



WHITE PAPERS

ASK-RD-ENG-072

R&D Department

ARYA SEPEHR KAYHAN (ASK) | SHAHID SALIMI INDUSTRIAL CITY, TABRIZ, IRAN

شرکت آریا سپهر کیهان با نام اختصاری ASK، طراح و تولیدکننده پمپ های گریز از مرکز و روتاری و ارائه دهنده راهکارهای بهینه سازی سیستم های فرایندی و پمپاژ می باشد.

توجه!

مقالات تخصصی با عنوان White Papers جهت افزایش دانش عمومی پمپ ها در بخش تحقیق و توسعه این شرکت نگارش شده است. استفاده از این مقالات رایگان می باشد و لازم است جهت استفاده از محتویات آن به موارد ذیل توجه فرمایید:

- 1- انتشار مجدد مطالب مقالات (به شکل اولیه و بدون تغییر در ساختار محتوایی و ظاهری) با ذکر منبع، بلامانع است.
- 2- استفاده تجاری از محتویات مقالات در نشریات مجاز نمی باشد.



جوشکاری

واحد تحقیق و توسعه
شرکت آریا سپهر کیهان

بهار ۱۳۹۱

عناوین.....	شماره صفحه.....
۱. مقدمه.....	۶.....
۲. تاریخچه.....	۶.....
۳. فرآیندهای جوشکاری.....	۸.....
۳.۱. جوشکاری با پرتوی الکترونی.....	۹.....
۳.۱.۱. ویژگی‌های فرآیند.....	۹.....
۳.۱.۲. قابلیت‌های فرآیند.....	۹.....
۳.۱.۳. محدودیت‌های فرآیند.....	۹.....
۳.۱.۴. عیوب جوشکاری.....	۱۰.....
۳.۱.۵. اثرات جوشکاری با پرتوی الکترونی.....	۱۰.....
۳.۱.۶. جنس قطعه کار.....	۱۰.....
۳.۲. لحیم‌کاری سخت در کوره.....	۱۱.....
۳.۲.۱. ویژگی‌های فرآیند.....	۱۱.....
۳.۲.۲. قابلیت‌های فرآیند.....	۱۱.....
۳.۲.۳. اثرات لحیم‌کاری سخت در کوره بر خواص مواد.....	۱۱.....
۳.۲.۴. انواع سیم‌جوش.....	۱۲.....
۳.۳. جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ (MIG).....	۱۲.....
۳.۳.۱. ویژگی‌های فرآیند.....	۱۲.....
۳.۳.۲. ماشین و تجهیزات.....	۱۳.....
۳.۳.۳. قابلیت‌های فرآیند.....	۱۳.....
۳.۳.۴. کیفیت جوشکاری.....	۱۳.....
۳.۳.۵. انواع گازهای محافظ.....	۱۴.....
۳.۳.۶. اثرات جوشکاری MIG بر خواص ماده.....	۱۴.....
۳.۳.۷. جنس قطعه کار.....	۱۵.....
۳.۳.۸. ویژگی‌های سیم‌جوش.....	۱۵.....
۳.۳.۹. پارامترهای عملیاتی جوشکاری MIG.....	۱۵.....
۳.۳.۱۰. عوامل موثر در نتیجه فرآیند جوشکاری.....	۱۶.....
۳.۳.۱۱. توان مورد نیاز در جوشکاری.....	۱۶.....
۳.۳.۱۲. محاسبات زمان جوشکاری در روش MIG.....	۱۷.....
۳.۴. لحیم‌کاری سخت با شعله.....	۱۷.....

۱۷.....	ویژگی های فرآیند	۳.۴.۱
۱۸.....	ماشین و تجهیزات.....	۳.۴.۲
۱۸.....	جوشکاری قوس تنگستن تحت پوشش گاز محافظ (TIG).....	۳.۵
۱۸.....	ویژگی های فرآیند	۳.۵.۱
۱۹.....	ماشین و تجهیزات.....	۳.۵.۲
۱۹.....	فرم الکتروود.....	۳.۵.۳
۲۰.....	انواع تفنگ های روش TIG.....	۳.۵.۴
۲۰.....	جنس الکتروود و اندازه آن.....	۳.۵.۵
۲۱.....	گاز محافظ.....	۳.۵.۶
۲۱.....	قابلیت های فرآیند	۳.۵.۷
۲۱.....	کیفیت جوشکاری TIG.....	۳.۵.۸
۲۲.....	اثرات جوشکاری TIG بر خواص ماده.....	۳.۵.۹
۲۲.....	جنس قطعه کار.....	۳.۵.۱۰
۲۳.....	عوامل موثر در نتیجه فرآیند جوشکاری.....	۳.۵.۱۱
۲۴.....	توان مورد نیاز.....	۳.۵.۱۲
۲۴.....	محاسبات زمان جوشکاری در روش TIG.....	۳.۵.۱۳
۲۵.....	ویژگی های فرآیند	۳.۶.۱
۲۵.....	انواع پرتوهای لیزر.....	۳.۶.۲
۲۵.....	عیوب حاصل از جوشکاری لیزر.....	۳.۶.۳
۲۶.....	اثرات جوشکاری لیزر بر خواص ماده.....	۳.۶.۴
۲۶.....	پارامترهای مهم فرآیند و عوامل موثر در نتیجه آن.....	۳.۶.۵
۲۷.....	لحیم کاری غوطه وری.....	۳.۷
۲۷.....	ویژگی های فرآیند	۳.۷.۱
۲۸.....	ماده لحیم کاری.....	۳.۷.۲
۲۸.....	جوشکاری با قوس پلاسما.....	۳.۸
۲۸.....	ویژگی های فرآیند	۳.۸.۱
۲۸.....	ماشین و تجهیزات.....	۳.۸.۲
۲۹.....	اکتروود و سیم جوش.....	۳.۸.۳
۲۹.....	فرم سر مشعل.....	۳.۸.۴
۲۹.....	الکتروود و جریان الکتریکی.....	۳.۸.۵

۳۰	گاز محافظ	۳.۸.۶
۳۰	کیفیت جوشکاری و عیوب رایج آن	۳.۸.۷
۳۱	اثرات جوشکاری پلاسما بر خواص ماده	۳.۸.۸
۳۱	عوامل موثر در نتیجه فرآیند	۳.۸.۹
۳۱	توان مورد نیاز	۳.۸.۱۰
۳۲	نقطه جوش برجسته	۳.۹
۳۲	ویژگی های فرآیند	۳.۹.۱
۳۲	ماشین و تجهیزات	۳.۹.۲
۳۳	الکترودها	۳.۹.۳
۳۳	قابلیت های فرآیند	۳.۹.۴
۳۳	کیفیت و عیوب نقطه جوش برجسته	۳.۹.۵
۳۴	اثرات نقطه جوش برجسته بر خواص مواد	۳.۹.۶
۳۴	جنس الکتروود	۳.۹.۷
۳۵	عوامل موثر در نتیجه فرآیند	۳.۹.۸
۳۵	جوشکاری با قوس الکتریکی و الکتروود پوشش دار	۳.۱۰
۳۵	ویژگی های فرآیند	۳.۱۰.۱
۳۵	فرم اتصال جوش	۳.۱۰.۲
۳۶	ماشین و تجهیزات	۳.۱۰.۳
۳۶	الکتروود	۳.۱۰.۴
۳۷	قابلیت های فرآیند	۳.۱۰.۵
۳۸	کیفیت و عیوب جوشکاری با قوس الکتریکی و الکتروود پوشش دار	۳.۱۰.۶
۳۸	اثرات جوشکاری با قوس الکتریکی و الکتروود پوشش دار بر خواص ماده	۳.۱۰.۷
۳۸	جنس قطعه کار	۳.۱۰.۸
۳۹	عوامل موثر در نتیجه فرآیند	۳.۱۰.۹
۳۹	توان مورد نیاز	۳.۱۰.۱۰
۳۹	محاسبات زمان	۳.۱۰.۱۱
۴۰	نقطه جوش	۳.۱۱
۴۰	ویژگی های فرآیند	۳.۱۱.۱
۴۰	جنس و مشخصات الکتروود	۳.۱۱.۲
۴۱	قابلیت های فرآیند	۳.۱۱.۳

کیفیت و عیوب نقطه جوش.....	۴۱	۳.۱۱.۴
اثرات نقطه جوش بر خواص ماده.....	۴۲	۳.۱۱.۵
عوامل موثر در نتیجه فرآیند.....	۴۳	۳.۱۱.۶
جوشکاری زیرپودری.....	۴۳	۳.۱۲
ویژگی‌های فرآیند.....	۴۳	۳.۱۲.۱
قابلیت‌های فرآیند.....	۴۴	۳.۱۲.۲
کیفیت ظاهری و عیوب رایج.....	۴۴	۳.۱۲.۳
اثرات جوشکاری زیرپودری بر خواص ماده.....	۴۵	۳.۱۲.۴
جنس قطعه کار.....	۴۵	۳.۱۲.۵
جنس سیم جوش و پودر محافظ.....	۴۵	۳.۱۲.۶
عوامل موثر در نتیجه فرآیند.....	۴۶	۳.۱۲.۷
لحیم کاری مدارهای الکترونیکی.....	۴۶	۳.۱۳
ویژگی‌های فرآیند.....	۴۶	۳.۱۳.۱
ترکیب ماده لحیم کاری.....	۴۷	۳.۱۳.۲
قابلیت‌های فرآیند.....	۴۷	۳.۱۳.۳
کیفیت و عیوب لحیم کاری اتوماتیک.....	۴۷	۳.۱۳.۴
اثرات لحیم کاری اتوماتیک بر خواص ماده.....	۴۷	۳.۱۳.۵
عوامل موثر در نتیجه فرآیند.....	۴۸	۳.۱۳.۶
تجهیزات عمومی مورد نیاز در جوشکاری.....	۴۸	۴
الکترودهای جوشکاری.....	۴۸	۴.۱
اطلاعات پاکت الکتروده.....	۴۹	۴.۱.۱
مشخصات الکترودها.....	۵۰	۴.۱.۲
میز مخصوص جوشکاری.....	۵۱	۴.۲
سیستم تهویه.....	۵۱	۴.۳
گیره‌ها و دیگر ابزارها.....	۵۱	۴.۴
قفسه‌ها و صندوقچه‌های نگه‌داری الکتروده.....	۵۲	۴.۵
مشعل‌های جوشکاری.....	۵۲	۴.۶
رگلاتور.....	۵۲	۴.۷
فشارسنج‌ها.....	۵۳	۴.۸
ماشین‌های جوشکاری.....	۵۳	۴.۹

۵۳	تجهیزات ایمنی مورد نیاز در جوشکاری	۵
۵۴	وسایل ایمنی سر جوشکار	۵.۱
۵۴	وسایل ایمنی بدن جوشکار	۵.۲
۵۵	وسایل ایمنی تنفسی	۵.۳
۵۵	کنترل کیفیت و بازرسی	۶
۵۶	بازرسی قبل از شروع کار	۶.۱
۵۶	بازرسی در حین انجام کار	۶.۲
۵۷	بازرسی پس از اتمام کار	۶.۳
۵۷	بازرسی چشمی	۶.۳.۱
۵۷	آزمایش با مایع نافذ	۶.۳.۲
۵۸	آزمایش مغناطیسی جوش	۶.۳.۳
۵۸	بازرسی با امواج التراسونیک	۶.۳.۴
۵۹	رادیوگرافی	۶.۳.۵
۵۹	عیوب متداول در جوشکاری	۷
۶۱	مراجع	

۱. مقدمه

جوش به معنای پیوستگی و اتصال در یک ماده می‌باشد. جوشکاری یکی از فرآیندهای اتصال حرارتی قطعات (فلزی یا غیرفلزی)، به روش ذوبی یا غیر ذوبی، با به‌کارگیری یا بدون به‌کارگیری فشار و با استفاده از ماده پرکننده می‌باشد. فرآیندهای جوشکاری به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند: فرآیندهای جوشکاری ذوبی و فرآیندهای جوشکاری غیرذوبی. جوشکاری یکی از روش‌های تولید می‌باشد. هدف آن اتصال دائمی مواد مهندسی از قبیل فلز، سرامیک، پلیمر، کامپوزیت و غیره به یکدیگر است. به‌گونه‌ای که خواص اتصال، برابر خواص ماده پایه باشد. در یک جوشکاری ایده‌آل، پیوستگی کامل بین اجزای یک اتصال به-وجود می‌آید.

جوشکاری را می‌توان اتصال دایم متالورژیکی دانست که می‌تواند در حالت مذاب یا جامد، با استفاده از مواد پرکننده یا بدون واسطه و با ایجاد فشار یا بدون استفاده از فشار صورت گیرد. در واقع جوشکاری به اتصالی گفته می‌شود که نتوان محل اتصال را از قسمت‌های دیگر قطعات جدا نمود و به عبارتی دیگر خواص جوش ایجاد شده با قطعات مورد اتصال یکسان یا نزدیک به هم باشد.

۲. تاریخچه

پیشینه استفاده از اولین فرآیند جوشکاری به زمانی برمی‌گردد که بشر برای ساخت یک سلاح ابتدایی از یک نوع اولیه این فرآیند استفاده می‌کرد. جوشکاری آهنگری قدیمی‌ترین فرآیند جوشکاری می‌باشد، که انسان قطعات فلز را به صورت سرد یا گداخته بر روی یکدیگر قرار داده و در اثر کوبیدن موجب اتصال آن‌ها می‌شد. در سال ۱۸۵۶ دانشمندی به نام ژول^۱ به فکر جوشکاری مقاومتی افتاد و بعد از او الیهو تامسون^۲ آمریکائی در بین سال‌های ۱۸۷۶ تا ۱۸۷۷ به طرح‌های او جامه عمل پوشاند و از جوشکاری مقاومتی استفاده کرد. اما زمان پیدایش قوس الکتریکی به سال ۱۸۰۲، زمانی که دانشمندی روسی به نام واسیلی پتروف^۳ پی برد که اگر دو تکه زغال چوب را به قطب‌های باتری بزرگی وصل کنیم و آن‌ها را به هم تماس دهیم و سپس کمی از هم جدا کنیم شعله روشنی بین دو تکه زغال دیده می‌شود. انتهای آن‌ها که از شدت گرما سفید شده است نور خیره‌کننده‌ای گسیل می‌دارد. در سال ۱۸۸۶ یک دانشمندان روسی بنام بناردوز^۴ اختراعی را به ثبت رساند که به وسیله آن قادر بود تا یک قطعه فلزی را با الکتروود زغالی به صورت موضعی با ایجاد قوس الکتریکی بین قطعه و الکتروود ذوب نماید. بناردوز در این روش دو قطعه فلزی را در فاصله مشخص از یکدیگر قرار داده و با استفاده از پدیده قوس و حرکت الکتروود

¹ Joule

² Elihu Thomson

³ Vasily Petrov

⁴ Nikolai Benardos

زغالی در طول شکاف بین دو قطعه و وارد نمودن همزمان میله‌ای فلزی از جنس قطعه در داخل قوس الکتریکی، حمام مذابی به وجود آورد که بعد از منجمد شدن شکاف موجود را پر نموده و باعث به هم پیوستن این قطعات گردید و در سال ۱۸۸۸ دانشمند دیگر روسی بنام اسلاویانوف^۵، روش الکتروود ذوب‌شونده را اختراع نمود. او در این روش الکتروود فلزی را جایگزین الکتروود زغالی کرد که همزمان علاوه بر ایجاد قوس، وظیفه فلز پرکننده را نیز به عهده داشت. در روش الکتروود ذوب‌شونده مذاب حاصل از الکتروود فلزی در فاصله بین نوک الکتروود و شکاف دو قطعه در معرض هوا قرار می‌گرفت که این امر باعث اکسید شدن مذاب و در نتیجه ایجاد اشکال در جوش می‌گردید. از طرف دیگر قوس الکتریکی به دلیل تماس با اتمسفر هوا نیز ناپایدار بوده که خود به خود غیر یکنواختی جوش را به دنبال داشت.

برای برطرف نمودن عیوبی مانند کیفیت پایین فلز جوش از لحاظ مکانیکی و اکسید شدن آن و همچنین ناپایداری قوس در سال ۱۹۰۵ یک صنعت‌گر سوئدی بنام اسکار کژلبرگ^۶ الکتروود فلزی پوشش‌دار را اختراع نمود. پوشش این الکتروود را مخلوطی از مواد معدنی مختلف از جمله آهک تشکیل می‌داد که به‌وسیله تولید گاز و ایجاد سرباره، قادر به محافظت از مذاب حاصل از ذوب الکتروود در مقابل آثار نامطلوب در تماس با هوا بود. علاوه بر این، پوشش الکتروود باعث پایداری قوس الکتریکی و یکنواخت شدن جوش می‌گردید. پس از سال ۱۹۰۵ با اختراع الکتروود پوشش‌دار، صنعت این امکان را یافت تا جوش‌هایی با استحکام معادل فلز پایه به‌وجود آورد. در جریان جنگ‌های جهانی اول و دوم، جوشکاری پیشرفت زیادی کرد. احتیاجات بشر به اتصالات مدرن، سبک، محکم و مقاوم در سال‌های اخیر و مخصوصاً بیست سال اخیر، سبب توسعه سریع این فناوری شده‌است. در سال ۱۹۳۰ به‌طور هم‌زمان در آمریکا و اتحاد جماهیر شوروی سابق، تحقیقاتی برای مخفی ساختن قوس الکتریکی و دستیابی به قوسی پایدار صورت گرفت که نتیجه آن اختراع جوشکاری زیر پودری بود اما نه به شکل امروزی بلکه با استفاده از الکتروودهای کربنی. در حدود سال ۱۹۳۵ این روش تقریباً به شکل امروزی خود درآمد و تبدیل به روشی مناسب از لحاظ اقتصادی برای جوشکاری شد. در جنگ جهانی اول پس از جوش خوردن ترکش‌های ناشی از متلاشی شدن گلوله توپ به بدنه جنگ افزارها فرآیند جوشکاری انفجاری کشف شد. در سال ۱۹۵۰ به‌طور هم‌زمان در کشورهای آمریکا و آلمان غربی جوشکاری پرتو الکترونی^۷ توسعه یافت.

