iiw
iis

مرکز پژوهش و مهندسی جوش ایران

تابع سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران

مجموعه ۱: فرآیندها و تجهیزات جوشکاری

جوشکاری با قوس زیر پودری

مجموعه منابع تخصصی مهندسی جوش

۱۵

مجموعه منابع تخصصی مهندسی جوش

مرکز پژوهش و مهندسی جوش ایران

- **مجموعه ۱ : فرآیندها و تجهیزات جوشکاری**
- **جلد ۱۰ : جوشکاری با قوس زیر پودری**

(SAW)

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

مجموعه منابع تخصصی مهندسی جوش

مرکز پژوهش و مهندسی جوش ایران

کمیته راهبری و نظارت :

عباس زارعی هنزکی

فریبا نصرتی

امید گل محله

محمود پارسا

کورش قدر قدر جهرمی

گروه تدوین و گردآوری :

مسعود وطن آرا

محمدرضا وطن آرا

میثم حق شناس

گروه بازخوانی علمی :

رامز وقار

عباس زارعی هنزکی

پیش‌گفتار

جوشکاری یکی از مهمترین فرایندهای ساخت و تولید در صنعت می‌باشد و در صنایع مختلف نظیر خودرو سازی، نفت و گاز، پتروشیمی، تأسیسات و ساختمان و پل‌ها، حمل و نقل، کشتی سازی، صنایع ریلی، نیروگاه‌ها، صنایع دفاعی و هوا و فضا، محصولات پزشکی، 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)[1] نمودند. بعدها با حضور نمایندگان کشورهای صنعتی نظیر آمریکا و ژاپن و به‌دنبال آن کشورهای در حال توسعه، سازمان جدیدی تحت عنوان انستیتو بین‌المللی جوش(IIW) [2] تاسیس گردید. در حال حاضر انستیتو بین‌المللی جوش در تمام کشورهای عضو از جمله ایران دارای نماینده‌ای می‌باشد. این نماینده علاوه بر وظیفهٔ 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)[3] در ایران و اولین مرکز آموزش معتبر بین المللی

۱-European Welding Federation

۲-International Institute of Welding

۳-Authorized National Body

جوش در سطح کشور(ATB)[1] ، اقدام به چاپ مجموعه کتابهای آموزش تخصصی جوش و برش در سطح مهندسی بین‌المللی جوش(IWE)[2] نموده‌است.

گردآوری و تالیف این مجموعه کتابها بر اساس راهنمای انستیتو بین‌المللی جوش، در خصوص آموزش‌های هماهنگ جهانی، تحت عنوان Doc.IAB ـ ۰۰۲ ـ ۲۰۰۰/EWF ـ ۴۰۹ Rev.۲/Copyright ۲۰۰۵، بوده است و تلاش شده است تا استاندارد آموزشی انستیتو بین‌المللی جوش بر مبنای داشتن خصوصیات زیر در آنها تحقق یابد: ۱- جامع بودن و در 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 جزوهٔ ۱۰ـ ۱ در راهنمای Doc.IAB ـ ۰۰۲ ـ ۲۰۰۰/EWF ـ ۴۰۹ Rev.۲ انستیتو بین‌المللی جوش، در خصوص **جوشکاری با قوس زیر پودری (SAW)** ، تدوین شده است. همچنین مطالبی فراتر از مفاد جزوهٔ مذکور، جهت تکمیل شدن هر چه بیشتر مبحث، در این کتاب ارائه شده است و به‌عنوان مرجعی جامع و معتبر برای تمامی کسانی‌که در حال گذراندن دوره‌های مختلف جوش می‌باشند، توصیه می‌شود.

بدیهی است پیشنهادات و انتقادات سازندهٔ 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 ـ مقدمه ۱
۲ ـ شرح فرآیند ۱
۳ ـ تجهیزات ۳
۳ـ۱ـ منبع نیرو(منبع تغذیه) ۳
۳ـ۱ـ۱ـ منابع نیروی جریان مستقیم با ولتاژ ثابت ۳
۳ـ۱ـ۲ـ منابع نیروی جریان مستقیم با شدت جریان ثابت ۴
۳ـ۱ـ۳ـ منابع نیروی ترکیبی با خروجی انتخابی CV/CC ۵
۳ـ۲ـ سیستم کنترل ۷
۳ـ۳ـ سَری و مشعل جوشکاری ۸
۳ـ۴ـ تجهیزات کمکی ۹
۳ـ۴ـ۱ـ تجهیزات حمل و نقل ۹
۳ـ۴ـ۲ـ واحدهای بازیابی فلاکس ۱۰
۳ـ۴ـ۳ـ نگهدارنده‌ها و تثبیت کننده‌ها ۱۱
۴ ـ مواد مصرفی ۱۱
۴ـ۱ـ سیم‌جوش‌ها و پودرهای جوشکاری زیرپودری ۱۲
۴ـ۱ـ۱ـ سیم‌جوش‌های جوشکاری زیرپودری ۱۲
۴ـ۱ـ۲ـ پودرهای جوشکاری برای جوشکاری زیرپودری ۱۵
۴ـ۱ـ۳ـ تقسیم‌بندی پودرهای جوشکاری زیرپودری بر حسب طریقهٔ تولید ۱۷
۴ـ۱ـ۴ـ اثر خواص پودرها بر عملکرد و نتایج فرآیند جوشکاری ۲۰
۴ـ۱ـ۵ـ تقسیم‌بندی پودرهای جوشکاری زیرپودری بر اساس درجهٔ قلیایی بودن(BI) ۲۵
۴ـ۱ـ۶ـ تقسیم‌بندی پودرهای جوشکاری زیرپودری بر اساس تشکیل دهنده های اصلی آن‌ها ۲۷
۴ـ۲ـ توزیع و اندازهٔ ذرات ۳۲
۴ـ۳ـ مبنای انتخاب پودر جوشکاری ۳۴
۴ـ۴ـ بسته بندی و نگه داری مواد مصرفی جوشکاری زیرپودری ۳۷
۴ـ۵ـ طبقه‌بندی سیم و پودرهای جوشکاری زیرپودری مطابق استاندارد AWS:A۵,۱۷ ..... ۳۸
۴ـ۶ـ طبقه‌بندی سیم و پودرهای جوشکاری زیرپودری، مطابق استاندارد E۷۶۰ ..... ۴۱
۵ ـ متغیرهای فرآیند ۴۴
۵ ـ۱ـ شدت جریان الکتریکی ۴۴
۵ ـ۲ـ ولتاژ جوشکاری ۴۵
۵ ـ۳ـ اثر سرعت جوشکاری ۴۵
۵ ـ۴ـ اندازه الکترود ۴۶
۵ ـ۵ـ طول موثر الکترود ۴۷

۵ ـ۶ـ پهنا و عمق فلاکس ۴۸
۵ ـ۷ـ اثر متغیرهای جوشکاری بر روی نرخ ذوب، عمق نفوذ و درجه رقت ۴۹
۶ ـ تکنیک‌های فرآیند جوشکاری با قوس زیر پودری ۵۱
۶ـ۱ـ جوشکاری نیمه اتوماتیک ۵۱
۶ـ۲ـ جوشکاری اتوماتیک ۵۲
۶ـ۳ـ جوشکاری ماشینی ۵۲
۷ـ انواع اتصالات ۵۲
۷ـ۱ـ جوش های شیاری ۵۳
۷ـ۲ـ جوش‌های گوشه ۵۳
۷ـ۳ـ جوش‌های انسدادی ۵۳
۷ـ۴ـ جوش‌های سطحی ۵۴
۸ ـ دستورالعمل جوشکاری قوس زیرپودری ۵۴
۸ـ۱ـ طراحی اتصال و آماده سازی لبه ۵۴
۸ـ۲ـ مونتاژ کردن اتصال ۵۵
۸ـ۳ـ پشتی جوش ۵۵
۸ـ۴ـ نگهدارنده ها ۵۹
۸ـ۵ـ شیب قطعه ۵۹
۸ـ۶ـ اتصالات کابل قطعه کار ۶۱
۸ـ۷ـ روش‌های برقراری قوس ۶۲
۸ـ۸ـ قطع قوس ۶۴
۸ـ۹ـ موقعیت الکترود (محل قرارگیری الکترود) ۶۴
۸ـ۱۰ـقطعات اضافی شروع و پایان ۶۷
۸ـ۱۱ـ جوشکاری محیطی ۶۸
۸ـ۱۲ـ جداسازی سرباره ۶۹
۹ـ روش های مختلف جوشکاری قوس زیرپودری ۶۹
۹ـ۱ـ جوشکاری تک الکترودی ۷۰
۹ـ۲ـ جوشکاری شیار باریک ۷۱
۹ـ۳ـ جوشکاری چند الکترودی ۷۱
۹ـ۳ـ۱ـ فرآیند زیر پودری جفت الکترودی ۷۲
۹ـ۳ـ۲ـ فرآیند جوشکاری زیرپودری با الکترودهای متوالی ۷۲
۹ـ۳ـ۳ـ فرآیند قوسی سه تایی پشت سر هم ۷۳
۹ـ۴ـ اضافه کردن سیم سرد ۷۴
۹ـ۵ـ اضافه کردن سیم گرم ۷۵

Authorized National Body

۹ـ۶ـ اضافه کردن پودرفلز ۷۵
۹ـ۷ـ عملیات سطحی با استفاده از جوشکاری ۷۷
۹ـ۸ـ فولادهای پوشش‌دار ۷۹
۱۰ـ عیوب جوشکاری در فرآیند جوشکاری با قوس زیر پودری ۸۰
۱۰-۱-مشکل تخلخل ۸۰
۱۰-۲-ترک خوردگی ۸۱
۱۱ـ مزایا و محدودیت های روش جوشکاری قوس زیرپودری ۸۲
۱۲ـ کاربردهای کلی فرآیند ۸۴
۱۳ ـ توصیه های ایمنی ۸۴
مراجع ۸۶

Authorized National Body

۱ـ مقدمه

در جوشکاری قوس زیرپودری[۱] دو قطعه فلزی به واسطهٔ حرارت قوسی که بین الکترود و قطعهٔ کار برقرار می‌شود به هم متصل می‌شوند. در این فرآیند قوس الکتریکی، تحت پوشش فلاکس یا پودر مخصوص پنهان می‌شود؛ همچنین در این فرآیند از اعمال فشار استفاده نمی‌شود و از الکترود و گاهی قطعه فلز کمکی یا سیم‌جوش، به عنوان فلز پرکننده استفاده می‌گردد.

فلاکس مذاب(سرباره) تاثیرات الکتریکی، فیزیکی و متالورژیکی زیر را بر روی خصوصیات فرآیند قوس زیرپودری دارد:

۱- پایدار کردن قوس؛

۲- کنترل خواص مکانیکی و شیمیایی جوش نهایی؛

۳- محافظت از نوک الکترود و حوضچهٔ جوش از تماس با اتمسفر هوا؛

۴- کنترل شکل باند یا گردهٔ جوش؛

جوشکاری قوس زیرپودری یکی از گسترده‌ترین فرآیندهای جوشکاری است که توسط آن می‌توان با جریان متناوب(AC) یا مستقیم(DC) با شدت جریان حداکثر ۲۰۰۰ آمپر و با استفاده از یک یا چند سیم یا نوار فلز پرکننده،جوشکاری نمود. این فرآیند قابلیت استفاده از جریان متناوب و یا مستقیم را در هر شرایطی و برای هر قطعه‌ای دارا می‌باشد[۱].

۲ـ شرح فرآیند

در این فرایند جریان الکتریکی حاصل از ژنراتور، ترانسفورماتور رکتیفایر و یا ترانسفورماتور، از طریق لولهٔ اتصالی[۲] و سیم‌جوش به قوس و قطعهٔ کار هدایت می‌شود. قوس الکتریکی توسط یکی از روش‌هایی، که در ادامه مورد بررسی قرار خواهند گرفت، ایجاد می‌شود. حرارت ناشی از ایجاد قوس، الکترود، موضع جوش و فلاکس را ذوب کرده و حوضچهٔ جوش به وجود می‌آید.

در انواع این فرآیند توسط دستگاه، به طور خودکار و مداوم، سیم از میان لولهٔ اتصال و لایهٔ پودر عبور داده شده و به طرف حوضچهٔ جوش هدایت می‌شود و پس از ذوب، در طول درز اتصال رسوب می‌کند. در جوشکاری اتوماتیک، ممکن است قطعه در زیر تغذیه‌کنندهٔ سیم حرکت داده شود.

۱-Saw

۲-Guide.Nozzle

Authorized National Body

در هنگام جوشکاری قوس زیرپودری، پودر جوش در مقابل و کنار قوس به صورت پیوسته توزیع می‌شود. حرارت ایجاد شده توسط قوس، قسمتی از فلاکس، نوک سیم‌جوش و موضع اتصال قطعهٔ کار را ذوب کرده و در نتیجه حوضچه‌ای از فلز مذاب تشکیل می‌شود که روی آن توسط لایه‌ای از سربارهٔ مذاب پوشیده شده است. این حوضچهٔ مذاب در نزدیکی قوس به شدت متلاطم است؛ در نتیجه حباب‌های گاز به سرعت به سطح حوضچهٔ جوش می‌آیند و فلاکس مذاب روی سطح فلز مذاب شناور می‌شود و بدین وسیله منطقهٔ جوش کاملاً از اتمسفر هوا محافظت می‌شود. با اینکه فلاکس مذاب می‌تواند جریان الکتریکی را از بین الکترود و فلز پایه اندکی عبور دهد اما همچنان منبع اصلی حرارت، قوس الکتریکی است. بستر فلاکس مذابی که بر روی سطح حوضچهٔ جوش تشکیل می‌شود، ناخالصی‌های موجود در فلز پایه و الکترودها را حل کرده و آن‌ها را روی سطح، شناور می‌سازد. همچنین از طریق فلاکس مذاب می‌توان ترکیبات نامطلوب را از فلز جوش حذف، و یا عناصر آلیاژی را به آن اضافه کرد. پس از جوشکاری و انجماد جوش، قسمتی از فلاکس که ذوب نشده است، توسط دستگاه یا به صورت دستی جمع‌آوری می‌شود و بخشی از آن که ذوب شده به صورت قشر شیشه‌ای شکل بر روی جوش باقی می‌ماند که به وسیلهٔ چکش به صورت لایه‌ای از روی جوش جدا می‌شود. حذف این لایهٔ سرباره از روی درز جوش به خصوص در جوشکاری چند پاسه، بسیار مهم بوده و در هر مرحله باید به صورت کامل انجام شود.

عواملی که استفاده یا عدم استفاده از روش جوشکاری قوس زیرپودری را تعیین می‌کنند عبارتند از:

۱- ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی مورد نیاز برای اتصال نهایی؛
۲- ضخامت فلز پایه؛
۳- در دسترس بودن محل اتصال؛
۴- موقعیت ایجاد جوش؛
۵- حجم جوش مورد نظر[۱].

Authorized National Body

۳ ـ تجهیزات

تجهیزات مورد نیاز در روش جوشکاری قوس زیرپودری(روش SAW) عبارتند از:

۱ـ منبع نیرو، ۲ـ سیستم تغذیهٔ الکترود، ۳ـ سیستم توزیع فلاکس، ۴ـ سیستم تنظیم حرکت، ۵ـ سیستم کنترل فرآیند. سیستم بازیابی فلاکس ذوب نشده نیز می‌تواند به عنوان یکی از تجهیزات جانبی مورد استفاده قرار گیرد[۱].

۳ـ۱ـ منبع نیرو(منبع تغذیه)

منبع نیروی مورد استفاده در جوشکاری قوس زیرپودری، نقش مهمی را ایفا می‌کند. انواع مختلفی از منابع نیرو برای کاربرد در روش SAW مناسب هستند. منبع نیروی جریان مستقیم(DC) می‌تواند یک ترانسفورماتور ـ رکتیفایر یا یک ژنراتور موتوری با ولتاژ ثابت(CV) یا جریان ثابت(CC) و یا خروجی انتخابی(CV/CC) باشد. منابع نیروی جریان متناوب(AC) معمولاً از نوع ترانسفورماتور هستند و قادر به ایجاد موج خروجی جریان ثابت(CC) یا ولتاژ ثابت(CV) می‌باشند. از آنجا که جوشکاری قوس زیرپودری، به طور کلی فرآیندی با جریان بالا و چرخهٔ کارکرد بالا است، استفاده از منبع نیرو با توانایی ایجاد شدت جریان بالا در ۱۰۰٪ چرخهٔ کارکرد پیشنهاد می‌شود[۱].

۳ـ۱ـ۱ـ منابع نیروی جریان مستقیم با ولتاژ ثابت

منابع نیروی جریان مستقیم با ولتاژ ثابت، هم به صورت ترانسفورماتور ـ رکتیفایر و هم به صورت ژنراتور موتوری وجود دارند. این منابع می‌توانند شدت جریانی بین ۴۰۰ A تا ۱۵۰۰ A تولید کنند.

در جوشکاری قوسی با الکترود مغزدار[۱] و جوشکاری قوس فلزی با حفاظت گازی[۲] می‌توان از منابع نیروی کوچکتری نیز استفاده کرد. این منابع نیرو در جوشکاری قوس زیرپودری نیمه اتوماتیک با شدت جریان ۳۰۰ A تا ۶۰۰ A با الکترودهایی با قطر $\frac{۱}{۱۶}$ ، $\frac{۵}{۶۴}$ ، $\frac{۳}{۳۲}$ اینچ(۱/۶، ۲، ۲/۴ میلی‌متر) به کار می‌روند. جوشکاری اتوماتیک در بازهٔ شدت جریان ۳۰۰ A تا بیش از ۱۰۰۰ A و با سیم جوش هایی با قطر $\frac{۳}{۳۲}$ تا $\frac{۱}{۴}$ اینچ (۲/۴ تا ۶/۴ میلی‌متر) انجام می‌شود. با این وجود

۱-FCAW

۲-GMAW

Authorized National Body

کاربرد جریان مستقیم(DC) با شدت جریان بیش از ۱۰۰۰ A محدود است زیرا ممکن است با این شدت جریان بالا، وزش قوس اتفاق بیفتد.

در برخی منابع نیروی ولتاژ ثابت(CV) قدیمی،حداقل دانسیتهٔ مفید جریان در حدود $۴۰۰۰۰ \frac{A}{in^2}$، ($۶۲ \frac{A}{mm^2}$) بر پایهٔ قطر الکترود است. در دانسیتهٔ جریان کمتر، قوس ناپایدار می‌شود. با این وجود این مشکل در منابع نیروی جدیدتر رفع شده و پایداری قوس دردانسیتهٔ جریان $۱۵۰۰۰ \frac{A}{in^2}$ ($۲۳ \frac{A}{mm^2}$) نیز حفظ می‌شود.

منابع نیروی ولتاژ ثابت(CV) خود تنظیم[۱] هستند، در نتیجه همراه با این منابع می‌توان از یک تغذیه کنندهٔ سیم با سرعت ثابت استفاده کرد. برای حفظ پایداری قوس نیازی به حس‌گرهای ولتاژ یا جریان وجود ندارد، در نتیجه می‌توان از یک کنترل کنندهٔ نرخ تغذیهٔ سیم‌جوش ساده استفاده کرد. جریان قوس، توسط نرخ تغذیهٔ سیم‌جوش و قطر آن و ولتاژ قوس، توسط منبع نیرو کنترل می‌شود.

منابع نیروی ولتاژ ثابت(CV) با جریان مستقیم(DC) متداول‌ترین منابع نیرو در جوشکاری قوس زیرپودری هستند و در اغلب کاربردهایی که به شدت جریان بیش از ۱۰۰۰ A نیاز نیست، به خوبی عمل می‌کنند و ممکن است در شدت جریان‌های بیشتر نیز مشکلی به همراه نداشته باشند. منابع نیروی با خروجی انتخابی(CV/CC) بهترین انتخاب برای جوشکاری ورق‌های فولادی، با سرعت بالا هستند[۱].

۳ـ۱ـ۲ـ منابع نیروی جریان مستقیم با شدت جریان ثابت

منابع نیروی جریان مستقیم(DC) با شدت جریان ثابت، هم به صورت ترانسفورماتور ـ رکتیفایر و هم به صورت ژنراتور موتوری وجود دارند که جریان خروجی آن‌ها تا ۱۵۰۰ A می‌رسد. برخی منابع نیروی جریان مستقیم با شدت جریان ثابت را می‌توان برای جوشکاری قوسی الکترود تنگستن با گاز محافظ خنثی[۲]، جوشکاری قوس الکترود دستی[۳] و برشکاری با قوس کربنی نیز به کار برد. کاربردهای منابعنیروی جریان مستقیم با شدت جریان ثابت، به استثنای جوشکاری فولاد نازک با سرعت بالا، مشابه کاربردهای منابع نیروی جریان مستقیم با ولتاژ ثابت می‌باشند. منابع با شدت جریان ثابت(CC)، خود تنظیم نیستند و در نتیجه کنترل سرعت تغذیهٔ سیم باید توسط حس‌گر ولتاژ صورت گیرد. این

۱-Self -Regulating
۲-GTAW
۳-SMAW

Authorized National Body

حس‌گرها، سرعت تغذیهٔ سیم را بنا بر تغییرات ولتاژ قوس تنظیم می‌کنند و ولتاژ برای حفظ طول قوس ثابت ، تنظیم می‌شود. در این سیستم ولتاژ قوس به قطر سیم‌جوش و سرعت تغذیهٔ آن بستگی دارد و منبع نیرو جریان قوس را کنترل می‌کند.

کنترل کننده‌های سرعت تغذیهٔ سیم‌جوش، که حساس به ولتاژ هستند، نسبت انواع سادهٔ آن، که در سیستم‌های ولتاژ ثابت(CV) استفاده می‌شوند، پیچیده‌تر بوده و بنابراین گران‌قیمت‌تر می‌باشند[۱].

۳ـ۱ـ۳ـ منابع نیروی ترکیبی با خروجی انتخابی CV/CC

در منابع نیروی ترکیبی با خروجی انتخابی CV/CC، می‌توان شدت جریان ثابت را به ولتاژ ثابت یا بر عکس تغییر داد. انواع متنوعی از این منابع برای استفاده تا شدت جریان ۱۵۰۰ A وجود دارند ولی منابع با شدت جریان کمتر از ۶۵۰ A متداول‌تر هستند. مزیت این منابع نیرو در متنوع بودن موارد کاربرد آن‌هاست و علاوه بر جوشکاری قوس زیرپودری، می‌توان در جوشکاری قوس الکترود دستی، جوشکاری قوسی الکترود تنگستن با گاز محافظ خنثی، جوشکاری قوس فلزی با حفاظت گازی، جوشکاری قوسی با الکترود مغزدار، برشکاری با قوس کربنی و جوشکاری زائده‌ای[۱] نیز از این منابع استفاده کرد[۱].

۳ـ۱ـ۴ـ منابع نیروی جریان متناوب

منابع نیروی جریان متناوب(AC) بیشتر به صورت ترانسفورماتور هستند. این منابع از ۸۰۰ A تا ۱۵۰۰ A در ۱۰۰٪ چرخهٔ کارکرد وجود دارند. اگر شدت جریان بالاتری مورد نیاز باشد، می‌توان این دستگاه‌ها را به صورت موازی به یکدیگر متصل کرد. معمولا منابع نیروی جریان متناوب(AC) از نوع جریان ثابت(CC) هستند.

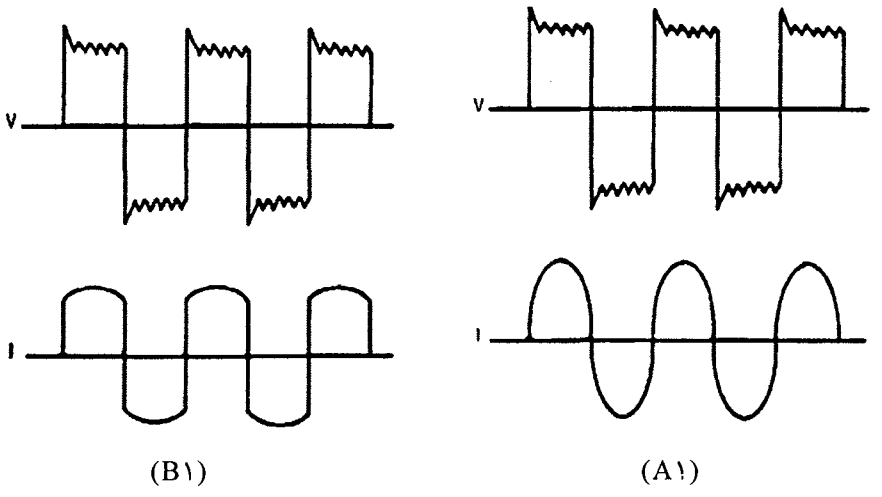
ولتاژ خروجی این منابع به صورت موج مربعی است و جریان خروجی به صورت یک موج سینوسی، که در شکل A۱ـ۱ نشان داده شده است. جریان خروجی این دستگاه‌ها با هر بار عوض شدن قطب‌ها صفر می‌شود؛ لذا ولتاژ بالای مدار باز(بیش از ۸۰V) لازم است تا قوس حفظ شود. حتی در این ولتاژ بالای مدار باز، برای بعضی از فلاکس‌ها، مشکل حفظ قوس وجود دارد. از آنجا که این منابع نیرو از نوع

۱-Stud Welding

جریان ثابت هستند، کنترل‌کننده‌های سرعت باید حساس به ولتاژ و از نوع تغییر دهندهٔ سرعت تغذیهٔ سیم‌جوش باشند.

منبع نیروی جریان متناوب با ولتاژ ثابت با خروجی موج مربعی، نوع تقریباً جدیدی از منابع نیرو است که در آن هم ولتاژ و هم جریان خروجی به صورت موج مربعی هستند. از آنجا که تغییر قطب در موج‌های مربعی ناگهان رخ می‌دهد، همانطور که در شکل B۱ـ۱ نشان داده شده است، مشکل حفظ یا شروع قوس به شدت منابع معمولی جریان متناوب نیست. در نتیجه برخی فلاکس‌ها، که با منابع معمولی جریان متناوب قابل استفاده نیستند، می‌توانند با منابع جریان متناوب با موج مربعی به کار برده شوند. در منابع با موج مربعی، کنترل‌کنندهٔ نسبتاً ساده‌ای برای تثبیت نرخ تغذیهٔ سیم‌جوش، به کار می‌رود زیرا منابع با موج مربعی ولتاژ ثابتی تولید می‌کنند.

متداول‌ترین مصارف منابع نیروی جریان متناوب در جوشکاری قوس زیرپودری، عبارتند از: کاربردهای با شدت جریان بالا، کاربردهای چند سیمی، جوشکاری شیار نازک و کاربردهایی که در آن‌ها خطر وزش قوس وجود دارد.



شکل ۱ : جریان خروجی به صورت موج سینوسی و موج مربعی.

۳ـ۲ـ سیستم کنترل

سیستم‌های کنترلی که در روش SAW نیمه اتوماتیک به کار می‌روند، کنترل کننده‌های سادهٔ سرعت تغذیهٔ سیم‌جوش می باشند. کنترل کننده‌های به کار رفته در منابع نیروی ولتاژ ثابت(CV)، سرعت تغذیهٔ سیم را ثابت نگه می‌دارند و کنترل کننده‌های به کار رفته در منابع جریان ثابت(CC)، ولتاژ قوس را بررسی می‌کنند و سرعت تغذیهٔ سیم را برای ثابت نگه داشتن ولتاژ تغییر می‌دهند.

ساده‌ترین سیستم‌های تغذیهٔ سیم‌جوش دارای یک کنترل آنالوگ هستند که با یک کلید، سرعت تغذیهٔ سیم‌جوش را ثابت نگه می‌دارند. جدیدترین سیستم‌های تغذیهٔ سیم‌جوش که در روش SAW اتوماتیک به کار گرفته می‌شوند، دارای کنترل‌های دیجیتالی ریزپردازنده‌ای هستند. این کنترل‌کننده‌ها ولتاژ جوش و سرعت تغذیهٔ سیم‌جوش را در مقدار اولیهٔ خود حفظ می‌کنند. مزیت بزرگ کنترل‌کننده‌های دیجیتال، کنترل دقیق فرآیند جوشکاری است و محدودیت آن‌ها این است که با برخی از انواع منابع نیرو قابل استفاده نیستند و قابلیت انعطاف کمتری نسبت به اکثر کنترل‌کننده‌های آنالوگ دارند.

