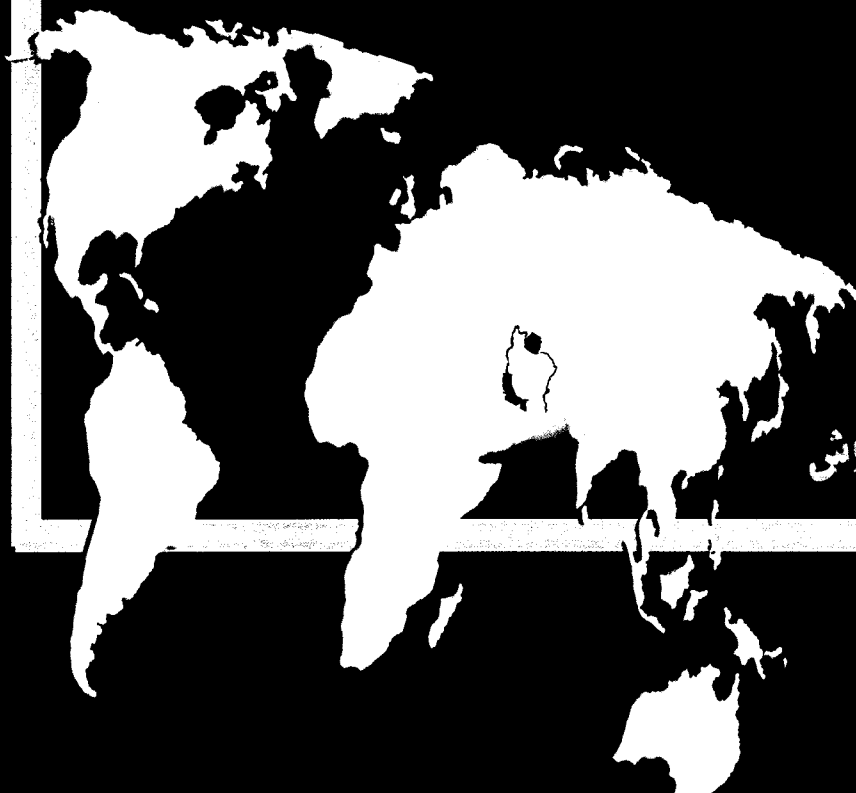
مرکز پژوهش و مهندسی جوش ایران

تابع سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران

مجموعه ۱: فرآیندها و تجهیزات جوشکاری

جوشکاری با قوس - الکتروود تنگستن 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 ۷: جوشکاری با قوس - الکتروود تنگستن تحت گاز محافظ ■

مجموعه منابع تخصصی مهندسی جوش

مرکز پژوهش و مهندسی جوش ایران

کمیته راهبری و نظارت :

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

گروه تدوین و گردآوری :

مسعود وطن آرا
محمد رضا وطن آرا
میثم حق شناس

گروه بازخوانی علمی :

رامز وقار
عباس زارعی هنزکی

پیش‌گفتار

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

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

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

۱-European Welding Federation

۲-International Institute of Welding

۳-Authorized National Body

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

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

کتاب حاضر بر اساس مفاد جزوه ۷- ۱ در راهنمای ۲۰۰۵ Rev.۲ EWF-۴۰۹/۲۰۰۰-۰۰۲ Doc.IAB انستیتو بین‌المللی جوش، در خصوص جوشکاری با قوس - الکتروود تنگستن 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- شرح فرآیند.....	۱
۳- تجهیزات و مواد مصرفی.....	۲
۱-۳-۱- مشعل جوشکاری (تورچ).....	۲
۳-۱-۱-۱- تورچ‌های گاز خنک (هوا خنک).....	۴
۳-۱-۲-۱- تورچ‌های آب خنک.....	۵
۳-۲-۱- الکترودها.....	۸
۳-۲-۱-۱- طبقه‌بندی الکترودها.....	۹
۳-۲-۲-۱- ابعاد الکترودها و ظرفیت جریان.....	۱۰
۳-۲-۳-۱- انواع الکترودهای مورد استفاده در GTAW.....	۱۲
۳-۲-۴-۱- شکل نوک الکترودها.....	۱۴
۳-۲-۵-۱- آلودگی الکترودها.....	۱۷
۳-۳-۱- سیم‌جوش‌ها.....	۱۷
۳-۴-۱- تغذیه‌کننده سیم‌جوش.....	۱۸
۳-۵-۱- منبع قدرت یا مولد نیرو (منابع تغذیه).....	۲۱
۳-۶-۱- گازهای محافظ.....	۲۴
۳-۶-۱-۱- انواع گازهای محافظ.....	۲۴
۳-۶-۲-۱- انتخاب گاز محافظ.....	۲۷
۳-۶-۳-۱- سرعت مناسب گاز محافظ.....	۲۸
۳-۶-۴-۱- پاکسازی گازی.....	۲۸
۳-۶-۵-۱- حفاظ‌های اطراف کار.....	۳۱
۳-۷-۱- واحد کنترل.....	۳۲
۴-۱- شیوه‌های استارت قوس.....	۳۳
۴-۱-۱- خراشیدن یا استارت با اتصال.....	۳۳
۴-۲-۱- استارت فرکانس بالا HF.....	۳۳
۴-۳-۱- استارت پالسی.....	۳۴



۴-۴	استارت قوس پیلوت (قوس کمکی).....	۳۴
۵	متغیرهای فرآیند.....	۳۵
۵-۱	جریان قوس و قطبیت الکتروود.....	۳۵
۵-۱-۱	جریان مستقیم.....	۳۶
۵-۱-۲	جریان متناوب.....	۳۷
۵-۲	ولتاژ قوس (طول قوس).....	۴۰
۵-۳	طول مؤثر الکتروود.....	۴۱
۵-۴	سرعت حرکت.....	۴۱
۵-۵	تغذیه سیم جوش.....	۴۲
۶	تکنیک‌های GTAW.....	۴۲
۶-۱	جوشکاری دستی.....	۴۲
۶-۱-۱	تجهیزات جوشکاری دستی.....	۴۲
۶-۱-۲	تکنیک‌های جوشکاری دستی.....	۴۳
۶-۲	جوشکاری ماشینی.....	۴۴
۶-۳	جوشکاری نیمه اتوماتیک.....	۴۴
۶-۴	جوشکاری اتوماتیک.....	۴۴
۶-۵	جوشکاری قوسی نقطه‌ای.....	۴۵
۷	طراحی اتصال.....	۴۵
۷-۱	طرح‌های اصلی.....	۴۶
۷-۲	آماده سازی اتصالات.....	۴۷
۷-۳	تمیزکاری.....	۴۸
۷-۴	تثبیت قطعات کار.....	۴۸
۸	عیوب جوشکاری در GTAW.....	۴۸
۸-۱	آخال‌های تنگستن.....	۵۱
۸-۲	ناخالصی‌های اکسیدی.....	۵۲
۸-۳	ناخالصی‌های گازی.....	۵۴
۸-۴	ذوب ناقص.....	۵۷



- ۹- فرآیندهای پیشرفته GTAW ۵۹
- ۹-۱- جوشکاری با جریان DC پالسی ۶۰
- ۹-۱-۱- جوشکاری پالس فرکانس بالا ۶۱
- ۹-۲- فرآیند GTAW چرخشی ۶۲
- ۹-۳- فرآیند جوشکاری شیاری باریک ۶۳
- ۹-۴- جوشکاری با کنترل تطبیقی ۶۴
- ۱۰- مزایای فرایند GTAW ۶۴
- ۱۱- محدودیت های فرایند GTAW ۶۵
- ۱۲- کاربردها ۶۶
- ۱۳- نکات ایمنی ۶۶
- ۱۳-۱- حمل و نقل ایمن سیلندرها و رگولاتورها ۶۷
- ۱۳-۲- خطرات گازها ۶۷
- ۱۳-۳- انرژی تابشی ۶۸
- ۱۳-۴- شوک های الکتریکی ۶۹
- مراجع ۷۰





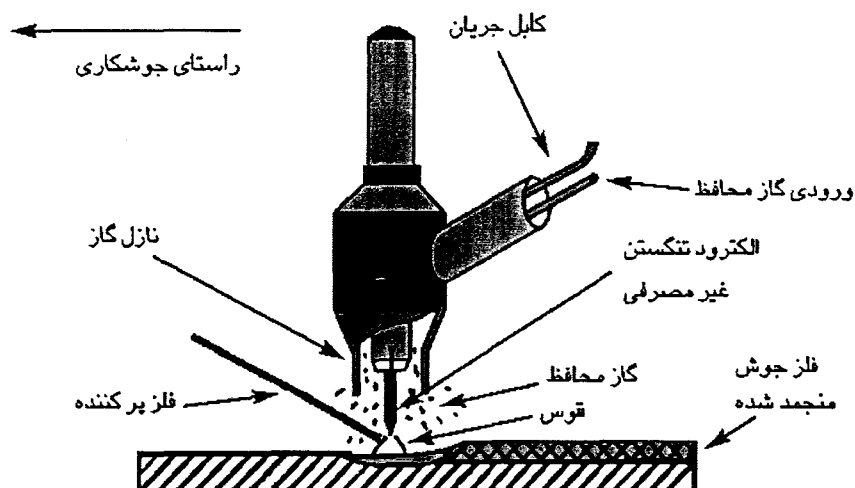
۱- مقدمه

امکان استفاده از هلیم برای محافظت از قوس و حوضچه مذاب جوش، برای اولین بار در سال ۱۹۲۰ میلادی مورد بررسی قرار گرفت، اما تا آغاز جنگ جهانی دوم و نیاز مبرمی که در صنعت هواپیماسازی به جای پرچ کاری برای اتصال فلزات فعال مانند آلومینیم و منیزیم به وجود آمد، از گاز هلیم در جوشکاری هیچ استفاده‌ای نمی‌شد. با کاربرد الکتروود تنگستن و جریان مستقیم در حالت قطبیت منفی الکتروود (DCEN)، منبع موثر حرارتی تولید گردید که توسط آن جوش‌هایی با کیفیت بسیار مناسب ایجاد می‌شد. از آنجایی که در آن زمان، هلیم در دسترس‌ترین گاز خنثی بود، از آن به عنوان گاز محافظ استفاده می‌شد. این فرآیند با نام جوشکاری تنگستن با گاز خنثی (TIG) یا جوشکاری قوسی الکتروود تنگستن با گاز محافظ خنثی (GTAW) شناخته شد. پیشرفت‌های زیادی در زمینه این فرآیند و تجهیزات آن صورت گرفت، منابع تغذیه ویژه این فرآیند ساخته شدند که برخی از آنها جریان پالس DC و برخی جریان متناوب AC تولید می‌کردند. در ادامه توسعه این فرآیند مشعل‌هایی که با آب یا گاز خنک می‌شوند، ابداع گردید. به منظور افزایش قابلیت تشعشع الکتروود تنگستن مقادیر کمی از ترکیبات فعال به آن اضافه شد تا بهبود شروع قوس، پایداری قوس و عمر بیشتر الکتروود فراهم گردد. همچنین از ترکیبات مختلف گاز محافظ نیز به منظور عملکرد بهتر جوشکاری استفاده شد.

۲- شرح فرآیند

در جوشکاری GTAW از الکتروود مصرف نشدنی تنگستنی (یا آلیاژ تنگستنی) که در داخل مشعل قرار می‌گیرد استفاده می‌شود. گاز محافظ نیز از طریق مشعل هدایت می‌شود تا بدین وسیله از الکتروود، حوضچه جوش مذاب و سیم جوش در حال انجماد، در مقابل آلودگی هوا و جذب ناخالصی محافظت شود. قوس الکتریکی با عبور جریان الکتریکی از میان گاز محافظ یونیزه و رسانا، ایجاد می‌گردد. قوس بین نوک الکتروود و قطعه کار ایجاد می‌شود و گرمای تولید شده توسط آن، فلز پایه را ذوب می‌کند. هنگامی که قوس و حوضچه تشکیل شدند، تورچ در امتداد اتصال حرکت داده می‌شود و توسط قوس سطح تماس ذوب می‌گردد. اگر از سیم جوش (فلز پرکننده) استفاده شود، معمولاً آن را به لبه جلویی حوضچه جوش اضافه می‌کنند تا منافذ اتصال پر شوند. گازهای محافظی که در این فرآیند استفاده می‌شوند آرگون، هلیم یا مخلوطی از آنها می‌باشد.

در شکل ۱ طرح شماتیکی از فرآیند GTAW نشان داده شده است.



شکل ۱: فرآیند GTAW [۱].

۳- تجهیزات و مواد مصرفی

تجهیزات اصلی فرآیند GTAW شامل مشعل جوشکاری، الکتروود، منبع قدرت یا مولد نیرو (منبع تغذیه)، منبع تامین گاز محافظ و واحد کنترل می باشد (شکل ۲). در سیستم های مکانیزه GTAW، کنترل های ولتاژ قوس، نوسان دهنده های قوس و تغذیه کننده های سیم جوش با یکدیگر ترکیب شده اند [۱].

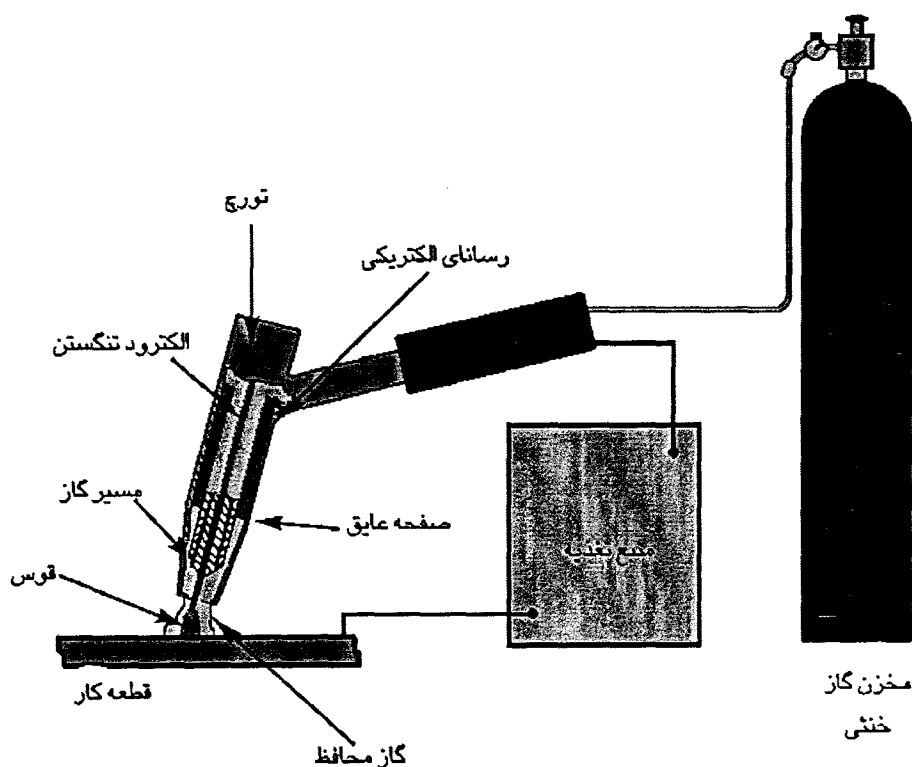
۳-۱- مشعل جوشکاری (تورچ)

کاربردهای اصلی مشعل جوشکاری در فرآیند GTAW عبارتند از :

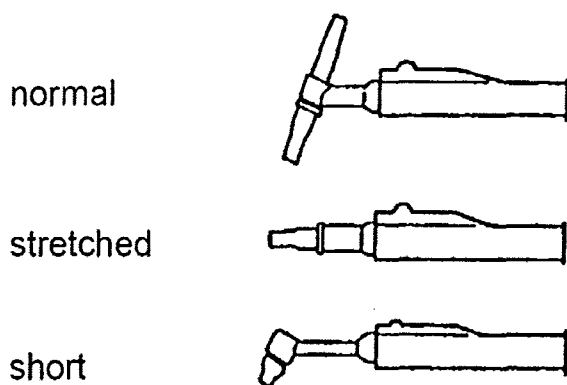
- (۱) نگهداری الکتروود تنگستن که جریان الکتریکی را به قوس می رساند.
- (۲) هدایت گاز محافظ به منطقه قوس [۲].

بیشتر تورچ ها به گونه ای طراحی شده اند که با انواع الکتروودها و نازل ها در اندازه های مختلف مطابقت داشته باشند. اغلب تورچ هایی که در کاربردهای دستی مورد مصرف قرار می گیرند، دارای زاویه سر (زاویه بین الکتروود و دسته تورچ) ۱۲۰ درجه ای می باشند. تورچ هایی که زاویه سر قابل

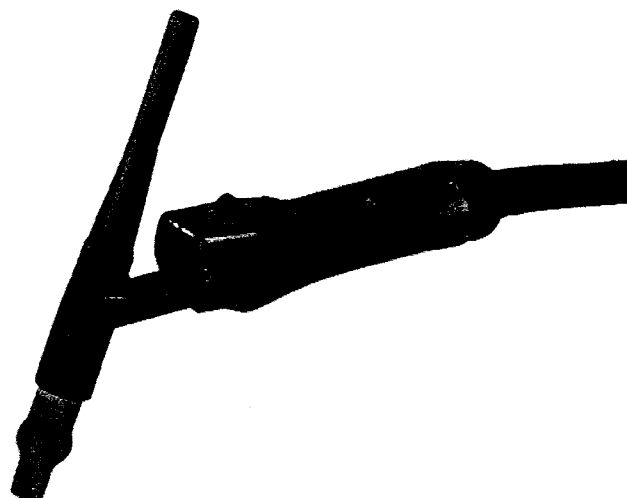
تنظیم یا زاویه سر ۹۰ درجه دارند و تورچ‌های گلولی مستقیم (نوع مدادی) نیز در بازار موجود می‌باشند (شکل ۳). معمولا روی دسته تورچ‌های GTAW دستی، سوئیچ‌ها و دریچه‌های اضافی قرار دارند که جریان الکتریکی و جریان گاز را کنترل می‌کنند. در شکل ۴ نمونه‌ای واقعی از مشعل جوشکاری دستی در فرآیند GTAW نشان داده شده است [۴]. تورچ‌های GTAW ماشینی یا اتوماتیک اغلب روی وسیله‌ای نصب می‌شوند که تورچ را در مرکز و بالای سر اتصال قرار می‌دهد یا می‌تواند تورچ را در امتداد اتصال حرکت دهد و یا اینکه فاصله تورچ تا قطعه کار را ثابت نگه داشته یا تغییر دهد.



شکل ۲: شمایی از تجهیزات فرایند GTAW [۱].



شکل ۳: مشعل‌های مختلف بر اساس زاویه بین الکترود و دسته مشعل [۳].



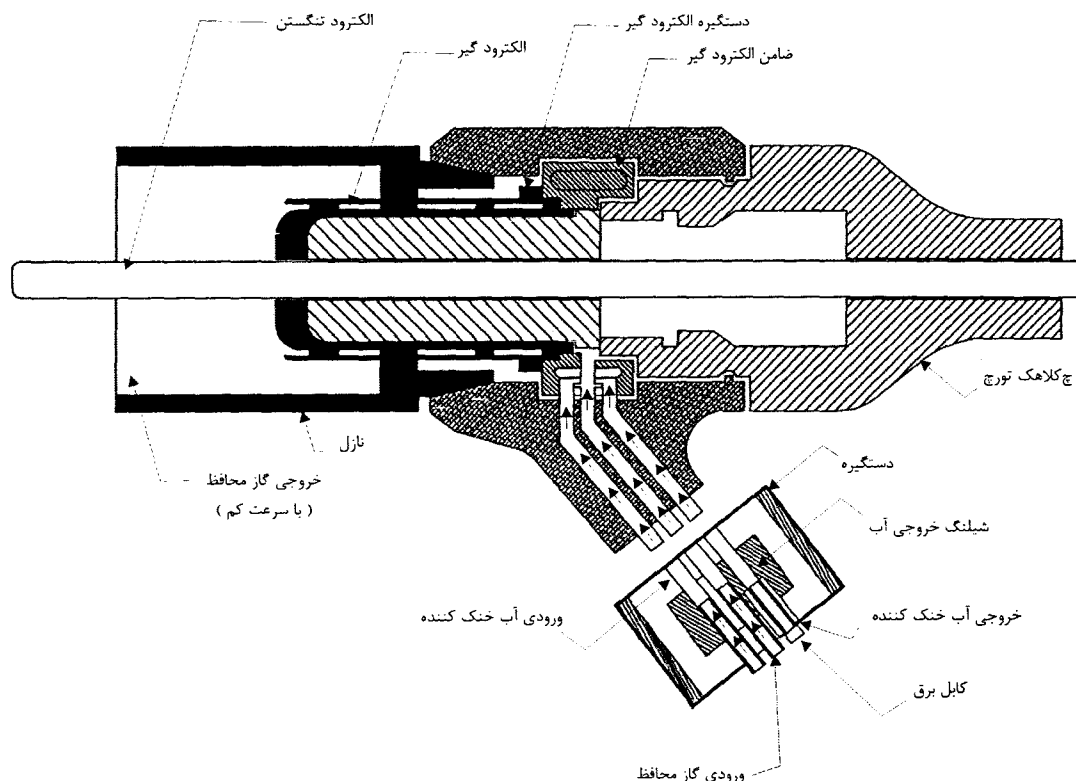
شکل ۴: نمونه‌ای از مشعل جوشکاری دستی در فرآیند GTAW [۸].

۳-۱-۱- تورچ‌های گاز خنک (هوا خنک)

گرمایی که در طول جوشکاری در تورچ ایجاد می‌شود توسط خنک کننده‌های گازی یا آبی سرد می‌شود. مطابق شکل ۱، تورچ‌های گاز خنک (گاهی به آنها تورچ‌های هوا خنک نیز گفته می‌شود)، از طریق یک گاز محافظ نسبتاً خنک که در طول تورچ جاری است، خنک می‌شوند. این نوع تورچ‌ها دارای محدودیت جریان مصرفی تا حداکثر ۲۰۰ آمپر می‌باشند.

۳-۱-۲- تورچ‌های آب خنک

این نوع تورچ‌ها توسط جریان مستمر آب در طول مجاری عبور آب که در دستگیره تورچ تعبیه شده‌اند، خنک می‌گردند. مطابق شکل ۵، آب خنک کننده از طریق یک لوله ورودی وارد تورچ می‌شود، در طول تورچ گردش می‌کند و از طریق یک لوله خروجی از تورچ خارج می‌شود. تورچ‌هایی که توسط آب خنک می‌شوند، در کاربردهایی که سیکل کاری مستمر دارند و جریان مصرفی آنها از انواعی که با گاز خنک می‌شوند بالاتر است، مورد مصرف قرار می‌گیرند. اگر چه در برخی تورچ‌ها، می‌توان از جریان‌هایی تا ۱۰۰۰ آمپر نیز استفاده نمود، اما این نوع تورچ‌ها معمولاً در محدوده جریان ۳۰۰ تا ۵۰۰ آمپر مورد مصرف قرار می‌گیرند. در بیشتر کاربردهای جوشکاری ماشینی یا اتوماتیک از این نوع سیستم خنک کننده استفاده می‌شود. تورچ با جاری شدن آب در درون کابل آن را خنک می‌کند. برای نگهداری آب از یک سیستم بسته، شامل یک مخزن، یک پمپ و یک رادیاتور یا چیلر (برای سرد کردن آب خروجی) استفاده می‌شود. حجم آب در این سیستم بین ۱ تا ۵۰ گالن می‌باشد. برای جلوگیری از یخ زدن، خوردگی و همچنین روغنکاری واترپمپ، از ضد یخ اتومبیل نیز می‌توان استفاده کرد. تورچ‌ها برحسب حداکثر جریانی که بدون گرم شدن بیش از حد، می‌توانند با آن کار کنند، طبقه‌بندی می‌شوند. نمونه‌هایی از این جریان‌ها در جدول ۱ ذکر شده است.



جدول ۱: محدوده جریان در تورچ های آب- سرد و گاز- سرد [۱]

خصوصیات تورچ	اندازه تورچ		
	کوچک	متوسط	بزرگ
حداکثر جریان (A)	۲۰۰	۲۰۰-۳۰۰	۵۰۰
شیوه خنک کنندگی	گاز	آب	آب
قطر الکترود (اینچ)	$\frac{3}{32} - \frac{1}{20}$	$\frac{5}{32} - \frac{1}{4}$	$\frac{1}{4} - \frac{1}{2}$
قطر کاپ گازی (اینچ)	$\frac{1}{4} - \frac{5}{8}$	$\frac{1}{4} - \frac{3}{4}$	$\frac{3}{8} - \frac{1}{2}$

اجزاء اصلی ساختمان یک مشعل عبارتند از :

۱- الکترودگیر

الکترودها در اندازه و قطرهای مختلف در دستگیره یا نگهدارنده هایی با اندازه های مناسب محکم می شوند. معمولاً این نگهدارنده ها از جنس آلیاژ مس ساخته می شوند. برای انتقال جریان و خنک شدن الکترود به طور مناسب، برقراری اتصال مناسب بین الکترود و دیواره درونی نگهدارنده ضروری است.

