

خلاصه مقاله

بدون شک بیشترین حجم جوشکاری در کشور در کارخانه های ساخت لوله های قطور و به روش جوش زیر پودری صورت می گیرد که بصورت تقریبی بیش از 5000 کیلومتر در سال می باشد ، هرگونه تغییر در تکنولوژی ساخت لوله های قطور بخصوص بحث جوش ، منجر به بهبود کیفیت محصول ، کاهش هزینه های ساخت و دوباره کاری خواهد شد تولید لوله های قطور با شکل دهی و جوشکاری لبه های آن صورت می گیرد. بسته به روش شکل دهی ورق، روش های تولید لوله های قطور به دو گروه درز مستقیم یا حلزونی (SPIRAL) انجام می شود. ولی جهت اتصال لبه ها از جوش زیر پودری (SAW) و یا جوش با گاز محافظ (GMAW) به همراه جوش زیر پودری استفاده می شود. یکی از بهینه سازی های انجام یافته ، تغییر جوش زیر پودری (SAW) از حالت یک مرحله ای به حالت دو مرحله ای می باشد . در فرآیند جوش زیر پودری دو مرحله ای عموماً جوش ریشه با گاز محافظ (GMAW) صورت گرفته و سپس جوش زیر پودری صورت می گیرد. در این مقاله در ابتدا روش های مختلف ساخت لوله های قطور بیان می گردد، سپس روش های جوش زیر پودری یک مرحله ای و دو مرحله ای مزایا و معایب هر یک در ساخت لوله های قطور درز دار (درز مستقیم یا اسپیرال) بیان می شود. جوش زیر پودری (SAW) و جوش با گاز محافظ (GMAW) بصورت مستقل و ترکیب آنها با ذکر پارامترهای کیفی بررسی می شود . نتایج حاصل بخصوص از نظر خواص مکانیکی با ذکر تاثیر عناصر آلیاژی مواد مصرفی و متغیرهای فرآیند جوش کاری به فلز جوش و ناحیه (HAZ) شرح داده می شود در پایان با ذکر یک جمع بندی ، دلایل تبدیل جوش زیر پودری یک مرحله ای به دو مرحله ای در تمامی روش های ساخت لوله های قطور (درز مستقیم یا اسپیرال) بیان می شود

فرایندهای ساخت لوله

روشهای ساخت و تولید لوله به دو دسته کلی تقسیم می شوند: روشهای بدون درز و روشهای تولید لوله با جوشکاری. در روشهای تولید لوله درزدار از ورق کارگرم شده استفاده می شود. ورق باید به شکل لوله در آمده و درز آن جوشکاری شود. فرایندهای شکل دهی ورق مورد استفاده در ساخت لوله عبارتند از:

- شکل دهی سه غلتکی
- شکل دهی ورق به شکل J C O
- شکل دهی ورق به شکل U&O
- شکل دهی اسپیرال.

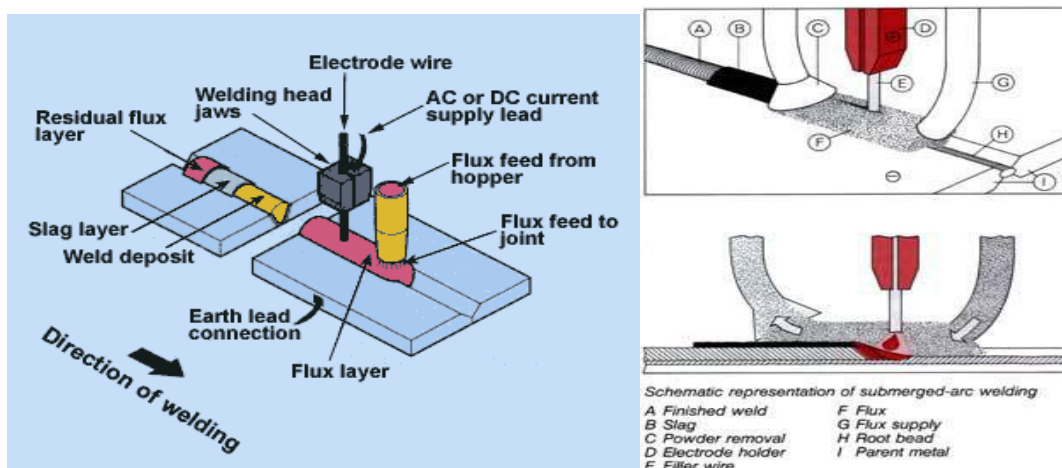
. روشهای جوشکاری لوله به دو دسته با استفاده از فلز پرکننده و بدون استفاده از فلز پرکننده تقسیم بندی می شود روشهای جوشکاری با فلز پرکننده عبارتند از

- جوشکاری زیر پودری (SAW)
- جوشکاری GMAW و زیر پودری (SAW)