در سال ۱۹۶۵ سیستم‌های متنوع لیزری به منظور جوش‌های مدارهای الکتریکی و داخل محفظه‌های خلاء و همچنین در سایر کاربردهای تخصصی که در آن‌ها تکنولوژی‌های مرسوم قادر به ایجاد اتصالات مطمئن نبودند، توسعه داده شد.

⁵ Nikolai Slavyanov

⁶ Oscar Kjellberg

⁷ EBW

شاید به توان گفت جدیدترین روش جوشکاری، فرآیند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی باشد. جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی برای اولین بار برای آلیاژهای آلومینیوم ابداع گشت و یک روش جوشکاری در حالت جامد است. این روش در سال ۱۹۹۱ توسط انستیتو جهانی جوش و اتصالات^۸ در کمبریج تحت عنوان روش جوشکاری تحریکی اصطکاکی^۹ به صنعت دنیا معرفی شد.

۳. فرآیندهای جوشکاری

در یک تقسیم‌بندی کلی، پدیده اتصال حرارتی به فرآیندهای زیر، تقسیم‌بندی می‌شود:

- جوشکاری با پرتوی الکترونی
- لحیم‌کاری سخت در کوره^{۱۰}
- جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ (MIG)^{۱۱}
- لحیم‌کاری سخت با شعله^{۱۲}
- جوشکاری قوس تنگستن با گاز محافظ (TIG)^{۱۳}
- جوشکاری با پرتوی لیزر^{۱۴}
- لحیم‌کاری غوطه‌وری^{۱۵}
- جوشکاری با قوس پلاسما^{۱۶}
- نقطه جوش برجسته^{۱۷}
- جوشکاری با قوس الکتریکی و الکتروود پوشش‌دار^{۱۸}
- نقطه جوش^{۱۹}
- جوشکاری زیرپودری^{۲۰}
- لحیم‌کاری مدارات الکترونیکی^{۲۱}

⁸ TWI

⁹ Friction Stir Welding

¹⁰ Furnace Brazing

¹¹ MIG

¹² Gas torch braze welding

¹³ TIG

¹⁴ Laser Beam Welding

¹⁵ Metal bath dip soldering

¹⁶ Plasma Arc Welding

¹⁷ Projection Welding

¹⁸ Shielded Metal Arc Welding

¹⁹ Spot Welding

²⁰ Submerged Arc Welding

با توجه به این طبقه‌بندی، در زیر به بررسی اجمالی هر یک از این فرآیندها می‌پردازیم:

۳.۱ جوشکاری با پرتوی الکترونی

جوشکاری با پرتوی الکترونی یکی از فرآیندهای اتصال قطعات فلزی است که در آن حرارت مورد نیاز برای ذوب کردن موضعی قطعه کار از طریق تابش یک پرتوی پر سرعت و متمرکز از الکترون‌ها تامین می‌شود. در اثر برخورد الکترون‌ها به قطعه کار، انرژی جنبشی آن‌ها به گرما تبدیل می‌گردد. در این عملیات عموماً از سیم‌جوش یا فیلر (پرکننده) استفاده نمی‌شود.

۳.۱.۱ ویژگی‌های فرآیند

- در این فرآیند باید یک محفظه خلاء وجود داشته باشد
- در این فرآیند نیازی به استفاده از سیم‌جوش نیست
- پس از این فرآیند اعوجاج کمی در قطعه کار ایجاد می‌شود
- نفوذ جوش در این فرآیند عالی است
- به‌سادگی قابلیت اتوماسیون را داراست
- ناحیه جوش باریکی را ایجاد می‌کند
- حرارت در ناحیه جوش خیلی زیاد است، ولی نواحی متاثر از حرارت بسیار کوچک هستند

۳.۱.۲ قابلیت‌های فرآیند

علیرغم محدودیت‌های مطرح شده، روش جوشکاری با پرتوی الکترونی قابلیت‌های زیادی دارد. در این فرآیند، شیار جوشکاری باریکی ایجاد می‌شود و نیازی به سیم جوش ندارد. با این روش می‌توان قطعاتی با ضخامت ۰.۳ تا ۲ اینچ را جوشکاری نمود. پهنای جوش در این روش معمولاً از ۰.۰۰۱ تا ۰.۰۱ اینچ می‌باشد.

۳.۱.۳ محدودیت‌های فرآیند

با توجه به لزوم استفاده از محفظه خلاء، محدودیت‌هایی در جوشکاری با این روش به‌وجود می‌آید. یکی از محدودیت‌ها این است که باید به‌توان قطعه را در داخل محفظه جای داد. محدودیت دیگر، تنظیم دقیق موضع جوشکاری در زیر پرتو می‌باشد. محدودیت کنترل قطعه در هنگام جوشکاری نیز از دیگر محدودیت‌ها می‌باشد.

۳.۱.۴. عیوب جوشکاری

در این جوشکاری گاهی اوقات حفره و تنش‌های داخلی به وجود می‌آید. به جدول زیر توجه نمایید:

جدول ۱- عیوب جوشکاری با پرتوی الکترونی

نوع عیب	علل احتمالی	اثرات
حفره	سرعت زیاد جوشکاری، تمرکز ضعیف پرتو، توان ناکافی، پهنای زیاد شیار جوشکاری.	کاهش استحکام جوش
تنش‌های داخلی	سرعت کم جوشکاری، تمرکز ضعیف پرتو، توان بیش از حد.	کاهش استحکام جوش، اعوجاج و پیچیدگی قطعه

۳.۱.۵. اثرات جوشکاری با پرتوی الکترونی

این روش جوشکاری اثرات اندکی بر خواص مختلف قطعه کار می‌گذارد که در جدول زیر ارائه شده است:

جدول ۲- اثرات جوشکاری با پرتوی الکترونی بر خواص ماده

خواص ماده	اثرات جوشکاری با پرتوی الکترونی بر خواص ماده
مکانیکی	احتمال سخت شدن یا نرم شدن موضع جوشکاری
فیزیکی	اثری ندارد
شیمیایی	اثری ندارد

۳.۱.۶. جنس قطعه کار

در جدول زیر، قابلیت جوشکاری مواد مختلف به روش پرتوی الکترونی ارائه شده است:

جدول ۳- قابلیت جوشکاری مواد مختلف به روش پرتوی الکترونی

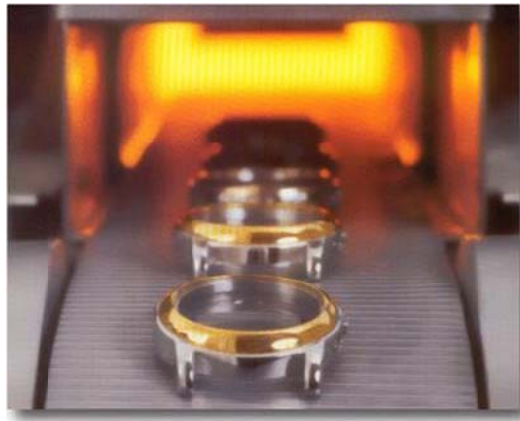
جنس قطعه کار	قابلیت جوشکاری			
	ضعیف	متوسط	خوب	عالی
آلومینیوم	*****	*****	*****	*****
فولاد	*****	*****	*****	*****
فولاد زنگ نزن	*****	*****	*****	*****
تانтал	*****	*****	*****	*****
تنگستن	*****	*****	*****	*****
مس	*****	*****	*****	*****
*: محدوده ممکن : محدوده معمول				

۳.۲. لحیم کاری سخت در کوره

لحیم کاری سخت در کوره، یکی از فرآیندهای اتصال قطعات است که در آن از سیم جوش یا ماده پرکننده برای اتصال دو قطعه به هم استفاده می شود. حرارت داخل کوره، سیم جوش را ذوب کرده و آن را در محل اتصال جاری می سازد. با توجه به خاصیت مویبندی، فلز ذوب شده به شیارهای باریک محل اتصال نیز نفوذ خواهد کرد.

۳.۲.۱. ویژگی های فرآیند

- از حرارت داخل کوره برای گرم کردن قطعه کار و ذوب سیم جوش استفاده می شود.
- دمای داخل کوره باید به اندازه ای باشد که فقط سیم جوش را ذوب کند
- در این فرآیند می توان هم زمان چند اتصال را لحیم کاری نمود.



شکل ۱- نمایی از لحیم کاری سخت در کوره

۳.۲.۲. قابلیت های فرآیند

برای انجام یک لحیم کاری سخت موفق، در داخل کوره، باید سیم جوش و فلاکس را به درستی در محل درز جوش توزیع نمود. اندازه قطعاتی که به این روش لحیم کاری می شوند از ۸ تا ۱۲۵ اینچ مکعب تغییر می کنند. ضخامت قطعه کار نیز معمولاً بین ۰.۲ تا ۰.۸ اینچ می باشد.

۳.۲.۳. اثرات لحیم کاری سخت در کوره بر خواص مواد

این فرآیند ممکن است باعث سخت شدن، ترد شدن و کاهش استحکام ماده اصلی شود.

جدول ۴- اثرات لحیم‌کاری سخت در کوره بر خواص مواد

خواص ماده	اثرات لحیم‌کاری سخت در کوره بر خواص مواد
مکانیکی	سخت شدن، ترد شدن و کاهش استحکام
فیزیکی	احتمال تغییر ابعادی و ساختاری
شیمیایی	اثرات اندکی دارد

۳.۲.۴. انواع سیم‌جوش

در جدول زیر سیم‌جوش‌های مناسب برای لحیم‌کاری سخت مواد مختلف، بر اساس کدگذاری انجمن جوش آمریکا (AWS) به همراه دمای مناسب جهت لحیم‌کاری، داده شده است:

جدول ۵- انواع سیم‌جوش

ماده اصلی کار	نوع سیم‌جوش	دمای لحیم‌کاری سخت (فارنهایت)
آلومینیوم	BAISi-3	۱۰۶۰-۱۱۲۰
مس	BCuP-3	۱۳۰۰-۱۵۰۰
نقره	BAg-6	۱۴۲۵-۱۶۰۰
طلا	BAu-2	۱۶۳۵-۱۸۵۰
نیکل	BNi-4	۱۸۵۰-۲۱۵۰

۳.۳. جوشکاری قوس الکتریکی با گاز محافظ (MIG)

این نوع جوشکاری، یک روش جوشکاری با قوس الکتریکی است که الکتروود مصرف‌شده و پوششی از یک گاز خنثی، محافظه جوشکاری را حفاظت می‌کند. واژه MIG از عبارت Metal Inert Gas گرفته شده است.

۳.۳.۱. ویژگی‌های فرآیند

- در این فرآیند، الکتروود علاوه بر ایجاد قوس الکتریکی، به عنوان سیم‌جوش ذوب شده و درز جوش را پر می‌کند،
- پوششی از گاز محافظ در این روش استفاده می‌شود،
- گرده جوش حاصل، یکنواخت است،
- در این عملیات، گل جوش به وجود نمی‌آید،
- این فرآیند معمولاً برای جوشکاری اتوماتیک مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۲- نمونه‌ای از جوش به روش MIG

۳.۳.۲. ماشین و تجهیزات

تجهیزات مورد نیاز در این روش عبارتند از:

- یک ماشین جوشکاری که جریان الکتریکی قابل تنظیم برای الکتروود را تامین می‌کند
- یک مکانیزم جلوبرنده سیم‌جوش که الکتروود را با سرعت قابل تنظیم هدایت می‌کند
- یک تفنگ جوشکاری که در دست اپراتور قرار دارد و سیم جوش از داخل آن به طرف موضع جوش رانده می‌شود
- کپسول گاز محافظ که آرگون و هلیوم از در دسترس‌ترین این گازها می‌باشند. دی‌اکسیدکربن نیز به دلیل قیمت مناسب، در این روش کاربرد زیادی دارد.

۳.۳.۳. قابلیت‌های فرآیند

در صورتی که فضای کافی جهت هدایت و حرکت تفنگ جوشکاری وجود داشته باشد، تقریباً هر فرم اتصالی را می‌توان با این روش، جوشکاری نمود. ضخامت قطعاتی که با این روش جوشکاری می‌شوند، معمولاً بین ۰.۱۲۵ تا ۱ اینچ می‌باشند. در شرایط خاص، این ضخامت از ۰.۰۲ تا ۲.۵ اینچ متغییر می‌باشد.

۳.۳.۴. کیفیت جوشکاری

کیفیت این نوع جوشکاری، تقریباً مشابه کیفیت دیگر روش‌های جوشکاری با قوس الکتریکی و حتی بهتر است. عیوب ممکن در این روش، در جدول زیر مشاهده می‌شود:

جدول ۶- عیوب روش جوشکاری MIG

نوع عیب	علل ممکن	اثرات نامطلوب
ترک	تنش‌های مکانیکی، تنش‌های حرارتی، وجود ناخالصی در عناصر آلیاژی قطعه کار یا سیم جوش	کاهش استحکام قطعه، جوشکاری نامطلوب
حفره (تخلخل)	ناکافی بودن گاز محافظ، به تله افتادن گاز درون درز جوش	کاهش استحکام جوشکاری
گرده جوش خشن	جریان بالای الکتریکی	ظاهر بد
عدم ذوب کامل سیم جوش	سطوح کثیف قطعه کار، سرعت زیاد جوشکاری	کاهش استحکام استاتیک، احتمال ایجاد تنش، جوشکاری نامطلوب

۳.۳.۵. انواع گازهای محافظ

در جدول زیر انواع گازهای محافظ در این روش و مزایا و ویژگی‌های هر یک را مشاهده می‌نمایید:

جدول ۷- انواع گازهای محافظ، مزایا و ویژگی‌های آنها

نوع گاز	ویژگی‌ها و کاربردها
آرگون	<ul style="list-style-type: none"> - بهترین گاز برای جوشکاری انواع فلزات - مناسب برای جوشکاری با جریان الکتریکی پایین - برقراری آسان قوس الکتریکی، ایجاد قوسی پایدار و یکنواخت - مناسب برای جوشکاری فولاد نرم، آلومینیوم، تیتانیوم و فولادهای آلیاژی
هلیوم	<ul style="list-style-type: none"> - امکان برقراری جریان گاز به اندازه ۱.۵ تا ۳ برابر جریان گاز آرگون - جوشکاری سریع فولاد نرم و تیتانیوم - ناحیه متأثر از حرارت با استفاده از این گاز کوچک‌تر می‌شود - مناسب برای جوشکاری فولاد زنگ نزن و مس
دی‌اکسیدکربن	<ul style="list-style-type: none"> - معمولا به عنوان گاز مخلوط شونده با گازهای دیگر به کار می‌رود - مناسب برای جوشکاری فولادهای کربنی و کم آلیاژ

۳.۳.۶. اثرات جوشکاری MIG بر خواص ماده

جدول ۸- اثرات جوشکاری MIG بر خواص ماده

خواص ماده	اثرات جوشکاری MIG بر خواص ماده
مکانیکی	احتمال سخت‌شدن قطعه کار، کاهش استحکام خستگی، ایجاد انقباض در قطعه کار، نرم شدن قطعه کار، اعوجاج و پیچیدگی در قطعه کار
فیزیکی	احتمال افت کیفیت ظاهری و ایجاد ترک و تخلخل
شیمیایی	احتمال کاهش مقاومت خوردگی در ناحیه جوشکاری شده

۳.۳.۷. جنس قطعه کار

اغلب فلزات را می‌توان به این روش جوشکاری نمود. سیم‌جوش نیز در قابلیت جوشکاری مواد مختلف موثر می‌باشد. بنابراین انتخاب سیم‌جوش نیز از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد.