۲- نازل

همانطور که در شکل ۱ نیز مشاهده می شود، گاز محافظ توسط نازل یا سربوری گازی^۱ که روی نوک تورچ قرار می گیرد، به منطقه جوشکاری هدایت می شود. دیفیوزرهایی که به دقت طراحی شده اند نیز در بدنه تورچ قرار گرفته اند که گاز محافظ را درون نازل تغذیه می کنند و هدف آنها کمک به تولید یک جریان آرام گاز محافظ خروجی می باشد. جنس نازل گازی از مواد مقاوم در برابر حرارت بوده و در شکل ها، قطر ها و طول های متفاوتی ساخته می شوند.

نازل ها از سرامیک، فلز، سرامیک با روکش فلزی، کوارتز مذاب یا سایر مواد ساخته می شوند. نازل های سرامیکی ارزان قیمت ترین و متعارف ترین نوع نازل ها هستند، اما بسیار شکننده می باشند و مرتباً باید آنها را تعویض نمود. نازل های کوارتزی بسیار شفاف هستند و توسط آنها بهتر می توان قوس و الکترود را مشاهده کرد. اما آلودگی هایی که از بخار فلز در طول جوشکاری به وجود می آیند، می تواند عامل ماتی و تیرگی این نوع نازل ها گردد. این نازل ها نیز ترد و شکننده می باشند. نازل های

۱- Gas Cup



فلزی که با آب خنک می‌شوند طول عمر بیشتری دارند و اغلب در کاربردهای ماشینی و مکانیزه که جریان جوشکاری در آنها از ۲۵۰ آمپر تجاوز می‌کند، مورد مصرف قرار می‌گیرند.

نازل گاز یا سربوری باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا بتواند پوشش مناسبی از گاز محافظ روی منطقه حوضچه مذاب ایجاد کرده و فلز پایه داغ را در برگیرد. لازم است که بین قطر نازل و سرعت جریان گاز تعادل نسبی وجود داشته باشد. چنانچه سرعت جریان گاز در یک نازل با قطر مشخص، بیش از حد مجاز باشد، اثر محافظت به دلیل تلاطم مطلوب نخواهد بود. بنابراین در صورت سرعت بالای جریان گاز از نازل‌های با قطر بیشتر باید استفاده کرد. انتخاب نسبت اندازه نازل به اندازه الکتروود به نوع اتصال، محافظت مناسب از منطقه جوش و دسترسی به اتصال بستگی دارد. اندازه پیشنهادی نازل‌ها برای انواع الکتروود، در جدول ۲ آمده است. استفاده از کوچکترین نازل این جدول موجب می‌شود که جوش، ظاهر بهتری داشته و امکان جوشکاری در مناطق محدودتر وجود داشته باشد. گر چه استفاده از نازل بسیار کوچک می‌تواند سبب ایجاد تلاطم در گاز محافظ و فوران آن و ذوب شدن لبه‌های نازل شود. نازل‌های بزرگتر باعث ایجاد پوشش محافظ بهتر به خصوص در جوشکاری مواد فعال مانند تیتانیوم می‌شوند که در دماهای بالا مستعد آلودگی می‌باشند [۱].

جدول ۲: انواع الکتروود تنگستن ^a و نازل گازی GTAW [۱]						
قطر الکتروود			جریان مستقیم A		جریان متناوب A	
			قطبیت ^b مستقیم DCEN	قطبیت ^b معکوس DCEP	موج ^c نامتقارن	موج ^c تقارن
اینچ	میلیمتر	اینچ				
۰/۰۱۰	۰/۲۵	$\frac{1}{4}$	حداکثر ۱۵		حداکثر ۱۵	حداکثر ۱۵
۰/۰۲۰	۰/۵۰	$\frac{1}{4}$	۵-۲۰		۵-۱۵	۱۰-۲۰
۰/۰۴۰	۱/۰۰	$\frac{2}{8}$	۱۵-۸۰		۱۰-۶۰	۲۰-۳۰
$\frac{1}{16}$	۱/۶	$\frac{3}{8}$	۷۰-۱۵۰	۱۰-۲۰	۵۰-۱۰۰	۳۰-۸۰
$\frac{3}{32}$	۲/۴	$\frac{1}{2}$	۱۵۰-۲۵۰	۱۵-۳۰	۱۰۰-۱۶۰	۶۰-۱۳۰
$\frac{1}{8}$	۳/۲	$\frac{1}{2}$	۲۵۰-۴۰۰	۲۵-۴۰	۱۵۰-۲۱۰	۱۰۰-۱۸۰
$\frac{5}{32}$	۴/۰	$\frac{1}{2}$	۴۰۰-۵۰۰	۴۰-۵۵	۲۰۰-۲۷۵	۱۶۰-۲۴۰
$\frac{3}{16}$	۴/۸	$\frac{5}{8}$	۵۰۰-۷۵۰	۵۵-۸۰	۲۵۰-۳۵۰	۱۹۰-۳۰۰
$\frac{1}{4}$	۶/۴	$\frac{3}{4}$	۷۵۰-۱۱۰۰	۸۰-۱۲۵	۳۲۵-۴۵۰	۳۵۲-۴۵۰

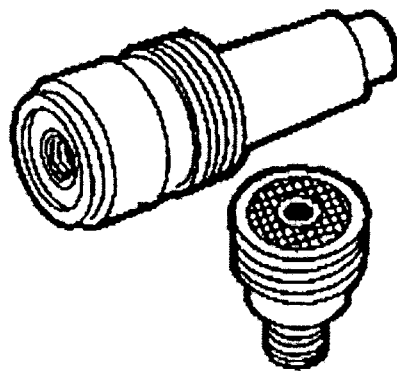
a- مقادیر جدول با توجه به استفاده از آرگون به عنوان گاز محافظ حاصل شده است.

b- از الکتروودهای EWTh-۲ استفاده شود.

c- از الکتروودهای EWP استفاده شود.

۳- عدسی گازی

اگر طول موثر الکتروود یعنی فاصله بین دهانه نازل و نوک الکتروود زیاد باشد، حفاظت توسط گاز محافظ به به اندازه کافی موثر نخواهد بود. عدسی گازی (شکل ۶) که در داخل نازل قرار می‌گیرد تلاطم جریان گاز را کاهش داده و در نتیجه، جریان ملایمی از گاز و محافظت کافی توسط آن بدون مخلوط شدن هوا صورت خواهد گرفت [۴]. با استفاده از این وسیله، جوشکار می‌تواند نازل را تا فاصله ۱ اینچی (۲۵/۴ میلی‌متر) یا بیشتر نسبت به قطعه کار نگه دارد و بدین ترتیب وسعت میدان دید او برای مشاهده جوش افزایش می‌یابد. ضمن اینکه دستیابی به محل‌هایی که دسترسی کمتری دارند، مثلاً گوشه‌های درونی کار نیز آسان‌تر می‌شود [۱].



شکل ۶: عدسی گازی [۴].

۳-۲ الکتروودها

الکتروودهای غیر مصرفی که در فرآیند GTAW استفاده می‌شوند، باید دارای مشخصات زیر باشند:

- نقطه ذوب بالا
- هدایت حرارتی مناسب
- مقاومت الکتریکی کم [۴]
- باقی ماندن خوب شکل نوک الکتروود



• تابع کاری^۱ کم [۲]. (تابع کاری عبارت است از انرژی مورد نیاز برای آزاد سازی یک الکترون از اتمهای الکتروود تنگستن. هر چه این ضریب پایین تر باشد، شروع مجدد یا اولیه قوس الکتریکی آسان تر انجام شده و قوس پایدارتر خواهد بود) [۵].

تعداد کمی از عناصر نظیر کربن، تنگستن، تانتالیم دارای خصوصیات فوق می باشد. کربن در مدت زمان کوتاهی تخریب می شود. تانتالیم نسبتاً گران است و معمولاً به عنوان فلز مورد استفاده در نوک یک الکتروود کاربرد دارد. در حالی که تنگستن به عنوان عنصری شناخته می شود که هم از نظر کارکرد و هم از نظر قیمت مقرون به صرفه می باشد [۲].

در فرآیند GTAW، واژه تنگستن دلالت بر عنصر خالص تنگستن و انواع آلیاژهای آن دارد که به عنوان الکتروود، مورد مصرف قرار می گیرند. از آنجا که این نوع الکتروودها در روند کار ذوب نمی شوند یا به صورت مذاب انتقال پیدا نمی کنند، چنانچه فرآیند به خوبی انجام شود، الکتروود در طول کار مصرف نخواهد شد.

وظیفه الکتروود تنگستن، تامین گرمای مورد نیاز جوشکاری به عنوان یکی از ترمینال های الکتریکی قوس است. نقطه ذوب الکتروود تنگستن ۶۱۷۰ درجه فارنهایت (۳۴۱۰ درجه سانتیگراد) می باشد. با رسیدن به درجه حرارت بالا، تنگستن حالت ترمو یونیک پیدا کرده و تبدیل به منبع غنی الکترون می شود. مقاومت حرارتی، عامل بالا رفتن دما تا این حد است. نوک الکتروود به علت فعل و انفعالات الکترونی خنک می شود. اگر اثر خنک کنندگی الکترون ها نبود، نوک الکتروود سریعاً ذوب می شد. در واقع نوک الکتروود از بخشی که بین نوک الکتروود و قسمت بیرونی و خنک الکتروود گیر قرار دارد، بسیار خنک تر می باشد [۱]. آلیاژ کردن تنگستن با عناصری چون توریم، سربیم یا زیرکونیم موجب کاهش تابع کاری الکتروود و افزایش عمر شکل نوک الکتروود خواهد شد [۲].

۳-۲-۱- طبقه بندی الکتروودها

الکتروودهای تنگستن را می توان بر اساس ترکیب شیمیایی آنها طبقه بندی نمود (جدول ۳). ملزومات الکتروودهای تنگستن در ANSI/AWS A۵.۱۲ در قسمت «خصوصیات الکتروودهای تنگستن و آلیاژ تنگستن برای جوشکاری و برشکاری قوسی» ذکر شده است. سیستم شناسایی کدهای رنگی برای انواع الکتروودهای تنگستن نیز در جدول ۳ آمده است.

در جداول ۴ و ۵ نیز الکترودهای تنگستن، به ترتیب بر اساس ترکیب شیمیایی، کد و رنگ‌های نشانه‌ی مربوط به آنها بر اساس استاندارد DIN EN ۲۶۸۴۸ و ISO ۶۸۴۸ طبقه‌بندی شده‌اند.

۲-۲-۳- اندازه الکترودها و ظرفیت جریان

اندازه و محدوده جریان الکترودهای تنگستن و تنگستن توریم‌دار (توریم یک عنصر رادیواکتیو نرم و چکش‌خوار است) و قطره‌های پیشنهادی برای نازل‌های گاز محافظ در جدول ۳ آمده است. این جدول راهنمای مفیدی در کاربردهای خاص شامل سطوح جریانی متفاوت و انواع منابع تغذیه می‌باشد.

برای یک الکتروود با اندازه و شکل مشخص، استفاده از جریان‌های بالاتر نسبت به آنچه توصیه شده است، باعث سایش و ذوب شدن تنگستن می‌شود و ممکن است ذرات تنگستن به داخل حوضچه جوش افتاده و باعث بروز نقص در کار شوند. استفاده از جریان‌های بسیار ضعیف نیز سبب ناپایداری قوس خواهد شد.

جدول ۳: کدهای آلیاژی انواع الکتروود تنگستن [۱].				
وزن اسمی اکسید آلیاژی (%)	اکسید آلیاژی	اجزای آلیاژی	رنگ ^a	طبقه بندی AWS
-	-	-	سبز	EWP
۲	CeO _۲	سریم	نارنجی	EWCe-۲
۱	La _۲ O _۳	لانتانیم	مشکی	EWL _a -۱
۱	ThO _۲	توریم	زرد	EWTh-۱
۲	ThO _۲	توریم	قرمز	EWTh-۲
۰/۲۵	ZrO _۲	زیرکنیم	قهوه ای	EWZr-۱
-	-	نامشخص ^b	خاکستری	EWG

a- رنگها به شیوه‌های مختلف مثل نوار، نقطه و... روی الکتروود مشخص می‌شوند.

b- سازنده باید نوع و مقدار عناصر افزوده را مشخص کند.



جدول ۴: طبقه بندی الکترودهای تنگستن بر اساس استاندارد [۳]DIN EN۲۶۸۴۸					
Code	composition				Colour
	Oxide additives		Contamination	Tungsten	
	Filler metal in % by wt	Additive	% by wt	% by wt	
WP	-	-	≤ ۰,۲۰	۹۹,۸	Green
WT ^{۱)}	۰,۳۵ ۰,۵۵	ThO _۲	≤ ۰,۲۰	Remainder	Light blue
WT ^{۱۰}	۰,۸۰ ۱,۲۰	ThO _۲	≤ ۰,۲۰	Remainder	Yellow
WT ^{۲۰}	۱,۷۰ ۲,۲۰	ThO _۲	≤ ۰,۲۰	Remainder	Red
WT ^{۳۰}	۲,۸۰ ۳,۲۰	ThO _۲	≤ ۰,۲۰	Remainder	Purple
WT ^{۴۰}	۳,۸۰ ۴,۲۰	ThO _۲	≤ ۰,۲۰	Remainder	Orange
WZ ^{۳)}	۰,۱۵ ۰,۵۰	ZrO _۲	≤ ۰,۲۰	Remainder	Brown
WZ ^۸	۰,۷۰ ۰,۹۰	ZrO _۲	≤ ۰,۲۰	Remainder	White
WL ^{۱۰}	۰,۹۰ ۱,۲۰	La _۲ O _۳	≤ ۰,۲۰	Remainder	Black
WC ^{۲۰}	۱,۸۰ ۲,۲۰	La _۲ O _۳	≤ ۰,۲۰	Remainder	Grey
WL ^{۲۰ ۱)}	۱,۸۰ ۲,۲۰	La _۲ O _۳	≤ ۰,۲۰	Remainder	Dark blue
WS ^{۲)}	Mixed oxides				Turquoise
۱) not business standard					
۲) at present not standardised					

جدول ۵: طبقه بندی الکترودهای تنگستن بر اساس استاندارد ISO ۶۸۴۸ [۴]				
Additive	Proportion, %	Colour coding	Type	Current
-	۰	Green	WP	AC
Thorium	۲	Red	WT ^{۲۰}	DC
Zirconium	۰,۸	Brown	WZ ^۸	AC
Lanthanum	۱	Black	WL ^{۱۰}	AC, DC
Cerium	۲	Grey	WC ^{۲۰}	AC, DC

در جوشکاری با جریان مستقیم الکترو مثبت (DCEP)، لازم است از الکترودهای با قطر بیشتر استفاده شود تا بتوان سطح جریان مورد مصرف را به کار برد. زیرا نوک الکترو به دلیل خروج الکترون‌ها خنک نمی‌شود، و بر عکس ضربات الکترون‌هایی که از قطب منفی (قطعه کار) به سمت قطب مثبت (الکترو) حرکت می‌کنند باعث گرم شدن نوک الکترو می‌شود. معمولاً مقدار جریانی که الکترو مثبت می‌تواند تحمل کند، تنها ۱۰ درصد مقدار جریانی است که الکترو منفی با آن کار می‌کند.

هنگام استفاده از جریان متناوب، نوک الکترو در سیکل‌های منفی الکترو، خنک و در سیکل‌های مثبت الکترو، گرم می‌شود. لذا مقدار جریانی که یک الکترو در جریان AC می‌تواند انتقال دهد بین حالت الکترو مثبت (DCEP) و الکترو منفی (DCEN) قرار دارد.

۳-۲-۳- انواع الکترودهای مورد استفاده در GTAW

۱- الکترودهای گروه EWP

الکترود خالص تنگستن (EWP)، شامل حداقل ۹۹/۵٪ تنگستن و بدون هر گونه آلیاژ افزودنی می‌باشد. ظرفیت انتقال جریان الکترود تنگستن کمتر از الکترودهای آلیاژدار است. از الکترودهای تنگستن خالص بیشتر برای جوشکاری آلومینیم و منیزیم با جریان متناوب (AC) استفاده می‌شود. نوک الکترودهای EWP، صاف، تمیز و گرد هستند و موجب ایجاد قوسی پایدار می‌گردند. از آنها می‌توان با جریان DC نیز استفاده کرد، اما خصوصیات استارت و پایداری قوس در الکترود تنگستن خالص، به خوبی الکترودهای توریم دار، سریم دار (عنصر شیمیایی فلزی نادر) و لانتال دار (عنصری فلزی نقره فام و کمیاب) نیست [۱]. این الکترودها از مقاومت بالایی در برابر اختلاط با فلز جوش برخوردارند و قیمت آنها از انواع الکترودهای دیگر به مراتب کمتر است [۵].

۲- الکترودهای گروه EWTh

گسیل یون حرارتی (ترمیونیک) در تنگستن پس از آلیاژ شدن با برخی از اکسیدهای فلزی که تابع کاری کمی دارند، بهبود می‌یابد. بنابراین، بدون بروز هر گونه نقصی در الکترود، می‌توان از آنها در سطوح جریان بالاتری استفاده کرد. به منظور شناسایی این الکترودها از سایر الکترودهای تنگستنی، می‌توان از کدبندی رنگی که در جدول ۳ آمده است، استفاده کرد.

دو نوع الکترود تنگستن توریم دار (الکترودهای EWTh-۱ و EWTh-۲) در بازار وجود دارد. این الکترودها به ترتیب شامل ۱ و ۲ درصد اکسید توریم (توریا - ThO_2) می‌باشند که به صورت یکسان در تمام طول الکترود توزیع شده‌اند. الکترودهای توریم دار تنگستن نسبت به الکترودهای تنگستن از مزایای زیادی برخوردار هستند. وجود توریا ظرفیت انتقال جریان بالاتر (۲۰٪)، طول عمر بیشتر و مقاومت بیشتر در برابر آلودگی جوش را فراهم می‌سازد. در این نوع الکترودها، استارت قوس آسان‌تر و قوس حاصله، از قوس الکترودهای تنگستن خالص یا زیرکونیم دار، پایدارتر می‌باشد. الکترودهای EWTh-۱ و EWTh-۲ برای کاربردهای DCEN طراحی شده‌اند [۱] و برای جوشکای فولادهای آلیاژی و غیرآلیاژی، آلیاژهای تیتانیم، آلیاژهای نیکل و آلیاژهای مس مناسب می‌باشند [۵].

توریم، یک ماده رادیواکتیو بسیار ضعیف است. رادیواکتیویته این عنصر خطری برای سلامتی انسان ندارد. اما چنانچه جوشکاری در محیطی بسته و برای مدت زمانی طولانی انجام شود، اقدامات پیشگیرانه و تهویه هوا باید در نظر گرفته شود. گروه EWTh-۳ گروه منسوخ شده الکترودهای تنگستن می‌باشد. این الکترودها دارای قطعات طولی یا محوری شامل ۱ تا ۲ درصد اکسید توریم



می‌باشند. مقدار متوسط اکسید توریم موجود در این الکترودها ۰/۳۵ تا ۰/۵۵ درصد است. با پیشرفت هایی که در زمینه متالوژی پودر و سایر فرآیندها صورت گرفت، این نسل از الکترودها منسوخ شده و دیگر کاربرد خاصی در صنعت ندارد.

۳- الکترودهای گروه EWCe

الکترودهای سریم‌دار اولین بار در اوایل دهه ۱۹۸۰ به بازار آمریکا معرفی و به عنوان جایگزینی مناسب برای الکترودهای توریم‌دار مطرح شدند. زیرا سریم بر خلاف توریم، عنصر رادیواکتیوی نمی‌باشد. الکترودهای تنگستنی گروه EWCe-۲ شامل ۲ درصد اکسید سریم (CeO_2) می‌باشند و در مقایسه با الکترودهای تنگستنی خالص سرعت انتشار الکترونی این نوع الکترودها کمتر می‌باشد. همچنین نسبت به الکترودهای تنگستنی دیگر از تابع کاری کمتری برخوردارند [۱، ۵].

این مزایا با افزایش مقدار سریم، بهبود می‌یابد. الکترودهای گروه EWCe-۲ با هر دو جریان AC و DC عملکرد خوبی دارند [۱] و برای جوشکاری انواع فولادهای آلیاژی و غیر آلیاژی، آلیاژهای فلزات غیر آهنی مانند آلومینیم، منیزیم، تیتانیم، نیکل، مس و غیره کاربرد دارند [۵].

۴- الکترودهای گروه EWLa

الکترودهای EWLa-۱ تقریباً همزمان با الکترودهای سریم‌دار و با دلیلی مشابه، یعنی رادیواکتیو نبودن عنصر لانتان (La) وارد بازار شدند. این الکترودها شامل یک درصد اکسید لانتان (لانتان- La_2O_3) می‌باشند. مزایا و خصوصیات اجرایی این الکترودها بسیار شبیه به الکترودهای تنگستنی سریم‌دار (گروه EWCe) می‌باشد.

۵- الکترودهای گروه EWZr

الکترودهای زیرکونیم‌دار تنگستنی، شامل مقدار کمی اکسید زیرکونیم (ZrO_2) می‌باشند و دارای خصوصیات اجرایی بین خصوصیات الکترودهای تنگستنی خالص و توریم‌دار هستند. الکترودهای EWZr، برای استفاده در جوشکاری با جریان AC بسیار مناسب می‌باشند. این نوع الکترودها خصوصیت مطلوب پایداری قوس و انتهای گرد الکترودهای تنگستنی خالص و ظرفیت جریان و استارت قوس مناسب الکترودهای تنگستنی توریم‌دار را یکجا دارند. این الکترودها نسبت به الکترودهای تنگستن خالص، در مقابل آلودگی و جذب ناخالصی‌ها مقاوم‌تر هستند و در جوشکاری با

کیفیت رادیوگرافیکی که آلودگی های تنگستن جوش باید به حداقل میزان ممکن رسانده شود، بسیار مناسب می باشد.

۶- الکترودهای گروه EWG

الکترودهای گروه EWG، شامل الکترودهای آلیاژداری است که در زمره گروه های قبلی قرار نمی گیرند. این الکترودها شامل مقادیر نامشخصی از اکسیدها یا ترکیبات اکسیدی نامعین می باشند. هدف از افزودن این اکسیدها، تاثیرگذاری روی طبیعت یا خصوصیات قوس، مطابق آنچه کارخانه سازنده تعریف نموده است، می باشد. سازنده الکترودها باید ماده یا مواد افزوده و کمیت های اسمی اضافه شده را مشخص کند. اکنون انواع زیادی از این نوع الکترودها به صورت تجاری در بازار موجود یا در حال پیشرفت و بهبود کیفیت می باشند. این الکترودها شامل مقادیری اکسید ایتیم یا اکسید منیزیم می باشند. این گروه همچنین شامل الکترودهای سریم دار یا لانتال دار، که دارای این اکسیدها (با مقادیری متفاوت از آنچه ذکر شد) و یا به صورت ترکیب با اکسیدهای دیگر می باشند.

۳-۲-۴- شکل نوک الکترودها

یکی از متغیرهای مهم فرآیند GTAW، شکل نوک الکترودها تنگستن می باشد. در شکل ۷، شکل های نوک الکترودها و اثر میزان جریان با توجه به قطر الکترودها، بر شکل نوک الکترودها نشان داده شده است.

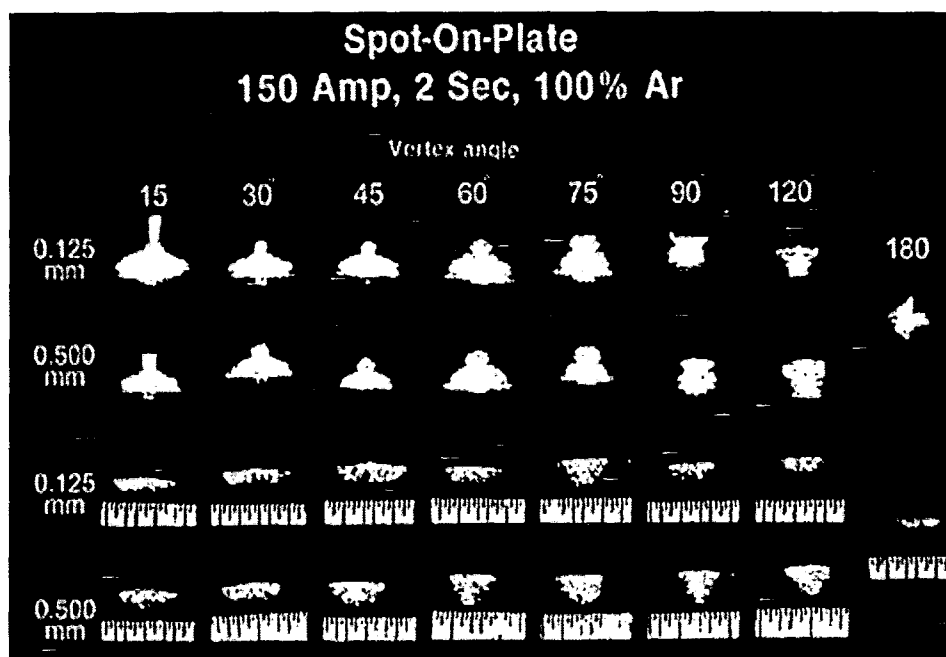
Current type	Tungsten electrode	Current		
		Too low	Right	Too high
==	Thorium			
~	Pure tungsten			

شکل ۷: شکل های نوک الکترودها و اثر میزان جریان بر آن [۴].