کنترل‌کننده‌های دیجیتال در حال حاضر فقط برای استفاده در منابع نیروی ولتاژ ثابت(CV) موجود می‌باشند. این کنترل‌کننده‌ها دارای تنظیم سرعت تغذیهٔ سیم‌جوش(کنترل ولتاژ)، شروع و پایان جوشکاری، روشن و خاموش کردن حرکت اتوماتیک یا دستی، تغذیه یا عدم تغذیه سیم‌جوش سرد، کنترل پر کردن چالهٔ جوش و روشن ـ خاموش تغذیه فلاکس هستند.

کنترل‌کننده‌های آنالوگ، هم برای استفاده در منابع ولتاژ ثابت(CV)، و هم برای منابع جریان ثابت(CC)، به کار می‌روند. کنترل‌کننده‌های پایه شامل کنترل سرعت تغذیهٔ سیم(تنظیم‌کنندهٔ جریان در سیستم‌های CV، ولتاژ در سیستم‌های CC)، کنترل منبع نیرو(تنظیم کنندهٔ ولتاژ در سیستم‌های CV و جریان در سیستم‌های CC)، یک کلید شروع و پایان جوشکاری،کلید روشن ـ خاموش حرکت اتوماتیک یا دستی و کلید تغذیهٔ سیم‌جوش سرد بالاـ پایین می‌باشند. این کنترل‌ها مزایایی مشابه کنترل آنالوگ در روش SAW نیمه اتوماتیک، دارند ام قادر به کنترل دقیق فرآیند نیستند[۱].

Authorized National Body

۳ـ۳ـ سَری و مشعل جوشکاری

سَری جوش[۱] در جوشکاری قوس زیرپودری از قسمت‌های مختلف شامل موتور تغذیهٔ سیم‌جوش، مجموعه کلاف تغذیه، مجموعهٔ مشعل، نوک اتصال دهندهٔ جریان[۲] و تجهیزاتی برای نصب و نگهداری سَری تشکیل شده است. یک نازل فلاکس بر روی سَری جوش تعبیه می‌شود تا فلاکس را در قسمت مورد نیاز بریزد.

موتورهای تغذیهٔ سیم‌جوش، معمولاً موتورهای با طول عمر بالا[۳] از نوع مغناطیسی به همراه جعبه دنده هستند که سرعت تغذیهٔ سیم توسط آن‌ها $\frac{in}{\min}$ ۲۰ـ۵۵۰ ($\frac{mm}{S}$ ۸ـ۲۳۵) می‌باشد.

مجموعه کلاف تغذیه می‌تواند دارای یک غلتک متحرک و یک غلتک اضافی یا دو غلتک متحرک یا یا چهار غلتک متحرک باشد. چهار غلتک متحرک امکان تغذیهٔ سیم‌جوش با حداقل لغزیدن سیم را فراهم می‌کند. در برخی موارد که سیم‌جوش از طریق یک لوله وارد می‌شود، با استفاده از غلتک‌هایی با شیار Vشکل بر روی آن، تغذیهٔ یکنواخت‌تری ایجاد می‌کند. طرح‌های مشعل بسیار متنوع هستند، اما نقش آن‌ها همواره یکسان می‌باشد. مشعل سیم‌جوش را به قسمت محل اتصال در محل جوش هدایت می‌کند و جریان الکتریکی را در قسمت تماس، به سیم‌جوش انتقال می‌دهد.

برای انجام جوشکاری قوس زیر پودری شیار باریک[۴] و جوشکاری قوس زیر پودری با الکترود نواری تجهیزات خاصی مورد نیاز است. در جوشکاری قوس زیر پودری با دو سیم‌جوش موازی از غلتک تغذیه و مشعلی خاص استفاده می‌شود تا تغذیهٔ دو سیم‌جوش از طریق یک بدنهٔ مشعل صورت گیرد. جوشکاری قوس زیر پودری با الکترود نواری نیز نیازمند غلتک تغذیهٔ مخصوص و مشعل خاصی است. مشعل‌هایی که نوار را تغذیه می‌کنند معمولاً برای اندازه‌های مختلف نوار با عرض ۱/۲، ۱/۸، ۲/۴، ۳/۵ اینچ (۳۰، ۴۵، ۶۰، ۹۰ میلی‌متر) و ضخامت تا ۰/۰۴ اینچ (۱ میلی‌متر) قابل تغذیه می‌باشند. در روش زیر پودری با الکترود نواری و سیم‌جوش موازی، معمولاً تجهیزات طوری طراحی می‌شوند که با کمی تنظیم و یا حتی بدون تنظیم، بر سَری جوش‌های استاندارد بعدی نصب شوند.

تجهیزات مخصوص جوشکاری قوس زیر پودری شیار باریک برای تغذیهٔ فلاکس و سیم‌جوش دارای مشعل و نازل فلاکس بلند و باریک می‌باشند، تا بتوانند تا انتهای شیارهای عمیق و باریک نفوذ کنند. این سیستم‌ها ممکن است دارای وسیله‌ای برای خم کردن سیم‌جوش جهت اطمینان از نفوذ

۱-Head Welding
۲-Contact Tip
۳-Heavy-duty
۴-Narrow Groove

Authorized National Body

کافی آن در دیواره‌های شیارهای باریک باشند. در جوشکاری قوس زیر پودری شیار باریک، آداپتورهای ساده را نیز می‌توان به طور مستقیم بر روی سَری‌های استاندارد نصب کرد البته سیستم‌های پیچیده‌تری مانند سَری‌های کامل نیز وجود دارد.

در روش SAW نیمه اتوماتیک، سَری جوش می‌تواند یک تغذیهٔ سیم‌جوش از نوعی که درجوشکاری قوس فلزی با حفاظت گازی به کار می‌رود، باشد که در آن الکترود از طریق یک لوله به سمت مشعل هدایت می‌شود. در این نوع تغذیه‌های سیم‌جوش، می‌توان از هر یک از سیستم‌های حرکتی غلتکی، که در بالا شرح داده شد، استفاده کرد. این سیستم ها قادر به تغذیهٔ سیم‌جوش تا قطر $\frac{۳}{۳۲}$ اینچ(۲/۴ میلی‌متر) با سرعت تغذیهٔ بیش از $۵۵۰\frac{in}{\min}$ ($۲۳۵\ \frac{mm}{S}$) می‌باشند. به واسطهٔ لولهٔ متصل به مشعل، عمل جوشکاری تا فاصلهٔ ۱۵ ft(۴/۶m) از کلاف تغذیهٔ سیم‌جوش، امکان‌پذیر می‌گردد. تغذیهٔ فلاکس توسط قیف ثقلی ۴ پوندی(۱/۸ کیلوگرمی)، که روی مشعل نصب شده است، یا از طریق دمیدن هوا، با فشار، برای راندن فلاکس به منطقهٔ جوش، صورت می‌گیرد. در هر دو روش، فلاکس از طریق مشعل به اطراف محل جوش می‌ریزد[۱].

۳ـ۴ـ تجهیزات کمکی

تجهیزات کمکی متداول در روش زیر پودری عبارتند از: تجهیزات حرکتی، واحدهای بازیابی فلاکس، تجهیزات تثبیت کنندهٔ قطعات و نگهدارنده‌ها[۱].

۳ـ۴ـ۱ـ تجهیزات حمل و نقل

حرکت سَری جوش در روش زیر پودری، معمولاً توسط نقال(گاری) تراکتوری شکل[۱] یا نقال کناری[۲] و یا مانیپولاتور[۳](بازوی مکانیکی) صورت می‌گیرد. گاری تراکتوری شکل، در امتداد اتصالات جوش، به صورت مستقیم یا با انحنای کم، روی ریل‌های نصب شده در اطراف اتصال، حرکت می‌کند و یا خود ثابت بوده و قطعهٔ کار نسبت به آن حرکت داده می‌شود. سَری جوش، واحد کنترل، سیم‌جوش و قیف

۱- Tractor-Type Carriage

۲- Side-Beam Carriage

۳- Manipulator

فلاکس معمولاً روی تراکتور نصب می‌شوند. حداکثر سرعت حرکت تراکتورها حدود ۱۰۰ $\frac{in}{\min}$ (۴۵ $\frac{mm}{S}$) است. گاری تراکتوری شکل، بیشترین مصرف را در جوشکاری سایت دارد، زیرا به علت عدم امکان حرکت قطعهٔ تحت جوشکاری در این روش، قابلیت حرکت زیاد این نوع گاری‌ها بسیار مفید واقع می‌شود.

نقال کناری فقط به صورت خطی حرکت می‌کند و سرعت حرکت آن می‌تواند به بیش از ۲۰۰ $\frac{mm}{S}$ (۸۵ $\frac{in}{\min}$) برسد. از آنجا که سیستم‌های نقال کناری معمولاً ثابت هستند و قطعه باید به نزدیک محل جوشکاری منتقل شود، بیشترین مصرف نقال کناری در جوشکاری کارگاه‌ها است. سَری جوش، سیم‌جوش، فلاکس و گاهی سیستم کنترل نیز بر روی نقال نصب می‌شوند.

مانیپولاتورها مشابه نقال‌های کناری عمل می‌کنند و مانند آن‌ها خود ثابت بوده و قطعه به محل جوش آورده می‌شود. همچنین قادر به حرکت خطی در امتداد سه راستای فضا می‌باشند. سَری جوش، سیم‌جوش، قیف فلاکس و معمولاً واحد کنترل و خود اپراتور بر روی مانیپولاتور قرار می‌گیرند[۱].

۳ـ۴ـ۲ـ واحدهای بازیابی فلاکس

واحدهای بازیابی فلاکس برای استفادهٔ حداکثر از فلاکس و به حداقل رساندن تمیزکاری دستی به کار می‌روند. واحدهای بازیابی فلاکس قادر به انجام یک یا چند کار از موارد زیر می‌باشند:

۱- حذف فلاکس مصرف نشده و سربارهٔ تشکیل شده بر روی درز جوش؛

۲- جدا کردن سربارهٔ ذوب شده و سایر مواد با اندازهٔ بزرگ از فلاکس ذوب نشده؛

۳- حذف ذرات مغناطیسی؛

۴- حذف ذرات ریز؛

۵- برگرداندن فلاکس به قیف برای مصرف مجدد؛

۶- گرم کردن فلاکس در قیف برای خشک نگه داشتن آن.

تغذیهٔ فلاکس به‌طور پنوماتیک معمولاً در روش جوشکاری قوس زیر پودری نیمه‌اتوماتیک و گاهی اتوماتیک به کار می‌رود[۱].

Authorized National Body

۳ـ۴ـ۳ـ نگهدارنده‌ها و تثبیت کننده‌ها

از آنجا که جوشکاری قوس زیرپودری به جوشکاری حالت تخت محدود می‌شود، تجهیزات نگهدارنده در آن مصارف زیادی دارند و متداول‌ترین آن‌ها عبارتند از:

۱- واحدهای Head Tailstock، غلتک‌های چرخنده و یا هر دو، که برای چرخاندن قسمت‌های استوانه‌ای شکل زیر سَری جوش به کار می‌روند.

۲- تثبیت کننده‌های Tilting_Rotating که در جوشکاری سطوح ناهموار به منظور فراهم کردن موقعیت تخت در آن‌ها استفاده می‌شوند.

۴ ـ مواد مصرفی

فرآیند جوشکاری با قوس زیر پودری در جوشکاری اغلب مواد متداول امروزی، از فولادهای سادهٔ کربنی تا آلیاژهای پایهٔ نیکل، کاربرد دارد. بیشتر فولادها و آلیاژها با سیم‌جوش‌ها و فلاکس‌های تجاری موجود، می‌توانند جوش داده شوند اما برای برخی فلزات خاص باید ملاحظاتی صورت گیرد؛ نظیر گرم کردن الکترود یا استفاده از فلاکس‌های خاص تا خواص مطلوب در اتصال جوش به دست آید[۳].

فلزات قابل جوشکاری توسط فرآیند جوشکاری قوس زیر پودری به دسته‌های اصلی زیر تقسیم می‌شوند:

۱-فولادهای سادهٔ کربنی تا ۰/۲۹٪ کربن؛

۲-فولادهای کم آلیاژ (تا استحکام تسلیم ۱۰۰ ksi(۶۹۰ MPa))؛

۳-فولادهای کروم ـ مولیبدن دار(۱/۲٪ تا ۹٪ Cr و ۱٪ تا ۱/۲٪ Mo)؛

۴-فولادهای زنگ نزن؛

۵-آلیاژهای پایهٔ نیکل.

ترکیب انواع آلیاژهایی که با روش قوس زیر پودری قابلیت جوشکاری دارند، با تولید فلاکس‌ها و الکترودهای مناسب گسترش می‌یابد. ترکیبات الکترود ـ فلاکس معمولاً به صورت کد گذاری شده بیان می‌شوند. اطلاعات در مورد ترکیبات سیم ـ فلاکس خاص برای فلزات پایه ای که استفاده کمتری دارند، از طریق تولید کنندگان فلاکس تامین می‌شود[۳].

Authorized National Body

۴ـ۱ـ سیم‌جوش‌ها و پودرهای جوشکاری زیرپودری

سیم‌جوش‌ها و پودرهای جوشکاری مورد استفاده در فرآیند جوشکاری زیرپودری، بر اساس خواص شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی خود در دو طبقه‌بندی A۵,۱۷ و A۵,۲۳ در انجمن جوشکاری آمریکا[۱] استاندارد شده‌اند[۳].

۴ـ۱ـ۱ـ سیم‌جوش‌های جوشکاری زیرپودری

سیم‌جوش‌های مورد استفاده در جوشکاری زیرپودری به غیر از سیم‌جوش‌های فولادی زنگ نزن اغلب، دارای روکش مسی می‌باشند. روکش مسی، به منظور اطمینان از انتقال و هدایت مناسب جریان الکتریکی، کاهش سایش نازل‌ها[۲] و جلوگیری از زنگ‌زدگی و خوردگی سیم‌جوش، به ویژه در انبار و هنگامی که سیم‌جوش‌ها دور قرقره روی هم پیچیده شده‌اند، بر روی این سیم‌جوش‌ها قرار می‌گیرد.

سیم‌جوش‌ها اغلب در قطرهای ۱/۶ تا ۶ الی ۷ میلی‌متر تهیه و دور قرقره‌هایی تا وزن‌های ۲۵ تا ۱۰۰ کیلوگرم پیچیده می‌شوند. هر چند در حال حاضر بعضی سازندگان، از قرقره‌هایی با حجم و وزن بیشتر حتی تا ۱۰۰۰ کیلوگرم نیز استفاده می‌کنند. البته وزن و طول سیم‌جوش‌های پیچیده شده دور قرقره‌ها از تولرانس ۱۰± درصد برخوردار می‌باشند.

سیم‌جوش‌های مورد استفاده در جوشکاری زیرپودری، باید دارای سطحی تمیز و عاری از هر گونه آلودگی باشند. گرچه بعضی سیم‌جوش‌های با قطر پایین را با روغن‌های بدون هیدروژن، چرب می‌کنند تا امکان تغذیهٔ سیم‌ها از درون نازل و مسیر هدایت سیم به آسانی فراهم گردد. هر چه قطر سیم‌جوش کمتر باشد، جریان الکتریکی مورد نیاز کمتر و کنترل حوضچهٔ جوش دقیق‌تر است و بالعکس، هر چه قطر سیم‌جوش بیشتر باشد به جریان‌های بالاتری نیاز خواهد بود. جدول ۱، مقدار جریان مورد نیاز برای قطرهای مختلف سیم‌جوش را نشان داده است[۲]

۱-AWS

۲-Jaws

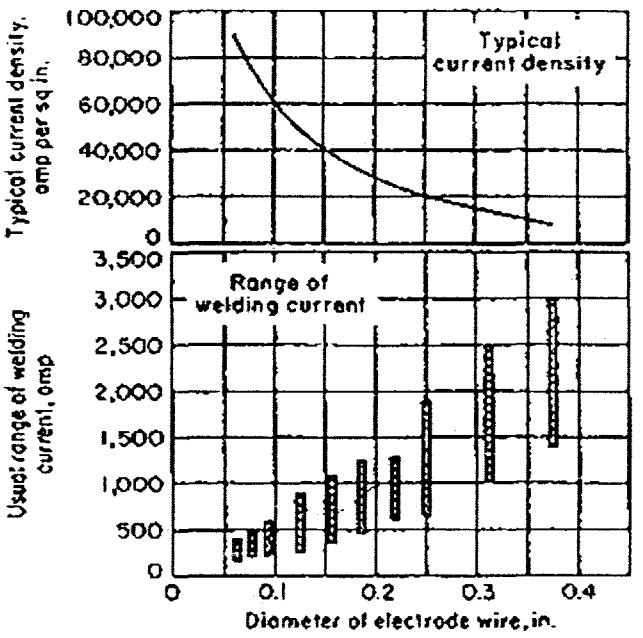
Authorized National Body

جدول ۱: انتخاب جریان جوشکاری بر حسب قطرهای مختلف سیم‌جوش در فرآیند جوشکاری زیرپودری[۲].

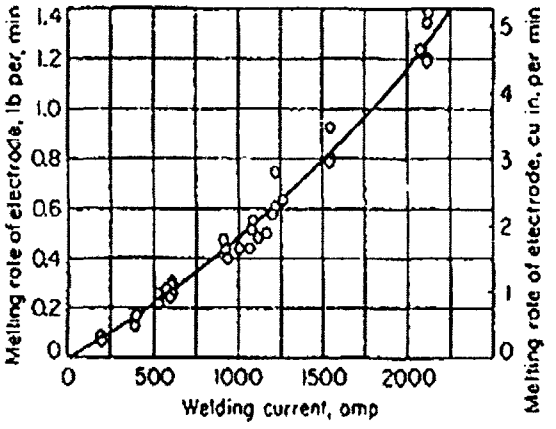
قطر سیم‌جوش (mm)	شدت جریان (آمپر)
۱/۶	۱۱۵_۵۰۰
۲	۱۲۵_۶۰۰
۲/۴	۱۵۰_۷۰۰
۳	۲۲۰_۱۰۰۰
۴	۳۴۰_۱۱۰۰
۵	۴۰۰_۱۳۰۰
۶	۵۰۰_۱۴۰۰
۷	۶۰۰_۱۶۰۰

معمولاً سیم‌جوش‌های باریک برای روش‌های نیمه اتوماتیک و یا کنترل دقیق حوضچهٔ جوش به کار می‌روند در حالی که سیم های با قطر بیشتر برای جریان‌های بالا و اتصال فلزات با ضخامت زیاد مناسب نمی‌باشد. ترکیب شیمیایی سیم‌جوش بر کنترل ترکیب شیمیایی و خواص فلز جوش تاثیر می‌گذارد و انتخاب سیم‌جوش با ترکیب خاص، به جنس قطعهٔ کار و نوع فلاکس بستگی دارد.

در جوشکاری زیرپودری، دانسیتهٔ جریان در سیم‌جوش چندین برابر بیشتر از دانسیتهٔ جریان در جوشکاری قوس الکترود دستی است در نتیجه نرخ ذوب سیم‌جوش نیز به مراتب بیشتر خواهد بود. منحنی شکل ۲، تقابل دانسیتهٔ جریان در برابر قطر سیم‌جوش را در فرآیند جوشکاری زیرپودری نشان می‌دهد. در شکل ۳ نیز تأثیر جریان جوشکاری بر نرخ ذوب در فرآیند SAW نشان داده شده است[۲].



شکل۲: تغییرات دانسیته و محدودهٔ جریان الکتریکی، بر اساس تغییرات قطر سیم‌جوش در فرآیند زیر پودری [۳].



شکل ۳ : تغییرات جریان جوشکاری و اثرات آن روی نرخ ذوب سیم‌جوش در فرآیند زیرپودری[۲].

نرخ ذوب سیم‌جوش، در حقیقت شامل مجموع نرخ ذوب ناشی از قوس الکتریکی و مقاومت (I^2R) سیم است که با توجه به طول سیم تولید حرارت می‌کند. در مواردی که به نرخ رسوب یا ذوب بالاتر از معمول نیاز باشد، به کار بردن سیم‌جوش‌های دوتایی با قطر نازک‌تر موثر است. با این روش نرخ رسوب می‌تواند تا ۵۰٪ افزایش یابد.

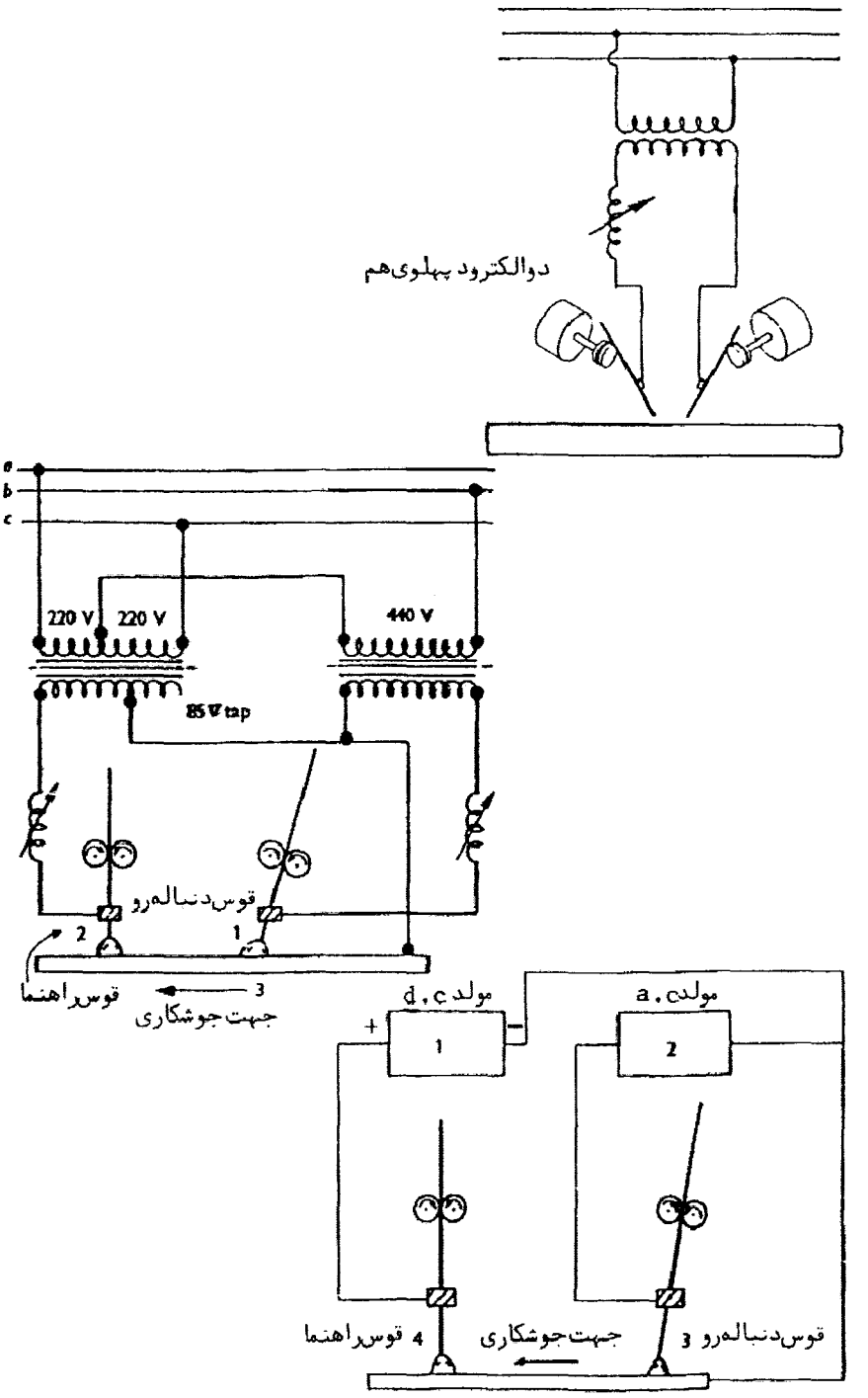
Authorized National Body

استفاده از سیم‌جوش‌های ورقی یا نواری نازک با جوش پهن و کم عمق، اغلب در پوشش دادن لایه‌های سخت یا زنگ نزن بر روی قطعهٔ کار معمول است؛ در این صورت جوشی با نفوذ کم و پهنای زیاد رسوب داده خواهد شد. در موارد مشابه می‌توان از سیم‌جوش‌هایی که به صورت سری بسته شده‌اند، و قوس در آن‌ها بین دو سیم‌جوش برقرار می‌شود، استفاده کرد. عناصر آلیاژی و پودر آهن از کانال جداگانه‌ای پیشاپیش قوس اضافه می‌شوند و در نتیجه نرخ رسوب افزایش یافته و عمق آن کاهش می‌یابد. نحوهٔ استفاده برای تامین جریان الکتریکی سیم‌جوش‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است[۲].

۴ـ۱ـ۲ـ پودرهای جوشکاری برای جوشکاری زیرپودری

پودرهای جوشکاری[۱] مورد استفاده در فرآیندهای جوشکاری زیرپودری، در حقیقت نقش روکش الکترود را در جوشکاری قوس الکترود دستی ایفا می‌کنند و اغلب مواردی که در شرح وظایف روکش الکترودها بیان می‌گردد، در مورد آن‌ها نیز صادق می‌باشد.

۱-Welding Fluxes



شکل ۴ : چند حالت از جوشکاری قوس - زیرپودری با الکترود چندتایی[۲].

Authorized National Body

سازندگان مواد مصرفی جوشکاری، به تولید انواع گوناگونی از پودرهای جوشکاری زیرپودری اقدام کرده‌اند. پودرهای مورد استفاده در فرآیند زیرپودری، اغلب به صورت دانه‌های با دانه‌بندی خاص و شامل اکسیدهای فلزی از مواد معدنی به صورت طبیعی یا ذوب شده مثل اکسیدهای منگنز، سیلیسیم، تیتانیم، آلومینیم، کلسیم، زیرکونیم و منیزیم به همراه سایر افزودنی‌ها مانند فلوراید کلسیم می‌باشند. این پودرها در جریان جوشکاری و به خاطر حرارت بالای ناشی از برقراری قوس الکتریکی و حوضچهٔ مذاب حاصل از ذوب سیم‌جوش، ذوب شده و سطح مذاب را پوشش می‌دهند و آن را از آلودگی اتمسفری محافظت می‌نمایند. پودرهای جوشکاری زیرپودری، در استانداردهای معروف دنیا نظیر AWS، بر اساس مشخصات مکانیکی خود طبقه‌بندی شده‌اند، اما تقسیم‌بندی‌های مختلف دیگری نیز برای پودرهای جوشکاری وجود دارد که در این بخش به بررسی آن‌ها پرداخته می‌شود[۲].

۴ـ۱ـ۳ـ تقسیم‌بندی پودرهای جوشکاری زیرپودری بر حسب طریقهٔ تولید

به طور کلی، اساس تولید پودرهای جوشکاری زیرپودری، مواد طبیعی است اما شرکت‌های سازنده بر اساس نیاز مشتریان و مصارف مختلف، با افزودن مواد گوناگون، مخلوط‌های جدیدی تولید می‌کنند. بر این اساس و با توجه به روش‌های تولید، پودرهای جوشکاری زیرپودری به انواع مختلف زیر تقسیم می‌شوند:

- **پودرهای از پیش ذوب شده**

برای تولید پودرهای از پیش ذوب شده[۱]، ابتدا عناصر معدنی در کوره و در درجهٔ حرارتی نزدیک به ۱۵۰۰ـ۱۷۰۰°C ذوب شده و سپس از کوره خارج و پس از انجماد به صورت آمورف در سیستم خردایش تا دانه‌بندی مورد نظر خرد می‌شوند. طی عملیات ذوب در کوره و واکنش‌های مختلف مواد معدنی با یکدیگر، ترکیب شیمیایی یکنواخت و همگنی تولید می‌شود که ترکیب آن از پیش قابل محاسبه است. استحکام دانه‌های پودر بسیار بالا بوده و در حین جابجایی و دسته‌بندی امکان خرد شدن و تغییر دانه‌بندی در آن‌ها وجود ندارد. این پودرها در صورت نیاز، قابلیت خشک شدن در دماهای پایین را دارند؛ بنابراین رطوبت احتمالی موجود در سطح قطعهٔ کار هرگز امکان ورود به پیوندهای شیمیایی داخلی در پودر را نداشته و بنابراین اطمینان بسیار بالایی برای مقاومت در برابر نفوذ

۱- Fused Fluxes

اکسیژن و هیدروژن و بروز ترک‌های هیدروژنی از خود نشان می‌دهند و از این رو، قابل استفاده و نگهداری در محیط‌های باز و بدون سقف و نیز مناطق مرطوب می‌باشند.