جدول ۹- قابلیت جوشکاری MIG

جنس قطعه کار	قابلیت جوشکاری			
	ضعیف	متوسط	خوب	عالی
فولاد نرم			****	*****
چدن		*****		*****
فولاد زنگ نزن			*****	***
آلومینیوم				***
مس			****	*****
منیزیم				**
تیتانیوم		****		****
				*: محدوده ممکن : محدوده معمول

۳.۳.۸. ویژگی‌های سیم‌جوش

سیم‌جوش‌های مصرفی در این فرآیند بر دو نوع ساده و مغزدار بوده و از آلیاژهای مختلف ساخته می‌شوند. در جدول زیر انواع جنس سیم‌جوش‌ها و موارد کاربردشان را مشاهده می‌کنید:

جدول ۱۰- انواع سیم‌جوش‌ها و موارد کاربردشان

ویژگی‌ها و کاربرد	جنس سیم‌جوش
مناسب برای جوشکاری با گاز محافظ دی‌اکسیدکربن	منگنز و سیلیسیم
مناسب برای جوشکاری با گاز محافظ آرگون و هلیوم	آلومینیوم
مناسب برای جوشکاری حساس و دقیق روی فولادهای کم کربن با گاز دی‌اکسیدکربن	فولاد کم‌آلیاژ
برای جوشکاری‌های خاص و ایجاد اتصالاتی با ترکیبات خاص	مواد سنتزی با مغز پودری
جوشکاری بر سطوح زنگ‌زده و فولادهای نیم‌کشته	سیم‌جوش اکسیدکننده

۳.۳.۹. پارامترهای عملیاتی جوشکاری MIG

سرعت جوشکاری به جنس قطعه کار و جنس سیم‌جوش بستگی دارد. به عنوان مثال در جدول ۱۱، ویژگی‌های جوشکاری یک قطعه از جنس فولاد کم‌کربن با الکترودی از جنس فولاد کم‌کربن را مشاهده می‌نمایید:

جدول ۱۱- ویژگی‌های جوشکاری یک قطعه از جنس فولاد کم کربن با الکترودی از جنس فولاد کم کربن

نوع اتصال	سرعت پیش‌روی سیم‌جوش (اینچ در دقیقه)	قطر سیم‌جوش (اینچ)	سرعت جوشکاری (اینچ در دقیقه)
اتصال گوشه به فرم دایره‌ای	۵۰۰	۰.۰۴۵	۴۵
اتصال لب به لب دایره‌ای	۳۴۰-۳۸۰	۰.۰۳۰	۴۶.۶
اتصال گوشه ساده	۳۰-۱۶۰	۰.۰۳۰	۱۰
اتصال روی هم	۲۳۴	۰.۰۶۲۵	۶۰
اتصال T	۳۰۰	۰.۰۴۵	۱۶
اتصال لب به لب	۴۰۰	۰.۰۴۵	۷

۳.۳.۱۰ عوامل موثر در نتیجه فرآیند جوشکاری

عوامل زیر بر نتیجه فرآیند جوشکاری موثر می‌باشند:

- مقدار جریان الکتریکی
- نوع جریان الکتریکی
- ولتاژ، میزان پیش‌گرم و حرارت جوشکاری
- میزان گاز محافظ در موضع جوشکاری
- تمیز بودن سطوح جوشکاری
- سرعت جوشکاری
- جنس سیم‌جوش و اندازه آن
- قابلیت هدایت الکتریکی قطعه کار
- نوع اتصال
- جنس و ویژگی قطعه کار

۳.۳.۱۱ توان مورد نیاز در جوشکاری

میزان توان مورد نیاز در جوشکاری به روش MIG به عوامل متعددی چون سرعت پیش‌روی الکترودی و قطر آن و مواردی این-چنینی بستگی دارد. در جدول ۱۲، ویژگی‌های جوشکاری یک قطعه از جنس فولاد کم کربن با الکترودی از جنس فولاد کم-کربن را مشاهده می‌کنید:

جدول ۱۲- ویژگی‌های جوشکاری یک قطعه از جنس فولاد کم کربن با الکترودی از جنس فولاد کم کربن

نوع اتصال	سرعت پیش‌روی سیم‌جوش (اینچ در دقیقه)	قطر سیم‌جوش (اینچ)	جریان الکتریکی (آمپر)
اتصال گوشه به فرم دایره‌ای	۵۰۰	۰.۰۴۵	۲۸۰-۳۰۰
اتصال لب به لب دایره‌ای	۳۴۰-۳۸۰	۰.۰۳۰	۱۷۰-۱۹۰
اتصال گوشه ساده	۳۰-۱۶۰	۰.۰۳۰	۸۰-۸۵
اتصال روی هم	۲۳۴	۰.۰۶۲۵	۳۸۰
اتصال T	۳۰۰	۰.۰۴۵	۲۰۰
اتصال لب به لب	۴۰۰	۰.۰۴۵	۲۷۵

۳.۳.۱۲. محاسبات زمان جوشکاری در روش MIG

زمان جوشکاری به طول درز جوش، تعداد پاس‌های مورد نیاز و سرعت جوشکاری بستگی دارد. تعداد پاس‌ها نیز به پهنای درز جوش وابسته است. وقتی پهنای درز جوش زیاد باشد، لازم است الکتروود را به صورت زیگزاگ حرکت داده تا پهنای درز جوش به‌درستی پر شود.

در شرایطی که L طول محل جوشکاری بر حسب اینچ، R سرعت جوشکاری بر حسب اینچ در دقیقه و تعداد پاس‌ها N باشد، خواهیم داشت:

$$\text{time for one pass} = \frac{L}{R}$$

$$\text{total time} = \frac{L}{R} * N$$

۳.۴. لحیم‌کاری سخت با شعله

لحیم‌کاری سخت با شعله، یک فرآیند جوشکاری است که در آن با استفاده از یک سیم‌جوش می‌توان دو قطعه را به هم جوش داد. گرمای مورد نیاز فرآیند از یک شعله تامین می‌شود. در اثر حرارت، سیم‌جوش ذوب شده و درز جوش را پر می‌کند.

۳.۴.۱. ویژگی‌های فرآیند

- در این فرآیند، از شعله خروجی یک مشعل برای ذوب کردن سیم‌جوش استفاده می‌شود.
- معمولاً قطعات فولادی و چدنی به این روش به هم متصل می‌شوند.
- سیم‌جوش مورد استفاده در این فرآیند، معمولاً از آلیاژهای مس ساخته می‌شود.
- در این فرآیند باید از فلاکس (پوشش) استفاده نمود.

۳.۴.۲. ماشین و تجهیزات

تجهیزات مورد نیاز برای عملیات لحیم کاری سخت با شعله عبارتند از: کپسول حاوی یک گاز سوختنی مناسب نظیر استیلن، گاز طبیعی یا پروپان، کپسول حاوی اکسیژن (یا هوا)، رگولاتور فشار، مشعل و سیم جوش.



شکل ۳- تجهیزات مورد نیاز برای لحیم کاری سخت با شعله

۳.۵. جوشکاری قوس تنگستن تحت پوشش گاز محافظ (TIG)

در عملیات جوشکاری با قوس الکتریکی و الکترود تنگستنی با پوشش گاز محافظ^{۲۲} قوس الکتریکی بین یک الکترود مصرف نشدنی از جنس تنگستن و قطعه کار برقرار می شود و سیم جوش جداگانه به محل درز جوش هدایت می گردد. در این عملیات باید گاز محافظ خنثی و جریان الکتریکی یکنواختی در موضع جوشکاری برقرار باشند.

۳.۵.۱. ویژگی های فرآیند

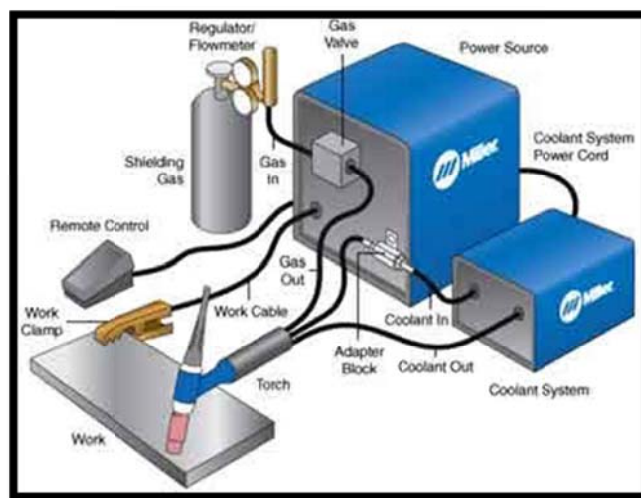
- در این فرآیند از یک الکترود تنگستنی مصرف نشدنی برای برقراری قوس استفاده می شود.
- در این فرآیند، گازهای محافظ آرگون و هلیوم به کار می روند. استفاده از گازهای آرگون و هلیوم به علت خاصیت خنثی بودن این گازها می باشد. گازهای خنثی با عناصر دیگر قابلیت واکنش ندارند، پس به منظور حذف گازهای فعال مانند اکسیژن و نیتروژن از اطراف قوس و حوضچه مذاب، اکسیدها و نیتریدهای فلزی ایده آل می باشند. بدین ترتیب می توان از شکل گرفتن تخلخل های گازی جلوگیری نمود. تخلخل های گازی، اکسیدها و نیتریدهای فلزی، عیوبی هستند که باعث کاهش خواص مکانیکی جوش از جمله مقاومت به ضربه و استحکام کششی می شوند.
- کیفیت جوشکاری با این فرآیند بسیار خوب می باشد.

²² Tungsten Inert Gas

- گل جوش و پراکتدگی ذرات جوش در این فرآیند به وجود نمی آید.
- برای جوشکاری دستی قطعات نازک مناسب می باشد.

۳.۵.۲. ماشین و تجهیزات

تجهیزات مورد نیاز برای جوشکاری به روش TIG عبارتند از: یک واحد تامین انرژی الکتریکی، آب خنک کننده، گاز محافظ، یک تفنگ جوشکاری دستی، سیم جوش و پدال کنترل پایی. با استفاده از پدال کنترل پایی، اپراتور می تواند جریان الکتریکی را متناسب با جوشکاری تنظیم نماید.



شکل ۴- تجهیزات مورد نیاز در جوشکاری به روش TIG

۳.۵.۳. فرم الکترود

انتهای الکترودهای جوشکاری در روش TIG فرمهای متنوعی دارد. الکترودهای نوک تیز و سرکروی، پر مصرفتر از بقیه انواع الکترودها می باشند. برای ساخت الکترودهای سرکروی، ابتدا این الکترودها را به صورت نوک تیز ساخته، به طوری که طول قسمت مخروطی آنها سه تا شش برابر قطر الکترود باشد. با گرم شدن این الکترود، نوک تیز آن ذوب شده و به صورت کروی درمی آید و هماهنگ با جریان الکتریکی اعمالی، فرم کروی ایده آل به دست می آید.

جدول ۱۳- فرم الکترودها و کاربردهایشان

کاربردها	فرم الکترودها تنگستنی
<ul style="list-style-type: none"> - در جوشکاری با جریان الکتریکی مستقیم با پلاریته مستقیم کاربرد دارد. - قوس الکتریکی را به محل مورد نظر هدایت می کند. - برای جوشکاری درزهای باریک و محل های تنگ مناسب است. 	نوک تیز
<ul style="list-style-type: none"> - در جوشکاری با جریان الکتریکی مستقیم با پلاریته معکوس به کار می رود. - می تواند بیشترین جریان الکتریکی را هدایت کند. 	سر کروی

۳.۵.۴. انواع تفنگ های روش TIG

تفنگ های این روش جوشکاری، برای جوشکاری دستی و در دو نوع خنک شونده با هوا^{۲۳} و خنک شونده با آب^{۲۴} ساخته می- شوند. برای جوشکاری ظریف و سبک تا ۱۵۰ آمپر، از تفنگ های خنک شونده با هوا و برای جوشکاری های سنگین یا جریان الکتریکی تا ۶۰۰ آمپر، از تفنگ های خنک شونده با آب استفاده می گردد. توان جوشکاری هر تفنگ روی آن درج می شود.

۳.۵.۵. جنس الکترودها و اندازه آن

اندازه الکترودها باید با دقت و بر اساس جنس قطعه کار، جریان الکتریکی و ضخامت قطعه کار تعیین گردد. تنگستن خالص از ارزان ترین الکترودها می باشد. در بعضی از الکترودها، عناصری مثل زیرکونیوم و توریم اضافه می گردد. این عناصر سبب بهبود کارایی الکترودها می شود. جدول زیر انواع الکترودها را بر حسب کاربردشان نشان می دهد:

جدول ۱۴- انواع الکترودها بر حسب کاربردشان

ویژگی و کاربرد	جنس الکترودها
<ul style="list-style-type: none"> - مناسب برای جوشکاری با جریان الکتریکی پایین - برای جوشکاری عمومی و با حساسیت کمتر 	تنگستن خالص
<ul style="list-style-type: none"> - برقراری قوس الکتریکی با این الکترودها بدون پاشش و جرقه است - پایداری قوس با این الکترودها بهتر است - فرم نقطه انتهایی جوش با این الکترودها خوب و یکنواخت است 	تنگستن - توریم
<ul style="list-style-type: none"> - جلوگیری از آلوده شدن محل جوش - فرم نقطه انتهایی جوش با این الکترودها خوب و یکنواخت است - برای جوشکاری با جریان الکتریکی متناوب پایین 	تنگستن - زیرکونیوم

²³ Air cooled

²⁴ Water Cooled

۳.۵.۶. گاز محافظ

آرگون از پرمصرف‌ترین گازهای محافظ در جوشکاری به این روش می‌باشد. ویژگی و کاربرد سه نوع گاز محافظ در جدول زیر آورده شده است:

جدول ۱۵- ویژگی و کاربرد سه نوع گاز محافظ

ویژگی و کاربرد	نوع گاز محافظ
<ul style="list-style-type: none"> - هزینه پایین و مناسب جهت جوشکاری انواع فلزات - مناسب برای جریان‌های الکتریکی پایین - برقراری راحت قوس الکتریکی، یکنواخت و پایداری آن - مورد استفاده در جوشکاری فولاد نرم، آلومینیوم و تیتانیوم 	آرگون
<ul style="list-style-type: none"> - امکان برقراری جریان گاز تا ۳-۱.۵ برابر آرگون - جوشکاری سریع‌تر فولاد نرم و تیتانیوم - ایجاد ناحیه متأثر از جوش باریک‌تر و نفوذ بیشتر جوش - امکان برقراری قوس متراکم و گرم‌تر - امکان افزایش سرعت جوشکاری تا ۴۰-۳۰ درصد - مناسب جهت جوشکاری فولاد زنگ‌نزن و مس 	هلیوم
<ul style="list-style-type: none"> - برای ایجاد قوس الکتریکی گرم‌تر در جوشکاری آلومینیوم - مورد استفاده در عملیات جوشکاری اتوماتیک - مناسب برای جوشکاری آلومینیوم 	مخلوط آرگون- هلیوم

۳.۵.۷. قابلیت‌های فرآیند

این جوشکاری، قابلیت اتصال لب‌به‌لب، روی هم، گوشه و لبه‌دار را فراهم می‌کند. کیفیت جوش حاصل، تا حد زیادی به آماده-سازی لبه‌های قطعه‌کار، بستگی دارد.

۳.۵.۸. کیفیت جوشکاری TIG

با در نظر گرفتن مواردی چون: تمیز نگه‌داشتن موضع جوشکاری و دیگر تجهیزات، اطمینان از انتخاب صحیح تجهیزات جوشکاری و پارامترهای فرآیند، استفاده از تکنیک صحیح جوشکاری و جنس سیم‌جوش و الکتروود، می‌توان از بروز عیوب جوشکاری نظیر ترک، حفره، گرده جوش کثیف و برجسته و عدم ذوب کامل، جلوگیری کرد.

جدول ۱۶- انواع عیوب و علل ممکن از جوشکاری TIG

نوع عیب	علل ممکن	اثرات نامطلوب
ترک	- تنش‌های مکانیکی - تنش‌های حرارتی - وجود مشکلات متالورژیکی	- استحکام ناکافی محل جوش
حفره	- ناکافی بودن گاز محافظ - به تله افتادن گاز در محل جوش - جریان الکتریکی بالا	- استحکام ناکافی محل جوش
گرده جوش کثیف و برجسته	- نفوذ آب یا هوا در محل عبور گاز محافظ - جریان الکتریکی بالا	- ظاهر بد محل جوش - جوش شکننده - ایجاد حفره یا ترک در جوش
عدم ذوب کامل	- سطوح کثیف قطعه کار - سرعت بالای جوشکاری - جریان الکتریکی پایین	- کاهش استحکام استاتیکی - ایجاد نقاط تمرکز تنش

۳.۵.۹. اثرات جوشکاری TIG بر خواص ماده

بعضی از اثرات این نوع جوشکاری بر خواص مواد، در جدول زیر ارایه شده است:

جدول ۱۷- اثرات جوشکاری TIG بر خواص ماده

خواص ماده	اثرات جوشکاری بر خواص ماده
مکانیکی	- ممکن است باعث سخت شدن ماده شود. - ممکن است باعث کاهش استحکام خستگی قطعه شود. - قطعه کار احتمالاً دچار پیچیدگی می‌شود. - ممکن است باعث نرم شدن ماده شود. - در قطعه کار انقباض به وجود می‌آید.
فیزیکی	- کیفیت ظاهری بد - احتمال ایجاد حفره یا ترک
شیمیایی	- احتمال کاهش مقاومت در برابر خوردگی

۳.۵.۱۰. جنس قطعه کار

معمولاً فلزات غیرآهنی نظیر آلومینیوم، منیزیم، تیتانیوم و فلزات دیرگداز، با این روش، جوشکاری می‌شوند. البته می‌توان فولاد زنگ نزن، چدن و فولاد نرم را نیز با این روش، جوشکاری نمود.