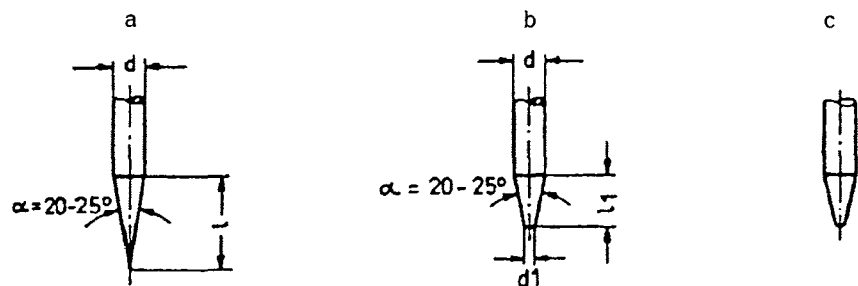


در جوشکاری با جریان AC نوک الکترودهای تنگستن خالص یا زیرکونیم دار، گرد می شود. در جوشکاری با جریان DC معمولاً الکترودهای تنگستنی لانتال دار، سریم دار یا توریم دار مورد استفاده قرار می گیرند. نوک این الکترودها با زوایای مختلف سنگ زده می شوند. در بیشتر مواقع از الکترودهای سر تخت استفاده می شود. اشکال هندسی متفاوت نوک الکترودها، روی شکل و اندازه مهره جوش تأثیر می گذارند (شکل ۸). به طور معمول هر چه زاویه آنها بزرگتر شود، نفوذ افزایش و عرض درز جوش کاهش می یابد. اگر چه ممکن است الکترودهای نازک تر با نوک مربعی شکل در جوشکاری DCEN مورد مصرف قرار گیرند، اما الکترودهایی که نوک مخروطی شکل دارند خصوصیات اجرایی بهتری از خود نشان می دهند.

صرف نظر از شکل نوک الکترودها، عامل مهم دیگر شکل هندسی الکترودها می باشد که باید با فرآیند مورد نظر سازگار باشد. تغییر در شکل هندسی الکترودها می تواند اثرات مهمی روی شکل و اندازه درز جوش داشته باشد لذا طرح نوک الکترودها یک متغیر مهم جوشکاری است که باید در روند گسترش و پیشرفت فرآیندهای جوشکاری در نظر گرفته شود. در شکل ۹ نسبت بین پارامترهای هندسی الکترودها تنگستنی به عنوان نمونه نشان داده شده است. نوک الکترودهای تنگستن اکثراً با گرد کردن، سنگ زنی یا واکنش های شیمیایی آماده می گردند.



شکل ۸: شکل قوس و نمای منطقه ذوب تحت تأثیر طرح نوک الکترودها (گاز محافظ: آرگون خالص) [۱].



d	l
1.0	2.5
1.6	4.0
2.4	6.0
3.2	8.0
4.0	10.0

d	d ₁	l ₁
1.0	0.5	1.2
1.6	0.8	2.0
2.4	1.2	3.0
3.2	1.6	4.0
4.0	2.0	5.0

شکل ۹: نسبت بین پارامترهای الکترود تنگستنی [۳].

• گرد نمودن^۱ نوک الکترود

در جوشکاری با جریان AC (که معمولاً با الکترودهای تنگستن خالص یا زیرکونیوم دار انجام می‌شود) استفاده از الکترودهایی با نوک گرد بسیار مناسب و متداول است. قبل از استفاده الکترود در جوشکاری، می‌توان نوک آن را توسط ضربه زدن قوس روی یک بلوک مسی که با آب خنک می‌شود و یا سایر موادی که مناسب جوشکاری DCEP یا AC هستند، گرد کرد. در این روش جریان قوس به قدری افزایش می‌یابد که نوک الکترود از شدت حرارت سفید می‌شود. سپس تنگستن ذوب شده و قطرات کروی کوچکی روی نوک الکترود شکل می‌گیرند. بعد از آن جریان به تدریج کاهش یافته و قطع می‌گردد و قطرات کروی کوچکی روی انتهای الکترود تنگستن باقی می‌مانند. اندازه این قطرات نباید از ۱/۵ برابر قطر الکترود تجاوز کند، در غیر این صورت هنگامی که ذوب شوند روی سطح کار سقوط می‌کنند.

• سنگ زنی^۲

به منظور ایجاد حالت بهینه‌ای از پایداری قوس، سنگ زنی الکترود تنگستن باید در حالتی که محور الکترود بر محور چرخ سنگ زنی عمود است انجام شود. جهت خروج گرد و غباری که هنگام سنگ زنی الکترودهای تنگستن لانتال دار در فضای کار منتشر می‌شود، لازم است که از یک هواکش

۱-Balling

۲-Grinding



در محل استفاده شود. الکترودهای تنگستنی لانتال دار، سریم دار و توریم دار به سهولت الکترودهای تنگستن خالص یا زیرکونیم دار، گرد نمی شوند و شکل خود را بهتر حفظ می کنند. اگر هنگام کار با این الکترودها از جریان AC استفاده شود، اغلب ترک می خورند.

• واکنش های شیمیایی

تیز کردن نوک الکترودها به طریقه شیمیایی بدین صورت است که قسمت انتهایی الکترودها که از شدت حرارت سرخ شده است، در یک مخزن نیترا ت سدیم غوطه ور می شود. فعل و انفعالات شیمیایی بین تنگستن داغ و نیترا ت سدیم، سبب می شود که محیط و نوک الکترودها به طور یکنواخت خورده شود. حرارت دادن و غوطه ور کردن مجدد تنگستن در نیترا ت سدیم سبب ایجاد نوکی تیز در الکترودها خواهد شد.

۳-۲-۵- آلودگی الکترودها

آلودگی الکترودها تنگستن اغلب زمانی صورت می گیرد که جوشکار به طور تصادفی نوک الکترودها را وارد حوضچه جوش مذاب نماید یا الکترودها تنگستن به سیم جوش اتصال پیدا کند. گاز محافظ نامناسب، جریان گاز ناکافی، در طول جوشکاری یا بعد از خاموش شدن قوس نیز می تواند سبب اکسید شدن الکترودها تنگستنی گردد. سایر منابع آلودگی شامل بخارات فلزی حاصل از قوس، تبخیر ناخالصی های سطح کار، پاشش، جرقه و فوران حوضچه جوش به علت تجمع گاز می باشد. اگر انتهایی الکترودها دارای آلودگی و ناخالصی باشد، روی خصوصیات قوس تأثیر منفی خواهد گذاشت و ممکن است حوضچه جوش با آخالهای تنگستن آلوده شود. در اینصورت، عملیات جوشکاری را باید متوقف نمود و قسمت آلوده الکترودها را جدا کرد و تا رسیدن به شکل مناسب، الکترودها باید سنگ زده شود.

۳-۳- سیم جوش ها

برای جوشکاری گستره وسیعی از فلزات و آلیاژها در فرآیند GTAW، انواع زیادی سیم جوش وجود دارد که در صورت استفاده باید مشابه با فلز پایه باشند. اگر چه در جوشکاری فلزات غیر یکسان، سیم جوش با یک یا هر دوی آنها متفاوت می باشد. عموماً ترکیبات سیم جوش با ویژگی های فلز پایه مطابقت دارد. در تولید سیم جوش ها کنترل دقیق تری روی خصوصیات شیمیایی، درجه خلوص و کیفیت آنها نسبت به فلز پایه اعمال می شود. برای اطمینان از سالم بودن جوش، گاهی به سیم جوش ها

مواد اکسید زدایی نیز اضافه می‌شود. اصلاحات دیگری نیز در ترکیبات برخی سیم‌جوش‌ها اعمال می‌شود تا سرعت واکنش آنها در عملیات حرارتی بعد از جوش (PWHT)، افزایش یابد. انتخاب سیم جوش برای هر کاربرد بستگی به سازگاری خصوصیات متالورژیکی، مناسب بودن برای سرویس موردنظر و هزینه آن دارد. همچنین خواص ضربه‌ای و کششی، مقاومت در برابر خوردگی و هدایت حرارتی یا الکتریکی سیم‌جوش‌ها در کاربردهای بخصوص باید مدنظر قرار گیرد. بنابراین سیم جوش باید هم با آلیاژی که جوشکاری می‌شود و هم با کاربرد مورد نظر سازگاری داشته باشد. در جدول ۶ لیستی از سیم جوش های AWS که در فرآیند GTAW مورد استفاده قرار می‌گیرند، آمده است.

سیم‌جوش‌های GTAW در شکل‌های خطی مفتولی یا میله‌ای، معمولاً با طول ۹۰ سانتی‌متر برای جوشکاری های دستی و به شکل سیم پیچ های یکنواخت یا قرقره شده برای جوشکاری‌های ماشینی یا اتوماتیک عرضه شده‌اند. ضخامت سیم‌جوش‌ها از ۰/۰۲ اینچ (۰/۵ میلی‌متر) برای کارهای ظریف تا $\frac{3}{16}$ اینچ (۵ میلی‌متر) برای جوشکاری دستی با جریان قوی یا جوش‌های سطحی متفاوت است.

هنگام نگهداری و مصرف، سیم جوش‌ها باید تمیز و عاری از هرگونه آلودگی باشند. در طول انجام جوشکاری، قسمت داغ انتهای مفتول یا سیم جوش، نباید از منطقه تحت پوشش گاز خنثی خارج شود. مزایای استفاده از سیم جوش عبارتند از: تکرارپذیری بیشتر، نیاز کمتر به مهارت جوشکار، ذوب کامل درز جوش و درزهای یک شکل [۱]. استفاده یا عدم استفاده از سیم‌جوش‌ها بستگی به ضخامت قطعه کار دارد. قطعات با ضخامت کمتر از ۳/۲ میلی‌متر بدون نیاز به فلز پرکننده می‌توانند به صورت رضایت‌بخشی جوشکاری شوند [۶].

۳-۴- تغذیه‌کننده سیم جوش

از تغذیه‌کننده‌های سیم جوش، برای اضافه کردن سیم جوش در جوشکاری های ماشینی و اتوماتیک استفاده می‌شود. هم سیم‌هایی با درجه حرارت اتاق (سرد) و هم سیم‌هایی که قبلاً گرم شده‌اند (داغ) می‌توانند در حوضچه مذاب جوش تغذیه شوند. سیم سرد در لبه جلویی و سیم داغ در لبه پشتی حوضچه مذاب تغذیه می‌شوند [۱].



جدول ۶: 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 سرد

سیستم تغذیه کننده سیم جوش سرد، سه بخش دارد:

۱- دستگاه تغذیه سیم جوش

۲- کنترل سرعت تغذیه

۳- ملحقات راهنمای سیم جوش، جهت هدایت سیم جوش به حوضچه مذاب

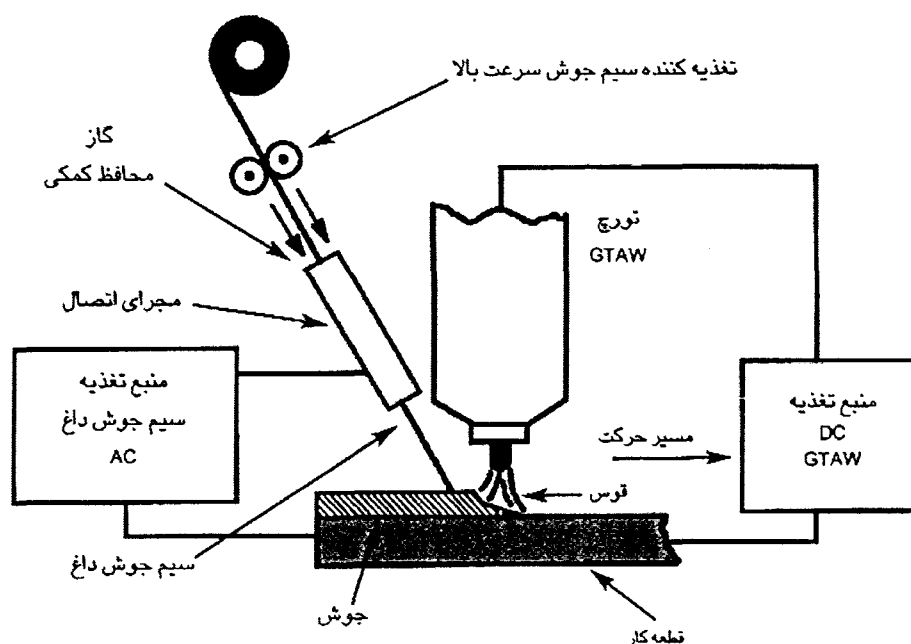
دستگاه تغذیه شامل یک موتور و چرخ دنده برای انتقال نیرو به غلتک های محرک که سیم را فشار می دهند، می باشد. کنترل، لزوماً یک سامانه^۱ با سرعت ثابت است که ممکن است مکانیکی یا الکترونیکی باشد. یک راهنمای سیم جوش قابل تنظیم روی دستگیره الکتروند نصب شده است که موقعیت و زاویه سیم جوش را نسبت به سطح کار و اتصال تنظیم می کند. در کاربردهای ممتد، راهنمای سیم جوش توسط آب خنک می شود و سیم جوش هایی با قطر ۰/۴ تا ۲/۴ میلی متر مورد مصرف قرار می گیرند.

• سیم داغ

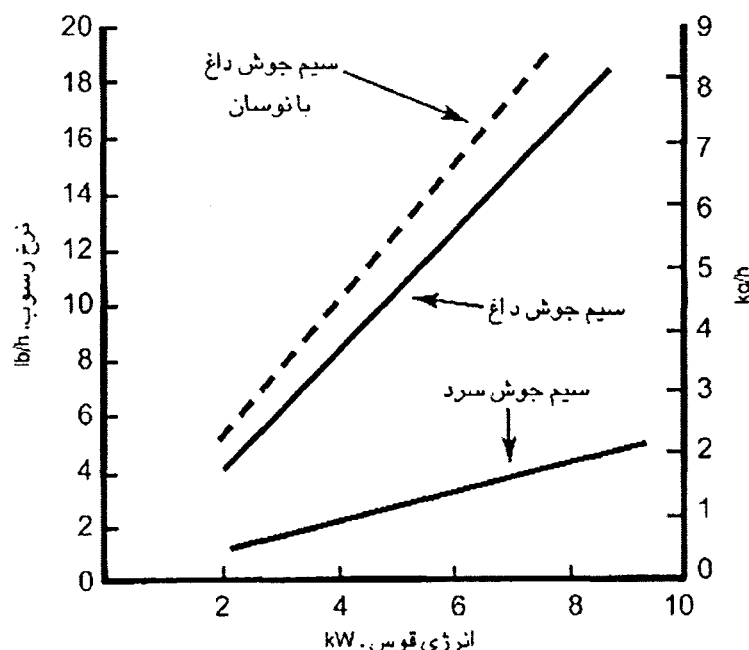
فرآیند تغذیه سیم جوش داغ، مشابه سیم جوش سرد است، با این تفاوت که سیم جوش تا دمایی نزدیک به نقطه ذوب و دقیقاً قبل از تماس با حوضچه جوش به صورت مقاومتی گرم می شود.

هنگام استفاده از سیم جوش داغ (از پیش گرم شده) در GTAW اتوماتیک یا ماشینی در وضعیت تخت، سیم جوش به صورت مکانیکی و از طریق نگهدارنده (که از آن جهت محافظت سیم جوش داغ در مقابل اکسیداسیون، گاز خنثی جاری می‌شود) در حوضچه جوش تغذیه می‌شود. تصویر این سیستم در شکل ۱۰ نشان داده شده است. به طور معمول ترکیبی از ۷۵٪ هلیوم و ۲۵٪ آرگون، جهت محافظت از الکترود تنگستن و حوضچه مذاب به کار می‌رود. نرخ رسوب سیم جوش های گرم از نرخ رسوب سیم جوش های سرد بالاتر و قابل مقایسه با فرآیند GMAW می‌باشد (شکل ۱۱).

هنگامیکه سیم جوش با سطح جوش تماس پیدا کند جریان برقرار می‌شود و سیم جوش به صورت مستقیم در پشت قوس و در یک زاویه ۴۰ تا ۶۰ درجه‌ای نسبت به الکترود تنگستن، به مصرف تغذیه می‌رسد. سیم جوش توسط جریان متناوب منبع تغذیه ولتاژ ثابت به صورت مقاومتی حرارت می‌بیند. علت استفاده از جریان متناوب برای گرم کردن جلوگیری از وزش قوس می‌باشد. تا وقتی که جریان حرارتی از ۶۰ درصد جریان قوس تجاوز نکرده باشد، قوس در جهت طولی دارای ۳۰ درجه نوسان است. هنگامی که جریان های گرم کردن و قوس با هم برابر شوند، این نوسان تا ۱۲۰ درجه افزایش می‌یابد. دامنه نوسان را می‌توان با محدود کردن قطر سیم جوش تا ۰/۰۴۵ اینچ (۱/۲ میلی‌متر) و کاهش جریان حرارتی تا کمتر از ۶۰ درصد جریان قوس، کنترل نمود. سیم جوش های از پیش گرم شده به خوبی، اتصالات فولاد کربنی، فولاد کم آلیاژ، فولاد زنگ نزن و آلیاژهای مس و نیکل را جوش می‌دهند.



شکل ۱۰: سیستم سیم جوش داغ GTAW [۱].



شکل ۱۱: نرخ رسوب در GTAW، با سیم جوش های سرد و گرم [۱].

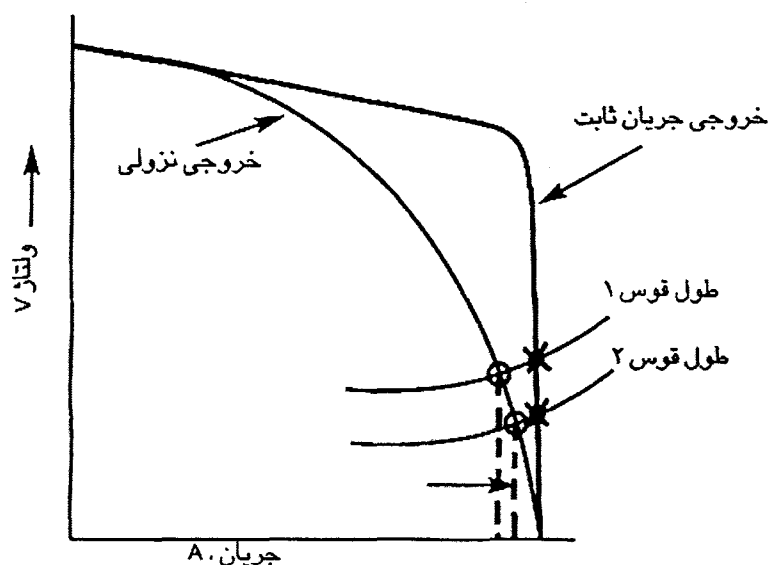
۳-۵- منبع قدرت یا مولد نیرو (منابع تغذیه)

در فرآیند GTAW، از منابع تغذیه جریان ثابت استفاده می شود. جریان AC یا DC مورد نیاز این فرآیند می تواند توسط منابع تغذیه ترانسفورماتور-رکتیفایر یا ژنراتورهای DC یا AC چرخشی فراهم شود. پیشرفت هایی که در زمینه نیمه رساناها در علم الکترونیک حاصل شد، باعث فراگیر شدن منابع تغذیه ترانسفورماتور-رکتیفایر برای هر دو کاربرد داخل کارگاهی و خارج کارگاهی شده است. اما منابع تغذیه چرخشی بیشتر در کاربردهای خارج از کارگاه مورد مصرف قرار می گیرند.

منابع تغذیه GTAW، نوعاً دارای خصوصیات خروجی نزولی یا استاتیک جریان ثابت هستند (شکل ۱۲). خصوصیات خروجی استاتیک، تابعی از نوع کنترل جریان جوشکاری مصرفی در طراحی اولیه منبع تغذیه می باشند. ولت-آمپر نزولی، شاخصه ای از منبع تغذیه کنترل شده توسط نیروهای مغناطیسی شامل سیم پیچ متحرک، شنت متحرک، راکتور با هسته متحرک، راکتور اشباع شونی یا تقویت کننده مغناطیسی و همچنین منبع چرخشی می باشد. توان خروجی با جریان ثابت از منابع تغذیه ای که به صورت الکترونیکی کنترل می شوند، به دست می آید. در جایی که پدال پایی متحرک برای کنترل جریان در سایت (محل) جوشکاری وجود ندارد، خصوصیت افت ولتاژ یک برتری برای جوشکاری دستی به شمار می رود. با داشتن شاخصه نزولی، جوشکار می تواند با اعمال تغییر طول

قوس، مقدار جریان را به میزان جزئی تغییر دهد. میزان جریان قابل کنترل توسط تغییر طول قوس را می‌توان از شکل ۱۳ استنباط نمود.

در بیشتر منابع تغذیه‌ای که به صورت مغناطیسی کنترل می‌شوند، کنترل مقدار جریان در قسمت AC منبع تغذیه انجام می‌شود. در نتیجه از این منابع برای کنترل جریان پالسی استفاده نمی‌شود، زیرا عکس‌العمل دینامیکی آهسته‌ای دارند. با اضافه کردن یک پل رکتیفایر، این منابع تغذیه توانایی تولید جریان‌های AC و DC را توأمآ پیدا می‌کنند. آن دسته از منابع تغذیه‌ای که دارای بخش کنترل جریان متحرک هستند را نمی‌توان به سهولت از راه دور، با یک پدال پایی کنترل کرد، در حالی که در مورد سایر منابع تغذیه این امکان وجود دارد. بیشتر منابع تغذیه‌ای که به صورت مغناطیسی کنترل می‌شوند، به عنوان منبع تغذیه‌ای با کنترل مدار باز در نظر گرفته می‌شوند که در آنها جریان جوشکاری حقیقی برای یک مقدار جریان معین، به شرایط جوشکاری بستگی دارد. منابع تغذیه تک‌فاز می‌توانند هم جریان DC و هم جریان AC تولید کنند در حالیکه منابع تغذیه سه فاز در شرایط عادی تنها توانایی تولید جریان DC را دارند. جریان تولیدی توسط منبع تغذیه سه فاز معمولاً یکنواخت‌تر از جریان تولید شده با منبع تک فاز است، زیرا دامنه موج جریان در آن کاهش یافته است.



شکل ۱۲: خصوصیات خروجی نزولی یا استاتیک جریان ثابت منبع تغذیه [۱].



مزایای منابع تغذیه‌ای که به صورت مغناطیسی کنترل می‌شوند عبارتند از:

- کارکرد آسان
 - نیاز به مراقبت کمتر در محیط‌های صنعتی ناسازگار
 - قیمت نسبتاً ارزان
- محدودیت‌های آنها نیز شامل موارد زیر است:
- حجم زیاد و وزن سنگین
 - کارایی و بازده کمتر در مقایسه با منابع تغذیه‌ای که به صورت الکترونیکی کنترل می‌شوند.
- همچنین همانطور که اشاره شد، بیشتر تکنیک‌های کنترل مغناطیسی به صورت مدار باز هستند که باعث ایجاد محدودیت در واکنش، دقت و تکرارپذیری کار می‌شوند.
- منابع تغذیه‌ای که به صورت الکترونیکی کنترل می‌شوند مانند رگولاتور خطی سری، رکتیفایر سیلیکون کنترل، سوئیچر ثانویه و اینورتر، دارای شاخص ولت - آمپر جریان ثابت هستند. شاخصه جریان ثابت، برای جوشکاری‌های اتوماتیک و ماشینی یک مزیت جهت ایجاد دقت کافی و تکرارپذیری در سطح جریان از هر جوش تا جوش بعدی، به شمار می‌رود. منابع تغذیه جریان ثابت حقیقی به صورت مدار بسته کنترل می‌شوند که در آنها جریان واقعی محاسبه شده با جریان دلخواه مقایسه می‌شود. با تغییر شرایط جوشکاری و تنظیم‌های الکترونیکی درون منبع تغذیه انجام می‌گیرد تا مقدار جریان مناسب برقرار شود. بیشتر منابع تغذیه‌ای که به صورت الکترونیکی کنترل می‌شوند، دارای سرعت عکس‌العمل بالایی هستند. به همین دلیل از این منابع جهت تولید جریان جوشکاری پالسی می‌توان استفاده نمود. رگولاتور خطی سری و سوئیچر ثانویه از تغذیه نیروی ورودی تک فاز یا سه فاز، تنها جریان DC تولید می‌کنند. رکتیفایر سیلیکون کنترل، از تغذیه تک فاز، هم جریان DC و هم جریان AC می‌تواند تولید کند و از تغذیه سه فاز، تنها جریان DC تولید می‌کند.
- بسته به طرح دستگاه، اینورترها می‌توانند از تغذیه ورودی تک فاز یا سه فاز، جریان خروجی AC یا DC تولید کنند. منابع تغذیه اینورتر، با دارا بودن قابلیت‌های چند فرآیندی و انواع شکل موج جریان خروجی، تطبیق‌پذیرترین نوع منابع تغذیه هستند. ضمن اینکه اینورترها از سایر منابع تغذیه که سرعت جریان مشابهی دارند سبک‌تر، کوچک‌تر و کم حجم‌تر می‌باشند.