استحکام بالای دانه‌های پودر امکان استفادهٔ مجدد را برای آن‌ها فراهم نموده و به همین خاطر از نظر صرفهٔ اقتصادی نیز قابل توجه می‌باشد. همچنین امکان ذوب مجدد ذرات ریزپسماند در جریان تولید بدون تغییر در ترکیب شیمیایی و احراز بالاترین سرعت جوشکاری با این نوع پودرها میسر می‌باشد.

علی رغم تمامی مزایای گفته شده، یکی از معایب این پودرها، عدم امکان اختلاط عناصری مثل کروم و نیکل در ترکیب پودر می باشد، زیرا این مواد علاوه بر آن که در هنگام ذوب اکسید می‌شوند، باعث ایجاد جدایش نیز می‌گردند. محدودیت دیگر، بالا بودن نسبی وزن مخصوص پودر است که وزن آن را گاهی تا $\frac{gr}{cm^3}$ ۱/۶ گزارش کرده‌اند.

از آن جایی که عملیات سرد کردن مذاب خارج شده از کوره کاملاً در اختیار سازنده قرار دارد، بنابراین امکان تولید پودر جوشکاری ذوبی با دانه‌بندی‌های مختلف و تنوع‌های کاملاً دلخواه(به طور مثال ۱۲ تا ۲۰۰ مش) همواره وجود دارد. این نوع پودر، برای جوشکاری زیرپودری با سرعت بسیار بالا کاربرد وسیعی دارد[۲].

- **پودرهای پیوندی (به هم چسبیده)**

در تولید پودرهای پیوندی[۱]، مواد اولیه که دارای اندازهٔ دانه‌ای در حدود ۱۰۰ مش هستند، ابتدا خشک شده و پس از خرد شدن، مخلوط می‌گردند. سپس با افزودن ترکیباتی مثل سیلیکات پتاسیم یا سیلیکات سدیم (آب شیشه) به یکدیگر اتصال می‌یابند.

در اثر این فرآیند دانه‌های درشت‌تری با اندازه‌های دلخواه حاصل می‌شود که با قرار گرفتن در یک کورهٔ دوار با درجهٔ حرارت $^{\circ}C$ ۹۰۰ـ۶۰۰، به استحکام نسبی دست می‌یابند. با حرارت دادن مجدد در درجهٔ حرارتی کمتر از $^{\circ}C$ ۶۰۰ می‌توان عناصر اکسیدزدا و فرّوآلیاژهایی مثل کروم و نیکل را به ترکیب پودر اضافه نمود که بهبود خواص مکانیکی آن را در پی خواهد داشت.

مهم‌ترین مزایای این پودرها را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

- از آنجایی که عملیات پیوندزنی و ساخت پودر در درجهٔ حرارت‌های پایین انجام می گیرد، امکان اضافه کردن مواد اکسیژن زدا و عناصر فرّوآلیاژ به ترکیب پودر وجود دارد.

۱- Agglomerated or Bonded Fluxes

Authorized National Body

- این پودرها دارای دانه‌بندی سبک و پوکه مانند هستند و وزن مخصوص آن گاهی به ($۰/۸ \frac{gr}{cm^3}$) می‌رسد.
- امکان استفاده از این پودرها با انواع جریان‌های جوشکاری AC یا DC مثبت وجود دارد.
- سربارهٔ تشکیل شده روی سطح جوش، به آسانی از روی آن برداشته و جدا می‌شود.

معایب استفاده از این پودرها عبارتست از:

- به دلیل سبک بودن بیش از حد، در جریان جوشکاری به پودر بسیار زیادی نیاز می‌باشد.
- خارج از محیط کارگاه به خصوص در معرض وزش باد، این پودرها قابل استفاده نیستند.
- استحکام دانه‌های پودر کم بوده و بنابراین در بسته‌بندی و جابجایی امکان خرد شدن آن‌ها زیاد است. به همین دلیل استفادهٔ مجدد از پودرهای مصرف شدهٔ اضافی، با مشکل مواجه می‌شود.
- با استفاده از این پودرها بروز خطراتی مثل ایجاد ترک‌های هیدروژنی و حفرات گازی در جوش حاصل، همواره وجود دارد.

نکتهٔ قابل توجه اختلاف اندکی است که بین پودرهای آگلومره و پیوندی وجود دارد. در پودرهای آگلومره به جای سیلیکات سدیم یا پتاسیم از یک اتصال دهندهٔ سرامیکی که در درجهٔ حرارت‌های بالا عمل می‌کند استفاده می‌گردد. در هر صورت، به دلیل مشکلات ذکر شدهٔ فوق، اغلب سازندگان به مشتریان توصیه می‌کنند که در زمان استفاده از پودرهای پیوندی یا آگلومره از پیشگرم مناسب استفاده نموده و در نگه‌داری و انبارداری این پودرها دقت نمایند. در بعضی طبقه‌بندی‌ها به دلیل تفاوت‌هایی که بین پودرهای پیوندی و آگلومره وجود دارد، آن‌ها را از هم جدا می‌کنند. پودرهای آگلومره به دلیل وجود اتصال دهندهٔ سرامیکی، طی فرآیند تف جوشی[۱] تولید می‌شوند و در برخی موارد به عنوان پودرهای تف جوشی شده[۲] نیز شناخته می‌شوند. وزن مخصوص این پودرها در حدود $۱/۳ \frac{gr}{cm^3}$ می‌باشد ولی با این حال، اغلب خواص، به پودرهای پیوندی بسیار شباهت دارند[۲].

۱- Sintering

۲- Sintered Fluxes

- **پودرهای مخلوط شده به روش مکانیکی**

برای تولید پودرهای مخلوط شده به روش مکانیکی، دو یا چند نوع از پودرهای از پیش ذوب شده یا پیوندی، به نسبت لازم با هم مخلوط می‌شوند.

مزیت پودرهای مخلوط شده به روش مکانیکی، این است که می‌توان با مخلوط کردن پودرهای تجاری مختلف، پودری با کیفیت بهتر برای عملیات جوشکاری بدست آورد.

معایب این پودرها عبارتند از:

۱- جدایش پودر مخلوط شده در حین حمل و نقل، ذخیره‌سازی و یا استفاده از آن‌ها.

۲- جدایش این پودرها در حین تغذیه و یا در سیستم بازیابی در عملیات جوشکاری.

۳- عدم تشابه کامل این پودرها با یکدیگر در هر دور مخلوط شدن اجزاء آن‌ها[۱].

۴ـ۱ـ۴ـ اثر خواص پودرها بر عملکرد و نتایج فرآیند جوشکاری

۱ـ اندازه ذرات پودر: دانه‌بندی و نحوهٔ توزیع دانه‌های هم‌اندازه در حجم پودر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. پودرهای دانه‌ریز برای کار با شدت جریان‌های بالا و پودرهای دانه درشت برای کار با شدت جریان‌های پایین و یا برای سطوحی که کثیف یا چرب یا زنگ زده هستند(جهت تسهیل خروج گازها) مناسب‌تر می‌باشند.

۲ـ تنش سطحی: اگر تنش سطحی پودرها بیش از حد زیاد باشد، پس از انجماد و یا در حین آن، ترک‌های سطحی در خط جوش ایجاد می‌شود.

۳ـ هدایت الکتریکی: پودرهایی که دارای هدایت الکتریکی بالاتری هستند، امکان جوشکاری با سرعت‌های بالا را فراهم می سازند.

۴ـ ویسکوزیته و چگالی: پودر جوشکاری باید در دمای بالا دارای ویسکوزیتهٔ مناسبی باشد تا پوشش و لایهٔ محافظ کافی را روی فلز جوش تشکیل داده و آن را در برابر اکسید شدن حفاظت نماید. علاوه بر این چگالی آن نیز باید از چگالی فلز جوش کمتر باشد تا در سطح مذاب باقی بماند.

۵ـ نقطهٔ ذوب: نقطهٔ ذوب پودر جوشکاری باید از نقطهٔ ذوب فلز جوش کمتر باشد تا فرصت خروج برای گازهای تولید شده، فراهم گردد.

۶ـ انقباض و انبساط حرارتی: پودر جوشکاری مناسب باید پس از سرد شدن، در درجهٔ حرارت محیط، بسیار ترد و شکننده باشد، تا پس از انجماد به آسانی از روی محل جوش جدا شود.

Authorized National Body

۷ـ میزان رطوبت: پودرهای از پیش ذوب شده، جاذب رطوبت نیستند؛ اما پودرهای پیوندی و آگلومره رطوبت را به شدت جذب کرده و درصد رطوبت آن‌ها بالاست.

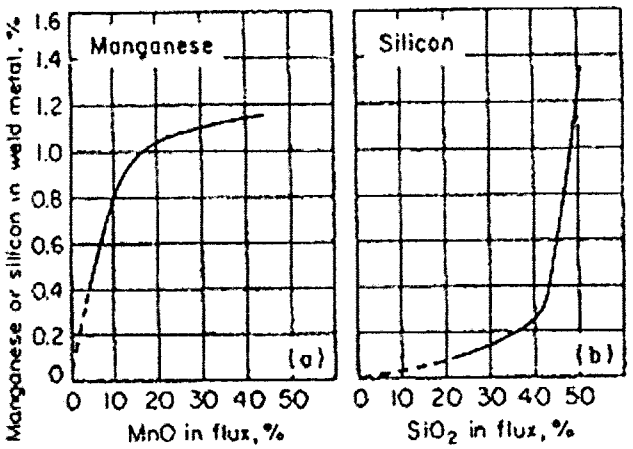
۸ـ مقدار پودر ذوب شده در دقیقه یا مصرف پودر جوش در واحد طول جوش: این عامل علاوه بر نوع و جنس پودر به شدت جریان الکتریکی و ولتاژ نیز بستگی دارد.

۹ـ نوع جریان جوشکاری: اغلب پودرها هنگام کار با جریان AC قابل استفاده هستند. در هنگام کار با جریان DC مثبت یا منفی نیز، بسته به نوع طرح اتصال، از پودر مناسب استفاده می‌شود.

۱۰ـ درجهٔ قلیایی بودن[1]: در حین جوشکاری زیرپودری، واکنش‌هایی بین فلز مذاب و سرباره رخ می‌دهد که بسیار شبیه واکنش‌هایی است که در فرآیند فولادسازی رخ می‌دهند. در این واکنش‌ها، باقی‌ماندهٔ ناخالصی‌ها از فلز مذاب به وسیلهٔ بعضی عناصر آلیاژی مانند منگنز و سیلیسیم به درون سرباره منتقل می‌شود. همچنین عناصر آلیاژی موجود در پودر نیز ممکن است به فلز جوش منتقل شوند. به طور مثال، مقدار منگنز فلز جوش، با افزایش مقدار اکسید منگنز[2] موجود در پودر افزایش پیدا می‌کند. در شکل ۵ منحنی‌های افزایش مقدار سیلیسیم و منگنز در فلز جوش، با افزایش درصد MnO و SiO_2 موجود در پودر جوشکاری، نشان داده شده است[۲]

۱- Basicity

۲- MnO

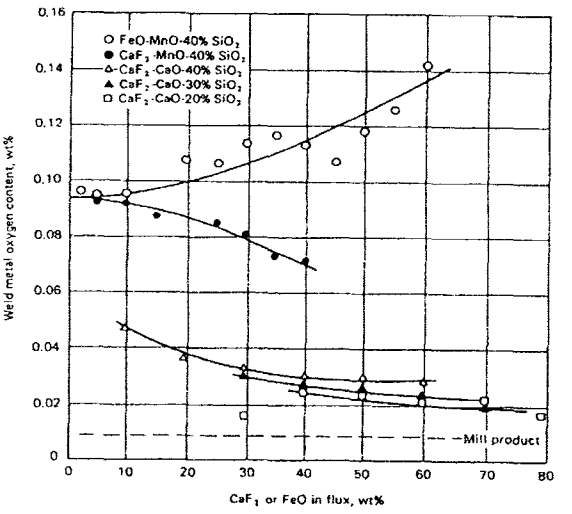


شکل (۵): تاثیر وجود MnO و SiO_2 در پودر جوشکاری زیرپودری، در افزایش مقدار منگنز و سیلیسیم موجود در فلز جوش[۲].

در ترکیب برخی از پودرهای جوشکاری تا ۱۰ درصد MnO وجود دارد که در اثر وجود منگنز در فلز جوش افزایش می‌یابد. اما در مورد سیلیسیم، همان طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، با افزایش SiO_2تا حدود ۴۰ درصد در پودر جوش، تغییر چندانی در مقدار سیلیسیم ورودی به فلز جوش ایجاد نمی‌کند. در صورتی که درصد SiO_2 در پودر جوشکاری از ۴۰ درصد، بیشتر شود مقدار سیلیسیم موجود در فلز جوش به سرعت تا حدود ۱/۵ درصد افزایش می‌یابد. مشابه این موضوع، در رابطه با مقدار اکسیژن موجود در فلز جوش، وجود دارد که در نمودار شکل ۶ آورده شده است.

پودرهایی که ترکیب شیمیایی آن‌ها طوری تعیین شده‌اند که حداقل مقدار اکسیژن را در ترکیب خود داشته و نهایتاً به ترکیب فلز جوش تحمیل می‌نمایند، از طریق دیاگرام الینگهام[۱] قابل ارزیابی و بررسی هستند. بر اساس اغلب تقاضاهایی که از سوی مشتریان منعکس شده و بسته به نتایج جوشکاری‌های انجام شده حداقل و حداکثر مقدار اکسیژن موجود در فلز جوش که سازندگان برای پودرهای ساخت خود مجاز دانسته‌اند، در حدود ۲۵۰ppm تا ۴۵۰ppm است. جدول ۲، ترکیب شیمیایی انواع پودرهای مختلف را با یک طبقه‌بندی در خصوص مقدار اکسیژن و نیز درجهٔ قلیایی بودن نشان می‌دهد[۳].

۱- Ellingham



شکل ۶: مقدار اکسیژن موجود یا راه یافته به فلز جوش از طریق افزایش CaF (فلوراید کلسیم) یا FeO (اکسید آهن) به پودر جوشکاری[۲].

جدول ۲: ترکیب شیمیایی پودرهای با درصد اکسیژن پایین[۲].

کلاس پودر	Al_2O_3	SiO_2	TiO_2	MgO	CaF_2	CaO	MnO	Na_2O	K_2O	درجه قلیایی بودن (BI)
A	۴۹/۹	۱۳/۷	۱۰/۱	۲/۹	۵/۷	-	۱۵/۱	۱/۶	۰/۲	۰/۴
B	۴۵/۷	۱۲/۹	۱۰/۷	۰/۱	۱۵/۶	-	۱۰/۹	۰/۲	۱/۷	۰/۶
C	۲۴/۹	۱۸/۴	۰/۲	۲۸/۹	۲۴/۲	-	۱/۸	۲/۱	۰/۰۷	۰/۸
D	۲۳/۲	۱۴/۵	۰/۹	۳۰/۸	۱۷/۷	۴/۲	۲/۳	۲/۳	۰/۱	۰/۵
E	۱۹/۳	۱۶/۳	۰/۸	۲۷/۲	۲۳/۶	۹/۸	۰/۰۸	۰/۹	۱/۱	۲/۴
G	۱۴/۶	۱۳/۵	۰/۳	۳۱/۲	۲۵/۷	-	۳/۵	۱/۳	۱/۹	۳
H	۱۸/۱	۱۳/۲	۰/۵	۲۸/۲	۳۱/۸	۴/۵	۰/۱	۰/۹	۰/۹	۳
I	۱۷	۱۲/۲	۰/۷	۳۶/۸	۲۹/۲	۰/۷	۸/۹	۱/۶	۰/۱	۳/۵

به طور مثال اکسیدی مانند Al_2O_3 بسیار پایدار است در حالی که اکسیدهایی مانند MnO یا FeO فوق‌العاده ناپایدارند، در نتیجه وجود اکسیدهایی مثل FeO یا MnO در پودر جوشکاری، فلز جوشی با مقدار اکسیژن بالا تولید می‌کند. اکسیدهایی مانند SiO_2 و TiO دارای پایداری در حد متوسط و میانگین بین اکسیدهای FeO و Al_2O_3 هستند. مقدار اکسیژن حل شده در فلز جوش تنها از بررسی فرمول پودر جوشکاری قابل اندازه گیری نمی باشد، بلکه درجه قلیایی بودن پودر نیز در این امر موثر است. پودرهای تهیه شده از اکسیدهای اسیدی مانند SiO_2 یا Al_2O_3 در خانواده پودرهای اسیدی قرار می گیرند. فلز جوشی که از این نوع پودر به دست می‌آید، به طور معمول دارای مقادیر اکسیژن بالایی است در حالی که فلز جوش حاصل از پودرهایی که در ترکیب خود اکسیدهای قلیایی مثل CaO و MgO دارند، اکسیژن بسیار کمتری در ترکیب خود خواهند داشت. بر این اساس و بر پایه تجارب عملی اندوخته شده امکان برآورد خصوصیات مکانیکی یک فلز جوش، پیش از جوشکاری و بر اساس درجهٔ قلیایی بودن(BI) پودر مصرفی آن امکان پذیر است.

به طور مثال، پودرهای قلیایی اغلب، فلز جوشی با مقاومت به ضربه یا چقرمگی بالاتری ایجاد می‌کنند، در حالی که پودرهای اسیدی تر، فلز جوشی با ساختار کریستالی منظم و مقاوم در برابر شکست ایجاد می‌کنند. درجهٔ قلیایی بودن(BI)، در حقیقت یک مشخصه بسیار مهم در بررسی اختلاف بین ترکیب شیمیایی پودرها به شمار می‌رود و از روابط گوناگون زیر قابل محاسبه است:

$$BI = \frac{\%CaO}{\%SiO_2} \qquad (۱)$$

اگر مقدار P_2O_5 نیز در ترکیب تری‌کلسیت فسفات درنظر گرفته شود بر اساس فرمول "Fairley" درجهٔ قلیایی بودن از رابطهٔ (۲) محاسبه می‌شود:

$$BI = \frac{\%CaO}{\%SiO_2 + \%P_2O_5} \qquad (۲)$$

و یا بر اساس فرمول"Holbrook" و "Joseph":

$$BI = \frac{\%CaO + \%MgO}{\%SiO_2 \%Al_2O_3} \qquad (۳)$$

Authorized National Body

همچنین مطابق محاسبات "Herty":

$$BI=\%CaO - ۰/۹۳ \times \%SiO_۲ - ۱/۱۸ \times \%P_۲O_۵ \qquad (۴)$$

و بالاخره:

$$BI = \frac{CaO + CaF_2 + MgO + K_2O + Na_2O + Li_2O + \frac{1}{2}(MnO + FeO)}{SiO_2 + \frac{1}{2}(Al_2O_3 + TiO_2 + ZrO_2)} \qquad (۵)$$

ترکیب شیمیایی مندرج در فرمول‌ها، بر حسب درصد وزنی می‌باشد. در حقیقت می‌توان گفت که درجهٔ قلیایی بودن، نسبت بین اکسیدهای بازی و اسیدی موجود در پودر است. بر این اساس پودرهای جوشکاری زیرپودری بر حسب مقدار BI آن‌ها در تقسیم‌بندی دیگری نیز قرار می‌گیرند[۲].

۴ـ۱ـ۵ـ تقسیم‌بندی پودرهای جوشکاری زیرپودری بر اساس درجهٔ قلیایی بودن(BI)

- **پودرهای اسیدی**[۱]

این پودرها که آن‌ها را پودرهای طبیعی[۲] نیز می‌نامند، دارای کمترین درجهٔ قلیایی معادل $BI \leq 0/9$ می‌باشند. نقطهٔ ذوب آن‌ها در حدود ۱۳۰۰ـ۱۱۰۰°C(کمتر از سایر پودرها) است و در ترکیب خود بیش از ۷۵۰ppm اکسیژن دارند(بیشتر از همهٔ انواع پودرهای دیگر) مهم‌ترین مشخصات پودرهای اسیدی عبارتند از:

الف) خواص جوشکاری فوق العاده‌ای دارند.

ب) فلز جوش حاصل از جوشکاری با پودرهای اسیدی، مقاومت به ضربه‌ای در حدود ۵۰ ژول در صفر درجهٔ سانتیگراد دارند.

ج) چون مقدار اکسیژن در این پودرها بالاست در یک محدودهٔ وسیع کاربردی، خواص کاری عالی داشته و با سرعتی حداقل دو برابر سرعت انواع پودرهای دیگر قابلیت جوشکاری دارند.

د) با هر دو جریان AC و DC قابل کاربرد هستند[۲].

۱- Acidic Fluxes

۲- Natural

- **پودرهای خنثی**[۱]

پودرهای خنثی اغلب دارای درجه قلیایی در حدود ۱/۱ـ۰/۹ بوده، نقطهٔ ذوب آن‌ها $^{\circ}C$ ۱۵۰۰ـ۱۳۰۰ و مقدار اکسیژن موجود در فلز جوش حاصل از آن‌ها نیز در حدود ppm ۷۵۰ـ۵۵۰ می‌باشد. سایر مشخصات فنی این نوع پودرها عبارت است از:

الف) خواص جوشکاری بسیار خوبی دارند.

ب) فلز جوش حاصل از جوشکاری با پودرهای خنثی، مقاومت به ضربه‌ای در حدود ۵۰ ژول در $^{\circ}C$ ۲۰- را به دست می‌دهد.

برای محاسبهٔ میزان خنثی بودن یک پودر می‌توان از فرمول زیر استفاده کرد:

$$N = 100(|\Delta\%Si| + |\Delta\%Mn|)$$

که در آن:

N: عدد خنثی بودن

$\Delta\%Si$: تغییرات مقدار سیلیسیم در دو لایهٔ جوش که با شرایط مشابه روی هم داده شده‌اند.

$\Delta\%Mn$: تغییرات مقدار منگنز در دو لایه که روی هم جوش داده شده است، می‌باشد. اگر $N \geq 40$ باشد، خنثی است[۲].

- **پودرهای بازی (قلیایی)**[۲]

این پودرها حاوی مقدار بیشتری از اکسیدهای بازی مثل CaO و MgO در ترکیب خود هستند. به علاوه اینکه CaF_2 که به عنوان یک ترکیب بازی به حساب می‌آید در حین جوشکاری و در اثر حرارت به CaO تبدیل شده و اکتیویتهٔ اسیدی را در سرباره کاهش می‌دهد:

$$SiO_2 + 2CaF_2 \rightarrow 2CaO + SiF_4$$

درجهٔ قلیایی این پودرها در حدود ۲ـ۱/۲ می‌باشد و همچنین نقطه ذوبی در حدود بیش از $^{\circ}C$ ۱۵۰۰ دارند. مقدار اکسیژن موجود در فلز جوش حاصل از آن‌ها گاهی تا ppm ۵۰۰ـ۳۰۰ نیز می‌رسد. سایر مشخصات مهم این پودرها عبارتند از:

الف) خواص جوشکاری این پودرها به دلیل عدم سیالیت حالت مذاب آن‌ها چندان مناسب نمی‌باشد.

۱-Neutral fluxes

۲-Basic fluxes

Authorized National Body

ب) فلز جوش حاصل از جوشکاری با پودرهای قلیایی انرژی ضربه‌ای در حدود ۵۰ ژول در $-۴۰^{\circ}C$ را خواهد داشت[۲].

- **پودرهای فوق‌العاده قلیایی**[۱]

این پودرها دارای درجه قلیایی بیشتر از ۲ هستند. یعنی نسبت وزنی اکسیدهای بازی موجود در آن‌ها تقریباً ۲ برابر یا بیشتر از اکسیدهای اسیدی است. نقطه ذوب آن‌ها بیش از $۱۵۰۰^{\circ}C$ بوده اما مقدار اکسیژن موجود در فلز جوش آن‌ها همواره کمتر از ppm ۳۰۰ است. به همین دلیل مقاومت به ضربهٔ جوش حاصل از آن‌ها در حدود ۵۰ ژول در $-۶۰^{\circ}C$ است که در حقیقت بیشترین چقرمگی را در بین جوش حاصل از انواع پودرهای دیگر دارا هستند. این پودرها فقط با جریان DC و با قطب مثبت قابل استفاده هستند.

۴ـ۱ـ۶ـ تقسیم‌بندی پودرهای جوشکاری زیرپودری بر اساس تشکیل دهنده های اصلی آن‌ها

علاوه بر آن چه تاکنون گفته شد روش دیگر تقسیم‌بندی پودرهای جوشکاری زیرپودری بر اساس مواد تشکیل دهندهٔ آن‌هاست. بعضی از سازندگان برای آسان‌تر کردن امکان انتخاب مشتریان از این روش، به قرار زیر استفاده می‌کنند[۲].

در این روش انواع پودرهای جوشکاری بر حسب نوع مواد اصلی تشکیل دهندهٔ آن‌ها و نیز کاربرد هر یک طبقه‌بندی شده‌اند:

- **پودرهای سیلیکات منگنز(MS)**

این نوع پودر دارای مقادیر قابل توجهی اکسید منگنز(MnO) و دی اکسید سیلیسیم($SiO_۲$) بوده و در جریان جوشکاری مقادیری عنصر منگنز وارد حوضچهٔ مذاب می‌کنند و به عبارت دیگر این پودرها به مذاب جوش منگنز تزریق می‌کنند. از این رو توصیه شده است که این نوع پودر با سیم‌جوش‌های حاوی منگنز کمتر به کار گرفته شوند. با کاربرد این نوع پودرها جذب سیلیسیم نیز توسط جوش به مقدار زیادی انجام می‌گیرد اما به دلیل تولید و جذب اکسیژن زیاد چقرمگی مناسبی در جوش پدید نمی‌آید. هدایت الکتریکی این نوع پودرها نسبتاً بالا بوده و امکان انجام جوشکاری

۱- High Basic Fluxes

Authorized National Body

سرعت‌های بالا را فراهم می‌نماید. ظاهر یا پروفیل فلز جوش حاصل از جوشکاری با این پودر، از نظم و هماهنگی مناسبی برخوردار بوده و اثر زیادی از سوختگی لبهٔ جوش[1] در کناره های جوش دیده نمی‌شود، اما به دلیل پایین بودن مقاومت به ضربه، فلز جوش حاصل توصیه شده که در جوش‌های چند پاسی ورق‌های ضخیم از آن استفاده نشود لذا برای جوشکای های ورق‌های نازک با سرعت بالا و جوش‌های گوشه بسیار مناسب است[۲].

- **پودر سیلیکات کلسیم(CS)**

ترکیب اصلی این پودرها شامل مقادیر زیادی اکسید کلسیم(CaO) و دی اکسید سیلیسیم(SiO_2) است. این نوع پودر در دو نوع اسیدی و بازی تولید می‌شود. نوع اسیدی دارای حداکثر ظرفیت انتقال جریان الکتریکی است که در انتقال مقدار سیلیسیم به فلز جوش تاثیر فراوانی دارد. این پودر به ویژه برای جوشکاری‌های دو پاسی مقاطع نیمه ضخیم و در مواردی که خواص مکانیکی ویژه ای از جوش انتظار نمی‌رود مناسب است. نوع قلیایی آن مقدار سیلیسیم کمتری به فلز جوش مذاب انتقال داده و برای جوشکاری‌های چند پاسی اتصالاتی که استحکام و مقاومت به ضربه در آن‌ها از اهمیت برخوردار است، کاربرد دارد. ظرفیت هدایت جریان الکتریکی این نوع پودر با افزایش درجه قلیایی بودن آن کاهش پیدا کرده اما ظاهر جوش نسبتاً مناسب خواهد بود[۲].

- **پودرهای سیلیکات زیرکونیم(ZS)**

اساس ترکیب این نوع پودر ترکیبات دی‌اکسیدزیرکونیم(ZrO_2) و دی اکسید سیلیسیم(SiO_2) بوده و برای جوشکاری‌های یک پاسی و سرعت بالا روی ورق‌های نازک و عاری از هر گونه آلودگی بسیار مناسب است. سرباره حاصل از جوشکاری با این نوع پودر، دارای خاصیت ترکنندگی[2] بالایی بوده و بنابراین جوشی با ظاهر یا پروفیل منظم و مناسب و بدون هر گونه سوختگی لبهٔ جوش به دست می‌آید[۳].