جوشکاری زیر پودری

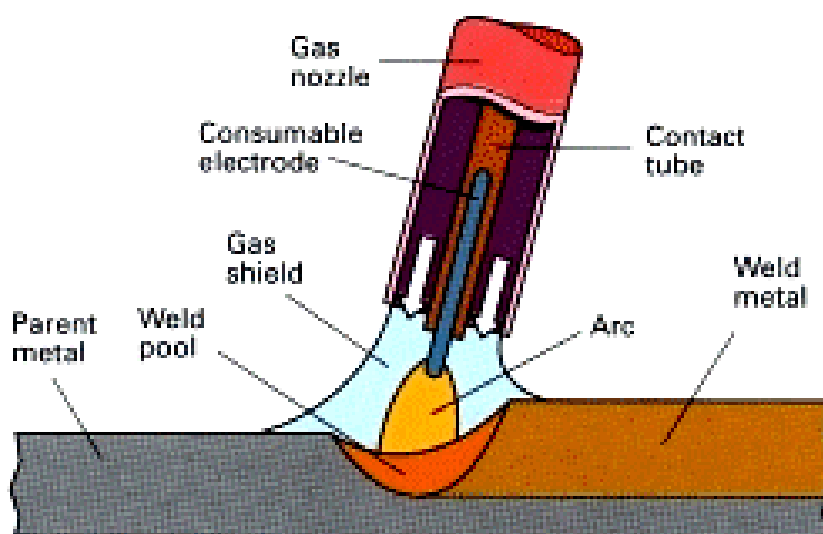
جوشکاری به روش زیر پودری یکی از روشهای جوشکاری قوسی برای تولید لوله است. در این روش، برخلاف سایر روشهای قوسی، قوس زیر فلاکس پنهان می باشد. یکی از ویژگیهای این روش نرخ رسوب بالا می باشد. جریان الکتریکی حاصل از ژنراتور، ترانسفورماتور- یکسوکننده و یا ترانسفورماتور از طریق نازل راهنما و سیم الکتروود به قوس و قطعه کار هدایت می شود.

حرارت حاصل از قوس، موضع جوش و پودر جوش را ذوب کرده و حوضچه بوجود می‌آید. در انواع این فرایند، دستگاه جوش به سه طور خودکار و مداوم سیستم الکترود را از میان نازل راهنما و لایه پودر عبور داده و به طرف حوضچه جوش هدایت می‌کند که پس از ذوب، در سرتاسر محل اتصال رسوب داده می‌شود.



پودر جوشکاری پیشاپیش قوس، ریخته شده و پس از جوشکاری و انجماد جوش، قسمتی از آن که ذوب نشده توسط دستگاه مکنده جمع می‌شود و بخشی از آن که ذوب شده، به صورت قشر شیشه‌ای (شلاکه) بر روی جوش باقی می‌ماند که از روی جوش جدا می‌شود در این فرایند، از مفتول بدون روکش استفاده شده و برای حفاظت حوضچه جوش از فلاکس دانه‌بندی شده استفاده می‌شود. بنابراین قوس کاملاً مخفی بوده و براین اساس از آمپرهای خیلی زیاد، بدون هیچگونه پاشش و حبس هوایی می‌توان استفاده نمود. به دلیل آمپر بالا میزان نفوذ در یک پاس و نرخ رسوب فلز جوش در این روش بالاست.

جوشکاری GMA W



در دستگاه ابتدایی GMAW سیم از یک لوله با انعطاف به مشعل هدایت شده و جریان الکتریکی توسط اتصال کننده به سیم متصل می‌شود. گاز محافظ از نازل عبور کرده و اطراف سیم را احاطه می‌کند. به این ترتیب نوک سیم و حوضچه جوش محافظت می‌شود. انتهای الکتروود توسط حرارت قوس و مقاومت الکتریکی سیم ذوب شده و قطرات مذاب در اثر نیروی دینامیکی، مغناطیسی و جریان گاز جدا شده، سرتاسر قوس را طی کرده و بطرف حوضچه جوش سقوط می‌کند. روش GMAW برای پاس ریشه لوله استفاده می‌شود. پاس ریشه پشت بند پاسهای بعد که با زیرپودری داده می‌شوند، است برای جوشکاری فولادهای ساختمانی از گاز کربنیک، مخلوط کربنیک و آرگون، آرگون و اکسیژن استفاده می‌شود. از آرگون خالص برای جوشکاری فولادها استفاده نمی‌شود زیرا باعث نا آرامی قوس و بوجود آمدن عیب در جوش می‌شود در مگ بجای آرگون از گاز کربنیک که گازی فعال است، استفاده می‌شود. حرارتی که این گاز ایجاد می‌کند و سرعت جوشکاری بالاست و قیمت آن نسبت به گاز خنثی کمتر است، ولی یک عیب عمده آن نا آرامی قوس و پاشش فلز جوش است.

مزایای فرایند GMAW عبارتند از: حذف سرباره و عدم نیاز به پاک کردن فلاکس قابلیت اتوماتیک شدن نیاز کم به مهارت اپراتورها روشی است که روی تمام آلیاژها می‌توان آنرا پیاده کردن نقطه شروع و توقف جوشکاری با این روش کم است.