مزایای منابع تغذیه‌ای که به صورت الکترونیکی کنترل می‌شوند عبارتند از:

- عکس‌العمل دینامیکی سریع، انواع شکل موج جریان خروجی، تکرارپذیری عالی و به خصوص کنترل از راه دور. نقاط ضعف این نوع منابع تغذیه نیز پیچیدگی‌های اجرایی، شرایط سخت نگهداری و قیمت



نسبتاً بالای آن‌ها می‌باشد. لذا انتخاب منبع تغذیه GTAW با توجه به نوع جریان مصرفی از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد.

انواع جریان‌های جوشکاری عبارتند از: جریان AC با موج مربع، جریان DC و جریان DC پالسی [۱].

۳-۶- گازهای محافظ

گاز محافظ توسط تورچ به سمت قوس و حوضچه جوش هدایت می‌شود تا از الکتروود و حوضچه مذاب در مقابل آلودگی‌های جوی محافظت نماید. توسط عملیات پشتیبانی تمیز کردن گازی، نیز می‌توان از سطح زیرین جوش و سطح فلز پایه مجاور آن در مقابل اکسید شدن محافظت کرد. شکل یکنواخت در پاس ریشه، عدم سوختگی کناره جوش، تقویت پاس ریشه در حد مطلوب و کاهش احتمال ایجاد تخلخل و شکاف در ریشه جوش، با استفاده از این عملیات میسر خواهد شد.

۳-۶-۱- انواع گازهای محافظ

آرگون و هلیوم یا ترکیبی از این دو، رایج‌ترین گازهای خنثی مصرفی برای ایجاد محافظت هستند. از ترکیبات آرگون - هیدروژن نیز در برخی کاربردهای خاص استفاده می‌شود. بسته به حجم مصرفی، این گازها را می‌توان از طریق سیلندر و یا به صورت مایع در مخازن عایق ذخیره نمود.

• آرگون - هلیوم

آرگون (Ar) گازی است خنثی و تک اتمی با وزن مولکولی ۴۰ که از تقطیر هوای مایع به دست می‌آید. آرگون مورد استفاده در فرآیند جوشکاری تا رسیدن به خلوص ۹۹/۹۵٪ تصفیه می‌شود. این مقدار خلوص در فرآیند GTAW برای اغلب فلزات، به جز فلزات فعال و نسوز که حین کاربرد آن‌ها حداقل درجه خلوص گاز آرگون باید ۹۹۷/۹۹٪ باشد، قابل قبول است.

به دلایل زیر آرگون بسیار بیشتر از هلیوم مورد مصرف قرار می‌گیرد:

- ۱- قوس آرام‌تر و یکنواخت‌تر
- ۲- استفاده از ولتاژ کمتر در مقدار جریان و طول قوس ثابت
- ۳- عملیات تمیز کنندگی هنگام جوشکاری موادی چون آلومینیوم و منیزیم
- ۴- هزینه کمتر و در دسترس بودن



۵- سرعت جریان کمتر برای ایجاد حفاظتی مناسب

۶- مقاومت بهتر در برابر هوای نامساعد

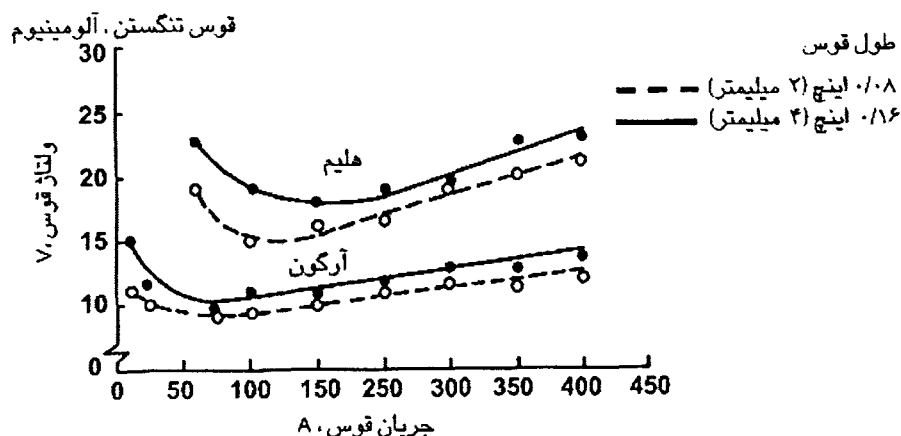
۷- شروع آسان تر قوس

هلیم گازی خنثی، بسیار سبک، تک اتمی و با وزن مولکولی ۴ می باشد که از تقطیر هوا به دست می آید. هلیم مورد استفاده در فرآیند جوشکاری تا رسیدن به خلوص ۹۹/۹۹٪ تصفیه می شود. هلیم در یک جریان و طول قوس ثابت، نسبت به آرگون گرمای بیشتری را به کار منتقل می کند. گرمای بیشتر قوس هلیم، هنگام جوشکاری فلزاتی با رسانایی گرمایی بیشتر و کاربردهای مکانیزه سرعت بالا، یک مزیت به شمار می آید. هلیم در جوشکاری صفحات سنگین نیز بیش از آرگون مورد مصرف قرار می گیرد. از ترکیب آرگون و هلیم هنگامی که به خواص هر دوی آنها نیاز است، استفاده می شود.

عمده ترین فاکتور تاثیرگذار روی کارایی گاز محافظ چگالی (دانسیته) آن می باشد. آرگون تقریباً ۱/۷ برابر از هوا و ۱۰ برابر از هلیم سنگین تر است. آرگون پس از اینکه از نازل تورچ خارج شد، پوششی روی منطقه جوشکاری ایجاد می کند، در حالی که هلیم به این دلیل که از هوا سبک تر است، تمایل دارد که از اطراف حوضچه فرار کند. تجربه نشان می دهد که برای ایجاد اثرات حفاظتی یکسان، جریان هلیم باید ۲ تا ۳ برابر جریان آرگون باشد.

از خصوصیات مهم این گازها رابطه ولتاژ - جریان قوس تنگستن می باشد (شکل ۱۳). در همه سطوح جریان، برای طول قوس های معادل، ولتاژ قوس حاصله از هلیم، به میزان قابل توجهی بیشتر از آرگون است. از آنجا که گرمای قوس تقریباً توسط میزان جریان و ولتاژ تولیدی (نیروی قوس) اندازه گیری می شود، هلیم گرمای بیشتری نسبت به آرگون ایجاد می کند. مزیت این گرما، در جوشکاری مواد ضخیم، فلزات دارای هدایت حرارتی بالا یا درجه ذوب نسبتاً بالا اهمیت پیدا می کند، لیکن باید اشاره شود که در جریان های ضعیف تر، منحنی های ولت-آمپراژ میان ولتاژ مینیمم در سطح جریان محدود ۹۰ آمپر، بعد از آنکه با کاهش جریان، ولتاژ افزایش پیدا می کند، عبور می نمایند. در هلیم این افزایش ولتاژ در محدوده ۵۰ تا ۱۵۰ آمپر و زمانی که عملیات جوشکاری مواد نازک انجام می شود، صورت می پذیرد. از آنجا که این افزایش ولتاژ در آرگون، زیر جریان ۵۰ آمپر صورت می گیرد، با استفاده از این گاز در محدوده جریان ۵۰ تا ۱۵۰ آمپر، اپراتور هنگام جوشکاری کنترل بیشتری روی طول قوس دارد. واضح است که هنگام استفاده از آرگون، برای ایجاد نیروی قوس یکسان، باید از جریان بسیار بالاتری نسبت به هلیم استفاده شود. دیگر شاخصه تاثیرگذار، در ارتباط با نوع گاز محافظ پایداری قوس می باشد. هر دو گاز با جریان مستقیم قوسی پایدار ایجاد می کنند. هنگام استفاده از جریان متناوب که در جوشکاری آلومینیوم و منیزیم کاربرد وسیعی دارد، آرگون باعث ایجاد

قوس پایدارتر و عملیات تمیز کنندگی مناسبتری می‌شود که در این مورد، برتری آرگون نسبت به هلیوم کاملاً مشهود است.

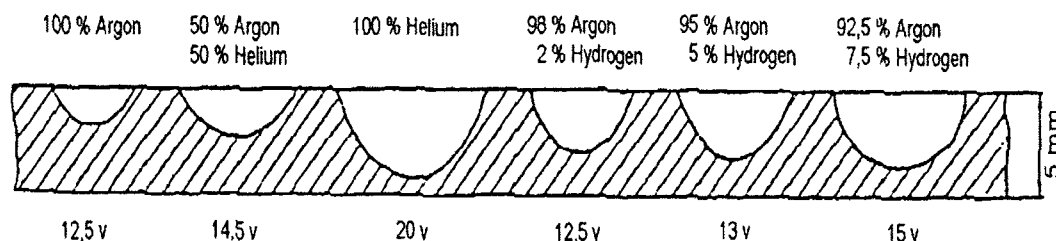


شکل ۱۳: رابطه ولتاژ - جریان در آرگون - هلیوم [۱].

• ترکیبات آرگون - هیدروژن

از ترکیبات آرگون - هیدروژن در کاربردهای خاصی مانند جوشکاری مکانیزه لوله‌های فولادی زنگ نزن که هیدروژن باعث اثرات متالورژیکی مخرب مانند تخلخل و ترکیب هیدروژنی نمی‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد. افزایش سرعت جوشکاری نسبت مستقیم با مقدار هیدروژن اضافه شده به آرگون دارد که دلیل آن افزایش ولتاژ قوس می‌باشد، هر چند مقدار مجاز هیدروژنی که می‌تواند به آرگون اضافه شود با توجه به ضخامت فلز و نوع اتصال در هر کاربرد خاص، تعیین می‌شود ولی مقدار هیدروژن بیش از حد مجاز، باعث ایجاد تخلخل می‌گردد. هنگام جوشکاری فولاد زنگ نزن با هر ضخامتی، با درز اتصال ۰/۱۰ تا ۰/۲۰ اینچ (۰/۲۵ تا ۰/۵ میلی‌متر) غلظت هیدروژن تا ۳۵٪ می‌تواند افزایش یابد.

استفاده از ترکیبات آرگون - هیدروژن محدود به جوشکاری فولاد زنگ نزن، آلیاژهای مس - نیکل و آلیاژهای پایه نیکل می‌باشد. رایج ترین ترکیب آرگون - هیدروژن، حاوی ۱۵٪ هیدروژن است که از آن در جوشکاری مکانیزه اتصالات لب به لب فولادهای زنگ نزن با حداکثر ضخامت ۰/۰۶۲ اینچ (۱/۶ میلی‌متر) در سرعت های مشابه با هلیوم (۵۰٪ سریعتر از آرگون) استفاده می‌شود. در بعضی مواقع در جوشکاری های دستی نیز برای ایجاد جوش هایی تمیزتر، استفاده از ترکیب ۵٪ هیدروژن، مناسب می‌باشد. مشخصات پروفیل جوش در حضور گازهای مختلف و در ولتاژهای متفاوت در شکل ۱۴ آمده است.



شکل ۱۴: مشخصات پروفیل جوش در حضور گازهای مختلف با ولتاژهای متفاوت جریان ۱۵۰ A، طول قوس ۴ mm، سرعت حرکت ۱۵ cm/min [۳].

۳-۶-۲- انتخاب گاز محافظ

اگر چه آرگون، هلیوم یا ترکیبی از این دو، معمولاً در اغلب کاربردها به عنوان گازهای محافظ مناسب مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما هیچ قانون خاصی برای انتخاب گاز محافظ در کاربردهای مختلف وجود ندارد. در جداول ۷ و ۸ گازهای محافظ جهت جوشکاری آلیاژهای مختلف آمده است.

جدول ۷: گاز محافظ، الکترود و جریان مناسب در جوشکاری GTAW انواع فلزات [۱]

فلز	ضخامت	جریان	الکترود	گاز محافظ
آلومینیوم	تمام ضخامتها	جریان متناوب	خالص یا زیرکنیم دار	آرگون یا آرگون-هلیوم
	بیش از $\frac{1}{8}$ اینچ	DCEN	تورئوم دار	آرگون یا آرگون-هلیوم
مس، آلیاژهای مس	کمتر از $\frac{1}{8}$ اینچ	DCEP	تورئوم دار یا زیرکنیم دار	آرگون
	تمام ضخامتها	DCEN	تورئوم دار	هلیوم
آلیاژهای منیزیم	کمتر از $\frac{1}{8}$ اینچ	جریان متناوب	خالص یا زیرکنیم دار	آرگون
	تمام ضخامتها	DCEP	زیرکنیم دار یا تورئوم دار	آرگون
نیکل، آلیاژهای نیکل	تمام ضخامتها	DCEN	تورئوم دار	آرگون
کربن ساده، فولادهای کم آلیاژ	تمام ضخامتها	جریان متناوب	تورئوم دار	آرگون یا آرگون-هلیوم
	کمتر از $\frac{1}{8}$ اینچ	DCEN	خالص یا زیرکنیم دار	آرگون
فولاد ضد زنگ	تمام ضخامتها	جریان متناوب	تورئوم دار	آرگون یا آرگون-هلیوم
	کمتر از $\frac{1}{8}$ اینچ	DCEN	خالص یا زیرکنیم دار	آرگون
تیتانیوم	تمام ضخامتها	DCEN	تورئوم دار	آرگون

جدول ۸: گازهای محافظ مورد استفاده در جوشکاری آلیاژهای مختلف [۳]

Shielding gas	Typical mix	Group DIN 32526	Application
Welding argon		I 1	all steels and nonferrous metals
Argon/H ₂	2 % H ₂ 5 % H ₂ 7,5 % H ₂	R 2	high-alloy steels (preferably fully mechan.), Ni-based materials
Argon/He	30 % He 50 % He 70 % He	I 3	aluminium (preferably 50 % He), copper (preferably 70 % He), nickel (preferably 30 % He) steel (orbital technique)
Helium		I 2	aluminium (negative pole technique), steel (orbital technique)
Argon 4.8 (high-purity argon)		I 1	materials sensitive to gas, such as titanium, niobium, tantalum
Forming gas (nitrogen/hydrogen mixture)	(2 % H ₂) 8 % H ₂ 10 % H ₂ (15 % H ₂) (20 % H ₂)	F 2	Root shielding in high-alloy steels, and partly also with non- alloyed steels

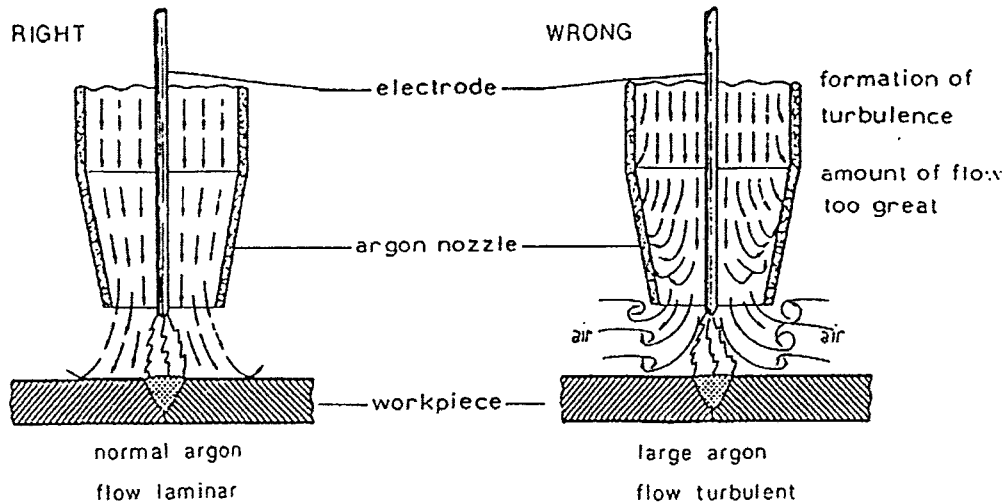
۳-۶-۳- سرعت مناسب گاز محافظ

سرعت گاز محافظ و میزان مصرف آن، به اندازه نازل، اندازه حوضچه جوش، سرعت حرکت هوا، ضخامت قطعات، نوع ماده، سرعت جوشکاری، نوع اتصال و... بستگی دارد. به طور کلی، سرعت گاز متناسب با مقطع عرضی نازل افزایش می‌یابد. قطر نازل باید مناسب با اندازه حوضچه جوش و واکنش های فلز جوش انتخاب شود. حداقل سرعت گاز، با توجه به اثرات گرمایی قوس و وضعیت نامساعد هوا تعیین می‌شود. سرعت گاز محافظ در تورچ‌های مرسوم، بین ۱۵-۳۵cfh (۷-۱۶L/min) برای آرگون و ۳۰-۵۰cfh (۱۴-۲۴ L/min) برای هلیوم می‌باشد. سرعت جریان بیش از حد مجاز، باعث ایجاد تلاطم در مسیر گاز می‌گردد که در نتیجه ممکن است آلودگی های جوی وارد حوضچه جوش گردند (شکل ۱۵). شکل ۱۶ نیز نشان دهنده میزان مصرف آرگون با توجه به نوع فلز پایه و قطر نازل می‌باشد.

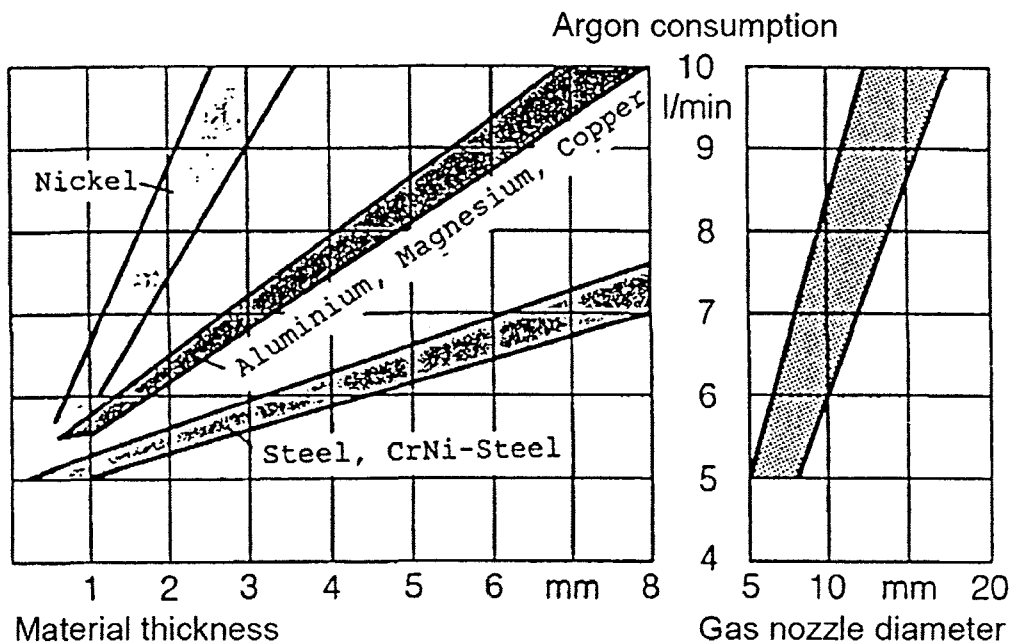
۳-۶-۴- پاکسازی گازی

پس از ایجاد پاس‌های ریشه جوش، هوایی که وارد دیواره پشتی جوش شده می‌تواند باعث آلودگی آن گردد. برای جلوگیری از بروز این مشکل، این منطقه باید از وجود هوا پاکسازی شود.

عملکرد هلیوم و آرگون در پاکسازی جوش همه مواد بسیار مطلوب است. برای پاکسازی در جوشکاری فولاد زنگ نزن آستینیتی، مس و آلیاژهای مس، از نیتروژن نیز می‌توان استفاده کرد. سرعت جریان گاز، با توجه به حجم پاکسازی در محدوده ۹۰ cfh - ۱ (۴۲ - ۰/۵ L/min) قرار دارد.

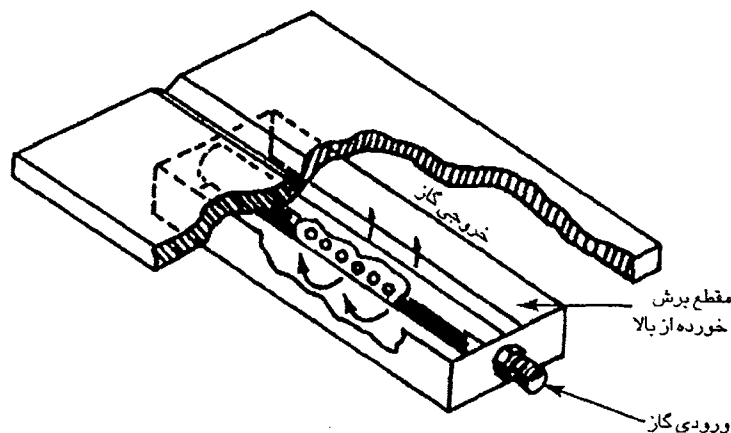


شکل ۱۵: سرعت بیش از حد گاز محافظ و ایجاد آشفته‌گی در مسیر گاز [۲].



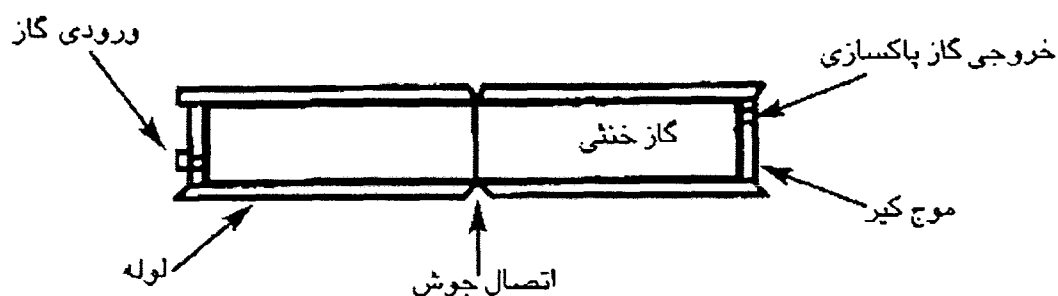
شکل ۱۶: میزان مصرف آرگون با توجه به نوع فلز پایه و قطر نازل [۳].

پس از عملیات پاکسازی جریان گاز پشتیبان در طول جوشکاری باید کاهش یابد تا تنها مقدار کمی فشار مثبت در منطقه پاکسازی شده وجود داشته باشد. بعد از اینکه ریشه و اولین پاس‌ها پر شدند، عملیات پاکسازی می‌تواند متوقف شود. وسایل زیادی برای این کار وجود دارد که یکی از آنها در شکل ۱۷ نشان داده شده است.



شکل ۱۷: کانال پاکسازی گازی [۱].

مطابق شکل ۱۸ برای جلوگیری از بالا رفتن بیش از حد فشار در طول جوشکاری هنگام پاکسازی سیستم‌های لوله‌ای می‌بایست تهویه مناسب در محل پیش بینی شده باشد. مساحت تهویه‌ای که از طریق آن گاز پشتیبان به سمت جو، خارج می‌شود باید حداقل با مجاری ورود گاز به سیستم، مساوی باشد.



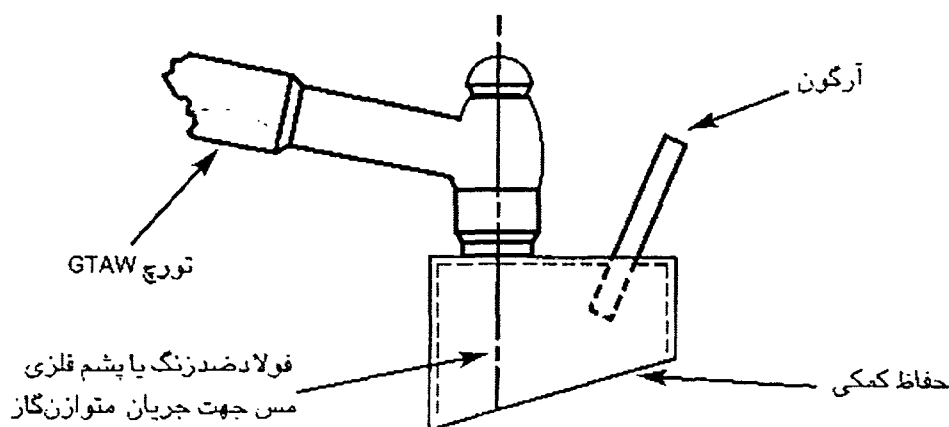
شکل ۱۸: پاکسازی گازی [۱].