- **پودرهای سیلیکات رتیلی(RS)**

ترکیبات اصلی این نوع پودر بر وجود دی‌اکسیدتیتانیم(TiO_2) یا روتیل و دی‌اکسیدسیلیسیم(SiO_2) استوار است. در جریان جوشکاری و ذوب، منگنز موجود در آن‌ها به سرعت اکسید شده و مقادیر

۱- Under Cut

۲- Wettability

Authorized National Body

زیادی سیلیسیم وارد حوضچهٔ جوش می‌نماید. از این رو این نوع پودر را باید با سیم‌جوش‌های محتوی منگنز زیاد به کار بست. جذب اکسیژن بالا یکی از معایب این پودر می باشد که کاهش مقاومت به ضربه و چقرمگی فلز جوش را در پی خواهد داشت. ظرفیت هدایت حرارتی پودر سیلیکات رتیلی بالا بوده و بنابراین در جوشکاری‌های سرعت بالا استفاده می‌شود. از این رو برای جوش‌های تک پاسی لوله های قطور (با طرح اتصال X) کاربرد پیدا کرده است[۳].

- **پودر آلومینات روتیلی(AR)**

اصلی‌ترین تشکیل دهنده‌های این پودر، اکسیدهای آلومینیم(آلومین Al_2O_3) و دی‌اکسید تیتانیم (روتیل TiO_2) می‌باشند. این پودر در اثر ذوب شدن مقادیر متوسطی منگنز و سیلیسیم را وارد حوضچه مذاب می‌کند. به دلیل سیالیت بالای سربارهٔ حاصل، جوشکاری با این نوع پودر بسیار راحت بوده و جوشی با ظاهر و پروفیل بسیار مناسب به دست می‌آید. سرعت جوشکاری با این پودر بسیار بالا بوده و سربارهٔ حاصل به راحتی از سطح جوش، حتی جوش‌های گوشه جدا می‌گردد. این نوع پودر با جریان‌های AC یا DC قابل استفاده بوده اما به دلیل جذب اکسیژن نسبتاً بالا، فلز جوش حاصل از خواص مقاومت به ضربه یا چقرمگی خوبی برخوردار نمی باشد. کاربرد اصلی آن در جوشکاری مخازن جدار نازک، لوله‌ها و اتصالات لوله به لوله و یا جوش‌های گوشه در سازه های فولادی، اسکلت های فلزی، تیر ورق‌ها و کشتی سازی است[۲].

- **پودر آلومینات قلیایی(AB)**

ترکیب اصلی این نوع پودر بر اساس وجود اکسید آلومینیم (آلومین Al_2O_3) و نیز مقادیری اکسید منیزیم(MgO) و اکسید کلسیم(CaO) می‌باشد. این نوع پودر مقدار متوسطی منگنز را به جوش انتقال داده و به دلیل وجود مقادیر زیاد آلومین، سربارهٔای کم حجم و سبک تولید می‌کند. مقدار اکسیژن جذب شده متوسط بوده و چقرمگی نسبی به دست می‌آید. این پودرها برای جوشکاری دو پاسی، فولادهای ساختمانی کربنی غیرآلیاژی و کم آلیاژی با جریان‌های AC یا DC کاربرد وسیعی پیدا کرده است[۲].

- **پودر آلومینات سیلیکات(AS)**

این پودرها از ترکیبات قلیایی مثل اکسید منیزیم(MgO) و فلوراید کلسیم(CaF_2) تشکیل یافته که با مقادیری از سیلیکات‌های دیگر(ZrO_2 , Al_2O_3) به طور جانشینی در تعادل هستند.

این پودرها، از خانوادهٔ خنثی بوده و به دلیل احتمال اکسید شدن منگنز موجود در آن‌ها باید آن‌ها را با سیم‌جوش‌های با منگنز بالاتر به کار برد. به دلیل بالا بودن درجهٔ قلیایی سرباره، فلز جوشی با مقدار اکسیژن کمتر ایجاد می‌کند. به همین دلیل و نیز به دلیل سیالیت پایین سربارهٔ حاصل، این پودرها در عمل از ظرفیت انتقال جریان و سرعت جوشکاری کمتری برخوردارند. این پودر برای جوشکاری اتصالات با فاصلهٔ باریک[1] به کار می‌رود و سربارهٔ حاصل به راحتی از سطح جوش جدا می‌شود. ظاهر جوش نیز از کیفیت مناسبی برخوردار است. استفاده از جریان DC برای جوشکاری با این پودر ترجیح داده می‌شود(به دلیل تشکیل مقدار هیدروژن کمتر در جوش)، اما برخی از این پودرها را می‌توان با جریان AC نیز به کار برد. این نوع پودر به عنوان پودر فلوراید قلیایی، برای جوشکاری‌های چند پاسی به خصوص در مواردی که به مقاومت به ضربه بالا نیاز نیست، مناسب است، بنابراین در جوشکاری فولادهای ریز دانهٔ استحکام بالا مانند مخازن تحت فشار و قطعات تجهیزات نیروگاهی یا سازه های دریایی استفاده می‌شود[۲].

- **پودر قلیایی آلومینات فلوراید(AF)**

ترکیب اصلی این نوع پودر شامل اکسید آلومینیم(آلومینAl_2O_3) و فلوراید کلسیم(CaF_2) بوده و به طور کلی با سیم‌جوش‌های آلیاژی مثل فولادهای زنگ نزن و آلیاژهای پایهٔ نیکل به کار می‌رود. این پودر از دسته پودرهای خنثی است. همچنین به دلیل مقدار زیاد فلوراید، دارای خاصیت ترکنندگی و ظاهر جوش خوبی بوده و در مقایسه با نوع آلومینات قلیایی در ولتاژهای بالاتری به کار می‌رود[۲].

- **پودر فلوراید قلیایی(FB)**

این نوع پودرها دارای ترکیبات قلیایی بالا مثل اکسید کلسیم(CaO)، اکسید منیزیم(MgO)، اکسید منگنز(MnO) و فلوراید کلسیم(CaF_2) بوده، اما دی اکسید سیلیسیم(SiO_2) آن‌ها کمتر می باشد و در گروه پودرهای خنثی قرار می‌گیرد. احتمال سوختن منگنز باعث شده تا در جوشکاری با این پودرها استفاده از سیم‌جوش‌های محتوی منگنز بالاتر پیشنهاد شود. به دلیل قلیایی بودن سربارهٔ فلز

۱- Narrow-Gap

جوش، جذب اکسیژن آن کمتر بوده و در نتیجه مقاومت به ضربهٔ فلز جوش به ویژه در حرارت‌های پایین، زیاد است. سیالیت پایین سرباره، ظرفیت هدایت الکتریکی کم و سرعت جوشکاری نه چندان زیاد از دیگر خصوصیات این پودر است.

سربارهٔ حاصل از جوشکاری با این پودر، حتی اگر در اتصالات با فاصلهٔ باریک به کار رود، به راحتی از سطح جوش جدا شده و بنابراین ظاهر و پروفیل مناسبی از جوش به دست می‌آید. اگر چه در جوشکاری با این پودر استفاده از جریان DC ترجیح داده می‌شود(به دلیل تولید کمتر هیدروژن) ولی بعضی از این پودرها را با جریان AC نیز می‌توان به کار برد، بنابراین از این پودر در فرآیند چند سیمی نیز می‌توان استفاده نمود. این سیم‌جوش‌ها برای جوشکارهای چند پاسی با چقرمگی بالا به ویژه برای فولادهای ساختمانی ریزدانه استحکام بالا، مانند مخازن تحت فشار و قطعات نیروگاهی و دریایی بسیار مناسب می باشند. این پودرها همچنین ممکن است برای جوشکاری فولادهای زنگ نزن و آلیاژهای پایه نیکل نیز به کار برده شوند[۲].

جدول ۳ : مشخصات فنی و آنالیز شیمیایی انواع پودرها بر اساس استاندارد آلمانی[۳]

نوع پودر	علامت اختصاری	ترکیب شیمیایی پودر و مقدار هر یک
سیلیکات منگنز	MS	$MnO+SiO_2$(Min۵۰٪)+CaO(Max۱۵٪)
سیلیکات کلسیم	CS	CaO+MgO+SiO_2(Min۵۰٪)+(CaO+MgO)(۱۵٪Min)
سیلیکات زیرکونیم	ZS	ZrO_2+SiO_2+MnO(Min۴۵٪)+ZrO_2(Min۵٪)
سیلیکات روتیلی	RS	TiO_2+SiO_2(Min۵۰٪)+TiO_2(Min۲۰٪)
آلومینات روتیلی	AR	$Al_2O_3+TiO_2$(Min۴۰٪)
آلومینات قلیایی	AB	Al_2O_3+CaO+MgO(Min۴۰٪)+Al_2O_3(Min۲۰٪),CaF_2(Max۲۲٪)
آلومینات سیلیکات	AS	$Al_2O_3+SiO_2+ZrO_2$(Min۴۰٪)+CaF_2+MgO(Min۳۰٪)+ZrO_2(Min۵٪)
آلومینات فلوراید	AF	$Al_2O_3+CaF_2$(Min۷۰٪)
فلوراید قلیایی	FB	CaO+MgO+CaF_2+MnO(Min۵۰٪),SiO_2(Max۲۰٪),CaF_2(Min۱۵٪)

- **پودر آهن[1](IP)**

برای افزایش کیفیت جوشکاری فلزات ضخیم‌تر از ۲۰mm، افزودن برخی فلزات به صورت پودر در ترکیب پودر مصرفی معمول شده است. برای هر واحد طول از جوش، انرژی حرارت ورودی، با افزایش پودر آهن کنترل شده و سبب کوچک‌تر شدن منطقهٔ تحت تاثیر حرارت(HAZ) در جوش‌های زیرپودری می‌گردد. این عمل، به نوبه خود سبب افزایش استحکام و سایر خواص مکانیکی جوش می‌گردد. انرژی ورودی به جوش در واحد طول جوش با افزایش مقدار پودر آهن ورودی کاهش پیدا می‌کند و در نتیجه بازدهی این جوش‌ها در مقایسه با سایر جوشکاری‌های زیرپودری تا ۵۰ درصد افزایش می‌یابد؛ این بدین معنی است که هزینه‌های آزمایشگاهی و کنترل کیفی لازم برای این جوش‌ها به شدت کاهش پیدا می کند و در مجموع حتی طول مدت زمانی که قطعهٔ کار در کارگاه و تحت عملیات تولید و کنترل کیفی است نیز کاهش می‌یابد.

پودرهای آهن به طور معمول دارای عناصر آلیاژی دیگری نیز هستند که متداول‌ترین آن‌ها تا ۱/۸ درصد حاوی منگنز است. عناصر دیگری نیز مثل نیکل و مولیبدن نیز به پودر آهن اضافه می‌شوند. اندازهٔ دانه‌بندی آن‌ها بین ۰/۷mm ـ ۰/۵mm بوده و در اثر اضافه شدن به جوش، جوشکاری ورق‌های ضخیم را به ویژه در اتصالات گوشه آسان‌تر می‌کند. اگر چه استفاده از این پودرها، کاهش نفوذ را در پی دارد، اما با این حال سبب کاهش خطر بروز عیوبی مانند سوختگی‌های لبه و ریشهٔ جوش می‌گردد. علاوه‌بر پودر آهن، پودرهای فلزی دیگری مثل منگنز، آلیاژهای نیکل، آلیاژهای کروم ـ نیکل ـ مولیبدن و بعضی فولادهای کم آلیاژ دیگر نیز به صورت پودر و بسته به نیاز برای ارتقای کیفی جوش به آن اضافه می‌گردند.

۴ـ۲ـ توزیع و اندازهٔ ذرات

اندازهٔ ذرات فلاکس و توزیع یکنواخت آن در حجم فلاکس از نکات مهم در جوشکاری زیرپودری می‌باشد. این پارامتر تغذیه و بازیابی را تحت تاثیر قرار می‌دهد و بر شدت جریان و شکل و صافی سطح جوش نیز اثر دارد. با افزایش شدت جریان، متوسط اندازهٔ دانهٔ فلاکس می‌بایست کاهش یافته و درصد ذرات ریز زیاد شود. اگر برای یک اندازهٔ ذرهٔ خاص، شدت جریان بسیار بالا به کار رود، ممکن است قوس ناپایدار شده و لبه‌ها ناصاف شوند. هنگامی که جوشکاری بر روی فولاد زنگ زده[2] انجام

۱-Iron Powder
۲-Rusty

Authorized National Body

می‌گیرد، بهتر است از فلاکس درشت دانه استفاده شود تا خروج گاز راحت‌تر صورت گیرد. برخی تولیدکنندگان فلاکس‌ها بر روی بسته‌بندی‌های پودر تولید شده، اطلاعات مربوط به اندازه را به صورت دو عدد مش اعلام می‌کنند. این اعداد نشان‌دهندهٔ بزرگترین و کوچکترین اندازه ذرات است که با استفاده از سرندهای استاندارد اندازه‌گیری، به دست می‌آیند. عدد اول نشان دهندهٔ سرندی است که تمام ذرات از آن عبور کرده و عدد دوم نشان دهندهٔ سرندی است که بیشتر ذرات یا تمام آن‌ها بر روی آن باقی مانده‌اند.

البته این دو عدد تمام اطلاعات لازم در مورد دانه‌بندی را به دست نمی‌دهد. به عنوان مثال اندازه مش ۲۰×۲۰۰ نشان نمی‌دهد که فلاکس درشت دانه به همراه مقداری ذرات ریز بوده یا فلاکس ریزدانه به همراه مقداری ذرات درشت می‌باشد و فقط دامنهٔ اندازه‌های مورد نظر را مشخص می‌کند. برخی تولیدکنندگان فلاکس‌ها محصولات خود را فقط در یک بازهٔ اندازهٔ دانه به منظور کاربردهای عمومی فلاکس‌ها ارائه می‌کنند[۱].

اگر فلاکس بسیار ریزدانه باشد فشرده می‌شود و تغذیهٔ آن بر روی درز جوش به خوبی صورت نمی‌گیرد. اگر فلاکس ریزدانه یا فلاکسی با مقدار کمی ذرات ریز، توسط سیستم خلاء بازیابی شود، ذرات ریز ممکن است توسط سیستم محبوس شوند و فقط ذرات درشت‌تر برای استفادهٔ مجدد به سیستم تغذیه بازگردند، که ممکن است اشکالاتی در جوشکاری ایجاد کند.

در کاربردهایی که مقدار کم هیدروژن در فلز جوش از اهمیت برخوردار است، فلاکس باید خشک نگه داشته شود. فلاکس‌های از پیش ذوب شده، دارای آب‌تبلور نیستند ولی حاوی ذرات رطوبت سطحی می‌باشند. فلاکس‌هایی وجود دارند که علاوه بر رطوبت سطحی، دارای آب‌تبلور نیز می‌باشند. این فلاکس‌ها باید مشابه الکترودهای کم هیدروژن جوشکاری SMAW، محافظت شوند. کاربر باید توصیه‌های تولیدکنندهٔ فلاکس را به دقت دنبال کند.

وقتی از فلاکس‌های آلیاژی استفاده می‌شود، لازم است نسبت الکترود ذوب شده و فلاکس، حفظ شود تا ترکیب فلز جوش ثابت بماند. این نسبت در واقع توسط متغیرهای جوشکاری تعیین می‌شود. به عنوان مثال انحراف از یک رابطه معین ولت ـ آمپر موجب تغییر مقدار آلیاژ فلز جوش می‌شود زیرا نسبت الکترود ذوب شده به فلاکس را تغییر می‌دهد.

فلاکس‌ها به سه دستهٔ کلی اسیدی، بازی و خنثی تقسیم می‌شوند. بازیسیته یا اسیدیتهٔ فلاکس به چگونگی تجزیه اکسیدهای فلاکس به کاتیون فلزی و آنیون اکسیژن بستگی دارد. فلاکس‌های بازی

Authorized National Body

حاوی مقادیر زیادیMgO و یا CaO هستند در حالی که فلاکس‌های اسیدی دارای مقدار زیادی SiO_2 می‌باشند.

بازیسیته یا اسیدیتهٔ فلاکس، معمولاً از روی نسبت مقدار CaO یا MgO به مقدار SiO_2 مشخص می‌شود. اگر این نسبت از یک بیشتر باشد فلاکس بازی است، اگر نسبت نزدیک یک باشد، خنثی و اگر کمتر از یک باشد اسیدی است. فلاکس‌های بازی اخیراً در کاربردهای بحرانی که کنترل دقیق دقت خواص و ترکیب رسوب مهم است به کار می‌روند. اغلب فلاکس‌های بازی برای سیم‌جوش‌های مخصوص فرموله شده‌اند یعنی فلاکس‌هایی که میزان کروم و افت کربن را موازنه و متعادل می‌کنند. این فلاکس‌ها انتقال سیلیسیم، منگنز و اکسیژن را از سرباره به فلز جوش محدود می‌کنند. فلاکس‌های بازی، برای تمام فلزات قابل اتصال به روش زیرپودری مناسب هستند[۱].

۴ـ۳ـ مبنای انتخاب پودر جوشکاری

با توجه به امکان به‌کارگیری پودرهای متنوع با انواع سیم‌جوش‌ها و به دست آمدن خواص مکانیکی مختلف به این طریق، انتخاب پودرهای جوشکاری با توجه به فاکتورهای متعددی انجام می گیرد. مهم‌ترین عوامل موثر در انتخاب پودرهای جوشکاری زیرپودری به قرار زیر است:

۱- کنترل ترکیب شیمیایی فلز جوش و فلز پایه؛
۲- کنترل چقرمگی فلز جوش؛
۳- توانایی جوشکاری فلزات نازک در سرعت‌های زیاد؛
۴- توانایی تحمل(انتقال) شدت جریان‌های بالا؛
۵- جوشکاری اتصالات زنگ زده و حاوی پوسته‌های اکسیدی؛
۶- کنترل مقدار نفوذ جوش؛
۷- کنترل شکل ظاهری و پروفیل و گردهٔ جوش؛
۸- قابلیت جوشکاری با جریان مستقیم یا متناوب در ولتاژهای مدار باز مختلف؛
۹- کنترل سلامت فلز جوش و بدون ترک بودن آن؛
۱۰-راحتی جدا شدن سرباره از روی جوش؛
۱۱-توانایی انجام جوشکاری‌های سخت در شرایط ویژه متالورژیکی؛
۱۲-صرفه اقتصادی و قیمت؛

Authorized National Body

۱۳-دستیابی به نیازهای طراح، مثل توانایی کار در سرویس کاری با درجهٔ حرارت بالا یا پایین، مقاومت به خوردگی و مقاومت به ضربه و غیره در جوش حاصل؛

۱۴-قابلیت عملیات حرارتی مورد نیاز؛

۱۵-طرح اتصال.

اگر چقرمگی یا مقاومت به ضربه فلز جوش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد(که اغلب موارد نیز چنین است)، در نظر گرفتن درجه قلیایی بودن پودر مهم‌ترین عامل به شمار می‌رود. لازم به ذکر است که بالا بودن درجهٔ قلیایی بودن پودر، فقط تا حدی لازم است که مقاومت به ضربهٔ مورد نظر را در فلز جوش تأمین کند، زیرا افزایش بیش از حد این فاکتور کاهش سیالیت مذاب را در پی دارد. علاوه بر آن بالا بودن استحکام کششی فلز جوش نیز یکی دیگر از اهدافی است که باید در جریان انتخاب پودر، با در نظر گرفتن جنس سیم، مطابقت این دو سیم با یکدیگر و نتیجهٔ حاصل از امتزاج آن‌ها با هم، مدنظر قرار داد. همان طور که قبلاً نیز گفته شد سه عنصر کربن، منگنز و سیلیسیم، تاثیرات جداگانه‌ای بر فلز جوش فولادهای غیرآلیاژی دارند. منگنز بهترین عنصر برای به دست آوردن مقاومت مکانیکی، به ویژه چقرمگی و استحکام کششی در فلز جوش است، زیرا با ایجاد پدیده شکنندگی داغ[۱] که با وجود گوگرد در فولاد رخ می‌دهد به شدت مقابله کرده و سبب ارتقای سطح استحکام در آن می‌گردد.

اگر درصد منگنز از ۱/۸٪ تجاوز کند، فلز جوش به شدت ترد و شکننده شده و دچار ترک‌های سرد می‌گردد. نکته قابل تاکید و توجه دیگر این است که حرارت ورودی یا نرخ سرد شدن یک جوش تاثیرات به سزایی بر ساختار کریستالی و در نتیجه مشخصات و خواص مکانیکی جوش دارد[۲].

علاوه بر ترکیب شیمیایی فلز جوش، نرخ رسوب[۲] که معرف جرم فلز رسوب داده شده در واحد زمان است، نیز از پودر جوشکاری تاثیر می‌پذیرد.

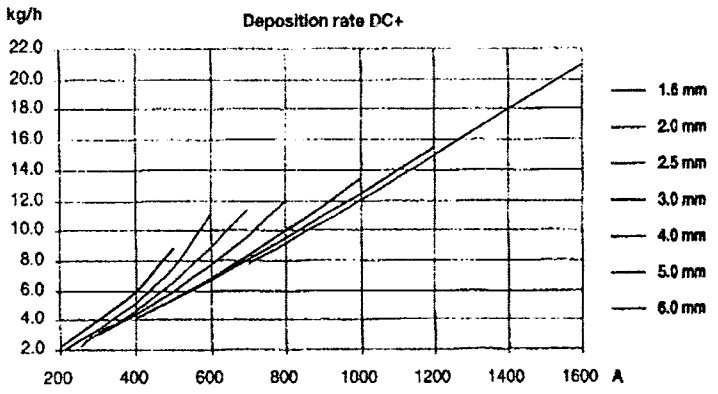
هر چند نرخ رسوب به سیم‌جوش مصرفی بستگی بیشتری دارد، اما از تاثیرات پودرهای جوشکاری بر نرخ رسوب نمی‌توان به سادگی گذشت.

مهم‌ترین عامل در مقدار نرخ رسوب، نوع، میزان و قطبیت جریان جوشکاری است که به سیم و پودر وارد شده و از طریق آن‌ها در جوش اثر می‌گذارند. بالاترین میزان نرخ رسوب، در استفاده از جریان DC با قطبیت مستقیم(منفی) محقق می‌شود. جریان AC نرخ رسوب متوسطی داشته و جریان

۱-Deposition Rates

۲-Red Shortness

DC با قطبیت معکوس(مثبت) که کمترین نرخ رسوب را داراست، بیشترین مقدار نفوذ یا عمق نفوذ را دارد(شکل ۷). شکل ۸ تأثیر انتخاب صحیح قطر سیم‌جوش را در افزایش یا کاهش نرخ رسوب نشان می‌دهد. بر این اساس اگر از جریان DC مثبت (که بیشترین کاربرد را دارد) استفاده شود تا حدود ۴۵۰ آمپر، سیم جوش‌هایی با قطر کمتر، مثل ۱/۶ و ۲ و ۲/۵ میلی‌متر، بیشترین نرخ رسوب را ارائه می کند، در حالی که در جریان‌های بیشتر این رابطه برای سیم‌جوش‌های با قطرهای بیشتر حاکم خواهد بود. در هر صورت سیم‌جوش‌های نازک‌تر نسبت به سیم‌جوش‌های قطورتر، در یک جریان مشخص و ثابت همواره بیشترین نرخ رسوب را دارند[۲].



شکل ۸ : رابطه میزان نرخ رسوب بر حسب قطر سیم‌جوش مصرفی در جوشکاری زیرپودری[۳].

انتخاب پودر جوشکاری نیز تاثیرات قابل توجهی در تغییر نرخ رسوب خواهد داشت. در مجموع، جریان AC با موج های مربعی، بهترین گزینه برای دستیابی به نرخ رسوب مناسب در جوشکاری‌های زیرپودری است. زیرا با در نظر گرفتن تمام شرایط، از بروز برخی عیوب مثل انحراف قوس در میدان‌های مغناطیسی جلوگیری به عمل می آورد. در ضمن منحنی فوق یک فرمول دستی ساده را برای انتخاب حداقل و حداکثر جریان برای شروع جوشکاری و ادامه آن بر حسب قطر سیم‌جوش به دست می‌دهد به این ترتیب که در فرآیندهای جوشکاری زیرپودری با یک سیم:

حداقل جریان لازم برای شروع و برقراری قوس الکتریکی = قطر سیم‌جوش(mm) ×۱۰۰ آمپر

Authorized National Body

حداکثرمیزان جریان لازم برای جوشکاری زیرپودری = قطر سیم‌جوش(mm) ×۲۵۰ آمپر

در بعضی موارد، استفاده از سیم دوتایی با قطرهای نازک‌تر (Twin-wire) به جای استفاده از یک سیم با قطر بالاتر توصیه می‌شود[۳].

۴ـ۴ـ بسته بندی و نگه داری مواد مصرفی جوشکاری زیرپودری

مهم‌ترین نکته در مورد بسته بندی و نگهداری پودرهای جوشکاری زیرپودری حفاظت آن‌ها در برابر رطوبت و جلوگیری از جذب رطوبت توسط آن‌ها است. یک بسته بندی مناسب باید درصد رطوبت را حداکثر تا ۰/۰۵ درصد تضمین نماید. خریداران و مصرف کنندگان نیز باید شرایط نگهداری را به گونه ای تعبیه و تدبیرنمایند تا از پارگی کیسه ها و یا خیس شدن آن‌ها جلوگیری به عمل آید. به همین منظور، در بسته بندی ها استفاده از لایه‌های چندتایی پلاستیکی و کاغذی به عنوان کیسه نگه‌دارنده، ظرف های فولادی دردار و کیسه های برزنتی که از داخل توسط چند لایه فشرده پلاستیکی محکم کاری شده، در حجم ها و ظرفیت های گوناگون مرسوم می باشد. برای حمل بسته ها اغلب آن‌ها را روی پالت چوبی پایه دار که از سطح زمین چند سانتی متری ارتفاع دارند قرار داده و سپس هر پالت را در کانتینرهای سقف دار جابه جا و حمل می نمایند. هرگز بیش از ۵ تا ۱۰ ردیف کیسه روی هم را روی یک پالت قرار نداده و بیش از دو پالت را نیز روی یکدیگر نمی گذارند. دمای انباری که باید کیسه های پودردر آن‌ها نگهداری شوند باید $۲۰\pm۱۰^{\circ}C$ و مقدار رطوبت آن در حداقل ممکن حداکثر ۶۰ درصد باشد. پودر جوشکاری بسته بندی شده در ظرف های فولادی ،بشکه[۱] را حداکثر ۳ سال، کیسه های چند لایه کاغذ و پلاستیکی را حداکثر ۲ سال و کیسه های کیفی برزنتی را حداکثر ۶ ماه می‌توان در انبار نگه داری نمود. پودر جوشکاری در حال استفاده که درمنبع تغذیه دستگاه ریخته شده و وارد ناودانی ها گردیده نیز در صورت تعطیلی کارگاه نباید بیشتر از ۸ ساعت بی استفاده بماند و پس از گذشت این مدت پودر ها باید دوباره در کوره و دمای $۲۵۰\pm۱۵۰^{\circ}C$ حرارت داده شوند. در فرآیند مکش و استفاده مجدد از پودرهای اضافی سطح جوش[۲]، باید دقت کافی به عمل آید تا تجهیزات مورد استفاده جهت مکش، هیچگونه چربی، روغن یا رطوبت را وارد پودر ننمایند و

۱-Buckets/Barrels

۲-Recycling

هرگز بیش از نسبت یک به سه پودر برگشتی به پودر جدید اضافه نگردد. خشک کردن مجدد[1] پودرهای جوشکاری، فقط در شرایطی که درصد رطوبت آن از حد مجاز تجاوز کرده ضروری می‌گردد که دستورالعمل آن به قرار زیر است:

۱- برای پودرهای آگلومره: حرارت دادن در دمای $۳۰۰\pm۲۵^{\circ}C$، به مدت ۴ـ۲ ساعت

۲- برای پودرهای پیش ذوب شده: حرارت دادن در درجهٔ حرارت $۲۰۰\pm۵۰^{\circ}C$ برای زمان ۴ـ۲ ساعت

علاوه بر پودرهای جوشکاری که به مراقبت ویژه ای در زمان عمل و نگه داری یا انبارداری نیاز دارند در زمان بسته بندی حمل و انبارداری سیم‌جوش‌های مصرفی نیز باید دقت های لازم مد نظر قرار گیرد. به همین منظور و نیز برای راحتی استفاده از سیم‌جوش‌ها در زمان مصرف، هنگام بسته بندی، آن‌ها را دور قرقره های مخصوص که به همین منظور طراحی، استاندارد و ساخته شده‌اند، می پیچیند. هر چند پیش از آن، سطح سیم‌جوش‌ها را (نه در تمام موارد) مس اندود می نمایند.[۲]

۴ـ۵ـ طبقه‌بندی سیم و پودرهای جوشکاری زیرپودری مطابق استاندارد AWS:A۵,۱۷

سیم‌جوش‌های استاندارد شده در این طبقه‌بندی، که در سال ۱۹۸۹ بازنگری شده است، بر اساس ترکیب شیمیایی تقسیم‌بندی شده‌اند. روش نامگذاری سیم‌جوش‌ها به قرار زیر است:

E X XX Y

Eـ سیم‌جوش زیرپودری

Xـ حرفی که نشان دهنده مقدار منگنز در ترکیب سیم‌جوش می باشد. این حروف می‌تواند M, L یا H باشد.