روشهای تولید لوله‌های درزدار

یکی از روشهای قدیمی تولید لوله، روش U&O است. در این روش، بوسیله قالبهایی ابتدا ورق را به شکل U و سپس O در می‌آورند. شکل دهی ورق در حالت سرد انجام می‌شود. قبل از شکل دهی، لبه‌های ورق پخ زده می‌شوند و بعد از شکل دهی، به صورت درز مستقیم جوشکاری می‌شود. لوله به هم فشرده شده و در ایستگاه پاس ریشه با روش GMAW به هم جوش می‌شوند. سرعت جوشکاری در مرحله بسته به ضخامت ورق، بین ۵ تا ۱۲ متر بر دقیقه است. بعد از ایستگاه GMAW لوله به ایستگاه جوش زیرپودری منتقل می‌شود. در ایستگاه جوش زیرپودری ابتدا پاس داخل و سپس پاس خارج اعمال می‌شود. در پاس داخلی و خارجی لوله متحرک بوده و دستگاه جوش ثابت، در پاس داخلی دستگاه جوش توسط بازوهای متحرکی به داخل لوله رفته و جوشکاری را انجام می‌دهد. پرواضح است که پاس خارجی بعد از سرد شدن کامل پاس داخلی اعمال می‌شود.

تولید لوله اسپیرال

تولید لوله به روش اسپیرال یکی دیگر از روشهای استاندارد تولید لوله در جهان است. در این روش، ورق با گذشتن از یک سری غلتکها با درزی حلزونی (اسپیرال) به شکل لوله در خواهد آمد. برخلاف لوله درز مستقیم که قطر لوله بستگی به پهناي ورق داشت، در این روش قطر لوله با تغییر زاویه تغذیه اولیه ورق تغییر خواهد نمود. با تغییر زاویه تغذیه، لوله با قطرهای مختلف می‌توان تولید کرد، در حالیکه در روش درز مستقیم باید کل قالبهای خط تولید باید تعویض شوند. از اینرو در روش اسپیرال، لوله با قطرهای مختلف را می‌توان با هزینه کمتری نسبت به درز مستقیم تولید کرد. لوله‌های اسپیرال به دو روش یک مرحله‌ای و دو مرحله‌ای تولید می‌شوند

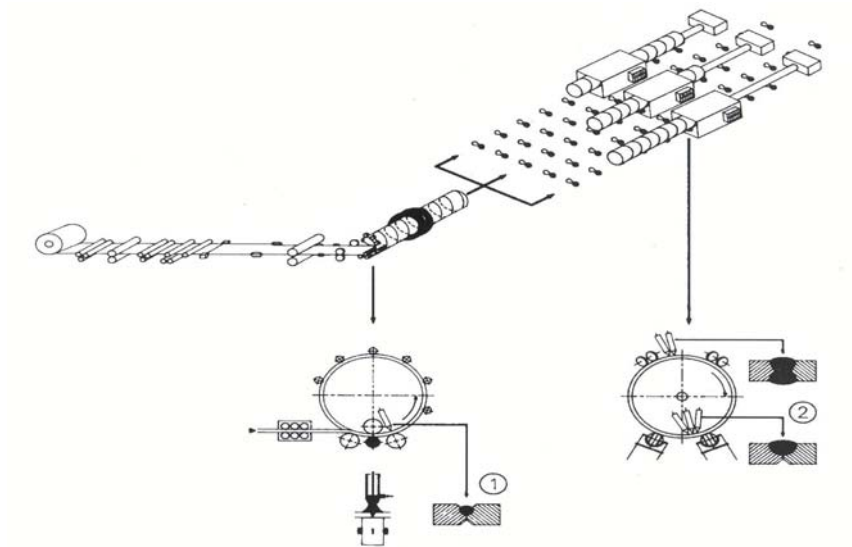
لوله اسپیرال یک مرحله‌ای

این روش یکی از متداولترین روشهای تولید لوله در جهان و شکل اولیه تولید لوله اسپیرال است. مراحل تولید در این روش عبارتند از آماده سازی ورق، شکل دهی ورق و جوشکاری زیرپودری داخل و خارج.

در مرحله آماده سازی ورق، سر ورقها به یکدیگر جوش داده می شوند و لبه ورق پخ زده شده و ورق صاف می شود. اگر عملیات شکل دهی را کامل انجام دهند باید لبه ورق پیش خم شود تا از ایجاد برآمدگیهای غیر قابل پرس جلوگیری شود. برای جوشکاری درز اسپیرال، ابتدا درز داخلی در موقعیت ساعت ۶ توسط دستگاه جوش زیرپودری جوش داده خواهد شد. پاس خارجی در موقعیت ساعت ۱۲ جوش داده خواهد شد. تنظیم مشعل جوشکاری (Welding head) بر روی درز به صورت اتوماتیک انجام می گیرد. پس از جوشکاری درز، لوله برش خورده و به مراحل بعدی منتقل خواهد شد. سرعت تولید در این روش، توسط سرعت جوشکاری زیرپودری تعیین می شود. سرعت جوشکاری زیرپودری در حدود ۱ الی ۲/۵ متر بر دقیقه است، گاهی تا ۳ متر بر دقیقه هم می رسد. از آنجایی که سرعت جوشکاری زیرپودری محدود است، سرعت تولید در این روش کند است.