جدول ۱۸- قابلیت جوشکاری TIG

جنس قطعه کار	قابلیت جوشکاری			
	ضعیف	متوسط	خوب	عالی
فولاد نرم			*****	*****
چدن			*****	*****
فولاد زنگ نزن			*****	*****
آلومینیوم				*****
مس		*****	*****	
تیتانیوم			*****	*****
				*: محدوده ممکن : محدوده معمول

۳.۵.۱۱ عوامل موثر در نتیجه فرآیند جوشکاری

در صورتی که جوشکار به اندازه کافی ماهر باشد، می‌تواند یک گرده جوش صاف و یکنواخت به وجود آورد. این نوع جوشکاری، عموماً برای اتصال قطعات نازک به کار می‌رود. ویژگی‌هایی که بر قابلیت این نوع جوشکاری موثر می‌باشند عبارتند از:

- فرم قطعه کار
- ضخامت قطعه کار
- نوع آلیاژ
- مقاومت الکتریکی
- هدایت گرمایی
- انبساط در اثر گرما
- سختی و استحکام
- ویژگی اکسید شدن ماده

عوامل موثر بر کیفیت جوشکاری به روش TIG عبارتند از:

- جریان و ولتاژ الکتریکی
- نوع جریان الکتریکی
- میزان گاز محافظ در موضع جوشکاری
- تمیز بودن سطوح قطعه کار
- سرعت جوشکاری و رسوب سیم‌جوش در درز جوشکاری
- جنس الکترود و فرم سر آن

- هدایت الکتریکی قطعه کار
- طراحی اتصال
- جنس و ویژگی‌های قطعه کار

۳.۵.۱۲. توان مورد نیاز

در جدول زیر، محدوده جریان الکتریکی مجاز برای الکترودهای با قطرهای متفاوت ارائه شده است. قطر الکترودها باید با دقت انتخاب شود. قطر الکترودها بستگی به جنس قطعه کار، جریان الکتریکی و ضخامت قطعه کار دارد.

جدول ۱۹- محدوده جریان الکتریکی مجاز برای الکترودهای با قطرهای متفاوت

قطر الکترودها	جریان مستقیم		جریان متناوب	
	پلاریته مستقیم	پلاریته معکوس	الکترودهای تنگستن	الکترودهای تنگستن با عناصر زیرکونیوم و توریم
۰.۰۱۰	حداکثر ۱۵	NR	حداکثر ۱۵	حداکثر ۱۵
۰.۰۲۰	۵-۲۰	NR	۵-۱۵	۵-۲۰
۱/۱۶	۷۰-۱۵۰	۱۰-۲۰	۵۰-۱۰۰	۷۰-۱۵۰
۳/۳۲	۱۵۰-۲۵۰	۱۵-۳۰	۱۰۰-۱۶۰	۱۴۰-۲۳۵
۱/۸	۲۵۰-۴۰۰	۲۵-۴۰	۱۵۰-۲۱۰	۲۲۵-۳۲۵
۳/۱۶	۵۰۰-۷۵۰	۵۵-۸۰	۲۵۰-۳۵۰	۴۰۰-۵۰۰
۱/۴	۷۵۰-۱۰۰۰	۸۰-۱۲۵	۳۲۵-۴۵۰	۵۰۰-۶۳۰

۳.۵.۱۳. محاسبات زمان جوشکاری در روش TIG

زمان جوشکاری به طول درز جوش، تعداد پاس‌های مورد نیاز و سرعت جوشکاری بستگی دارد. تعداد پاس‌ها نیز به پهنای درز جوش وابسته است. وقتی پهنای درز جوش زیاد باشد، لازم است الکترودها را به صورت زیگزآگ حرکت داده تا پهنای درز جوش به درستی پر شود.

در شرایطی که L طول محل جوشکاری بر حسب اینچ، R سرعت جوشکاری بر حسب اینچ در دقیقه و تعداد پاس‌ها N باشد، خواهیم داشت:

$$\text{time for one pass} = \frac{L}{R}$$

$$\text{total time} = \frac{L}{R} * N$$

۳.۶. جوشکاری با پرتوی لیزر

در جوشکاری با پرتوی لیزری، حرارت مورد نیاز برای ذوب کردن فلز، از تابش یک پرتوی متمرکز و باریک از نور تک‌رنگ حاصل می‌شود. معمولاً در این روش جوشکاری از سیم‌جوش استفاده نمی‌شود.

۳.۶.۱. ویژگی‌های فرآیند

- برای جوشکاری قطعات نازک و ظریف مناسب است.
- معمولاً برای جوشکاری نقاطی از قطعه کار که در دسترس نیست، به کار می‌رود.
- دقت جوشکاری در این روش، بسیار بالا می‌باشد.
- در این روش می‌توان فلزات ناهم‌جنس را به هم متصل نمود.
- در جوشکاری با لیزر از سیم‌جوش استفاده نمی‌شود.
- تقریباً هیچ آسیب حرارتی به قطعه کار وارد نمی‌شود.
- جوشکاری با لیزر را می‌توان به راحتی اتوماتیک نمود.

۳.۶.۲. انواع پرتوهای لیزر

پرتوی لیزر گازی دی‌اکسیدکربن یا لیزر حالت جامد Nd:YAG^{۲۵}، با عبور از عدسی‌ها و آینه‌ها در نقطه مورد نظر متمرکز می‌شود. موج پرتوی لیزر دی‌اکسیدکربن تقریباً ۱۰.۶ میکرومتر و طول موج پرتوی لیزر Nd:YAG، در حدود ۱.۰۶ میکرومتر می‌باشد. قطر نقطه تمرکز لیزر، تقریباً ۱۰ برابر طول موج آن می‌باشد.

۳.۶.۳. عیوب حاصل از جوشکاری لیزر

در جدول زیر، عیوب رایج مشاهده شده در عملیات جوشکاری با پرتوی لیزر و علل احتمالی این عیوب را مشاهده می‌کنید:

²⁵ neodymium-doped yttrium aluminium garnet

جدول ۲۰- عیوب رایج در عملیات جوشکاری با پرتوی لیزر

نوع عیب	علل احتمالی	اثرات نامطلوب
حفره	سرعت زیاد جوشکاری، تمرکز ناکافی پرتوی لیزر، توان ناکافی پرتوی لیزر، پهنای زیاد درز جوش	کاهش استحکام
تنش‌های داخلی	سرعت کم جوشکاری، تمرکز ناکافی پرتوی لیزر، توان بیش از حد پرتوی لیزر	کاهش استحکام، اعوجاج در قطعه کار

۳.۶.۴. اثرات جوشکاری لیزر بر خواص ماده

جوشکاری با لیزر، اثرات اندکی بر خواص مواد مختلف دارد.

جدول ۲۱- اثرات جوشکاری لیزر بر خواص ماده

خواص ماده	اثرات جوشکاری لیزر بر خواص ماده
مکانیکی	احتمال سخت شدن یا نرم شدن قطعه کار
فیزیکی	اثری ندارد
شیمیایی	اثری ندارد

۳.۶.۵. پارامترهای مهم فرآیند و عوامل موثر در نتیجه آن

عوامل زیر نقش بسیار مهمی را در اجرا و نتیجه فرآیند جوشکاری با پرتوی لیزر دارند:

- جنس قطعه کار (هدایت گرمایی و قابلیت انعکاس نور)

- طراحی اتصال جوشکاری

- نوع و توان پرتوی لیزر

- موقعیت محل تمرکز پرتوی لیزر روی قطعه

- دقت تمرکز پرتو

- سرعت جوشکاری

- فرکانس پالس‌های پرتوی لیزر

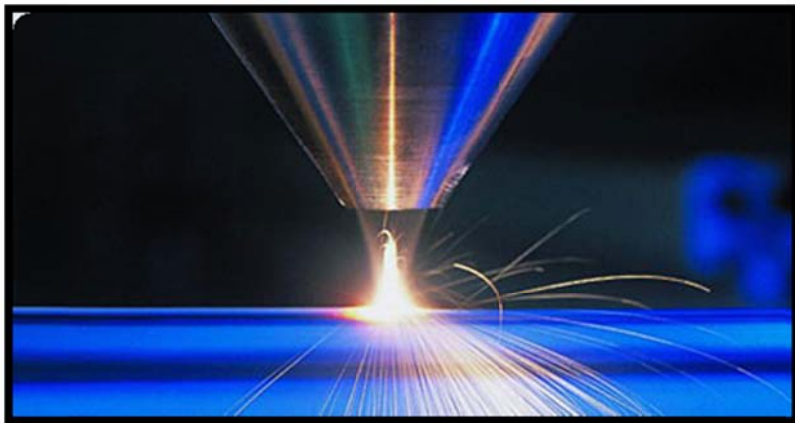
- زمان هر پالس

- نوع و میزان گاز محافظ

- طرح نازل خروج گاز

عوامل موثر در قابلیت جوشکاری یک قطعه کار با پرتوی لیزر، عبارتند از:

- وضعیت سطح قطعه کار
- جنس قطعه کار
- ضخامت قطعه کار
- نحوه تمرکز پرتوی لیزر
- توان اعمالی پرتوی لیزر
- نقطه ذوب ماده
- طرح اتصال جوشکاری



شکل ۵- نمایی از جوشکاری با پرتوی لیزر

۳.۷. لحیم کاری غوطه‌وری

این فرآیند نیز یکی از فرآیندهای اتصال قطعات است که در آن قطعات با غوطه‌ور شدن در یک حمام از ماده لحیم کاری مذاب، به هم لحیم می‌شوند. با توجه به پایین بودن دمای لحیم کاری، قطعه کار و ماده لحیم کاری در واقع فقط به یکدیگر می‌چسبند. برای آماده‌سازی سطح قطعه کار باید از یک ماده تمیزکننده استفاده نمود. لحیم کاری غوطه‌وری، یک فرآیند اتوماتیک به حساب آمده که در صنعت الکترونیک، کاربرد فراوانی دارد.

۳.۷.۱. ویژگی‌های فرآیند

- ماده لحیم کاری مذاب در یک ظرف ریخته شده و قطعه کار در آن غوطه‌ور می‌شود.
- در این فرآیند باید از فلاکس استفاده نمود.
- دمای اجرای این فرآیند نسبتاً پایین است و هیچ‌یک از قطعات ذوب نمی‌شوند.

- زمان غوطه‌وری معمولاً بین ۲ تا ۱۲ ثانیه است.
- این فرآیند به‌خوبی قابل اتوماسیون است.
- این فرآیند در صنایع الکترونیک کاربرد فراوانی دارد.

۳.۷.۲. ماده لحیم‌کاری

این ماده معمولاً آلیاژی حاوی ۵۰ درصد قلع، ۴۹.۵ درصد سرب و ۰.۵ درصد آنتیموان است. پایین بودن دمای ذوب ماده لحیم‌کاری به دلیل وجود سرب در این ماده است. وجود قلع نیز سبب پخش‌شدن خوب و سریع ماده روی سطح کار می‌شود.

۳.۸. جوشکاری با قوس پلاسما

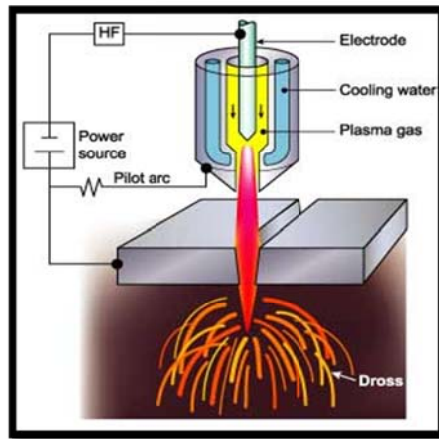
در جوشکاری با قوس پلاسما یک قوس الکتریکی داخلی، بین الکترود مصرف‌نشده از جنس تنگستن و بدنه شعله جوشکاری برقرار می‌شود. با عبور گاز خنثی از میان قوس الکتریکی، گاز فوق‌العاده داغ شده و به پلاسما تبدیل می‌گردد. از این جریان پلاسما که به سمت قطعه کار جاری می‌شود، برای ذوب کردن سیم‌جوش استفاده می‌شود.

۳.۸.۱. ویژگی‌های فرآیند

- در این عملیات از یک الکترود مصرف‌نشده از جنس تنگستن استفاده می‌شود.
- برای ایجاد پلاسما و همچنین به عنوان گاز محافظ، از یک گاز خنثی نظیر آرگون، هلیوم یا نیتروژن استفاده می‌شود.
- حرارت ایجادشده در قوس پلاسما، ممکن است به ۳۰۰۰۰ درجه فارنهایت برسد.

۳.۸.۲. ماشین و تجهیزات

تجهیزات مورد نیاز برای جوشکاری با قوس پلاسما عبارتند از: یک ماشین جوشکاری که قابلیت تنظیم جریان الکتریکی را داشته باشد، کپسول حاوی گاز خنثی، سیستم خنک‌کننده آبی، سیستم کنترل جریان الکتریکی و گاز، یک سویچ قطع و وصل که ترجیحاً به صورت یک پدال پای عمل کند، یک مشعل دستی یا اتوماتیک و منبع قدرت الکتریکی.



شکل ۶- نمایی از روش جوشکاری با قوس پلاسما

۳.۸.۳. اکتروود و سیم جوش

الکتروود مورد استفاده در فرآیند جوشکاری با قوس پلاسما، یک الکتروود تنگستنی مصرف نشدنی است و بنابراین لازم است از سیم جوش برای جوشکاری قطعه کار استفاده شود.

۳.۸.۴. فرم سر مشعل

در جدول زیر دو نوع مشعل با کاربردهایشان را مشاهده می کنید:

جدول ۲۲- انواع مشعل و کاربردهایشان

نوع سرمشعل	فرم	کاربرد
یک سوراخه		جوشکاری ساده، عمومی
چند سوراخه		برای ایجاد قوس های بلند و افزایش سرعت جوشکاری بزرگ تا ۵۰ درصد

۳.۸.۵. الکتروود و جریان الکتریکی

در جدول زیر، جریان الکتریکی مناسب برای قطرهای مختلف الکتروود ارایه شده است:

جدول ۲۳- جریان الکتریکی مناسب برای قطرهای مختلف الکتروود

قطر الکتروود تنگستنی (اینچ)	جریان الکتریکی (آمپر)
۰.۰۱۰	حداکثر ۱۵
۰.۰۲۰	۵-۲۰
۰.۰۴۰	۱۵-۸۰
۱/۱۶	۷۰-۱۵۰
۳/۳۲	۱۵۰-۲۵۰
۱/۸	۲۵۰-۴۰۰
۵/۳۲	۴۰۰-۵۰۰

۳.۸.۶ گاز محافظ

در جدول ۲۴، انواع گازهای محافظ این روش جوشکاری و موارد کاربردشان را مشاهده می‌نمایید:

جدول ۲۴- انواع گازهای محافظ و موارد کاربردشان

کاربردها	نوع گاز محافظ
جوشکاری فولاد کربنی و کم‌آلیاژ، جوشکاری مس و روی	آرگون
جوشکاری فولاد زنگ‌نزن، جوشکاری نفوذی سریع، جوشکاری پاس‌های اولیه درز جوش‌های بزرگ	مخلوط آرگون و اکسیژن
جوشکاری ذوبی معمولی، جوشکاری مس و فولاد زنگ‌نزن، جوشکاری نفوذی سریع	هلیوم

۳.۸.۷ کیفیت جوشکاری و عیوب رایج آن

در جدول زیر، عیوب رایج در جوشکاری پلاسما و علل احتمالی آن‌ها ارائه شده است:

جدول ۲۵- عیوب رایج و علل احتمالی آن‌ها

اثرات نامطلوب	علل احتمالی	عیب
- کاهش استحکام جوش	- تنش‌های مکانیکی - تنش‌های حرارتی - ناخالصی در آلیاژ قطعه کار یا سیم‌جوش	ترک
- کاهش استحکام جوش	- گاز محافظ ناکافی - حبس شدن گاز در فلز مذاب	حفره (تخلخل)
- ظاهر بد	- جریان الکتریکی بالا	گرده جوش کثیف و خشن
- کاهش استحکام استاتیکی	- سطوح کثیف قطعه	ذوب نشدن کامل فلز

سرعت زیاد جوشکاری -	احتمال ایجاد تمرکز تنش -
---------------------	--------------------------

۳.۸.۸. اثرات جوشکاری پلاسما بر خواص ماده

جدول ۲۶- اثرات جوشکاری پلاسما بر خواص ماده

اثرات جوشکاری پلاسما بر خواص ماده	خواص ماده
<ul style="list-style-type: none"> - احتمال سخت شدن قطعه کار - احتمال کاهش استحکام خستگی - احتمال ایجاد انقباض - احتمال نرم شدن قطعه کار - احتمال ایجاد اعوجاج و پیچیدگی قطعه کار 	مکانیکی
<ul style="list-style-type: none"> - ظاهر بد قطعه کار - احتمال ایجاد حفره 	فیزیکی
<ul style="list-style-type: none"> - احتمال کاهش مقاومت خوردگی 	شیمیایی

۳.۸.۹. عوامل موثر در نتیجه فرآیند

عواملی که در نتیجه جوشکاری پلاسما موثر می‌باشند عبارتند از:

- حرارت شعله پلاسما
- میزان خروج گاز محافظ
- تمیز بودن موضع جوشکاری
- سرعت جوشکاری
- طرح اتصال جوش
- جنس و ویژگی‌های قطعه کار

۳.۸.۱۰. توان مورد نیاز

توان مورد نیاز در این فرآیند، به جنس قطعه کار و ضخامت آن بستگی دارد.

جدول ۲۷- توان مورد نیاز در فرآیند جوشکاری پلاسما

جنس قطعه کار	توان مورد نیاز (آمپر)			
	ضخامت قطعه کار (اینچ)			
	۰.۰۹۳	۰.۱۲۵	۰.۱۸۷	۰.۲۵۰
فولاد کم آلیاژ	۱۴۵	۱۸۵	۲۱۵	۲۷۵
فولاد زنگ‌نزن	۱۱۵	۱۴۵	۱۶۵	۲۴۰
آلیاژهای تیتانیوم	۱۶۵	۱۸۵	۱۷۵	۲۰۰
مس و برنج	۱۸۰	۳۰۰	۴۶۰	۶۷۰

۳.۹. نقطه جوش برجسته

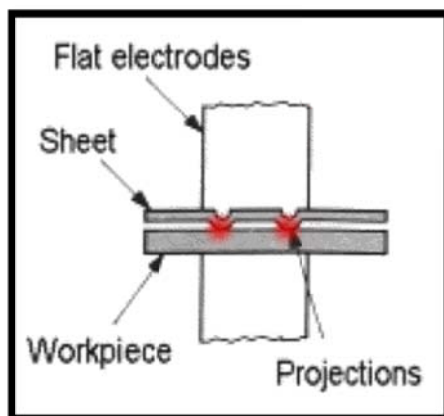
عملیات نقطه جوش برجسته یک فرآیند اتصال فلزات است که در آن یک قطعه کار با چند نقطه برجسته روی یک قطعه کار دیگر قرار می‌گیرد و با عبور جریان الکتریکی از قطعات، این نقاط تماس گرم می‌شوند. دو الکترود مصرف‌نشده قطعات را روی هم می‌فشارند و ضمن هدایت جریان الکتریکی، با اعمال فشار باعث جوش خوردن دو قطعه به یکدیگر خواهد شد.

۳.۹.۱. ویژگی‌های فرآیند

- در این فرآیند از سیم‌جوش استفاده نمی‌شود.
- سطح یکی از قطعات برای انجام این عملیات باید چند نقطه برجسته داشته باشد.
- با یک حرکت ماشین، می‌توان چند نقطه جوش روی قطعه کار ایجاد نمود.
- در این عملیات از دو الکترود مسی مصرف‌نشده استفاده می‌شود.
- این عملیات معمولا برای اتصال قطعات با ضخامت کم به کار می‌رود.
- این عملیات را به راحتی می‌توان مکانیزه نمود.

۳.۹.۲. ماشین و تجهیزات

در این فرآیند معمولا از یک ماشین پرس مخصوص استفاده می‌شود. روی این پرس، الکترودهایی برای انتقال جریان الکتریکی و تابلوی کنترل جریان تعبیه شده است. نیروی پرس نیز می‌تواند به صورت هیدرولیکی، نیوماتیکی، فنری یا الکترومغناطیسی تامین گردد.



شکل ۷- نمایی از روش نقطه جوش برجسته

۳.۹.۳. الکترودها

در این فرآیند معمولاً از الکترودهای سرتخت استفاده می‌شود. این الکترودها می‌توانند فشار کافی به قطعه کار وارد کرده و جریان الکتریکی لازم را به موضع جوشکاری هدایت نمایند. این الکترودها باید دارای خواصی مانند هدایت الکتریکی خوب، استحکام کافی، سختی و مقاومت در برابر حرارت باشند.

۳.۹.۴. قابلیت‌های فرآیند

ضخامت قطعه کار برای انجام این فرآیند معمولاً بین ۰.۰۵ تا ۰.۵ اینچ انتخاب می‌شود.

۳.۹.۵. کیفیت و عیوب نقطه جوش برجسته

معمولاً عیوب نقطه جوش هنگامی به وجود می‌آید که جریان و فشار الکتروود به درستی تنظیم نشده باشند. اگر کیفیت نقطه جوش بد باشد، علاوه بر ظاهر نامناسب، باعث کاهش استحکام خستگی و افزایش احتمال خوردگی در قطعه کار می‌شود.

جدول ۲۸- کیفیت و عیوب نقطه جوش برجسته

عیوب	علل احتمالی	اثرات نامطلوب
فرورفتگی سطح	- نیروی زیاد الکتروود - حرارت بیش از حد	- کاهش استحکام جوش - ظاهر
ذوب شدن محل جوش	- نیروی کم الکتروود - جریان الکتریکی زیاد	- ایجاد نقطه جوش کوچک - سوراخ شدن محل نقطه جوش
فرم نقطه جوش نامنظم باشد	- ساییدگی سطح الکتروود - نامنظم بودن فرم برجستگی	- کاهش استحکام جوش

ایجاد ترک و حفره در محل نقطه جوش	- حرارت بیش از حد - جداسدن پیش از موعد الکتروود از قطعه کار - سطح کثیف قطعه کار	- کاهش استحکام خستگی - افزایش خوردگی
-------------------------------------	--	---

۳.۹.۶. اثرات نقطه جوش برجسته بر خواص مواد

اثرات این فرآیند بر خواص مکانیکی عبارتند از: سخت شدن، نرم شدن، پیچیدگی و کاهش استحکام خستگی. اثرات نقطه جوش بر خواص فیزیکی ماده عبارتند از: ظاهر بد، ترک‌های داخلی، حفره و ترک‌های سطحی. تنها اثر این فرآیند بر خواص شیمیایی ماده عبارتند از کاهش مقاومت خوردگی.

۳.۹.۷. جنس الکتروود

در جدول ۲۹، انواع گوناگونی از الکتروودهای به کار رفته در این روش، به همراه کاربردهای آنها را مشاهده می‌کنید:

جدول ۲۹- انواع الکتروودها به همراه کاربردهای آنها

کاربردها	جنس الکتروود
- نقطه جوش فولاد کم کربن گالوانیزه و قلع‌اندود - نقطه جوش کرم، روی و آلومینیوم	آلیاژ مس (کلاس ۱)
- نقطه جوش فولاد کم کربن نوردشده گرم و سرد - نقطه جوش فولاد زنگ‌نزن - نقطه جوش آلیاژهای نیکل - جوشکاری برنز سیلیسیم‌دار و آلیاژ نقره- نیکل	آلیاژ مس (کلاس ۲)
- نقطه جوش با فشار زیاد و جوش دادن مواد با مقاومت الکتریکی بالا - جوش دادن فولاد کم کربن ضخیم - نقطه جوش فولاد زنگ‌نزن - نقطه جوش مونل و اینکونل	آلیاژ مس (کلاس ۳)
- اعمال حرارت زیاد در نقطه جوش - اعمال زمان طولانی - اعمال فشار بالا به هنگام جوشکاری - عدم امکان خنک کاری الکتروود	فلزات دیرگداز، کلاس ۱۰ الی ۱۴

۳.۹.۸. عوامل موثر در نتیجه فرآیند

عوامل موثر در نتیجه عملیات نقطه جوش برجسته عبارتند از: فرم برجستگی، میزان هدایت الکتریکی و حرارتی الکتروود، جریان الکتریکی، فرم و جنس الکتروود، نیروی اعمالی الکتروود، زمان جوشکاری، فواصل بین نقطه جوشها، جنس قطعه کار و تمیز بودن سطح قطعات.

۳.۱۰. جوشکاری با قوس الکتریکی و الکتروود پوشش دار

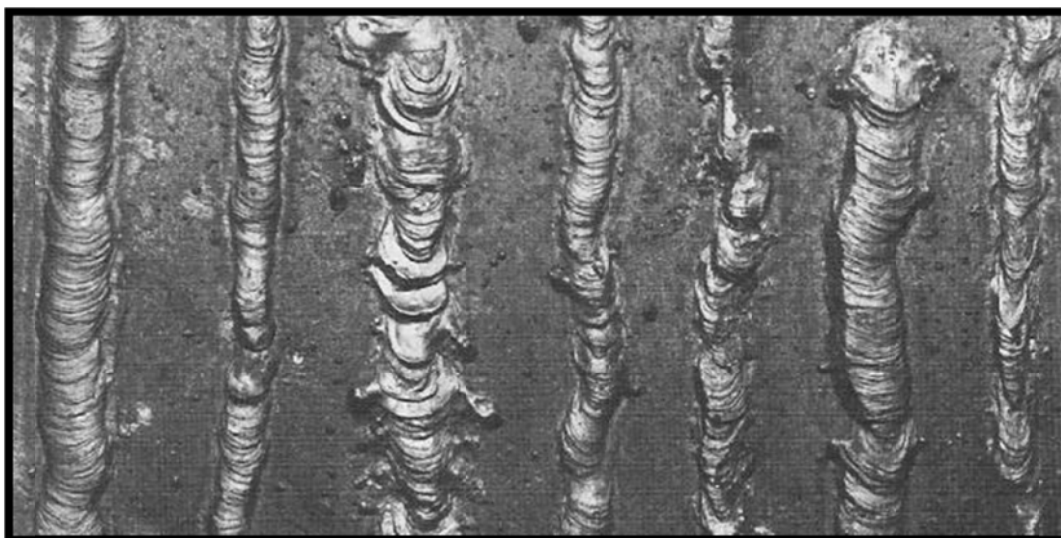
در عملیات جوشکاری با قوس الکتریکی و الکتروود پوشش دار که به اختصار SMAW نامیده می شود، قوس الکتریکی بین یک الکتروود فلزی مصرف شدنی پوشش دار و قطعه کار برقرار می شود. در اثر حرارت حاصل از قوس الکتریکی، پوشش جامد الکتروود به صورت گاز درآمده و یک حفاظ گازی در پیرامون محل جوشکاری ایجاد می کند. قسمتی از این پوشش نیز ذوب شده و به صورت گل جوش روی گرده جوش می نشیند.

۳.۱۰.۱. ویژگی های فرآیند

- در این روش از یک الکتروود میله ای مصرف شدنی استفاده می شود.
- پوشش روی الکتروود، در اثر حرارت ذوب شده و روی گرده جوش رسوب می کند.
- مقداری از پوشش الکتروود نیز در اثر حرارت به صورت گاز درآمده و فضای جوشکاری را حفاظت می کند.
- جریان ثابتی به هنگام جوشکاری مصرف می شود.
- کیفیت ظاهری جوش و استحکام آن به مهارت اپراتور در ثابت نگاه داشتن طول قوس الکتریکی و سرعت جوشکاری بستگی دارد.

۳.۱۰.۲. فرم اتصال جوش

در شکل زیر انواع جوشها را که از چپ به راست، به ترتیب به صورت جوش قابل قبول، جوش با آمپر پایین، جوش با آمپر بالا، جوش با طول قوس کوتاه، جوش با طول قوس بلند، جوش با سرعت جوشکاری کم و جوش با سرعت جوشکاری زیاد می - باشند را مشاهده می کنید:



شکل ۸- نمایی از انواع فرم‌های جوشکاری با قوس الکتریکی و الکتروود پوشش‌دار

۳.۱۰.۳ ماشین و تجهیزات

تجهیزات مورد نیاز در این روش عبارتند از: ماشین جوشکاری قوس الکتریکی که یک جریان الکتریکی ثابت تولید کرده و به الکتروود ارسال می‌کند، کابل اتصال به بدنه که قطعه‌کار را به ماشین جوشکاری متصل می‌کند و همچنین ابزار نگهداری الکتروود. میزان جریان الکتریکی به قطر الکتروود وابسته است. معمولاً برای هر ۰.۰۰۱ اینچ قطر الکتروود باید ۱ آمپر جریان صرف نمود. البته نوع پوشش و جنس الکتروود نیز در میزان جریان الکتریکی موثر است.



شکل ۹- نمایی از تجهیزات جوشکاری با قوس الکتریکی و الکتروود پوشش‌دار

۳.۱۰.۴ الکتروود

قطر الکتروودهای مورد مصرف در این فرآیند، معمولاً بین ۵/۱۶ تا ۱/۱۶ اینچ و طول آن‌ها نیز ۹، ۱۴ و ۱۸ اینچی می‌باشد. جنس الکتروود باید متناسب با جنس قطعه‌کار انتخاب شود. الکتروودهای پوشش‌دار معمولاً از فولاد نرم، فولاد زنگ‌نزن، نیکل و

برنز ساخته می‌شوند. کدگذاری الکترودها، در جدول زیر با موارد کاربردشان نشان داده شده است. در این کدگذاری‌ها، حرف انگلیسی نشانه الکتروده، دو عدد اول از سمت چپ نشان‌دهنده استحکام کششی بر حسب کیلوپاسکال یا پوند بر اینچ مربع، عدد بعد نشان‌دهنده وضعیت جوشکاری و عدد آخر نشان‌دهنده نوع جریان الکتریکی می‌باشد.

جدول ۳۰- کدگذاری الکترودها

کد الکتروده	کاربردها
E6010 E6011	عمق نفوذ زیاد، قوس الکتریکی قوی و انتقال قوس و مواد مذاب به صورت پاششی
E6012 E6013	عمق نفوذ متوسط، انتقال مواد مذاب به صورت قطره‌ای، جوشکاری ورق‌های فلزی
E6020	انتقال قوس و مواد مذاب به صورت پاششی، عمق نفوذ متوسط، ایجاد گل جوش متخلخل و لانه زنبوری

در جدول زیر، انواع مواد مصرفی در پوشش الکترودهای فولادی نرم به همراه کاربرد آن‌ها ارایه شده است.

جدول ۳۱- انواع مواد مصرفی در پوشش الکترودهای فولادی نرم به همراه کاربرد آن‌ها

کاربردها	مواد به کاررفته در پوشش الکترودهای فولادی نرم
- ایجاد گاز محافظ - تمیزکننده سطح	کلسیم کربنات
- سازنده گل جوش - تثبیت‌کننده قوس الکتریکی	تیتانیم دی‌اکسید
- تثبیت‌کننده قوس الکتریکی	میکا
- ایجادکننده تماس جوشکاری - افزایش سرعت رسوب مذاب	پودر آهن
- آلیاژساز - اکسیژن‌زدا	فرومنگنز

۳.۱۰.۵. قابلیت‌های فرآیند

با این روش می‌توان انواع اتصالات رایج نظیر اتصال لب به لب، اتصال روی هم و اتصال لبه‌دار را جوشکاری نمود. تنها محدودیت این روش جوشکاری، دستی بودن این روش می‌باشد. ضخامت قطعه کار ممکن است از ۰.۱۲۵ تا ۱۲ اینچ باشد.

۳.۱۰.۶ کیفیت و عیوب جوشکاری با قوس الکتریکی و الکتروود پوشش دار

در جدول زیر، ۵ عیب رایج در این روش جوشکاری به همراه علل احتمالی و اثرات نامطلوب آنها ارایه شده است:

جدول ۳۲- عیوب رایج در جوشکاری با قوس الکتریکی و الکتروود پوشش دار به همراه علل احتمالی و اثرات نامطلوب آنها

عیب	علل احتمالی	اثرات نامطلوب
ترک	- تنش های مکانیکی - تنش های حرارتی - ورود ناخالصی در آلیاژ قطعه کار یا الکتروود	- جوش ترک دار قابل قبول نبوده و باید تکرار شود
حفره های زیر سطح	- سطوح کثیف قطعه کار - حبس شدن گاز در مذاب	- کاهش استحکام جوش
گرده جوش خشن و ناصاف	- جریان الکتریکی زیاد	- ظاهر بد
عدم ذوب کامل	- سطوح کثیف قطعه کار - سرعت جوشکاری زیاد	- کاهش استحکام جوش - ایجاد نقاط تمرکز تنش
آخال ^{۲۶}	- حبس شدن گل جوش یا دیگر آلودگی ها در مذاب	- کاهش استحکام جوش

۳.۱۰.۷ اثرات جوشکاری با قوس الکتریکی و الکتروود پوشش دار بر خواص ماده

جدول ۳۳- اثرات جوشکاری با قوس الکتریکی و الکتروود پوشش دار بر خواص ماده

خواص ماده	اثرات فرآیند بر خواص ماده
مکانیکی	- احتمال سخت شدن ماده - احتمال کاهش استحکام خستگی - احتمال ایجاد انقباض در قطعه کار - احتمال نرم شدن ماده - احتمال پیچیدگی و اعوجاج در قطعه کار
فیزیکی	- ظاهر بد - احتمال ایجاد ترک یا تخلخل در محل جوش
شیمیایی	- احتمال کاهش مقاومت خوردگی در ناحیه جوشکاری شده

۳.۱۰.۸ جنس قطعه کار

این روش جوشکاری تقریباً به فلزات آهنی اختصاص دارد. قابلیت جوشکاری فولاد نرم، فولاد زنگ نزن و چدن به روش جوشکاری با قوس الکتریکی و الکتروود پوشش دار در حد متوسط تا عالی می باشد.

²⁶ Inclusion

۳.۱۰.۹ عوامل موثر در نتیجه فرآیند

عوامل مهم در کیفیت جوشکاری با قوس الکتریکی و الکتروود پوشش دار عبارتند از:

- جریان الکتریکی و ولتاژ جوشکاری
- نوع جریان الکتریکی
- عملکرد پوشش محافظ در پیرامون قوس و روی گرده جوش
- تمیز بودن منطقه جوشکاری
- سرعت جوشکاری و سرعت رسوب مذاب
- هدایت الکتریکی قطعه کار
- طرح اتصال دو قطعه
- جنس و خواص قطعه کار

۳.۱۰.۱۰ توان مورد نیاز

در جدول زیر، توان مورد نیاز به صورت جریان الکتریکی مصرفی، برای جوشکاری فولاد کم کربن ارائه شده است. جریان مصرفی به سرعت رسوب مذاب، قطر الکتروود و نوع الکتروود بستگی دارد.