Lـ حداکثر ۰/۶ درصد منگنز (کم منگنز).

Mـ حداکثر ۱/۴ درصد منگنز (منگنز متوسط).

Hـ حداکثر ۲/۲۵ درصد منگنز (پر منگنز).

Fـ پودر جوشکاری

Xـ یک عدد، نشان دهنده حداقل استحکام کششی فلز جوش حاصل از استفاده از پودر مورد نظر در ترکیب با یک سیم‌جوش مشخص، بر حسب ضریبی از ۱۰۰۰psi یا ۱ ksi (۶۹Mpa).

۱-Redrying

Authorized National Body

این عدد یکی از ارقام ۶ یا ۷ خواهد بود. جدول (۵)، مشخصات مربوط به این دو رقم را معرفی کرده است.

X: یک حرف، نشان دهنده مشخصات عملیات حرارتی مورد نیاز شامل: حرف A به معنای بدون نیاز به عملیات حرارتی پسگرمایی (As Weld)، حرف P به معنای نیازمند به عملیات حرارتی پس‌گرمایی (Post Weld Heat Treatment) مطابق مشخصات مندرج در جدول (۶).

X: یک عدد نشان دهنده حداقل درجهٔ حرارتی است که در آن، مقاومت به ضربه یا چقرمگی فلز جوش در حدود بیش از ۲۷j گزارش می‌گردد. جدول (۸) نشان دهنده اعداد قابل استفاده در این قسمت است.[۳]

XX_ عدد یک یا دو رقمی، معرف مقدار کربن موجود در سیم‌جوش (صد برابر)

Y_ یک حرف، نشان دهنده روش تولید فولاد اولیه ای که سیم‌جوش را از آن تهیه کرده اند. این حرف می‌تواند K یا N باشد.

K_ فولاد کشته با مقداری سیلیسیم.

N_ مناسب برای کاربردهای اتمی و هسته ای.

در این شرایط مقدار گوگرد و فسفر، وانادیوم و مس باید حداقل باشد تا در برابر شکنندگی ناشی از تشعشع مقاومت نمایند. بنابر این سیم‌جوش‌ها روکش مسی ندارند در جدول ۴ ترکیب شیمیایی برخی از سیم جوش های مناسب برای جوشکاری زیرپودری و استاندارد **AWS: A ۵,۱۷** آورده شده است[۳].

پودرهای طبقه‌بندی شده در این گروه نیز بر حسب ترکیبات شیمیایی، مشخصات مکانیکی، عملیات حرارتی و مقاومت به ضربه شان تقسیم‌بندی شده و این طبقه‌بندی در کنار تقسیم‌بندی سیم‌جوش‌ها معنی پیدا می‌کند.روش نامگذاری پودرهای جوشکاری به صورت زیر است:

F X X X

جدول (۵): معرفی اعداد نشان دهنده میزان استحکام کششی فلز جوش در استفاده از یک پودر جوشکاری مشخص[۲]

طبقه‌بندی پودر و سیم	استحکام کششی		تنش تسلیم		انعطاف پذیری (درصد)
	Mpa	(KSI)	Mpa	(KSI)	
EXXX_F۶XX	۴۱۵_۵۵۰	۶۰_۸۰	۳۳۰	۴۸	۲۲
EXXX_F۷XX	۴۸۰_۶۵۰	۷۰_۹۵	۴۰۰	۵۸	۲۲

جدول(۶): مشخصات عملیات حرارتی پودر جوشکاری در طبقه‌بندی AWS: A ۵,۱۷ [۲] .

علامت عملیات حرارتی	توضیح
A	بدون نیاز به عملیات حرارتی به صورت AS Weld
P	ـ قراردادن قطعه جوشکاری شده در درجهٔ حرارت ۳۱۶°C در کوره ـگرم کردن قطعه با سرعت حداکثر ۲۲۲°C/h تا دمای $621\pm14^{\circ}C$ به مدت ۱ ساعت ـ سرد کردن قطعه در کوره با سرعت حداکثر۱۹۴°C /h تا دمای ۳۱۶°C و سرد کردن از درجهٔ حرارت به پایین در هوا.

جدول (۷): ترکیب شیمیایی و طبقه‌بندی سیم‌جوش‌های مناسب برای جوشکاری زیرپودری در استاندارد AWS A ۵,۱۷ [۳].

سیم‌جوش	عدد UNS	کربن٪	منگنز٪	سیلیسیم٪	گوگرد٪	فسفر٪	مس٪
سیم‌جوش‌های کم منگنز							
EL۸	K۰۱۰۰۸	۰/۱	۰/۲۵ـ۰/۶	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۳۵
EL۸K	K۰۱۰۰۹	۰/۱	۰/۲۵ـ۰/۶	۰/۱ـ۰/۲۵	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۳۵
EL۱۲	K۰۱۰۱۲	۰/۰۴ـ۰/۱۴	۰/۲۵ـ۰/۶	۰/۱	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۳۵
سیم‌جوش‌های منگنز متوسط							
EM۱۲	K۰۱۱۱۲	۰/۰۶ـ۰/۱۵	۰/۸ـ۰/۲۵	۰/۱	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۳۵
EM۱۲K	K۰۱۱۱۳	۰/۰۵ـ۰/۱۵	۰/۸ـ۱/۲۵	۰/۱ـ۰/۳۵	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۳۵
EM۱۳K	K۰۱۳۱۳	۰/۰۶ـ۰/۱۶	۰/۹ـ۱/۴	۰/۳۵ـ۰/۷۵	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۳۵
EM۱۴K	K۰۱۳۱۴	۰/۰۶ـ۰/۱۹	۰/۹ـ۱/۴	۰/۳۵ـ۰/۷۵	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۳۵
EM۱۵K	K۰۱۵۱۵	۰/۱ـ۰/۲	۰/۸ـ۱/۲۵	۰/۱ـ۰/۳۵	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۳۵
سیم‌جوش‌های پرمنگنز							
EH۱۱K	K۱۱۱۴۰	۰/۰۷ـ۰/۱۵	۱/۴ـ۱/۸۵	۰/۸ـ۱/۱۵	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۳۵
EM۱۲K	K۰۱۲۱۳	۰/۰۶ـ۰/۱۵	۱/۵ـ۲	۰/۲۵ـ۰/۶۵	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۰/۳۵
EH۱۴	K۱۱۵۸۵	۰/۱ـ۰/۲	۱/۷ـ۲/۲	۰/۱	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۳۵

جدول (۸): علایم مربوط به چقرمگی یا مقاومت به ضربه جوش از پودرهای قرار گرفته در طبقه‌بندی AWS:A۵,۱۷ [۲].

علامت	درجهٔ حرارت (°C)	انرژی ضربه میانگین (j)
Z	به تست ضربه نیازی نمی باشد	به تست ضربه نیازی نمی باشد
۰	ـ۱۸	۲۰
۲	ـ۲۹	۲۰
۴	ـ۴۰	۲۰
۵	ـ۴۶	۲۰
۶	ـ۵۱	۲۰
۸	ـ۶۲	۲۰

مثال: ترکیب سیم و پودر استاندارد معادل EH۱۴ـF۶A۰، معرف موارد زیر است:

F: پودر جوشکاری

۶: با حداقل استحکام کششی ۶۰ـ۸۰ksi

A: نیازی به عملیات حرارتی پسگرمایی ندارد

O: قادر به حفظ مقاومت به ضربه ای معادل ۲۰j در ۱۸°Cـ می باشد

E: سیم‌جوش زیرپودری

H: دارای حداکثر ۱/۴ درصد منگنز

۱۴: دارای حدود ۰/۱۴ درصد کربن[۲]

۴ـ۶ـ طبقه‌بندی سیم و پودرهای جوشکاری زیرپودری، مطابق استاندارد E۷۶۰

این طبقه‌بندی در سال ۱۹۹۶ میلادی بازنگری شد از این رو به EN۷۶۰ـ۹۶ شهرت یافت. بر اساس این طبقه‌بندی ترکیب نهایی سیم و پودر مورد بررسی قرار می گیرد و فرمول آن به قرار زیر است:

S X XX X XX XX HXX

S: جوشکاری زیرپودری [۱]

X: روش تولید پودر به یکی از سه حالت زیر:

F: ذوب شده [۲]

A: آگلومره [۳]

M: مخلوط [۴]

XX: نوع پودر مطابق جدول (۹) است.

جدول (۹): علایم اختصاری نشان دهنده نوع پودر جوشکاری مصرفی مطابق EN۷۶۰ [۳].

علامت اختصاری	نوع پودر
MS	سیلیکات منگنز
CS	سیلیکات کلسیم
ZS	سیلیکات زیرکونیم
RS	سیلیکات روتیل
AR	آلومینات روتیل
AB	آلومینات قلیایی
AS	سیلیکات آلومینات
AF	فلوراید قلیایی آلومینات
FB	فلوراید قلیایی
Z	سایر

۱-Submerged Arc Welding

۲-Fused

۳-Agglomerated

۴-Mixed

Authorized National Body

جدول (۱۰): علایم اختصاری نشان دهنده کاربرد سیم و پودر مورد نظر طبق EN۷۶۰ [۲].

علایم اختصاری	کاربرد
۱	فولادهای ساختمانی، HSLA و غیره
۲	فولادهای زنگ نزن، آلیاژهای پایه نیکل و نیکل خالص
۳	جوشکاری‌های سختکاری سطحی برای سطوح مقاوم به سایش

X: کاربرد مطابق علایم اختصاری جدول (۱۰).

XX: دو عدد که به ترتیب رفتارهای متالورژیکی را در دفع و جذب منگنز و سیلیسیم نشان می دهد مطابق جدول۱۱.

XX: نوع جریان که می‌تواند AC یا DC باشد. در شرایطی که دو حرف AC درج شده باشد به معنای قابلیت استفاده از هر با دو جریان AC و DC بوده و در شرایطی که دو حرف DC نوشته شده باشد، قابلیت کار با جریان DC را نشان می‌دهد.

HXX: شامل حرف H و یک عدد ۵ ,۱۰ یا ۱۵ است که حداکثر درصد حجمی هیدروژن جذب شده توسط فلز جوش را بر حسب میلی لیتر درصد گرم فلز جوش نشان داده و مقدار هر یک معادل نشانه آن است[۳].

جدول (۱۱): رفتارهای متالورژیکی پودر و سیم های طبقه‌بندی شده در EN۷۶۰ [۲].

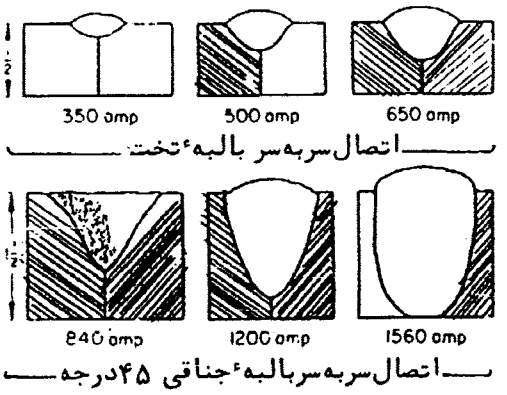
مشخصه متالورژیکی	نشانه	میزان جذب و دفع عناصر سیلیسیم و منگنز(درصد وزنی)
سوختگی و دفع عناصر out_Burn	۱	〉0/7
	۲	〉0/5 – 0/7
	۳	〉0/3 – 0/5
	۴	〉0/1 – 0/3
طبیعی ـ خنثی	۵	۰ـ۰/۱
جذب عناصر توسط فلز جوش Pickup	۶	〉0/1 – 0/3
	۷	〉0/3 – 0/5
	۸	〉0/5 – 0/7
	۹	〉0/7

۵ ـ متغیرهای فرآیند

در میان متغیرهایی که برای ایجاد جوش با سرعت تولید بالا و کیفیت عالی باید دقیقاً کنترل شوند، شدت جریان، نوع و قطب جریان الکتریکی، ولتاژ جوشکاری و سرعت اهمیت بیشتری دارند. اثر ترکیب شیمیایی فلز قطعهٔ کار، الکترود و فلاکس بر روی کیفیت نهایی جوش را نیز نباید نادیده گرفت. فاکتورهای دیگر نظیر عمق لایه پودر، طول موثر الکترود[۱] (فاصله بین ریشه قوس و نوک لوله اتصالی)، اندازه قطر الکترود و زاویه آن با کار به طور غیر مستقیم و جزیی بر روی کیفیت جوش تاثیر می گذارند. لازم به تذکر است که عوامل دیگری نظیر ضخامت قطعهٔ کار، طرح اتصال، درجهٔ حرارت پیش گرم قطعه و عملیات حرارتی پس از جوشکاری نیز بر روی کیفیت موضع اتصال تاثیر دارند [۳].

۵ـ۱ـ شدت جریان الکتریکی

شدت جریان رابطه مستقیم با عمق نفوذ جوش دارد و هر چه شدت جریان کمتر باشد جوش نیز متناسباً کم عمق و کم نفوذ خواهد بود (شکل۹).در کاربرد جریان یکنواخت (DC) در حالت الکترود منفی عمق نفوذ بیشتر از حالت الکترود مثبت می باشد. میزان فلز رسوب داده شده یا نرخ رسوب، نسبت مستقیم با مقدار شدت جریان دارد [۴].



شکل۹: اثر شدت جریان بر روی عمق نفوذ در دو حالت طرح لبه جوش [۳].

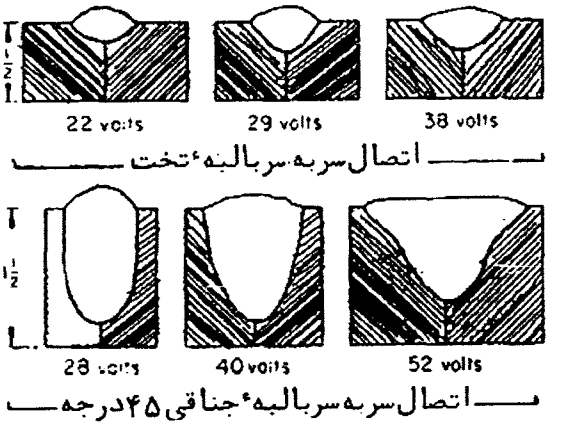
۱-Electrode stick out

Authorized National Body

۵ـ۲ـ ولتاژ جوشکاری

ولتاژ جوشکاری به طور کلی تعیین کننده شکل جوش و مقدار حرارت داده شده است.با افزایش ولتاژ پهنای گرده یا باند جوش وسیع تر و پخ تر می‌شود شکل (۱۰)، همچنین مصرف پودر جوش افزایش می‌یابد. ولتاژ زیاد ناشی از طول قوس بلند است که باعث شکسته شدن لایه سرباره در زیر قوس شده و منجر به تماس هوا با مذاب و افزایش میزان ناخالصی های اکسیژن و نیتروژن (ازت) و حتی خلل و فرج در جوش می‌شود.

اگر شدت جریان ثابت و ولتاژ نسبت به آن کاهش یابد، فلز پایه به اندازه کافی ذوب نشده و جوشی ناقص ایجاد می‌گردد. ولتاژ خیلی کم همچنین سبب بزرگ شدن قطرات ذوب در نوک الکترود گشته و احتمال ایجاد مدار بسته متناوب وجود دارد[۴].



شکل ۱۰: اثر ولتاژ بر روی جوش [۴].

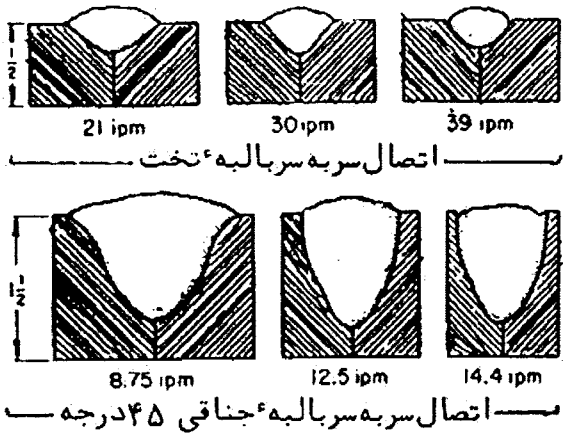
۵ـ۳ـ اثر سرعت جوشکاری

سرعت پیشرفت جوش فاکتوری است که تاثیر مهمی بر روی نرخ تولید و کیفیت متالورژیکی جوش دارد. افزایش سرعت پیشرفت، زمان تولید مقدار معینی از گرده جوش را کاهش می‌دهد اما بر روی زمان تولید واحد طول جوش‌های شیاردار (پخ سازی شده) در یک جریان الکتریکی معین و اندازه الکترود خاص اثر کمی دارد. سرعت بر روی نرخ حرارت وارد شده به فلز پایه [۱] نیز، تاثیر دارد.

۱-Heat input

افزایش سرعت یا کاهش شدت جریان یکی از راه های تقلیل حرارت داده شده به قطعهٔ کار و افزایش سرعت سرد شدن جوش می باشد. (ولتاژ نیز تاثیر دارد).

سرعت خیلی زیاد عمل تر کردن (آغشتگی)[1] را تقلیل داده و احتمال ایجاد بریدگی کناره جوش[2]را افزایش می‌دهد سرعت خیلی زیاد همچنین احتمال وزش قوس (بویژه در جریان یکنواخت)، تشکیل خلل و فرج را افزایش داده و عامل شکل ناموزون گرده جوش می باشد. سرعت کم باعث به وجود آمدن حوضچهٔ جوش حجیم و گاهی جاری شدن مذاب جوش به اطراف می‌گردد که سبب تولید جرقه و یا محبوس شدن ذرات سرباره در جوش می‌شود(شکل ۱۱)[۴].



شکل (۱۱): اثر سرعت جوشکاری بر روی مقطع جوش در دو حالت [۳].

۵ـ۴ـ اندازه الکترود

قطر الکترود بر شکل جوش و عمق نفوذ در جریان ثابت اثر می گذارد که در شکل ۱۲ نشان داده شده است. در تجهیزات نیمه اتوماتیک از الکترود با قطر کم جهت بهبود انعطاف پذیری در سرعت حرکت سیم استفاده می‌شود. همچنین در سیستم چند الکترودی با منابع نیروی موازی نیز

۱-Wetting action

۲-Under cut

Authorized National Body

الکترودهای با قطر کم به کار می‌روند. در جایی که مونتاژ[1] ضعیف است، از الکترودهای با قطر بیشتر برای پر کردن ریشه جوش‌های بزرگتر[2] استفاده می‌شود.

قطر الکترود بر نرخ رسوب نیز اثر می گذارد. در یک جریان ثابت، الکترود با قطر کمتر دارای دانسیتهٔ جریان بیشتر و نرخ رسوب بیشتر نسبت به الکترودی با قطر بزرگ خواهد بود. با این وجود الکترود با قطر بزرگ تر قادر به حمل جریان بیشتری است و در شدت جریان بالا نرخ رسوب آن بیشتر خواهد بود. اگر نرخ مورد نظر تغذیه الکترود بیشتر (یا کمتر) از توان موتور تغذیه باشد، تغییر قطر الکترود سرعت رسوب مطلوب را تامین می‌کند[۱].

۵ـ۵ـ طول موثر الکترود

در دانسیتهٔ جریان بیش از ۸۰۰۰۰A/in^2(۱۲۵ A/mm^2)، تأثیر طول موثر الکترود قابل توجه خواهد بود. در دانسیتهٔ جریان بالا، حرارت ناشی از مقاومت الکترود بین تیوپ تماس[3] و قوس، نرخ ذوب الکترود را افزایش می‌دهد. هرچه فاصله طولانی تر باشد مقدار حرارت و نرخ ذوب متناسباً بیشتر خواهد بود. به این حرارت ناشی از مقاومت، معمولاً حرارت I^2R گفته می‌شود. برای شروع یک فرآیند طول موثر الکترود تا حدود ۸ برابر قطر الکترود مناسب است. با ادامه فرآیند، طول به صورتی تنظیم می‌شود که نرخ ذوب برای شدت جریان ثابت بهینه شود. با افزایش طول موثر الکترود یک المان مقاومتی در مدار جوشکاری اضافه می شود و قسمتی از انرژی قبل از رسیدن به قوس هدر می‌رود. با کمتر شدن ولتاژ قوس، عرض خط جوش و نفوذ کاهش می‌یابد. از آنجا که ولتاژ قوس کمتر، برآمدگی خط جوش را افزایش می‌دهد، شکل خط جوش با خط جوش حاصل از طول موثر طبیعی الکترود متفاوت خواهد بود. در نتیجه وقتی طول موثر الکترود به منظور استفاده از مزیت نرخ رسوب بالاتر افزایش می‌یابد، ولتاژ دستگاه باید افزایش یابد تا طول قوس مناسب حفظ شود. شرایط تیوپ تماسی طول موثر الکترود را تحت تاثیر قرار می‌دهد تیوپ های تماسی باید در فواصل از پیش تعیین شده عوض شوند تا شرایط جوشکاری ثابت بماند.

با افزایش طول مؤثر الکترود و تغییر میزان شدت جریان جوشکاری می توان نرخ رسوب را از ۲۵٪ به ۵۰٪ افزایش داد . در SAW تک الکترودی اتوماتیک، نرخ رسوب می‌تواند برابر با نرخ رسوب

۱-Fit-up
۲-Root openings
۳-Contact tube

Authorized National Body

روش دو سیمی با دو منبع نیرو باشد. با افزایش نرخ رسوب نفوذ کاهش می‌یابد، در نتیجه آرایش طول موثر الکترود زمانی که نفوذ زیاد مورد نیاز است توصیه نمی‌شود. با این وجود با افزایش طول موثر الکترود، حفظ موقعیت نوک الکترود در محل مورد نظر نسبت به اتصال مشکلتر خواهد بود.کاهش بیش از حد طول مؤثر الکترود باعث می شود. حرارت تشعشعی حوضچه مذاب و گازهای خارج شده از آن نوک نازل را گرم کند و حتی موجب ذوب شدن نازل و ایجاد مشکل در عبور سیم از آن شود. همچنین این امر می تواند موجب کاهش عمق بستر پودر شود زیرا نوک نازل به علت نزدیکی به سطح قطعه موجب کنارزدن پودر از روی جوش می شود. در زیر حداکثر طول موثر الکترود برای الکترودهای جامد در روش SAW آمده است.

۱-برای الکترودهای $\frac{۵}{۶۴}$ ، $\frac{۳}{۳۲}$ ، $\frac{۱}{۸}$ اینچ (۲ ، ۲/۴ ، ۳/۲ میلی‌متر)، ۳ اینچ (۷۵ میلی‌متر).

۲-برای الکترودهای $\frac{۵}{۳۲}$ ، $\frac{۳}{۱۶}$ ، $\frac{۷}{۳۲}$ اینچ (۴ ، ۴/۸ ، ۵/۲ میلی‌متر)، ۵ اینچ (۱۲۵ میلی‌متر).[۱]

۵ـ۶ـ پهنا و عمق فلاکس

عمق لایه فلاکس یا پودر نیز حدود مشخصی و معینی دارد و تا حدودی بر روی شکل و کیفیت جوش اثر می گذارد. اگر ضخامت آن کم باشد قوس لایه سرباره مذاب را شکسته و حوضچه جوش، نوک گداخته الکترود و قطرات در حال انتقال بدون پوشش در مقابل هوا قرار می گیرد و نواقصی در جوش پدید می‌آید. اما اگر لایه پودر خیلی ضخیم باشد گازهای حاصل از واکنش سرباره و فلز و گاز نمی‌توانند به راحتی منطقه جوش را ترک کرده و در نتیجه موجب ایجاد معایبی در جوش می‌شود.افزایش بیش از حد عمق بستر پودر ضایعات پودر را نیز افزایش می دهد.

این ضخامت را می‌توان با افزایش آهسته جریان فلاکس تا مخفی شدن قوس بدست آورد. در این حالت گازها به آهستگی در اطراف الکترود آزاد و گاهی مشتعل می‌شوند. می توان در حین جوشکاری، فلاکس ذوب نشده را از فاصله کمی پشت منطقه جوش بعد از انجماد فلاکس مذاب جمع آوری کرد با این وجود بهتر است فلاکس تا قبل از توزیع یکنواخت حرارت حاصل از جوشکاری در ضخامت قطعه بهم زده نشود. هنگامی که فلز جوش در دمای بالا [بالاتر از$^{\circ}F$ ۱۱۰۰ ($^{\circ}C$۶۰۰)] قرار دارد، نباید فلاکس ذوب نشده را با زور از روی کار جدا کرد. وقتی قطعه سرد شود فلاکس ذوب شده به راحتی از

Authorized National Body

سطح کار جدا می‌شود و در نهایت می توان با یک برس سطح قطعه کار را تمیز نمود. گاهی ممکن است یک قسمت کوچک از سرباره را برای بررسی سریع ظاهر جوش با زور از سطح کار جدا نمایند.

باید توجه کرد که هیچ ماده خارجی هنگام بازیابی به همراه فلاکس برداشته نشود برای این منظور یک فضای با پهنای حدود ۱۲ اینچ (۳۰۰ میلی‌متر) باید قبل از ریختن فلاکس از هر دو طرف جوش پاک شود. اگر فلاکس بازیابی شده حاوی ذرات ذوب شده باشد، برای حذف ذرات درشت باید آن را از یک سرند با منافذ کوچکتر از $\frac{۱}{۸}$in (۳/۲mm) عبور داد.

فلاکس در هنگام بسته بندی توسط تولید کننده باید به خوبی خشک شده باشد در صورت قرارگرفتن در برابر رطوبت زیاد قبل از استفاده باید خشک شود. رطوبت فلاکس می تواند موجب ایجاد تخلخل در جوش شود. باید در این مورد توصیه های تولید کننده به کار بسته شود [۱].

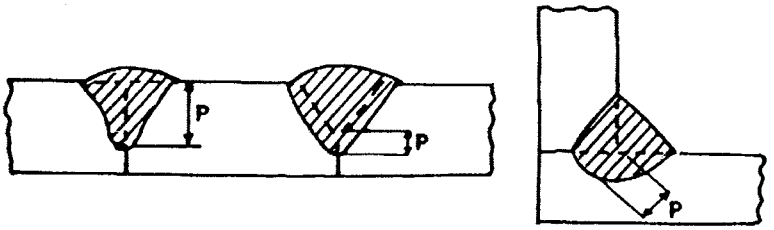
۵ـ۷ـ اثر متغیرهای جوشکاری بر روی نرخ ذوب، عمق نفوذ و درجه رقت

نرخ ذوب[۱] یا با واحد طول در دقیقه یا وزن در دقیقه (در سیستم‌های مختلف) مشخص می‌شود و به شدت جریان یا در حقیقت چگالی شدت جریان و طول موثر الکترود بستگی دارد، حرارت ایجاد شده در منطقه ذوب شامل حرارت قوس الکتریکی و حرارت مقاومتی در طول موثر الکترود است که حرارت اخیر با $IR^۲$ متناسب بوده و هر چه قطر الکترود کمتر یا شدت جریان زیادتر و طول موثر الکترود (فاصله بین نوک سیم با ریشه قوس تا محلی که جریان الکتریکی به سیم الکترود وصل می‌شود) بیشتر شود، مقدار آن افزایش یافته و نرخ ذوب الکترود افزایش می‌یابد.

عمق نفوذ[۲] یا با فاصله زیر سطح اولیه کار تا سطح ذوب فلز تعریف شده است که در درجه اول به چگالی شدت جریان و به مقیاس کمتر به ولتاژ، سرعت، نوع پودر جوش و پارامترهای دیگر بستگی دارد (شکل ۱۲)[۳].