لوله اسپیرال دو مرحله‌ای

تولید لوله اسپیرال دو مرحله‌ای مانند روش یک مرحله‌ای است، با این تفاوت که در این روش در حین شکل دهی ورق، درز جوش با GMAW جوشکاری می شود. این جوش پاس ریشه را تشکیل می دهد در مراحل بعدی، درز از داخل و خارج بوسیله چند دستگاه زیرپودری پر می شود. این فرایند چهار مرحله اساسی دارد: آماده سازی ورق، شکل دهی ورق، جوش GMAW و جوش زیرپودری داخلی و خارجی.



در روش دو مرحله‌ای علاوه بر راندمان تولید بالا (به دلیل شکل دهی سریع)، یک مزیت تکنیکی به لحاظ جدا بودن مرحله شکل دهی و جوش نهایی از یکدیگر وجود دارد در ایستگاه شکل دهی در حین شکل دهی پای ریشه با روش GMAW داده می شود سرعت این دستگاه با گاز کربنیک در حدود ۱۲ متر بر دقیقه است. این جوش در موقعیت ساعت ۶ ایجاد می شود.

دقت ابعادی لوله‌های روش یک مرحله‌ای و دو مرحله‌ای

. در تولید لوله اسپیرال دو مرحله‌ای، لوله‌ها با دقت ابعادی زیادی تولید می‌شوند. سیستم‌های لوله اسپیرال دو مرحله‌ای عمدتاً دارای ویژگیها و امکانات زیر می‌باشند:

- راهنمای مرکز ورق و کنترل اتوماتیک
 - انجام اتوماتیک اتصال دو کوئل جدید و قدیم
 - سیستم جمع کننده ورق برای جریان پیوسته تولید
 - واحد شکل دهی ورق، شامل سیستم خمش سه غلتکی (Three-roll Bending) و محفظه راهنمای خارجی لوله
 - پیش خمش لبه‌های ورق برای جلوگیری از اثر برگشت فنری
 - سیستم کنترل درز اتوماتیک با دقت 0.1 mm
 - فرایند جوشکاری GMAW پیوسته با سرعت 12 m/min
 - تنظیم پارامترهای جوشکاری با سرعت تغذیه، بصورت اتوماتیک
- این ویژگی‌های باعث شده که لوله‌های تولیدی با این روش از دقت ابعادی بالایی برخوردار باشند.
- در کل از نظر دقت ابعادی روش دو مرحله‌ای دارای مزایای زیر می‌باشد:
- مستقیم بودن لوله straightness
 - تلورانس کم قطر و بیضوی بودن

مقایسه خواص جوش لوله در روش دو مرحله‌ای و یک مرحله‌ای

در اثر جوشکاری ذوبی حرارت از منبع متحرک وارد فلز شده و سه منطقه در آن بوجود می‌آورد: فلز جوش، منطقه متأثر از حرارت (HAZ) و فلز پایه.

در تولید لوله به روش دو مرحله‌ای و یک مرحله‌ای، پارامترهای مؤثر بر خواص فلز جوش، ناحیه متأثر از حرارت با یکدیگر تفاوت زیادی دارند. این تفاوت‌ها باعث ایجاد اختلاف، بین خواص لوله‌های تولید شده در خط تولید یک مرحله‌ای و دو مرحله‌ای خواهد شد. برای شناخت این تفاوت‌ها باید عوامل مؤثر بر خواص سه ناحیه مذکور و همچنین تفاوت‌های موجود در شرایط جوشکاری لوله در هر دو روش تولید مورد بررسی قرار گیرند. برای جوشکاری درز اتصال اسپیرال از فلز پرکننده‌های مختلفی استفاده می‌شود که خواص فلز جوش از یک سو به ترکیب شیمیایی فلز پرکننده و از سوی دیگر به متغیرهای

فرایند جوشکاری و نوع فرایند آن برمی‌گردد. در روش یک مرحله‌ای فقط از روش جوش زیرپودری استفاده می‌شود در حالیکه در روش دو مرحله‌ای از دو جوش زیر پودری و GMAW استفاده می‌شود. تفاوت‌های پارامترهای جوشکاری در دو روش، بر خواص فلز تأثیر می‌گذارد.