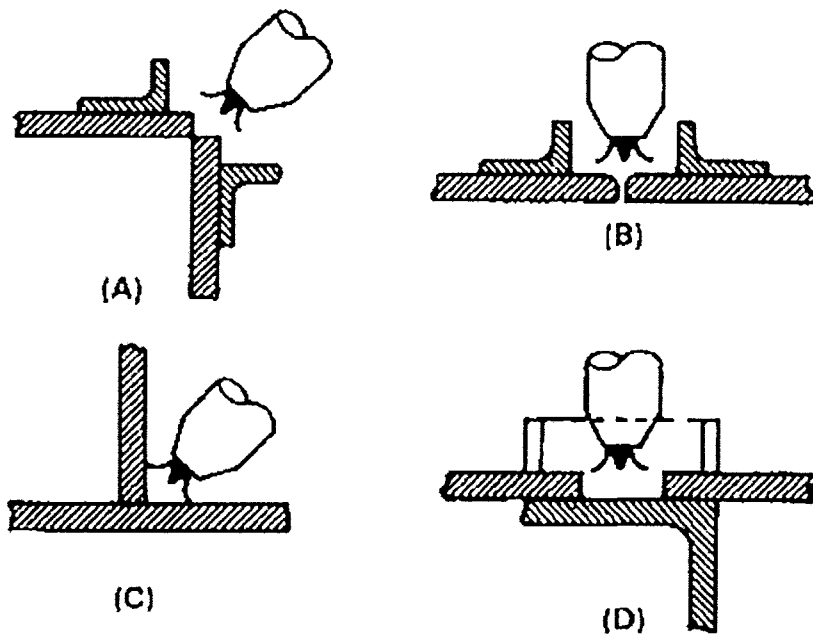
برای جلوگیری از فوران حوضچه جوش یا تقعر ریشه، مراقبت های ویژه ای باید اعمال شود تا اطمینان حاصل گردد که فشار پاکسازی هنگام جوشکاری یکی دو اینچ آخر پاس ریشه از حد مجاز فراتر نرفته است. هنگام استفاده از آرگون یا نیتروژن بهتر است گاز پشتیبان از یک نقطه پایین وارد سیستم شود تا اتمسفر به سمت بالا جابجا شود و از تهویه ای بالاتر از درزهای جوشکاری از سیستم خارج شود. در سیستم های لوله ای که دارای درزهای زیادی هستند، تمام درزها به غیر از درزی که در حال جوشکاری است، باید نواریچ شوند تا گاز از آنها خارج نشود.

۳-۶-۵- حفاظ های اطراف کار

هنگام جوشکاری برخی از فلزات مانند تیتانیوم، چنانچه محفظه یا سایر تکنیک های حفاظتی در دسترس نباشند یا کاربرد آنها عملی نباشد، از اینگونه حفاظها استفاده می شود. با استفاده از این حفاظ ها اطمینان حاصل می شود که پوشش گاز محافظ خنثی تا خنک شدن فلز مذاب و رسیدن آن به نقطه ای که از آنجا به بعد واکنشی با اتمسفر صورت نمی دهد، بر روی منطقه باقی می ماند. یک نمونه از این حفاظ ها در شکل ۱۹ نشان داده شده است. مطابق شکل ۲۰ حفاظهای ثابتی نیز تعبیه شده اند که کمک می کنند گاز محافظ سریعاً اطراف الکترود را احاطه کند [۱].



شکل ۱۹: تصویر یک حفاظ در جوشکاری دستی [۱].

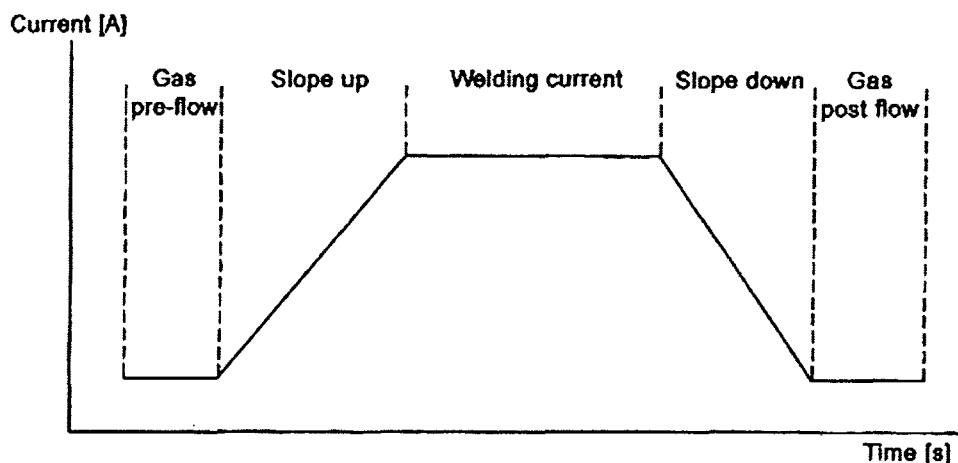


شکل ۲۰: حفاظ‌های ثابت برای حفظ گاز محافظ در اطراف اتصال جوش [۱].

۳-۷- واحد کنترل

لزوم حضور واحد کنترل بستگی به آن دارد که فرآیند جوشکاری تا چه میزان به صورت مکانیزه می‌باشد، اگر چه معمول است که جریان گاز محافظ قبل از جوشکاری و بعد از آن و ژنراتور HF، به صورت اتوماتیک کنترل شوند (شکل ۲۱)

اغلب، پرکردن دهانه جوش با کم کردن نرخ جریان یا پالسی کردن جریان نیز به صورت اتوماتیک کنترل می‌شود. جریان گاز محافظ قبل و بعد از جوشکاری از اکسیداسیون حوضچه جوش جلوگیری به عمل می‌آورد.



شکل ۲۱: ترتیب فرآیند جوشکاری [۴].

۴- شیوه های استارت قوس

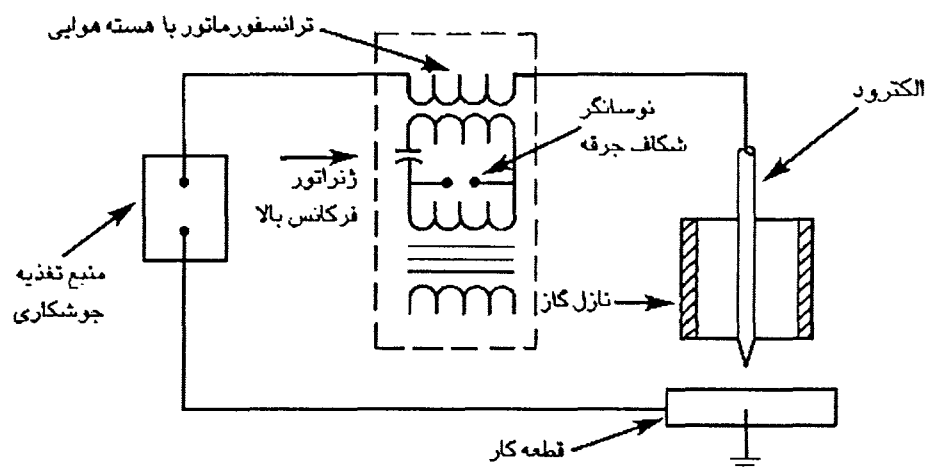
۴-۱- خراشیدن یا استارت با اتصال

در این روش تورچ رو به پایین و به سمت قطعه کار حرکت داده می شود تا الکترود تنگستن با قطعه کار تماس پیدا کند و برای ایجاد قوس، الکترود سریعاً تا فاصله کوتاهی (حدود ۳ میلیمتر) عقب کشیده می شود [۲]. این روش را می توان با اتصال الکترود به قطعه سنگینی از مس یا فولاد قراضه انجام داد و الکترود را به سمت قسمت مورد نظر منتقل کرد. استفاده از بلوک کربنی جهت شروع قوس مرسوم نیست، زیرا این روش آلودگی الکترود و نامطلوب بودن قوس را به همراه دارد [۳]. مزیت این روش برقراری قوس، سهولت اجرایی آن در هر دو فرایند دستی و ماشینی است. اما محدودیت آن تمایل الکترود به چسبیدن به قطعه کار است که سبب آلودگی الکترود و انتقال تنگستن به قطعه کار می شود.

۴-۲- استارت فرکانس بالا HF

از این شیوه در منابع تغذیه AC یا DC و برای انواع کاربردهای اتوماتیک یا دستی می توان استفاده کرد. ژنراتورهای فرکانس بالا معمولاً یک نوسانگر جرقه گیر دارند که ولتاژ AC قوی خروجی را به فرکانس های رادیویی که با مدار جوشکاری به حالت سری بسته شده اند، وارد می کند. نمای مدار در شکل ۲۲ نشان داده شده است. این ولتاژ قوی، گاز میان الکترود و قطعه کار را یونیزه می کند. سپس

گاز یونیزه جریان جوشکاری را انتقال می‌دهد و سبب ایجاد قوس می‌گردد. از آنجا که امواج رادیویی ژنراتورهای فرکانس بالا ممکن است به تجهیزات کامپیوتری، الکترونیکی و رادیویی آسیب برسانند، لذا هنگام استفاده از این حالت، نکات ایمنی باید رعایت شود. کاربر باید از دستورالعمل‌های کارخانه سازنده برای نصب مناسب تجهیزات و استفاده از این تکنیک پیروی کند.



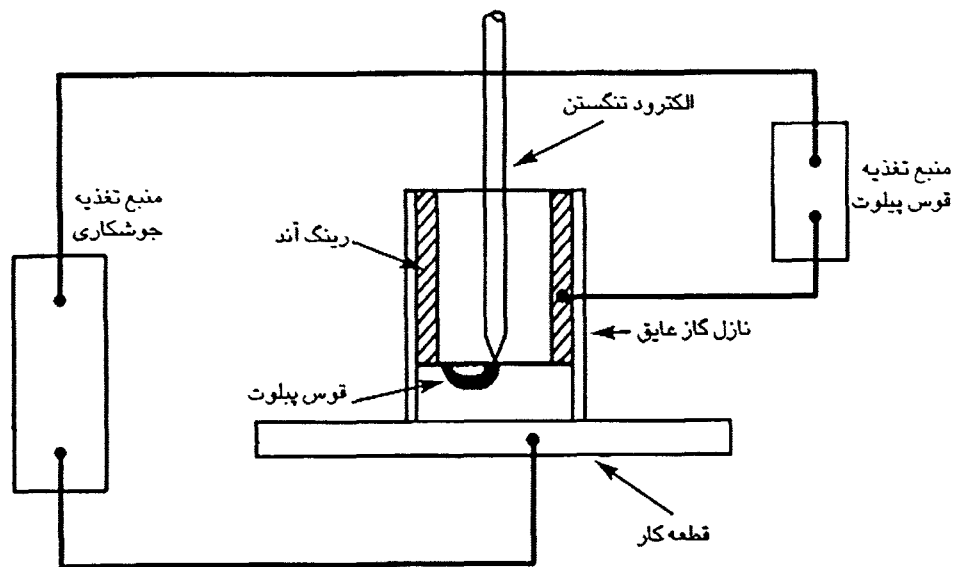
شکل ۲۲: استارت قوس فرکانس بالا [۱].

۳-۴- استارت پالسی

استفاده از یک ولتاژ قوی پالسی بین الکترود تنگستن و قطعه کار، گاز محافظ را یونیزه نموده و باعث ایجاد قوس می‌گردد. معمولاً از این روش در جوشکاری های ماشینی با منبع تغذیه DC استفاده می‌شود.

۴-۴- استارت قوس پیلوت (قوس کمکی)

استارت قوس پیلوت در منابع تغذیه DC مورد استفاده قرار می‌گیرد. قوس پیلوت بین الکترود جوشکاری و نازل تورچ ایجاد می‌شود. این قوس، گاز یونیزه مورد نیاز برای ایجاد قوس اصلی را ایجاد می‌کند (شکل ۲۳). این قوس از یک منبع تغذیه کمکی کوچک انرژی می‌گیرد و با فرکانس بالا ایجاد می‌شود. قوس پیلوت قوسی است با شدت کم برای استارت قوسی اصلی.



شکل ۲۳: مدار استارت قوس پیلوت برای جوشکاری نقطه‌ای GTAW [۱].

۵- متغیرهای فرآیند

متغیرهای اولیه در فرآیند GTAW عبارتند از:

ولتاژ قوس (طول قوس)، جریان جوشکاری، سرعت حرکت الکتروود و گاز محافظ. مقدار انرژی تولیدی قوس، با جریان و ولتاژ جوشکاری متناسب است و مقدار انرژی انتقال یافته در واحد طول جوش، با سرعت حرکت نسبت معکوس دارد. از آنجا که این متغیرها اثرات و روابط متقابل پیچیده‌ای نسبت به یکدیگر دارند، غیر ممکن است که در برقراری یک فرآیند جوشکاری یا ساخت اتصالات خاص، هر یک از آنها را به طور مستقل کنترل نمود.

۵-۱- جریان قوس و قطبیت الکتروود

به طور کلی جریان قوس، به صورت مستقیم و در بعضی اوقات به طور نمایی نفوذ جوش را کنترل می‌کند. این پارامتر روی ولتاژ و طول قوس نیز تاثیر دارد. بنابراین برای حفظ طول قوس ثابت، لازم است که ولتاژ، متناسب با جریان تنظیم شود. انتخاب جریان الکتریکی، تا حد زیادی به فلز جوش بستگی دارد. این جریان الکتریکی می‌تواند مستقیم یا متناوب باشد.

۵-۱-۱- جریان مستقیم

هنگام کار با جریان مستقیم، الکترود تنگستنی را می‌توان یا به ترمینال مثبت و یا به ترمینال منفی منبع تغذیه متصل کرد. البته اکثراً الکترود منفی (کاتد) انتخاب می‌شود. در این قطبیت، الکترون‌ها از الکترود به سمت قطعه کار جاری می‌شوند و یون‌های مثبت از قطعه کار به الکترود انتقال می‌یابند. (شکل ۲۴- قطبیت مستقیم DCEN).

هنگامی که از جریان DCEN و از الکترود ترمویونیک مانند الکترود تنگستن استفاده می‌شود، تقریباً ۷۰٪ از گرمای حاصله در آند و ۳۰٪ در کاتد، تولید می‌شود. از آنجا که DCEN بیشترین مقدار گرما را در قطعه کار ایجاد می‌کند، در یک جریان جوشکاری ثابت، به خصوص هنگامی که از هلیوم به عنوان گاز محافظ استفاده می‌شود، DCEN نفوذی عمیق تر از DCEP ایجاد می‌کند (شکل ۲۴).

نوع جریان قطبیت الکترود	DCEN منفی	DCEP مثبت	AC (بالانس شده)
جریان الکترون‌ها و یون‌ها			
خصوصیات نفوذ	عمیق، باریک	کم عمق، پهن	متوسط
عملیات تمیز کنندگی اکسیدی	انجام نمی‌شود	انجام می‌شود	انجام می‌شود - یکبار در هر نیم سیکل
بالانس گرما در قوس (تقریبی)	۷۰٪ در انتهای کار ۳۰٪ در انتهای الکترود	۳۰٪ در انتهای کار ۷۰٪ در انتهای الکترود	۵۰٪ در انتهای کار ۵۰٪ در انتهای الکترود
ظرفیت الکترود	۱/۸ اینچ (۳/۲ میلی‌متر) ۴۰۰ آمپر	۱/۴ اینچ (۶/۳ میلی‌متر) ۱۲۰ آمپر	خوب ۱ اینچ (۳/۲ میلی‌متر) ۲۲۵ آمپر

شکل ۲۴: خصوصیات انواع جریان در GTAW [۱].

در فرآیند GTAW، اغلب از جریان DCEN استفاده می‌شود و در آن می‌توان از آرگون، هلیوم یا ترکیبی از هر دو برای جوشکاری بیشتر فلزات استفاده کرد. هنگامی که الکترود تنگستن به ترمینال مثبت DCEP اتصال یابد، عملیات تمیز کنندگی کاتدی در سطح کار ایجاد می‌شود. این عملیات که



در بیشتر فلزات انجام می‌شود، هنگام جوشکاری آلومینیوم و منیزیم اهمیت بیشتری دارد، چون این عملیات، اکسیدهای نسوز سطح کار را که مانع ترکندگی^۱، توسط فلز جوش می‌شوند را از بین می‌برد. از آنجایی که عملیات تمیزکنندگی توسط هلیم صورت نمی‌پذیرد، لذا در این مورد از آرگون باید برای محافظت استفاده نمود. بر خلاف جریان DCEN، که در آن نوک الکتروود با انتشار الکترون‌ها خنک می‌شود، هنگامی که از الکتروود در قطبیت مثبت (DCEP) استفاده می‌شود، نوک آن به دلیل بمباران الکترونی و همچنین مقاومت در برابر مسیر الکترون‌ها داغ می‌شود، بنابراین جهت کاهش مقاومت گرمایی و افزایش هدایت حرارتی در الکتروود گیر، هنگام استفاده از قطبیت معکوس، از الکتروودی با قطر بیشتر استفاده می‌شود. ظرفیت انتقال جریان الکتروودی که به ترمینال مثبت متصل است، تقریباً یک دهم ظرفیت الکتروودی است که به ترمینال منفی متصل شده است [۱].

فلزاتی که با جریان DCEN جوشکاری می‌شوند عبارتند از:

- فولادهای غیرآلیاژی، کم آلیاژ و پرآلیاژ
- مس و آلیاژهای آن (به جز آلومینیم برنز)
- نیکل و آلیاژهای آن
- فلزات غیر مشابه (فولادهای کم آلیاژ و پرآلیاژ)
- موادی که در برابر گازهای مختلف حساس هستند (تیتانیوم، تانتالیم، تنگستن، زیرکونیم و آلیاژهایشان) [۲].

۵-۱-۲- جریان متناوب

در جریان متناوب، قطبیت جریان مکرراً از الکتروود مثبت به الکتروود منفی تغییر می‌کند. بنابراین جریان AC دارای ترکیبی از عملیات پاک کنندگی الکتروود مثبت (قطبیت معکوس) و نفوذ عمیق الکتروود منفی (قطبیت مستقیم) می‌باشد. در شکل ۲۴ مشخصات جوشکاری AC با جوشکاری DCEN, DCEP مقایسه شده است. منابع تغذیه AC مرسوم، یک ولتاژ خروجی مدار باز سینوسی شکل ایجاد می‌کنند که با جریان حدود ۹۰ درجه اختلاف فاز دارد. فرکانس ولتاژ معکوس، معمولاً در فرکانس ۶ هرتز استاندارد نیروی ورودی ثابت است. ولتاژ حقیقی قوس با جریان جوشکاری هم فاز می‌باشد. ولتاژ اندازه گیری شده، مجموع افت ولتاژ در الکتروود، پلاسما، آند و کاتد می‌باشد که همه از اثرات برقراری جریان الکتریکی می‌باشند.

۱-Wetting

هنگامی که جریان به صفر تنزل پیدا می‌کند با توجه به نوع قطبیت، اثرات متفاوتی رخ خواهد داد. وقتی که الکتروود تنگستنی ترمیونیومیک در حالت منفی باشد، فوراً الکترون‌ها برای برقراری مجدد قوس منتشر می‌شوند، در حالیکه وقتی حوضچه جوش منفی می‌شود تا زمانی که ولتاژ به اندازه کافی برای آغاز تشعشع کاتد - سرد بالا نرود الکترون‌ها انتشار پیدا نمی‌کنند و قوس ناپایدار است. این حالت در شکل (A-25) نشان داده شده است. در منابع تغذیه مرسوم سینوسی، به وسایلی برای پایدار نمودن قوس هنگام معکوس شدن ولتاژ نیاز است. اثر پایدار سازی قوس توسط این وسایل در شکل (B-25) نشان داده شده است.

به منظور بهبود پایداری قوس، می‌توان ولتاژ مدار باز ترانسفور ماتور را افزایش داد. هنگام استفاده از هلیم به عنوان گاز محافظ، به ولتاژ مدار باز در حدود $100V(rms)$ نیاز است. با اضافه کردن یک منبع ولتاژ فرکانس بالا، به صورت سری با ترانسفورماتور، ولتاژ مورد نیاز را می‌توان تهیه کرد. این ولتاژ فرکانس بالا، به چندین هزار ولت می‌رسد و فرکانس آن نیز چندین مگاهرتز می‌باشد، در حالیکه جریان بسیار ضعیف است. ولتاژ فرکانس بالا به طور مستمر یا دوره ای در طول کار اعمال می‌شود. در این مورد هنگامیکه جریان جوشکاری از نقطه صفر عبور می‌کند، ولتاژ فرکانس بالا به طور ناگهانی افزایش قابل توجهی پیدا می‌کند.

منابع تغذیه AC با موج مربع می‌توانند مسیر جریان جوشکاری را طی یک زمان کوتاه تغییر دهند. وجود ولتاژ قوی همراه با دمای بالای الکتروود و فلز پایه باعث می‌شود که هنگام معکوس شدن جریان، بدون نیاز به پایدار کننده قوس، قوس دوباره برقرار شود. همچنین جریان پیک پایین تر موج مربع، باعث ایجاد تمایل به افزایش محدوده جریان قابل استفاده الکتروود می‌شود. از آنجا که فراهم نمودن الکترون‌های مورد نیاز جهت برقراری و نگهداری از قوس هنگامیکه الکتروود در حالت منفی قرار دارد آسانتر است، مقدار ولتاژ مورد نیاز نیز کمتر است، در نتیجه زمانیکه وضعیت DCEN برقرار است جریان قویتری نسبت به وضعیت DCEP به وجود می‌آید. در واقع منبع تغذیه هم جریان AC و هم جریان DC تولید می‌کند. به علت ایجاد گرمای بیش از حد (و یا در بعضی ماشین‌ها، به علت تنزل نیروی خروجی) اینگونه یکسوسازی‌ها می‌تواند باعث آسیب دیدن منبع تغذیه شود. مطابق شکل (C-25) اینگونه یکسوسازی‌ها با بالانس کردن امواج از بین می‌رود. منابع تغذیه ابتدایی با جریان بالانس شده، یا حاوی خازن‌های سری یا یک منبع ولتاژ DC (مانند باتری) در مدار جوشکاری خود می‌باشند. مدارهای منابع تغذیه مدرن، به صورت الکترونیکی جریان را بالانس می‌کنند. در بیشتر فرایندهای جوشکاری دستی، نیازی به جریان بالانس شده نمی‌باشد، اگر چه جریان بالانس شده برای جوشکاری های ماشینی یا اتوماتیک با سرعت بالا، مطلوب است.

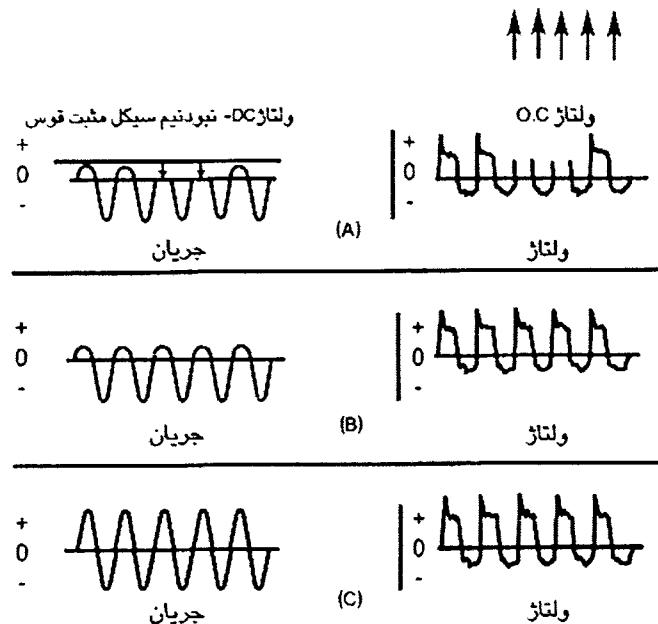


مزایای جریان بالانس شده عبارتست از:

- ۱- اکسیدزدایی بهتر
 - ۲- جوشکاری بهتر و روان تر
 - ۳- عدم نیاز به ملزومات کاهش سرعت خروجی در ترانسفورماتورهای مرسوم جوشکاری (کاهش اثرات مغناطیسی غیر بالانس تولید شده توسط جریان غیر بالانس)
- موارد زیر نیز محدودیت های جریان بالانس شده می باشند:
- ۱- نیاز به الکترودهای تنگستن بزرگتر
 - ۲- احتمال بروز خطر برای جوشکار، به دلیل وجود ولتاژ مدار باز قوی در وسایل بالانس کننده جریان

۳- قیمت بالای منابع تغذیه با موج بالانس شده

برخی منابع تغذیه AC با موج مربع، سطح جریان در حالت الکتروود منفی یا مثبت را با استاندارد فرکانس که ۶۰ Hz می باشد، تنظیم می کنند. در منابع تغذیه گران قیمت تر، در هر نیم سیکل، سطح جریان و قطبیت با یکدیگر تنظیم می شوند. وجود انواع شکل موج ها، جریان جوشکاری را به تناسب نوع کاربرد، تنظیم می کنند. خصوصیات انواع موج مربع AC را در شکل ۲۶ مشاهده می کنید.

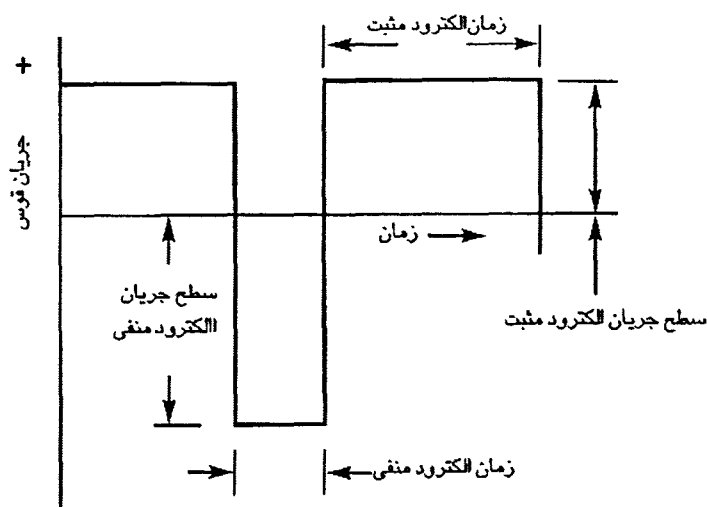


شکل ۲۵: شکل موج های ولتاژ و جریان در جوشکاری AC [۱].