جدول ۳۴- جوشکاری فولاد کم کربن با الکتروود فولادی کم کربن

کد الکتروود	سرعت رسوب مذاب (اونس/ساعت)	قطر الکتروود (اینچ)	جریان مصرفی (آمپر)
E6011	۸۸	۳/۱۶	۲۰۰
E6012	۶۶	۳/۱۶	۲۲۵
E7014	۸۷	۳/۱۶	۲۶۰
E7018	۸۳	۳/۱۶	۲۴۰
E7024	۱۳۴	۳/۱۶	۲۷۰

۳.۱۰.۱۱ محاسبات زمان

زمان جوشکاری به طول درز جوش، تعداد پاس‌های مورد نیاز و سرعت جوشکاری بستگی دارد. تعداد پاس‌ها نیز به پهنای درز جوش وابسته است. وقتی پهنای درز جوش زیاد باشد، لازم است الکتروود را به صورت زیگزاگ حرکت داده تا پهنای درز جوش به درستی پر شود. در شرایطی که L طول محل جوشکاری بر حسب اینچ، R سرعت جوشکاری بر حسب اینچ در دقیقه و تعداد پاس‌ها N باشد، خواهیم داشت:

$$\text{time for one pass} = \frac{L}{R}$$

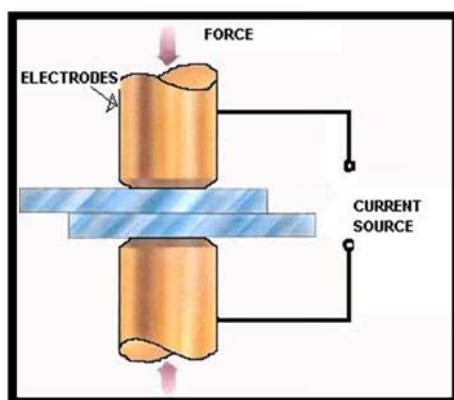
$$total\ time = \frac{L}{R} * N$$

۳.۱۱. نقطه جوش

نقطه جوش یک فرآیند اتصال قطعات است که در آن نقاط تماس دو قطعه فلزی بر اثر عبور جریان الکتریکی از آنها، به واسطه مقاومت الکتریکی آنها گرم شده و به هم متصل می‌شوند. دو قطعه به هنگام گرم شدن، تحت فشار دو الکتروود نیز قرار می‌گیرند.

۳.۱۱.۱. ویژگی‌های فرآیند

- در عملیات نقطه‌جوش از فلاکس و ماده پرکننده استفاده نمی‌شود.
- سرعت انجام این عملیات بالا می‌باشد.
- به راحتی قابل اتوماسیون است.
- اجرای این عملیات احتیاج به اپراتور ماهر ندارد.
- الکتروودهای مورد استفاده در این روش، معمولاً از جنس مس هستند و مصرف‌شدنی نمی‌باشند.



شکل ۱۰- نمایی از روش نقطه جوش

۳.۱۱.۲. جنس و مشخصات الکتروود

الکتروودهای نقطه جوش که هدایت‌کننده جریان الکتریسیته و قطعه اعمال فشار به قطعات هستند، از آلیاژهای مس با مقاومت الکتریکی پایین ساخته می‌شوند و معمولاً توخالی بوده تا بتوان آنها را با آب خنک‌کاری نمود. اندازه نوک الکتروود به طور مستقیم بر اندازه نقطه جوش و استحکام برشی محل جوشکاری شده، تاثیرگذار می‌باشد. برای کاربردهای خاص ممکن است از ترکیبات فلزی دیرگداز استفاده شود. آلیاژ مس کلاس ۲، پرمصرف‌ترین ماده در ساخت الکتروودهای نقطه‌جوش می‌باشد.

جدول ۳۵- انواع الکترودها به همراه کاربردشان

کاربردها	جنس الکتروده
<ul style="list-style-type: none"> - نقطه جوش فولاد کم کربن گالوانیزه و قلع اندود - نقطه جوش کرم، روی و آلومینیوم 	آلیاژ مس (کلاس ۱)
<ul style="list-style-type: none"> - نقطه جوش فولاد کم کربن نورد شده گرم و سرد - نقطه جوش فولاد زنگ نزن - نقطه جوش آلیاژهای نیکل - جوشکاری برنز سیلیسیم دار و آلیاژ نقره- نیکل 	آلیاژ مس (کلاس ۲)
<ul style="list-style-type: none"> - نقطه جوش با فشار بالا و جوش دادن مواد با مقاومت بالا - جوش دادن فولاد کم کربن ضخیم - نقطه جوش فولاد زنگ نزن - نقطه جوش مونل و اینکونل 	آلیاژ مس (کلاس ۳)
<ul style="list-style-type: none"> - اعمال حرارت زیاد در نقطه جوش - اعمال زمان طولانی - اعمال فشار بالا به هنگام جوشکاری - عدم امکان خنک کاری الکتروده 	فلزات دیرگداز، کلاس ۱۰ الی ۱۴

۳.۱۱.۳ قابلیت های فرآیند

قطعات باید به گونه ای بین دو فک قرار بگیرند که مانع حرکت آنها نشوند و الکترودها بتوانند به راحتی روی قطعات بنشینند. پهنای قطعات قابل جوشکاری با نقطه جوش بستگی به طول فک های ماشین دارد و معمولاً از ۵ تا ۵۰ اینچ تغییر می کند. محدوده ضخامت قطعات نیز بین ۰.۰۰۸ تا ۱.۲۵ اینچ می باشد.

۳.۱۱.۴ کیفیت و عیوب نقطه جوش

برای انجام یک عملیات نقطه جوش موفق باید ماشین را به درستی تنظیم نمود. عواملی نظیر نیروی اعمالی الکتروده بر قطعه کار، دمای الکتروده، جنس الکتروده، جریان الکتریکی و تمیز بودن سطوح الکترودها و قطعه کار، بر کیفیت نقطه جوش موثر می باشد.

جدول ۳۶- عیوب رایج در جوشکاری نقطه جوش به همراه علل احتمالی و اثرات نامطلوب آن‌ها

عیب	علل احتمالی	اثرات نامطلوب
فرورفتگی	- فرم نامناسب الکتروود یا نیروی نادرست آن - حرارت زیاد به هنگام جوشکاری	- کاهش استحکام نقطه جوش - ظاهر بد
ذوب شدن موضعی	- نیروی کم الکتروود - جریان الکتریکی زیاد	- کاهش سطح اتصال در نقطه- جوش - سوراخ شدن محل نقطه جوش
فرم نامنظم نقطه جوش	- ساییدگی سطح الکتروود - کثیف بودن سطح الکتروود	- کاهش استحکام جوش
عملکرد نادرست الکتروود	- نیروی کم الکتروود - جنس نامناسب الکتروود	- کاهش استحکام جوش - کاهش عمر الکتروود
ایجاد ترک و حفره در نقطه جوش	- حرارت زیاد به هنگام جوشکاری - رها کردن پیش از موقع الکتروود از قطعه	- کاهش استحکام خستگی - احتمال افزایش خوردگی

۳.۱۱.۵ اثرات نقطه جوش بر خواص ماده

از جمله اثرات نقطه جوش بر خواص مختلف قطعه کار، می‌توان به سخت شدن ماده، کاهش استحکام خستگی، پیچیدگی قطعه کار، نرم شدن احتمالی، ایجاد کشیدگی در قطعه کار، ایجاد ظاهر بد و کاهش مقاومت در برابر خوردگی اشاره نمود.

جدول ۳۷- اثرات نقطه جوش بر خواص ماده

خواص ماده	اثرات فرآیند بر خواص ماده
مکانیکی	- احتمال سخت شدن ماده - احتمال کاهش استحکام خستگی - احتمال پیچیدگی و اعوجاج در قطعه کار - احتمال نرم شدن ماده - ایجاد کشیدگی در قطعه کار
فیزیکی	- ظاهر بد - احتمال ایجاد ترک‌های داخلی - ایجاد تخلخل و اسفنجی شدن ماده - احتمال ایجاد ترک‌های سطحی
شیمیایی	- احتمال کاهش مقاومت در برابر خوردگی

۳.۱۱.۶ عوامل موثر در نتیجه فرآیند

عوامل موثر در نتیجه عملیات نقطه جوش عبارتند از:

- قابلیت هدایت الکتریکی و حرارتی الکترودها
- جریان الکتریکی
- جنس و فرم الکترودها
- نیروی اعمالی الکترودها به هنگام جوشکاری
- زمان جوشکاری
- فاصله بین نقطه جوشها
- جنس قطعه کار

۳.۱۲ جوشکاری زیرپودری

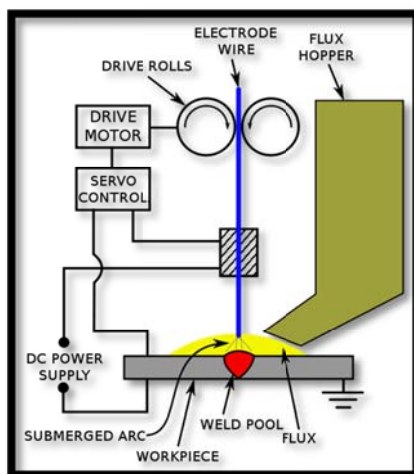
در عملیات جوشکاری زیرپودری، حرارت مورد نیاز برای ذوب و امتزاج سیم جوش و قطعه کار، از یک قوس الکتریکی که بین سیم جوش و قطعه کار برقرار می شود، به وجود می آید. سیم جوش این فرآیند نقش الکتروود را نیز ایفا می کند. محافظت از ناحیه جوشکاری و گرده جوش ایجاد شده، بر عهده پوشش ضخیمی از دانه های جامد فلاکس است که روی ناحیه جوشکاری را می پوشاند و به همین دلیل به این فرآیند، جوشکاری زیرپودری اطلاق می شود.

۳.۱۲.۱ ویژگی های فرآیند

- در عملیات جوش زیرپودری از یک الکتروود مصرف شدنی با پیش روی اتوماتیک استفاده می شود.
- موضع جوشکاری با پودر فلاکس محافظت می شود. مقداری از پودر در اثر حرارت به گاز تبدیل می شود.
- پودر فلاکس پس از جوشکاری به صورت یک گل جوش جامد روی گرده جوش باقی می ماند.
- سرعت جوشکاری و سرعت رسوب سیم جوش مذاب روی درز جوش در این فرآیند بالا می باشد.
- قطعات ضخیم را با استفاده از این روش می توان با کیفیتی بسیار خوب جوشکاری نمود.
- جوشکاری زیرپودری به صورت اتوماتیک و نیمه اتوماتیک اجرا می شود.

۳.۱۲.۲ قابلیت‌های فرآیند

طرح درز جوش در این روش، باید به‌گونه‌ای باشد که بتواند پودر محافظ را در خود نگه داشته و بدین ترتیب عملکرد پودر روی سطح بهینه گردد. ضخامت قطعه کار در جوش زیرپودری معمولاً بین ۰.۲۵ تا ۱ اینچ می‌باشد. این محدوده ممکن است از ۰.۰۶ تا ۸ اینچ نیز افزایش یابد.



شکل ۱۱- نمایی از جوشکاری زیرپودری

۳.۱۲.۳ کیفیت ظاهری و عیوب رایج

سه عیب رایج در عملیات جوشکاری زیرپودری عبارتند از: ترک‌های ریز، تخلخل‌های زیرسطحی و عدم ذوب کامل منطقه جوشکاری. این عیوب می‌توانند باعث کاهش استحکام جوش شوند. در جدول زیر به تعدادی از عیوب رایج به همراه علل احتمالی و اثرات نامطلوب آن‌ها اشاره شده است:

جدول ۳۸- عیوب رایج در جوشکاری نقطه جوش به همراه علل احتمالی و اثرات نامطلوب آن‌ها

اثرات نامطلوب	علل احتمالی	عیب
- غیرقابل قبول (جوشکاری دوباره)	- تنش‌های مکانیکی - تنش‌های حرارتی - وجود ناخالصی در عناصر آلیاژی و ترکیب ماده	ترک
- کاهش استحکام جوش	- آلودگی‌های سطح قطعه کار - حبس شدن گاز در مذاب	تخلخل زیرسطح
- ظاهر بد	- جریان الکتریکی بالا	گرده جوش ناصاف و چین‌دار
- کاهش استحکام جوش	- آلودگی سطح قطعه کار - سرعت جوشکاری بالا	عدم ذوب کامل

- ایجاد تمرکز تنش		
- کاهش استحکام جوش	- حبس شدن گاز و مواد پودر محافظ در مذاب	وجود آخال و آلودگی در جوش

۳.۱۲.۴. اثرات جوشکاری زیرپودری بر خواص ماده

جدول ۳۹- اثرات جوشکاری زیرپودری بر خواص ماده

اثرات فرآیند بر خواص ماده	خواص ماده
- احتمال سخت شدن ماده - احتمال کاهش استحکام خستگی - احتمال ایجاد انقباض - احتمال نرم شدن ماده - ایجاد پیچیدگی قطعه کار	مکانیکی
- ظاهر بد - احتمال ایجاد ترک و تخلخل در ماده	فیزیکی
- احتمال کاهش مقاومت خوردگی در ناحیه جوشکاری شده	شیمیایی

۳.۱۲.۵. جنس قطعه کار

اغلب فلزات را به این روش می توان جوشکاری کرد ولی معمولاً فولاد نرم، چدن و فولاد زنگ نزن، به دلیل قابلیت جوشکاری بهتر نسبت به دیگر فلزات، نتیجه بهتری در جوشکاری زیرپودری از خود نشان می دهند.

۳.۱۲.۶. جنس سیم جوش و پودر محافظ

در ادامه به جدول مشخصات سیم جوش ها توجه نمایید:

جدول ۴۰- جنس سیم جوش و پودر محافظ در جوشکاری زیرپودری

کد سیم جوش	وضعیت جوشکاری	پودر محافظ
E6010	افقی	سدیم با سلولز بالا
E6013	بالای سر	پتاسیم با تیتانیوم اکسید بالا
E6027	گوشه های افقی	پودر با اکسید آهن بالا
E7014	عمودی، افقی، بالای سر	پودر آهن و تیتانیوم اکسید

E7048	عمودی، پایین، بالاسر، افقی	پودر آهن، پتاسیم کم هیدروژن
-------	----------------------------	-----------------------------

۳.۱۲.۷ عوامل موثر در نتیجه فرآیند

عوامل موثر در نتیجه عملیات جوشکاری زیرپودری عبارتند از:

- جریان و ولتاژ جوشکاری
- نوع جریان الکتریکی
- پوشش پودر در ناحیه جوشکاری
- تمیزبودن سطح قطعه کار
- سرعت جوشکاری و سرعت رسوب مذاب
- جنس الکتروود
- میزان هدایت الکتریکی قطعه کار
- طرح اتصال
- جنس قطعه کار و ویژگی‌های آن

۳.۱۳ لحیم کاری مدارهای الکترونیکی

در این روش لحیم کاری، فیبر مدار چاپی از لحیم مذاب عبور کرده و به این ترتیب روی خطوط مدار و دنباله قطعات الکترونیکی، لایه‌ای از لحیم می‌نشیند و بدین ترتیب قطعات روی مسی‌های خاصی به هم متصل می‌شوند. موج لحیم مذاب با استفاده از یک پمپ به وجود می‌آید.

۳.۱۳.۱ ویژگی‌های فرآیند

- عملیات لحیم کاری تمیز و قابل اطمینان می‌باشد.
- یک روش لحیم کاری اتوماتیک محسوب می‌شود.
- مازاد لحیم و فلاکس را دوباره می‌توان استفاده نمود.
- بعد از لحیم کاری باید مدار حاصل را از نظر درستی اتصالات و عملکرد، بازرسی و آزمایش نمود.
- سرعت لحیم کاری و بهره‌وری در این عملیات بالا می‌باشد.

۳.۱۳.۲. ترکیب ماده لحیم کاری

ماده لحیم کاری، ترکیبی از قلع، سرب و اندکی آنتیموان است. این ماده معمولاً آلیاژی حاوی ۵۰ درصد قلع، ۴۹.۵ درصد سرب و ۰.۵ درصد آنتیموان است.

۳.۱۳.۳. قابلیت های فرآیند

این فرآیند به لحیم کاری اتوماتیک مدارات الکترونیکی اختصاص دارد. ابعاد فیبر مدار چاپی تنها محدودیت عملیاتی این فرآیند محسوب می شود و اندازه ماشین را تعیین می کند.