۱-Melting rate

۲-Penetration



شکل (۱۳): عمق نفوذ p در چند حالت از جوش [۳].

درجه رقت[۱] عبارت است از نسبت فلز ذوب شده از قطعهٔ کار به کل فلز جوش (فلز ذوب شده قطعهٔ کار + فلز رسوب داده شده از الکترود) که به طور کلی ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی جوش را کنترل می‌کند. درجه رقت را می‌توان به درصد حجم یا سطح فلز اصلی ذوب شده در مقطع به کل حجم یا سطح جوش در مقطع نیز ارتباط داد که با اندازه گیری سطوح A و B در شکل (۱۴) و به کمک رابطه زیر محاسبه و به پارامترهای جوشکاری ارتباط داده می‌شود. روابط تجربی زیر ارتباط متغیرهای تعریف شده در بالا را مشخص می‌کند.

$$M.R = \frac{1}{1000}\left[0.35 + d^2 + 2.08\ x10^{-7}\left(\frac{IL}{d^2}\right)^{1.22}\right]$$

$$\log A = 0.903\log\left(\frac{I^{1.716}}{S}\right) - 3.95 \quad A = \frac{I^{1.716}}{10^{3.95}.S^{0.903}}$$

$$\%Dilution = \left[\frac{A - \frac{M.R}{0.2835}}{A}\right]100 = 100 - \frac{353MR}{A.S}, \quad P = K\sqrt[3]{\frac{I^4}{SE^2}}$$

M.R= نرخ ذوب الکترود (پوند در دقیقه)　　I= شدت جریان الکتریکی (آمپر)

L= طول موثر الکترود (اینچ)　　d= قطر الکترود (اینچ)

A= سطح مقطع (در اصل A+B در شکل (۱۴) (اینچ مربع)

P= عمق نفوذ (اینچ)

K= ثابت عمق نفوذ (برای پودر کلسیم سیلیکات ۰/۰۰۱۲ است)

۱-Dilusion

Authorized National Body

E= ولتاژ جوشکاری (ولت)

S= سرعت پیشرفت جوشکاری (اینچ در دقیقه)[۱]

شکل (۱۴): درجه رقت $\%D = \frac{B}{A+B} \times 100$ میزان رقت[۳].

۶ـ تکنیک‌های فرآیند جوشکاری با قوس زیر پودری

فرآیند SAW را می‌توان در سه حالت مختلف انجام داد: نیمه اتوماتیک، اتوماتیک و ماشینی. در هر روش لازم است قطعه به صورتی قرار گیرد که حوضچهٔ جوش و فلاکس مذاب تا هنگامی که منجمد شوند، در جای خود باقی بمانند. بسیاری انواع گیره و تجهیزات نگه دارنده برای رسیدن به این هدف وجود داشته یا قابل ساختن می باشند[۱].

۶ـ۱ـ جوشکاری نیمه اتوماتیک

جوشکاری نیمه اتوماتیک با یک تفنگ جوشکاری دستی که هم فلاکس و هم الکترود را به محل جوش هدایت می کند، انجام می گیرد. الکترود توسط یک تغذیه کننده سیمی به حرکت در می‌آید. فلاکس را می‌توان توسط یک قیف ثقلی که روی تفنگ نصب شده یا از طریق یک شلنگ و توسط اعمال فشار وارد کرد. در این روش از الکترودهایی با قطر نسبتاً کم و سرعت حرکت متوسط استفاده می‌شود. حرکت می‌تواند دستی باشد یا توسط یک موتور محرک بر روی تفنگنصب می شود، انجام گیرد[۱].

۶ـ۲ـ جوشکاری اتوماتیک

جوشکاری اتوماتیک توسط تجهیزاتی انجام می‌شود که عملیات جوشکاری را بدون نیاز به اپراتور برای نظارت و کنترل دائمی انجام می‌دهند. تجهیزات خود تنظیم گرانقیمت را می‌توان برای رسیدن به سرعت تولید بالا مورد استفاده قرار داد[۱].

۶ـ۳ـ جوشکاری ماشینی

در جوشکاری ماشینی از تجهیزاتی استفاده می‌شود که کل عملیات جوشکاری را انجام می‌دهند. البته قرار دادن قطعه در محل مناسب شروع و پایان جوشکاری، تنظیم کنترل ها و تنظیم سرعت هر جوش، توسط اپراتور انجام می‌گیرد[۱].

۷ـ انواع اتصالات

SAW برای ایجاد جوش های شیاری[۱]، گوشه[۲]، انسدادی[۳]و جوش های سطحی به کار می‌رود. جوش‌های شیاری معمولاً در موقعیت تخت، و جوش های گوشه معمولاً در موقعیت های تخت و افقی به کار گرفته می‌شوند، زیرا در این وضعیت ها حوضچه مذاب و فلاکس به راحتی در موقعیت خود باقی می مانند. با این وجود روشهای ساده ای برای تولید جوش های شیاری در وضعیت افقی وجود دارد. جوشکاری زیر پودری را می‌توان به صورت رو به پایین با زوایای کمتر از 15° نسبت به افق نیز به خوبی به کار گرفت. جوشکاری سطحی و انسدادی نیز در وضعیت تخت انجام می‌شود.

جوش های تولید شده به وسیلهٔ این فرآیند را می‌توان بر اساس موارد زیر تقسیم‌بندی کرد:

۱-نوع اتصال

۲-نوع شیار

۳-روش جوش (نیمه اتوماتیک یا ماشینی)

۴-وضعیت جوشکاری (افقی یا تخت)

۵-رسوب یک پاسه یا چند پاسه

۶-تک الکترود یا چند الکترودی بودن عملیات

۷-یک منبع نیرو یا چند منبع (سری، موازی یا اتصالات جداگانه)[۱]

Authorized National Body

۷ـ۱ـ جوش های شیاری

با به کار گرفتن روش جوشکاری زیر پودری ایجاد جوشهای شیاری در اتصالات لب به لب، در ورق های ۰/۰۵ اینچی (۱,۲ میلی لیتری) تا صفحه های ضخیم ممکن می باشد. امکان دستیابی به عمق نفوذهای زیاد که در جوشکاری با قوس زیر پودری به صورت ذاتی وجود دارد، جوشکاری ورق هایی با ضخامت ۱۳ میلی متر و یا بیشتر را به صورت لب به لب مربعی به همراه نوعی از پشت بند برای کنترل حوضچه مذاب ممکن می سازد. جوش های تک پاسه در ورق های فولادی با ضخامت کمتر از $\frac{۵}{۱۶}$in (۷/۹mm) و جوش های دو پاسه در ورق های فولادی با ضخامت کمتر از $\frac{۵}{۸}$in (۱۵/۹mm) با اتصال لب به لب مربعی بدون درز اتصال و با جوش پشتی به کار گرفته می شود.

در جوش های چند پاسه با استفاده از الکترودهای تکی یا چند تایی، جوشکاری صفحه با هر ضخامتی ممکن است. برای جوش ورق های ضخیم، وقتی جوشکاری از هر دو سمت انجام می پذیرد، می‌توان از شیارهای لاله ای یا جناغی در یک یا هر دو طرف صفحه استفاده کرد.

به جوشکاری شیاری اتصالات لب به لب در وضعیت افقی، جوشکاری ساعت ۳ گفته می‌شود. این نوع جوش را می‌توان در هر دو طرف اتصال به طور همزمان انجام داد. در بیشتر موارد، زاویه الکترودها با افق ۱۰ تا ۳۰ درجه است[۱].

۷ـ۲ـ جوش‌های گوشه

با استفاده از جوشکاری زیرپودری با یک الکترود می‌توان در وضعیت افقی جوش های گوشه با اندازه گلویی تا $\frac{۳}{۸}$in (۹/۵mm) را در یک پاس ایجاد کرد. دروضعیت افقی جوش های گوشه بزرگ تر را می توان با چند الکترود در یک پاس انجام داد. با این وجود جوش های بزرگ تر از $\frac{۵}{۱۶}$in (۷/۹ میلی‌متر) معمولاً در وضعیت تخت یا توسط چند پاس در وضعیت افقی انجام می‌شوند. جوش های گوشه به روش قوس زیر پودری می‌تواند نفوذ بیشتری نسبت به جوشکاری قوس الکترود دستی داشته باشد و در شرایط مشابه استحکام برشی بیشتری خواهد داشت[۱].

۷ـ۳ـ جوش‌های انسدادی

فرآیند جوشکاری قوس زیر پودری برای انجام جوشهای انسدادی با کیفیت بالا به کار می‌رود. الکترود در مرکز سوراخ قرار میگیرد و تا پایان جوش در این موقعیت باقی می ماند. زمان مورد نیاز به

Authorized National Body

شدت جریان جوش و اندازه سوراخ بستگی دارد به خاطر نفوذ زیاد این روش، لازم است پشتی جوش ضخامت کافی داشته باشد[۱].

۷ـ۴ـ جوش‌های سطحی

فرآیند زیر پودری هم به صورت تک الکترود و هم به صورت چند الکترودی برای ایجاد فلزاتی با خواص سطحی خاص به کار می‌روند. هدف از ایجاد لایه سطحی ممکن است تعمیر یا احیا اجزاء فرسوده قابل استفاده یا بخشیدن خواص مورد نظر به سطح قطعات اصلی باشد. نرخ رسوب بالا در فرآیند زیر پودری برای کاربردهایی که در آن مساحت سطح زیاد است مناسب است[۱].

۸ـ دستورالعمل جوشکاری قوس زیرپودری

برای درک کامل مزایای جوشکاری زیر پودری، باید به عملیات پیش از جوش دقت شود طراحی اتصال، آماده سازی لبه، مونتاژ و ثابت نگه داشتن قطعه می بایست مورد توجه قرار گیرد[۱].

۸ـ۱ـ طراحی اتصال و آماده سازی لبه

اغلب اتصالات به کار رفته در جوشکاری زیرپودری شامل اتصال لب به لب و روی هم هستند ضمن آنکه اتصال لبه و گوشه را نیز می توان به این روش جوش داد. اصول طراحی اتصال و روشهای آماده سازی لبه ها مشابه دیگر فرآیندهای جوشکاری قوسی است. جوش‌های معمولی شامل شیاری،گوشه، مربعی، شیارهای جناغی یک طرفه و دوطرفه و شیارهای لاله ای یک طرفه و دوطرفه می‌باشند.

طراحی اتصال بخصوص برای جوشکاری ورق معمولاً نیازمند درز اتصال $\frac{۱}{۳۲}$ تا $\frac{۱}{۱۶}$ اینچ برای جلوگیری از تغییر شکل زاویه ای یا ترک ناشی از تنش های انقباضی است. با این وجود اگر درز اتصال بزرگ تر از اندازه مناسب باشد زمان جوشکاری و هزینه آن افزایش می یابد. این مورد هم برای جوش های شیاری و هم برای جوشهای نبشی صدق می‌کند.

آماده سازی لبه یا پخ زدن را می‌توان توسط هر یک از روش های برش حرارتی یا توسط ماشین کاری انجام داد. دقت در آماده سازی لبه به خصوص در جوشکاری ماشینی یا اتوماتیک بسیار مهم است. به عنوان مثال اگر یک اتصال با پاشنه پخ طراحی $\frac{۱}{۴}$ اینچ، در عمل با پاشنه پخ $\frac{۵}{۱۶}$ تا $\frac{۱}{۸}$

Authorized National Body

اینچ ساخته شود، جوش غیر قابل قبول خواهد بود زیرا در ابتدا عدم نفوذ و در انتها نفوذ بیش از حد خواهد بود. در چنین مواردی توانایی تجهیزات برش و توانمندی اپراتور باید بررسی و اصلاح شود[۱].

۸ـ۲ـ مونتاژ کردن اتصال

مونتاژ کردن اتصال قسمت مهمی از عملیات اتصال دهی است و می‌تواند اساساً کیفیت، استحکام و ظاهر جوش نهایی را تحت تاثیر قرار دهد. در هنگام جوشکاری صفحات ضخیم، به علت عمق نفوذ فرآیند فرآیند زیرپودری، کنترل مونتاژ اتصال ضروری خواهد بود. در این شرایط یکنواختی جهت اتصال و درز اتصال باید حفظ شود[۱].

۸ـ۳ـ پشتی جوش

در جوشکاری قوس زیر پودری حجم زیادی از مذاب ایجاد می‌شود که طی مدت زمان قابل توجهی به صورت سیال باقی می ماند. این فلز مذاب باید پشتیبانی شود تا قبل از انجماد بیرون نریزد.

روش های مختلفی برای پشتیبانی فلز مذاب وجود دارد:

۱-تسمه های پشتی[۱]

۲-جوش های پشتی[۲]

۳-میله های مسی پشتی[۳]

۴-فلاکس پشتی[۴]

۵-لبه های پشتی[۵]

در دو روش اول قسمت پشتیبان می‌تواند جزئی از خود اتصال شود، در سه روش دیگر، پشتیبانی موقتی است و بعد از پایان جوش برداشته می‌شود.در روش‌های اول و دوم نیز ممکن است بسته به نیازهای طراحی اتصال، جداسازی قسمت پشتیبان لازم باشد. در بسیاری اتصالات پاشنه جوش باید

۱-Backing Strips

۲-Backing Welds

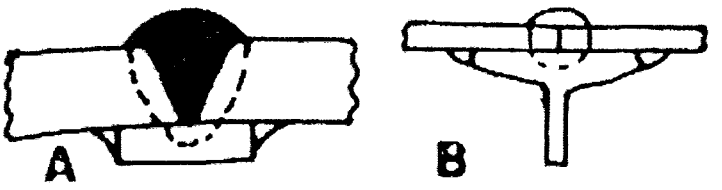
۳-Copper Backing Bars

۴-Flux Backing

۵- Backing Tapes

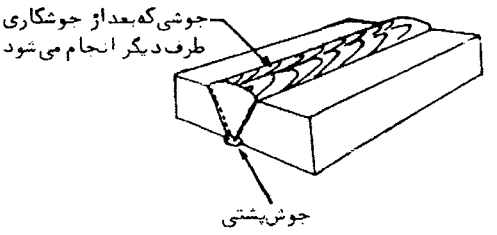
به اندازه کافی ضخیم باشد تا اولین پاس جوش را پشتیبانی کند. این روش را می‌توان برای جوشکاری لب به لب، انسدادی، دکمه ای و گوشه ای کار برد. پشتیبانی تکمیلی یا مبرد نیز گاهی به کار می‌رود. مهمترین نکته این است که درنقطه حداکثر نفوذ جوش، پاشنه جوش جوشهای شیاری، باید کاملاً به یکدیگر متصل شده باشند [۱].

تسمه پشتی ورقه باریکه ای است که در پشت درز اتصال قرار می گیرد که باید از نظر جنس و ترکیب شیمیایی با جنس قطعهٔ کار مطابقت داشته باشد. همانطور که در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود، جوش در تسمه پشتی نفوذ می‌کند و بنابر شرایط طرح می‌تواند پس از جوشکاری، جزئی از اسکلت شود و یا توسط سنگ تراش، و وسایل دیگر از کار جدا شود[۳].



شکل۱۵: نوار تسمه ای پشتی [۳].

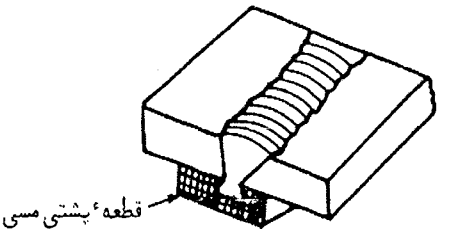
برخی اوقات از جوش پشتی به عنوان پشتیبان فلز جوش استفاده می شود، در این حالت ابتدا در پشت مسیر اتصال توسط روش الکترود دستی یا روش‌های دیگر (که حوضچهٔ جوش کوچکتر بوده و کنترل دقیق تر امکان پذیر است یک ردیف جوش مطابق شکل ۱۶رسوب داده می‌شود، سپس عملیات جوشکاری اصلی بر روی طرف دیگر کار انجام می گیرد[۳].



شکل ۱۶: جوش پشتی [۳].

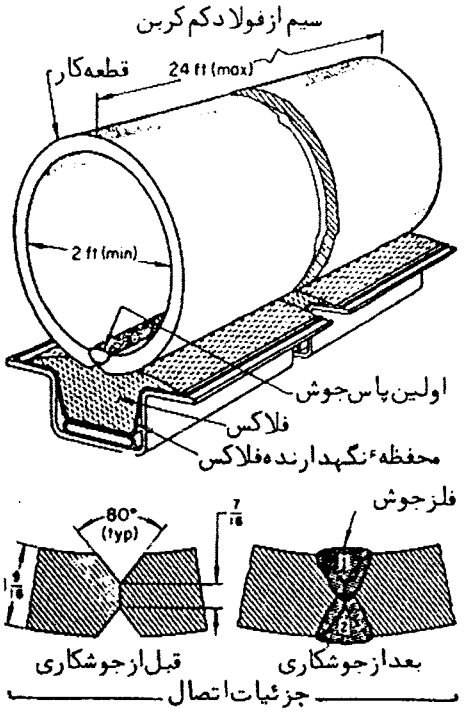
Authorized National Body

به علت هدایت حرارتی بسیار خوب مس می‌توان از قطعات مسی نسبتاً حجیم و در صورت لزوم توام با سیستم آبگرد (مبرد)، بعنوان پشت بند فلز جوش مذاب استفاده کرد. در این حالت جوش بداخل مس نفوذ نمی کند و حتی برای تقویت هر چه بیشتر برای اتصال می‌توان فرم های خاصی در قطعه مس پیش بینی کرد یا در مسیر اتصال آنرا حرکت داد(شکل ۱۷)[۳].



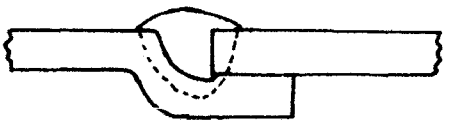
شکل ۱۷: پشتی مسی با طرح تقویت اتصال[۱].

برای استفاده از پشتی غیر فلزی یا پودری ، جعبه یا منبع فلاکس در پشت مسیر اتصال مطابق شکل ۱۸ به کمک یک سیستم فشار دهنده قرار گرفته در صورت لزوم همزمان با جوشکاری حرکت می‌کند. اغلب این جعبه یا منبع حاوی پودری از جنس فلاکس بوده و لبه آن از جنس لاستیک های نسوز است تا اگر ناهمواری هایی در پشت مسیر اتصال وجود دارد باز هم پودر بتواند به طور کامل پشت جوش را نگه دارد.



شکل ۱۸ : پشتی غیر فلزی [۳].

گاهی اوقات بجای استفاده از پشتی جداگانه، طرح اتصال را چنان پیش بینی می‌کنند تا مطابق شکل ۱۹ قسمتی از لبه جوش نقش پشت بند را ایفا کند.



شکل ۱۹ : طرح اتصال مناسب برای پشتی لبه ای[۳].

۸ـ۴ـ نگهدارنده ها

هدف اصلی از قرار دادن نگهدارنده ها[۱]، نگه داشتن قطعه در جهت صحیح در حین جوشکاری است. گاهی از گیره ها یا نگه‌دارنده های خاصی به منظور حفظ شکل قطعه مورد جوشکاری نیز استفاده می شود و برخی گیره ها برای حفظ جهت گیری اتصال جوش و جلوگیری از اعوعاج و باد کردن بر اثر حرارت جوشکاری به کار می‌روند. مقاطع ضخیم خود به خود مقاومت خوبی در مقابل باد کردن یا اعوعاج دارند اما در مواردی که اتصال مقاومت کمتری دارد ، جهت حفظ جهت گیری و حذف اثر حرارت و کاهش اعوعاج، نیاز به گیره وجود دارد[۱].

۸ـ۵ـ شیب قطعه

شیب قطعه[۲] در طول جوش می‌تواند شکل محل جوش را تحت تاثیر قرار دهد که در شکل ۱۹ مشاهده میشود. معمولاً جوشکاری با قوس زیر پودری در حالت تخت انجام می‌شود با این وجود گاهی لازم یا مطلوب است که جوش در حالت کمی شیب دار انجام شود تا جهت پیشروی جوش به سمت پایین[۳] یا به سمت بالا[۴] باشد. به عنوان مثال در جوشکاری ورق فولادی به ضخامت۰,۰۵ اینچ بالا جوش بهتر زمانی بدست می‌آید که قطعه ۱۵ تا ۱۸ درجه شیب داشته باشد و جوشکاری به سمت پایین صورت گیرد. در این جا نفوذ کمتر از زمانی خواهد بود که وضعیت قطعه افقی است زاویه شیب باید با افزایش ضخامت ورق کاهش یابد تا نفوذ بیشتر شود.

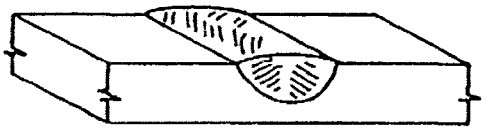
جوشکاری به سمت پایین، جوش را تحت تاثیر قرار می‌دهد این موضوع در شکل B-۲۰ نشان داده شده است. در این حالت حوضچه مذاب تمایل دارد زیر قوس جریان پیدا کند و فلز پایه را بخصوص بر روی سطح، پیشگرم کند، به این ترتیب یک منطقه مذاب با شکل نامعین پدید می‌آید. با افزایش زاویه شیب، سطح میانی منطقه مذاب تحت فشار قرار گرفته، نفوذ کم شده و عرض منطقه جوش افزایش می‌یابد.

۱-Fixture
۲-Inclination
۳-Downhill
۴-Uphill

Authorized National Body

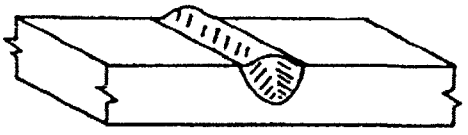
همانطور که در شکل c-۲۰ نشان داده شده است. جوشکاری رو به بالا نیز شکل منطقه نفوذ و سطح جوش را تحت تاثیر قرار می‌دهد. نیروی ثقل باعث می‌شود حوضچه مذاب به سمت عقب و به پشت الکترود جریان یابد، همچنین لبه های فلز پایه ذوب شده و به طرف مرکز جریان می یابند. با افزایش زاویه شیب، استحکام و نفوذ افزایش یافته و عرض منطقه جوش کاهش می‌یابد. همچنین هر چه حوضچهٔ جوش بزرگ تر باشد، نفوذ گرده جوش مرکزی بیشتر می‌شود. این اثرات دقیقاً عکس اثرات جوشکاری به سمت پایین هستند. زاویه محدود کننده شیب برای جوش رو به بالا با جریان تا ۸۰۰ آمپر، حدود ۶ درجه یا شیب حدود $\frac{۱}{۱۰}$ است. وقتی از جریان بیشتری برای جوشکاری استفاده شود، حداکثر زاویه کار افزایش خواهد یافت. شیب بیشتر از ۶ درجه موجب غیر قابل کنترل شدن جوش می‌شود. وجود شیب به طرف گوشه یا به یک سمت، حالت شکل D-۲۰ را به وجود می آورد. حد مجاز شیب جانبی حدود ۳ درجه یا $\frac{۱}{۲۰}$ است. شیب مجاز جانبی نیز بسته به اندازه حوضچه مذاب جوش متغیر خواهد بود[۱].

Authorized National Body



(A) FLAT POSITION WELD

(B) DOWNHILL WELD (1/8 SLOPE)



(C) UPHILL WELD (1/8 SLOPE)

شکل ۲۰ : تاثیر شیب قطعه روی شکل بستر جوش [۱].

۸ـ۶ـ اتصالات کابل قطعه کار

مدار جوشکاری الکتریکی از یک کابل از منبع نیرو به سَری جوش، و یک کابل برگشتی از قطعه به منبع نیرو تشکیل می‌شود. به کابل دوم، کابل اتصال قطعه کار[۱] گفته می‌شود. به این کابل گاهی کابل اتصال زمین نیز گفته می‌شود که اصطلاحی غلط است. قطعه می‌تواند به زمین یا ساختمان نیز متصل شود اما برای به دست آوردن بهترین نتایج در جوشکاری زیر پودری، اتصال باید مستقیماً به منبع نیرو باشد.

روش اتصال و مکان اتصال قطعه کار در جوشکاری زیر پودری بسیار مهم هستند زیرا بر عملکرد قوس، کیفیت جوش و سرعت جوشکاری تاثیر گذار خواهند بود. اگر محل کابل اتصال قطعه کار

۱-Work lead

Authorized National Body

مناسب نباشد، ممکن است وزش قوس زیاد شود و موجب ایجاد تخلخل، کمبود نفوذ و یا شکل نامناسب محل جوش شود. می‌توان با انجام تست اثر محل کابل اتصال را بر قطعه آزمایش کرد. معمولاً بهترین جهت برای جوشکاری دور شدن از اتصال قطعه است. در جوشکاری درزهای طویل ممکن است مشکل کاهش جریان جوشکاری پیش بیاید. این مشکل بخاطر خواص مسیر و خواص الکتریکی تغییرات مدار در حین پیشرفت جوش به وجود می‌آید. معمولاً با وصل کردن کابلهای اتصال به هر دو انتهای قطعه می توان جوش یکنواخت تری بدست آورد.

وقتی درز طولی یک استوانه با پشتیبان مسی به همراه گیره، جوش داده می‌شود معمولاً بهتر است که کابل اتصال به زیر استوانه و در سمت شروع جوشکاری وصل شود. اگر این کار مقدور نباشد، باید کابل اتصال به نگهدارنده وصل شود. وصل کردن کابل اتصال به میله پشتیبان مسی مطلوب نیست زیرا جریان جوش در منطقه ای که بهترین اتصال الکتریکی بین پشت بند و قطعه را دارد وارد و خارج میشود که لزوماً زیر قوس نیست. اگر جریان یک میدان مغناطیسی دور قسمتی از طول قطعه پشت بند ایجاد کند، می تواند موجب وزش قوس شود[۱].

۸ـ۷ـ روش‌های برقراری قوس

روش های به کار رفته برای شروع قوس در یک کاربرد مشخص به عواملی چون زمان لازم برای شروع و زمان جوشکاری، تعداد قطعاتی که باید جوش داده شوند و اهمیت شروع جوش در نقطه مشخصی از اتصال بستگی دارد. ۶ روش شروع قوس وجود دارد:

- **برقراری قوس با توپی پشم فولادی**

یک توپی پشم فولاد با قطر حدود $\frac{۳}{۸}$in (۱۰ mm) در اتصال و دقیقاً زیر الکترود قرار می گیرد. الکترود به روی توپی پایین آورده می‌شود، تا توپی به اندازه نصف ارتفاع خود فشرده شود. سپس فلاکس ریخته می‌شود و جوشکاری آغاز می‌گردد. توپی پشم فولاد مداری برای عبور جریان در قطعه ایجاد می‌کند اما با آغاز قوس به سرعت ذوب می‌شود.

Authorized National Body

- **برقراری قوس با استفاده از سیم جوش نوک تیز[1]**

در این روش نوک الکترود که کمی از لوله تغذیه خارج شده است، با کاترهای سیم بریده می‌شود به این ترتیب انتهای سیم به صورت تیز و قلمه مانند در می‌آید. سپس الکترود پایین آورده می‌شود و نوک آن با قطعه تماس داده می‌شود. سپس فلاکس بر روی درز جوش اعمال می‌شود و جوشکاری آغاز می‌گردد. نوک الکترود نیز به سرعت پس از شروع قوس ذوب می‌شود.

- **برقراری قوس به روش خراشی[2]**

الکترود جوش پایین آورده می‌شود تا تماس بسیار جزئی با قطعه پیدا کند و سپس فلاکس اعمال می شود پس گاری جوش شروع به حرکت می کند و بلافاصله جریان جوش اعمال می‌شود. حرکت گاری جوشکاری از چسبیدن سیم‌جوش به قطعه کار جلوگیری می کند.

- **برقراری قوس به روش فلاکس مذاب**

وقتی یک حوضچه فلاکس مذاب وجود داشته باشد، می توان قوس را به سادگی با وارد کردن الکترود به این حوضچه و اعمال جریان جوش به وجود آورد. این روش معمولاً در جوشکاری با چند الکترود به کار می رود. وقتی دو یا چند الکترود به طور جداگانه به یک حوضچهٔ جوش وارد می‌شوند، کافیست یک الکترود با ایجاد قوس ، حوضچه مذاب را ایجاد کند تا با ورود بقیه الکترودها به حوضچه مذاب، قوس خود به خود برقرار شود.