A- شکل موج ناقص و کامل یکسو کننده

B- یکسوسازی

C- جریان بالانس شده



شکل ۲۶: خصوصیات موج مربع AC [۱].

۵-۲- ولتاژ قوس (طول قوس)

معمولاً به ولتاژ اندازه‌گیری شده بین الکتروود تنگستن و قطعه کار، ولتاژ قوس گفته می‌شود.

ولتاژ قوس تا حد بسیار زیادی به عوامل زیر بستگی دارد:

۱- جریان قوس

۲- شکل نوک الکتروود تنگستن

۳- فاصله بین قطعه کار و الکتروود تنگستن

۴- نوع گاز محافظ

ولتاژ قوس با تأثیرپذیری از سایر متغیرها، تغییر می‌کند و تنها به این دلیل که اندازه‌گیری آن آسان است در توضیح دستورالعمل‌های جوشکاری استفاده می‌شود. از آنجا که سایر متغیرها مانند گاز محافظ، الکتروود و جریان، از قبل تعیین شده‌اند، برای کنترل طول قوس می‌توان ولتاژ قوس را تغییر داد. در فرآیند GTAW، طول قوس بر عرض حوضچه جوش تأثیرگذار و متناسب با آن می‌باشد، از این‌رو از اهمیت زیادی برخوردار است [۱]. طول قوس تا حدودی به قطر الکتروود بستگی داشته و معمولاً حدود ۲-۶ میلی‌متر می‌باشد [۷].

در بسیاری از کاربردها، جز جوش ورق طول قوس مطلوب تا حد امکان کوتاه است، البته اگر قوس خیلی کوتاه باشد امکان دارد بین الکتروود با حوضچه یا سیم جوش، اتصال کوتاه (اتصال) ایجاد شود. در جوشکاری‌های مکانیزه، با استفاده از گاز محافظ هلیوم و نیروی DCEN (الکتروود منفی با



جریان مستقیم) و یک جریان نسبتاً قوی، امکان غوطه ور کردن نوک الکتروود زیر سطح صفحه وجود دارد که در نتیجه جوش‌هایی عمیق اما نازک، در سرعت‌هایی بالا به وجود می‌آیند. به این تکنیک قوس پنهان^۱ گفته می‌شود.

هنگامی که از ولتاژ قوس برای کنترل طول قوس در کاربردهای حساس استفاده می‌شود، باید مراقب سایر متغیرهایی که روی ولتاژ قوس تاثیر گذارند بود که از میان آنها می‌توان به آلودگی گاز محافظ و الکتروود، تغذیه نامناسب سیم جوش، تغییرات دما در الکتروود و سایش الکتروود اشاره کرد.

۵-۲-۱- کنترل ولتاژ قوس

برای برقراری و حفظ طول قوس، در فرآیندهای ماشینی یا اتوماتیک GTAW، کنترل‌کننده‌های ولتاژ قوس (AVC) مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این حالت قوس به خودی خود یک سنسور (حس‌گر) است، زیرا اندازه‌گیری طول (فاصله هوایی قوس) را به یک سیگنال الکتریکی (ولتاژ قوس) تبدیل می‌کند. AVC، ولتاژهای قوس اندازه‌گیری شده و ولتاژ قوس مطلوب را با هم مقایسه می‌کند تا مشخص نماید که الکتروود جوشکاری در چه مسیری و با چه سرعتی باید حرکت کند.

۵-۳- طول مؤثر الکتروود^۲

طول مؤثر الکتروود به قطر الکتروود و طراحی اتصال بستگی دارد. در اتصالات لب به لب طول مؤثر الکتروود در مقایسه با اتصالات گوشه ای کوتاه‌تر است. حداکثر مقدار طول توصیه شده حدود ۱/۵ تا ۲ برابر قطر الکتروود می‌باشد.

۵-۴- سرعت حرکت

سرعت حرکت روی عرض و نفوذ جوش اثر مستقیم دارد و به دلیل تأثیر آن بر هزینه فرآیند از اهمیت زیادی برخوردار است. در برخی از کاربردها سرعت حرکت عامل مهمی است که به همراه سایر متغیرها تاثیر قابل توجهی بر شکل و طرح مطلوب جوش دارد.

در سایر کاربردها، سرعت حرکت یک متغیر وابسته است که جهت رسیدن به کیفیت بالا و ایجاد شکل یکنواخت در جوشکاری، در کنار سایر ملزومات، باید مقدار مناسب آن انتخاب گردد. سرعت

^۱-Buried Arc

^۲-Electrode Stick Out

حرکت در جوشکاری مکانیزه، معمولاً مناسب با سایر متغیرها مانند جریان یا ولتاژ جوشکاری تثبیت می‌شود تا کنترلی ثابت روی جوشکاری اعمال گردد.

۵-۵- تغذیه سیم جوش

در جوشکاری دستی شیوه اضافه شدن سیم جوش به حوضچه جوش، روی تعداد پاس‌های مورد نیاز و شکل نهایی جوش تاثیرگذار است. در جوشکاری های ماشینی و اتوماتیک سرعت تغذیه سیم جوش، مقدار رسوب سیم جوش در واحد طول جوشکاری را تعیین می‌کند. کاهش سرعت تغذیه سیم جوش، نفوذ را افزایش داده و شکل درز را مسطح‌تر می‌نماید. اگر چه تغذیه سیم جوش با سرعت بسیار پایین باعث ایجاد سوختگی در کناره جوش، ایجاد ترک در خط مرکزی جوش و کامل پرنشیدن درزهای اتصال می‌گردد. افزایش سرعت تغذیه سیم جوش، نفوذ جوشکاری را کاهش داده و باعث ایجاد درز جوش محدب می‌گردد.

۶- تکنیک‌های GTAW

۶-۱- جوشکاری دستی

کلمه دستی^۱ در فرایند GTAW، به معنای کنترل تمام توابع فرآیند جوشکاری توسط اپراتور می‌باشد. این توابع شامل تغییر وضعیت الکترود، کنترل سیم جوش ها، جریان جوشکاری، سرعت انتقال و طول قوس می‌باشد.

۶-۱-۱- تجهیزات جوشکاری دستی

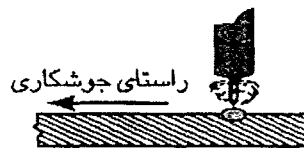
علاوه بر منبع تغذیه و منبع گاز محافظ مناسب، سایر تجهیزات فرآیند دستی GTAW، عبارتند از: تورچ جوشکاری، شیلنگ ها و کابل‌های الکتریکی، پدال پایی (یا سوئیچ روی تورچ) برای کنترل سطح جریان در طول جوشکاری و کنترل جریان گاز.

^۱-Manual

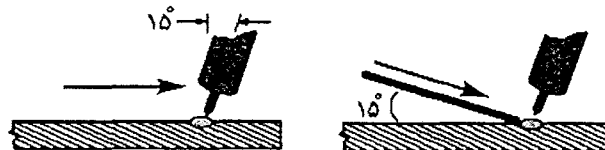


۲-۱-۶- تکنیک های جوشکاری دستی

تکنیک های جوشکاری دستی در شکل ۲۷ نشان داده شده است.



(A) گسترش حوضچه جوش، با حرکت نوسانی یا حرکت به اطراف



(B) حرکت الکترود در امتداد حوضچه جوش

(B) افزودن فلز پرکننده به لبه جلویی حوضچه جوش



(D) عقب کشیدن فلز پرکننده

(E) حرکت الکترود به سمت لبه جلویی حوضچه جوش

شکل ۲۷: تکنیک های جوشکاری دستی GTAW [۱].

وقتی قوس ایجاد شد، الکترود به شکل دورانی حرکت می کند تا حوضچه جوش ایجاد شود. سپس تورچ در زاویه ۱۵ درجه نسبت به خط عمود قرار می گیرد و در طول اتصال حرکت می کند تا سطح تماس را ذوب کند [۱]. در صورت لزوم می توان از فلز پرکننده یا مفتول استفاده کرد که به لبه جلویی حوضچه جوش اضافه می شود. این عمل باید طوری انجام شود تا اولاً: مانع از عمل محافظت حوضچه جوش توسط جریان گاز نشود، ثانیاً: نوک مفتول نیز تحت حفاظت جریان گاز قرار گرفته و اکسید نشود. همچنین از لرزش و حرکات غیر ضروری مفتول اجتناب باید کرد. مفتول باریک سبب ذوب سریع شده و در نوک مفتول تشکیل گلوله می دهد. مفتول با قطر زیاد نیز باعث ممانعت از عمل محافظت گاز در حوضچه جوش و نوک مفتول می شود. در نتیجه اندازه مفتول و جنس آن باید با جنس قطعه مورد اتصال شرایط کار و خواصی که از اتصال انتظار می رود متناسب باشد [۷].



۲-۶- جوشکاری ماشینی

جوشکاری ماشینی با تجهیزاتی که روند جوشکاری را تحت نظر مستقیم و کنترل اپراتور انجام می‌دهند، صورت می‌گیرد. توسط تجهیزات این نوع جوشکاری قطعات می‌توانند باردار یا بدون بار باشند. در جوشکاری ماشینی GTAW، کنترل بیشتری روی سرعت انتقال و حرارت ورودی به قطعه کار اعمال می‌شود. قیمت بالای تجهیزات ماشینی را می‌توان با کیفیت بالای کار و سرعت تولید آن توجیه کرد.

سیستم‌های برنامه ریز جوش در یک کنترل مدار باز کار می‌کنند. متغیرها هم از قبل تنظیم شده‌اند و برای بهبود کیفیت جوشکاری نیازی نیست آنها را تغییر داد. برنامه‌ریزها به صورت اتوماتیک جوشکاری را آغاز می‌کنند و به اتمام می‌رسانند و با یک برنامه ریزی قبلی مرحله به مرحله در طول کار پیش می‌روند. تفرانس قطعات باید کنترل شود و اتصالات باید از استحکام کافی برخوردار باشد تا بخش‌های اتوماتیک دستگاه در حین کار با حرکت‌های ناگهانی قطعات مواجه نگردند.

۳-۶- جوشکاری نیمه اتوماتیک

جوشکاری نیمه اتوماتیک به فرایندی اطلاق می‌شود که تنها تغذیه سیم‌جوش به صورت اتوماتیک کنترل می‌شود و پیشروی تورچ به صورت دستی کنترل می‌شود. سیستم‌های جوشکاری نیمه اتوماتیک GTAW در سال ۱۹۲۵ میلادی معرفی شدند اما از آنها تنها در کاربردهای خاصی استفاده می‌شود.

۴-۶- جوشکاری اتوماتیک

جوشکاری با وسایل و تجهیزاتی که عملیات جوشکاری را بدون اعمال کنترل و تنظیم جوشکار انجام می‌دهند، جوشکاری اتوماتیک نام دارد. توسط تجهیزات این نوع فرآیند قطعات می‌توانند باردار یا بدون بار باشند. در فرآیند اتوماتیک GTAW، قطعات به صورت اتوماتیک باردار و سپس تخلیه می‌شوند. برخی سیستم‌های جوشکاری اتوماتیک مدرن (گاهی به آنها کنترل بازخورد^۱ یا سیستم‌های تطبیقی^۲ نیز گفته می‌شود) بر پایه اطلاعاتی که در طول جوشکاری به دست می‌آورند، در برخی از متغیرات جوشکاری اصلاحاتی را صورت می‌دهند و هدف، ایجاد جوشی با کیفیت مناسب با اعمال تغییرات در شرایط جوشکاری می‌باشد. تنظیمات اتوماتیکی که در هر یک از متغیرهای جوشکاری مانند

۱-Feedback

۲-Adaptive



جریان قوس یا ولتاژ قوس صورت می‌پذیرد، با کنترل یک خصوصیت جوش، مثل عرض حوضچه جوش انجام می‌گیرد.

۵-۶- جوشکاری قوسی نقطه‌ای

جوشکاری نقطه ای GTAW، اغلب به صورت دستی و با یک الکتروُدگیر طبانچه‌ای شکل دارای نازل گازی آب خنک، یک الکتروُد تنگستن که با نازل گازی هم‌مرکز است و یک سوئیچ ماشه‌ای برای کنترل فرآیند انجام می‌گیرد (شکل ۲۸).

جوشکاری قوس نقطه ای می‌تواند با جریان AC یا DCEN انجام شود. به دلیل سیکل‌های نسبتاً پیچیده فرآیند، معمولاً از کنترل‌های برنامه ریز اتوماتیک استفاده می‌شود. کنترل‌ها به صورت اتوماتیک، جریان آب و گاز قبل و بعد از جوشکاری، استارت قوس و زمان برقراری قوس را تنظیم می‌کنند. نفوذ با تنظیم میزان و زمان برقراری جریان الکتریکی تنظیم می‌شود. در برخی موارد، جریان چند پالسی به یک جریان پالسی و طولانی ترجیح داده می‌شود.

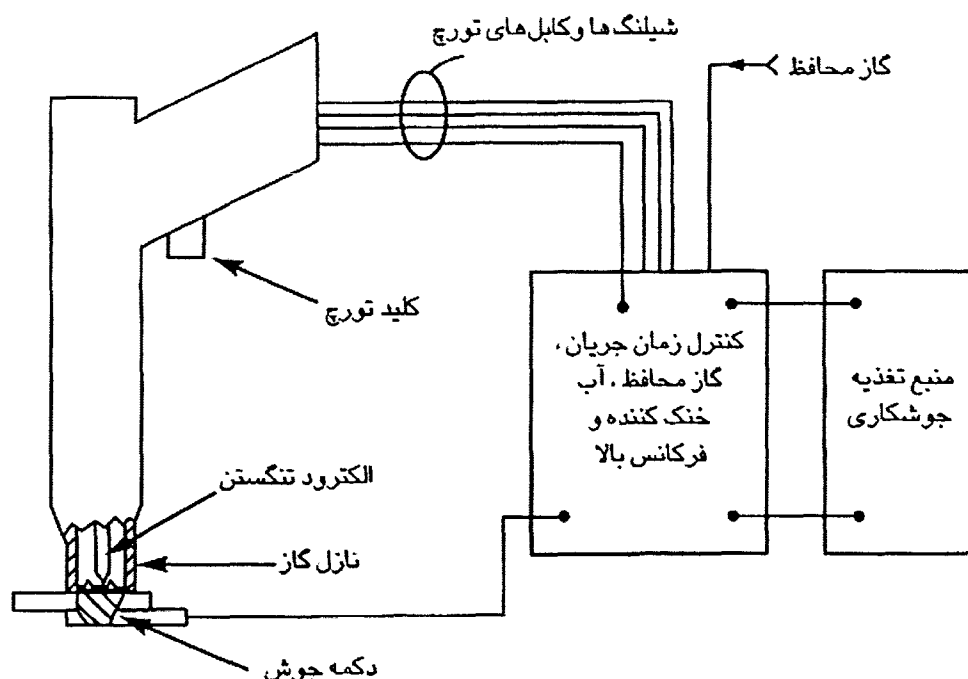
با استفاده از زمان سنج‌های دقیق، بررسی جریان و استفاده از الکتروُد‌های تنگستن که نوک آنها دقیق سنگ زده شده است، می‌توان تغییرات در استحکام برشی جوش و نفوذ جوش را به حداقل رسانید. وجود یک نقطه ذوب شده زیر قطعه کار پایینی نشانه‌ای از انجام رضایت بخش جوشکاری قوسی نقطه‌ای می‌باشد.

۷- طراحی اتصال

به علت تنوع فلزات پایه و خواص ذاتی آنها (مانند کشش سطحی، سیالیت، نقطه ذوب و...)، طرح‌های هندسی اتصالات باید به گونه ای انتخاب شوند که شرایط جوشکاری به صورت بهینه برقرار شود. فاکتورهای تاثیر گذار روی شکل اتصالات عبارتند از: ضخامت و ترکیب فلز، نفوذ جوش و بازدهی اتصال^۱ و مهار اتصال^۲.

۱- Joint Efficiency

۲- Joint Restraint

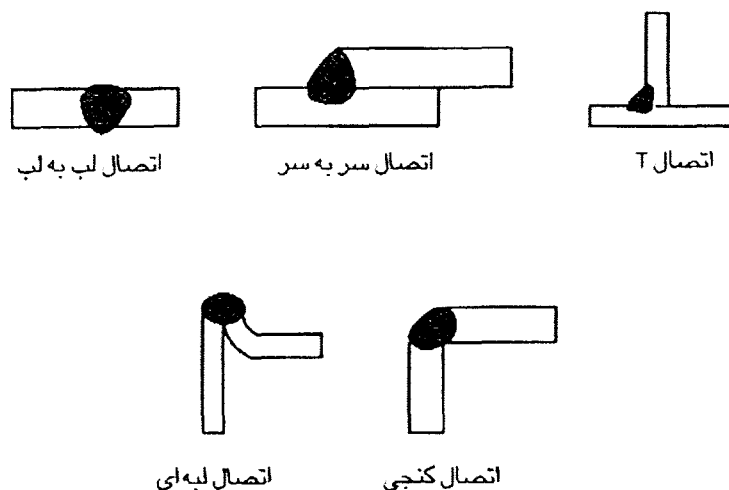


شکل ۲۸: جوشکاری قوسی نقطه ای دستی [۱].

۱-۷- طرح های اصلی

پنج طرح اصلی اتصال (طرح های سر به سر، لب به لب، T شکل، لبه ای و کنجی) که در شکل ۲۹ نشان داده شده است، برای انواع فلزات به کار می روند. در همه این اشکال، هدف اولیه کاهش هزینه های جوشکاری با در نظر گرفتن کیفیت جوش و قابلیت اجرای فرآیند می باشد. برخی از فاکتورهای تاثیرگذار روی هزینه جوشکاری عبارتند از: زمان آماده سازی اتصال، مساحت اتصال که باید پر شود و زمان مونتاژ. از آنجا که قانونی برای استفاده از یک طرح اتصال خاص برای یک فلز وجود ندارد، طرح های ویژه ای برای اهداف خاص به کار می روند.

متغیرهای اولیه طرح اتصال عبارتند از: درز اتصال، ضخامت پاشنه پخ و زاویه پخ (زاویه بین پخی جسم و سطح عمود بر آن جسم). اندازه درز اتصال و ضخامت پاشنه پخ بستگی به دستی یا اتوماتیک بودن فرآیند، اضافه شدن فلز پرکننده به پاس ریشه و استفاده از مواد مصرفی دارد. معمولاً از نوار پشت بند (نوار یا تسمه فلزی فرم داده شده که پشت درز جوش قرار می گیرد و از ریزش مواد مذاب جلوگیری می کند) به علت تحمیل هزینه های اضافی، مشکلات نصب آن و ایجاد مشکل هنگام تفسیر پرتونگاری (رادیوگرافی) استفاده نمی شود.



شکل ۲۹: پنج طرح اصلی اتصال [۱].

میزان زاویه پخ به ضخامت فلز و فاصله ای که برای حرکت قوس جهت ذوب کافی هر دو طرف اتصال نیاز است، بستگی دارد. نکته مهم در طرح اتصالات GTAW دسترسی مناسب به اتصال است. به منظور ذوب کامل سطح شیار، زاویه پخ باید به حدی باشد که امکان تغییر حالت الکتروود گیر وجود داشته باشد. خواص فلز جوش نیز باید مدنظر قرار گیرد. به عنوان مثال؛ آلیاژهای پر نیکل هنگامی که به صورت مذاب هستند، حرکت بسیار آرامی دارند و فلز جوش به خوبی سطح شیار را خیس نمی کند. بنابراین برای ایجاد فضای کافی جهت اعمال تنظیمات، زاویه پخ در آلیاژهای نیکل باید بازتر از زاویه پخ در فولادهای کربنی و آلیاژی باشد. اگر چه باز کردن این زاویه باعث افزایش زمان جوش، اعوجاج و هزینه می گردد و باید تا حد امکان از این کار خودداری نمود.

۲-۷- آماده سازی اتصالات

بعد از انتخاب طرح اتصال، مهم ترین عامل، انتخاب روش آماده سازی اتصال می باشد. در آماده سازی طرح اتصال، روش های زیادی برای زدودن ناخالصی ها از سطح اتصال وجود دارد. اگر چه مشکلات زیاد یا مسائل بالقوه ای که در فرآیند GTAW پیش می آیند، مستقیماً محصول استفاده از شیوه نامناسب آماده سازی اتصال است که در این میان مهمترین عامل، استفاده از چرخ سنگ زنی نامناسب در آماده سازی اتصال می باشد. چرخ سنگ زنی باید کاملاً تمیز و مختص به یک نوع فلز جوش باشد.



۷-۳- تمیزکاری

تمیز بودن اتصالات جوش، یکی از موارد بسیار مهم در GTAW است. روغن، گریس، آلودگی های کارگاه، رنگ، گچ های علامت گذاری و رسوبات خوردگی و زنگ زدگی، باید از لبه های اتصالات و سطوح فلزی زدوده شوند و به خارج از منطقه متأثر از گرمای جوشکاری انتقال یابند. وجود آنها در کار، باعث ایجاد جوش ناپایدار و آلوده به ناخالصی می شود و با توجه به واکنشهای متالورژیکی جوش با این ناخالصی ها، ممکن است در فلز جوش، ترک یا حفره به وجود آید. سطح کار را با استفاده از روشهای مکانیکی، تمیزکننده های مایع و بخار و یا توسط ترکیبی از این دو می توان تمیز کرد.

۷-۴- تثبیت قطعات کار^۱

برای جلوگیری از اعوجاج قطعات از تثبیت کننده ها^۲ استفاده می شود. اجزای تثبیت کننده ها باید به اندازه کافی بزرگ و محکم باشند تا وزن قطعات جوشکاری را تحمل کرده، در مقابل تنش های ناشی از انبساط و انقباض گرمایی، تاب برندارند و در مقابل عواملی چون پارگی و سایش که در طول کار رخ می دهد، مقاوم باشند. به طور کلی وظایف تثبیت کننده ها عبارت است از:

۱- قراردادن دقیق قطعات در کار

۲- به حداقل رسانیدن اعوجاج در قطعه کار

۳- کنترل دما

۴- حفظ هم ترازی در طول جوشکاری

۸- عیوب جوشکاری در GTAW

نواقص احتمالی که در جوشکاری GTAW ممکن است به وجود آید عبارتند از:

• نقص های خارجی شامل:

فلز جوش اضافی (Excess Weld Metal)

بریدگی کناره جوش (Undercut)

نفوذ ناقص (Insufficient Penetration Weld)

تقعر ریشه (Root Concavity)

نفوذ بیش از حد در ریشه (Excessive Penetration) (شکل ۳۰)

۱-Fixturing

۲- Fixture



• نقص های داخلی شامل:

تخلخل (ناخالصی های گازی) (Pores (Gas Inclusions))

ناخالصی های اکسیدی، ریشه جوش اکسید شده (Oxide Inclusions, Oxidized Root)

ذوب ناقص (Lack of Fusion)

ناخالصی های تنگستن (Tungsten Inclusion)

ترک گرم (Hot Cracks)

عدم نفوذ کامل (Incomplete Penetration) [۲]. (شکل ۳۱)

• نقایص ناشی از عیوب جوشکاری در فرآیند GTAW عبارتند از:

۱- آماده سازی اتصال

- طراحی اتصال

- ابعاد اتصال

- فاصله بین دو قطعه کار

۲- تنظیمات ماشین جوشکاری

- جریان / ولتاژ

- خصوصیات خروجی استاتیک

- شدت جریان گاز محافظ

۳- وضعیت مشعل جوشکاری

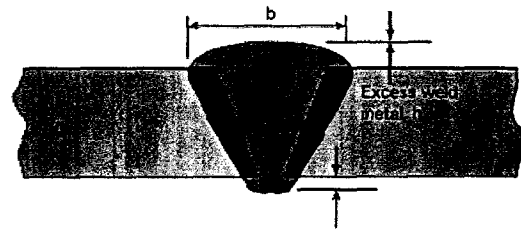
- وضعیت قرار گرفتن مشعل

- سرعت جوشکاری

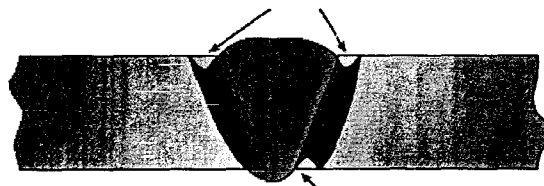
- فاصله بین الکترود و قطعه کار

- تکنیک جوشکاری

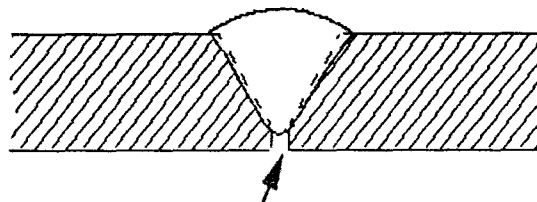
۴- وضعیت قرار گرفتن فلز پرکننده



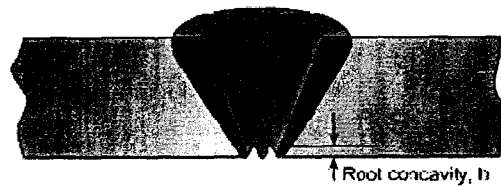
فلز جوش اضافی (Excess weld metal)