۳.۱۳.۴. کیفیت و عیوب لحیم کاری اتوماتیک

کیفیت لحیم کاری در این روش به حرارت پیش گرم، حرارت لحیم مذاب و تمیز بودن سطوح قبل از لحیم کاری (کیفیت فلاکس) بستگی دارد. در جدول زیر تعدادی از عیوب رایج در این روش را مشاهده می کنید:

جدول ۴۱- تعدادی از عیوب رایج در روش لحیم کاری اتوماتیک

عیب	علل احتمالی	اثرات نامطلوب
ترک	تنش های مکانیکی	- کاهش هدایت الکتریکی
حفره یا تخلخل	- آلودگی سطوح لحیم کاری - کمبود فلاکس - پیش گرم ناگهانی	- کاهش استحکام خطوط و اتصالات - کاهش هدایت الکتریکی
ضخامت نادرست لحیم	- دمای نامناسب لحیم مذاب - سرعت نادرست نوار نقاله	- احتمال ایجاد تنش مکانیکی - عدم تحمل جریان نامی مدار در صورت نازک بودن ضخامت لحیم - احتمال ایجاد اتصال کوتاه بین خطوط و قطعات
هدایت الکتریکی ضعیف مدار	- وجود آلودگی در لحیم مذاب	- خرابی کل مدار

۳.۱۳.۵. اثرات لحیم کاری اتوماتیک بر خواص ماده

جدول ۴۲- اثرات لحیم کاری اتوماتیک بر خواص ماده

خواص ماده	اثرات لحیم کاری بر خواص ماده
مکانیکی	- جدایش لایه‌های فیبر مدار چاپی - ایجاد شکنندگی در فیبر - پیچیدگی و اعوجاج در بعضی قطعات مدار
فیزیکی	- اثرات اندکی دارد.
شیمیایی	- اثرات نامطلوب فلاکس‌های خورنده

۳.۱۳.۶ عوامل موثر در نتیجه فرآیند

عوامل موثر در قابلیت لحیم کاری یک قطعه کار عبارتند از:

- تمیز بودن قطعات
- دمای قطعه کار
- ضخامت مناسب لحیم
- هدایت گرمایی قطعه کار
- میزان انبساط و انقباض قطعه کار
- نوع لحیم و ویژگی‌های آن

۴. تجهیزات عمومی مورد نیاز در جوشکاری

۴.۱ الکترودهای جوشکاری

الکتروده مغتولی فلزی است که دورتادور آن با مواد شیمیایی پوشش داده شده است و ضمن هدایت جریان از انبر به فلز پایه، پرکننده درز جوش و تامین کننده مواد آلیاژی می‌باشد. الکتروده را می‌توان به چهار صورت دسته‌بندی کرد:

- از نظر قطر
- از نظر طول
- از نظر مغزی فلزی
- از نظر پوشش

الکترودها در قطرهای ۱ تا ۱۰ میلی‌متر وجود دارند اما پرکاربردترین آن‌ها عبارتند از ۲، ۳، ۴ و ۵ میلی‌متری. الکترودها در طول‌های ۲۰ تا ۵۰ سانتی‌متری وجود دارند. الکترودها از نظر مغزی فلزی به الکترودهای فولادی، آلیاژی، چدنی، الکترودهای فلزات رنگین و الکترودهای زغالی تقسیم‌بندی می‌شوند. الکترودها از نظر پوشش به الکترودهای روتیلی، قلیایی، سلولزی، اسیدی و مرکب تقسیم می‌شوند.

مواد تشکیل‌دهنده پوشش الکترودها می‌توانند آهنک، اکسید سدیم، سلولز، روتیل، آزبست، خاک‌رس، دی‌اکسیدتیتانیوم و مقداری دیگر از مواد گوناگون باشند.

انتخاب صحیح الکترودها برای جوشکاری بستگی به نوع قطب و حالت درز جوش دارد. مثلاً یک درز V شکل با زاویه کمتر از ۴۰ درجه با ضخامت زیاد حداکثر با قطر ۱ اینچ که معادل ۲ میلی‌متر است برای ردیف اول گرده جوش استفاده می‌گردد تا کاملاً در عمق جوش نفوذ نماید. ولی چنانچه از الکترودها با قطر بیشتر استفاده شود مقداری تفاله در ریشه جوش باقی خواهد ماند که قدرت و استحکام جوش را تقلیل می‌دهد.

بایستی توجه داشت که همیشه قطر الکترودها از ضخامت فلز جوشکاری کمتر باشد. هر چند که در بعضی از کارخانجات تولیدی عده‌ای از جوشکاران، الکترودها با ضخامت بیشتر از ضخامت فلز را به کار می‌برند. این عمل بدین جهت است که سرعت کار زیادتر باشد ولی انجام آن احتیاج به مهارت فوق‌العاده جوشکار دارد. همچنین انتخاب صحیح قطر الکترودها بستگی زیاد به نوع قطب (+ یا -) و حالت درز جوش دارد. مثلاً اگر یک درز V شکل با زاویه کمتر از ۴۰ درجه باشد بایستی حداکثر از الکترودها با قطر پنج شانزدهم اینچ برای ردیف اول گرده جوش استفاده کرد تا کاملاً بتوان عمق درز را جوش داد. چنانچه از الکترودها با قطر زیادتر استفاده شود مقداری تفاله در جوش باقی خواهد ماند که قدرت و استحکام جوش را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد داد.

۴.۱.۱. اطلاعات پاکت الکترودها

مطابق استاندارد، پاکت‌ها و کارتن‌های الکترودها بایستی علامت‌ها و نوشته‌هایی داشته باشند که حتی‌المقدور مصرف‌کننده را در دسترسی به کیفیت مطلوب جوش راهنمایی و یاری نمایند. در روی پاکت الکترودها علاوه بر نام کارخانه سازنده، نوع جنس نیز درج می‌شود که برای مصرف صحیح حائز اهمیت است. هر پاکت الکترودها بایستی علاوه بر اسم تجاری الکترودها، طبقه‌بندی آن الکترودها را حداقل طبق یکی از استانداردهای مهم بیان نماید. برای آگاهی از طول زمان ماندگی الکترودها در کارخانه، بازار یا انبار، شماره ساخت یا تاریخ تولید روی پاکت نوشته یا مهر زده می‌شود. قطر سیم مغزی الکترودها، مصرف‌کننده را در کاربرد صحیح آن با توجه به ضخامت فلز، زاویه سیار، ترتیب پاس و غیره راهنمایی می‌کند. نوع جریان برق (جریان دائم یا جریان

متناوب لازم یا هر دو) و در جریان دائم نوع اتصال قطبی، بایستی به صورت عبارت یا علامت روی پاکت درج شود. حالت یا حالاتی از جوشکاری که این الکتروود در آن حالت یا حالات مناسب است روی پاکت بیان می‌شود. درج حدود شدت جریان برق بر حسب آمپر، جهت انتخاب اولیه ضروری است. وزن الکتروودها یا تعداد الکتروود داخل هر بسته روی پاکت یا بر حسب آن درج می‌شود. نوشتن مواردی که در بالا به آن اشاره شد، روی پاکت مطابق با بیشتر استانداردها اجباری است. همچنین خواص مکانیکی و شیمیایی، وضعیت ذوب و کیفیت، نحوه نگهداری و انبارکردن، درجه حرارت خشک‌کردن، موارد استعمال به‌خصوص و پاره‌ای توصیه‌های دیگر در روی پاکت برای آگاهی مصرف‌کننده چاپ شده و یا مهر زده می‌شود.

الکتروودهایی که در جوش اتصال فولاد به کاربرده می‌شوند، مفتول‌های مغزی با آلیاژ یا بدون آلیاژ دارند که جریان جوش را هدایت می‌کنند. شعله برق بین قطعه‌کار و سرآزاد الکتروود می‌سوزد و الکتروود به عنوان یک ماده اضافی ذوب می‌شود. الکتروودهای نرم شده دارای علائم اختصاری بوده که روی بسته‌بندی آن‌ها نوشته شده است. علائم اختصاری تمام نکات مهمی که در به کار بردن آن الکتروود باید مراعات شوند را نشان می‌دهند.

۴.۱.۲. مشخصات الکتروودها

مشخصات الکتروودها با یک سری اعداد مشخص می‌گردند. اعداد مشخصه به ترتیب زیر می‌باشد: به عنوان مثال E 60 10 علامت اول از سمت چپ در علائم الکتروود مشخص می‌نماید که این الکتروود برای جوشکاری برق استفاده می‌شود. بعضی از الکتروودهای پوشش‌دار در جوشکاری با اکسی‌استیلن استفاده می‌شوند. علامت دوم یعنی عدد دو رقمی بعد، مشخصه فشار کشش گرده جوش بر حسب پوند بر اینچ مربع بوده بایستی آن را در ۱۰۰۰ ضرب نمود یعنی فشار کشش گرده جوش این نوع الکتروود ۶۰۰۰۰ پوند بر اینچ مربع یا در حدود ۴۰۰ مگاپاسکال است. علامت سوم حالات جوش را مشخص می‌کند که همیشه این علامت ۱ یا ۲ یا ۳ می‌باشد. الکتروودهایی که علامت سوم آن‌ها ۱ باشد در تمام حالات جوشکاری می‌توان از آن‌ها استفاده کرد. الکتروودهایی که علامت سوم آن‌ها عدد ۲ باشد در حالت سطحی و افقی مورد استفاده قرار می‌گیرند. الکتروودهایی که علامت سوم آن‌ها ۳ باشد تنها در حالت افقی مورد استفاده قرار می‌گیرند. علامت چهارم خصوصیات ظاهری گرده جوش و نوع جریان را مشخص می‌نماید که این علائم از ۰ شروع و به ۶ ختم می‌گردند. چنانچه علامت چهارم یا آخر صفر باشد موارد استعمال این الکتروودها تنها با جریان مستقیم و با قطب معکوس می‌باشد. نفوذ این جوشکاری زیاد و شکل مهره‌های جوش آن تخت و درجه سختی گرده جوش تقریباً زیاد می‌باشد. چنانچه علامت چهارم یک باشد موارد استعمال این الکتروود با جریان مسقیم یا متناوب می‌باشد. شکل ظاهری جوش این الکتروود صاف و در شکاف‌ها و درزها کمی مقعر و درجه سختی جوش کمی زیادتر از گرده اول است. اگر علامت چهارم ۲ باشد موارد استعمال الکتروود با با جریان مسقیم یا متناوب می‌باشد. نفوذ جوش متوسط و درجه سختی جوش کمی کمتر از دو گروه قبل می‌باشد. نمای ظاهری آن محدب

است. اگر علامت چهارم ۳ باشد این الکتروود را می‌توان با جریان متناوب یا جریان مستقیم به کار برد. درجه سختی گرده جوش این الکتروود کمتر از دو گرده اول و دوم و کمی بیشتر از گرده سوم می‌باشد و نیز در دارای قوس الکتریکی خیلی آرام و نفوذ کم و شکل مهره‌های آن در درزهای شکل محدب می‌باشد. اگر علامت چهارم ۴ باشد این الکتروود را می‌توان با جریان مستقیم یا متناوب به کار برد. موارد استعمال این الکتروود برای شکاف‌های عمیق یا در جایی که چندین گرده جوش به روی هم لازم است می‌باشد. چنانچه علامت آخر ۵ باشد مشخصه این علامت این است که فقط جریان مستقیم مورد استفاده قرار می‌گیرد و موارد استعمال آن در شکاف‌های باز و عمیق است. درجه سختی گرده جوش این الکتروود کم و دارای قوس الکتریکی آرامی است و پوشش شیمیایی آن از گروه پوشش الکتروودهای بازی است. چنانچه علامت آخر ۶ باشد خواص و مشخصه آن مطابق گروه قبل است با این تفاوت که با جریان متناوب مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۴.۲. میز مخصوص جوشکاری

میز مخصوص جوشکاری مجهز به گیره و بازویی است که می‌تواند قطعات کوچک مورد جوشکاری را در وضعیت دل‌خواه نگه دارد. این ابزار سبب سهولت در انجام کار و همچنین افزایش سرعت جوشکاری می‌گردد.



شکل ۱۲- نمونه‌ای از میز جوشکاری

۴.۳. سیستم تهویه

در ایستگاه‌های جوشکاری به منظور تهویه و تخلیه دود و گرد و غبارهای ناشی از جوشکاری، از یک سیستم مکنده استفاده شده تا ریه‌های جوشکار در اثر استنشاق گازهای سمی ناشی از جوشکاری و دیگر آلاینده‌های موجود در محیط، آسیب نبیند.

۴.۴. گیره‌ها و دیگر ابزارها

اتصالات و الکتروودگیرها نیز با ساختمان‌های متفاوت طراحی شده‌اند و فنر الکتروودگیر را نباید حرارت داد و بهتر است وقتی الکتروود به طول ۵ سانتی‌متر باقی می‌ماند، آن را تعویض نمود که صدمه به انبر جوشکاری نزند. گیره‌های مختلف اتصال به

میز، جهت اتصال صحیح برای عبور جریان، یکی از موارد مهم در جوشکاری برق می‌باشد. در دنیای صنعتی فعلی مسئله وسایل اندازه‌گیری دقیق بسیار مهم می‌باشد و حتی وسایل اندازه‌گیری الکترونیکی جهت این امر ساخته شده‌اند. ابزارهایی نظیر چکش گل‌زنی، برس سیمی، ماشین سنگ‌زنی، قیود و ابزارهای نگه‌دارنده و گیره‌های کمکی از جمله ابزارهای موجود مورد نیاز در ایستگاه‌های جوشکاری می‌باشند. چکش جوش برای برطرف‌نمودن گل جوش می‌باشد و برس برای تمیز نمودن سطح جوش از گل جوش جهت جوشکاری بعدی است.

۴.۵. قفسه‌ها و صندوقچه‌های نگهداری الکتروود

ایستگاه‌های جوشکاری باید دارای تجهیزاتی برای نگهداری الکتروودها، مانند قفسه‌ها و حامل‌های الکتروود باشند. این قفسه‌ها باید بر اساس اندازه و نوع الکتروودها نام‌گذاری شده و به دور از رطوبت نگهداری شوند.

۴.۶. مشعل‌های جوشکاری

وظیفه مشعل تنظیم اختلاط گاز سوخت و اکسیژن به اندازه معین می‌باشد که آن را با سرعت کمی بیشتر از سرعت احتراق از دهانه خود خارج می‌نماید. مشعل‌ها بر دو نوع می‌باشند: مشعل فشار مساوی و مشعل انژکتوری یا فشار ضعیف. در مشعل انژکتوری اکسیژن با فشار ۳ اتمسفر از سوراخ‌های ریز انژکتور مانند و دایره‌ای خارج شده و گاز سوخت را که در روزنه وجود دارد با خود به‌درون محفظه اختلاط می‌کند و پس از مخلوط شدن به نسبت مساوی از سر مشعل خارج می‌سازد که به مشعل فشار ضعیف یا انژکتوری معروف می‌باشد. در نوع دیگر مشعل فشار مساوی اکسیژن و گاز سوخت با فشار مساوی وارد محفظه اختلاط گردیده و با هم مختلط می‌شوند و هر دستگاه چند لوله اختلاط‌کننده با سر مشعل مربوطه دارد که از استیلین موجود در لوله‌های فشار قوی استفاده کرده و با تعویض سر مشعل شعله‌های مختلفی ایجاد می‌نماید.

۴.۷. رگلاتور

فشار گاز در کپسول اکسیژن در حدود ۱۵۰ اتمسفر و در کپسول استیلین ۱۵ اتمسفر می‌باشد و جوشکاری با این فشارهای زیاد امکان‌پذیر نیست. به این جهت بایستی فشار کپسول را کاهش داده و به فشار گاز تبدیل نمود. فشار گاز با بزرگی و کوچکی سرمشعلی که برای جوشکاری به کار می‌رود تغییر می‌کند و مقدار آن معمولاً برای اکسیژن ۰/۵ الی ۴ اتمسفر و برای استیلین ۰/۲ الی ۱ اتمسفر می‌باشد. فشار گاز در تمام مدت جوشکاری ثابت و یکسان می‌باشد. عمل کاهش و تنظیم فشار گاز کپسول‌ها به وسیله رگلاتور انجام می‌گیرد. رگلاتور از لحاظ ساختمان مکانیکی بر دو نوع است:

- رگلاتور انژکتوری

- رگلاتور سوپاپی

رگلاتورهای انژکتوری بیشتر متداول بوده که بدنه آن از برنج ساخته شده و داخل رگلاتور از چند فنر و یک دیافراگم و انژکتور تشکیل شده است. اگر پیچ تنظیم فشار در جهت عقربه‌های ساعت پیچانده شود فشار کار و در نتیجه مقدار گاز زیاد می‌گردد و اگر گاز مصرف نگردد جریان آن به خودی خود قطع می‌گردد و هم چنین فشار کپسول هر مقدار باشد رگلاتور وظیفه خود را به نحو احسن انجام می‌دهد. رگلاتور سوپاپی نیز دارای اصول کاری مانند رگلاتور انژکتوری می‌باشد با این تفاوت که در آن به جای انژکتور سوپاپ به کار رفته است. اجزا مختلف این رگلاتور نیز مانند رگلاتور انژکتوری می‌باشد و میله سوپاپ آن از فولاد بسیار عالی ساخته می‌شود.

۴.۸. فشارسنج‌ها

یکی از حساس‌ترین قسمت‌های جوشکاری، دستگاه‌های فشارسنج برای اکسیژن و هیدروژن و دیگر گازها می‌باشد. فشارسنج‌های متفاوتی برای اکسیژن - استیلن و سایر گازها پیش‌بینی شده‌اند که در روی کپسول‌ها نصب می‌گردند.

۴.۹. ماشین‌های جوشکاری

ماشین‌های جوشکاری به دو نوع ماشین‌های جوشکاری با جریان مستقیم و متناوب تقسیم می‌شوند که به شرح زیر می‌باشند:

- ماشین‌های جوشکاری با جریان مستقیم ماشین‌هایی می‌باشند که در آن‌ها قوس الکتریکی با جریان مستقیم ایجاد می‌شود.

- ماشین‌های جوشکاری با جریان متناوب ماشین‌هایی می‌باشند که در آن‌ها قوس الکتریکی با جریان متناوب ایجاد می‌شود.

۵. تجهیزات ایمنی مورد نیاز در جوشکاری

رعایت نکات ایمنی، خود یکی دیگر از مشکلات عظیم جوشکاری است، به طوری که انفجار یک کپسول مانند یک بمب می‌تواند جان صدها نفر را به خطر اندازد، در حالی که مثلاً در یک کارگاه تراش و ریخته‌گری، خطرات تا این حد بالا نیستند. کوچک‌ترین بوی گاز ناشی از عدم اتصالات صحیح و اصولی، ممکن است جان عده‌ای را در معرض خطر قرار دهد. وسایل ایمنی در جوشکاری به سه دسته وسایل ایمنی سر، بدن و سیستم تنفسی جوشکار تقسیم می‌شوند.