- **برقراری قوس با عقب بردن سیم‌جوش**

برقراری قوس با عقب بردن سیم‌جوش یکی ازکارامد ترین روش ها است، در صورتی که تجهیزات جوشکاری باید برای این کار طراحی شده باشد. در مواقعی که قوس به طور متوالی برقرار می‌شود و محل شروع قوس اهمیت دارد این روش مفید خواهد بود. روش معمول این است که الکترود پایین آورده شود تا با قطعهٔ کار تماس پیدا کند. سپس انتهای الکترود با فلاکس پوشیده شده و جریان اعمال می‌شود. ولتاژ کم بین الکترود و قطعه سبب می‌شود سیستم تغذیه سیم نوک الکترود را به طور خودکار از سطح قطعه عقب ببرد. با انجام این عمل یک قوس به وجود می‌آید. با افزایش ولتاژ سیستم تغذیه سیم به سرعت جهت را تغییر می‌دهد و تغذیه الکترود به طرف سطح قطعه صورت

۱-Shape wire start

۲-Scratch start

می گیرد. تغذیه الکترود سرعت می گیرد تا جایی که نرخ ذوب شدن الکترود و ولتاژ قوس به یک حد ثابت و پایدار برسد..اگر قطعه سبک باشد،تماس اندک الکترود کافیست. سر سیم‌جوش باید به دقت روی قطعه قرار گیرد و انتهای الکترود باید تمیز و بدون سرباره ذوب شده باشد. سیم چین ها برای چیدن نوک الکترود قبل از هر دور جوش به کار می‌روند. اندازه الکترود باید به نحوی انتخاب شود که امکان عبور جریان با دانسیته بالا وجود داشته باشد و در نتیجه شروع قوس راحت تر صورت گیرد.

- **برقراری قوس با فرکانس بالا**

این روش نیازمند تجهیزات خاصی است، در این روش لازم نیست اپراتور به جز زدن سوئیچ کار دیگری انجام دهد. این روش به خصوص برای جوشکاری‌های متناوب و با سرعت بالای تولید که استارت های متعددی زده می‌شود. وقتی الکترود جوش تا حدود $\frac{۱}{۶}$ in (۱/۶mm) نزدیک قطعهٔ کار می‌شود، یک ژنراتور با فرکانس و ولتاژ بالا در مدار جوش موجب می‌شود یک جرقه از الکترود به قطعه ایجاد شود. این جرقه یک مسیر یونیزه شده ایجاد می‌کند که جریان از طریق آن حرکت کرده و عمل جوشکاری آغاز می‌شود. این یکی از روشهای متداول برقراری قوس است[۱].

۸ـ۸ـ قطع قوس

در برخی سیستم‌های الکتریکی با فشردن دکمه « توقف جوش» حرکت الکترود و تغذیه آن همزمان متوقف می‌شود در دیگر سیستم ها حرکت متوقف می‌شود اما تغذیه تا زمان مشخصی ادامه می‌یابد. در نوع سیستم سوم، جهت حرکت تا مدت کنترل شده ای عوض می‌شود در حالی که جوشکاری ادامه دارد. در روش دوم و سوم حوضچه مذاب کاملاً پر می‌شود[۱].

۸ـ۹ـ موقعیت الکترود (محل قرارگیری الکترود)

برای تعیین موقعیت مناسب الکترود سه عامل باید در نظر گرفته شود:

۱-راستای قرارگیری الکترود نسبت به محل اتصال

۲-زاویه بین الکترود و خط عمود بر جوش در وجه عرضی (زاویه کار)

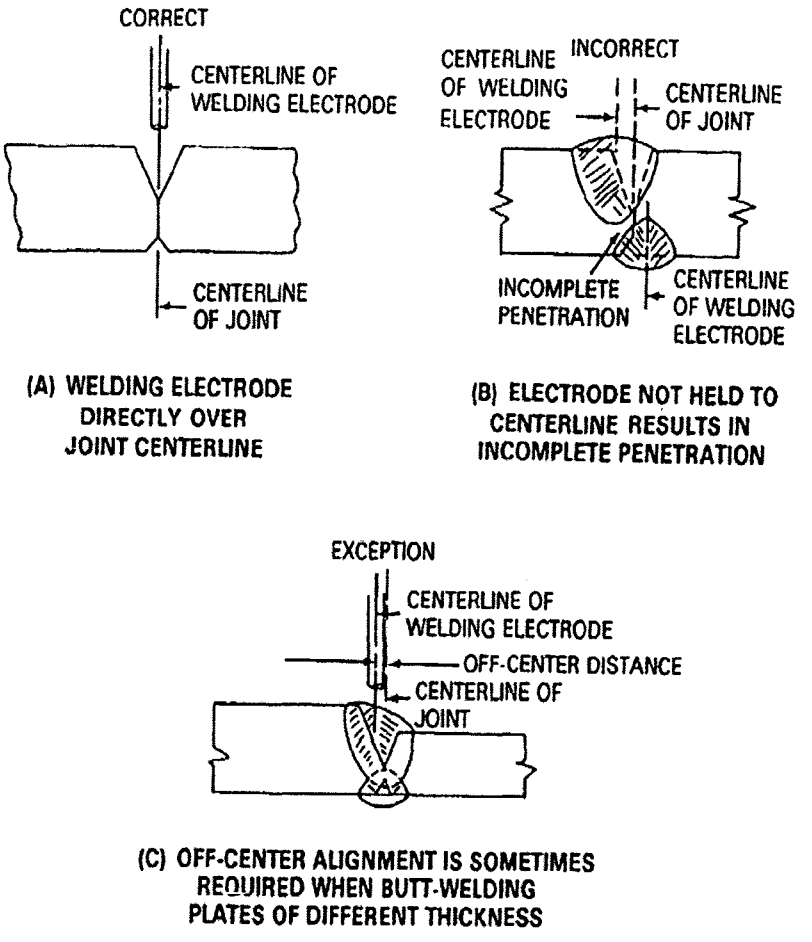
۳-زاویه بین الکترود و خط عمود بر جوش در وجه طولی (زاویه قطعه)

Authorized National Body

جهت رو به جلو، جهت حرکت است. در نتیجه الکترود رو به جلو الکترودی است که زاویه ای بسته با جوش نهایی ایجاد کند و الکترود رو به عقب الکترودی است که زاویه ای باز با جوش نهایی ایجاد کند.

در بیشتر جوش های روش قوس زیر پودری محور الکترود در حالت عمودی است. جهت رو به جلو یا عقب الکترود زمانی اهمیت دارد که از روش چند قوسی استفاده می‌شود، در عملیات سختکاری سطحی و یا وقتی که قطعه را نمی‌توان خم کرد. رو به جلو بودن الکترود موجب ترکیبی مشابه جوشکاری رو به پایین و رو به عقب بودن آن مشابه جوشکاری رو به بالا خواهد بود[۱].

وقتی جوشکاری بر روی اتصالات لب به لب بین صفحاتی با ضخامت یکسان انجام می شو، الکترود باید در حالت تراز و هم جهت با اتصال باشد که در شکل ۲۱A نشان داده شده است. جهت گیری ناصحیح می‌تواند موجب کم شدن نفوذ در محل اتصال شود که در شکل ۲۱B نشان داده شده است. برای ضخامت های غیر یکسان که به صورت لب به لب جوشکاری می‌شوند، الکترود باید بالای قسمت ضخیم قرار گیرد تا سرعت ذوب آن با قسمت نازک برابر شود. شکل ۲۱C این موضوع را نشان می‌دهد.



شکل ۲۱ : تاثیر محل قرارگیری الکترود نسبت به شیار جوش[۱].

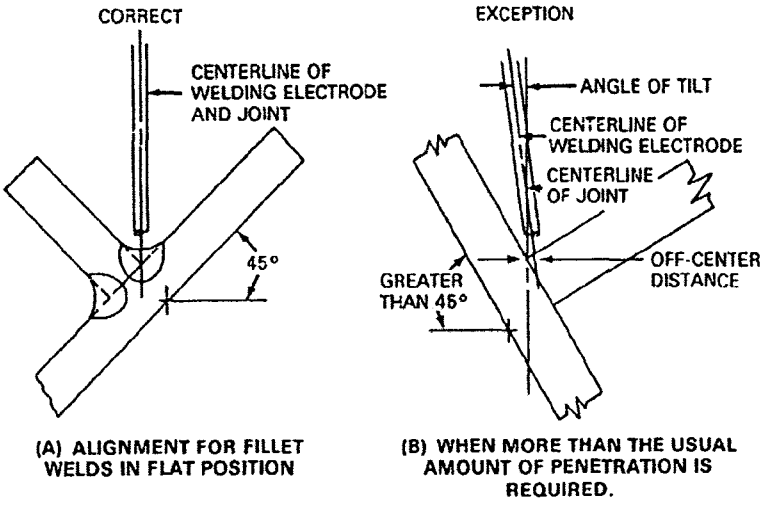
در جوش گوشه ای در حالت افقی محور الکترود باید زیر ریشه اتصال و روبروی قطعه افقی با فاصله ای برابر با $\frac{۱}{۴}$ تا $\frac{۱}{۲}$ قطر الکترود قرار گیرد. فاصله های بیش از این، برای جوشکاری قطعات بزرگتر کاربرد دارد. تراز نبودن موجب بریدگی کنار جوش در آن عضو اتصال که به صورت عمودی قرار گرفته یا ایجاد جوش با پایه های نامساوی می‌شود. در جوش گوشه ای افقی، الکترود با زاویه کار ۲۰ تا ۴۵° در نظر گرفته می‌شود. زاویه دقیق توسط یکی یا هر دو عامل زیر تعیین می‌شود:

۱ـ فضای آزاد مشعل جوش، بخصوص وقتی مقاطع سازه ای به صفحات جوش داده می‌شوند.

۲ـ ضخامت نسبی هر یک از اجرای اتصال (اگر احتمال ذوب از طریق یکی از قسمت‌ها وجود داشته باشد لازم است الکترود روی قسمت ضخیم تر قرار گیرد)[۱].

Authorized National Body

معمولاً در جوشکاری fillet افقی الکترود در حالت عمودقرار می گیردو زاویه بین دو جزء اتصال را چنانکه در شکل A ۲۲.نشان داده شده نصف می‌کند. وقتی نفوذ بیشتر از حد معمول مورد نیاز است چنانکه در شکل ۲۲B نشان داده شده است، الکترود به صورتی قرار می گیرد که خط مرکزی آن در امتداد نزدیکی مرکز اتصال باشد[۱].



شکل ۲۲ : محل قرار گیری الکترود در جوش fillet در حالت تخت.[۱].

۸ـ۱۰ـقطعات اضافی شروع و پایان[۱]

وقتی جوش شروع می‌شود و در قسمت انتهای قطعه پایان می‌یابد لازم است وسیله ای برای پشتیبانی فلزجوش، فلاکس و سرباره مذاب وجود داشته باشد تا حوضچه مذاب سرریز نشود. قوس روی قطعه اضافی شروع، که توسط خال جوش به ابتدای قطعه متصل شده است، آغاز می شود و و در قطعه اضافی پایان در انتهای قطعه متوقف میشود. قطعات اضافی به اندازه کافی بزرگ هستند که فلز روی قطعه در انتهای اتصال به طور مناسبی شکل گیرد. وقتی tab ها آماده می‌شوند. نوع دیگری از

۱-Run-On and Run-Off Tabs

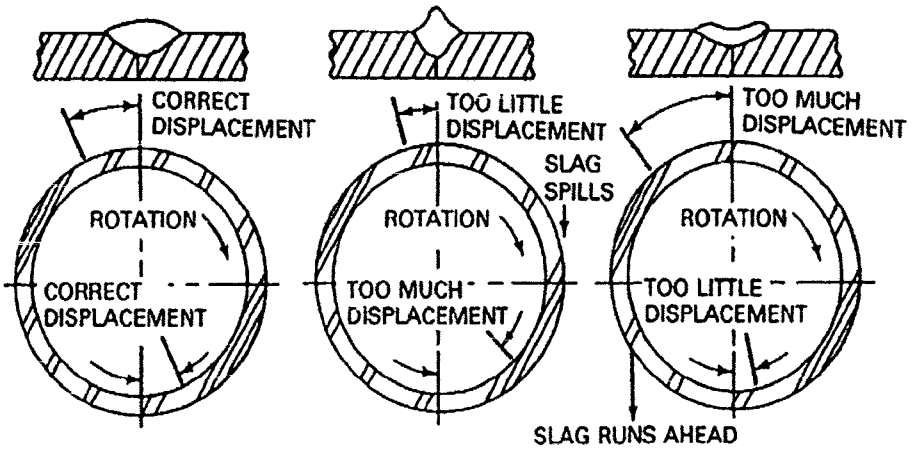
Authorized National Body

این قطعات اضافی، سد مسی است که فلاکس را نگه می‌دارد و در نتیجه فلز مذاب در انتهای اتصال متوقف می‌شود[۱].

۸ـ۱۱ـ جوشکاری محیطی

جوش محیطی با جوش تحت متفاوت است زیرا فلاکس مذاب و فلز جوش تمایل به دور شدن از قوس دارند. برای جلوگیری از ریختن مذاب یا ایجاد شکل نا مناسب به واسطهٔ این شرایط جوش باید در هنگام عبور از موقعیت ساعت ۶ و یا ۱۲ منجمد شود. شکل ۲۲، شکل خط جوش در موقعیت های مختلف قرارگیری الکترود، نسبت به ساعت ۶ و ۱۲ را نشان می‌دهد.

کم بودن تغییر مکان قوس درجوشکاری از خارج یا زیاد بودن آن در جوشکاری از داخل موجب نفوذ عمیق وایجاد خط جوش بسیار باریک و محدب خواهد شد. ممکن است بریدگی کنار جوش نیز رخ دهد. اگر تغییر مکان قوس در قسمت خارجی زیاد و در داخل کم باشد، نفوذ کم عمق و منطقه جوش مقعر خواهد بود. در جوشکاری قطعات دایره ای شکل با قطر کم اگر فلاکس پودری به وسیله ای روی قطعه نگه داشته نشود، از روی آن پایین می ریزد در نتیجه قوس محافظت نشده و کیفیت جوش حاصل مطلوب نخواهد بود. یک روش غلبه بر این مشکل استفاده از نازل هایی است که فلاکس را دقیقاً در راستای قوس می پاشد و به این ترتیب احتمال ریختن آن کم شود. می‌توان از یک برس سیمی یا ماده مقاوم به حرارت و انعطاف پذیر دیگری، برای حرکت دادن قطعه به سمت قوس و احاطه شده توسط فلاکس استفاده کرد (شکل ۲۳).



شکل ۲۳ : تاثیر محل قرار گیری الکترود روی شکل بستر جوش در جوشکاری شعاعی.[۱].

Authorized National Body

صرف نظر از موقعیت الکترود، اگر حوضچه مذاب نسبت به قطر قطعه زیاد بزرگ باشد فلز جوش مذاب سرریز خواهد شد زیرا نمی‌تواند به اندازه کافی سریع منجمد شود. اندازه گرده جوش که حجم فلز رسوب کرده در ازای واحد طول جوش است به شدت جریان و سرعت حرکت بستگی دارد. شدت جریان کمتر و سرعت حرکت بیشتر، از اندازه این منطقه خواهد کاست[۱].

۸ـ۱۲ـ جداسازی سرباره

در جوشکاری چند پاسه، حذف سرباره مهم است زیرا هیچ پاس جوشی نباید روی بقایای پاس قبلی انجام شود. عوامل موثر در حذف سرباره، شکل و اندازه خط جوش هستند. هر چه خط جوش کوچکتر باشد، سریعتر سرد می‌شود و چسبندگی سرباره کم می‌شود. در خط جوشهای تخت یا محدب،حتی در حالت هایی که جوش با فلز پایه در هم آمیخته شده حذف سرباره بسیار ساده تر از حالت هایی است که خط جوش مقعر و دارای بریدگی کنار جوش باشد به همین علت کاهش ولتاژ حذف سرباره در شیارهای باریک را تسهیل می‌کند. در اولین پاس جوشهای دو پاسه، تمیز کردن منطقه جوش مقعر که به صورت یکنواخت به سطح اتصال رسیده باشد، ساده تر از منطقه جوش محدبی است که در لبه های اتصال ناهمگن باشد[۱].

۹ـروش های مختلف جوشکاری قوس زیرپودری

در جوشکاری قوس زیر پودری استفاده از ترکیب های مختلف سیم و فلاکس سیستم چند الکترودی یا تک الکترودی، و استفاده از منابع نیروی AC و DC مقدور است. این فرآیند برای مواد گوناگون و قطعات با ضخامتهای متنوع به کار میرود. برای کنترل پروفیل جوش و افزایش سرعت رسوب در جوشکاری تک پاسه، از تنظیمات مختلف قوس استفاده می‌شود. جوش رسوب کرده می‌تواند وسیع و کم عمق، یا باریک و عمیق باشد.

یکی از علل این تنوع، استفاده از قوس AC است. اصولی که برای به حداقل رساندن وزش قوس در جوشکاری تک قوسی با جریان AC به کار گرفته می شوند، معمولاً در جوشکاری چند قوسی برای ایجاد خمیدگی مناسب قوس به کار می‌روند. عبور جریان از الکترودها یک میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند که این میدآن‌ها بر یکدیگر اثر متقابل داشته و می‌توانند یکدیگر را تقویت یا خنثی کنند. در فاصله بین قوس‌ها، این میدآن‌های مغناطیسی برای ایجاد نیروی انحنا دهنده به قوس به کار می‌روند

(و در نتیجه حرارت توزیع میشود). انواع مختلف منابع نیرو و تجهیزات مربوطه، طراحی و ساخته شده که مخصوص جوشکاری چند قوسی هستند این دستگاههای نسبتاً پیچیده برای تولید انبوه در دوره های طولانی و کاربردهای تکراری به کار می‌روند. همانگونه که پیش از این نیز گفته شد، جوشکاری زیرپودری هنوز هم معمول‌ترین و بهترین فرآیند انتخابی برای جوشکاری و اتصال قطعات ضخیم و جوش‌های خطی طولانی در وضعیت تخت است. اگر چه این فرآیند بسیار اقتصادی طراحی شده است، اما نوآوری‌های همیشگی و مستمر که توسط معتبرترین سازندگان دنیا در این حوزه انجام می‌شود همواره افزایش سطح کیفی و کاهش هزینه‌های تولید توسط این فرآیند را به همراه افزایش میزان تولید به همراه داشته است.

به طور مثال اگر برای افزایش مقدار تولید از فرآیند چند سیمی استفاده شود ناگزیر باید از شدت جریان بیشتری استفاده کرد که در نتیجهٔ آن مصرف برق، بسیار بیشتر(چندین برابر) خواهد شد و این خود افزایش حرارت ورودی و گستردگی بیش از حد HAZ را در پی خواهد داشت که در نتیجه کاهش چقرمگی و مقاومت به ضربه در فلز جوش اتفاق می‌افتد؛ این به معنی آن است که برای افزایش میزان یا سرعت تولید هزینهٔ گزافی(کاهش کیفیت) باید پرداخته شود. این در حالی است که در فرآیند MPSAW، با افزایش مقداری پودر فلزی به پودر جوشکاری مصرفی و وارد نمودن این پودر فلزی به چرخه فرآیند و عملیات جوشکاری زیرپودری، ۵۰ تا ۱۰۰ درصد، حجم مذاب و سرعت جوشکاری افزایش می‌یابد بدون آنکه برای ذوب کردن به شدت جریان بالاتری نیاز باشد. این عمل در مجموع ضمن کاهش هزینه‌های جوشکاری و افزایش میزان تولید، کیفیت جوشکاری را نیز افزایش خواهد داد. این روش طی چند سال اخیر در بسیاری از کارخانجات بزرگ کشتی‌سازی مثل NORSK در نروژ یا HYUNDAI در کرهٔ جنوبی و نیز صنایع بزرگ نفتی یا گاز دنیا مانند STAT OILS فراگیر و جایگزین فرآیندهای SAW شده است[۳].

در اینجا روش‌های مختلف فرآیند جوشکاری زیرپودری شرح داده خواهد شد که می‌توان آن‌ها را هم برای فولادهای ساده کربنی و هم فولادهای کم آلیاژ به کار برد[۱].

۹ـ۱ـ جوشکاری تک الکترودی

جوشکاری تک الکترودی متداول‌ترین نوع جوشکاری با قوس زیر پودری است که در آن فقط از یک الکترود و یک منبع نیرو استفاده می‌شود. در این روش معمولاً از جریان مستقیم با الکترود مثبت (DCEP) استفاده می‌شود اما میتوان از جریان مستقیم با الکترود منفی (DCEN) نیز استفاده کرد که

Authorized National Body

نفوذ کمتری را در فلز پایه ایجاد خواهد کرد. این فرآیند می تواند به صورت نیمه اتوماتیک انجام شود که طی آن جوشکار الکترود را در دست می گیرد و یا به صورت کاملاً اتوماتیک انجام می شود..

جوشکاری تک الکترودی معمولاً برای کامل کردن جوشهای افقی شیاری در تانکهای ذخیره بزرگ و مخازن انجام فرآیند به کار می‌رود.دستگاه جوشکاری در بالای هر حلقه تشکیل شده حرکت می‌کند و اتصال محیطی زیر آن را جوش می‌دهد. یک کمربند خاص فلاکس یا دیگر تجهیزات نیز برای نگه داشتن فلاکس در جای خود به کار می رود. به علاوه هر دو سمت اتصال (داخل و خارج) معمولاً همزمان جوش داده می‌شوند تا زمان کمتری صرف شود[۱].

۹ـ۲ـ جوشکاری شیار باریک

روش شیار باریک[۱] معمولاً برای جوشکاری مواد با ضخامت ۲in (۵۰mm) یا بیشتر با درز اتصال بین $\frac{۱}{۲}$ تا ۱in (۲۵ mm تا ۱۳) و زاویه شیار بین ۰ تا ۸ درجه به کار می‌رود در این فرآیند معمولاً یک الکترود توسط جریان متناوب یا DCEP، بسته به نوع الکترود و فلاکس، به کار برده می‌شود. لازم است فلاکس‌هایی استفاده شود که برای جوشکاری شیارهای باریک ساخته شده‌اند، زیرا حذف سرباره آن مشکل است. این فلاکس‌ها خواص خوبی برای جداسازی راحت سرباره از شیار باریک را دارند[۱] .

۹ـ۳ـ جوشکاری چند الکترودی

در سیستم‌های چند سیمی از دو یا چند سیم‌جوش در یک گرده جوش استفاده می‌شود. سیمها می‌توانند الکترودهای حامل جریان یا پرکننده های سرد باشند. این سیستم می‌تواند توسط یک یا چند منبع نیرو تغذیه شود که می‌توانندDC،AC یا هر دو باشند. سیستم‌های جوشکاری چند الکترودی نه تنها سرعت رسوب فلز جوش را افزایش می دهند، بلکه انعطاف پذیری عملیات را نیز بهبود می بخشد و استفاده بهینه از فلز جوش را مقدور می سازند. در این سیستم با کنترل بیشتر بر روی رسوب فلز می‌توان سرعت جوش را تا ۵ برابر روش تک سیمی نیز بدست آورد[۱].

۱-Narrow Groove

۹ـ۳ـ۱ـ فرآیند زیر پودری جفت الکترودی[۱]

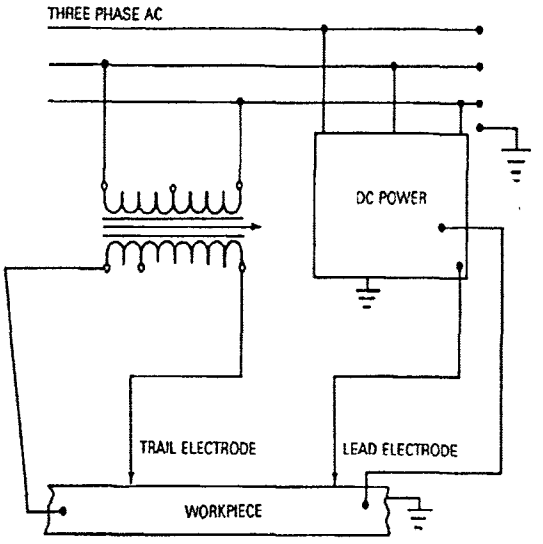
در این روش از دو الکترود در یک حوضچه استفاده می‌شود. دو الکترود به یک منبع نیرو و تغذیه سیم متصل هستند و معمولاً از DCEP برای آن‌ها استفاده می‌شود. از آنجا که دو الکترود ذوب می‌شوند، نرخ رسوب نسبت به SAW تک الکترودی بیشتر خواهد بود. این فرآیند را میتوان به صورت جوشکاری ماشینی یا اتوماتیک انجام داد و همچنین می توان این روش را برای جوشکاری شیاری در حالت تخت و جوشکاری گوشه در حالت افقی به کار برد[۱].

۹ـ۳ـ۲ـ فرآیند جوشکاری زیرپودری با الکترودهای متوالی[۲]

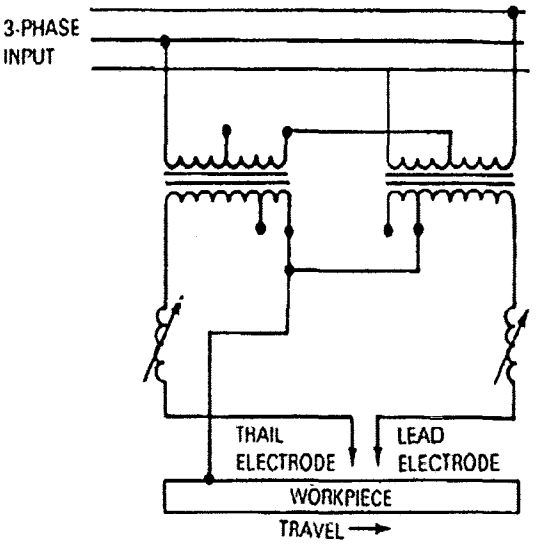
دو نوع فرآیند جوشکاری زیرپودری با دو الکترود پشت سر هم وجود دارد. در حالت اول، از DCEP برای الکترود اول و جریان AC برای الکترود دوم استفاده می‌شود. الکترودها ۰/۷۵in (۱۹mm) فاصله دارند ولی در یک حوضچه فعال هستند. در این فرآیند سرعت رسوب نسبت به فرآیند جوشکاری زیرپودری تک الکترودی بیشتر است که این تفاوت برای الکترودهای بزرگ تا ۴۰ پوند در ساعت می‌رسد. این حالت به صورت اتوماتیک یا ماشینی، برای مواد ضخیم تر با ضخامت ۱ اینچ یا بیشتر در حالت تخت قابل اجرا است (شکل ۲۴). باید اشاره کرد که الکترودهای حاوی جریان AC دیگری را می‌توان برای افزایش بیشتر سرعت به سیستم رسوب اضافه کرد. در حالت دوم از دو منبع نیروی AC که به صورت نشان داده شده در شکل ۲۵ بهم متصل شده‌اند استفاده می شود. به این اتصال، اتصال "اسکات" گفته می‌شود و اثر میدان‌های مغناطیسی دو قوس موجب انحناء رو به جلوی قوس دوم می‌شود. بازتاب رو به جلو موجب می‌شود بدون ایجاد عیوب بریدگی در فلز پایه، سرعت جوش افزایش یابد[۱].

۱-Twin Electrod SAW Process

۲-Tandem Arc SAW Process



شکل ۲۴ : جوشکاری چند منبعی DC_AC [۱].

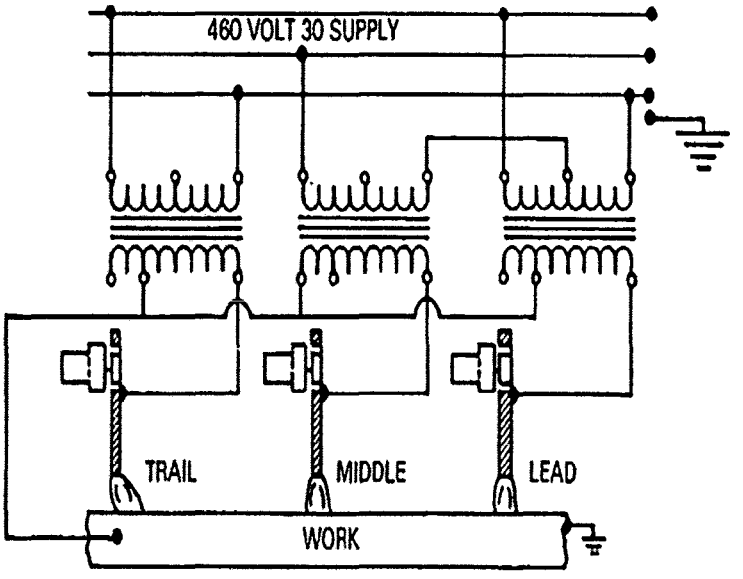


شکل ۲۵:جوشکاری چند منبعی AC-DC [۱].