تأثیر عناصر بر ریزساختار خواص فلز جوش در روش یک مرحله‌ای دو مرحله‌ای

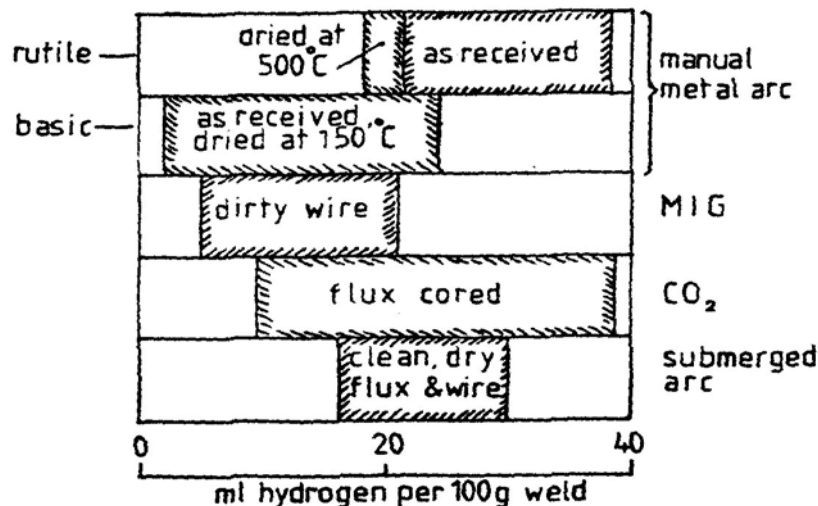
در اسپیرال دومرحله‌ای، از روش GMAW با گاز محافظ CO2 برای ایجاد پاس ریشه که یکنوع جوش موقت است و مرحله بعد ذوب می‌گردد. و برای جوش اصلی از سیم جوش S2Mo و پودر لینکلن P223 استفاده شده است. روش یک مرحله‌ای فقط از سیم جوش S2Mo و پودر لینکلن P223 استفاده شده است. با توجه به نقش عناصر در ریزساختار و در نتیجه خواص مکانیکی و فیزیکی انتظار می‌رود که این دو جوش با یکدیگر تفاوت داشته باشند. در جوش لوله تولید شده با روش دو مرحله‌ای، در اثر امتزاج فلز جوش حاصل از سیم جوش S2MO با فرایند SAW و SG2 با فرایند GMAW، میزان منگنز و مولیبدن کاهش می‌یابد و میزان کربن فلز جوش افزایش می‌یابد. در روش یک مرحله‌ای میزان کربن آن کمتر و میزان منگنز، و مولیبدن آن بالاتر خواهد بود. تفاوت بین درصد عناصر در فلز جوش باعث ایجاد خواص و ریزساختارها مختلفی خواهد شد. مثلاً انتظار می‌رود که مقاومت به ضربه فلز جوش روش دو مرحله‌ای کمتر از یک مرحله‌ای باشد، البته مقاومت به ضربه فقط به ترکیب شیمیایی فلز جوش بستگی ندارد بلکه عوامل زیادی با هم بر روی آن اثر می‌گذارند که در مقایسه کامل، باید آنها را نیز در نظر گرفت. یا تغییرات ریزساختار به دلیل تغییر میزان مولیبدن که اثر زیادی بر ریزساختار و استحکام کششی فلز جوش دارد، ایجاد می‌شود.

ترکیب شیمیایی فلز جوش خالص.

درصد وزنی عناصر فلز جوش خالص				مواد پرکننده مصرفی
Mo	Mn	Si	C	
0.5	1.33	0.38	0.08	S2Mo با پودر P223
-	0.7-1	0.5-0.8	0.05-0.1	SG2 با گاز محافظ CO ₂

نقش گازهای محلول بر فلز جوش

در روش دومرحله‌ای، فلز جوش با دو روش GMAW و SAW ایجاد می‌شود ولی در روش تک مرحله‌ای فقط از SAW استفاده می‌شود. این تفاوت باعث تغییر کیفیت جوش می‌شود. در جوشکاری GMAW با استفاده از گاز محافظ CO₂، اکسیژن و سایر گازهای دیگر جذب فلز جوش می‌شوند. در هر صورت میزان اکسیژن فلز جوش رسوب یافته به روش GMAW کمتر از روش SAW است. افزایش میزان اکسیژن فلز جوش، باعث کاهش انرژی ضربه و چقرمگی جوش می‌شود. در روش دومرحله‌ای برای ایجاد پاس ریشه از روش GMAW استفاده می‌شود که اکسیژن کمتری نسبت به روش SAW دارد. در روش یک مرحله‌ای تمام درز اتصال با روش SAW پر می‌شود. در کل اکسیژن جذب شده به فلز جوش در روش دومرحله‌ای کمتر از روش یک مرحله‌ای است و انتظار می‌رود که میزان مقاومت به ضربه فلز جوش لوله‌های تولیدی در خط تولید دومرحله‌ای، در شرایط برابر بیشتر از مقاومت به ضربه جوش لوله‌های تولید شده در خط یک مرحله‌ای باشد. البته امکان دارد این اثر ناچیز باشد. میزان تفاوت به حجم فلز جوش رسوب یافته به روش GMAW بستگی دارد. افزایش میزان اکسیژن باعث کاهش فریت سوزنی نیز می‌شود که مستقیماً بر خواص مکانیکی جوش اثر می‌گذارد. در روش GMAW، علاوه بر اکسیژن، میزان هیدروژن جذب شده به فلز جوش خیلی کمتر از روش SAW است. بنابر این در جوش‌های لوله‌های تولیدی در خط دو مرحله‌ای، با توجه به اینکه بخشی از درز اتصال با روش GMAW پر می‌شود، انتظار می‌رود که میزان هیدروژن کمتر از جوش‌های ایجاد شده در خط یک مرحله‌ای باشد. هیدروژن میزان تنش لازم برای جوانه‌زنی ترک را کاهش می‌دهد و باعث تسریع جوانه‌زنی و رشد ترک می‌شود. البته مطابق استاندارد API5L، در اسپیرال دو مرحله‌ای، پاس ریشه باید کاملاً ذوب شود، با این وجود باز هم میزان هیدروژن در این حالت کمتر از مقدار هیدروژن جوشی خواهد بود که تماماً با روش SAW پر شده است. بنابراین انتظار می‌رود، لوله‌هایی که در خط دو مرحله‌ای تولید شده‌اند، مقاومت به ترک هیدروژنی بیشتری نسبت به روش یک مرحله‌ای داشته باشند.