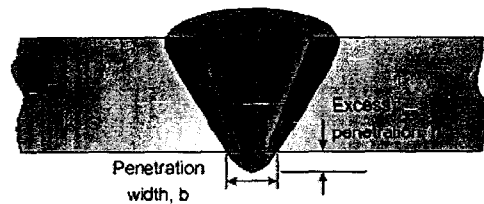
بریدگی کناره جوش (Undercut)



نفوذ ناقص (Insufficient Penetration Weld)

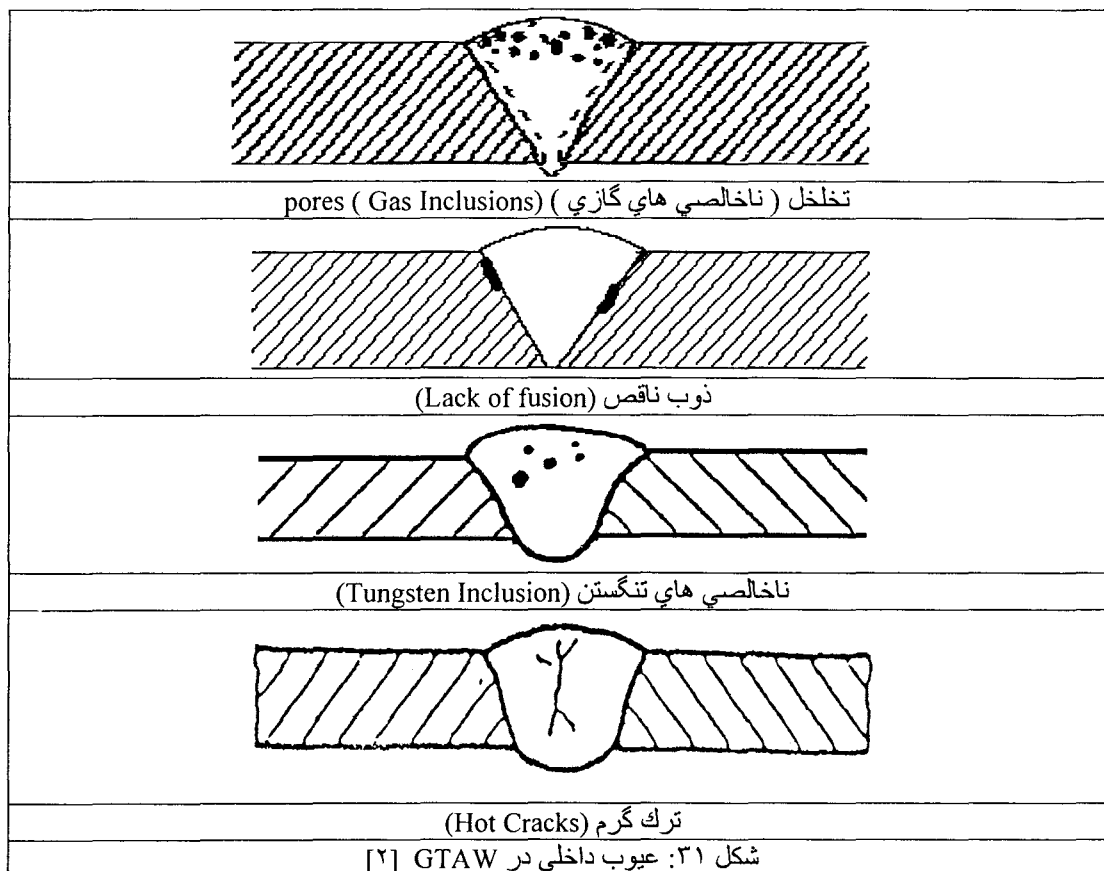


تقعر ریشه (Root Concavity)



نفوذ بیش از حد در ریشه (Excessive Penetration)

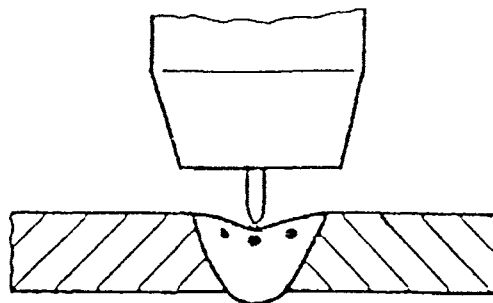
شکل ۳۰: عیوب خارجی در GTAW [۲]



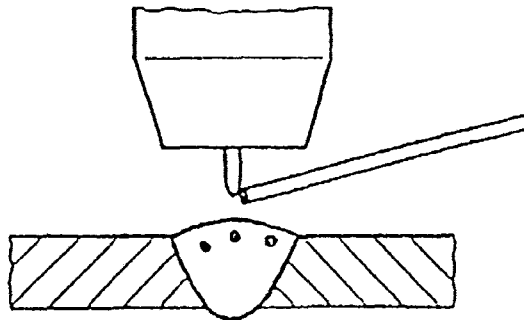
۸-۱- آخال های تنگستن

نوعی عیب که تنها در فرآیند GTAW ایجاد می شود، ورود تنگستن به حوضچه مذاب می باشد. زمانی که دستورالعمل و شیوه انجام فرآیند نامناسب باشد، ذرات تنگستن می توانند از سطح الکترود جدا شده و وارد فلز جوش شوند، تعدادی از دلایل بروز این نقص عبارتند از:

۱- اتصال نوک الکترود با حوضچه جوش مذاب



۲- اتصال سیم جوش با نوک داغ الکتروود



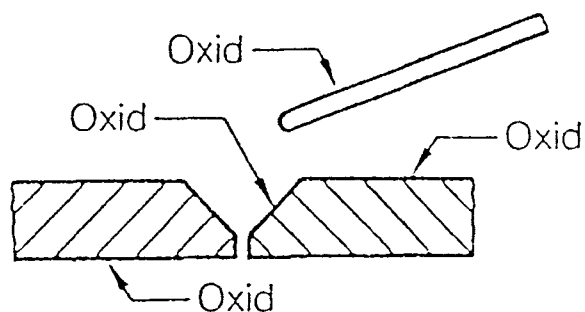
- ۳- آلودگی نوک الکتروود توسط پاشش حوضچه جوش
- ۴- تجاوز از جریان مجاز با توجه به اندازه و نوک الکتروود
- ۵- بیرون آمدن بیش از اندازه الکتروود نسبت به حالت نرمال و بیش از حد گرم شدن الکتروود در نتیجه آن
- ۶- محکم نبودن بودن الکتروودگیر یا سه نظام
- ۷- سرعت ناکافی گاز محافظ یا سرعت زیاد کوران باد که سبب اکسید شدن نوک الکتروود می شود.
- ۸- وجود شکاف یا ترک در الکتروود
- ۹- استفاده از گازهای محافظ نامناسبی چون: ترکیبات آرگون - دی اکسید کربن یا آرگون - اکسیژن که در فرآیند GMAW کاربرد دارند.

۲-۸- ناخالصی های اکسیدی

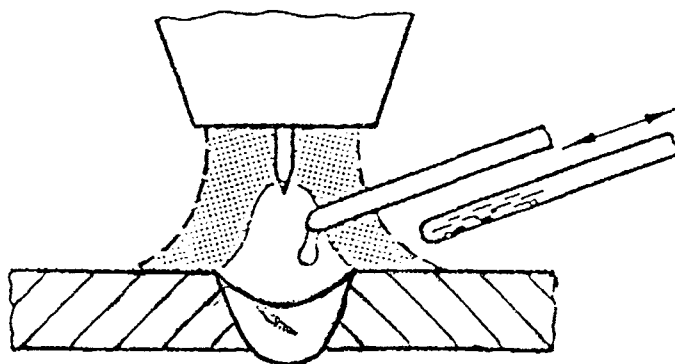
قبل از جوشکاری اکسیدهای سطحی با روش هایی مانند سنگ زنی یا استفاده از برس باید حذف شوند. این اکسیدها ممکن است بر سطح قطعه کار، لبه های کار آماده شده و مفتول جوشکاری وجود داشته باشند (شکل ۳۲) و در صورت عدم تمیزکاری ناکافی آنها باعث ایجاد ناخالصیهای اکسیدی در فلز جوش می شوند. قرار نگرفتن صحیح مفتول جوشکاری باعث اکسید شدن آن میشود. اگر نوک داغ مفتول خارج از منطقه حفاظت شده توسط گاز محافظ باشد، فرآیند اکسیداسیون در این قسمت اتفاق می افتد (شکل ۳۳). ناخالصی های اکسیدی ممکن است



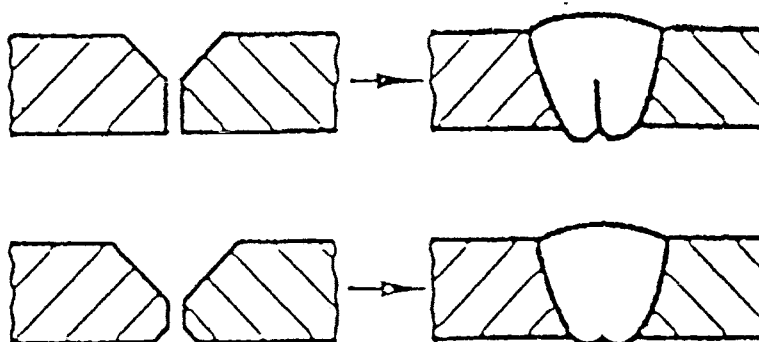
در اثر آماده سازی نامناسب اتصال، به خصوص در حالتی که عمق ریشه جوش زیاد است به وجود آیند. به عنوان مثال برای جلوگیری از این پدیده در جوشکاری آلومینیم لبه های طولی ریشه باید پخ زده شوند. (شکل ۳۴).



شکل ۳۲: وجود اکسید در قسمت های مختلف قطعه و سیم جوش [۲].

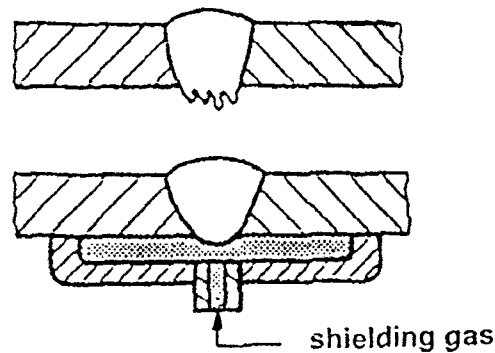


شکل ۳۳: خارج بودن سیم جوش از منطقه حفاظت شده توسط گاز محافظ [۲].



شکل ۳۴: تأثیر آماده سازی اتصال بر ایجاد ناخالصی های اکسیدی [۲].

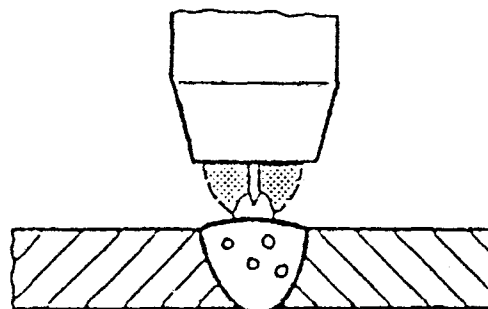
عدم محافظت کافی از ریشه جوش، نیز باعث اکسیداسیون این منطقه خواهد شد. با استفاده از وسایل ویژه و حفاظت ریشه توسط گازهای محافظ خاص، می‌توان از اکسیداسیون این منطقه جلوگیری کرد (شکل ۳۵). حفاظت از ریشه جوش به خصوص در جوشکاری فولادهای کم آلیاژ و پرالیاژ توصیه می‌شود [۲].



شکل ۳۵: محافظت از ریشه جوش و عدم وجود ناخالصی‌های اکسیدی [۲].

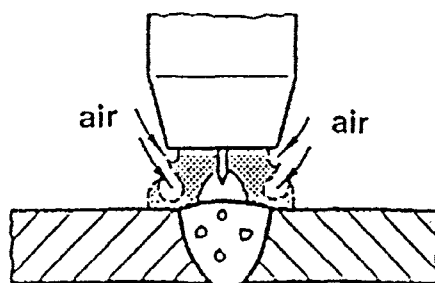
۳-۸- ناخالصی‌های گازی

عواملی که باعث به وجود آوردن ناخالصی‌های گازی در فلز جوش عبارتند از:
- عدم حفاظت کافی توسط گاز محافظ

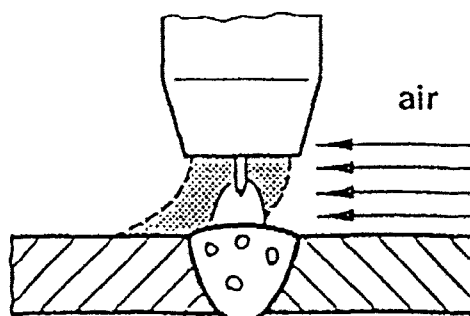




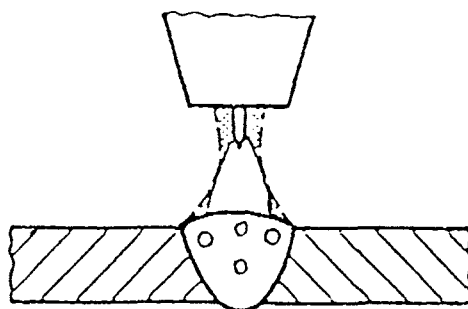
- تلاطم گاز محافظ به دلیل شدت بالای جریان آن



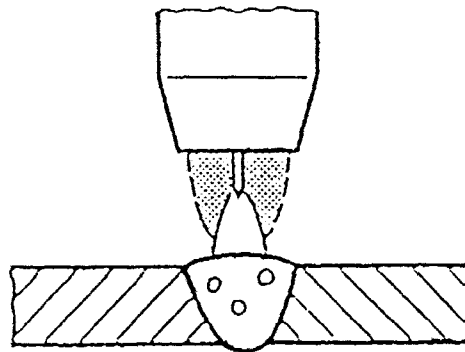
- اثر سرعت باد (بیش از 1 m/s) بر حفاظت گاز محافظ



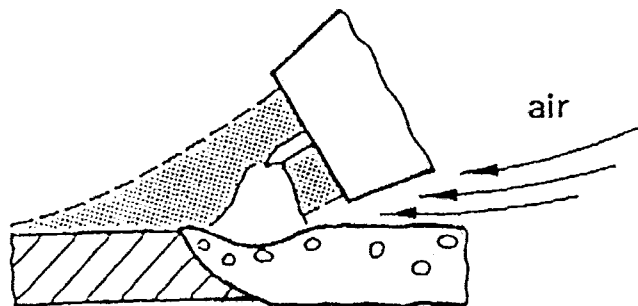
- قطر کم نازل گاز (قطر مناسب تقریباً برابر است با $1/5 \times$ قطر حوضچه جوش)



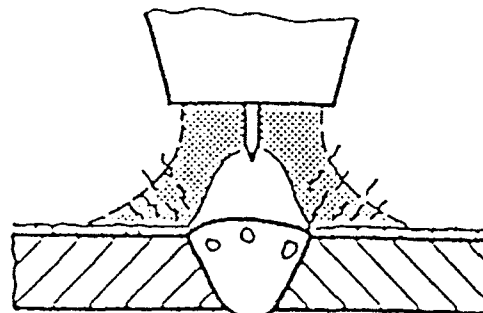
- فاصله زیاد مشعل از قطعه کار



- جذب هوا به دلیل قرار گرفتن مشعل در حالت تخت

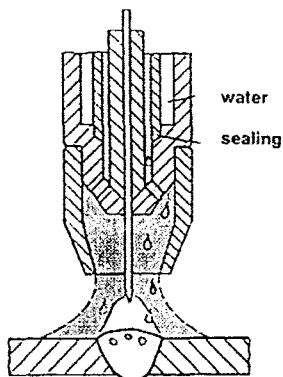


- حضور روغن، گریس، پوشش یا رطوبت روی لبه های اتصال

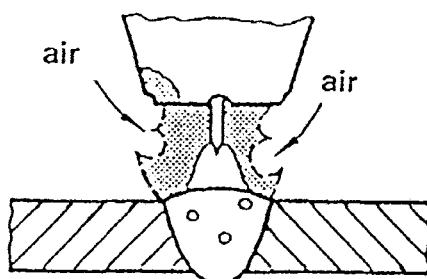




- نفوذ آب به گاز محافظ به دلیل عدم آبدی مناسب خنک کننده



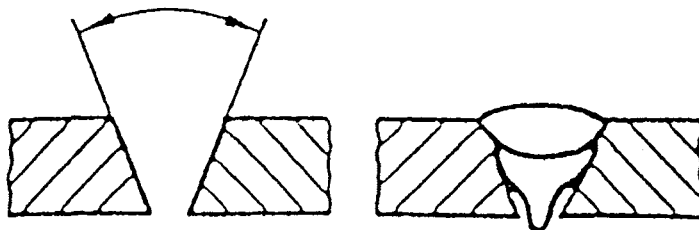
- تلاطم گاز محافظ و جذب هوا به دلیل نقص در نازل گاز محافظ



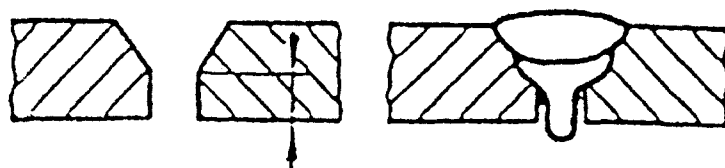
۸-۴- عدم ذوب کافی

این عیب ممکن است به دلایل عمده زیر ایجاد شود:

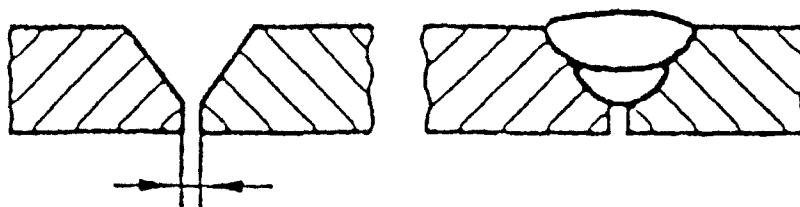
- طراحی نادرست اتصال
- زاویه کوچک اتصال



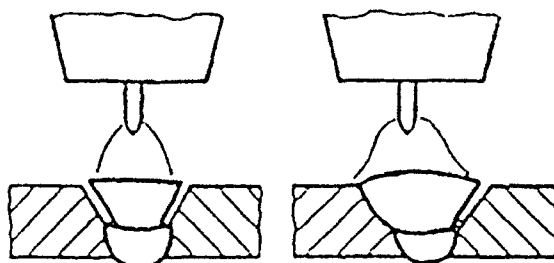
- عمق زیاد ریشه جوش



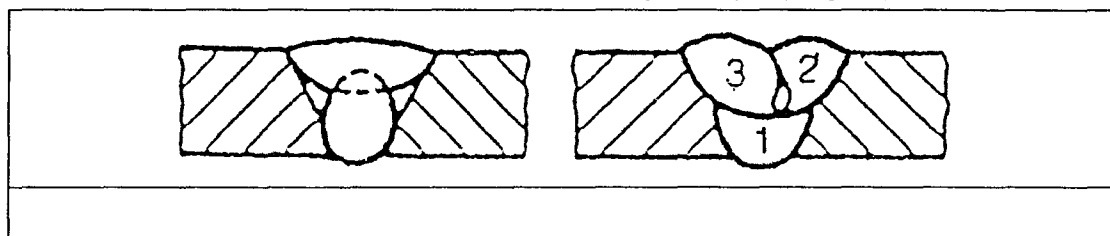
- کوچک بودن درز اتصال^۱ نسبت به عمق آن



- سرعت بالای جوشکاری و عدم تقارن مشعل نسبت به حوضچه جوش



- جوشکاری چند پاسه نادرست [۲].



برخی از مشکلات احتمالی و راه حل آنها در جدول ۹ آمده است.

1-Root Gap



جدول ۹: راهنمای عیب یابی و رفع نقص در فرآیند GTAW [۱].		
رفع نقص	دلیل احتمالی	نقص
۱- سرعت گاز را افزایش دهید ۲- از الکترود بزرگتر استفاده کنید یا قطبیت را مستقیم نمایید. ۳- از الکترود بزرگتر استفاده کنید. ۴- اتصالات الکترودگیر را بررسی کنید. ۵- قسمت آلوده را از بین ببرید. تا زمانی که مشکل قسمت آلوده برطرف نشود. شاهد بروز مشکلات خواهیم بود. ۶- برای حداقل ۱۰ تا ۱۵ ثانیه پس از توقف قوس، جریان گاز را قطع نکنید. ۷- از گاز مناسب استفاده کنید.	۱- سرعت ناکافی گاز ۲- قطبیت معکوس ۳- سایر نامناسب الکترود برای جریان مورد نیاز ۴- گرمای بیش از حد در دستگیره ۵- آلودگی و ناخالصی الکترود ۶- اکسید شدن الکترود هنگام خنک شدن ۷- استفاده از گاز شامل اکسیژن یا دی اکسید کربن	مصرف بیش از حد الکترود
۱- از پاک کننده های شیمیایی مناسب، برس سیمی یا سنباده استفاده کنید. ۲- پخی اتصال را باز کنید، الکترود را به کار نزدیک تر کنید. ولتاژ را کاهش دهید. ۳- قسمت آلوده الکترود را از بین ببرید. ۴- برای کوتاه کردن طول قوس، دستگیره الکترود را به کار نزدیکتر کنید.	۱- فلز پایه، آلوده یا روغنی است. ۲- اتصالات بسیار نازک هستند. ۳- الکترود آلوده است. ۴- طول قوس زیاد است.	قوس غیر بالانس
۱- قبل از برقراری قوس، هوا و رطوبت داخل شلنگها را برطرف کنید. از گاز خنثی مناسب جوشکاری با ۹۹/۹۹٪ خلوص استفاده کنید. ۲- شیلنگ ها و اتصالات را بررسی کنید. ۳- از تمیزکننده های شیمیایی که آسیبی به قوس نمی رسانند استفاده کنید. هنگامی که فلز پایه مرطوب است هرگز جوشکاری نکنید.	۱- تجمع ناخالصی های گازی (هیدروژن، نیتروژن، هوا، بخار آب) ۲- شیلنگ گاز معیوب یا اتصال شیلنگ شل است. ۳- غشای روغن روی فلز پایه	تخلخل
۱- از استارتر با فرکانس بالا استفاده کنید. از صفحات مسی استفاده کنید. ۲- از جریان ضعیف تر یا الکترود بزرگتر استفاده کنید. از الکترود تنگستن توربوم دار یا زیرکنیم دار استفاده کنید. ۳- تنگستن را از حوضچه مذاب دور نگهدارید.	۱- اتصال استارتینگ الکترود ۲- ذوب شدن و آمیختگی الکترود با فلز پایه ۳- اتصال تنگستن به حوضچه مذاب	آلودگی قطعه کار با تنگستن

۹- فرآیندهای پیشرفته GTAW

اساساً پیشرفت هایی که در ارتباط با فرآیند GTAW صورت گرفته است مربوط به استفاده از منابع تغذیه متفاوت می باشد. در ادامه به برخی از این فرایندها اشاره خواهد شد.

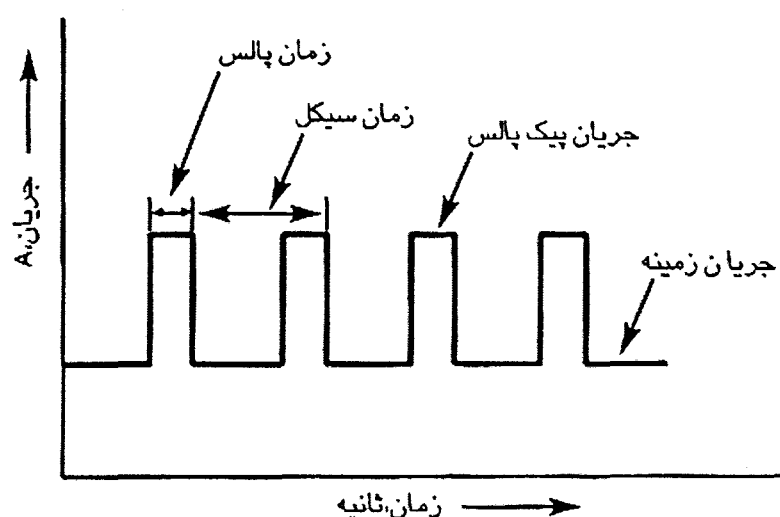
۹-۱- جوشکاری با جریان DC پالسی

در جریان DC پالسی، جریان جوشکاری مرتباً از یک مقدار زمینه (پایین) به یک مقدار پیک (بالا) تغییر می‌کند. در منابع تغذیه DC پالسی، امکان تنظیم زمان جریان پالس، زمان جریان زمینه، مقدار جریان پیک و مقدار جریان زمینه، برای ایجاد شکل موج در جریان خروجی در کاربردهای خاص، وجود دارد. در شکل ۳۶ یک نمونه از شکل موج جریان پالسی نشان داده شده است. عموماً از آنجا که زمان مدت پالس و زمینه قابل تنظیم هستند، سطح جریان می‌تواند از هر دو ثانیه یکبار تا ۲۰ بار در هر ثانیه، تغییر کند. جریان DC پالسی، معمولاً با الکتروود منفی DCEN به کار برده می‌شود. در جوشکای DC پالسی، مقدار جریان پالس معمولاً بین ۲ تا ۱۰ برابر مقدار جریان زمینه قرار دارد. جریان پالسی، ترکیبی از خصوصیات موثر و محرک قوس در جریانهای بالا و حرارت ورودی کم در جریانهای پایین را فراهم می‌کند. این نوع جریان باعث ایجاد نفوذ و ذوب مناسب می‌شود. ضمن آنکه توسط جریان زمینه قوس پایدار می‌ماند و منطقه جوش سرد می‌شود. جریان پالسی، مزایای زیادی دارد. در یک مقدار جریان متوسط ثابت، نفوذی که با جریان پالسی حاصل می‌شود، عمیق‌تر از نفوذی است که با جریان یکنواخت (جریان غیر پالسی) ایجاد می‌شود و این خاصیت برای جوشکاری فلزاتی که نسبت به حرارت ورودی حساس هستند و همچنین برای کاهش اعوجاج در قطعه کار، بسیار مفید است. از آنجا که زمان کافی برای گسیل گرمای قابل توجه در طول مدت کوتاه یک پالس وجود ندارد، فلزات با ضخامت‌های متفاوت معمولاً سرعت واکنش یکسانی دارند و نفوذ یکسانی نیز می‌تواند در آنها به دست آید. به همین دلیل فلزات بسیار نازک را نیز می‌توان با این فرآیند جوشکاری کرد. ضمن اینکه برای پل زدن روی شکاف‌ها در درز اتصالات باز نیز استفاده از جریان DC پالسی بسیار مفید است. اگر چه بیشترین کاربرد این جریان در جوشکاری‌های ماشینی و اتوماتیک GTAW است، اما استفاده از آن در جوشکاری‌های دستی نیز مزایایی دارد. جوشکارهای بی‌تجربه، می‌توانند با شمارش پالس‌ها (از ۵/۰ تا ۲ پالس در ثانیه) و استفاده از آنها در زمان حرکت تورچ و سیم‌جوش سرد، مهارت خود را بالا ببرند. جوشکارهای ماهر نیز می‌توانند مواد نازک، آلیاژهای غیر یکسان و ضخامت‌های مختلف را با مشکل کمتر جوش دهند [۱].