۵.۱. وسایل ایمنی سر جوشکار

با توجه به وجود اشعه‌های ماوراء بنفش و مادون قرمز موجود در جوشکاری قوس‌الکتریکی و آثار مضر آن‌ها بر پوست و چشم جوشکار و اطراف نزدیک محل جوشکاری، باید از ماسک‌های کلاهی و عینک‌های ایمنی استفاده نمود. این تجهیزات هم‌چنین از سر جوشکار در برابر پاشش و ریزش قطرات مذاب به‌خصوص در هنگام جوشکاری در وضعیت سقفی، محافظت می‌کنند. جوش برق به علت جرقه قوی و اشعه ماوراء بنفش به‌شدت به چشم صدمه‌زده و چندین مرتبه نگاه‌کردن با چشم غیرمسلح کافی است که عوارض و درد چشم را به همراه داشته باشد. جهت رفع این عارضه می‌توان از کمپرس آب سرد و غیره استفاده کرد. شیشه‌های عینکی در جوشکاری برق شماره‌گذاری شده و بر طبق جدول بایستی انتخاب شوند و طوری باشند که به سختی بتوان نور یک چراغ را تشخیص داد. این عینک‌ها به صورت انواع ماسک‌های دستی، صورتی و کلاهی ساخته می‌شوند. برای راحتی کارکردن و نیز کار در محل‌های سخت، از انواع ماسک‌ها با تجهیزات مختلف استفاده می‌گردد. نور شدیدی که به وسیله شعله اکسی‌استیلین تولید می‌شود چنان‌چه با چشم غیرمسلح به آن‌ها نگاه کنیم سبب صدمه‌زدن به بافت‌های چشم می‌گردد. بنابراین باید همیشه یک عینک مناسب با شیشه رنگی که مورد تأیید متخصص است به کار برد و مقدار تیرگی عینک باید طوری باشد که نور به اندازه لزوم جهت دیدن کار از آن عبور کند. چنان‌چه پس از برداشتن عینک از چشم نقاط سفیدی در حال جنب و جوش در برابر چشم دیده شوند نشان‌دهنده آن است که شیشه همه نورهای مضر را جذب نمی‌کند.

۵.۲. وسایل ایمنی بدن جوشکار

استفاده از دست‌کش و پیش‌بند چرمی در هر نوع جوش برق و گاز ضروری است. زیرا ذرات مذاب فلز بر روی بدن و سر و صورت جوشکار پرتاب شده و سبب سوختگی می‌گردد. توجه نمائید به هیچ‌وجه در حین جوشکاری از لباس‌های پشمی استفاده نکنید. استفاده از لباس کار ایمن جهت محافظت از بدن در برابر گدازه‌های داغ، گل جوش، حرارت و همچنین اشعه‌های مضر، ضروری می‌باشد. لباس کارهای از جنس کتان با بافت محکم و رنگ تیره، برای این منظور گزینه بسیار مناسبی می‌باشند. در بعضی موارد، استفاده از دست‌کش‌های تمام چرمی و پیش‌بندهای بلند نیز توصیه می‌گردد.



شکل ۱۳- نمونه‌ای از لباس و کلاه ایمنی

۵.۳. وسایل ایمنی تنفسی

به منظور جلوگیری از استنشاق گردوغبار، دودها و گازهای سمی جوشکاری، از دو روش یا ابزار می‌توان بهره جست. نخست از ماسک‌های فیلتردار و دیگری از هود یا مکنده‌های فشار قوی در نزدیکی محل کار برای تخلیه دود و گرد و غبار و همچنین تهویه مناسب محل جوشکاری.

۶. کنترل کیفیت و بازرسی

طبق طبقه‌بندی، استانداردهای مدیریت کیفیت جوشکاری جزء فرآیندهای ویژه طبقه‌بندی شده‌است که این نشان‌دهنده این است که برای کنترل کیفیت و تضمین کیفیت این فرآیند ویژه می‌باید پیش‌بینی‌های خاصی انجام داد. به این منظور پیش از عملیات جوشکاری تمام پارامترها دخیل در فرآیند شامل مواد اولیه، دستگاه و تنظیمات آن، مواد مصرفی و جوشکار بر طبق استاندارد ایزو ۳۸۳۴ مورد ارزیابی و بررسی و تایید قرار می‌گیرند.

به منظور حصول جوشی با کیفیت و عاری از عیب، کلیه عوامل جوشکاری باید در مراحل متعددی مورد بازرسی و کنترل قرار گیرند. در صورت انجام این امر توسط ناظران و یا بازرسان کنترل کیفیت جوش، می‌توان تا حد زیادی از بروز عیوب در پایان کار جلوگیری به عمل آورد و هزینه‌های تعمیر، رفع عیوب و دوباره کاری‌ها را به حداقل رساند. مراحل بازرسی در جوشکاری به سه بخش تقسیم می‌شوند:

- بازرسی قبل از شروع کار
- بازرسی در حین انجام کار
- بازرسی پس از اتمام کار

۶.۱. بازرسی قبل از شروع کار

این فرآیند به منظور مهیا ساختن مقدمات جوشکاری صورت پذیرفته و شامل مراحل زیر می‌باشد:

- مطالعه و بررسی نقشه‌ها و مشخصات فنی و استانداردهای مرتبط با آنها
- انتخاب و ارزیابی روش جوشکاری مبتنی بر استاندارد و مطابق نقشه‌ها و مشخصات کار
- انتخاب مصالح و مواد مصرفی و بررسی و تست آنها برای اطمینان بیشتر و نهایی
- بررسی تجهیزات جوشکاری نظیر دستگاه‌های جوشکاری و برش، کابل‌ها، شیلنگ‌ها، کپسول‌ها، اتصالات، قیدها و بندها و غیره
- بررسی ایمنی محل و تجهیزات جوشکاری
- انجام تست مهارت

۶.۲. بازرسی در حین انجام کار

پس از حصول اطمینان و تایید نهایی مراحل بازرسی قبل از شروع کار که بدان پرداخته شد، مرحله بعدی بازرسی در حین انجام کار باید صورت پذیرد که به شرح زیر می‌باشد:

- بازرسی قطعات و اتصالات آماده شده، بازرسی جهت حصول اطمینان از عدم وجود آلودگی و کثیفی
- بازرسی شکل و ابعاد درزها و شیارها و نحوه فیت شدن و وضعیت استقرار آنها نسبت به یکدیگر با توجه به نقشه
- بازرسی طرز قرار گرفتن قطعات در موقعیت‌های مورد نظر و همچنین قیدها و گیره‌های نگهدارنده آنها
- چک کردن ابعاد پشت‌بندها و قرارگرفتن صحیح آنها در محل خود
- چک کردن جوش‌های موقتی، گیره‌ها، قیدها و قطعات تقویتی بر اساس و مطابق قواعد فنی مربوطه
- تایید صلاحیت جوشکار در هر مرحله با استفاده از آزمایش و تایید جوشکاری انجام شده

۶.۳. بازرسی پس از اتمام کار

این نوع بازرسی به شیوه‌های مختلفی مانند آزمون تست‌های غیرمخرب صورت می‌پذیرد. تست‌های غیرمخرب به تست‌هایی اطلاق می‌شود که بدون تخریب یا تغییر در خواص فلز جوش یا قطعه کار صورت می‌پذیرند.

۶.۳.۱. بازرسی چشمی^{۲۷}

بازرسی چشمی از رایج‌ترین و مهم‌ترین روش‌های بازرسی غیرمخرب برای مواد خام، محصولات در حال ساخت و محصولات ساخته شده می‌باشد. در این روش ابتدا با برس سیمی سطح را از سرباره و پوسته پاک می‌کنند چرا که این کار از پیش شرط-های بازرسی چشمی است و سطح جوش باید به وضوح دیده شود. برای این کار می‌توان از ذره‌بینی با بزرگنمایی در حدود ۱۰ برابر استفاده نمود. انواع عیوبی که می‌توان با چشم مشاهده نمود عبارتند از:

- عیوب سطحی جوش مانند ترک‌های سطحی، تخلخل سطحی، بریدگی کناره‌های جوش، سوختگی فلز مبنا، سنگ-زدن اضافی و جوش‌های غیریکنواخت
 - نادرستی شکل و انحرافات در اندازه جوش
 - تغییر شکل‌های ناشی از جوشکاری مانند تابیدگی و موج‌دار شدن و کمانش و غیره
- در این بازرسی تنها عیوب ماکروسکوپی قابل تشخیص می‌باشند.

۶.۳.۲. آزمایش با مایع نافذ^{۲۸}

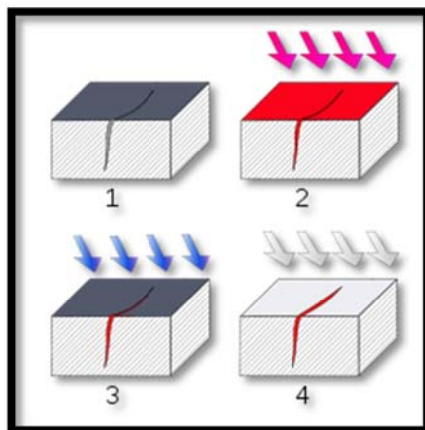
این روش برای ترک‌های زیرسطحی که به چشم نمی‌آیند مورد استفاده قرار می‌گیرد. روی درز جوش را با قلم مو به مایع رنگینی که عموماً قرمز می‌باشد و خاصیت نفوذ زیادی داشته باشد، آغشته می‌نمایند. این مایع حتی در ترک‌های خیلی ریز و سطوح متخلخل نیز نفوذ می‌کند. مدتی قطعه مورد آزمایش را به حال خود می‌گذارند تا مایع در تمام سوراخ‌ها و ترک‌های گرده جوش خوب نفوذ کند. بعداً اضافه مایع را پاک می‌کنند، چنان‌چه گرد یا گچ را روی سطح بپاشیم ترک‌ها و سوراخ‌ها بهتر دیده می‌شوند. ضمناً چون مایع قابلیت نفوذ خوبی دارد از ترک‌ها و سوراخ‌ها نفوذ کرده و نقاطی را در طرف دیگر جوش نشان می‌دهد. این آزمایش را می‌توان برای تمام فلزات انجام داد. انواع متداول مایعات نافذ عبارتند از:

- نفت سفید که از پودر گچ به عنوان ظاهرکننده در آن استفاده می‌شود.

²⁷ Visual test

²⁸ Penetrant test

- رنگ‌های نافذ (عموما قرمز) که در نور معمولی و با چشم غیرمسلح قابل رویت می‌باشند.
- نافذهای فلورسنت که توسط نور ماوراء بنفش قابل رویت می‌باشد.



شکل ۱۴- مراحل آزمایش مایع نافذ

۶.۳.۳. آزمایش مغناطیسی جوش ۲۹

براده یا پودر آهن را با پارافین مخلوط کرده روی گرده جوش می‌مالند. قطعه کار را در یک حوزه مغناطیسی قوی قرار می‌دهند. چنانچه سطح جوش ترک‌خوردگی داشته باشد ذرات ریز براده‌های آهن در لبه‌های ترک جمع شده و مانند تارمویی سیاه به چشم می‌خورند. گاهی از پودرهای مخصوص برای آزمایش مغناطیسی استفاده می‌کنند. باید دقت کرد که سطح جوش کاملاً صاف و تمیز باشد تا از آزمایش نتیجه خوب به دست آید. روش دیگر آزمایش مغناطیسی این است که موم را توسط کاغذ مومی روی کار مالیده و براده‌های آهن را روی کار می‌پاشند. مغناطیس را به آن نزدیک کرده تمرکز براده‌های آهن محل ترک یا تفاله محبوس‌شده را نشان می‌دهد. مزیت این روش نسبت به روش‌های دیگر این است که سطح کار احتیاج به صاف‌کردن گرده جوش ندارد. آزمایش مغناطیسی فقط ترک‌های سطحی را نشان می‌دهد و برای فلزاتی که خاصیت مغناطیسی دارند استفاده می‌شود.

۶.۳.۴. بازرسی با امواج التراسونیک

در این آزمایش امواج التراسونیک را که به وسیله دستگاه مخصوص ایجاد می‌شود از محل جوش عبور می‌دهند و چنانچه در مسیر امواج ترک یا مک یا سرباره‌های جوش وجود داشته باشد دستگاه محل آن را نشان می‌دهد و درحالی که در نقاطی که جوش سالم است امواج گذشته و منعکس نمی‌شود.

۶.۳.۵. رادیوگرافی

قطعه جوش داده را مقابل اشعه ایکس یا گاما قرار داده و پشت محل جوش داده شده را کاغذ عکاسی قرار می‌دهند (مانند عکسبرداری‌های طبی). در موقع عبور اشعه از محل جوش چنانچه ترک یا درز وجود داشته باشد روی کاغذ حساس عکاسی کاملاً مشخص می‌شود زیرا اشعه ایکس و گاما از غالب اشیاء عبور می‌نمایند. برای این منظور دستگاهی مفصل پیش‌بینی شده است.

۷. عیوب متداول در جوشکاری

پیچیدگی^{۳۰} و تغییر ابعاد یکی از مشکلاتی است که در اثر اشتباه طراحی و تکنیک عملیات جوشکاری ناشی می‌شود. با فرض اجتناب از ورود به مباحث تئوریک تنها به این مورد اشاره می‌کنیم که حین عملیات جوشکاری به دلیل عدم فرصت کافی برای توزیع یکنواخت بار حرارتی داده شده به موضع جوش و سرد شدن سریع محل جوش انقباضی که می‌بایست در تمام قطعه پخش می‌شد به ناچار در همان محدوده خلاصه می‌شود. این انقباض اگر در محلی باشد که از نظر هندسی قطعه زاویه-دار باشد منجر به اعوجاج زاویه‌ای^{۳۱} می‌شود. در نظر بگیرید تغییر زاویه‌ای هر چند کوچک در قطعات بزرگ و طویل چه ایراد اساسی در قطعه نهایی ایجاد می‌کند. حال اگر خط جوش در راستای طولی و یا عرضی قطعه باشد اعوجاج طولی و عرضی نمایان می‌شود. اعوجاج طولی و عرضی همان کاهش طول قطعه نهایی می‌باشد. این موارد هم بسیار حساس و مهم هستند. نوع دیگری از اعوجاج تاول زدن یا طبله کردن می‌باشد. بهترین راه برای رفع این ایراد جلوگیری از بروز آن می‌باشد.

بعضی راهکارهای مقابله با اعوجاج عبارتند از:

- اندازه ابعاد را کمی بزرگ‌تر انتخاب کرده و بگذاریم هر چقدر که می‌خواهد در ضمن عملیات تغییر ابعاد و پیچیدگی در آن ایجاد شود. پس از خاتمه جوشکاری عملیات خاص نظیر ماشین‌کاری، حرارت‌دادن موضعی یا پرسکاری برای برطرف کردن تاب برداشتن و تصحیح ابعاد انجام می‌گیرد.
- حین طراحی و ساخت قطعه با تدابیر خاصی اعوجاج را خنثی کنیم.
- از تعداد جوش کمتر با اندازه کوچک‌تر برای بدست آوردن استحکام مورد نیاز استفاده شود.
- تشدید حرارت و تمرکز آن بر حوزه جوش. در این صورت نفوذ بهتری داریم و نیازی به جوش اضافه نیست.

³⁰ Torsion

³¹ Angular distortion

- ازدیاد سرعت جوشکاری که باعث کمتر حرارت دیدن قطعه می‌شود.
 - در صورت امکان بالا بردن ضخامت چرا که در قطعات با ضخامت کم، اعوجاج بیشتر نمود دارد.
 - تا حد امکان انجام جوش در دو طرف کار حول محور خنثی انجام شود.
 - طرح مناسب لبه مورد اتصال می‌تواند تا حد زیادی از میزان اعوجاج بکاهد.
 - بکار بردن گیره و بست و نگه‌دارنده برای مهار کردن انبساط و انقباض ناخواسته در قطعه
- عوامل مهم بوجود آمدن اعوجاج عبارتند از:
- حرارت موضعی، شدت منبع حرارتی و روشی که این حرارت به کار رفته و هم‌چنین نحوه سرد شدن.
 - درجه آزادی یا ممانعت بکار رفته برای جلوگیری از تغییرات انبساطی و انقباضی.
 - تنش‌های پسماند قبلی در قطعات و اجزا مورد جوش گاهی اوقات موجب تشدید تنش‌های ناشی از جوشکاری شده و در مواردی مقداری از این تنش‌ها را خنثی می‌کند.
 - خواص فلز قطعه کار

مراجع

- [۱]: روبرت اچ تاد- ترجمه مهندس اکبر شیرخورشیدیان، فرآیندهای تولید، نشر طراح، سال ۱۳۹۰
- [۲]: پویا نجم سهیلی- فرزاد نجم سهیلی، تکنولوژی روش‌های جوشکاری، نشر فدک ایساتیس، سال ۱۳۹۰
- [۳]: فریبرز ناطق‌الهی- عباس رستمی، آزمایش‌های غیرمخرب، انتشارات نوپردازان، سال ۱۳۸۸
- [۴]: وبسایت رسمی انجمن جوشکاری و آزمایش‌های غیرمخرب ایران به آدرس: www.iwnt.com
- [۵]: وبسایت رسمی انجمن صنفی مهندسين جوش ايران به آدرس: www.wes.ir