اثر متغیرهای فرایند جوشکاری بر خواص فلز جوش

متغیرهای فرایند جوشکاری بر خواص مکانیکی ریزساختار و خواص متالورژیکی فلز جوش تأثیر دارد. در این قسمت از گزارش به اثر، متغیرهای فرایند بر فلز جوش‌های پرداخته می‌شود در روش دو مرحله‌ای از جریان کمتری برای پر کردن درز اتصال استفاده می‌شود. با جریان کم حرارت کمتر به فلز جوش و فلز پایه وارد می‌شود. حرارت کم باعث کاهش دمای پیشگرم پاس جوش خارجی است که در موقعیت ساعت ۱۲، در خارج از لوله ایجاد می‌شود. این حرارت را می‌توان به عنوان دمای بین پاسی در نظر گرفت. دمای بین پاسی یکی از متغیرهای مهم فرایند، می‌باشد. دمای بین پاسی یعنی دمای جوش درست بلافاصله بعد از هر پاس. در جوشهای چند پاسه این عامل بسیار مهم است. در یک بررسی بر روی الکتروود با ۰/۰۳ درصد کربن و ۰/۶ درصد منگنز، مشاهده شد که با تغییر دمای بین پاسی از ۲۰ درجه سانتیگراد به ۳۰۰ درجه سانتیگراد، سختی از ۱۹۷ ویکرز به ۱۵۵ ویکرز کاهش می‌یابد.

مشاهدات متالوگرافی نیز نشان دادند که با افزایش دمای بین پاسی تغییر زیادی در ریزساختار و درشت ساختار ایجاد می‌شود. با افزایش دمای بین پاسی نسبت ساختار ستونی فلز جوش به صورت فریت اولیه کاهش و ساختار ریز دانه افزایش می‌یابد.

دمای بین پاسی بر خواص جوش تأثیر دارد. برای جوشکاری لوله‌های نفت و گاز که انرژی ضربه مهم است رعایت دمای بین پاسی مناسب ضروری می‌باشد. بنابراین با توجه به بالابودن جریان در روش یک مرحله‌ای دمای بین پاسی بالاتر از روش دو مرحله‌ای بوده و بر اساس اطلاعات اولیه، انتظار می‌رود که میزان مقاومت به ضربه فلز جوش در روش دو مرحله‌ای کمتر از روش یک مرحله‌ای باشد، ولی همانطور که گفته شد برای نظر قطعی باید سایر عوامل نیز در نظر گرفته شود. ولی تفاوت بین دمای بین پاسی برای دو روش تولید لوله وجود دارد. میزان اثر آن به عوامل دیگر بستگی دارد.

اثر پارامترهای جوشکاری بر HAZ در روش یک مرحله‌ای و دو مرحله‌ای

در تولید لوله اسپیرال به روش دو مرحله‌ای و یک مرحله‌ای، سرعت سرد شدن جوش، میزان حرارت ورودی تفاوت دارند که اثر آن بر فلز جوش مورد بررسی قرار گرفت. در این بخش به میزان و نحوه تأثیر آن بر ناحیه متأثر از حرارت پرداخته می‌شود. در یک فرایند هر اندازه سرعت کندتر و جریان بیشتر شود حرارت ورودی بیشتر خواهد شد. حرارت ورودی زیاد باعث درشت دانگی در HAZ می‌شود.

در اسپیرال یک مرحله‌ای، سرعت جوشکاری کندتر از دو مرحله‌ای می‌باشد. اصولاً باید جریان، برای رسیدن به نفوذ کامل افزایش یابد. در نتیجه حرارت بیشتری به فلز پایه وارد می‌شود. در تولید لوله به روش اسپیرال دو مرحله‌ای، به دلیل اینکه پاس اول به روش GMAW ایجاد شده از آنجایی که نفوذ به دلیل وجود پاس ریشه کمتر از روش یک مرحله‌ای است نیاز به جریان زیادی هم نیست. بنابراین در این روش حرارت کمتری به ورق لوله وارد شده و پیش‌بینی می‌شود که ناحیه اطراف جوش در لوله‌هایی که به این روش تولید شده‌اند تأثیر کمتری نسبت به روش قبل، از حرارت ببینند.

به طور کلی هر قدر سرعت سرد شدن زیادتر باشد، فازی که تشکیل می‌شود سخت‌تر خواهد بود. در اثر جوشکاری دمای فلز اطراف جوش به دمای آستنیت می‌رسد. دمای ناحیه متأثر از حرارت HAZ در جوشکاری به حدود ۱۱۵۰ درجه سانتیگراد می‌رسد. این دما کمی از دمای آستنیت کردن معمولی بیشتر است. و دانه‌های آستنیت درشت‌تری ایجاد می‌کند. حرارت ورودی زیاد باعث درشت دانگی نیز می‌شود. در تولید لوله به روش جوشکاری اسپیرال یک مرحله‌ای، ابتدا و انتهای لوله و وسط لوله وضعیت ثابت دارند. چون بعد از جوشکاری لوله بریده می‌شود. بنابراین سرعت خنک شدن ناحیه متأثر از حرارت

HAZ و جوش در کل لوله یکسان است. به علت اینکه سرعت خنک شدن ناحیه متأثر از حرارت HAZ در کل طول لوله ثابت بوده انتظار می‌رود که ناحیه متأثر از حرارت در لوله‌هایی که از این روش تولید شده اند یکنواخت باشد. در تولید لوله به روش اسپیرال دو مرحله‌ای، ابتدا پاس ریشه بصورت خال جوش به روش GMAW، با سرعت بالایی جوشکاری انجام می‌شود و ناحیه متأثر از حرارت باریکی ایجاد می‌کند. در روش GMAW حرارت ورودی نسبت به روش زیرپودری کم است به همین دلیل، حرارت ناشی از آن، تاثیر کمی بر ناحیه متأثر از حرارت می‌گذارد. ولی سرعت خنک شدن آن بالاست، چون جوشکاری به سرعت انجام می‌شود. در این فرایند هم دمای ماکزیم منطقه متأثر از حرارت به دمای آستنیته می‌رسد و بعد از سریع سرد شدن، در ناحیه متأثر از حرارت HAZ ساختارهای سخت‌تر مانند فریت سوزنی یا بینیت تشکیل می‌شود. فولادهای API معمولاً کربن کمی دارند و درصد، مارتنزیت کمی تشکیل می‌شود.

در مرحله بعد، جوشکاری در ایستگاه زیرپودری انجام می‌شود. حرارت ورودی در فرایند زیرپودری بیشتر از GMAW است. حرارت این مرحله باعث تمپر شدن منطقه متأثر از حرارت (HAZ) مرحله اول شده و عملاً باعث می‌شود که ساختار تشکیل شده در منطقه متأثر از حرارت (HAZ) لوله با روش قبل (جوشکاری اسپیرال یک مرحله‌ای) تفاوت عمده‌ای داشته باشد، از بریده شدن به طول‌های استاندارد، جوشکاری زیرپودری روی آن انجام می‌شود در جوش دو مرحله‌ای منطقه متأثر از حرارت (HAZ)، جوش در ابتدا، انتها و وسط لوله با یکدیگر فرق می‌کند. سرعت سرد شدن بر خواص مکانیکی و ریزساختار منطقه متأثر از حرارت (HAZ) تاثیر می‌گذارد و در نتیجه آن، عدم یکنواختی در ریزساختار و خواص مکانیکی لوله در ابتدا و انتها و وسط لوله روبرو خواهیم بود.

تنش پسماند و اعوجاج دو لوله‌ها

تنش پسماند، تنشی است که در صورت برداشتن تمام نیروهای خارجی در جسم باقی می‌ماند. تغییرات غیر یکنواخت دمایی باعث ایجاد تنش پسماند می‌شوند یکی از راه‌های کاهش تابیدگی استفاده از خال جوش است. ایجاد خال جوش در طول اتصال قبل از پر کردن اتصال اثر زیادی بر تابیدگی می‌گذارد در تولید لوله به روش دومرحله‌ای، از دو پاس برای پر کردن درز اتصال استفاده می‌شود، بنابراین انتظار می‌رود که میزان اعوجاج و تنش پسماند در این روش کمتر از روش یک مرحله‌ای باشد که حجم جوش بیشتری در یک پاس رسوب داده می‌شود.

مزایای روش دو مرحله‌ای عبارتند از:

۱. بهره‌وری روش دو مرحله‌ای به علت سرعت تولید بالا ناشی از استفاده از GMAW، بالاتر از روش یک مرحله‌ای است. (تقریباً "پنج برابر")
۲. در حجم تولید مشابه، سرمایه‌گذاری لازم برای جوش یک مرحله‌ای بالاتر خواهد بود.
۳. خواص مکانیکی جوش روش دو مرحله‌ای به دلیل استفاده از روش GMAW در پاس ریشه و کم بودن میزان گاز حل شده در این جوش، بهتر از روش یک مرحله‌ای است.
۴. تغییرات قطر در ابتدا و انتهای لوله‌های تولید شده به روش دو مرحله‌ای کمتر از یک مرحله‌ای است.
۵. میزان انحراف در طول لوله در لوله‌های تولید شده به روش دو مرحله‌ای کمتر از یک مرحله‌ای است.
۶. دقت ابعادی در روش دو مرحله‌ای بالاتر از یک مرحله‌ای است.
۷. در روش دو مرحله‌ای خطاها و عیوب در شکل دهی ورق مستقیماً وارد جوش اصلی نمی‌شود و در صورت بروز عیوب تعمیر آن آسانتر از روش یک مرحله‌ای است، و جوش اصلی بدون عیب خواهد بود.
۸. میزان اعوجاج و تنش پسماند در لوله‌های روش دو مرحله‌ای کمتر از یک مرحله‌ای است.
۹. مقاومت به خوردگی لوله‌های روش دو مرحله‌ای به دلیل تنش پسماند کمتر، نسبت به روش یک مرحله‌ای، بالاتر است.
۱۰. انجام جوش اصلی (SAW) در روش دو مرحله‌ای در حالتی صورت می‌گیرد که لبه‌های ورق توسط جوش (GMAW) قبلاً ثابت شده‌اند بر خلاف جوش یک مرحله‌ای که جوش در حالت حرکت لبه‌ها صورت می‌گیرد.

با تمام مزایایی که روش دو مرحله‌ای دارد دارای معایبی نیز می‌باشد که عبارتند از:

۱. کاهش میزان عناصر آلیاژی مطلوب در فلز جوش S2Mo با روش SAW به دلیل امتزاج با فلز جوش SG2 در پاس ریشه و کاهش خواص کششی فلز جوش خالص
۲. عدم یکنواختی جوش در ابتدا و انتهای لوله و ایجاد عیوبی چون مک در این مناطق
۳. عدم یکنواختی سرعت سرد شدن در ابتدا و انتهای لوله و عدم یکنواختی خواص ناحیه کنار جوش
۴. پیچیدگی تنظیمات و تولید در روش دو مرحله‌ای بیشتر می‌باشد.
۵. نیاز به فضای تولید بیشتری نسبت به یک مرحله‌ای دارد (در صورت حجم تولید مشابه فضای تولید کمتر می‌باشد).

مزایای روش تک مرحله‌ای عبارتند از:

۱. عدم وجود ابتدا و انتهای درز جوش و عیوب مربوط به آن
۲. نیاز به تجهیزات و فضای تولیدی کمتر
۳. چقرمگی جوش به دلیل دمای بین پاسی بالاتر از دمای بین پاسی روش دو مرحله‌ای
۴. با توجه به حجم کمتر تجهیزات مورد نیاز، عموماً "قابل حمل و نصب در نزدیکی سات لوله گذاری می باشد".

معایب این روش عبارتند از:

۱. سرعت تولید پایین
۲. پایین بودن کیفیت جوش نسبت به روش دو مرحله‌ای به دلیل زیاد بودن گازهای محلول در جوش
۳. زیاد بودن تنش پسماند نسبت به روش دو مرحله‌ای به دلیل حرارت ورودی بالا
۴. کم بودن مقاومت به خوردگی H_2S و SCC به دلیل تنش پسماند بیشتر نسبت به روش دو مرحله‌ای
۵. جوانه زنی و رشد ترک هیدروژنی در لوله‌های یک مرحله‌ای بالاتر از دو مرحله‌ای است چون میزان هیدروژن محلول در فلز جوش آن بیشتر است.
۶. پایین بودن دقت ابعادی در مقایسه با روش دو مرحله‌ای
۷. بالا بودن مشکلات نسب لوله در خط لوله به دلیل تغییرات قطر بیشتر نسب به روش یک مرحله‌ای
۸. القای عیوب و مشکلات مرحله شکل دهی ورق به جوش اصلی.
۹. انجام جوش SAW در حالتی که لبه های اتصال نسبت به یکدیگر در حالت حرکت می باشد.

منابع و مراجع

1. S.B. Zhang, D. Sun, "Trackless Welding of Large Steel Structures", WWW.AWS.org.
2. "Welding Processes", WWW.AWS.org.
3. "Double Submerged Arc Welded Pipe", ASTM A381.
4. "Automatic Multiwire GMAW Multiplies Productivity" WWW.AWS.org.
5. "Arc Welding Processes", WWW.TWI.org.
6. "Specification For Line Pipe", API Specification 5L, march. 2004.
7. K.H. Brensing, "Steel Tube and Pipe Manufacturing Processes", www. Salzgitter-ag.de