به طور کلی مزایای جوشکاری با جریان پالسی عبارتند از:

- انجام فرآیند با انرژی حرارتی کمتر
- نسبت بیشتر عمق به عرض جوش
- پایداری بیشتر قوس
- یکنواختی پاس ریشه

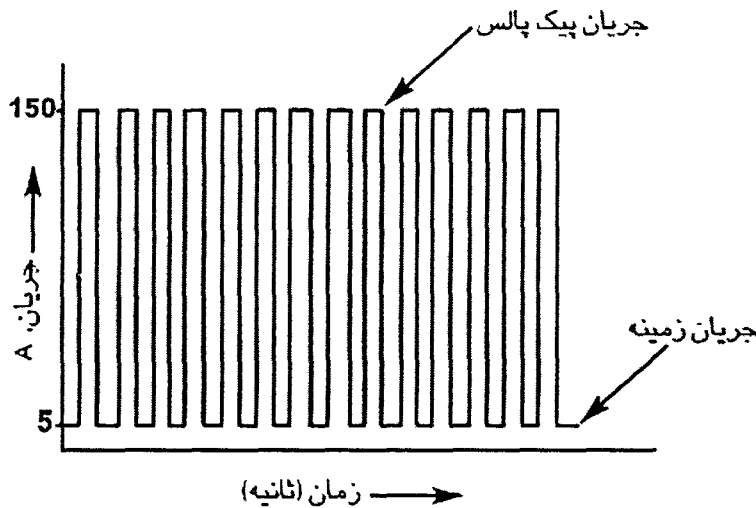
- مناسبتر بودن فرآیند برای جوشکاری در وضعیت های نامناسب
- کاهش احتمال اعوجاج قطعه
- کنترل بهتر حوضچه جوش
- و از معایب آن می توان به موارد زیر اشاره کرد:
- قیمت بالای منبع جریان پالسی
- مشکل بودن تنظیم پارامترهای جوشکاری در حالت بهینه [۳].



شکل ۳۶: شکل موج DC پالس [۱].

۹-۱-۱- جوشکاری پالس فرکانس بالا

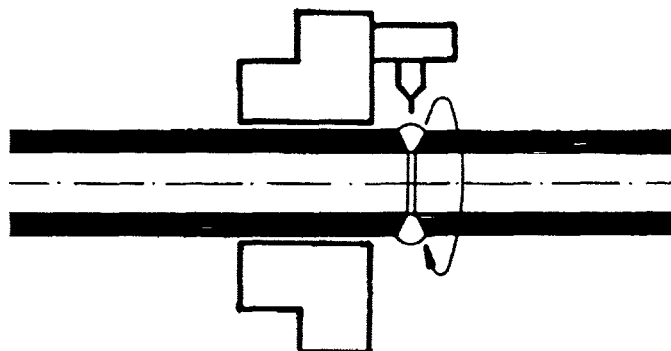
جوشکاری پالسی فرکانس بالا عبارت از تغییر سطح جریان DC از یک سطح جریان به یک سطح جریان بالا، در یک فرکانس ثابت و بالای تقریباً ۲۰ کیلو هرتزی، می باشد (شکل ۳۷).
جریان DC فرکانس بالا، در کاربردهای ماشینی و اتوماتیک با دقت بالا که استثنائاً قوسی با پایداری و ویژگی های خطی مورد نیاز است، مفید واقع می شود. از این جریان، هنگامی که قوس پایدار در سطح جریان میانگین بسیار پایین، لازم است نیز استفاده می شود. نقطه ضعف این جریان، قیمت بالای منبع تغذیه آن می باشد. ضمن اینکه دامنه صوتی فرکانس آن، برای انسان بسیار آزار دهنده است [۱].



شکل ۳۷: شکل موج جریان جوشکاری DC پالس فرکانس بالا [۱].

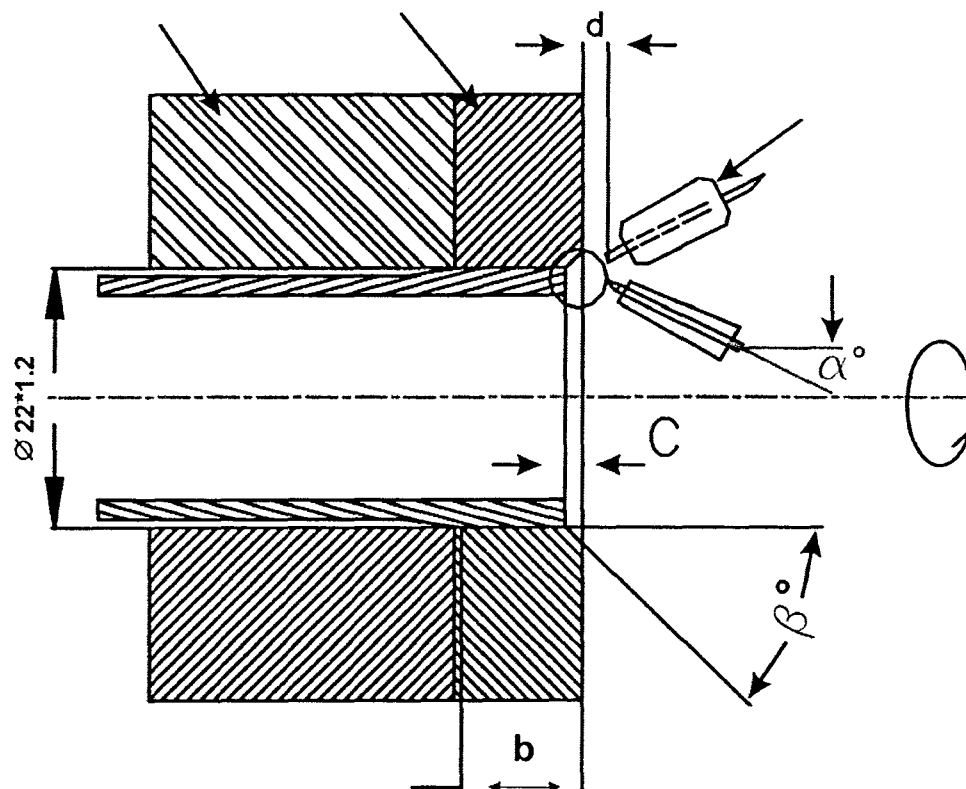
۹-۲- فرآیند GTAW چرخشی^۱

در جوشکاری چرخشی GTAW که بیشتر جهت اتصال لوله ها کاربرد دارد، تنگستن در یک سری جوش که به گیره‌هایی روی لوله متصل است، قرار دارد. لوله در جای خود باقی می‌ماند در حالی که سری جوش می‌چرخد و یا در اطراف دایره اتصال جوش، حرکت مداری خود را به منظور تکمیل جوش انجام می‌دهد (شکل ۳۸). جوشکاری در جوی از گاز خنثی صورت می‌گیرد که از اکسیداسیون فلز، هنگامی که تا درجه حرارت جوشکاری گرم می‌شود جلوگیری کند. از این فرآیند می‌توان در جوشکاری لوله و سطح داخل لوله نیز استفاده کرد (شکل ۳۹).



شکل ۳۸: فرآیند جوشکاری چرخشی لوله [۳].

^۱ -Orbital TIG

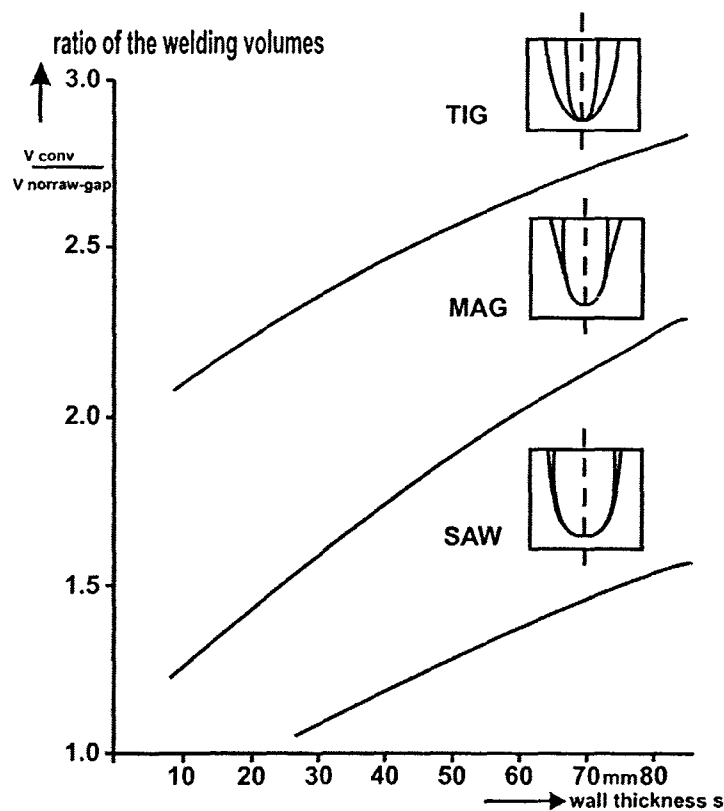


شکل ۳۹: فرآیند جوشکاری چرخشی لوله و سطح داخل لوله [۳].

۳-۹- فرآیند جوشکاری شیاری باریک^۱

جهت اتصال مقاطع ضخیم، به خصوص در جوشکاری لوله ها، در نظر گرفتن مسائل اقتصادی همچون کاهش مصرف فلز پرکننده و صرفه جویی در زمان تکمیل اتصال، از اهمیت زیادی برخوردار می باشد. با کاهش زاویه شیاری و استفاده از یک درز اتصال کوچک، ضمن به دست آوردن جوشی با نسبت زیاد عمق به پهنا می توان هزینه های جوشکاری را نیز بهبود بخشید. از مزایای این فرآیند می توان به خواص مکانیکی خوب، هم در فلز جوش و هم در HAZ به علت گرمای ورودی نسبتاً کم، کنترل بهبود یافته پیچیدگی و عملیات کاملاً خودکار در کلیه وضعیت های جوشکاری اشاره کرد. در شکل ۴۰ مقایسه ای بین حجم جوش در روش های مختلف (با فرآیند جوشکاری شیاری باریک) نشان داده شده است.

^۱-Narrow Gap Welding



شکل ۴۰: مقایسه بین کاهش حجم جوش در روش های SAW/ MAG/ TIG جوشکاری شیاری باریک [۸].

۴-۹- جوشکاری با کنترل تطبیقی^۱

سیستم های کنترل تطبیقی عبارتند از سیستم های جوشکاری خودکار که بر مبنای اطلاعات جمع آوری شده در جریان جوشکاری، تصحیحاتی در متغیرهای جوشکاری به عمل می آورند. هدف، حفظ کیفیت جوش در سطحی ثابت با وجود شرایط متغیر جوشکاری است. تنظیم خودکار متغیرهای هر جوش به تنهایی، مانند جریان قوس یا طول قوس، با کنترل مشخصات جوش مانند پهنای حوضچه صورت می گیرد. سایر سیستم های کنترل تطبیقی برای راهنمای الکتروود و پرکردن درز نیز وجود دارد [۸].

۱۰- مزایای فرایند GTAW

موارد زیر، از مزایای فرایند GTAW می باشند:

۱- کیفیت جوشکاری در این فرایند، در حد عالی و معمولاً بدون هر گونه نقصی می باشد.

^۱-Adaptive Control Welding



- ۲- در این فرآیند، هیچگونه پاششی که معمولاً در سایر فرایندهای قوسی مشاهده می‌شوند، وجود ندارد.
- ۳- این فرآیند با توجه به کارکرد، می‌تواند با سیم جوش مصرف شدنی یا بدون آن اجرا شود.
- ۴- امکان کنترل نفوذ پاس ریشه در حد عالی، در این فرآیند مهیاست.
- ۵- این فرایند توانایی جوشکاری بی واسطه (جوشکاری دو جسم با ذوب لبه‌های آنها بدون سیم جوش، به کمک تورچ یا جریان برق و فشردن لبه‌ها به هم) با کمترین هزینه را دارا می‌باشد.
- ۶- از منابع تغذیه نسبتاً ارزانی در این فرآیند استفاده می‌شود.
- ۷- در این فرآیند می‌توان روی متغیرهای جوشکاری، کنترل دقیقی اعمال نمود.
- ۸- تقریباً هر نوع فلز و اتصالاتی با فلزات غیر یکسان را می‌توان توسط این فرآیند جوشکاری نمود.
- ۹- در این فرآیند می‌توان منبع حرارتی و سیم جوش اضافه شده را مستقلاً کنترل نمود.

۱۱- محدودیت های فرایند GTAW

- موارد زیر، از جمله محدودیت های فرایند GTAW می‌باشند:
- ۱- در مقایسه با فرایندهای جوشکاری قوسی که از الکتروود مصرفی استفاده می‌کنند، نرخ رسوب در این فرایند پایین‌تر است.
 - ۲- در مقایسه با فرایند GMAW یا فرآیند SMAW (جوشکاری قوسی با الکتروود روکش دار)، در جوشکاری های دستی GTAW جوشکار باید مهارت بیشتری داشته باشد.
 - ۳- در مورد قطعات ضخیم، با ضخامت بیش از ۱۰ میلی‌متر، این فرآیند نسبت به سایر فرایندهای قوسی با الکتروود مصرفی، از توجیه اقتصادی کمتری برخوردار است.
 - ۴- در محیط‌هایی که کوران هوا در آن جریان دارد، محافظت از منطقه جوشکاری به طور مناسب مشکل است.

۱۲- کاربردها

فرآیند GTAW مزایای زیادی در انواع صنایع، نظیر کیفیت‌های بالای مورد نیاز در صنایع هسته‌ای و هوا فضا تا سرعت بالای جوشکاری اتوماتیک در ساخت صفحات و لوله‌های فلزی فراهم می‌کند. دلیل این امر نیز قابلیت تطبیق پذیری بسیار بالا و سهولت استفاده از این فرآیند است که همیشه در کارگاه‌های جوشکاری عواملی قابل توجه به شمار می‌روند.

در فرآیند GTAW کنترل دقیقی روی حرارت ورودی اعمال می‌شود. به همین دلیل، در جوشکاری قطعات نازک فلزی یا جوشکاری فلزات حساس به حرارت، و همچنین به دلیل سهولت کنترل فرآیند و توانایی اضافه کردن سیم جوش در صورت نیاز، در صنایع کوچک و جوشکاری‌های تعمیراتی این فرآیند کاربرد فراوانی دارد.

فرآیند GTAW را می‌توان جهت جوشکاری تمام فلزات به خصوص فلزات آلومینیم و منیزیم که اکسیدهای نسوز تشکیل می‌دهند یا فلزات فعال مانند تیتانیم و زیرکونیم که اگر در معرض هوا قرار گیرند، احتمال تردی آنها وجود دارد، به کار برد.

GTAW می‌تواند همه اتصالات در انواع طرح‌ها و شکل‌های هندسی، ورق‌ها، لوله‌ها، و ... را جوش دهد. این فرآیند در جوشکاری قطعات فلزی با ضخامت کمتر از ۱۰ میلی‌متر، بسیار مناسب است. در جوشکاری لوله‌ها، معمولاً از این فرآیند برای جوشکاری پاس ریشه و از SMAW یا GMAW برای پر کردن پاس‌ها، استفاده می‌شود.

۱۳- نکات ایمنی

موضوعات عمومی ایمنی در جوشکاری، برشکاری و فرآیندهای مرتبط در ANSI Z49.۱ «ایمنی در جوشکاری و برشکاری» مورد بررسی قرار گرفته‌اند. پرسنل باید با تمام نکات ایمنی مورد بحث در این بخش، کاملاً آشنا باشند، تا دچار صدمات و جراحات ناخواسته نشوند. خطرات بالقوه در جوشکاری و برشکاری تنها محدود به حمل و نقل سیلندرها و رگولاتورها، گازها، بخارها، تشعشعات و شوک‌های الکتریکی نمی‌باشد. اما از آنجا که این عوامل اهمیت زیادی در ایمنی پرسنل دارند، مورد بررسی قرار خواهند گرفت.



۱۳-۱- حمل و نقل ایمن سیلندرها و رگولاتورها

سیلندره‌های گاز فشرده باید به دقت حمل و نقل شوند. ضربه خوردن، سقوط یا جابجایی بی‌دقت باعث آسیب دیدن سیلندرها، والوها (شیرها) یا نشت گاز و ترکیدگی سیلندر می‌شود. شیرهای سیلندرها به جز زمانی که از سیلندر استفاده می‌شود باید محکم بسته باشند. هنگام استفاده، سیلندرها باید در جای خود ثابت شده باشند تا در حین کار واژگون نشوند.

۱۳-۲- خطرات گازها

سمی‌ترین گازهای مورد استفاده در GTAW، ازن، دی‌اکسید نیتروژن و گاز فسژن می‌باشد، گاز فسژن در مجاورت جوشکاری در اثر تجزیه حرارتی یا فرابنفشی مواد پاک‌کننده هیدروکربنی کلردار، مانند تری‌کلرین و پرکلرین، به وجود می‌آید. عملیات جرم‌گیری یا سایر عملیات پاک‌کنندگی که دارای هیدروکربن‌های کلردار هستند، باید در مکان‌هایی انجام شوند که بخارات حاصله در این عملیات در معرض تشعشعات حاصله از قوس قرار نگیرند.

• ازن

اشعه فرابنفشی که از قوس ساطع می‌شود، با اکسیژن موجود در فضای اطراف، واکنش انجام داده و گاز ازن را تولید می‌کند. میزان ازن تولیدی، به شدت انرژی اشعه فرابنفش، رطوبت و برخی فاکتورهای دیگر بستگی دارد. نتایج آزمایشاتی که با شیوه‌های رایج انجام شده‌اند، نشان می‌دهند که میانگین غلظت ازن ایجاد شده در فرآیند GTAW در صورتی که تهویه مناسب انجام گیرد و نکات ایمنی رعایت شوند، به حدی نیست که برای سلامتی انسان ضرری داشته باشد.

• دی‌اکسید نیتروژن

نتایج برخی آزمایشات نشان می‌دهد که تنها تا فاصله ۶ اینچی (۱۵۰ میلی‌متری) قوس، تراکم زیادی از دی‌اکسید نیتروژن وجود دارد. تهویه طبیعی سریعاً این غلظت را تا حد نرمال و ایمن برای تنفس جوشکار کاهش می‌دهد. تا زمانی که سر جوشکار خارج از بخارهای جوشکاری قرار دارد، دی‌اکسید نیتروژن، خطری برای جوشکار محسوب نمی‌شود.

• گازهای محافظ خنثی

هنگام استفاده از گازهای محافظ خنثی و گازهای پشت بند، باید تهویه مناسبی صورت گیرد. تجمع این گازها می‌تواند باعث خفگی پرسنل شود.

• بخارات فلزی

بخارات حاصل از فرآیند GTAW را می‌توان با تهویه طبیعی، تهویه عمومی، تهویه موضعی یا تجهیزات محافظتی تنفسی، مطابق با (ANSI Z ۴۹.۱) کنترل کرد. نوع تهویه مورد نیاز به منظور حفظ سطح ذرات سمی منطقه تنفسی جوشکار در یک محدوده قابل قبول، مستقیماً با فاکتورهایی در ارتباط است که برخی از آنها عبارتند از:

موادی که جوشکاری می‌شوند، وسعت منطقه جوشکاری و میزان حبس یا توقف جریان هوا در محل جوشکاری.

در هر جوشکاری باید محاسبات و ارزیابی‌ها به صورت جداگانه انجام شود تا مشخص گردد هر فرآیند به چه ملزوماتی نیازمند است. با نمونه برداری از هوای داخل کلاه ایمنی جوشکار یا مجاورت منطقه تنفسی کمک او، می‌توان مقدار ذرات سمی موجود را بررسی کرد. نمونه برداری‌ها باید مطابق ANSI/AWS F ۱.۱ «شیوه‌های نمونه‌برداری از ذرات هوایی تولید شده در جوشکاری و فرآیندهای مرتبط» انجام شوند.

۱۳-۳- انرژی تابشی

انرژی تابشی از دیگر خطرات فرآیند است و می‌تواند به جوشکار (یا هرکس دیگر که در معرض قوس قرار دارد) از دو ناحیه چشم و پوست آسیب رساند. بنابراین تمام پرسنلی که در مجاورت منطقه جوشکاری قرار دارند باید درمقابل انرژی تابشی حاصله از قوس، محافظت شده باشند. عموماً بالاترین حد انرژی تابشی فرابنفش هنگام استفاده از گاز محافظ آرگون و جوشکاری آلومینیم و فولاد زنگ نزن ایجاد می‌شود.

برای محافظت از چشم باید از عینک محافظ و شیشه فیلتر استفاده شود. فیلترهای توصیه شده در فرآیند GTAW مطابق با استاندارد AWS در جدول ۱۰ آمده است. برای محافظت پوست، باید از لباس‌های چرمی یا پشمی تیره (برای کاهش انعکاس که سبب سوختگی سر و گردن، زیر کلاه ایمنی می‌شود) استفاده نمود. به علاوه دیوارهای مکانی که جوشکاری در آنجا انجام می‌شود باید توسط مواد



رنگی مانند دی اکسید تیتانیم و اکسید روی، پوشش داده شوند زیرا انعکاس اشعه فرابنفش کاهش پیدا می کند.

جدول ۱۰: شیشه های ایمنی برای GTAW [۱]	
شماره لنز	جریان جوشکاری A
۸	تا ۷۵
۱۰	۷۵-۲۰۰
۱۲	۲۰۰ تا ۴۰۰
۱۴	بیش از ۴۰۰

۱۳-۴- شوک های الکتریکی

اجتناب از شوک های الکتریکی تا حد زیادی مربوط به کنترل جوشکار می باشد. بسیار مهم است که جوشکار به طور کامل جهت جلوگیری از خطرات شوک های الکتریکی آموزش دیده باشد. هنگام کار با تجهیزاتی که دارای ولتاژ قوی هستند، باید معاینات و بررسی های ایمنی همواره انجام شود. حتی شوک های آرام نیز می توانند سبب انقباض بی اختیار عضلات و در نتیجه سقوط از ارتفاع گردند. شدت شوک های وارده به طول مسیر، زمان و مقدار جریان عبور کرده از بدن که وابسته به ولتاژ و مقاومت تماسی آن قسمت از پوست می باشد، تعیین می گردد. تعلق یا کارکردن در محیط های مرطوب می تواند سبب کاهش مقاومت بدن و افزایش مقدار جریان شود تا حدی که عضلات به سختی دچار انقباض شوند و جوشکار نتواند تماس خود را با قطعات برق دار قطع کند.



مراجع

- ۱-AWS.
- ۲-"Gas Tungsten Arc Welding", SZA
- ۳- Boltmann, "Tungsten-Inert Gas Welding I, II, III", SLV, ۱۹۹۹.
- ۴- Klas Weman, "Welding Processes Handbook", ۲۰۰۳.
- ۵- مهرداد معینیان، "کلید جوشکاری"، انتشارات آزاده، ۱۳۸۲، چاپ اول
- ۶- ASM Handbook, "Welding, Brazing and Soldering", ۱۹۹۳, Vol. ۶.
- ۶- امیر حسین کوکبی، "تکنولوژی جوشکاری"، انتشارات آزاده، ۱۳۸۲، چاپ پنجم.
- ۷- پرویز فرهنگ، "فرهنگ جوشکاری"، انتشارات آزاده، ۱۳۸۳، چاپ اول.
- ۸- Internet Search.



پیشنهادهای و انتقادات