۹ـ۳ـ۳ـ فرآیند قوسی سه تایی پشت سر هم

دو نوع فرآیند قوسی با سه الکترود متوالی وجود دارد. در نوع اول هر سه الکترود به ترانسفورماتورهای AC متصل هستند. ترانسفورماتورها همان طور که در شکل ۲۶ نشان داده شده

است به سه فاز برق اصلی متصل می شوند دو الکترود اول در این سیستم مشابه شکل ۲۵ به صورت اسکات به یکدیگر متصل می‌شوند و الکترود سوم با الکترود اول به صورت همفاز بسته می شود. این اتصال موجب انحناء رو به جلوی شدید قوس سوم و سرعت جوشکاری بالا می‌شود. این نوع جوشکاری در کشتی سازی برای جوشکاری یک طرفه کاربرد دارد. در نوع دوم جوشکاری زیرپودری با سه الکترود از یک قوس پیشروDCEP و دو الکترود با جریان AC که به صورت "اسکات" متصل شده اند (که در شکل ۲۵ نشان داده شده است) استفاده می‌شود[۱].



شکل ۲۶ : جوشکاری سه سیمی AC-AC-AC [۱].

۹ـ۴ـ اضافه کردن سیم سرد

اضافه کردن سیم سرد با استفاده از سیم های توپر و سیم های تو پودری، بدون تغییر در خواص جوش قابل انجام است. این روش در صنعت مصرف گسترده ای ندارد. تجهیزات مورد نظر، مشابه دیگر فرآیندهای چند الکترودی است اما یک سیم به منبع نیرو متصل نمی‌شود با این روش افزایش نرخ رسوب تا ۷۳٪ ممکن است، نرخهای رسوب ۳۵ تا ۴۰٪ به راحتی قابل دستیابی هستند. رسوب بیشتر با حرارت ورودی یکسان، موجب کاهش می‌شود[۱].

Authorized National Body

۹ـ۵ـ اضافه کردن سیم گرم

اضافه کردن سیم گرم بسیار موثرتر از اضافه کردن سیم سرد یا قوس اضافی است؛ زیرا جریان برای گرم کردن سیم پرکننده به کار می‌رود و نه برای ذوب فلز پایه یا فلاکس. در این روش نرخ رسوب را می‌توان ۵۰ تا ۱۰۰٪ بدون تغییر خواص فلز پایه افزایش داد. این فرآیند نیازمند تجهیزات اضافی، کنترل بیشتر، زمان تنظیم زیاد و توجه بیشتر اپراتور است.[۱]

۹ـ۶ـ اضافه کردن پودرفلز

اضافه کردن پودر فلز می‌تواند سرعت رسوب را تا ۷۰٪ افزایش دهد. همان طور که گفته شد این نوع فرآیند جوشکاری را اصطلاحاً جوشکاری زیرپودری با پودر فلزی اضافی[۱]، می‌نامند.

مزایای استفاده از این فرآیند عبارت است از:

۱- به کار بردن این فرآیند هزینهٔ کمتری دارد؛

۲- میزان تولید افزایش می‌یابد؛

۳- کیفیت کار افزایش و ارتقا می‌یابد؛

افزایش پودر آهن عامل اصلی سیال‌تر شدن فلز جوش مذاب است.

۴- افزایش پودر آهن سبب افزایش مقدار فریت سوزنی، فریت مرزدانه‌ای و کاهش فریت چند وجهی می‌شود؛

۵- با افزایش پودر آهن درصد ناخالصی‌های موجود در جوش ثابت مانده اما اندازهٔ آن‌ها کمی بزرگ‌تر می‌شود؛

۶- افزایش پودر آهن سبب کاهش اندازه دانه‌ها و ریز شدن ساختار و در نتیجه عامل افزایش خواص استحکام کششی و تنش تسلیم می‌گردد؛

۷- افزایش پودر آهن سبب افزایش میزان چقرمگی می‌شود؛

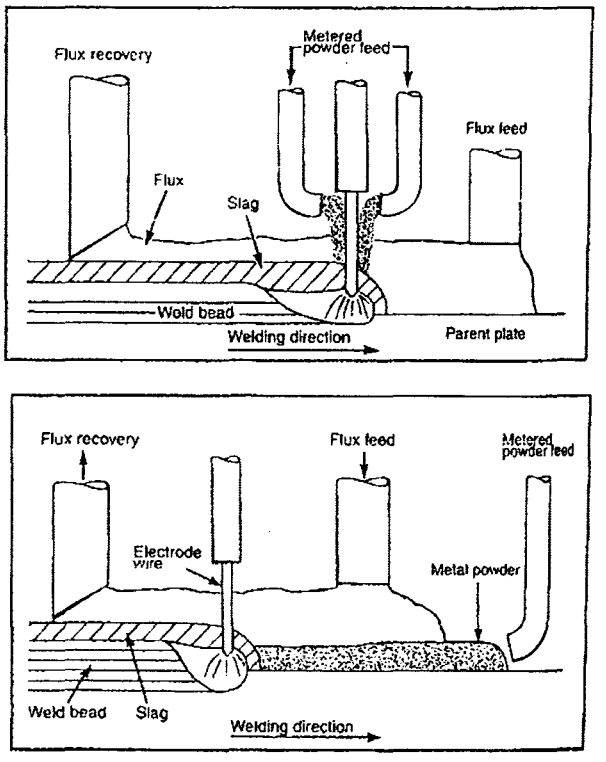
۸- حرارت ورودی و نرخ ذوب ثابت می ماند؛

۹- عمق نفوذ، درجهٔ رقت و وزن سرباره‌ها با افزودن پودرآهن و مصرف شدن مقداری از حرارت برای ذوب پودرآهن، کاهش یافته ولی نرخ رسوب افزایش می‌یابد.

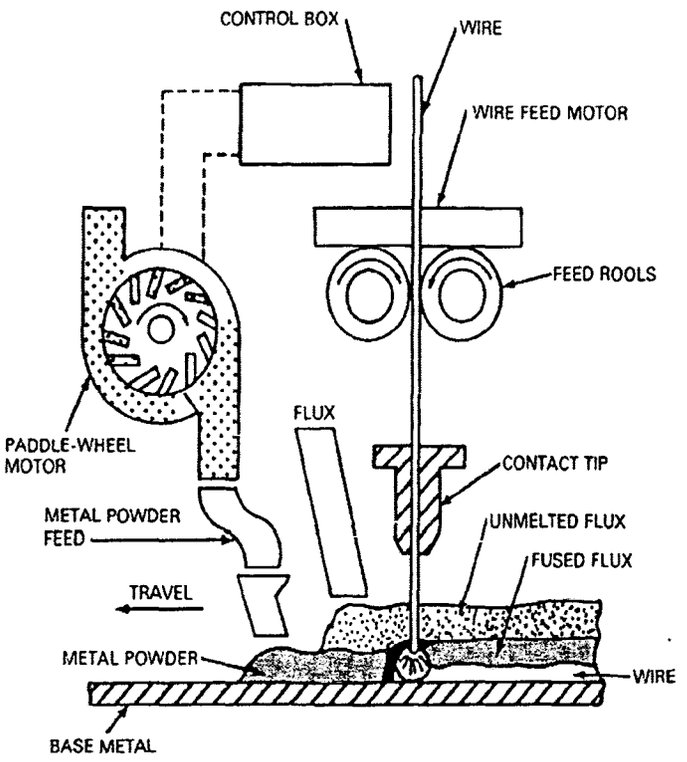
۱-MPSAW: Metal Powder Submerged Arc Welding

Authorized National Body

در این روش نفوذ یکنواخت، ظاهر جوش بهتر و نفوذ و رقت کمتر خواهد بود. پودرهای فلزی ترکیب شیمیایی رسوب نهایی جوش را نیز بهبود می بخشند این پودرها را می‌توان جلوی حوضچهٔ جوش یا مستقیماً درون آن اضافه کرد. این کار می‌تواند از طریق تغذیه ثقلی یا با استفاده از میدان مغناطیسی اطراف سیم برای حمل پودر انجام شود (شکل ۲۷)[۱].



شکل ۷ : چند روش از فرآیند MPSAW : الف) استفاده از روش مغناطیسی ب) استفاده از تغذیه پیشاپیش پودر[۳].



شکل ۲۷ : شکل شماتیک اضافه کردن پودر فلز[۱].

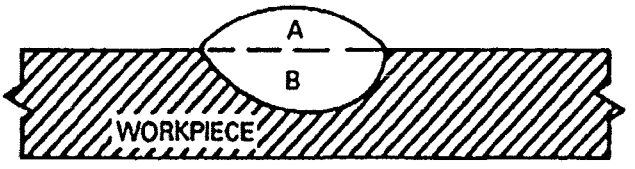
آزمایش های انجام شده روی روش اضافه کردن پودر فلز نشان داده که افزایش سرعت رسوب نیازمند افزایش انرژی قوس نیست، همچنین این روش چقرمگی فلز جوش را از بین نبرده و خطر ترک را نیز افزایش نمی‌دهد. این تستها همچنین نشان داده اند که خواص جوش را می‌توان با کنترل ساختار میکروسکوپی ناشی از کمتر بودن حرارت ورودی و تنظیم خواص شیمیایی فلز جوش رقیق شده بهبود بخشید[۱].

۹ـ۷ـ عملیات سطحی با استفاده از جوشکاری

اصطلاح « عملیات سطحی» که در فرآیند زیر پودری به کار می‌رود به معنی اعمال یک لایه فلزی روی سطح به وسیله جوشکاری استکه به منظور دستیابی به خواص یا ابعاد مورد نظر انجام می شود.

فرآیند جوشکاری قوس زیرپودری معمولاً برای پوشاندن سطح فولاد کربنی با فولاد زنگ نزن به کار می‌رود که راه حل اقتصادی برای ایجاد لایه زنگ نزن روی قطعات فولادی است. فلز پرکننده باید به اندازه کافی غنی باشد تا لایه با ترکیب مشخص بدست آید. در مورد هر ترکیب فلز پرکننده، تغییر روش جوش می‌تواند موجب تغییر ترکیب لایه شود. در نتیجه برای اطمینان از نتایج دلخواه، روش جوشکاری باید به دقت کنترل شود. روشهای محاسبه مقدار هر عنصر در فلز جوش در شکل ۲۷ نشان داده شده است.

متغیرهای جوش و انحراف از روش موجب تغییر ترکیب می‌شود. تاییدیه روش جوشکاری (PQR) باید شامل آنالیز شیمیایی فلز جوش بوده و حدود قابل قبول ترکیب شیمیایی رسوب می بایست در دستورالعمل جوشکاری ذکر شود[۱].



$$Z_{WM} = \frac{Z_{BM} \times B}{A + B} + \frac{Z_{FM} \times A}{A + B}$$

where

Z_{WM} = weld metal content of element Z
Z_{BM} = base metal content of element Z
Z_{FM} = filler metal content of element Z

$$\% \text{ DILUTION} = \frac{B}{A \& B} \times 100$$

شکل ۲۸: روش محاسبه رقت [۱].

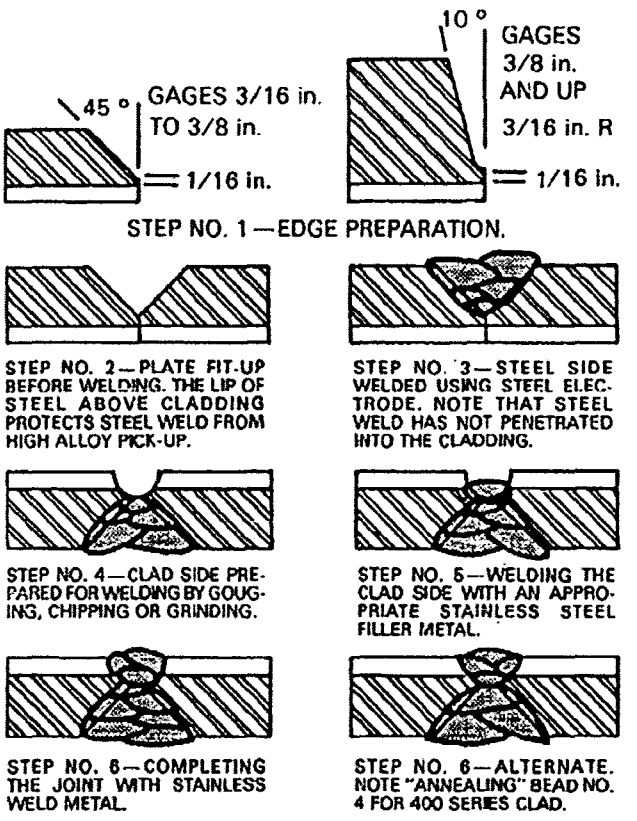
Authorized National Body

۹ـ۸ـ فولادهای پوشش‌دار

برای جوشکاری فولادهای پوشش دار نیز مسئله درجه رقت چنانچه در بالا گفته شد حائز اهمیت است. در جوشکاری صفحات فولادی از جنس فولادهای ساده کربنی با پوشش فولاد زنگ نزن یا فولادهای کم آلیاژ گاهی از پرکننده هایی از جنس فولاد زنگ نزن در کل ضخامت درز جوش استفاده می‌شود ولی عموماً ابتدا از فولادهای ساده کربنی یا کم آلیاژ به عنوان فلز پرکننده در سمت بدون پوشش استفاده می‌شود و به دنبال آن، قسمتی از پوشش برداشته شده و اتصال با پرکننده فولاد زنگ نزن تکمیل می‌شود.

افراد کم تجربه بهتر است برای روش جوشکاری فولاد پوشش دار و عملیات حرارتی بعد از آن، به توصیه‌های تولید کننده مراجعه کنند. اتصال فولاد پوششدار به فولاد بدون پوشش معمولاً به صورت لب به لب انجام می شود و قسمت پوشش مشابه اتصال دو صفحه پوششدار حفظ می‌شود. یک روش معمول جوشکاری فولاد با پوشش زنگ نزن در شکل ۲۹ نشان داده شده است توجه کنید که مرحله شماره ۶ روش « آنیل» خط جوش برای سری ۴۰۰ فولادهای زنگ نزن را نشان می‌دهد[۱].

نفوذ پرکننده باید با دقت لازم انتخاب شود در قسمت بدون پوشش باید از فلز پرکننده کم کربن یا کم آلیاژ با ترکیب مناسب استفاده شود (XX۱۸ برای الکترودهای دستی). برای سمت پوشش دار فلز پوشش دهنده از نوع ۳۰۹L را می‌توان برای فولادهای ۳۰۴L، ۳۰۴، ۴۰۵، ۴۱۰و ۴۳۰ ؛ و نوع ۳۰۹ Cb را برای ۳۲۱ یا ۳۴۷؛ و نوع ۳۱۰ را برای ۳۱۰، و نوع ۳۰۹MO را برای۳۱۶ به کار برد. در برخی کاربردهای فولادهای پوشش داده شده با نوع ۴۰۰ لازم است که پرکننده کاملاً با پوشش انطباق داشته باشد. در این موارد، کاربر باید توصیه های تولید کننده را برای انتخاب فلز پرکننده به کار برد[۱].



شکل ۲۹ : نوعی دستورالعمل جوشکاری. توجه داشته باشید که ابتدا سمت فولاد جوشکاری می شود.[۱]

۱۰ـ عیوب جوشکاری در فرآیند جوشکاری با قوس زیر پودری

۱۰-۱-مشکل تخلخل

فلز رسوب کرده در فرآیند زیر پودری معمولاً تمیز و بدون تخلخلهای مضر است زیرا بستر سرباره مذاب حفاظت مناسبی از حوضچه مذاب فراهم می کند. تنها در سطح منطقه جوش یا لایه زیرین سطوح صاف ممکن است تخلخل ایجاد شود. عوامل متعددی ممکن است باعث ایجاد تخلخل شوند که عبارتند از:

۱-وجود آلودگی در اتصال

۲-وجود آلودگی در الکترود

۳-کافی نبودن میزان پوشش دهی فلاکس

۴-وجود آلودگی در فلاکس

۵-گیر افتادن فلاکس در زیر اتصال

۶-جدایش ذرات تشکیل دهنده فلز جوش

۷-سرعت حرکت زیاد

۸-باقی ماندن سرباره خال جوش های قبلی که با الکترود پوششدار انجام شده[۲]

مانند دیگر روش‌های جوشکاری، در این روش نیز فلز پایه و الکترود باید خشک و تمیز باشد. سرعت زیاد حرکت و انجماد سریع جوش باعث می‌شود زمان کافی برای خروج گاز از فلز مذاب وجود نداشته باشد در این موارد سرعت حرکت را می‌توان کاهش داد ولی راه حل های دیگری برای جلوگیری از هزینه اضافی نیز باید به کار گرفته شود. به عنوان مثال با استفاده از الکترودهایی که باقی‌مانده های تخلخل زا ندارند، می‌توان مانع از تشکیل تخلخل توسط باقی‌مانده سرباره شد. الکترودهای پیشنهادی E۶۰۱۰, E۶۰۱۱, E۷۰۱۶ و E۷۰۱۸ می باشد[۲].

۱۰-۲-ترک خوردگی

در فولادها ترک در ناحیه مرکزی فلز جوش ایجاد می‌شود. این موضوع می‌تواند ناشی از شکل هندسی اتصال، متغیرهای جوشکاری یا تنشهای موجود در منقطه در حال انجماد باشد. این مشکل در جوش های گوشه ای و لب به لب که در آن‌ها شیارها و درز جوش به طور همزمان در دو طرف جوش داده می‌شوند، مشاهده می‌شود. راه حل این مشکل این است که عمق خط جوش کمتر یا برابر با عرض رویهٔ آن حفظ شود. ابعاد قسمت جوش را می توان با مقطع زدن و اچ کردن قسمتی از قطعه جوش اندازه گرفت. برای اصلاح این مشکل، متغیرهای جوشکاری یا شکل هندسی اتصال باید تغییر کند. برای کاهش عمق نفوذ در مقایسه با عرض وجه اتصال، هم سرعت حرکت و هم جریان باید کاهش یابد.

ترک در فلز جوش یا قسمت حرارت دیده (HAZ) ممکن است ناشی از نفوذ هیدروژن در فلز جوش باشد. هیدروژن ممکن است از منابعی که در ادامه گفته می شود به حوضچه فلز مذاب وارد شود: فلاکس، چربی ها و آلودگی های روی الکترود یا فلز پایه، و هیدروژن موجود در الکترود یا فلز پایه. ترک به علت نفوذ هیدروژن در فلز جوش معمولاً در فولادهای کم آلیاژ رخ می‌دهد و با افزایش تنش تسلیم و تنش کششی مقدار آن بیشتر می‌شود. این نوع ترک گاهی در فولادهای کربنی نیز رخ می‌دهد. همیشه مقداری هیدروژن نفوذ کرده در فلز جوش وجود دارد اما باید مقدار مجاز نفوذ آن

محدود و کم باشد. با افزایش استحکام کششی مقدار هیدروژن مجاز در فلز جوش رسوب کرده، کاهش می‌یابد. ترک ناشی از بالا بودن مقدار هیدروژن در قطعه را "ترک تاخیری" می گویند که نوعی ترک سرد محسوب می شود معمولاً این ترکها چندین ساعت(حدود ۷۲ ساعت) بعد از سرد شدن قطعه تا دمای محیط رخ می‌دهد.

هیدروژن در دمای بالا از فلز جوش خارج می‌شود (بالاتر از حدود $200^{\circ}F$ بدون اینکه ترکی ایجاد کند). اما در دمای محیط که هیدروژن موجود در نقصهای کوچک از فلز جوش یا فلز پایه تجمع می کند ترک به وجود می‌آید. برای کم نگه داشتن مقدار هیدروژن موجود در فلز جوش می‌توان کارهای زیر را انجام داد:

۱-حذف رطوبت از فلاکس با پختن آن در کوره (طبق توصیه های سازنده)

۲-حذف روغن، چربی یا کثیفی از روی الکترود و فلز پایه

۳-افزایش دمای کار برای خارج شدن هیدروژن در حین انجام عملیات جوشکاری. این کار را می توان با ادامه « پیشگرم» تا انتهای جوش یا پس گرم اتصال چند ساعت قبل از سرد شدن آن تا دمای محیط انجام داد[۱].

۱۱ـ مزایا و محدودیت های روش جوشکاری قوس زیرپودری

هر فرآیند جوشکاری دارای مزایا و محدودیت هایی است که با توجه به آن‌ها و شرایط کار مورد استفاده قرار می‌گیرند. این فرآیند دارای مزایای زیر است:

۱-ورق‌هایی با ضخامت کمتر از ۳۲ میلیمتر ($\frac{1}{4}$اینچ) را میتوان بدون پخ سازی لبه ها جوش داد. در صورت نیاز از زاویه پخ کوچکتری که فلز جوش کمتری لازم دارد می‌توان استفاده کرد.

۲-به علت مخفی بودن قوس، محافظت ویژه برای جلوگیری از اشعه های مضر لزومی نداشته و ضمناً جرقه کمتری تولید می‌شود.

۳- سرعت پیشرفت و نرخ رسوب نسبتاً بالا است در نتیجه برای جوشکاری ورق‌های تخت، استوانه ها و یا نظیر آن‌ها با هر ضخامت قابل استفاده است.

۴- با تغییرات جزیی می توان این روش را برای عملیات سخت پوشی به کار برد.

۵- خواص اکسیژن زدایی و تمیزکاری پودر موجب تولید جوش با ظاهر تمیز و خواص مکانیکی خوب می‌شود. در صورت لزوم عناصر آلیاژی برای تنظیم و کنترل ترکیب شیمیایی فلز جوش توسط فلاکس به حوضچهٔ جوش اضافه می‌شود.

۶- برای فولادهای غیر آلیاژی می‌توان از الکترودهای کم کربن ارزان استفاده کرد و به طور کلی هزینه جوشکاری پایین است.

۷- به دلایل حفاظت سطحی توسط فلاکس، امکان استفاده در محیط های بادخیز وجود دارد.

محدودیت های این فرآیند عبارتند از:

الف: احتیاج به نگهداری پودر بر روی موضع جوش است. در بعضی اتصالات نیاز به ورق‌های پشتی یا رینگ های خاصی دارد.

ب: ایجاد خلل و فرج در جوش به دلیل حضور مواد ناخالصی در پودر

ج: فاصله درز اتصال باید هموژن و همگن بوده و زنگ زده، پوسته پوسته و یا حاوی ناخالصی های دیگر نباشد تا کیفیت جوش خوب و مطلوب گردد.

د: عدم جدا شدن سریع سرباره و به خصوص در جوش چند پاسه منجر به ایجاد ذرات حبس شده [۱] در جوش می‌شود.

هـ: این روش معمولاً برای جوشکاری صفحاتی با ضخامت کمتر از ۴/۵ میلی‌متر (۳/۱۶ اینچ) چندان مناسب نیست.

و: به طور کلی برای وضعیت های تخت و افقی مناسب است.

ز: مخفی بودن قوس، کنترل محل دقیق جوش را مشکل می‌کند که معمولاً برای تنظیم حرکت سر دستگاه جوش از راهنما استفاده می‌شود. این راهنما می‌تواند یک ریل ساده و یا چشم الکتریکی باشد.

سه نکته متالورژیکی که در این روش باید مورد توجه واقع شود عبارتند از:

الف: درجه رقت نسبتاً بالا و حضور نسبت زیاد از فلز قطعهٔ کار درجوش (به ویژه در کاربرد جریان یکنواخت و الکترود منفی) موجب می‌شود تا در انتخاب نوع فلز قطعهٔ کار دقت و توجه خاص مبذول شود به خصوص از نظر ناخالصی هایی نظیر گوگرد، فسفر و گاه منگنز که نباید از حد معینی بیشتر باشند.

ب: حجم زیاد سرباره بر روی مذاب فلز جوش و واکنش های سرباره مذاب نشانگر اهمیت ترکیب شیمیایی پودر و اثر آن بر روی ترکیب شیمیایی فلز جوش می باشد.

۱-Slag Inclusion

Authorized National Body

ج: تاثیر شرایط کار از نظر حرارت زیاد (سرعت پیشرفت کم و شدت جریان بالا) و سرعت سرد شدن آهسته بر روی ساختار میکروسکپی زیاد بوده و عموماً به درشت ساختاری و ایجاد منطقه وسیع حرارتی ناشی از جوشکاری منجر می‌شود[۳].

۱۲ـ کاربردهای کلی فرآیند

فرآیند جوشکاری قوس زیر پودری در کاربردهای وسیعی در صنعت به کار می‌رود. کیفیت بالای جوش، سرعت بالای رسوب، عمق نفوذ، قابلیت انجام اتوماتیک، موجب می‌شود این فرآیند برای جوشکاری قطعات بزرگ مناسب باشد. این روش در تولید مخازن تحت فشار، ساخت کشتی ها و یدک کش ها، خط آهن، لوله و سازه هایی با جوشهای طولانی به کار می‌رود. این فرآیند برای جوشکاری مواد مختلف از ورق‌های با ضخامت ۰/۰۶in (۱/۵mm) تا قطعات ضخیم و سنگین می تواند به کار برده شود. جوشکاری قوس زیرپودری (SAW) برای تمام فلزات و آلیاژها مناسب نیست، و کاربرد وسیع آن در جوشکاری فولادهای کربنی، فولادهای ساختمانی کم آلیاژ، و فولادهای زنگ نزن فولادهای ساختمانی با استحکام بالا، فولادهای پر کربن و آلیاژهای نیکل است. با این وجود با انتخاب روشی که ورودی گرمایی کمتری داشته باشد، مثل جوشکاری،(GMAW) اتصال بهتری برای این فلزات بدست می‌آید.

جوشکاری قوس زیر پودری برای جوش اتصالات لب به لب در وضعیت تخت، جوشهای گوشه در وضعیت تخت و افقی، و عملیات سطحی در وضعیت تخت به کار می‌رود. با استفاده از گیره ها و نگه‌دارنده های خاص می‌توان اتصالات روی هم، لب به لب را نیز در وضعیت افقی با این فرآیند جوشکاری کرد[۱].

۱۳ـ توصیه های ایمنی

اپراتورها همیشه باید از محافظ چشم برای جلوگیری از جرقه های جوش، نور شدید قوس و ذرات پرتاب شونده از سرباره داشته باشند. منابع نیرو و تجهیزات مثل سیستم تغذیه سیم‌جوش باید به دقت به زمین متصل شده باشند. کابلهای جوشکاری باید در محل مناسب قرار گیرند.

عناصر خاص، وقتی تبخیر می‌شوند می‌توانند مضر باشند فولادهای آلیاژی، فولادهای زنگ نزن و آلیاژهای نیکل دارای چنین عناصری همچون کروم، کبالت، منگنز، نیکل و وانادیوم هستند. اطلاعات

Authorized National Body

ایمنی مواد را می توان از تولید کننده دریافت کرد تا مقدار مواد بالقوه خطرناک و حد مجاز آن‌ها به دست آید. برای بسیاری از این عناصر، حد مجاز، ۱ میلی گرم در متر مکعب یا کمتر است. در فرآیند SAW قرارگیری اپراتور در معرض آلودگی هوا کم است زیرا دود زیادی از فلاکس متصاعد نمی‌شود. تهویه خوب هوا باعث می‌شود محل تمیز و بی خطر باشد. نوع هواکش و یا هر سیستم خارج کننده هوا بر اساس شرایط محیط انتخاب می‌شود[۱].

مراجع

۱- AWS Handbook, ۱۹۹۷, Vol.۲, Chapter ۶ "Submerged Arc Welding"

۲ـ مهرداد معینیان، "کلید جوشکاری"، اتشارات آزاده، ۱۳۸۲،چاپ اول

۳ـ امیر حسین کوکبی، " تکنولوژی جوشکاری"، انتشارات آزاده، ۱۳۸۲، چاپ پنجم

۴-امیر حسین کوکبی، مجید محمودی غزنوی،" تکنولوژی جوشکاری"، جلد اول: فرآیندها، مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۴،چاپ اول

پیشنهادات و انتقادات: